

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Ministry of Education & Science of Ukraine
National Technical University
«Kharkiv Polytechnic Institute»

**СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ
В МАШИНОБУДУВАННІ**

**MODERN TECHNOLOGIES
OF ENGINEERING**

Збірник наукових праць
Printed scientific works

Видається з 2008 року

Випуск 9

ХАРКІВ НТУ «ХПІ» – 2014 – KHARKIV NTU «KhPI»

**ББК 34.63
С 56
УДК 621.91**

Державне видання

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 13438-2322Р від 03.08.2007 р.

Друкується за рішенням Вченої Ради НТУ "ХПІ"

Редакційна колегія: В. О. Федорович (відповідальний редактор),
В. Л. Добросок (зам. відповідального редактора),
Н.В. Крюкова (відповідальний секретар),
М. В. Верезуб, Ю. М. Внуков, А. І. Грабченко,
Б. Карпушевський, Я. Кундрак, П. П. Мельничук,
О. Я. Мовшович, М. В. Новіков, Ю. А. Сізий,
Ю. В. Тимофієв, Р. С. Турманідзе, В. А. Фадеєв,
М. Д. Узунян

Адреса редакційної колегії: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»
кафедра «Інтегровані технології
машинобудування» ім. М. Ф. Семка,
тел.: +38 (057) 706-41-43.

C56 Сучасні технології в машинобудуванні [Текст]: зб. наук. праць. –
Вип. 9 / редкол.: В. О. Федорович (голова) [та ін.]. – Харків :
НТУ «ХПІ», 2014. – 323 с. – Укр., рос., англ. мовами.

Збірник містить наукові статті відомих вчених України і закордонних країн з актуальних проблем інтегрованих технологій, процесів різання і технологічного забезпечення якості, підвищення рівня освітньої підготовки з технології машинобудування. Викладено сучасні аспекти і тенденції удосконалювання технологій обробки, конструювання інструменту та обладнання, моделювання процесів, діагностики технологічних систем.

Для науковців, викладачів вищих навчальних закладів, промисловців.

У квітні 2013 р. науковий збірник «Сучасні технології в машинобудуванні» включений у довідник періодичних видань бази даних Ulrich's Periodicals Directory (New Jersey, USA)

ББК 34.63

© Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут», 2014

ПРОФЕССОР МАМАЛИС АТАНАСИОС ГЕОРГИОС

*В знании – величие и краса,
Знание дороже, чем клад жемчужин:
Время любой уничтожает клад,
Мудрый и знающий вечно нужен.*

Ас-Самарканди

Атанасиос Георгиос Мамалис (Athanasios Georgios Mamalis) родился 18 июля 1941 года в г. Латрака (Греция). Гимназию (среднюю школу) окончил в столице – г. Афины (1959 г.). Инженерное образование получил в Национальном техническом университете Греции – диплом инженера по механике и электротехнике (1964 г.). После обучения в Англии в Манчестерском институте науки и технологий (с 2004 года, после объединения с Викторианским Манчестерским университетом – Манчестерский университет) становится магистром наук (1973 г.).

К этому времени за его плечами солидный опыт практической работы в промышленности, в том числе главным инженером (техническим директором) широко известного в Европе крупного греческого предприятия по производству стальных труб «СОЛИНУРГИЯ АФИОН» (1967-1972 гг.). Этот опыт востребуется инженерной alma-mater. Одновременно с индустриальной деятельностью поддерживая учебно-научно-производственное сотрудничество с Национальным техническим университетом Греции, А.Г.Мамалис начинает свою научно-педагогическую карьеру с работы в нем внештатным преподавателем на машиностроительном факультете (1969-1972 гг.).

Дипломированный магистр и опытный производственник, следующее с десятилетие своей трудовой деятельности (с 1973 года) А.Г.Мамалис посвящает работе техническим советником на предприятии по производству изделий специальной техники обработкой материалов давлением в Хамме, что в Рейнско-Пурском регионе Северного Рейна-Вестфалии, промышленном сердце Германии. В этот период А.Г.Мамалис продолжает расти как исследователь и в 1975 году в том же Манчестерском институте науки и технологий получает степень доктора философии по технологии машиностроения.

Параллельная с производственной научно-педагогическая линия жизни становится все более привлекательной и значимой в эти годы для А.Г.Мамалиса, все более занимает его творческие силы, становясь и основным стимулом, и основным поглотителем энтузиазма завидной неиссякаемости, неукротимой способностью к самоиндукции которого щедро наделила его матушка-природа. В 1975-1978 гг. он продолжает свои английские университеты научным сотрудником технологического факультета в Кембридже, где стажируется у профессора В.Джонсона. Затем А.Г.Мамалис переходит на профессорскую стезю и работает приглашенным профессором последовательно в Институте машиностроительного производства и уникального станкостроения Ганноверского университета (Германия, 1978-1979 гг.), в Лаборатории станков и технологии производства Аахенской высшей технической школы (Германия, 1979-1980 гг.), на факультете механической и авиационной техники Карлтонского университета (Канада, 1980-1982 гг.).

В 1973-1982 гг. магистр, а затем профессор А.Г.Мамалис успешно утверждается на производстве, в инженерии и в бизнесе, с энтузиазмом увлеченного проявляет продолжаемую им и сегодня активность в развитии научно-исследовательского и индустриального сотрудничества с участием греческих, японских, американских, немецких, британских и других, большей частью европейских (в том числе восточноевропейских) институций и предприятий.

После Англии, Германии и Канады более чем на десятилетие (1982-1992 гг.) одним из притягательных географических полюсов реализации основанного на накопленном образовательном и производственном опыте личностного научно-исследовательского и научно-педагогического потенциала профессора А.Г.Мамалиса становится США, где он получает место профессора инженерно-механического факультета Мичиганского технологического университета.

Первым же и самым главным из таких полюсов для А.Г. Мамалиса, патриота и гражданина, всегда остается Греция. Во все годы своей зарубежной учебно-научно-производственной практики профессор А.Г. Мамалис всегда в готовности послужить отчизне и по зову своего сердца, и по ее призыву. В том же 1982 году он возглавляет отдел

производственных технологий в столичном Национальном техническом университете Греции, основывает в нем Лабораторию производственных технологий и семнадцать последующих лет руководит ее работой.

Заслуженная национальная и европейская научно-профессиональная известность и высокая авторитетность в бизнес-кругах среди отраслевых топ-менеджеров выводят профессора А.Г.Мамалиса на пятнадцатилетнюю (1983-1997 гг.) орбиту работы в Комиссии Европейского Сообщества по углю и стали (ECSC) в качестве национального представителя Греции.

С 2008 года профессор А.Г.Мамалис является научным руководителем греческого Центра проектов в области нанотехнологий и перспективных разработок, созданного и развивающегося в рамках Технологического научного парка «Левкиппос» по совместной инициативе Греческого национального исследовательского центра научных исследований «Демокритос» и Российского исследовательского центра «Курчатовский институт».

Несколько крупных научных проектов, относящихся к программам Европейского Союза разработаны под его руководством. Он близко сотрудничает с учеными из Украины, России, Венгрии, Франции, Германии и США, является инициатором всестороннего сотрудничества между Афинским Национальным техническим университетом и НТУ «ХПИ».

Профессор А.Г.Мамалис продемонстрировал свои замечательные координирующие и научные возможности в реализации большого Европейского проекта «MINOS» при сотрудничестве с учеными из Греции, Украины (НТУ «ХПИ», Институт сверхтвердых материалов Национальной академии наук Украины), Франции и Венгрии. Приняв в качестве основы процесс обработки в широком масштабе участники проекта создали уникальную теорию прецизионной обработки, точность которой взяли за принцип в оригинальной экспертной системе. Эта работа была представлена во многих научных технологических изданиях и на международных конференциях.

Профессор А.Г.Мамалис входит в состав ряда национальных и международных профессиональных ассоциаций.

Эту сторону его деятельности очерчивает следующий хронологический ряд: Комитет по сертифицированному механическому и электрическому инжинирингу Технической палаты Греции (TEE, с 1964 г.), Британская группа холодной ковки (BCFG, с 1976 г., Великобритания), Ассоциация немецких инженеров (VDI, с 1977 г., Германия), Ассоциация немецких металлургов (VDEh, с 1977 г., Германия), Американское общество инженеров-механиков (ASME, с 1981 г., США), Международный союз теоретической и прикладной механики (IUTAM, с 1981 г., Греция), Общество инженеров автомобильной промышленности (SAE, с 1982 г., США), Международный институт производственных инженерных исследований (CIRP, с 1982 г., Франция), Международная группа холодной ковки (ICFG, с 1987 г., Германия), Общество сверхпроводимости (с 1994 г., Греция, основатель и председатель), Нью-Йоркская академия наук (NYAS, с 1996 г., США), Европейское керамическое общество (ECerS, с 1996 г., Италия), Европейское общество прецизионного машиностроения и нанотехнологий (EuSPEN, с 1997 г., Великобритания, национальный координатор), Международный комитет по окружающей среде и производству (ICEM, с 1997 г., Австралия), Европейская сеть передового опыта по сверхпроводимости (SCENET, с 2000 г., Европейская Комиссия, программы исследований до 2001 г. (SCENET) и 2002-2006 гг. (SCENET-2), национальный координатор), Международная инструментальная ассоциация (IMTA, с 2005 г., Украина, член совета), Евросредиземноморская академия искусств и наук (EMAAS, с 2010 г., Греция, член-основатель).

Профессор А.Г.Мамалис активно участвует в работе редакционных коллегий отечественных и зарубежных научных изданий, среди которых выпускаемые в Великобритании («Технология обработки материалов» [Journal of Materials Processing Technology], с 1978 г.; «Механические науки» [International Journal of Mechanical Sciences], 1982–1990 гг.; «Машиностроительное производство» [Journal of Engineering Manufacture], 1990-2002 гг.; «Передовые производственные технологии» [International Journal of Advanced Manufacturing Technology], с 1997 г.; «Ударопрочность» [International Journal of Crashworthiness], с 1999 г.;

«Представления нанотехнологий» [Nanotechnology Perceptions], с 2004 г.), США («Мехатроника и интеллектуальное производство» [Journal of Mechatronics and Intelligent Manufacturing], с 2008 г.; «Материаловедение и его приложения» [Journal of Materials Sciences and Applications], с 2010 г.), Израиле («Производство, наука и изделия» [International Journal for Manufacturing, Science and Production; выпускается совместно с Великобританией], с 2002 г.); Сербии («Производственный инжиниринг и компьютеры» [International Journal of Production Engineering and Computers], с 2000 г.); Украине («Теория и практика управления социальными системами» [Теорія і практика управління соціальними системами], с 2001 г.).

Професор А.Г.Мамалис опубликовал 24 монографии, 12 методических руководств, более 480 научных статей в ведущих профессиональных изданиях Европейского Союза, США, Японии, Украины, России и других стран. Им проделано свыше 500 приглашенных лекций и докладов на научных форумах по всему миру. Диапазон его учебно-научно-производственного наследия необычайно широк. Только как ввиду многочисленных неопровергимых фактов согласился он сам накануне своего 70-летия (<http://www.ims.demokritos.gr>), его труды охватывают теоретические, экспериментальные и практические аспекты механики, технологии производства, ультрапрецизионной инженерии, нанотехнологий, структурной пластиичности и ударопрочности, макро-, микро - и наноразмерного материаловедения ...

О научно-технической востребованности результатов фундаментальных и прикладных исследований, выполняемых под руководством и при участии проф. А.Г.Мамалиса можно судить, например, по данным независимого сайта <http://academic.research.microsoft.com>, согласно которым 100 избранных научных публикаций, выпущенных им в свет в 1990-2010 гг. совместно со 121 исследователем, имеют более чем четырехкратный индекс цитирования всего 722-мя авторами.

Национальная и международная научно-педагогическая общественность высоко ценят профессора А.Г.Мамалиса. Он избран членом Венгерской академии наук (1998 г.) и действительным членом (академиком) Академии наук высшей школы Украины (2000 г.), Почетным

профессором кафедры «Интегрированные технологии машиностроения» (2001 г.) и Почетным доктором НТУ «ХПИ» (2006 г.), награжден Первым призом Греческого математического общества (1959 г.) и Международной медалью М.Ф. Семко «За личный вклад в сотрудничество университетов» (2005 г.). Имя А.Г.Мамалиса вписано в берущем свое начало с 1899 г., издаваемом в США и являющимся золотым стандартом биографической информации Маркусовском «Кто есть кто в мире» (Marquis Who's Who); в сборники «5000 личностей в мире» Американского биографического института и «Кто есть кто в инженерии» Американской ассоциации инженерных обществ (США); в Международный биографический словарь Международного биографического центра в Великобритании; в европейский, греческий национальный и венгерский энциклопедический сборники «Кто есть кто».

Жизненный путь профессора А.Г. Мамалиса поучителен для многих, особенно для молодых людей, решавшихся посвятить себя научному творчеству, поиску нового, успешной реализации потенциала одаренной личности. Замечательные человеческие качества, корнями уходящие в историю древней Эллады, традиции греческого народа и его менталитет дополняют его портрет.

ФІЗИКА ТА МЕХАНІКА ПРОЦЕСІВ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ

УДК 621.923

Т.М. БРИЖАН, Мариуполь, Украина
Н.В. КРЮКОВА, Харьков, Украина

УСЛОВИЯ УМЕНЬШЕНИЯ ЭНЕРГОЕМКОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

У статті наведені результати теоретичних досліджень енергоємності механічної обробки. Аналітично встановлено, що між енергоємністю обробки й коефіцієнтом усадки стружки існує пряма пропорційний зв'язок. Показано, що основною умовою зменшення енергоємності обробки є зменшення інтенсивності тертя стружки, що сходить, з передньою поверхнею інструмента за рахунок дроблення стружки в зоні стружкоутворення, зміни кута сходу стружки з передньої поверхні інструмента й т.д.

В статье приведены результаты теоретических исследований энергоемкости механической обработки. Аналитически установлено, что между энергоемкостью обработки и коэффициентом усадки стружки существует прямо пропорциональная связь. Показано, что основным условием уменьшения энергоемкости обработки является уменьшение интенсивности трения сходящей стружки с передней поверхности инструмента за счет дробления стружки в зоне стружкообразования, изменения угла схода стружки с передней поверхности инструмента и т.д.

This article presents the results of theoretical studies of the energy intensity of machining. Analytically found that between power consumption and processing shrinkage chips directly proportional relationship exists. It was shown that the fundamental requirement is the reduction of energy consumption reduction processing converging intensity of friction with the front surface of the chip due to the crushing tool to the chip area of chip, changing the angle of the chip from the front surface of the tool, etc.

Введение. Обеспечение высокоточной обработки деталей машин является важнейшей задачей технологии машиностроения. Однако, несмотря на большой практический опыт, накопленный в этом направлении, достижение высоких показателей точности обработки, как

правило, связано с высокой трудоемкостью обработки и необходимостью применения дополнительных финишных операций. Установлено, что основным условием повышения точности и снижения точности обработки является уменьшение энергоемкости обработки, т.е. энергии, затрачиваемой на съем единицы объема обрабатываемого материала. В связи с этим, актуальна задача определения технологических закономерностей уменьшения энергоемкости обработки при резании лезвийным инструментом, в частности, при обработке глубоких отверстий, которая традиционно характеризуется низкими показателями точности обрабатываемых поверхностей.

Анализ последних достижений и литературы. Вопросы энергоемкости механической обработки отражены в работах [1-4]. Однако они представлены в виде результатов экспериментальных исследований, справедливых для частных условий обработки, что не позволяет в полной мере выявить и обосновать основные направления снижения энергоемкости обработки. Известны также работы [5,6], в которых предложены расчетные схемы для определения энергоемкости обработки и приведено ее аналитическое описание. Установлено, что энергоемкость обработки зависит главным образом от условного угла сдвига обрабатываемого материала. Поэтому изыскание условий уменьшения этого угла открывает новые технологические возможности уменьшения энергоемкости обработки и соответственно повышения точности, производительности и других показателей механической обработки.

Цель работы, постановка проблемы. Целью работы является теоретическое обоснование условий уменьшения энергоемкости обработки для решения задач технологического обеспечения высокоточной обработки деталей машин.

Материалы исследования. Для анализа путей уменьшения силовой напряженности механической обработки рассмотрим аналитические зависимости для определения тангенциальной P_z и радиальной P_y составляющих силы резания, а также условного напряжения резания σ , приведенных в работе [5]:

$$P_z = \sigma \cdot S = \frac{a \cdot \varepsilon \cdot \sigma_{cж}}{K_{pez}} \cdot \left(1 + \sqrt{1 + K_{pez}^2} \right); \quad (1)$$

$$P_y = \frac{\sigma \cdot S}{K_{pez}} = \frac{a \cdot \varepsilon \cdot \sigma_{cж}}{K_{pez}^2} \cdot \left(1 + \sqrt{1 + K_{pez}^2} \right); \quad (2)$$

$$\sigma = \frac{\sigma_{cж}}{K_{pez}} \cdot \left(1 + \sqrt{1 + K_{pez}^2} \right) = \frac{\sigma_{cж}}{\operatorname{tg} \beta}; \quad (3)$$

где σ – условное напряжение резания (энергоемкость обработки), Н/м² (или Дж/м³); $S = a \cdot \varepsilon$ – площадь поперечного сечения среза, м²; a , ε – толщина и ширина среза, м; $\sigma_{cж}$ – предел прочности на сжатие обрабатываемого материала, Н/м²; $K_{pez} = P_z / P_y = \operatorname{tg} 2\beta = \operatorname{ctg}(\psi - \gamma)$ – коэффициент резания; β – условный угол сдвига обрабатываемого материала; ψ – условный угол трения на передней поверхности инструмента ($\operatorname{tg} \psi = f$ – коэффициент трения); γ – передний угол инструмента.

В работе (5) показано, что условное напряжение резания σ по физической сути соответствует энергоемкости обработки. Это связано с тем, что зависимость для определения энергоемкости обработки $A / \vartheta_{объем}$ (где – $A = P_z \cdot l$ работа резания, Дж; l – длина пути резания, м; $\vartheta_{объем} = S \cdot l$ – объем снятого материала, м³; s – площадь поперечного сечения среза, м²) можно представить в виде, который определяет условное напряжение резания σ или удельную работу резания. Размерность энергоемкости обработки (Дж/м³) с учетом того, что Дж=Н·м принимает вид: Н/м², т.е. соответствует размерности условного напряжения резания σ . Таким образом, используя зависимость (3), можно проводить анализ энергоемкости обработки при резании как лезвийными, так и абразивными инструментами.

Как следует из приведенных зависимостей, основное влияние на параметры P_z , P_y и σ оказывает коэффициент резания K_{pez} . С его увеличением параметры P_z , P_y и σ непрерывно уменьшаются, причем

радиальная P_y составляющая силы резания в большей степени, что указывает на возможность повышения точности обработки.

Необходимо отметить, что приведенные зависимости (1) и (2) определяют составляющие силы резания, непосредственно участвующие в процессе стружкообразования при резании. Так, установлено, что при точении стали тангенциальная P_z составляющая силы резания, рассчитанная по зависимости (1), меньше ее экспериментально измеренного значения. Это связано с тем, что значительная часть экспериментально измеренной тангенциальной P_z составляющая силы резания обусловлена трением сходящей стружки с передней поверхностью резца. Поэтому она фактически не участвует в процессе сдвига обрабатываемого материала в условной плоскости сдвига OA (рисунок 1). Исходя из этого, экспериментально измеренную тангенциальную P_z составляющую силы резания можно представить суммой двух слагаемых $P_z = P_{z_{pe3}} + P_{z_{mp}}$, где $P_{z_{pe3}}$, $P_{z_{mp}}$ – составляющие, обусловленные процессами стружкообразования и трения на передней поверхности резца, Н. По сути, процесс сдвига материала в условной плоскости сдвига материала OA происходит под действием лишь составляющей $P_{z_{pe3}}$ и соответственно радиальной P_y составляющей силы резания. Составляющая $P_{z_{mp}}$ непосредственно не оказывает влияния на процесс стружкообразования, поскольку она затрачивается на преодоление трения сходящей стружки с передней поверхностью резца.

Поскольку при обработке стали $P_{z_{pe3}} < P_{z_{mp}}$, то в первом приближении можно рассматривать $P_{z_{pe3}} / P_y \approx K_{pe3}$; $P_{z_{mp}} / P_y \approx 1/f$, где f – коэффициент трения на передней поверхности резца. При таком представлении процесса резания вполне очевидно, что коэффициент резания K_{pe3} может принимать значения меньше единицы, а это приводит к уменьшению условного угла сдвига материала β (рисунок 1) и повышению энергоемкости обработки, определяемой параметром σ в соответствии с зависимостью (3).

На рисунке 1 показаны толщина среза a , скорость резания V , сила резания P и условный угол трения обрабатываемого материала с передней

поверхностью резца ψ , который связан с коэффициентом трения f тригонометрической зависимостью: $\operatorname{tg}\psi = f$ [6].

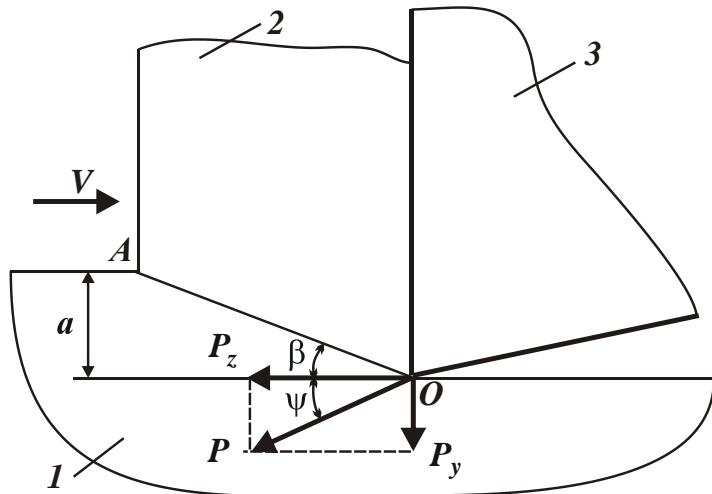


Рисунок 1 – Расчетная схема параметров процесса резания:

1 – обрабатываемый материал; 2 – образующаяся стружка;
3 – режущий инструмент

Если воспользоваться известной формулой профессора Тиме А.Н. для определения условного угла сдвига материала $\operatorname{tg}\beta = \frac{\cos\gamma}{K_L - \sin\gamma}$ [4], рассматривая в первом приближении $K_L \gg \sin\gamma \approx 0$; $\cos\gamma \approx 1$, то зависимость (3) может быть представлена:

$$\sigma = \sigma_{cж} \cdot K_L, \quad (4)$$

где K_L – коэффициент усадки стружки ($K_L \geq 1$).

Как видно, условное напряжение резания σ прямо пропорционально связано с коэффициентом усадки стружки K_L . Большим значениям σ соответствуют большие значения K_L . По сути, коэффициент усадки стружки K_L определяет во сколько раз условное напряжение резания σ превышает предел прочности на сжатие обрабатываемого материала $\sigma_{cж}$. Исходя из зависимости (3) это означает, что увеличение коэффициента

усадки стружки $K_L \geq 1$ обусловлено уменьшением коэффициента резания $K_{pes} < 1$. Соответственно зависимость (3) может быть представлена в виде:

$$K_L = \frac{1}{K_{pes}} \cdot \left(1 + \sqrt{1 + K_{pes}^2} \right). \quad (5)$$

В табл. 1 приведены рассчитанные по зависимости (5) значения коэффициента усадки стружки K_L .

Таблица 1 – Расчетные значения коэффициента усадки стружки K_L

K_{pes}	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	1	2	5
K_L	∞	20	10	6,8	5,2	4,2	3,2	2,4	1,6	1,2

Как видно, с уменьшением коэффициента резания K_{pes} коэффициент усадки стружки K_L непрерывно увеличивается. Практикой установлено, что при точении коэффициент усадки стружки K_L принимает значения в пределах 1...8. Следовательно, коэффициент резания K_{pes} может изменяться в широких пределах, принимая значения как меньше, так и больше единицы. При условии $K_{pes} < 1$ коэффициент усадки стружки K_L значительно больше единицы. Этим показано, что увеличение коэффициента усадки стружки K_L связано с уменьшением коэффициента резания K_{pes} , который может принимать значения меньше единицы, хотя по экспериментально установленным данным отношение P_z / P_y при точении стали всегда больше единицы и подчиняется зависимости $P_z / P_y = 1/f$. Следовательно, уменьшить коэффициент усадки стружки K_L и соответственно повысить эффективность механической обработки можно увеличением коэффициента резания $K_{pes} > 1$. Это достигается уменьшением радиальной P_y составляющей силы резания, обусловленной трением сходящей стружки с передней поверхностью резца, в первую очередь, за счет снижения коэффициента трения f . Важным фактором уменьшения

радиальной P_y составляющей силы резания, судя по экспериментальным данным, приведенным в многочисленных литературных источниках, является увеличение переднего угла инструмента γ и обеспечение высокой остроты режущего лезвия инструмента. Эффективным путем также является обеспечение условий дробления стружки в зоне резания или изменение угла схода стружки с передней поверхности инструмента, применяя для этого, например, косоугольное резание и т.д.

Пренебрегая величиной K_{pes}^2 в подкоренном выражении зависимости (5), поскольку $K_{pes}^2 < 1$, данная зависимость упростится и примет вид:

$$K_L = \frac{2}{K_{pes}}. \quad (6)$$

В табл. 2 приведены рассчитанные по зависимости (6) значения коэффициента усадки стружки K_L .

Таблица 2 – Расчетные значения коэффициента усадки стружки K_L

K_{pes}	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	1	2	5
K_L	∞	20	10	6,7	5,0	4,0	2,8	2,0	1,0	–

Как видно, при условии $K_{pes} < 0,7$ значения коэффициента усадки стружки K_L , рассчитанные по зависимостям (5) и (6), мало отличаются. Поэтому в этих пределах изменения коэффициента резания K_{pes} расчет K_L можно производить по упрощенной зависимости (6).

Выводы. В работе приведены результаты теоретических исследований энергоемкости механической обработки. Аналитически установлено, что между энергоемкостью обработки и коэффициентом усадки стружки существует прямо пропорциональная связь, т.е. большему значению энергоемкости обработки соответствует большее значение коэффициента усадки стружки. Показано, что основным условием уменьшения энергоемкости обработки является уменьшение

интенсивности трения сходящей стружки с передней поверхности инструмента. Это может быть достигнуто как за счет уменьшения коэффициента трения на передней поверхности инструмента и переднего угла инструмента, так и за счет дробления стружки в зоне стружкообразования, изменения угла схода стружки с передней поверхности инструмента и т.д.

Список использованных источников: 1. Гусарев В.С. Энергетическая эффективность технологических процессов / В.С. Гусарев // Авиационно-космическая техника и технология. – Труды Государственного аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”. – Харьков: ХАИ, 2000. – Вып. 14. – С. 41-44. 2. Гусарев В.С. Исследование удельной работы формообразования при токении / В.С. Гусарев, Ю.В. Яровой // Труды Одесского политехнического университета. – Одесса: ОНПУ, 2010. – Вып. 1.(33) – 2(34). – С. 61-65. 3. Швец В.В. Некоторые вопросы теории технологии машиностроения / В.В. Швец. – М.: Машиностроение, 1967. – 63 с. 4. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов / В.Ф. Бобров. – М.: Машиностроение, 1975. – 343 с. 5. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 1. "Механика резания материалов" – Одесса: ОНПУ, 2002. – 580 с. 6. Теоретические основы резания и шлифования материалов: учеб. пособие / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков и др. – Одесса: ОГПУ, 1999. – 450 с.

Bibliography (transliterated): 1. Gusarev V.S. Jenergeticheskaja effektivnost' tehnologicheskikh processov / V.S. Gusarev // Aviacionno-kosmicheskaja tekhnika i tehnologija. – Trudy Gosudarstvennogo ajerokosmicheskogo universiteta im. N.E. Zhukovskogo “HAI”. – Har'kov: HAI, 2000. – Vyp. 14. – S. 41-44. 2. Gusarev V.S. Issledovanie udel'noj raboty formoobrazovaniya pri tochenii / V.S. Gusarev, Ju.V. Jarovoj // Trudy Odesskogo politehnicheskogo universiteta. – Odessa: ONPU, 2010. – Vyp. 1.(33) – 2(34). – S. 61-65. 3. Shvec V.V. Nekotorye voprosy teorii tehnologii mashinostroenija / V.V. Shvec. – M.: Mashinostroenie, 1967. – 63 s. 4. c Osnovy teorii rezanija metallov / V.F. Bobrov. – M.: Mashinostroenie, 1975. – 343 s. 5. Fiziko-matematicheskaja teoriya processov obrabotki materialov i tehnologii mashinostroenija / Pod obshh. red. F.V. Novikova i A.V. Jakimova. V desjati tomah. – T. 1. "Mehanika rezanija materialov" – Odessa: ONPU, 2002. – 580 s. 6. Teoreticheskie osnovy rezanija i shlifovanija materialov: ucheb. posobie / A.V. Jakimov, F.V. Novikov, G.V. Novikov i dr. – Odessa: OGPU, 1999. – 450 s.

УДК 67.02:66.083

Ю.Г. ГУЦАЛЕНКО, Харків, Україна

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ОПТИМАЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ СПЕКАНИЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ И АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ ВЫСОКОПЛОТНЫХ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

З позицій прискорення ефективної реалізації відповідних сучасному, шостому технологічному укладу нанопорошкових матеріалознавчих інновацій актуалізується проблематика прогнозування оптимальних умов провадження робочих процесів попереднього (спікання) і остаточного (шліфування) формоутворення їх об'єктів. Показано, що особливості та переваги комбінованих прямим струмопідведенням в операційну зону технологій спікання і шліфування обумовлені дією електричних розрядів.

С позиций ускорения эффективной реализации соответствующих современному, шестому технологическому укладу нанопорошковых материаловедческих инноваций актуализируется проблематика прогнозирования оптимальных условий осуществления рабочих процессов предварительного (спекание) и окончательного (шлифование) формообразования их объектов. Показано, что особенности и преимущества комбинированных прямым токоподводом в операционную зону технологий спекания и шлифования обусловлены действием электрических разрядов.

The problems of predicting the optimal conditions for the implementation of workflows in preliminary (sintering) and final (grinding) shaping actualize from the positions of acceleration for effective implementation of nanopowder materials science innovation which are relevant to modern (the sixth) technological order. It is shown that the features and benefits of combined by direct current supply in the operating area of technology of sintering and grinding due to the action of electric discharges.

Введение. Расширенное создание, воспроизведение и применение композиционно-химически и структурно-геометрически новых высокофункциональных материалов из наноразмерных порошков является одной из доминант современного, шестого технологического уклада. Исследовательская и опытно-производственная практика свидетельствуют

о высокой эффективности технологий спекания под давлением с прямым токоподводом и алмазно-искрового шлифования таких материалов с высокоплотной структурой, в особенности тугоплавких, в том числе инструментальных.

В связи с этим, с позиций ускорения эффективной реализации материаловедческих инноваций, актуализируется проблематика прогнозирования оптимальных условий осуществления соответствующих этим технологиям комбинированных рабочих процессов, физические особенности и преимущества протекания которых по сравнению с конвенциональными термомеханическими альтернативами консолидации и обработки порошковых материалов, проявляющиеся в объеме (спекание) и в поверхностном слое (шлифование), общепризнано обусловлены действием электрических разрядов.

Практические основания постановки задачи оптимизации. В практике обоих рассматриваемых технологических методов с прямым токоподводом в рабочую зону параметром управления и фактором варьирования в поиске наилучшего технического результата является давление, испытываемое консолидируемым (спекание) или консолидированным (шлифование) объектом рабочего процесса.

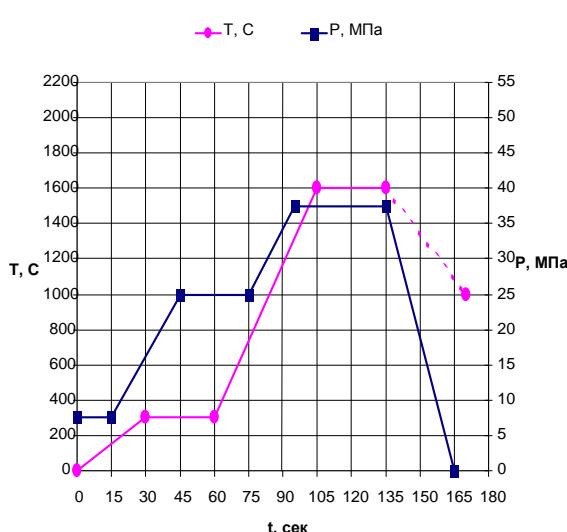
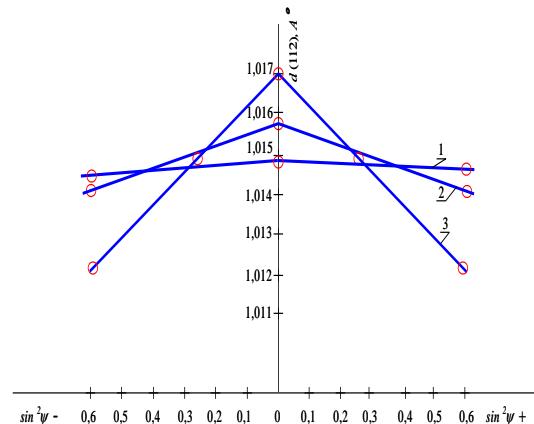


Рисунок 1 – Циклограммы электро-консолидации под давлением композита Al_2O_3 -WC [1]



1 –после электроспекания,
2, 3 – после алмазно-искрового
шлифования под давлением 1,2
МПа (2) и 0,4 МПа (3)

Рисунок 2 – $\sin^2\psi$ -графики WC [2]

Например (рис. 1), из собственного, совместного с Украинской академией железнодорожного транспорта опыта получения электроконсолидацией под давлением высокоплотного тонкодисперсного композита Al_2O_3 –WC, в котором исходные порошки (50/50 мас. %) имели зернистость 40–70 нм (WC) и 60–80 нм (Al_2O_3), диапазон оптимальных давлений первых ступеней цикла подавления пористости – примерно от 7,5 до 25 МПа.

В алмазно-искровом шлифовании полученного спеканием под давлением с прямым токоподводом монокарбида вольфрама формирование его функционально оптимальной высокоплотной приповерхностной структуры с достижением наилучших физико-механических свойств по критерию напряженного состояния шлифованного материала в некоторой заданной системе возможностей управления электрическими режимами обработки также происходит при некотором внутреннем значении давления в экспериментальном диапазоне давлений шлифовального рабочего контакта (рис. 2).

Аналитическая гипотеза и ее приложение к практике. Теоретическое объяснение эффективных условий способствования возбуждению электроразрядных процессов и соответствующих им эффектов уплотнения порошковых материалов рассмотрим с преимущественным вниманием к подавлению наибольших пор, размер которых на основании аналитических исследований по методу аннигиляции позитронов изначально принято считать [3] соизмеримым с исходной зернистостью спекаемых порошков. При этом будем исходить из принятой [4] схематизации электроразрядного тока, при определенных условиях допускающей его прохождение в порошковых средах непосредственно в промежутках пористости. Очевидно, что с позиций энергоэффективного преодоления (уменьшения) пористости наибольший интерес при этом представляет минимизация потенциала зажигания электрических разрядов в газовых средах прежде всего наибольших пор спекаемого под давлением консолидата.

Предположим далее, что эти условия с некоторым приближением могут быть определены из известных закономерностей Пашена-Пенninga, описывающих вовлечение газовоздушных сред в электроразрядные процессы, во-первых, для однокомпонентных газовых сред (Пашен), по

механизму с $U_{np\ min} = const$ для данной газовой среды при соответствующем этому $U_{np\ opt} = U_{np\ min}$ однозначно определенном постоянстве произведения $P \cdot h = (P \cdot h)_{opt}$; во-вторых, для компаундных газовых структур с присутствием примесей (Пеннинг), с дополнительным понижением минимумов Пашена, если потенциал энергии возбуждения метастабильного уровня для этих примесей ниже, чем в чистом основном газе, в том числе во влажных средах с однокомпонентной газовой основой.

Тогда, исходя из определяющей роли электроразрядного фактора и экспериментальных закономерностей Пашена-Пеннинга, можно предположить, что оптимальное давление прессования P_{opt} при нанопорошковой электроконсолидации, во всяком случае в первом приближении, подчиняется зависимости вида $P_{opt} = k \cdot (P \cdot h)_{opt} / h$, где k – поправочный коэффициент, учитывающий состав газовой среды; криволинейность геометрии промежутка в порах (кривые Пашена получены в экспериментальных условиях с плоскими электродами и однородным электрическим полем); известную приближенность закона Пашена и тем большую точность, чем меньше P и h , и, в то же время (по некоторым экспериментальным данным), искажения начального участка кривой Пашена при пробое малых разрядных промежутков (при одновременно малых $P \cdot h$ и h), объясняемые поддержаным туннелированием эффектом Шоттки; теплофизический фон и др.; в общем случае $k > 0$ и, в частности, с повышенным ожиданием $0 < k < 1$ в исходно нормально влажных средах реального компактирования.

Из разрешения закона Пашена для газовоздушной среды (в приближенной оценке по [5] $(P \cdot h)_{opt} = 0,8 \text{ Па} \cdot \text{м}$) относительно определяющей максимальную пористость консолидата реальной практики (рис.1) исходных зернистостей спекаемых тугоплавких порошков в диапазоне от 40 до 80 нм следует диапазон P_{opt} от 10 до 20 МПа, с последовательной ориентацией на преимущественное подавление от более крупных исходных пор, максимальных для зернистости 80 нм (расчетное значение $P_{opt} = 10 \text{ МПа}$), к максимальным для зернистости 40 нм (расчетное значение $P_{opt} = 20 \text{ МПа}$).

Из сопоставления установленных опытно-экспериментальным путем и из $(P \cdot h)_{opt}$ по Пашену значений давлений на границах диапазона исходной

максимальной пористости, соответствующего диапазону исходной зернистости спекаемых порошков, следует, что теоретический диапазон является внутренним по отношению к опытному с отклонениями каждой границы опыта диапазона на 25 %. При этом коэффициент k соответственно изменяется от $k = 0,75$ (нижняя граница) до $k = 1,25$ (верхняя граница). Таким образом обеспечивается повышенная надежность формирования оптимальных условий электроразрядного подавления пористости в условиях реальной форморазмерной статистики максимальных пор, в контексте [4] приближенно описываемых сферической моделью зерна. При этом условия выдержки $P_{opt} = 25$ МПа (рис. 1) уже соответствуют запуску как преобладающего механизма деформационной реструктуризации спекаемого компаунда с уплотнительным скольжением границ смежных зерен друг относительно друга.

Таким образом, предложенный приближенный расчетный подход к определению исходных давлений прессования на начальных этапах реализации полного технологического цикла нанопорошковой электроконсолидации согласуется с рассмотренной практикой (рис. 1).

Наилучший качественный результат при шлифовании (рис. 2, кривая 3) при некотором фиксированном значении рабочего напряжения U_{np} электроразрядной инициации в зоне резания (или наиболее эффективном из нескольких значений U_{np} , заданных планом эксперимента) также, по-видимому, соответствуют следствию из закономерностей Пашена-Пенninga $P_{np} = k \cdot (P_{np} \cdot h)_{opt} / h$ в физико-геометрическом рассмотрении идентичными условий возбуждения электроразрядных эффектов в порах во всем объеме спекаемого консолидата и в приповерхностном слое шлифуемого твердого тела.

Заключение. Исходя из рассмотренного практического опыта, изложенные теоретические представления о механизме эффективного подавления пористости порошковых керамических консолидатов в их объеме (при спекании) и в их поверхностном слое (при шлифовании) применимы в подготовке производства и априорном задании оптимальных технологических регламентов предварительного формообразования изделий спеканием под давлением с прямым токоподводом и окончательного – алмазно-искровым шлифованием.

Работа выполнена по проектам НТУ «ХПИ» «Разработка технических решений специальной модернизации универсальных станков и технологических баз данных для алмазно-искрового шлифования труднообрабатываемых материалов» (0113U000425) и, совместно с ХНУ, УГАЖТ (г. Харьков) и СГУ (г. Сумы), «Многокомпонентные композиционные материалы и покрытия на основе наносоединений тугоплавких металлов» (0113U001340).

Список использованных источников: 1. Геворкян Э.С., Гуцаленко Ю.Г. Подбор оптимальных режимов горячего прессования нанопорошковых смесей Al_2O_3 –WC для инструментальных применений // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2010. – №5/1(47). – С. 13-18. 2. Стрельчук Р.М. Визначення особливостей та раціональних умов алмазно-іскрового шліфування твердих сплавів з нанорозмірних зерен монокарбіду вольфраму: Дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати та інструменти / Нац. техн. ун-т «Харк. політехн. ін-т». – Харків, 2011. – 193 с. 3. Гусев А.И. Нанокристаллические материалы: методы получения и свойства. – Екатеринбург: УрО РАН, 1998. – 199 с. 4. Физика и практика электроконсолидации под давлением вольфрамокарбидных материалов и композитов [электронный ресурс]: доклад [тезисы] / Ю.Г. Гуцаленко [НТУ «ХПИ»] // 2-я международная школа-семинар «Перспективные технологии консолидации материалов с применением электромагнитных полей»; г. Москва, Нац. исслед. ядер. ун-т «МИФИ», ЛЭМПНМ, 20-23 мая 2013 г. – М.: Нац. исслед. ядер. ун-т «МИФИ», 2013. – Электрон. дан. (32 с.: 26269538 байт). – Режим доступа: <http://lemc-lab.mephi.ru/content/file/news/gutsalenko.pdf>. 5. Физический энциклопедический словарь. – М.: Сов. энциклопедия, 1983. – 928 с.

Bibliography (transliterated): 1. *Gevorkjan Je.S., Gucalenko Ju.G. Podbor optimal'nyh rezhimov gorjachego pressovanija nanoporoshkovyh smesej Al₂O₃–WC dlja instrumental'nyh primenenij // Vostochno-evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij. – 2010. – №5/1(47). – S. 13-18.* 2. *Strel'chuk R.M. Viznachennja osoblivostej ta racional'nih umov almazno-iskrovogo shlifuvannja tverdih splaviv z nanorozmirenih zeren monokarbidi vol'framu: Dis. ... kand. tehn. nauk: 05.03.01 – procesi mehanichnoї obrobki, verstati ta instrumenti / Nac. tehn. un-t «Hark. politehn. in-t». – Harkiv, 2011. – 193 s.* 3. *Gusev A.I. Nanokristallicheskie materialy: metody poluchenija i svojstva. – Ekaterinburg: UrO RAN, 1998. – 199 s.* 4. *Fizika i praktika jelektrokonsolidacii pod davleniem volframokarbidiyh materialov i kompozitov [jelektronnyj resurs]: doklad [tezisy] / Ju.G. Gucalenko [NTU «ХПІ»] // 2-ja mezhdunarodnaja shkola-seminar «Perspektivnye tehnologii konsolidacii materialov s primeneniem jeklektromagnitnyh polej»; g. Moskva, Nac. issled. jader. un-t «MIFI», LJeMPNM, 20-23 maja 2013 g. – M.: Nac. issled. jader. un-t «MIFI», 2013. – Jelektron. dan. (32 s.: 26269538 bajt). – Rezhim dostupa: <http://lemc-lab.mephi.ru/content/file/news/gutsalenko.pdf>.* 5. *Fizicheskij jenciklopedicheskij slovar'. – M.: Sov. jenciklopedija, 1983. – 928 s.*

УДК 621.787:620.178.162

I.B. ГУРЕЙ, д-р техн. наук, Львів, Україна, Жешув, Польща

B.I. ГУРЕЙ, канд. техн. наук,

П.Р. ДМИТЕРКО, Львів, Україна

ВПЛИВ НАНОКРИСТАЛІЧНОГО ЗМІЦНЕННОГО ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ НА ЗНОСОСТОЙКІСТЬ СІРОГО ЧАВУНУ ПРИ ТЕРТІ З ГРАНИЧНИМ МАЩЕННЯМ

Показано, що фрикційне зміцнення суттєво підвищує зносостійкість пари чавун - чавун СЧ 20 при терті ковзанням з граничним мащенням. Так, при терті з граничним мащенням пари чавун - чавун СЧ 20 після фрикційного зміцнення інструментом з переривчастою робочою поверхнею величина зношування кілець зменшилася майже у 8 разів, а вкладок - у 6,5 разів у порівнянні з незміцненою парою тертя. При цьому зміцнювали лише одну деталь. Незміцнена пара тертя працездатна лише при питомому навантаженні до 2 МПа, зміцнена пара нормально працює і при 6 МПа.

Показано, что фрикционное упрочнение существенно повышает износостойкость пары чугун - чугун СЧ 20 при трении скольжения с граничной смазкой. Так, при трении с граничной смазкой пары чугун - чугун СЧ 20 после фрикционного упрочнения инструментом с прерывистой рабочей поверхностью величина изнашивания колец уменьшилась почти в 8,0 раз, а вкладышей - в 6,4 раза по сравнению с неупрочненной парой трения. При этом упрочняли только одну деталь. Неупроченная пара трения работоспособна только при удельной нагрузке до 2 МПа, упрочненная пара нормально работает и при 6 МПа.

It is shown, that the friction hardening essentially increases durability of grey cast iron SCh 20 under the friction with boundary lubrication. Thus, under friction with boundary lubrication of grey cast iron and grey cast iron SCh 20 couple the rings wear decrease in 8.0 times and the shells in 6.4 times after friction hardening by tool with intermittent work surface in comparison with non-hardening one. Only one part of the couple was hardened. Non-hardening couple of friction is workable for unit load 2 MPa, hardening couple work normally for 6 MPa.

Забезпечення довговічності деталей, яка значною мірою визначається якісним станом поверхневого шару, є актуальною задачею

сучасного машинобудування. При виготовленні деталей машин необхідно забезпечити оптимальні показники стереометрії поверхні та якості поверхневого шару, зокрема шорсткість, хвилястість, макро- і мікроструктуру матеріалу, твердість, величину і знак залишкових макронапружень тощо. Великий інтерес представляють нові технології обробки металевих поверхонь, які полягають у створенні нанокристалічної структури у поверхневих шарах. Створення такої структури шляхом керованої зміни розмірів зерен у нанометричному діапазоні (менше 100 нм) є потужним засобом конструювання нових функціональних матеріалів з унікальними властивостями і експлуатаційними характеристиками. Дослідження нанокристалічних матеріалів показали, що багато їх властивостей (вища границя міцності та текучості, більший опір зношуванню та втомному руйнуванню і інші) суттєво відрізняються від властивостей відповідних великокристалічних матеріалів, що обумовлено їх специфічною мікроструктурою. Створення масивних нанокристалічних матеріалів пов'язане зі значними технологічними труднощами [1, 2, 3, 4].

Новим перспективним напрямком отримання матеріалів з високою міцністю є формування метастабільних структур при високих швидкостях нагрівання й охолодження, що реалізуються при зміцненні методами з використанням висококонцентрованих джерел енергії. Характерною особливістю цих методів є дія з великими швидкостями високих питомих енергій на відносно малі об'єми металу і наступне їх швидке охолодження. До таких методів відноситься лазерна, електронно-променева, іонно-променева, іонно-плазмова, фрикційна та інші обробки [1, 2, 4, 5]. Структурно-фазові зміни, що проходять у процесі цих обробок суттєво залежить від хімічного складу і вихідної термообробки сталі. У загальному випадку вони характеризуються формуванням двох якісно різних структурних зон - зони вторинного гартування або так званого слаботравимого білого (нанокристалічного) шару і зони підвищеної травимості або зони термічного впливу зі структурою високошвидкісного відпуску.

Під час фрикційного зміцнення висококонцентрований потік енергії утворюється за рахунок високошвидкісного тертя зміцнювального інструменту-диску по оброблюваній деталі. При цьому у поверхневих

шарах металу проходить швидкісний нагрів до температур вище точки фазових перетворень (A_{c3}), одночасне швидкісне зсувне деформування та наступне швидкісне охолодження. Для збільшення зсувного деформування поверхневого шару у зоні контакту інструмент-деталь на робочій поверхні інструменту були нарізані поперечні пази. Ширину пазу вибирали з умови повного розвантаження зони контакту інструмент-деталь. Під час входження у контакт чергової гладкої частини інструменту проходить додаткове ударне навантаження зони контакту. Зона контакту циклічно нагрівається і охолоджується та на неї, крім зсувного деформування, додатково діють ударні навантаження. Усе це сприяє формуванню зміщеного шару та подрібнення його структури. У поверхневому шарі деталі утворюється специфічний структурно-напруженний стан металу – білий (нанокристалічного) шар, який представляє собою дрібноголковий мартенсит, карбіди високої дисперсності і залишковий аустеніт.

Метою роботи були дослідження впливу якості зміщеного шару на зносостійкість при терті ковзанням з граничним мащенням пари чавун СЧ 20 – чавун СЧ 20.

Дослідження зносостійкості при терті ковзанням з граничним мащенням проводили на установці УМТ-1 за схемою «кільце - кільце». Питоме навантаження змінювали в межах від 0,2 МПа до 1 МПа, швидкості ковзання від 0,5 м/с до 1,8 м/с, час випробувань пари тертя на одному етапі складав $t = 110$ год. У зону тертя подавали оливу «Індустріальне-30А» по 15–20 капель у хвилину.

Нерухомий зразок був з'єднаний з диференціальним давачем силовимірювача. Сигнал з нього записувався потенціометром типу КСП-4, що фіксував момент тертя за яким визначали коефіцієнт тертя. На цих зразках також кріпили термометричні перетворювачі з термоелектродами діаметром 0,2 мм, сигнали подавалися на триканальний потенціометр типу КСП-4, який фіксував інтегральну температуру на глибині 0,3–0,5 мм від поверхні тертя.

Перед початком випробувань усі пари тертя припрацьовували до стабілізації моменту тертя і прилягання спряжених поверхонь, яке оцінювали по наявності слідів тертя на площі не менше 90% робочої поверхні тертя кожного зразка.

За критерій величини зношування приймали втрату маси зразків після 20 год. тертя, яку визначали зважуванням на аналітичній вазі марки ВЛА-200Г-М з точністю $\pm 0,2$ мг.

Фрикційне зміщення (ФЗ) робочих поверхонь кілець проводили на модернізованому верстаті фірми *KNUTH* моделі *HFS 3063 VS*. Для збільшення інтенсивності зсувного деформування поверхневого шару металу в зоні контакту інструмент-деталь, на робочій поверхні інструмента нарізані поперечні пази (ПП), використовували також інструмент з гладкою робочою частиною (ГП).

Зразки досліджуваних пар тертя виготовляли з сірого чавуну СЧ 20 після штучного старіння. Зміцнювали робочі поверхні тільки рухомих зразків-кілець, нерухомі зразки були тільки шліфовані. При зміщенні обох тіл пари тертя ефект підвищення зносостійкості нівелюється. Для порівняння використовували незміщену пару тертя.

Досліди показали, що фрикційне зміщення інструментом як з гладкою так і з переривчастою (нарізаними поперечними пазами) робочою поверхнею значно підвищує зносостійкість пари тертя чавун-чавун СЧ 20. Так, при терті чавунних кілець зміщеніх інструментом як з гладкою робочою частиною, що працювали у парі з незміщеними (нерухомими) зразками при питомому навантаженні 2 МПа, величина зношування їх зменшилася майже у 5 разів, а нерухомими – у 4 рази. Після зміщення інструментом з переривчастою робочою частиною величина зношування рухомих зразків зменшилася майже у 8 разів, а нерухомих – у 6,5 разів у порівнянні з незміщеною парою тертя (рис. 1).

Збільшення питомого навантаження приводить до підвищення інтенсивності зношування. Найбільше інтенсивності зношування зростає при збільшенні питомого навантаження до 0,75 МПа. Подальше зростання питомого навантаження до 2 МПа приводить до часткового зменшення інтенсивності зношування. При цих умовах тертя, в основному, проходить окислювальний процес зношування. При збільшенні питомих навантажень більше 2 МПа переважаючим видом зношування для незміщеної шліфованої пари є схоплювання. При терті незміщеної пари з питомим навантаженням 4,5 МПа через 4-5 год. відбувається різке зростання

температури, руйнування мастильної плівки, приводить інтенсивне схоплювання, з'являються подряпини та починається патологічне

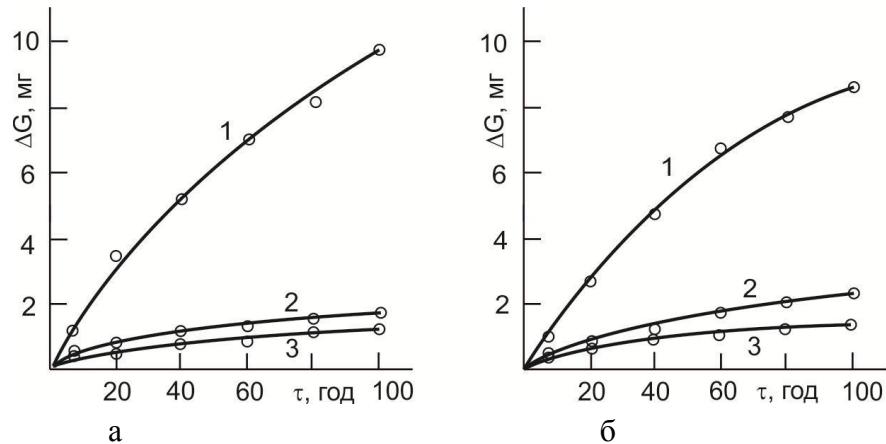


Рисунок 1 – Кінетика зношування пари чавун СЧ 20 – чавун СЧ 20
(а – рухомий зразок, б – нерухомий зразок) ($P = 2,0$ МПа; $V = 0,9$ м/с):
1 – ЕШ; 2 – ФЗ, ГП; 3 – ФЗ, ПП

зношування. Пара тертя стає непрацездатною (рис. 2). Збільшення питомого навантаження у 6 разів від 0,75 МПа до 4,5 МПа привело до збільшення інтенсивності зношування зміцнених кілець тільки у 1,8 – 2,3 разів, а незміцнених, які працювали з ними у парі – у 2,6 – 3,3 рази.

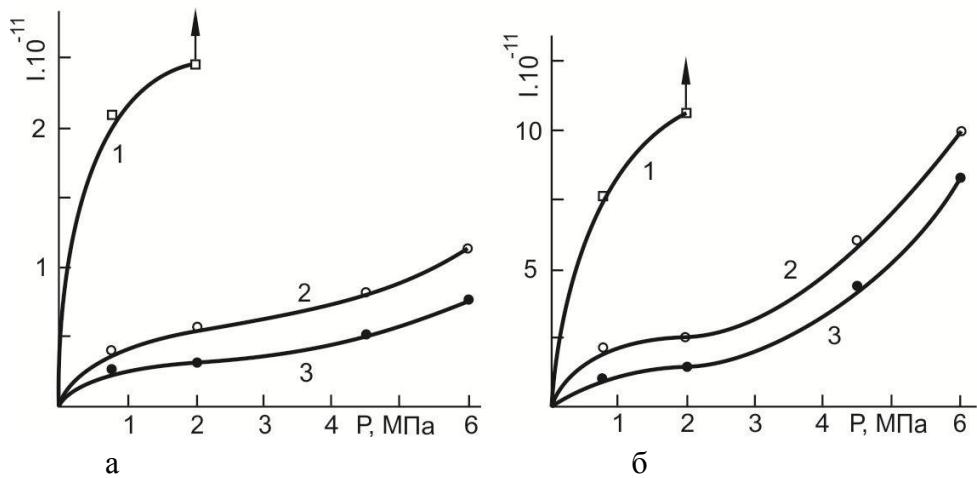


Рисунок 2 – Вплив питомого навантаження на зношування
пари СЧ 20 – чавун СЧ 20 (а – рухомий зразок, б – нерухомий зразок)
($V = 0,9$ м/с): 1 – ЕШ; 2 – ФЗ, ГП; 3 – ФЗ, ПП

Як показали досліди, білий шар значно впливає на температуру, яка виникає в зоні тертя (рис. 3). У початковий період тертя температура різко зростає і досягає максимального значення. Збільшення температури в зоні тертя сприяє утворенню на поверхні тертя деталей якісних вторинних структур. Утворені вторинні структури збільшують площу контакту і понижують фактичне питоме навантаження, що приводить до поступового зниження температури до встановленого значення.

Збільшення питомого навантаження приводить до інтенсивного росту температури в зоні тертя (рис. 4а). Значно менше підвищення температури зі збільшенням питомого навантаження спостерігається на змінених зразках. Так, при терті зразків у діапазоні навантаження від 0,75 до 4,5 МПа відбувається нормальній окислювальний процес тертя. Збільшення питомого навантаження вище 4,5 МПа приводить до різкого підвищення температури.

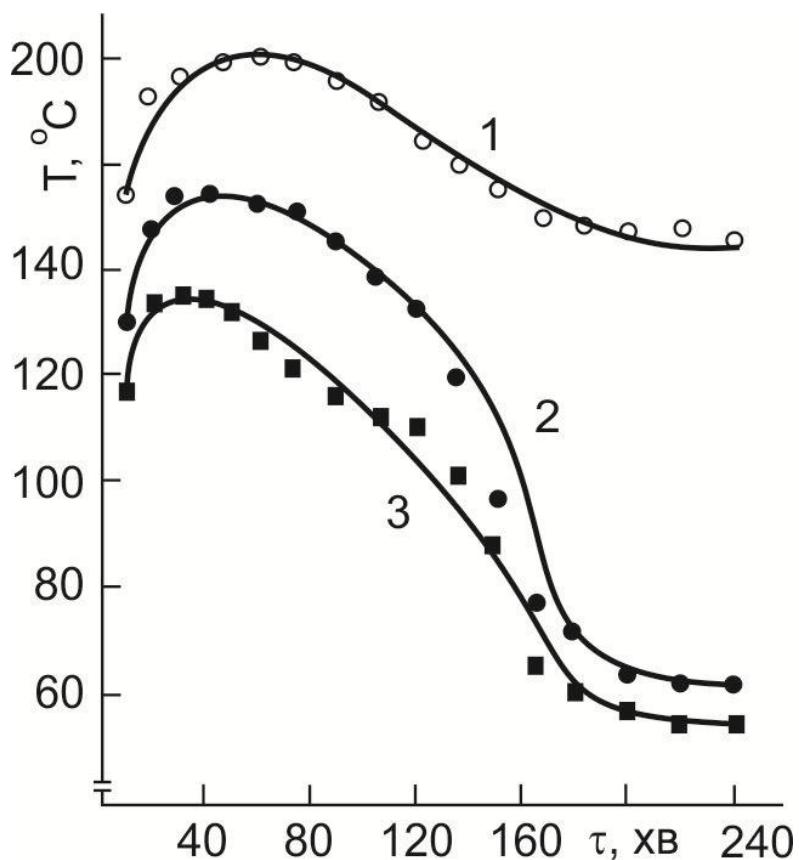
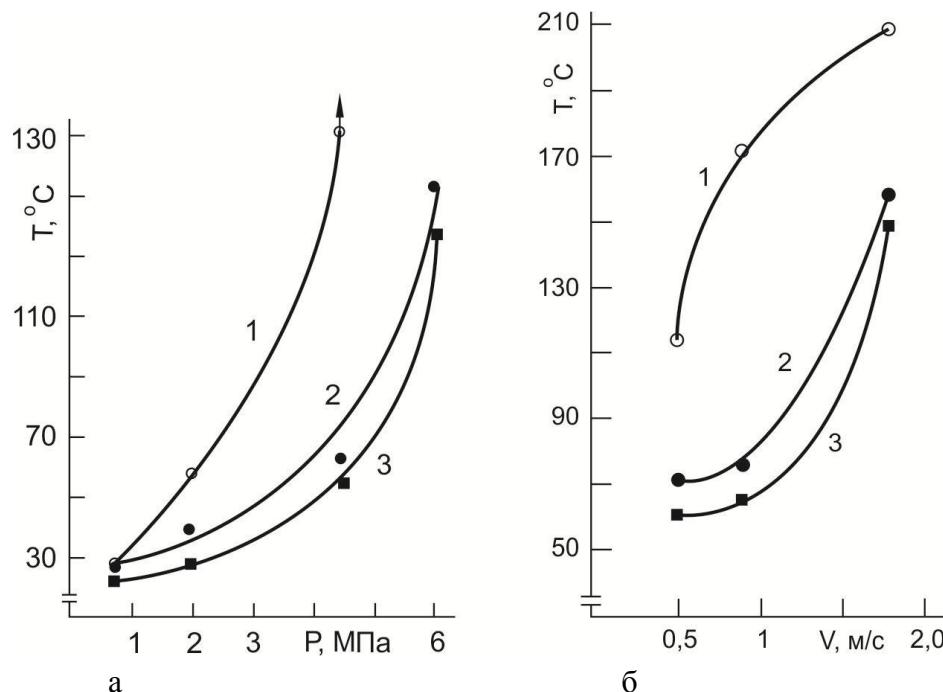


Рисунок 3 – Кінетика температури в зоні контакту пари чавун СЧ 20 - чавун СЧ 20 ($P = 4,5$ МПа; $V = 0,9$ м/с): 1 – ЕШ; 2 – ФЗ, ГП; 3 – ФЗ, ПП

Рисунок 4 – Вплив питомого навантаження ($V = 0,9 \text{ МПа}$)

(а) і швидкості ковзання ($P = 4,5 \text{ МПа}$) (б) на температуру в зоні контакту пари чавун СЧ 20 – чавун СЧ 20: 1 – ЕШ; 2 – ФЗ, ГП; 3 – ФЗ, ПП

Збільшення швидкості ковзання також приводить до підвищення температури в зоні тертя. Збільшення швидкості від 0,5 до 0,9 м/с не значно підвищує температуру в зоні контакту. Зі збільшенням швидкості ковзання вище 0,9 м/с температура в зоні тертя різко зростає. Це свідчить про інтенсивну зміну фазового і структурного стану металу в зоні тертя. Мінімальна температура в зоні тертя при всіх досліджуваних швидкостях ковзання зареєстрована на зразках після фрикційного зміцнення інструментом з перервною робочою частиною, максимальна – на незміцнених, шліфованих.

Фрикційне зміцнення зразків значно понижує коефіцієнт тертя на всьому діапазоні досліджуваних швидкостей тертя та питомих навантажень. На початку тертя величина коефіцієнта тертя різко зростає і досягає максимального значення, далі починає різко зменшуватися і доходить до деякого встановленого значення (рис. 5). За цей час на поверхні пари тертя створюються сприятливі вторинні структури, які підвищують зносостійкість пари тертя, відбувається структурна пристосуваність металу в зоні тертя.

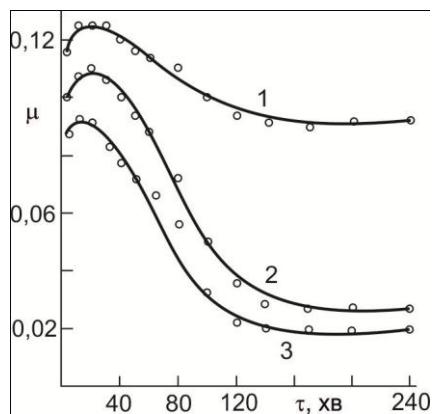


Рисунок 5 – Кінетика коефіцієнта тертя пари чавун СЧ 20 – чавун СЧ 20 ($P = 4,5$ МПа; $V = 0,9$ м/с): 1 – ЕШ; 2 – ФЗ, ГП; 3 – ФЗ, ПП

При терті незмінених зразків коефіцієнт тертя збільшується з ростом питомого навантаження. Це свідчить про те, що зі збільшенням питомого навантаження стає інтенсивніший процес схоплювання, відбувається зривання мікронерівностей, утворюються дрібні тверді частинки, які потрапляючи в зону тертя, діють як абразиви і збільшують величину зношування пари тертя, а також і коефіцієнта тертя (рис. 6). При терті кілець після фрикційного змінення величина коефіцієнта тертя знижується. У даному випадку основним видом тертя є окислювальне. Поверхні тертя зразків гладкі і блискучі. Спостерігається намашування продуктів зношування на робочу поверхню вкладок, схоплювання не спостерігається.

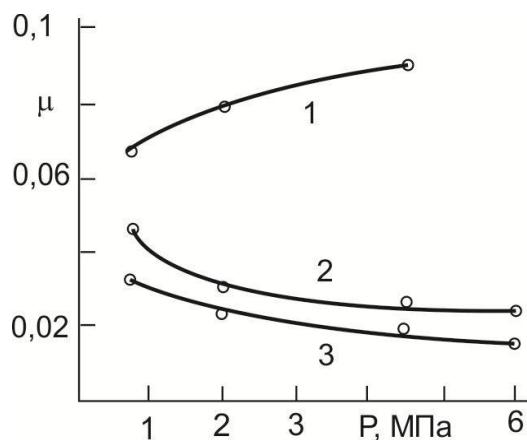


Рисунок 6 – Вплив питомого навантаження на коефіцієнт тертя пари чавун СЧ 20 – чавун СЧ 20 ($V = 0,9$ м/с): 1 – ЕШ; 2 – ФЗ, ГП; 3 – ФЗ, ПП

Металографічні дослідження показали, після фрикційного зміцнення у поверхневих шарах зразків утворюється нанокристалічний зміцнений (білий) шар. Товщина білого шару після зміцнення інструментом з гладкою робочою частиною складала 90–110 мкм, а з переривчастою – 130–150 мкм. Мікротвердість його становила 6,5 ГПа та 8,6 ГПа відповідно при мікротвердості основного металу 2,0 ГПа. Розмір зерен зміцненого шару склав 40–80 нм після фрикційного зміцнення інструментом з гладкою робочою частиною і 20–50 нм – з переривчастою робочою поверхнею (з нарізаними поперечними пазами). Густина дислокацій у білому шарі становила $(2,5\text{--}3,3)\cdot10^{11}$ см⁻² проти $(0,1\text{--}0,2)\cdot10^{11}$ см⁻² основної структури. У залишковому аустеніті кількість вуглецю досягала 1,6–1,9 % проти 0,8 % – у основній структурі.

При терті з граничним мащенням на поверхнях тертя утворюються вторинні структури, аналогічно як при терті без мащення. Вони складаються, в основному, з оксидів заліза і легуючих елементів, а також зі сполук активних елементів мастила з атомами металу. Елементи, які утворюють з матеріалом основи сполуки, можуть дифундувати як з навколошнього середовища, так і з об'єму металу.

Мастильні матеріали відіграють роль екрана, який зменшує поступлення кисню в зону тертя, так як вміст кисню у них значно менший, аніж у повітрі. При терті з відносно низьким рівнем структурно-термічної активації цього кисню є достатньо для протікання складних трибохімічних реакцій. Коли тертя проходить у важких умовах, рівень структурної активації сильно зростає. Вмісту кисню, який адсорбується на ювенільних поверхнях може бути недостатньо для утворення якісних вторинних структур [6]. Для протікання складних трибохімічних реакцій на поверхнях тертя витрачається також енергія, накопичена у вигляді енергії дислокацій. Підвищена густина дислокаций активує поверхню, збільшує швидкість дифузії і хімічних реакцій, а також прискорює утворення оксидних плівок.

На площинках контакту, де виникають значна пластична деформація і висока локальна температура, проходить руйнування мастильної плівки з настанням адгезії ювенільних поверхонь зі схоплюванням металу на мікроділянках. Завдяки рухливості молекул мастильного матеріалу на

поверхнях тертя адсорбція протікає з великою швидкістю, що дозволяє відновлювати суцільність граничної плівки.

На основі проведених досліджень можна зробити висновок, що фрикційне зміцнення з використанням інструменту з переривчастою робочою поверхнею деталей з сірого чавуну суттєво підвищує працездатність пар тертя при зношуванні з граничним мащенням у широкому діапазоні швидкостей тертя та питомого навантаження.

Список використаних джерел: 1. Шевченко С.В., Стеценко Н.Н. Наноструктурные состояния в металлах сплавах и интерметаллических соединениях: методы получения, структура, свойства // Успехи физ. мет., 2004. – Т. 5. – с. 219-255. 2. Васильев М.А., Прокопенко Г.И., Филатова В.С. Нанокристаллизация металлических поверхностей методами интенсивной пластической деформации (обзор) // Успехи физ. мет., 2004. – Т. 5. – с. 345-399. 3. Gleiter H. Nanostuctured materials: basic concepts and microstructure. / Acta mater. – 2000. – V. 48. – P. 1-29. 4. Альмов М.И., Зеленский В.А. Методы получения и физико-механические свойства объемных нанокристаллических материалов. – М.: МИФИ, 2004. – 52 с. 5. Поверхностное упрочнение металлов / Ю.И. Бабей, Б.И. Бутаков, В.Г. Сысоев – К.: Наукова думка, 1995. – 256 с. 6. Поверхностная прочность материалов при трении /Б.И.Костецкий, И.Г.Носовский, А.К.Караулов и др. - К.: Техника, 1976. - 296 с.

Bibliography (transliterated): 1. Shevchenko S.V., Stecenko N.N. Nanostruktturnye sostojaniya v metallah splavah i intermetallicheskikh soedinenijah: metody poluchenija, struktura, svojstva // Uspehi fiz. met., 2004. – T. 5. – s. 219-255. 2. Vasil'ev M.A., Prokopenko G.I., Filatova V.S. Nanokristalizacija metallicheskikh poverhnostej metodami intensivnoj plasticheskoy deformacii (obzor) // Uspehi fiz. met., 2004. – T. 5. – s. 345-399. 3. Gleiter H. Nanostuctured materials: basic concepts and microstructure. / Acta mater. – 2000. – V. 48. – P. 1-29. 4. Alymov M.I., Zelenskij V.A. Metody poluchenija i fiziko-mehanicheskie svojstva ob#emnyh nanokristallicheskikh materialov. – M.: MIFI, 2004. – 52 s. 5. Poverhnostnoe uprochnenie metallov / Ju.I. Babej, B.I. Butakov, V.G. Sysoev – K.: Naukova dumka, 1995. – 256 s. 6. Poverhnostnaja prochnost' materialov pri trenii /B.I.Kosteckij, I.G.Nosovskij, A.K.Karaulov i dr. - K.: Tehnika, 1976. - 296 s.

УДК 621.7

В.Л. ДОБРОСКОК, д-р техн. наук,
Я.Н. ГАРАЩЕНКО, канд. техн. наук,
В.И. ВОРОНКОВ, канд. техн. наук,
М.А. КАЛИБЕРДА, Харків, Україна

МОДЕРНИЗАЦІЯ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПЛАЗМЕННОГО РАСКРОЯ ЛИСТОВЫХ ЗАГОТОВОВОК МОД. «ХАРЬКОВ-П»

В роботі представлено результати вдосконалення конструкції установки для плазмового розкрою листових заготовок мод. «Харків-П», що виготовляється на ПРАТ «Укроргверстатінпром» (Харків, Україна).

Зроблена спроба вдосконалити існуючу конструкцію установки, підвищивши технічні характеристики шляхом вибору нової схеми базування порталу і системи керування рухами з використанням мехатронних модулів.

В работе представлены результаты совершенствования конструкции установки для плазменного раскroя листовых заготовок мод. «Харьков-П», изготавливаемой на ЧАО «Укроргстанкинпром» (Харьков, Украина). Сделана попытка усовершенствовать существующую конструкцию установки, повысив технические характеристики путем выбора новой схемы базирования портала и системы управления движениями с использованием мехатронных модулей.

The results of plant construction improvement for plate stocks plasma cutting (model "Kharkov-P") are presented in that work. It has been manufactured in Private Company "Ukrorgstankinprom" (Kharkov, Ukraine). An attempt to improve the existing design of the plant is made through increasing the machine data by choosing a new scheme of gantry location and a control system of movements with using mechatronic modules.

Введение

Технология плазменной резки разработана более 50 лет тому назад. Первые установки плазменной резки появились в 60-е годы прошлого столетия. Эти установки обладали рядом недостатков – большие габариты, низкая точность и высокая стоимость, поэтому приобретались только крупными промышленными предприятиями. В начале XXI века плазменное резание стало более доступным и получило более широкое

распространение в разных отраслях промышленности благодаря тому, что установки стали компактнее, дешевле и производительнее. Но постоянное повышение требований к точности раскroя листовых заготовок требует дальнейшего совершенствования конструкции таких установок [1-4].

В статье представлены результаты совершенствования конструкции установки для плазменного раскroя листовых заготовок мод. «Харьков-П», изготавливаемой на ЧАО «Укрогстанкинпром» (Харьков, Украина). Работа выполнялась на кафедре "Интегрированные технологии машиностроения" им. М.Ф. Семко Национального технического университета "Харьковский политехнический университет".

Модернизация существующей плазменной установки «Харьков-П» осуществлялась для повышения ее технических характеристик путем применения мехатронных модулей. Для разработки конструкторской документации и обеспечения рациональной модернизации установки проектирование осуществлялось на базе 3D моделирования в системе Solidworks. Для повышения точности резки была улучшена система управления и выполнен расчет коэффициентов для корректировки погрешности перемещений.

Особенности установки для плазменного раскroя «Харьков-П»

Стационарная автоматизированная машина предназначена для плазменной вырезки деталей (без последующей обработки кромок под сварку) из листовой стали различных марок, а также сплавов на основе меди и алюминия. Точность и качество поверхности реза деталей соответствуют П1202, К1202 ГОСТ 14792.

Структура условного обозначения машины «М ППЛП» соответствует схеме приведенной в ГОСТ 5614-74 [5]: модернизированная машина (М); исполнение по конструктивной схеме - порталная (П); исполнение по способу резки - плазменная (Пл.); программируемая (П).

Основные характеристики установки.

Габаритные размеры обрабатываемого листа $a \times b$: $3000 \times 2500 (\pm 20)$ мм.

Максимальная толщина разрезаемого листа:

- для стали конструкционной углеродистой - 32 мм;
- для стали конструкционной легированной и алюминия - 25 мм.

Скорость резания в зависимости от толщины листа:

- для стали конструкционной углеродистой - $5970 \div 130$ мм/мин;
- для стали конструкционной легированной - $6080 \div 250$ мм/мин;
- для алюминия - $6100 \div 125$ мм/мин.

Скорость резания при разрезании стальных листов толщиной до 20 мм - $1120 \div 540$ мм/мин.

Скорость ускоренных перемещений суппорта (Y) и портала (X) – 20 000 мм/мин.

Погрешность повторения контура – до 0,1 мм.

Средства автоматизации - УЧПУ; Тип NC-210.

Режим работы - «Автомат».

Количество суппортов - 1 шт.

Вертикальный ход перемещения режущей головки - 250 мм.

Установленная мощность сервоприводов, не более - 2,4 кВт.

Установленная мощность генератора плазмы - 30 кВт.

Ширина колеи рельсового пути – 2 000 мм.

Энергоноситель процесса – воздух.

Давление рабочего газа - $0,48 \div 0,85$ МПа.

Расход рабочего газа - $208 \div 260$ л/мин.

Количество воздуха, удаляемого из рабочей зоны – до $5850 \text{ м}^3/\text{час}$.

Габаритные размеры $a \times b \times h \Rightarrow 4760 \times 2650 \times 1650$.

Масса – 1 800 кг.

Конструкция и особенности работы основных частей установки

Исполняющий механизм, перемещающийся по рельсовому пути (координата X), является порталом, по направляющим которого перемещается каретка поперечно хода (координата Y), с установленным на ней блоком плазменного резака.

Портал состоит из двух литых корпусных деталей, соединенных балкой и коробом. Портал перемещается по рельсовому пути на четырех катках, закрепленных на литых корпусных деталях. К корпусу портала крепится редуктор продольного хода.

Короб представляет собой сварную конструкцию, в которой расположены кабели и шланги, подводящие к каретке поперечного хода электроэнергию, рабочий газ и воду для охлаждения резака.

Выходные шестерни всех редукторов входят в зацепление с зубчатыми рейками рельсового пути. В конструкции редукторов предусмотрена автоматическая выборка люфтов в зубчатых зацеплениях, возникающих в результате погрешностей изготовления и износа. Выборка люфтов достигается посредством разворота одной цепи редуктора относительно другой с помощью пружин и кулачка. Редукторы продольного хода соединены с приводом посредством промежуточных валов и мембранных муфт. Привод продольного хода состоит из двухступенчатого редуктора и электродвигателя.

Балка портала на концах имеет цапфы для крепления к корпусным деталям портала. Блок плазменного резака размещается на каретке поперечного хода, перемещающейся по направляющим портала при помощи привода состоящего из безлюфтового редуктора и электродвигателя. На каретке расположен суппорт обеспечивающий подъем - опускание блока резака (по координате Z). Привод подъема суппорта состоит из электродвигателя и трехступенчатого редуктора с самотормозящей червячной парой.

Рельсовый путь монтируется из направляющих кареток. Крепление рельсов и регулировка в горизонтальной плоскости осуществляется с помощью болтов и резьбовых втулок. К рельсам крепятся зубчатые рейки для перемещения портала машины.

Подвод питания к машине осуществляется по кабелям и шлангам, расположенным в двухрядной цепи. Эта цепь собрана из штампованных звеньев.

Для поддержания постоянного зазора между резаком и поверхностью листа, на каретке установлен стабилизатор высоты, автоматически управляющий приводом.

Блок микроплазменного резака состоит из резака и кабель-шланга для подведения плазмообразующего газа и тока режущей дуги.

Блок управления установлен на правой стороне корпуса портала. В блоке управления расположены следующие элементы:

- устройство ЧПУ, хранящее исходную информацию, выполняющее расчет параметров движения и технологические команды, выдающее и выполняющее анализ путевой информации (запись программы осуществляется в форматах ESSI и ISO);
- пульт управления;
- блоки приводов (серво-усилители);
- система электропитания;
- блок питания.

На коробе портала закреплена установка для плазменной резки РС – 100.

В комплект поставки машины входит безлюфтовая чертилка. Для тестового прочерчивания чертилка крепится вместо резака. Она предназначена для отладки программы путем прочерчивания заданного контура на поверхности заготовки.

Структурная схема организации управления перемещением резака

Реализация управления перемещением резака осуществлялась с помощью мехатронных модулей.

Использовались сервоприводы ECS которые сконструированы для обеспечения высокодинамичных многоосевых перемещений. В системах Lenze точная синхронность многоосевых скоординированных движений достигается математической обработкой синхронных участков рабочих позиций с циклом менее 1 мс. ECS оптимизированы для порталных систем, робототехники, манипуляторов и упаковочных машин (рис. 1) [6].

Преимущества сервосистемы ECS:

- осевые модули выдерживают перегрузку до 200%;
- обмен энергией по общей шине постоянного тока;
- общие модули источника питания;
- упрощенная установка и монтаж;
- гибкая конфигурация для адаптации под заданные условия.

Для реализации структурной схемы использовали элементы, выбранные из каталога «СВ Альтера» [7].

Рассматриваемый мехатронный модуль состоит из следующих компонентов:

- Трехфазный асинхронный двигатель серии Lenze Small Drive тип 13.710.55 мощностью 90 Вт, 2700 об/мин.
- Планетарный редуктор SPL 42-2NVCR передаточное отношение $i = 13.73$, максимальный крутящий момент $M_{max} = 7.5 \text{ Н}\cdot\text{м}$.
- Преобразователь частоты ПЧ Lenze 8200 Vektor мощностью 250 Вт.

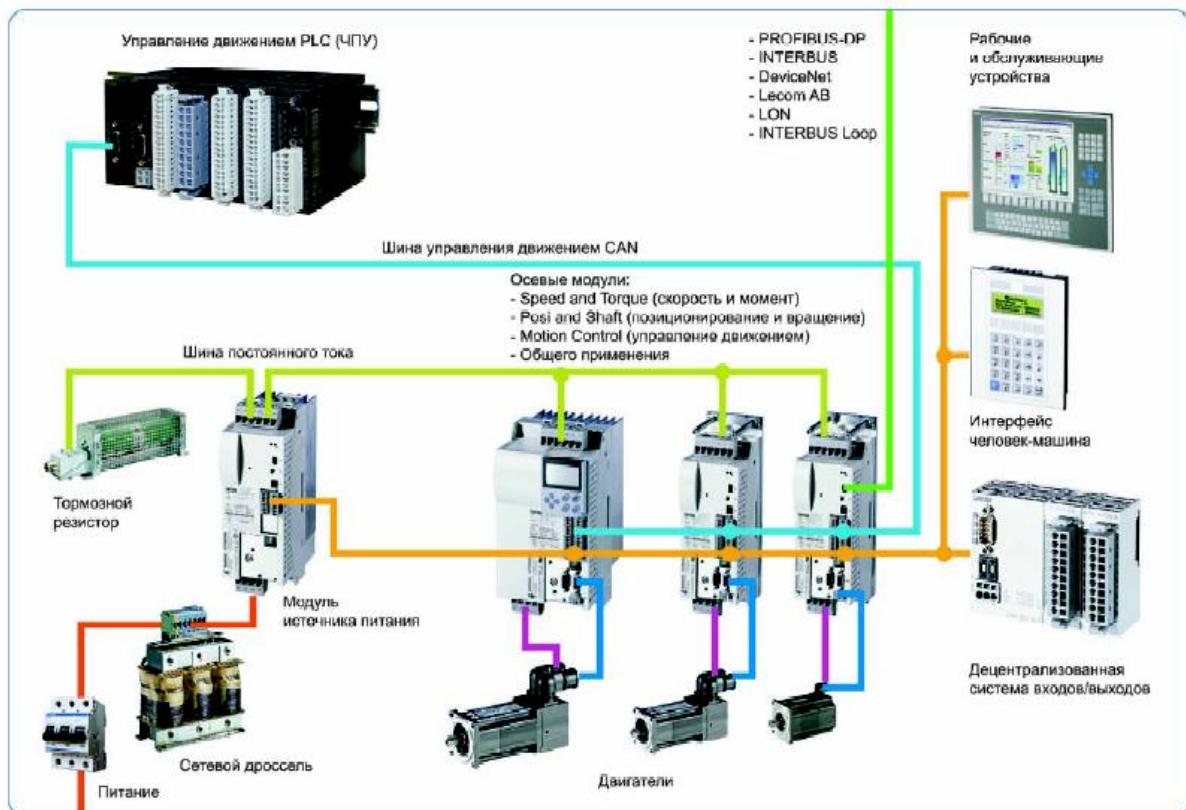


Рисунок 1 – Мехатронные модули

Аналіз конструкції прототипа установки плазменної резки «Харків-П»

В ході аналіза конструкції прототипа «Харків-П» на ЧАО «Укрогстанкінпром» був розглянутий механізм продольного переміщення порталу (схема представлена на рис. 2) для оцінки погрешності позиціонування по координаті X .

На рис. 3 приведена модель механізма продольного переміщення существуючої плазменної установки.

Приводом данного механізма служить мехатронний модуль Lenze GPA02 2S GSN 09 HN41 7, корпус которого закреплен на плате, прикрепленной к уголку каретки. Ролики 5 каретки 1 установленные с зазором h , перемещаются по направляющему рельсу 3. Каретка 2 приходит в движение от мотор-редуктора 7 через вал 8. На каретки устанавливается

портал для продольного перемещения резака. При первом запуске вал 8 соединяющий каретки перемещается перпендикулярно направляющим рельсам, но при смене движения направления конец вала, от которого приходит в движение каретка 2 начинает запаздывать из-за зазора h с которым установлены ролики 5 каретки 1. Следовательно, возникает перекос вала, а с ним и погрешность позиционирования $\Delta/2$. При последующей смене направления движения погрешность удваивается и составляет Δ .

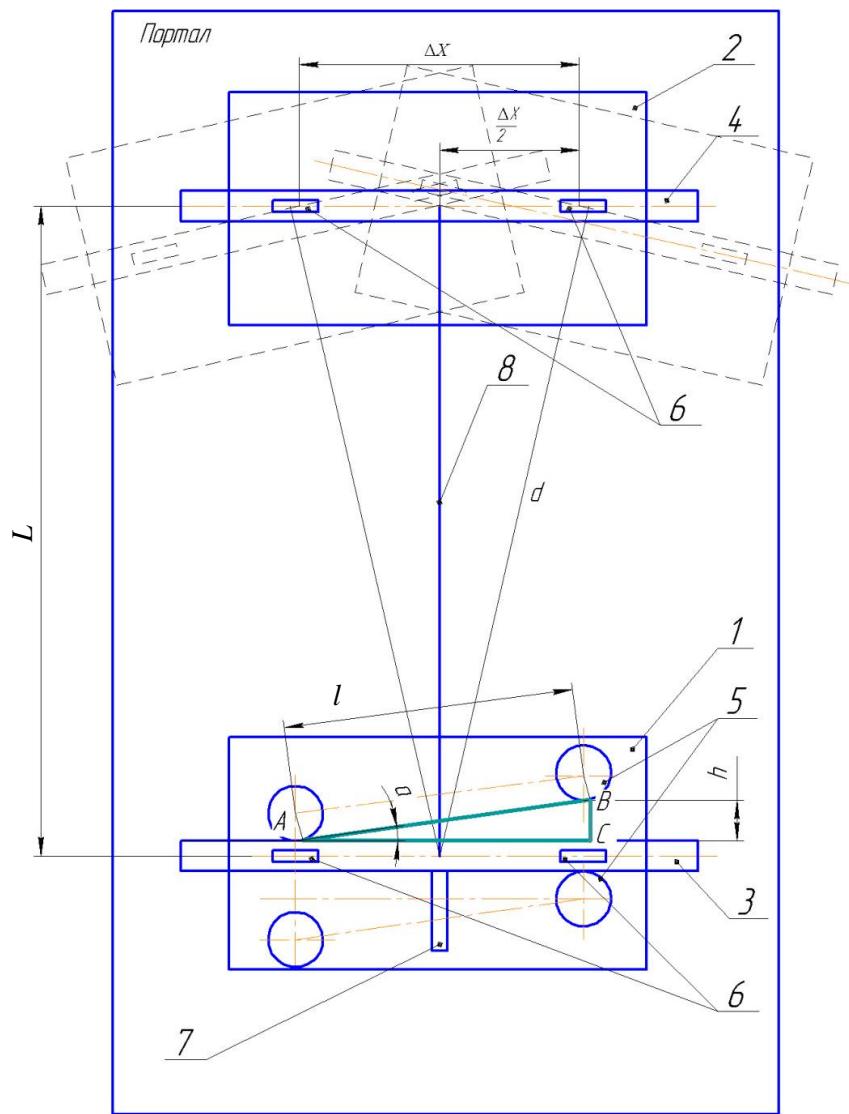


Рисунок 2 – Схема механизма продольного перемещения портала:
1 – каретка левая; 2 – каретка правая; 3 – рельс левый; 4 – рельс правый;
5 – ролик боковой; 6 – ролик верхний; 7 – мехатронный модуль; 8 – вал

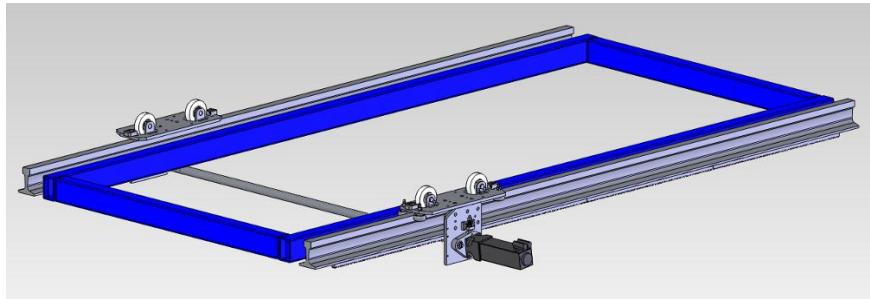


Рисунок 3 – Общий вид механизма продольного перемещения существующей плазменной установки «Харьков–П»

Для расчета погрешности позиционирования рассмотрим прямоугольный треугольник АВС. Принимаем ВС = h , АВ = l (расстояние от центра ролика до оси вала). Угол α – перекос роликов 5 относительно рельса 1. Проведем перпендикулярный отрезок d к отрезку АВ до пересечения с осью рельса 4 и полученное расстояние от отрезка d до оси вала и будет погрешностью ($\Delta/2$). Полная погрешность составляет удвоенное расстояние от отрезка d к оси вала.

Для расчета погрешности перемещения по координате X, определим угол перекоса роликов по следующей известной зависимости:

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{h}{l}\right), \quad (1)$$

где h – зазор установки роликов, $h = 0.05$ мм;

l – расстояние от центра ролика до оси вала, $l = 280$ мм.

$$\Delta = 2L \sin \alpha = 2h \frac{L}{l}, \quad (2)$$

где L – расстояние между рельсами, $L = 2000$ мм.

Расчетная погрешность позиционирования с учетом значений параметров установки составляет $\Delta \approx 0,72$ мм. Такая величина погрешности определяет существующую плазменную установку до 2-го класса точности в соответствии с ГОСТ 5614-74 «Машины для термической резки металлов. Типы, основные параметры и размеры».

В результате анализа существующей конструкции мод. «Харьков-П» выявлено следующие недостатки: конструкция имеет люфты, низкую жесткость, существенную погрешность позиционирования; достаточно

сложную предварительную настройку установки, недостаточно продолжительный срок эксплуатации.

Для уменьшения погрешности позиционирования по координате X был предложен механизм выборки люфтов компенсирующей пружиной. Модернизированный механизм продольного перемещения портала представлен на рис. 4. Центр установочного поворота мехатронного модуля размещен в делительной плоскости рейки. Это обеспечило отсутствие крутящего момента способствующего перекосу и соответственно снижение погрешности позиционирования.

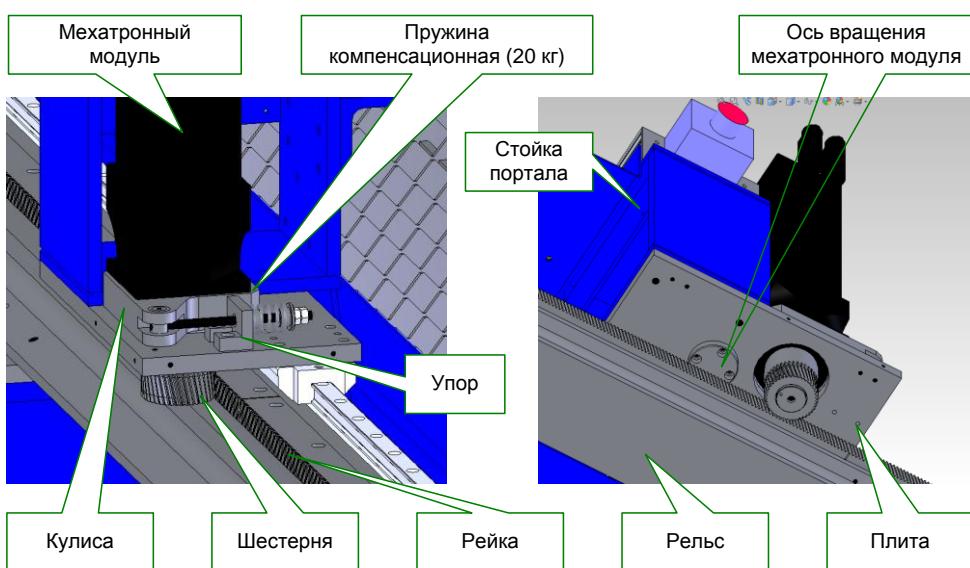


Рисунок 4 – Выборка люфтов в механизме продольного перемещения портала

В качестве аппарата плазменной резки использован источник Hypertherm Powermax 1650. Данный источник является наиболее эффективным и мощным аппаратом плазменной резки с помощью воздуха в сегменте продукции компании Hypertherm для резки листового металла толщиной до 32 мм. Ток плазмы можно регулировать в достаточно больших пределах до 100 А. При использования режима непрерывной резки (без выключения вспомогательной дуги) возможна резка различных сетчатых конструкций.

Пневмосистема установки служит для опускания / поднятия плазменной горелки и подвода воздуха в качестве плазмообразующего газа.

Подача сжатого воздуха осуществляется из заводской магистрали или автономного компрессора. Для поддержания давления воздуха используется редукционный клапан, контроль заданного давления осуществляется манометром.

На рис. 5 представлен резак плазменной резки и емкостной датчик.



Рисунок 5 – Резак плазменной резки

Система управления мехатронными модулями перемещения рабочего органа установки

В модернизированной установке использовались мехатронные модули для установок с числовым программным управлением. Проведен расчет ПИ-регулятора для управления двигателем постоянного тока.

Параметры цифрового регулятора перемещений рабочего органа и другие параметры системы выбирались с точки зрения их аппаратной реализуемости. Цифровым системам управления присущи физические ограничения, определяемые дискретными процессами и элементами, которые отсутствуют в аналоговых системах. Например, период квантования в цифровых системах управления задается таймером и зависит от скорости выполнения процессором арифметических операций и инструкций. Поэтому аппаратное обеспечение цифровой системы управления накладывает ограничения на частоту квантования [8].

Другими ограничениями при проектировании цифровой системы управления является конечная длина слова. Длина слова в большинстве микропроцессоров - 8 бит.

Рассмотрим некоторые аспекты программирования реальной системы на основе микропроцессорного устройства. Возможный вариант использования микропроцессора (МП) в качестве регулятора показан на рис. 6. В этом случае объект управления представлен двигателем постоянного тока (ДПТ), нагрузкой и усилителем мощности (УМ). Аналоговый объект и микропроцессор связаны через аналого-цифровой (АЦП) и цифро-аналоговый (ЦАП) преобразователи. Таким образом, вся система должна рассматриваться как цифровая система управления с периодом квантования T секунд [9].

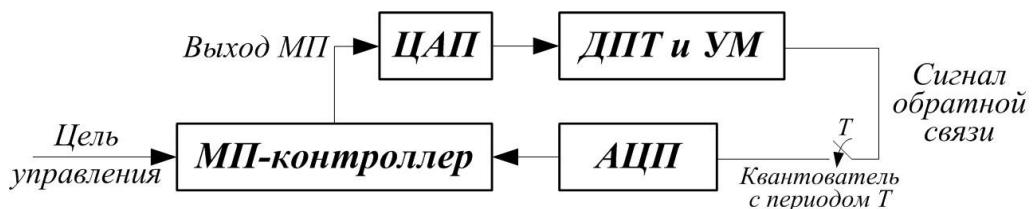


Рисунок 6 – Структурная схема микропроцессорной системы управления исполнительным электродвигателем

В принятой микропроцессорной системе управления двигателем для определения начала следующего периода квантования применен аналоговый программный таймер, который вырабатывает импульс каждые T секунд.

Управление двигателем постоянного тока с помощью ПИ-регулятора реализовано микропроцессорной программой. На начальной стадии решения задачи ПИ-регулятор описывается дифференциальным уравнением. Затем это уравнение приводится к дискретной функции с применением одного из приближенных численных методов и программируется на языке микропроцессора [10].

Моделирование модернизированной установки для плазменного раскроя листовых заготовок мод. «Харьков-П1»

Проектирование всех механизмов установки «Харьков-П1» осуществлялось 3D моделированием в системе SolidWorks.

Одним из самых главных узлов плазменной установки является стол, состоящий из 195 деталей. Стол представляет собой разборную конструкцию для удобства транспортировки. Он имеет быстросменные ребра жесткости, на которые укладывается разрезаемый металл. По мере выгорания ребер жесткости их можно менять местами, прежде чем возникнет необходимость замены, что резко сокращает затраты на эксплуатацию. По обеим сторонам стола расположены рельсовые направляющие для горизонтальной X координаты перемещения резака. На правом рельсе расположены путевые выключатели, ограничивающие перемещение резака по (координате X). На рис. 7 представлена регулировка рельса: в горизонтальном (болт 1) и вертикальном (болт 2) направлениях. Такой подход позволил существенно упростить монтаж и регулировку установки.

На рис. 8 представлена 3D модель стола плазменной установки «Харьков-П1».



Рисунок 7 – Схема
регулировки рельса

Рисунок 8 – Стол плазменной установки
«Харьков-П1»

Не менее важным узлом плазменной установки является портал для продольного перемещения резака, состоящий из 108 деталей. Портальные направляющие устанавливаются вдоль стола. Длина направляющих определяет максимальную длину разрезаемого листа (координата X). На практике, при большой загрузке установки, рекомендуется выбирать общую длину по координате X в два раза меньше длины разрезаемого листа. Во время выполнения раскроя на одной половине машины, на другой половине можно снимать детали и устанавливать новый листовой материал.

Портал передвигається вдоль стола по порталним направляючим. Длина портала визначає максимальну ширину разрезаного листа (координата Y). На лицьовій стороні портала також кріпяться путеві вимикачі, обмежуючі переміщення резака. В торцах портала встановлені кнопки аварійного вимикання установки.

Портал приводиться в рух двома согласованими мехатронними модулями (рис. 9). Точність його позиціонування становить $\pm 0,10$ мм/м.

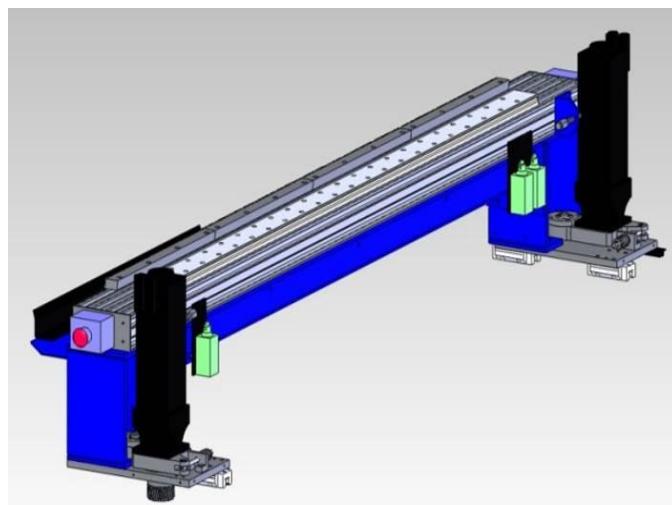


Рисунок 9 – Портал с двумя мехатронными модулями

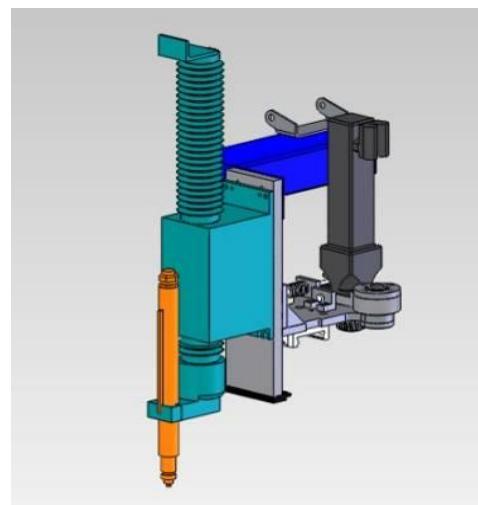


Рисунок 10 – 3D модель суппорта

Поперечне переміщення резака в установці забезпечується суппортом. Суппорт складається з 35 деталей. Суппорт переміщується вдоль портала з допомогою мехатронного модуля (координата Y). На суппорте встановлено держатель плазмотрона, система MSX-750 CAP призначена для його вертикального переміщення (координата Z) і слеження за постійнотою зазором. Трехмерна модель суппорта представлена на рис. 10.

Для установки була спроектована спеціальна дымоотводяча шлакова ванна, в склад якої входять 73 деталі. Дим, що утворюється під час розрізання, відводиться з-під всієї поверхні робочого стола з допомогою повітровода, що виключає попадання продуктів горіння в приміщення. Шлакова ванна кріпиться поводками на торцах портала. Совместне переміщення портала і шлакової ванни дає можливість

отводить большую часть продуктов сгорания образующихся при раскрое. На рис. 11 представлена трехмерная модель шлаковой ванны.

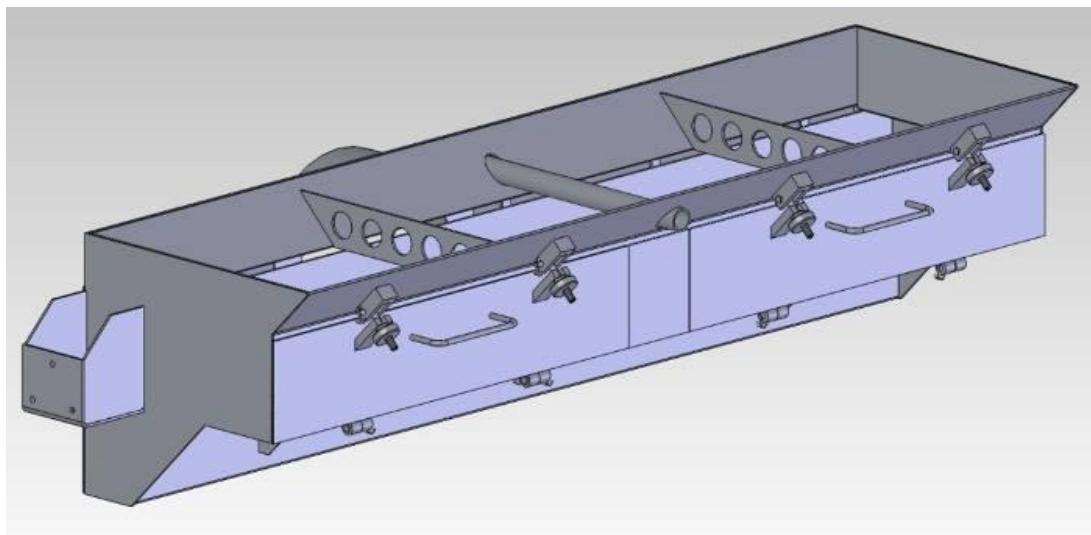


Рисунок 11 – 3D модель шлаковой ванны

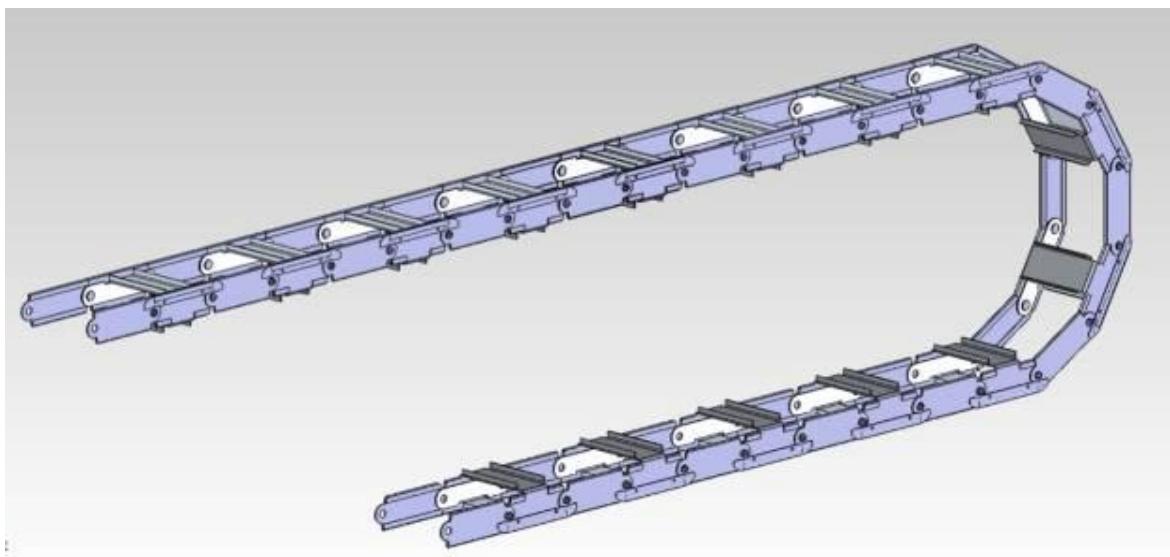


Рисунок 12 – 3D модель кабельной цепи суппорта-стола

Создана модель патрубка предназначенного для соединения приемника (из которого выходят продукты горения) с централизованной вытяжкой и системой фильтрации газов вредных для здоровья оператора.

Предусмотрены две кабельные цепи предназначенные для защиты

электрических кабелей, гидравлических и пневматических шлангов, соединенных с подвижными частями оборудования. Кабельные цепи, отличаются между собой только длиной. В цепи соединяющей суппорт с порталом 21 звено, а в цепи соединяющей портал со столом 31 звено. Трехмерная модель цепи портала-стола представлена на рис. 12.

Для поддержки трубы TR01 в установке предусмотрена струна Ø4 мм, которая расположена под рабочей частью стола и натянута между двумя тягами, закрепленными на патрубке и кронштейне. На струне через пружинное кольцо крепятся хомуты, которые не дают провисать трубе TR01.

Проектирование сборки плазменной установки

При проектировании прототипа плазменной установки был использован метод "снизу вверх". Созданные детали и сборочные единицы были помещены в общую сборку с наложением между ними сопряжений (рис. 13, 14).

Базовой деталью в общей сборке является стол, поэтому наложение сопряжений начинали со стола. Последующее сопряжение всех составляющих деталей и сборочных единиц выполнялось с учетом последовательности сборки установки.

Созданная 3D модель модернизированной установки мод. «Харьков-П1» представлена на рис. 14.

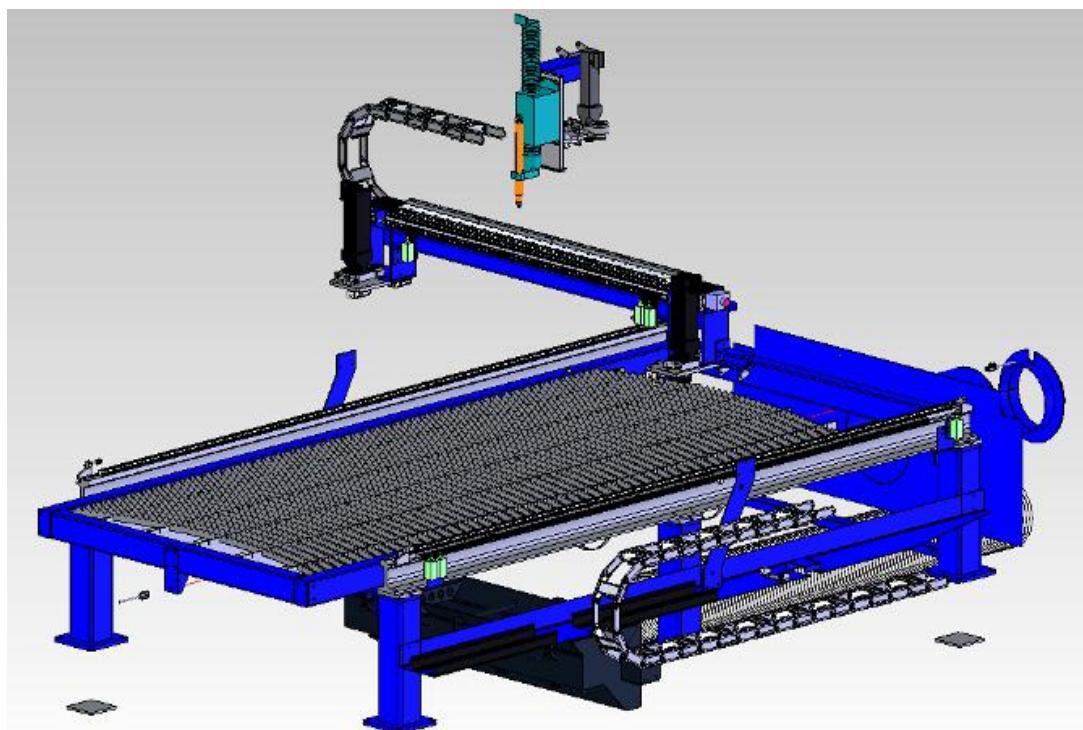


Рисунок 13 – Плазменная установка без наложения сопряжений

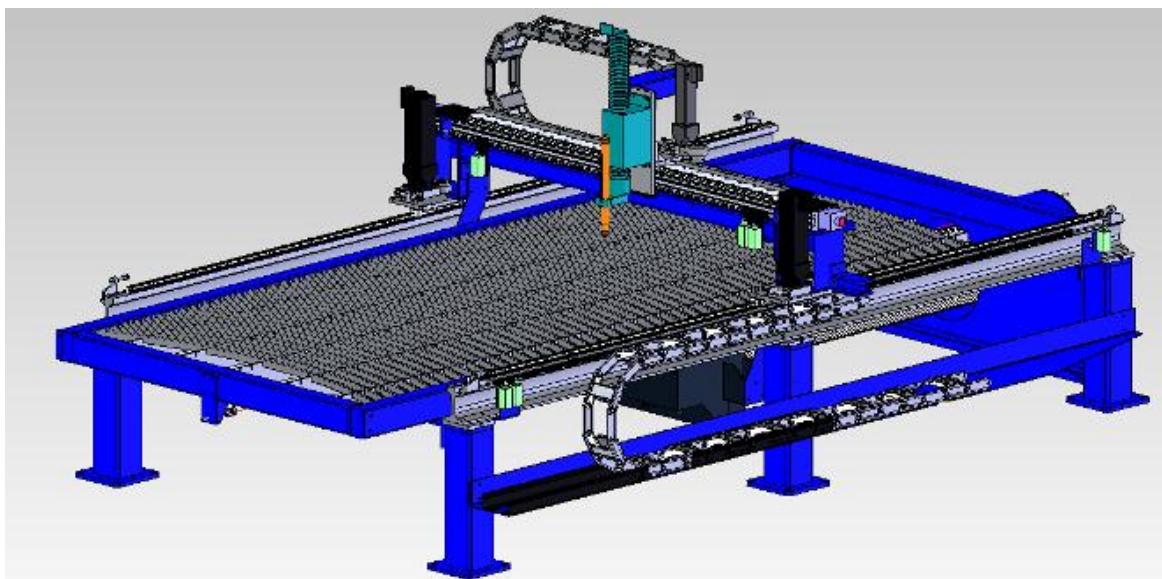


Рисунок 14 – 3D модель плазменной установки мод «Харьков-П1»

Выводы

Выполнен анализ конструкции прототипа установки плазменной резки "Харьков-П". Проведен расчет коэффициентов для корректировки погрешности перемещений. Рассмотрена система управления мехатронными модулями перемещения рабочего органа установки.

Повышение точности плазменной резки обеспечивается модернизацией конструкции установки и выбором рациональной системы управления рабочими перемещениями.

Для решения поставленной задачи разработана в CAD системе SolidWorks 3D модель установки «Харьков-П1». В усовершенствованной модели устранены недостатки, связанные с недостаточной точностью позиционирования за счет выборки люфтов в механизме продольного перемещения портала.

Список использованных источников: 1. Ширшов И.Г., Котиков В.Н. Плазменная резка. - М.: Машиностроение, 1987. - 226 с. 2. Быховский Д.Г. Плазменная резка. - М.: Машиностроение, 1972. - 327 с. 3. О сварке. Информационный сайт. WEB: <http://www.osvarke.com/mashiny-plazmennoj-rezki.html>. 4. Клюев А.С., Монтаж приборов, средств автоматизации и слаботочных устройств. - М.: Стройиздат, 1978.- 512 с. 5. ГОСТ 5614-74. Библиографическое описание документа. ГОСТ 5614-74 Машины для термической резки металлов. Типы, основные параметры и размеры. - М.: Изд-во стандартов, 1974. - 5 с. 6. Егоров О.Д., Подураев Ю.В. Мехатронные модули. Расчет и конструирование: Учебное пособие. - М.: МГТУ «СТАНКИН», 2004. - 360 с. 7. С.В. Альтера Электротехника & автоматизация, 1998. - 352 с. 8. Гостев В.И. Системы управления с цифровыми регуляторами: Справочник. - К.: Техника, 1990. – 280 с. 9. Куо Б. Теория и проектирование цифровых систем управления: Пер. с англ.- М.:

Машиностроение, 1986. – 448 с. **10.** Ачюковский В.А. Емкостные дифференциальные датчики перемещения. - М.: Госэнергоиздат, 1960. - 105 с.

Bibliography (transliterated): **1.** Shirshov I.G., Kotikov V.N. Plazmennaja rezka. - M.: Mashinostroenie, 1987. - 226 s. **2.** Byhovskij D.G. Plazmennaja rezka. - M.: Mashinostroenie, 1972. – 327 s. **3.** O svarke. Informacionnyj sajt. WEB: <http://www.osvarke.com/mashiny-plazmennoj-rezki.html>. **4.** Kljuev A.S., Montazh priborov, sredstv avtomatizacii i slabotochnyh ustrojstv. - M.: Strojizdat, 1978.- 512 s. **5.** GOST 5614-74. Bibliograficheskoe opisanie dokumenta. GOST 5614-74 Mashiny dlja termicheskoy rezki metallov. Tipy, osnovnye parametry i razmery. - M.: Izd-vo standartov, 1974. - 5 s. **6.** Egorov O.D., Poduraev Ju.V. Mehatronnye moduli. Raschet i konstruirovanie: Uchebnoe posobie. - M.: MGTU «STANKIN», 2004. - 360 s. **7.** S.V. Al'tera Jelektrotehnika & avtomatizacija, 1998. - 352 s. **8.** Gostev V.I. Sistemy upravlenija s cifrovymi reguljatorami: Spravochnik. - K.: Tehnika, 1990. – 280 s. **9.** Kuo B. Teoriya i proektirovanie cifrovyh sistem upravlenija: Per. s angl.- M.: Mashinostroenie, 1986. – 448 s. **10.** Acjukovskij V.A. Emkostnye differencial'nye datchiki peremeshhenija. - M.: Gosjenergoizdat, 1960. - 105 s.

УДК:621.941

В.А. ЗАЛОГА, д-р техн. наук,
Р.Н. ЗИНЧЕНКО, канд. техн. наук,
Ю.В. ШАПОВАЛ, Суми, Україна

ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ МАЛЫХ ДИАМЕТРОВ ТОЧЕНИЕМ С ВЫСОКОЙ ЧАСТОТОЙ ВРАЩЕНИЯ ШПИНДЕЛЯ. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

У даній статті проаналізовано можливості збільшення продуктивності токарної обробки для деталей малих діаметрів за рахунок збільшення швидкості різання сучасними ріжучими матеріалами. Виконано огляд сучасних токарних обробних центрів, нових інструментальних матеріалів провідних виробників. Виконано аналіз факторів, що впливають на продуктивність обробки деталей. Приділено увагу питанням стійкості технологічної системи в процесі різання. Основними перешкодами для підвищення продуктивності є низька швидкість обертання шпинделів токарних верстатів, пов'язана з балансуванням вузлів верстата і заготовок, і пошук зон сталого різання технологічної системи.

В данной статье проанализированы возможности увеличения производительности токарной обработки для деталей малых диаметров за счет увеличения скорости резания современными режущими материалами. Выполнен обзор современных токарных обрабатывающих центров, новых инструментальных материалов ведущих производителей. Выполнен анализ факторов, влияющих на производительность обработки деталей. Уделено внимание вопросам устойчивости технологической системы в процессе резания. Основными препятствиями для повышения производительности являются низкая скорость вращения шпинделей токарных станков, связанная с балансировкой узлов станка и заготовок, и поиск зон устойчивого резания технологической системы.

This article analyzed the possibility of increasing productivity for turning parts with small diameters by increasing cutting speed modern cutting materials. A review of modern turning machining centers, new tool materials from leading manufacturers. The analysis of the factors influencing the performance of machining. Paying attention to the sustainability of the technological system in the cutting process. The main obstacles to increased productivity are low speed spindle lathes associated with balancing machine components and workpieces and search zones of sustainable technological cutting system.

Непрерывное повышение требований к качеству современных машин и агрегатов, их долговечности и надежности вызывает необходимость широкого применения новых конструкционных материалов, обладающих заданной структурой, высокой твердостью, низкой теплопроводностью и теплостойкостью, характеризующихся низкими показателями обрабатываемости резанием и специфическими особенностями механической обработки.

В настоящий момент машиностроение сделало огромный скачок в сфере обработки материалов с использованием прогрессивного режущего инструмента из новых инструментальных материалов улучшенной геометрии и повышенной стойкости применением различных способов комбинированной обработки с внесением дополнительных потоков энергии и новых кинематических схем. Однако нельзя сказать, что проблемы изготовления деталей машиностроительного назначения полностью решены. Динамичное развитие экономики и конкурентная борьба в условиях рынка требуют постоянного совершенствования технологий производства с учётом высоких характеристик, предъявляемых к качеству продукции и скорости изготовления при обязательном снижении затрат энергии и отходов производства [1].

Цель работы – выполнить анализ возможности увеличения производительности токарной обработки для деталей малых диаметров за счет увеличения скорости резания современными режущими материалами.

Одним из главных аспектов при изготовлении деталей является качество продукции, которое в значительной степени определяется многими составляющими. Одним из основных показателей является физико-механическое состояние поверхностного слоя деталей машин, который формируется в процессе их изготовления в результате сложного термомеханического взаимодействия заготовки, режущего инструмента, стружки, а также технологической (смазочно-охлаждающей) и окружающей сред в контактных зонах механической обработки. Поэтому для выпуска конкурентоспособной продукции современные процессы изготовления деталей машин должны включать технологические методы и приемы, обеспечивающие возможность направленного формирования качества поверхностного слоя. При изготовлении прецизионных деталей

возникла необходимость разработки новых технологических методов и приемов. Эти приемы, как правило, основаны на концентрации физических принципов воздействия на объект обработки, препятствующих технологическому наследованию изменений, внесенных в теплонагруженный поверхностный слой [2, 3, 4, 5].

Постоянно развивается и совершенствуется режущий инструмент. С конца XIX и до середины XX столетия процессы снятия стружки в металлообрабатывающей промышленности динамично развивались. Основным инструментальным материалом была углеродистая сталь, обладающая низкой износостойкостью и недостаточной способностью противостоять тепловым нагрузкам. В процессе резания режущая кромка инструмента, изготовленная из инструментальной стали с содержанием углерода 1,2 % и закаленная до твердости 66 HRC, могла противостоять температурам 200–250 С, и допускать обработку со скоростями резания 10-15 м/мин. Несколько позднее появились легированные инструментальные стали, быстрорежущие стали, твердые сплавы, минералокерамический материал, искусственные алмазы, инструменты на основе сверхтвёрдых нитридов бора [6, 7]. С появлением новых материалов кардинально изменилось представление о процессе резания в целом и его возможностях.

В настоящее время крупнейшие производители режущего инструмента повышают производительность обработки за счет улучшения как геометрии сменных неперетачиваемых пластин, так и разработки новых инструментальных материалов при активном использовании покрытий [8, 9, 10]. К примеру, компанией Sandvik Coromant активно внедряется новый сплав GC4325. Его главное достоинство – сочетание способности работать на повышенных режимах резания с гарантированным увеличением стойкости инструмента. При его изготовлении использованы передовые современные достижения в области изготовления твердых сплавов с нужной структурой, а также в области нанесения покрытий [11]. Последнее время ведущие производители инструмента Sandvik Coromant, Secotool, Iscar и др. при точении рекомендуют скорости резания выше 400 м/мин. Также использовать обработку без применения СОЖ, что требует активных исследований

процесса резания на новых режимах обработки с целью поиска оптимальных режимов обработки как с точки зрения качества обработанной поверхности, так и с точки зрения себестоимости изготовления.

Таблица 1 – Рекомендуемые скорости резания для современных твердых сплавов при обработке конструкционных сталей

Обрабатываемый материал	Инструментальный материал	Скорость резания, м/мин
Группа P10	Sandvik Coromant CT5005	730–420
	Sandvik Coromant GC4235	425–180
	Korloy NC3030	400
	TaeguTec CT3000	450–100
	Seco Tools TP1500	1115–655
	Seco Tools CP500	405–240
Группа N10	Sandvik Coromant CD10	2000–500
	TaeguTec KP500	600
	Seco Tools KX	575–280

Ранее использовалась технология пооперационной обработки на различном оборудовании – токарная, фрезерная и шлифовальная обработка. Чтобы увеличить скорость обработки деталей, необходимо было проявлять больше изобретательности с точки зрения конструкции оборудования. Сегодня это применение многофункциональных станков, которые помогают их владельцам оставаться конкурентоспособными. Это станки с ЧПУ со шпинделеми для обработки с противоположной стороны заготовки. Эта функциональная возможность позволила обрабатывать обе стороны детали на одном станке вместо двух. Затем производители начали производить станки с двумя противоположными шпинделеми, с двумя револьверными головками и с функцией фрезерования. Часто у револьверных головок было 12 позиций, шесть из которых могли выполнять фрезеровку или сверление с мощностью примерно 2–3 кВт. Важно, что с возникновением новых материалов, позволяющих работать на более высоких скоростях обработки, появляются и станки,

позволяющие работать с частотой вращения шпинделя до 5 000 об/мин [12]. Это позволяет уменьшить время производственного цикла до 50 процентов, повысив качество и уменьшив время обработки заготовки. Стало возможным целиком изготовить деталь на одном станке. Конфигурация с двумя шпинделями и двумя револьверными головками приобрела популярность, поскольку она позволила увеличить объем производства и снизить его стоимость.

Многофункциональность имеет много преимуществ, включая сокращение времени процесса или времени цикла, затрачиваемое на производство детали от начала до конца.

Быстрое и гибкое переоснащение станка и наладка его для обработки новых деталей достигается за счет оптимизации рабочего пространства, обеспечивающей свободное перемещение всех рабочих органов, доступность для наладчика и простоту обслуживания. В случае ручной замены заготовок и инструментов также обеспечивается их легкодоступность. А при автоматизации этих функций – свободное пространство для манипулирования и гарантированная очистка элементов базирования и закрепления от загрязнения [12, 13, 14].

Возможность выполнения различных технологических операций реализуется дополнительными операциями сверления, фрезерования, нарезания резьбы, поскольку этого требуют до 80 % всех деталей после токарной операции.

Ведущие производители металлорежущего оборудования – Haas, Okuma, DMG, Mori Seiki, Gildemeister и др. – на сегодняшний день производят огромное число современных токарных станков и обрабатывающих центров [12–16]. Однако, подавляющее большинство этих станков крайне редко имеет частоту вращения шпинделя изделия больше 6 000 об/мин. К примеру, при обработке деталей диаметром до 10 мм скорость резания будет составлять около 150 м/мин, в то время как инструмент на сегодняшний день позволяет резать со скоростями выше 400 м/мин.

Не совсем понятно, почему производители намеренно оставляют частоты вращения шпинделей токарных станков столь низкими. Давно отдельные конструктивные элементы шпиндельных узлов, а также

приводы позволяют вращаться с частотами более 10 000 об/мин. К примеру, частота вращения шпинделя современного фрезерного станка превышает 25 000 об/мин. При этом обработка деталей ведется теми же по качеству инструментальными материалами, что и при точении. Можно предположить, что это связано больше с безопасностью при работе на этом оборудовании и балансировкой элементов станка и заготовки. Ведь дисбаланс заготовки или закрепление пруткового материала могут вызывать повышенную опасность для оператора, а также разрушение частей оборудования.

Таблица 2 – Технические характеристики современных токарных станков

Название станка	Мощность главного привода, кВт	Максимальная скорость вращения шпинделя, об/мин	Максимальный диаметр обрабатываемой детали, мм
Haas OL-1	5,6	6000	125
Haas ST-10	11,2	6000	400
Okuma MULTUS B200II	7,5	6000	600
Okuma MULTUS B200II	11	5000	630
DMG Nef400	8	4500	350
DMG Nef600	28	3500	600
Mori seiki NLX 2500/750	15	3500	360

При точении деталей малых диаметров скорость съема в большей степени зависит от скорости резания, чем от подачи и глубины [6]. Это связано, прежде всего, с низкой жесткостью деталей. При значительном увеличении скорости вращения заготовки ряд процессов, происходящих в станке, таких, как дисбаланс вращающихся частей, биение шпинделя, прерывистость передачи вращения в кинематических цепях, оказывают влияние на качество обработки [6, 17].

Для качественного увеличения скорости обработки деталей малых диаметров необходимо обеспечить: режущий инструмент и оборудование должны быть работоспособными при требуемых скоростях резания;

влияние собственных колебаний оборудования на процесс резания должно быть минимальным; динамические характеристики исполнительных органов должны обеспечивать точную и синхронную работу.

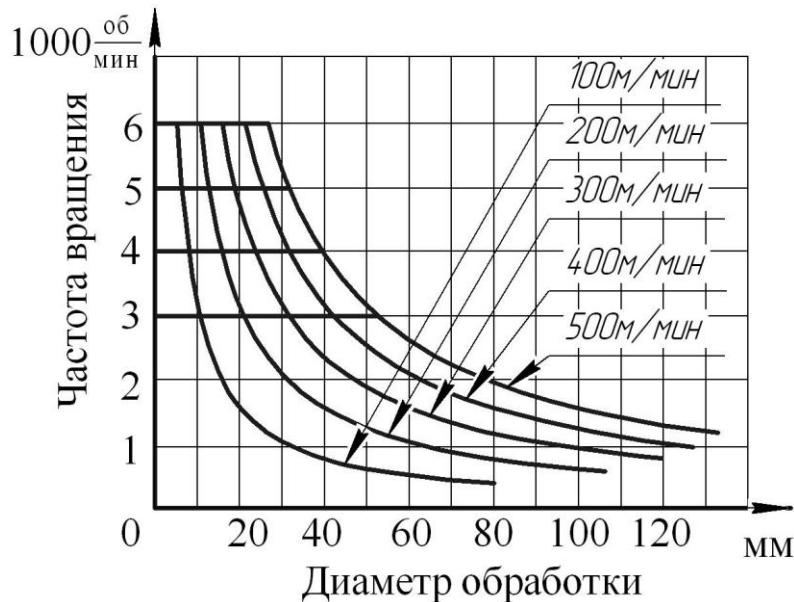


Рисунок 1 – Зависимость скорости резания
от частоты вращения шпинделя и диаметра обрабатываемой детали

Чтобы качественно увеличить производительность обработки мелких деталей, необходимо научиться управлять динамическими процессами, которые происходят в технологической системе при высоких скоростях резания и высоких частотах обработки, что является актуальной и своевременной задачей для исследователей.

На рисунке 1 видно, что при точении деталей диаметром менее 20 мм максимально достижимая скорость резания ориентировочно составляет 400 мм/мин для большинства современных станков с максимальной частотой вращения 5 000–6 000 об/мин. Производительность обработки значительно снижается с увеличением диаметра (рис.2). Если принять подачу на оборот постоянной из условия жесткости детали, для каждого станка есть предельное значение производительности, которое связано с максимальными оборотами шпинделя. Производительность обработки, если не учитывать вспомогательного времени, значительно зависит и от минутной подачи. Если подача на оборот достигнет некоторого максимального критического

значения, то производительность также в значительной мере будет зависеть от частоты вращения заготовки (рис. 2).

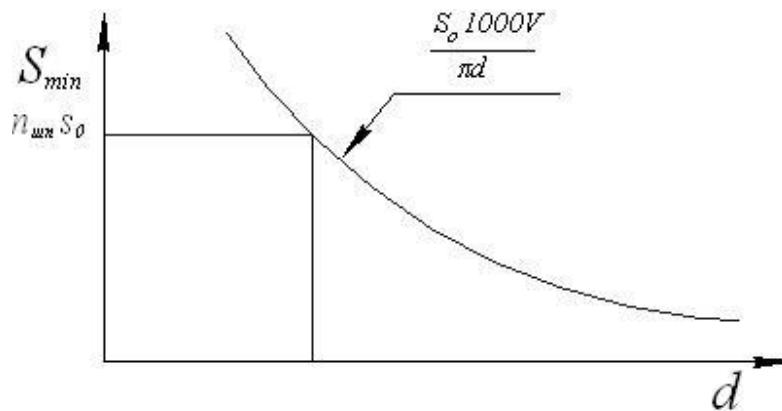


Рисунок 2 – Влияние диаметра детали на производительность обработки
(при условии $S_o = \text{const}$)

При обработке деталей с очень маленькой скоростью резания твердосплавным инструментом очень часто происходит хрупкое разрушение режущей кромки. Такое же явление наблюдается при отрезании, когда режущая кромка скальвается при достижении центра детали. Современный инструмент имеет зону режимов резания, при которых его стойкость будет оптимальной [8–10]. Выход за пределы режимов в сторону уменьшения приводит к уменьшению стойкости из-за разрушения кромки. При значительном увеличении режимов происходит истирание инструментального материала и также уменьшение стойкости (рис. 3). При точении деталей малого диаметра нужно обеспечить режимы резания таким образом, чтобы они были оптимальными для данного вида инструментального материала и находились в пределах технологических возможностей оборудования.

Одна из самых сложных задач, которую необходимо решить при увеличении скоростей обработки, – это появление автоколебаний в системе станок – приспособление – инструмент – заготовка. Многие ученые – В.А. Кудинов [17], J. Tlusty [18], И.Г. Жарков [19], М.Е. Эльясберг [20], С.С. Кедров [21], Н.И. Ташлицкий [22], S. Doi & S. Kato [23], M. Esser [24], Ю.Н. Внуков [25] провели ряд исследований по влиянию автоколебаний при резании на качество обрабатываемой детали.

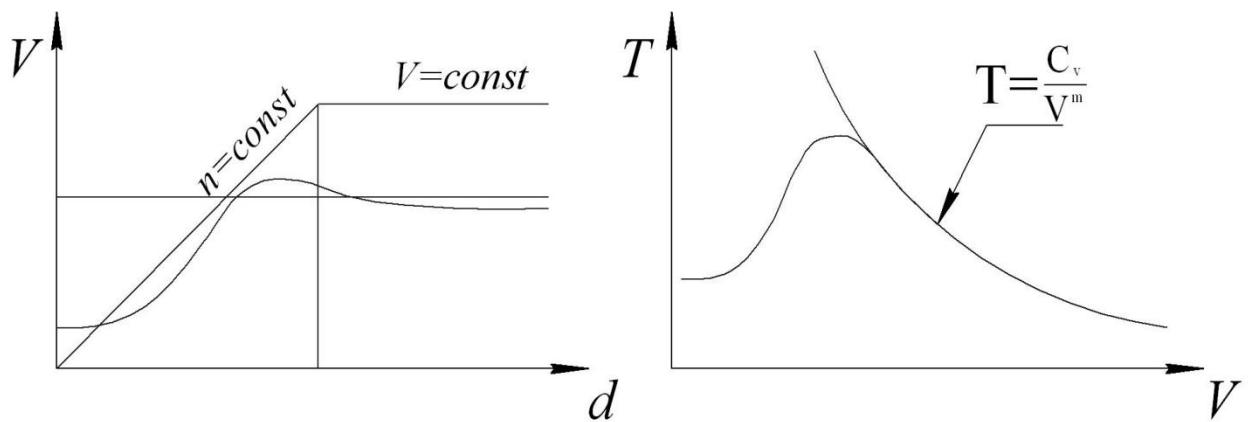


Рисунок 3 – Стойкость инструмента в зависимости от скорости резания

Известно как положительное, так и отрицательное действие колебаний при резании. При определенной амплитуде колебания, возникающие в процессе резания так же, как и специально вводимые в зону резания вынужденные колебания, приводят к облегчению пластической деформации, уменьшению коэффициента трения по передней и задней поверхностям инструмента, улучшению отвода стружки, к заметному снижению силы резания, к уменьшению адгезионных явлений и, как результат этого, – к уменьшению интенсивности изнашивания инструмента и повышению его стойкости [19].

С другой стороны, циклическое нагружение инструмента при увеличении амплитуды автоколебаний вызывает усталостное разрушение режущих кромок инструмента, находящегося в контакте с изделием и сходящей стружкой. Поэтому при превышении амплитудой колебаний некоторого предельного значения стойкость инструмента начинает быстро снижаться [19]. Следует также учитывать, что при увеличении амплитуды колебаний существенно увеличивается длина пути, пройденная инструментом по изделию, а следовательно, и износ инструмента по задним и передним поверхностям [19]. Однако при чистовой обработке любых материалов любые колебания оказывают отрицательное влияние на качество поверхности. Поэтому основное направление исследований должно проводиться в направлении поиска зон устойчивого резания.

Также в работах [26–30] ученые занимаются поиском зон устойчивого резания и влияния автоколебаний на качество поверхности. Однако большинство исследований проводится в зоне частот вращения до 3 000 об/мин. Лишь в работах Chigbogu Godwin Ozoegwua [26] исследования проводились для частот свыше 5 000 об/мин.

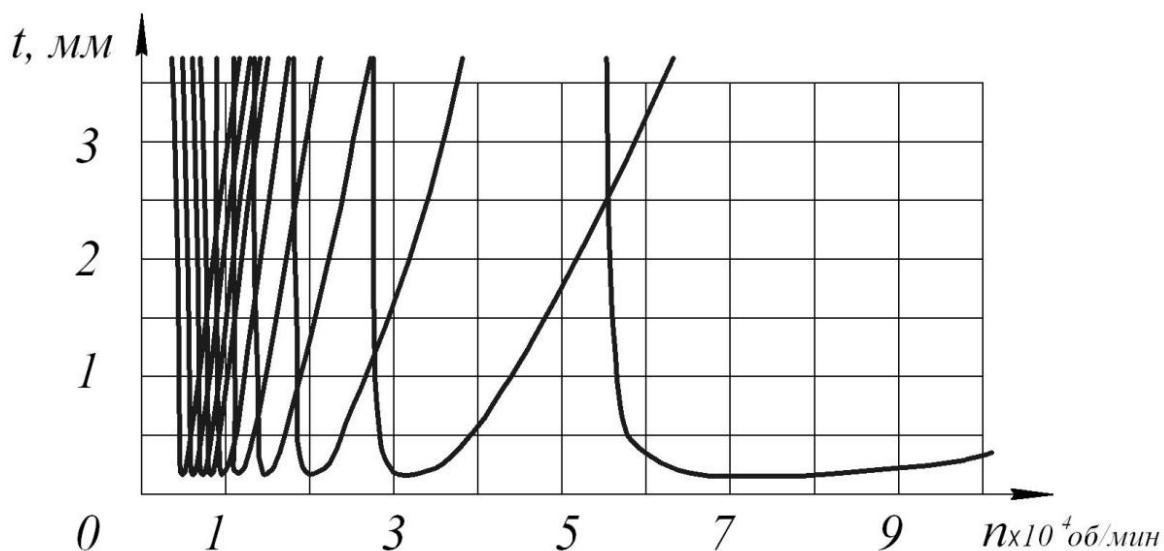


Рисунок 4 – Диаграмма устойчивости токарного станка (пример)

Пример кривых устойчивости технологической системы к автоколебаниям показан на рис. 4 [26]. Кривые показывают границу устойчивости технологической системы в зависимости от частоты вращения и глубины резания. Если назначить режимы обработки ниже характерных кривых, получим гарантировано устойчивое резание. Для существенного повышения производительности необходимо точно знать положение и форму кривых согласно диаграмме устойчивости конкретного оборудования. При увеличении частоты вращения видно увеличение области устойчивого резания.

Выводы. Современные достижения в области изготовления режущего инструмента позволяют производить обработку с достаточно высокими скоростями резания. Однако большинство токарных станков и обрабатывающих центров не могут работать с такими частотами вращения детали, при которых можно обеспечить оптимальные режимы резания для

обработки деталей диаметром меньше 20 мм. Это ограничивает ресурс режущего инструмента из современных материалов.

Повышение производительности деталей малых диаметров невозможно по нескольким причинам. Это малые значения максимальных частот вращения шпинделей токарных станков для достижения оптимальных скоростей резания современных инструментальных материалов, а также возбуждение автоколебаний технологической системы при высоких частотах вращения шпинделей станков.

Потенциальными резервами повышения производительности являются способность современных инструментальных материалов резать с высокой скоростью, техническая возможность изготовления высокоскоростных шпинделей токарных станков.

Список использованных источников: 1. Ситніченко В. Стратегія розвитку машинобудування на основі системи збалансованих показників, / В. Ситніченко.– Одеса. 2. Аскіназі Б. М. Упрочненіє и восстановленіє деталей машин електромеханічної обробкою, Б. М. Аскіназі.– М.: Машиностроєніє, 1989.– 197 с. 3. Бабичев А. П. Вибрационная обработка деталей./ А. П. Бабичев.– М.: Машиностроение, – 1974. – 136 с. 4. Безъязычный В. Ф. Влияние качества поверхностного слоя после механической обработки на эксплуатационные свойства деталей машин. / В. Ф. Безъязычный // Инженерия поверхности. Приложение к журналу: Справочник. Инженерный журнал. – 2001. – № 4. – С. 9–17. 5. Бурлаченко О. В. Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств сопряжений оборудования на основе системы комплексных воздействий: дис. д-ра техн. наук. / О. В. Бурлаченко Саратов, 2004. – 354 с. 6. Основы теории резания материалов : учебник [для высш. учебн. заведений] / Н.П. Мазур, Ю.Н. Внуков, А.И. Грабченко и др.; под общ. ред. Н.П. Мазура и А.И. Грабченко. – 2-е изд., перераб. и доп. – Харьков : НТУ «ХПІ», 2013. – 534 с. 7. Залога В.А. Курс лекций "Инструментальные материалы для лезвийных инструментов" [Текст] : учеб. пос. Раздел "Инструментальные материалы" / В.А. Залога. — Суми: СумГУ, 2007. — 205 с. — 16-45. 8. Sandvik Coromant [Официальный сайт]. – URL : <http://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/pages/default.aspx>. 9. Seco Tool [Официальный сайт]. – URL : <http://www.secotools.com/ru>. 10. TaeguTec [Официальный сайт]. – URL : <http://www.taegutec.com.ua/>. 11. Sandvik Coromant [Официальный сайт]. – URL : <http://www.sandvik-coromant.com/ru-ru/campaigns/gc4325/Pages/default.aspx>. 12. Развитие современных станков [Электронный ресурс]. – URL: <http://mehanit.ru/novosti/razvitiye-stankov.php>. 13. Каталог станков Haas [Официальный сайт]. – URL: <http://int.haascnc.com/home.asp?intLanguageCode=1049>. 14. Каталог станков Okuma [Официальный сайт]. – URL : http://okuma-russia.ru/tokarnie_centrini.htm. 15. Каталог станков DMG [Интернет-портал]. – URL: <http://sibsapr.ru/>. 16. Каталог станков Mori Seiki [Официальный сайт]. – URL: <http://ru.dmgmori.com/>. 17. Кудинов В. А. Динамика станков / В. А. Кудинов. – М.: Машиностроение, 1967. – 367 с. 18. Тлустый И. Автоколебания в металорежущих станках / И. Тлустый. – М.:

Машгиз, 1956. – 359 с. **19.** Жарков И.Г. Вибрации при обработке лезвийным инструментом / И. Г. Жарков. – Л.: Машиностроение, 1986. –184 с. **20.** Эльясберг М.Е. Автоколебания металлорежущих станков: Теория и практика / М. Е. Эльясберг. – СПб.: ОКБС, 1993. – 180 с. **21.** Кедров С. С. Колебания металлорежущих станков / С. С. Кедров. – М.: Машиностроение, 1978. – 198 с. **22.** Ташлицкий Н. И. Первичный источник энергии возбуждения автоколебаний при резании металлов / Н. И. Ташлицкий //Вестник машиностроения. – 1960. – № 2. – С. 10–20. **23.** Doi S., Kato S. Chatter vibration of lathe tools//Trans. ASME. -1956. – № 78. –С. 1127–1134. **24.** Brecher C., Witt S. , Esser M. Simulation of the Process Stability of HPC Milling Operations under Consideration of the nonlinear Behaviour of the Machine Tool and the Cutting Process//Annals of CIRP. - 2007. - С. 211- 219. **25.** Кучугуров М.В., Внуков Ю.Н., Дядя С.И., Способ и устройство для исследования регенеративных автоколебаний при точении / М.В. Кучугуров, Ю.Н. Внуков, С.И. Дядя. // Резание и инструмент в технологических системах . – 2013. – №83. – С.42-54. **26.** Chigbogu Godwin Ozoegwu Stabilizing wave attenuation effects in turning process <http://www.tandfonline.com/loi/tprm20>. **27.** Chigbogu G. Ozoegwu, Sam N. Omenyi Time Domain Chatter Stability Comparison of Turning and Milling Processes INTERNATIONAL JOURNAL OF MULTIDISCIPLINARY SCIENCES AND ENGINEERING, VOL. 3, NO. 11, NOVEMBER 2012. **28.** George W. THE PREDICTION OF CHATTER STABILITY IN HARD TURNING, In Partial Fulfillment Of the Requirements for the Degree Doctor of Philosophy in Mechanical Engineering, 2004. **29.** Andreas Ottoa,*, G.unter Radonsa Application of Spindle Speed Variation for Chatter Suppression in Turning Institute of Physics, Chemnitz University of Technology, 09107 Chemnitz, Germany December 21, 2012. **30.** Iker Mancisidor, Rafael Barcena, Jokin Munoa, Ainhoa Etxebarria. Design of a bench hardware-in-the-loop system for the study of chatter in turning 2013 European Control Conference (ECC) July 17-19, 2013, Zurich, Switzerland.

Bibliography (transliterated): **1.** Sitnichenko V. Strategija rozvitku mashinobuduvannja na osnovi sistemi zbalansovanih pokaznikiv, / V. Sitnichenko.– Odesa. **2.** Askinazi B.M. Uprochnenie i vosstanovlenie detaej mashin jelektromehanicheskoy obrabotkoj, B.M. Askinazi. – M.: Mashinostroenie, 1989.– 197 s. **3.** Babichev A.P. Vibracionnaja obrabotka detaej./ A.P. Babichev.– M.: Mashinostroenie, – 1974. – 136 s. **4.** Bez#jazychnyj V.F. Vlijanie kachestva poverhnostnogo sloja posle mehanicheskoy obrabotki na jeksploatacionnye svojstva detaej mashin. / V.F. Bez#jazychnyj // Inzhenerija poverhnosti. Prilozhenie k zhurnal: Spravochnik. Inzhenernyj zhurnal. – 2001. – № 4. – S. 9–17. **5.** Burlachenko O.V. Tehnologicheskoe obespechenie jeksploatacionnyh svojstv soprjazhenij oborudovanija na osnove sistemy kompleksnyh vozdejstvij: dis. d-ra. tehn. nauk. / O.V. Burlachenko Saratov, 2004. – 354 s. **6.** Osnovy teorii rezaniya materialov : uchebnik [dlja vyssh. uchebn. zavedenij] / N.P. Mazur, Ju .N. Vnukov, A.I. Grabchenko i dr. ; pod obshh. red. N.P. Mazura i A.I. Grabchenko. – 2-e izd., pererab. i dop. – Har'kov: NTU «HPI», 2013. – 534 s. **7.** Zaloga V.A. Kurs lekcij "Instrumental'nye materialy dlja lezvijnyh instrumentov" [Tekst]: ucheb. pos. Razdel "Instrumental'nye materialy" / V. A. Zaloga. — Sumy: SumGU, 2007. — 205 s. — 16-45. **8.** Sandvik Coromant [Oficial'nyj sajt]. – URL: <http://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/pages/default.aspx>. **9.** Seco Tool [Oficial'nyj sajt]. – URL: <http://www.secotools.com/ru>. **10.** TaeguTec [Oficial'nyj sajt]. – URL: <http://www.taegutec.com.ua/>. **11.** Sandvik Coromant [Oficial'nyj sajt]. – URL: <http://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/campaigns/gc4325/Pages/default.aspx>. **12.** Razvitie sovremennoy stankov [Jelektronnyj resurs]. – URL: <http://mehanit.ru/novosti/razvitie-stankov.php>. **13.** Katalog stankov Haas

[Oficial'nyj sajt]. – URL: <http://int.haascnc.com/home.asp?intLanguageCode=1049>. **14.** Katalog stankov Okuma [Oficial'nyj sajt]. – URL : http://okuma-russia.ru/tokarnie_center.htm. **15.** Katalog stankov DMG [Internet-portal]. – URL: <http://sibsapr.ru/>. **16.** Katalog stankov Mori Seiki [Oficial'nyj sajt]. – URL: <http://ru.dmgmori.com/>. **17.** Kudinov V.A. Dinamika stankov / V.A. Kudinov. – M.: Mashinostroenie, 1967. – 367 c. **18.** Tlustyj I. Avtokolebanija v metallorezhushhih stankah / I. Tlustyj. –M.: Mashgiz, 1956. – 359 c. **19.** Zharkov I.G. Vibracii pri obrabotke lezvijnym instrumentom / I.G. Zharkov. – L.: Mashinostroenie, 1986. –184 c. **20.** Jel'jasberg M.E. Avtokolebanija metallorezhushhih stankov: Teoriya i praktika / M. E. Jel'jasberg. – SPb. : OKBS, 1993. – 180 c. **21.** Kedrov S.S. Kolebanija metallorezhushhih stankov / S.S. Kedrov. – M.: Mashinostroenie, 1978. – 198 c. **22.** Tashlickij N.I. Pervichnyj istochnik jenergii vozbuždenija avtokolebanij pri rezanii metallov / N.I. Tashlickij //Vestnik mashinostroenija. – 1960. – № 2. – C. 10–20. **23.** Doi S., Kato S. Chatter vibration of lathe tools//Trans. ASME. -1956. - № 78. –C. 1127–1134. **24.** Brecher C., Witt S , Esser M. Simulation of the Process Stability of HPC Milling Operations under Consideration of the nonlinear Behaviour of the Machine Tool and the Cutting Process//Annals of CIRP. - 2007. - C. 211- 219. **25.** Kuchugurov M.V., Vnukov Ju.N., Djadja S.I., Sposob i ustrojstvo dlja issledovanija regenerativnyh avtokolebanij pri tochenii / M. V. Kuchugurov, Ju. N. Vnukov, S. I. Djadja. // Rezanie i instrument v tehnologicheskikh sistemah . – 2013. – №83. – S.42-54. **26.** Chigbogu Godwin Ozoegwu Stabilizing wave attenuation effects in turning process <http://www.tandfonline.com/loi/tpmr20>. **27.** Chigbogu G. Ozoegwu, Sam N. Omenyi Time Domain Chatter Stability Comparison of Turning and Milling Processes INTERNATIONAL JOURNAL OF MULTIDISCIPLINARY SCIENCES AND ENGINEERING, VOL. 3, NO. 11, NOVEMBER 2012. **28.** George W. THE PREDICTION OF CHATTER STABILITY IN HARD TURNING, In Partial Fulfillment Of the Requirements for the Degree Doctor of Philosophy in Mechanical Engineering, 2004. **29.** Andreas Ottoa,*, G.unter Radonsa Application of Spindle Speed Variation for Chatter Suppression in Turning Institute of Physics, Chemnitz University of Technology, 09107 Chemnitz, Germany December 21, 2012. **30.** Iker Mancisidor, Rafael Barcena, Jokin Munoa, Ainhoa Etxebarria. Design of a bench hardware-in-the-loop system for the study of chatter in turning 2013 European Control Conference (ECC) July 17-19, 2013, Zurich, Switzerland.

УДК 621.923

В.Г. КЛИМЕНКО, Полтава, Україна,

А.І. ГРАБЧЕНКО, д-р техн. наук,

І.М. ПИЖОВ, д-р техн. наук,

В.О. ФЕДОРОВИЧ, д-р техн. наук, Харків, Україна

ДЕЯКІ ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ПЛОСКОГО ТОРЦЕВОГО ШЛІФУВАННЯ

Розглянуто питання, пов'язані з перспективою розширення технологічних можливостей процесу плоского торцевого шліфування за рахунок інтенсифікації прокачування технологічної рідини через зону шліфування, а також вдосконалення процесу правки абразивних кругів. Запропоновано технічні рішення, що дозволили досягти поставленої мети.

Рассмотрены вопросы, связанные с перспективой расширения технологических возможностей процесса плоского торцового шлифования за счет интенсификации прокачки технологической жидкости через зону шлифования, а также совершенствования процесса правки абразивных кругов. Предложены технические решения, позволившие добиться поставленной цели.

Considered the questions connected with prospect of expansion of technological opportunities of the process of flat grinding due to the intensification of pumping the fluid through a grinding area, as well as improving the process of editing abrasive circles. Proposed technical solutions, which allowed to achieve this goal.

1. Постановка проблеми. В даний час значна кількість деталей машинобудування мають плоскі поверхні, і вони підлягають остаточній обробці на плоскошліфувальних верстатах [1]. При цьому багатомісна обробка продовжує мати важливе значення в механообробці. Чистові процеси обробки виконуються, як правило, на плоскошліфувальних верстатах з поздовжнім або круговим (обертельним) рухами столу [2]. При цьому використовуються в основному периферійні абразивні або алмазні круги. Лінійний характер контакту в зоні різання зумовлює високі питомі навантаження і тим самим сприяє інтенсифікації процесу самозаточування

при значних величинах питомої витрати абразивно-алмазних матеріалів. При обробці крихких матеріалів це додатково призводить до підвищеного рівня браку виробів за відколами та тріщинами. Крім цього зараз виникає нова проблема для технологів. Відомо, що однією з важливіших задач у напрямку практичної реалізації нанотехнологій є технологія обробки нанота субмікрокристалічних матеріалів. Як звісно вони є дуже чутливими до рівня силової та температурної завантаженості. При їх нагріві відбуваються складні структурні зміни, пов'язані з розвитком процесів повернення, рекристалізації, як наслідок, зрост зерна і втрата унікальних фізико-механічних властивостей. На жаль саме процеси шліфування відрізняються високими показниками температури у зоні обробці. Тому задача розробки та дослідження низькотемпературних методів шліфування набуває особливої важливості та актуальності. Наприклад, одним з ефективних прийомів зниження температури при торцевому шліфуванні є попередній нахил вісі обертання шпинделя, що дозволяє керувати величиною площини контакту РПК з деталлю [2].

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій. Враховуючи викладені вище міркування, як об'єкт для досліджень був обраний процес плоского торцевого шліфування на верстатах з вертикальним розташуванням шпинделя який має ряд істотних переваг перед процесами шліфування, заснованими на використанні периферійних кругів і особливо при обробці крихких звичайних та наноматеріалів.

Відомо, що достатньо ефективним прийомом зниження температури у зоні різання при торцевому шліфуванні є використання спеціальної ванни, яка дозволяє вести обробку у суцільному шарі технологічної рідини (ТР) [3] (рис. 1).

Але саме по собі шліфування у ванні, яка заповнена ТР, ще не вирішує проблеми достатнього заповнення зони обробки ТР, а отже і зниження температури. Цьому протидіє повітряний потік, який виникає при обертанні кругу. При цьому є дуже важливим щоб ТР подавалася у ванну не безпосередньо, а через внутрішню порожнину торцевого круга, що створює умови для прокачування її через міжзерниний простір за рахунок дії відцентрових сил [4].

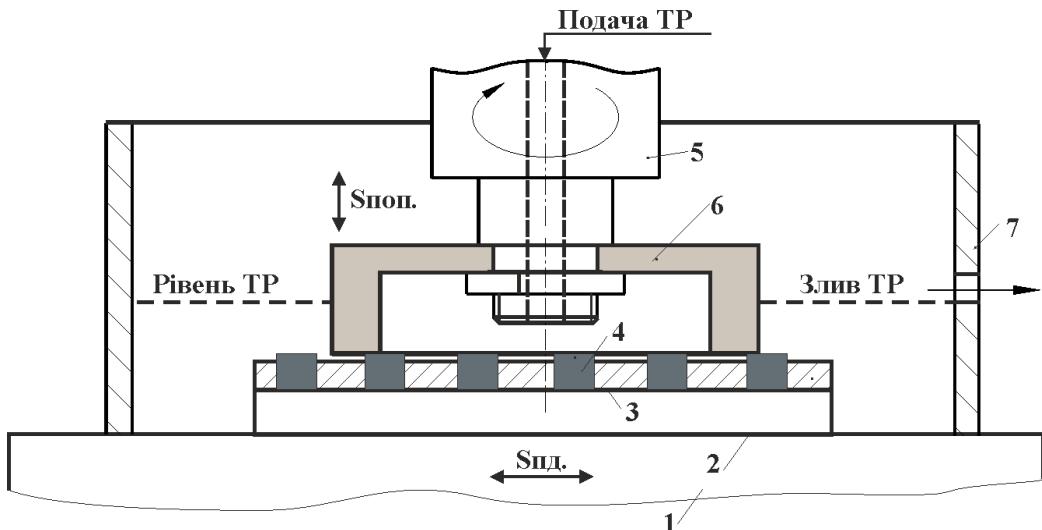


Рисунок 1 – Схема плоского торцевого шліфування з подачею ТР

у внутрішню порожнину круга через полий шпиндель

1 – стіл верстата; 2 – магнітна плита; 3 – сепаратор; 4 – оброблювальний матеріал; 5 – шпиндель; 6 – абразивний круг; 7 – ванна

Найбільш просто та ефективно ця задача вирішується у разі наявності на верстаті полого шпинделя через отвір якого можна без зайвих труднощів подавати у зону шліфування достатню кількість ТР (рис. 1). Такий підхід реалізовано на достатньо габаритних верстатах, наприклад ЗЕ756 та ін. У разі відсутності полого шпинделя можна використовувати запропонований нами спосіб подачі ТР у внутрішню порожнину круга через пази (отвори) в його торці. Для цих цілей була запропонована конструкція збірного торцевого круга (а.с. № 1627394), яка практично може бути реалізована як стосовно до алмазних, так і звичайних абразивних кругів (рис. 2).

Такий спосіб досить добре зарекомендував себе на практиці, хоча має у порівнянні з вищеною способом менші технологічні можливості. Його основним недоліком слід вважати те, що для його реалізації потрібні спеціальні круги з пазами на базовому торці, а також необхідність складання пристрою кожного разу при заміні круга. Окрім цього за наявності пазів є небезпека ослаблення міцності круга (особливо для кругів з неметалічним корпусом), що є додатковим обмежуючим фактором при призначенні високопродуктивних режимів обробки. Все це в цілому може знизити технологічні можливості процесу шліфування.

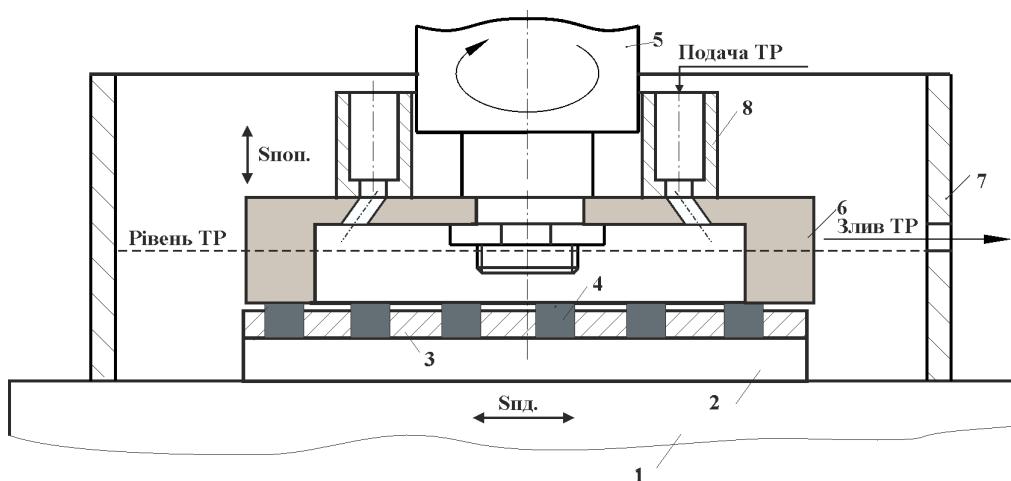


Рисунок 2 – Схема плоского торцевого шліфування з подачею ТР у внутрішню порожнину круга через пази на його торці

1 – стіл верстата; 2 – магнітна плита; 3 – сепаратор; 4 – оброблювальний матеріал; 5 – шпиндель; 6 – абразивний круг; 7 – ванна; 8 – стакан

3. Мета дослідження. Метою представленої роботи є удосконалення процесу плоского торцевого шліфування з переднім нахилом вісі обертання шпинделя.

4. Матеріали досліджень. Виконані нами дослідження дозволили запропонувати ряд технічних рішень які дозволили досягти запропонованої мети. Так, наприклад, було запропоновано більш ефективний пристрій подачі ТР у внутрішню порожнину круга, конструкція якого наведена на рис. 3 (пат. № 82805, Україна). Змінна оправка 1, встановлена за допомогою конуса в шпинделі 2 плоскошлифувального верстата, виконана як одне ціле зі стаканом, у внутрішню порожнину якого подається ТР.

Внутрішня поверхня стакана нахиlena по відношенню до осі обертання круга під гострим кутом α , що сприяє кращому попаданню технологічної рідини в зону шліфування. При необхідності оправка 1 може додатково кріпиться в шпинделі, наприклад, за допомогою струни (на рисунку не показана) для чого вона має верхній різьбовий отвір. Нижня зовнішня торцева поверхня стакана є головною настановною базою для шліфувального круга 3, який кріпиться до оправки 1 за допомогою шайби

4 і болта 5. Для цього в нижній частині оправки передбачений різьбовий отвір. На утворюючих циліндрової поверхні, яка є для круга направляючою базою, виконані не наскрізними по глибині пази. При цьому візуально дана циліндрова поверхня нагадує шліцьовий вал. В осьовому напрямі пази виконані наскрізними, при цьому з одного боку вони виходять в порожнину стакана, а з іншого у внутрішню порожнину шліфувального круга 3. На торці шайби 4, прилеглому до внутрішнього торця круга 3, не наскрізні по глибині пази виконані в радіальному напрямі, що дозволяє спрямовувати ТР, що надходить з порожнини стакана через пази на оправці 1, на внутрішню поверхню круга 3. Еластична прокладка 6 слугує для забезпечення попадання всього потоку рідини в пази шайби 4, а, отже, на внутрішню поверхню круга 3 звідкіля вона під дією відцентрових сил інтенсивно прокачуватиметься через зону шліфування, як показано на рисунку 3 стрілками. Отже, змінна оправка одночасно виконує три функції: по-перше, в ній установлюється і закріплюється шліфувальний круг, по-друге, за її допомогою круг механічно зв'язаний зі шпинделем станка, по третє, завдяки стакану і системі пазів оправка виконує функцію доставки технологічної рідини у внутрішню порожнину кругу.

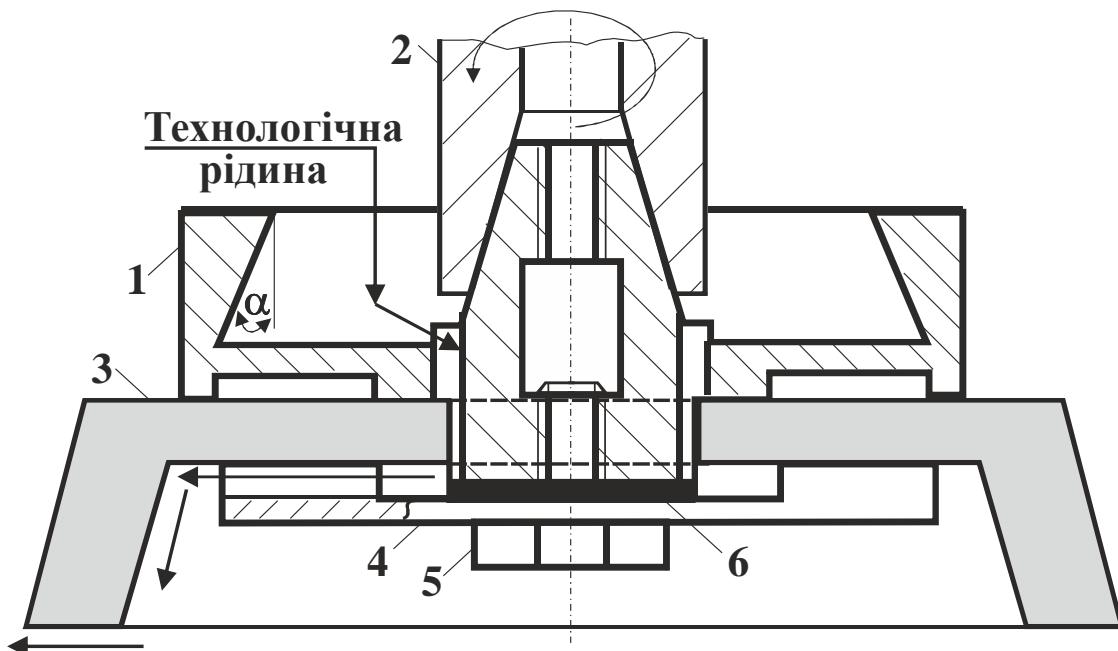


Рисунок 3 – Пристрій для подачі ТР у зону шліфування

Таким чином за рахунок розташування пазів на стаціонарній змінній оправці, виконаній спільно зі стаканом для подачі технологічної рідини, запропонований пристрій дозволяє, по-перше, використовувати стандартні шліфувальні круги, а, отже, реалізовувати високопродуктивні режими шліфування, по-друге, зменшити допоміжний час на обробку за рахунок виключення операції складання пристрою при зміні круга.

Як було сказано вище, при плоскому торцевому шліфуванні часто користуються прийомом, коли шліфувальний круг на етапі попередньої обробки повертають на певний кут α (рис. 4) завдяки чому можна керувати довжиною (площою) контакту робочої поверхні кругу (РПК), а отже і силовою та температурною напруженістю процесу шліфування в цілому.

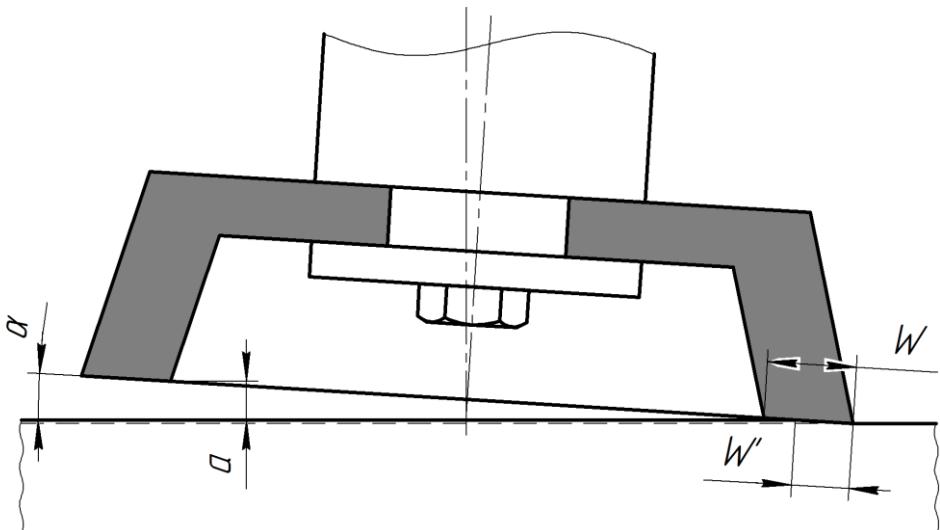


Рисунок 4 – Схема плоского торцевого шліфування з нахилом кругу

У певному діапазоні значень кута α (від десятка хвилин до декілька градусів) у контакті з поверхнею деталі знаходиться тільки частина РПК (з одного його боку), при цьому довжина контакту (W') менша ніж ширина РПК (W). По мірі зменшення кута α площа контакту РПК з деталлю збільшується і при $\alpha=0$ вона досягає максимального рівня. Другим позитивним моментом нахилу кругу є забезпечення кращого доступу ТР у зону шліфування. Все це дозволяє істотно підвищити продуктивність обробки за рахунок зниження тепловиділення в зоні різання. Але при цьому неминуче підвищення шорсткості і відхилення форми поверхні деталі (у даному випадку має місце її окремий випадок – увігнутість). Тому

така схема може застосовуватися у випадках незначних вимог до шорсткості та геометричних відхилень, тобто при попередньому (чорновому) шліфуванні. По мірі посилення вказаних вимог величину кута α треба зменшувати і при прецизійному шліфуванні приймати рівною нуля. Це стає можливим тому, що при чистових і остаточних операціях шліфування використовуються достатньо єщадливі режими різання у наслідок чого вірогідність негативного впливу температурного фактору значно зменшується. Суттєвим недоліком схеми шліфування з нахилом РПК на кут α є те, що при цьому не передбачається захист кромки круга, оскільки подача на глибину здійснюється таким чином, що зовнішня кромка круга першою вступає в роботу. При обробці високотвердих матеріалів (наприклад надтвердих, таких як алмаз та щільні модифікації нітридів бору) це може привести до браку виробів, наприклад, через врізання кола в області вершини різця при його заточуванні.

При цьому найбільш раціональним варіантом обробки слід вважати такий, коли вертикальна подача ($S_{\text{в.}}$) здійснюється на подвійний хід столу верстата, а величина кута β між вектором подовжньої подачі ($S_{\text{пд.}}$) столу і віссю шпинделя не перевищує 90° (рис. 5 а,б, пат. № 76437, Україна).

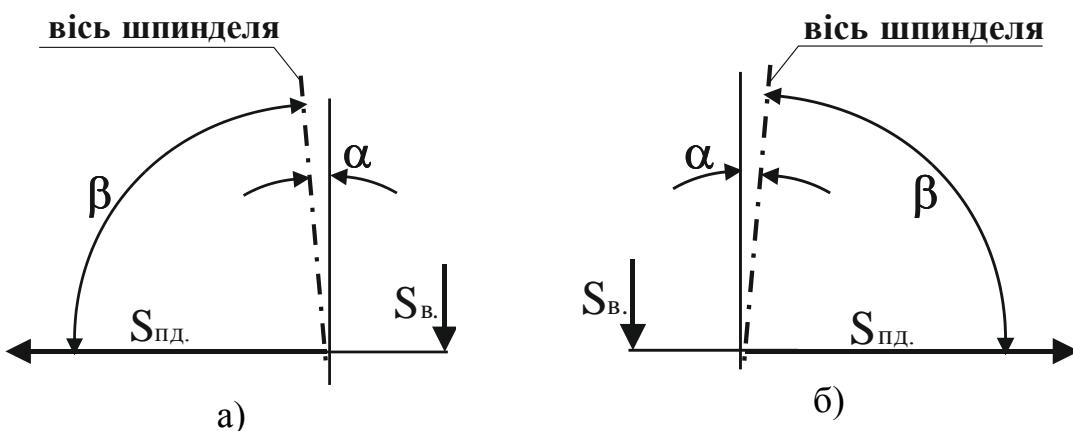


Рисунок 5 – Порядок здійснення $S_{\text{в.}}$ на подвійний хід столу верстата

З урахуванням вищевикладеного, стосовно обробки надтвердих матеріалів запропоновано новий підхід до процесу шліфування, який полягає в тому, що як і в відомих випадках круг заздалегідь повертають щодо напряму подовжньої подачі так, щоб твірна його робочій поверхні розташовувалася по відношенню до вказаного напряму під певним

початковим кутом α , а поперекову подачу здійснюють на подвійний хід. Новим є те (пат. № 76437, Україна), що круг періодично повертають в попереднє положення, одночасно з цим місце здійснення поперекової подачі зміщують на протилежну сторону ширини робочої поверхні круга (РПК), при цьому як критерій для зміни положення круга вибирають паралельність утворюючою його робочій поверхні по відношенню до напряму подовжньої подачі, а початкову величину кута приймають в межах $\alpha=2^{\circ}-2,5^{\circ}$. Така періодична зміна положення круга забезпечує суттєве зниження браку виробів, рівномірність зносу круга, а, отже і найбільш повне його використання.

Взявши за основу таку схему обробки і з метою встановлення залежності довжини лінії (W') контакту РПК з поверхнею деталі від таких факторів, як кут α нахилу РПК та глибина шліфування t нами було проведено комп'ютерне моделювання зони контакту круга та деталі у середовищі «Компас» [5]. Ширина оброблюваної деталі приймалася рівною мінімальному діаметру кругу. Встановлено (рис. 6), що, наприклад, для торцевого круга з $D_{\max}=150\text{мм}$ і шириною РПК $W=20\text{мм}$ при значеннях кута нахилу $\alpha=0,35^{\circ}$ і глибини шліфування $t=0,04\text{мм}$ у контакті з деталлю приймає участь приблизно 33%. ширини РПК ($W'=6,55\text{мм}$).

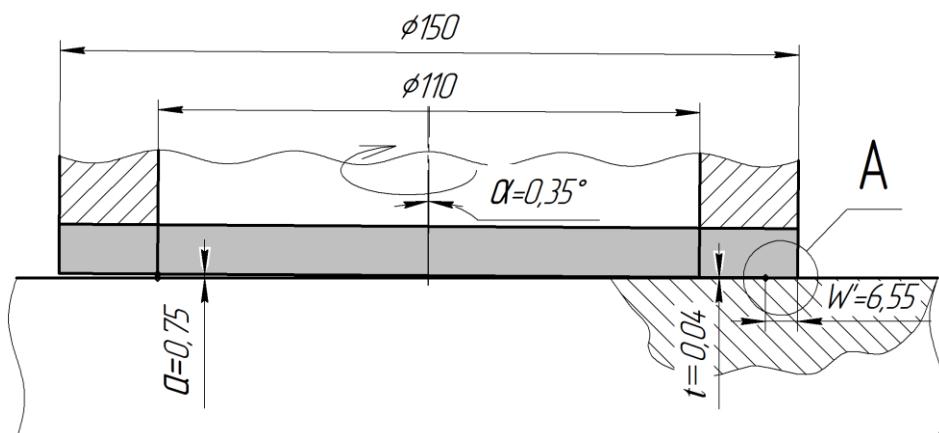


Рисунок 6 – До моделювання характеру контакту РПК з оброблюальною деталлю

При цьому відстань точки внутрішньої кромки круга від необробленої поверхні деталі складає $a=0,75\text{мм}$. Для даних умов обробки

протилежна внутрішня кромка круга може вступити в контакт з поверхнею деталі у випадку, коли $\alpha \leq 1'$. Зі збільшенням глибини обробки значення параметру W' природно буде також зростати. На рисунку 7 наведено залежності параметра W' від кута α нахилу РПК та глибини шліфування t які отримано внаслідок моделювання. Як видно з рисунка, функція $W' = f(\alpha)$ має нелінійний характер. При цьому в області малих значень кута α має місце різка залежність від нього параметра W' . Що стосується залежності параметра W' від глибини шліфування t , то вона лінійна, що природно. Звісно, що площа контакту РПК з поверхнею деталі є функцією таких параметрів як W' та дуга контакту кругу з деталлю 1, тобто $S = f(W', l)$. Тому маючи можливість визначення цієї площини, можна розрахувати теоретичне значення температури в зоні шліфування.

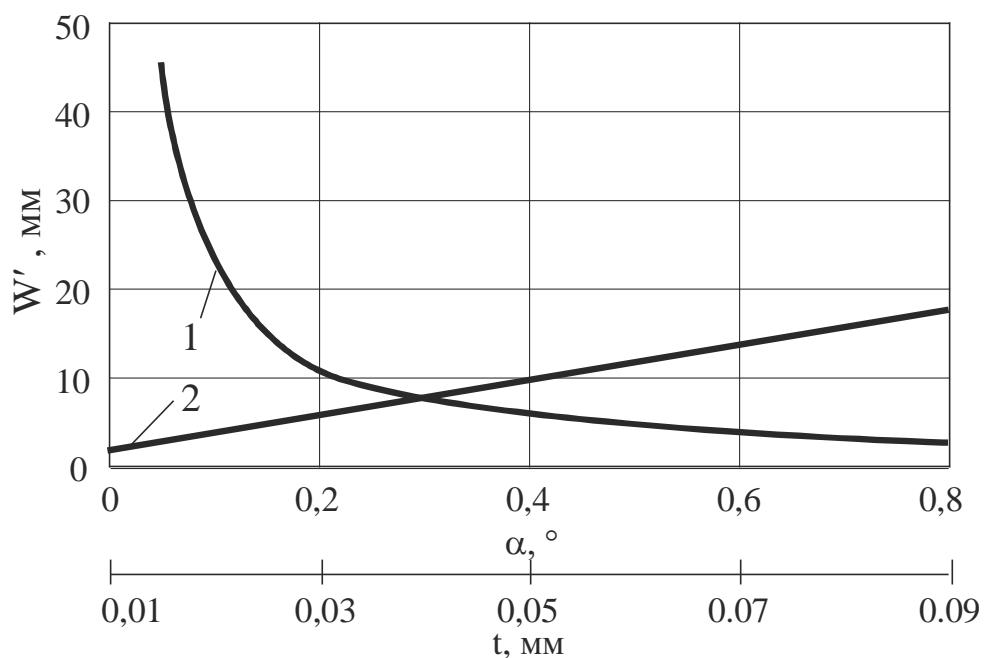


Рисунок 7 – Графіки залежностей: 1)- $W' = f(\alpha)$ ($t=0,04\text{мм}$), 2)- $W' = f(t)$ ($\alpha=0,35^\circ$).

Умови моделювання: $d_{k \max} = 500\text{мм}$, $W = 50\text{мм}$, $B = d_{k \min} = 400\text{мм}$

Взагалі на практиці це може дозволити обґрунтовано встановлювати оптимальні умови процесу плоского торцевого шліфування. Унаслідок проведених досліджень нами була запропонована конструкція плоскошліфувального верстата з вертикальним шпинделем, який працює торцем круга (пат. № 81400. Україна). Технічний результат полягає в тому,

що запропонована конструкція верстата дозволяє, по-перше, здійснювати як попереднє (за умови, що рівень зливного отвору знаходитьться вище за рівень зони шліфування), так і остаточне шліфування (за умови, що рівень зливного отвору знаходитьться нижче за рівень зони шліфування), по-друге, використання додаткового електродвигуна, пов'язаного з шпинделем за допомогою механічної муфти зі змінним пружним елементом дозволяє істотно підвищити ефективність попереднього шліфування за рахунок створення механічних коливань (вібрацій) шпинделя, а, отже, і шліфувального круга (тобто фактично реалізовується вібраційне шліфування). В цілому це призводить до істотного розширення технологічних можливостей процесу шліфування.

Як відомо, правка абразивних кругів є однією найбільш поширених областей використання алмазів [6]. Під цим процесом розуміють цілеспрямований вплив на РПК з метою надання їй необхідної геометричної форми, а також створення на ній необхідних параметрів різального рельєфу.

Температурний фактор також має суттєве значення і у випадку правки абразивних кругів алмазними олівцями. В ідеалі треба забезпечувати у процесі правки заходи щодо зниження до потрібного рівня температури в контактній зоні (нижче за критичне для алмазу значення, тобто $T \leq 700^{\circ}\text{C}$) внаслідок чого сповільнюється прояв відомому ефекту графітизації алмазу. Згідно ГОСТ 607-80 у цьому випадку рекомендується використовувати рясну подачу ТР (не менш ніж 20 л/хв.). Нами встановлено, що найбільш ефективно це можна вирішити стосовно правки торцевих кругів на верстатах з вертикальним шпинделем. Це стає можливим за рахунок проведення процесу у суцільному шарі ТР (пат. № 76444, Україна). Зазначені вище підходи до виготовлення та експлуатації алмазних олівців зводять до мінімуму необхідність у вихідному контролі готових алмазних правлячих олівців, сприяє підвищенню їх якості, а, отже, і їх загального терміну служби при подальшій експлуатації.

5. Висновки та перспективи розвитку. Таким чином, виконані розробки щодо процесу торцевого шліфування з попереднім нахилом кругу дозволили удосконалити цей спосіб обробки і тим самим створити

умови для розширення його технологічних можливостей. У подальшому представляє значний інтерес питання визначення впливу умов обробки на площину контакту РПК з поверхнею деталей та відхилення їх форми.

Список використаних джерел: **1.** *Маталин А.А. Технология машиностроения / А.А. Маталин* - Л.: Машиностроение, 1985. - 496 с. **2.** *Наерман М.С. Справочник молодого шлифовщика. / М.С. Наерман.* - М.: Высшая школа, 1985. - 207 с. **3.** *Грабченко А.И. Расширение технологических возможностей процесса плоского торцового шлифования / А.И. Грабченко, И.Н. Пыжов, В.Г. Клименко // Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб.-Харьков: 2012.-Вып. 81.-С. 64-75.* **4.** *Худобин Л.В. Техника применения смазочно-охлаждающих средств в металлообработке / Л.В. Худобин, Е.Г. Бердичевский.* - М.: Машиностроение. - 1977. – 189 с. **5.** *Грабченко А.И. Комп'ютерне моделювання зони контакту торцевого круга з деталлю на плоскошлифувальних верстатах / А.И. Грабченко, І.М. Пижов, В.Г. Клименко // Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції. – Краматорськ: 2013. –С. 62.* **6.** *P.K. Sen. Synthetische Diamant-Abrichtrohlinge für den zukünftigen Industriebedarf. http://www.idr-online.com/german/pages/archive/2002_2/16_art/art16_2_02.htm.*

Bibliography (transliterated): **1.** *Matalin A.A. Tehnologija mashinostroenija / A.A. Matalin* - L.: Mashinostroenie, 1985. - 496 s. **2.** *Naerman M.S. Spravochnik molodogo shlifovshchika. / M.S. Naerman.* -M.: Vysshaja shkola, 1985. -207 s. **3.** *Grabchenko A.I. Rasshirenie tehnologicheskikh vozmozhnostej processa ploskogo torcovogo shlifovanija / A.I. Grabchenko, I.N. Pyzhov, V.G. Klimenko // Rezanie i instrument v tehnologicheskikh sistemah: Mezhdunar. nauch.-tehn. sb.-Har'kov: 2012.- Vyp. 81.-S. 64-75.* **4.** *Hudobin L.V. Tehnika primenenija smazochno-ohlazhdajushhih sredstv v metalloobrabotke / L.V. Hudobin, E.G. Berdichevskij.* - M.: Mashinostroenie. - 1977. –189 s. **5.** *Grabchenko A.I. Komp'yuterne modeljuvannja zoni kontaktu torcevogo kruga z detallju na ploskoshlifuval'nih verstatah / A.I. Grabchenko, I.M. Pizhov, V.G. Klimenko // Vazhke mashinobuduvannja. Problemi ta perspektivi rozvitku. Materiali mizhnarodnoi naukovo-tehnichnoi konferencii. – Kramators'k: 2013. –S. 62.* **6.** *P.K. Sen. Synthetische Diamant-Abrichtrohlinge für den zukünftigen Industriebedarf. http://www.idr-online.com/german/pages/archive/2002_2/16_art/art16_2_02.htm.*

УДК 538.975:539.21:539,3/.8:62-253/-254

Д.В. КРИВОРУЧКО, д-р техн. наук,
І.О. ОСАДЧИЙ,
В.А. КОЛЕСНИК, Суми, Україна

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ВОЛОКНИСТЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В результаті експериментальних досліджень механічних і трибологічних властивостей вуглепластика та його компонентів у роботі показано, що міцність вуглепластика безпосередньо залежить від модуля пружності через перерозподіл навантажень між волокном і матрицею. Коєфіцієнт тертя в парі «вуглепластик-твердий сплав» визначається в основному деформаційною складової і варіюється в межах 0.12 до 0.4 через неоднорідність структури вуглепластика.

В результате экспериментальных исследований механических и трибологических свойств углепластика и его компонентов в работе показано, что прочность углепластика напрямую зависит от модуля упругости из-за перераспределения нагрузок между волокном и матрицей. Коэффициент трения в паре «углепластик-твердый сплав» определяется в основном деформационной составляющей и варьируется в пределах 0.12 до 0.4 из-за неоднородной структуры углепластика.

Experimental studies of mechanical and tribological properties of CFRP and its components shows that the strength of the CFRP depends on the elasticity modulus due to load distribution between fiber and matrix. Friction coefficient "CFRP-carbide" is determined mainly by the deformation component of friction force and varies between 0.12 to 0.4 due to the inhomogeneous structure of CFRP.

Введение

Повышение стоимости энергоресурсов делает актуальным разработку машин с пониженным энергопотреблением, высоким КПД и малой массой. Внедрение новых материалов раскрывает широкие возможности создания таких машин и механизмов. В последние годы широкое развитие получили углепластики, имеющие высокую удельную прочность за счет использование в их составе углеродных нановолокон. Этот материал применяется в основном для изготовления корпусных элементов машин. Вместе с тем высокая удельная прочность углеволокна и низкий коэффициент трения

позволяют создавать из него и детали другого назначения. В частности, на наш взгляд, этот материал является перспективным для изготовления зубчатых колес быстроходных передач. В этих передачах снижение массы зубчатых колес позволит уменьшить вибрации, шум и обеспечить дополнительное повышение частоты вращения.

Наличие достоверной информации о механических свойствах материала является основной для проектирования любого изделия. Вместе с тем свойства волокнистых полимерных композиционных материалов (ВПКМ), и, в частности, углепластиков, зависят от характера армирования, технологии изготовления и последующей термической обработки. Это хорошо видно из результатов исследований образцов углепластика с односторонней ориентацией волокон углеволокна, в которых механические свойства образцов весьма различаются.

Так P. Mahajan, N. Bhatnagar установили, что модуль упругости вдоль волокон их образца составляет 140 ГПа, модуль упругости поперек волокон – 11 ГПа, модуль сдвига – 6 ГПа, коэффициент Пуассона – 0,38 [1]. E. Brinksmeier, S. Fangmann определили модуль упругости вдоль волокон – 142 ГПа, поперек волокон - 9 ГПа, твердость – 121 HV, плотность – 1,6 г/см³ [2]. В работе F. Balle, S. Huxhold приведены свойства: модуль упругости вдоль волокон – 135 ГПа, предел прочности - 580 МПа, относительное удлинение – 1,1% [3]. T Sen, H. N. Jagannatha Reddy определили модуль упругости, равный 240 ГПа, предел прочности при растяжении - 490 МПа [4]. W. Hintze, D. Hartmann определили модуль упругости вдоль волокон на уровне 139 ГПа, коэффициент Пуассона – 0,37, предел прочности на растяжение - 600 МПа [5]. Y. Li , N. Hori представили результаты: модуль упругости вдоль волокон – 120 ГПа, модуль упругости поперек волокон – 8,8 ГПа, модуль сдвига – 6 ГПа, коэффициент Пуассона – 0,25 [6]. F. Gaoa, L. Boniface в своей статье приводят следующие данные: модуль упругости вдоль волокон – 136 ГПа, модуль упругости поперек волокон - 8,3 ГПа, коэффициент Пуассона - 0,34 [7]. Область варьирования основных свойств углепластиков: модуль упругости вдоль волокон - 120-240 ГПа (наиболее вероятно 140 ГПа), поперек волокон – 8,3-11 ГПа, коэффициент Пуассона - 0,25–0,38, предел прочности на растяжение вдоль волокон- 490 - 600 МПа.

В приведенных работах показано, что свойства ВПКМ не являются суммой свойств углеволокна и матрицы. Поэтому для выполнения детальных расчетов, в том числе и методом конечных элементов, необходимо изучение свойств отдельно углеволокна, матрицы и всего материала в целом. Изучение эти свойств для разработанной авторами технологии изготовления углепластика является **целью** этой работы.

Методика проведения испытаний

Изучении механических свойств углепластика выполнялось путём испытания на растяжение по ГОСТ 25.601-80. Образцы углепластика изготавливались из углеленты односторонней марки ЛУ-П-0,1. Схема укладки представляла собой сложенные друг на друга полосы ленты в направлении оси образца. Объемная доля волокна составила примерно 50%. Пропитка проводилась предварительно приготовленной эпоксидной смолой Lorit-285. Смола смешивается в соотношении 5 частей смолы и 2 части отвердителя. После пропитки и укладки заготовка помещалась в вакуумный пакет на 12 часов, процесс вакуумирования происходил при температуре 35 °С. Размеры и форма образцов соответствовали ГОСТ 25.601-80. Ширина образца равна 12 мм, толщина – 1 мм. Применение подкладок обеспечило надежность закрепления образцов в захватах.

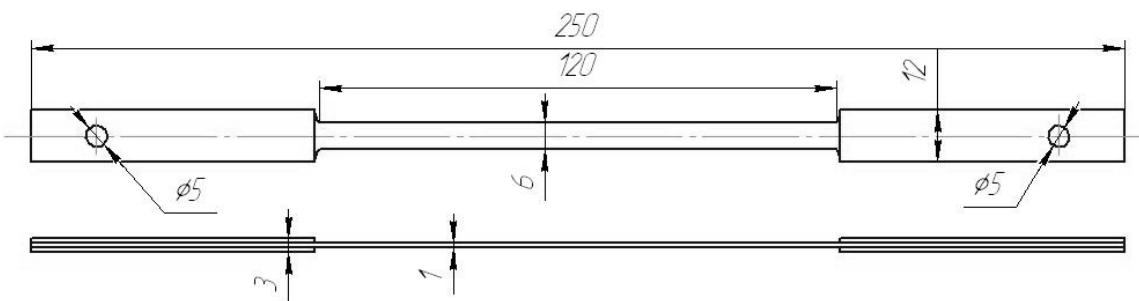


Рисунок 1 – Эскиз углепластикового образца

Исследование свойств эпоксидной смолы выполнялось путем разрушающих испытаний, в частности испытания на растяжение по ГОСТ 11262-80 и сжатие по ГОСТ 4651-86.

Исследование свойств смолы на растяжение выполнялись на призматических образцах толщиной 2 мм по ГОСТ 11262-80, на сжатие – на цилиндрических образцах диаметром 20мм и высотой 20 мм.

Всего было изготовлено по 6 образцов каждого вида. Образцы закреплялись в зажимы испытательной машины по меткам, чтобы продольная ось образца совпадала с осью зажимов. Скорость движения подвижного захвата была равна 1мм/мин. Торцы образцов на сжатие смазывались маслом для уменьшения трения.

Свойства углеленты определены заводом производителем и представлены в паспорте. Модуль упругости при изгибе – (157 ± 25) ГПа, разрушающее напряжение при растяжении в углепластике - 0,7 ГПа, разрушающее напряжение при сжатии в углепластике - 0,7 ГПа, плотность в углепластике – $(31,49 \pm 0,05)$ г/см, объёмная доля углеродной ленты - (62 ± 4) %.

Для проведения испытаний применялась испытательная машина УМЭ10-ТМ, система сбора данных LTR-U-1, программа Power Graph 3.0. Упругая деформация углепластика измерялись с помощью тензорезисторов КФ 5П1-5-100-А-12 со средним значением чувствительности $K = 2,09$, средним квадратическим отклонением чувствительности $Sk = 0,005$. Была реализована полномостовая схема включения тензорезисторов.

Исследование трибологических свойств выполнялось путем вдавливания вращающегося сферического индентора [8]. На базовую поверхность динамометра устанавливалось контртело (образцы из углепластика или смолы) в виде пластины толщиной 5 мм с параллельными боковыми поверхностями. В цанговом патроне была закреплена оправка с центральным отверстием. Индентор в виде полированной сферы диаметром 9,6 мм был изготовлен из твердого сплава. Нагружение контртела индентором осуществлялось перемещением консоли станка вверх вдоль оси z. Индентор вращался относительно своей оси непрерывно на протяжении всего нагружения. Измерение момента трения проводилось при частоте вращения шпинделя $n = 31,5$ об/мин. Обработка результатов была выполнена по методике [8].

Результаты исследований

Проведенные испытания показали, что материал матрицы (смола Lorit-285) проявляет весьма большую текучесть при сжатии, и в тоже время весьма хрупко сопротивляется растяжению (рис. 2). Следует отметить, что модуль упругости матрицы в 74 раза меньше модуля упругости углеволокна, а

модуль упругости углепластика всего в 2 раза меньше модуля упругости углеволокна (табл. 1). Величина модуля упругости углеволокна оказалась меньше тех значений, которые опубликованы в литературе, но все же всего только в два раза меньше модуля упругости стали.

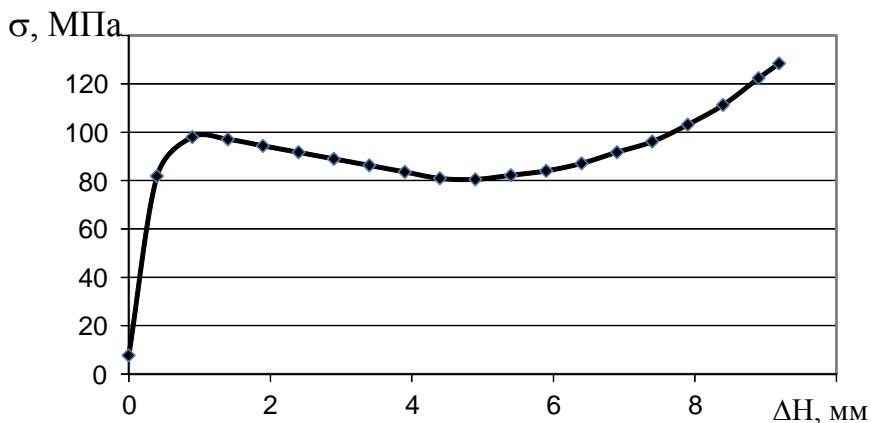


Рисунок 2 – Характерная диаграмма сжатия эпоксидной смолы Lorit-285 в истинных напряжениях

Таблица 1 – Свойства исследованных материалов

Материал	Плотность, г/см ³	Модуль упругости, ГПа	Предел текучести, МПа	Предел прочности, МПа
Углеволокно в ленте ЛУ-П-0,1	1,7	260	-	2700 – 3000
Смола Lorit-285	0,85	3,5	120 (сжатие)	130
			-	65 (растяжение)
Углепластик	1,6	115	-	680 (растяжение вдоль волокон)

Также важно отметить, что предел прочности углепластика при растяжении вдоль волокон оказался на 80 МПа больше, чем в известных публикациях, что объясняется тщательной подготовкой образов с удалением воздуха вакуумом. Такой предел прочности примерно соответствует свойствам, например, стали 45 твердостью 225 НВ. Однако при этом плотность углепластика в 4,6 раза меньше, чем стали. Таким образом, удельная прочность углепластика составила 0,4 МПа/(кг/м³) против 0,087 МПа/(кг/м³) у стали той же прочности.

Разрушение происходит путем вытягивания волокон. Относительное удлинение углепластика составило менее 1%. Хрупкий характер разрушения при растяжении обусловлен хрупкостью материала матрицы. Поэтому в качестве критерия макро разрушения можно принять в первом приближении максимальные главные напряжения.

Для того, чтобы оценить достичимые свойства углепластика рассмотрим процесс совместного растяжения двух склеенных стержней (рис. 3). Поскольку деформация стержней одинакова и равномерна вдоль поверхности склеивания, то сдвиговые деформации и касательные напряжения между стержнями отсутствуют. Тогда удлинение стержней равно

$$\Delta l = \frac{P \cdot l}{E \cdot (A_1 + A_2)} = \frac{P_1 \cdot l}{E_1 \cdot A_1} = \frac{P_2 \cdot l}{E_2 \cdot A_2}, \quad (1)$$

где E, E_1, E_2 – модуль упругости вдоль волокон углепластика, углеволокна и матрицы соответственно; l – длина стержня; A_1 и A_2 – площадь сечения стержня из углеволокна и матрицы соответственно P, P_1, P_2 – сила растяжения углепластика, волокна и матрицы соответственно.



Рисунок 3 – Расчетная схема

Уравнение равновесия

$$P = P_1 + P_2. \quad (2)$$

Тогда напряжения в каждом из стержней и, следовательно, в каждом из компонентов углепластика равны (σ_1 – в волокне, σ_2 – в матрице)

$$\sigma_1 = \frac{E_1}{E} \sigma, \quad \sigma_2 = \frac{E_2}{E} \sigma, \quad (3)$$

где σ – напряжения в углепластике,

$$E = E_1 k + E_2 (1 - k), \quad (4)$$

k – объемная доля углеволокна.

Таким образом, увеличение объемной доли углеволокна будет способствовать увеличению модуля упругости углепластика. Для исследуемого углепластика теоретический модуль упругости, рассчитанный по формуле (4) составляет 131,8 ГПа, что всего на 10% больше измеренного. Для обеспечения модуля упругости углепластика на уровне модуля упругости стали объемная доля углеволокна должна составлять около 75%.

Расчеты по формуле (3) показывают, что в момент разрушения напряжения в углеволокне составили 1540 МПа, в то время как в матрице всего 21 МПа. Прочности волокна использована только на 50%, прочность матрицы – только на 32%. Разрушение матрицы при столь низких напряжениях вызвано наличием неизбежных макродефектов в местах вклейки волокон. Увеличение модуля упругости углепластика способствует увеличению напряжений в углеволокне и уменьшению их в матрице, что в свою очередь должно способствовать большему использованию несущей способности углеволокна при прочих равных условиях. Уменьшение дефектов в матрице также является направлением увеличения прочности углепластика.

Исследование трибологических свойств углепластика в паре с твердым сплавом удалось выполнить в диапазоне нормальных давлений от 120 до 250 МПа, а смолы от 70 до 120. Волокна углепластика располагались касательно к поверхности индентора.

При больших давлениях происходит активное разрушение поверхности образцов и нормальные напряжения снижаются из-за возрастания пятна контакта при любой начальной нагрузке. Средний коэффициент трения смолы находился в диапазоне от 0.15 до 0.35, в то время как коэффициент трения углепластика находился в диапазоне от 0.12 до 0.4. Разложение силы трения на адгезионную и деформационную составляющие показало (рис. 4), что наибольший вклад в коэффициент трения вносит деформационная составляющая из-за активного взаимодействия смолы и углеволокна с микронеровностями индентора. Прочность адгезионных связей в паре «смола-твердый сплав» была

определенена на уровне 7 МПа. В паре «углепластик-твердый сплав» прочность адгезионны связей стремится к 0. Более широкий диапазон варьирования коэффициента трения в паре «углепластик-твердый сплав» можно объяснить неоднородностью углепластика и сильной зависимостью условий трения от положения места испытаний в образце.

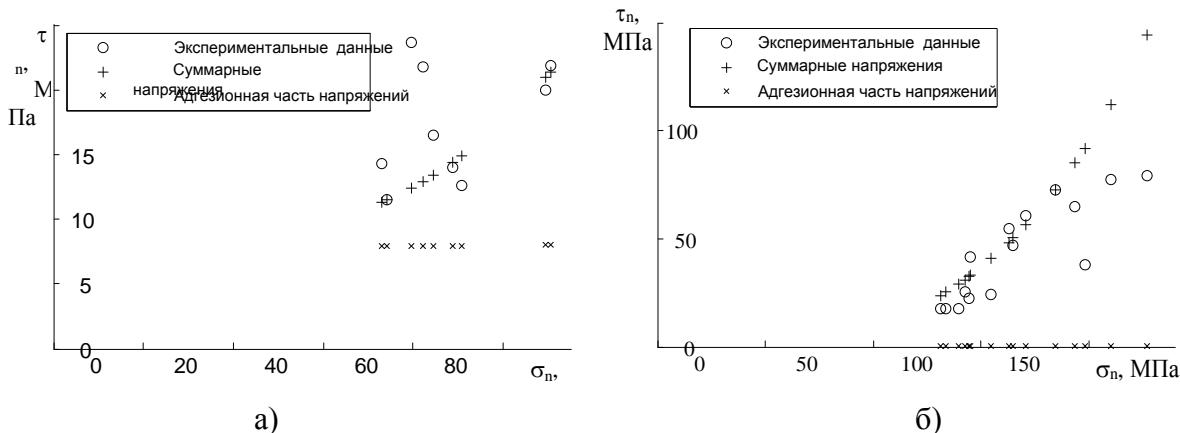


Рисунок 4 – Зависимость касательных напряжений от нормальных по результатам испытаний пары «смола-тврдий сплав» (а) и пары «углепластик-тврдый сплав» (б)

Выводы

Установлено, что модуль упругости углепластика вдоль волокон почти в два раза меньше модуля упругости конструкционных сталей. Он зависит от технологии изготовления, структуры армирования и последующей термической обработки. Уменьшение дефектов формовки и увеличение объёмной доли углеволокна способствует увеличению модуля упругости. Прочность углепластика напрямую зависит от модуля упругости из-за перераспределения нагрузок между волокном и матрицей.

Коэффициент трения в паре «углепластик-тврдый сплав» определяется в основном деформационной составляющей и варьируется в пределах 0.12 до 0.4 из-за неоднородной структуры углепластика.

Список использованных источников

1. Mahajan P., Bhatnagar N. Micro-mechanical modeling of FRP composites – Cutting force analysis // Composites science and technology. - 2007. - № 67. - С. 579 - 593.
2. Brinksmeier E., Fangmann S. Drilling of composites and resulting surface integrity // Manufacturing technology. - 2011. - № 60. - С. 57 - 60.
3. Balle F., Huxhold S. Damage Monitoring of Ultrasonically Welded Aluminum / CFRP-Joints by Electrical Resistance Measurements // Procedia Engineering. - 2011.

- № 10. - P. 433-438. **4.** *Sen T., Reddy H. N. J.* Strengthening of RC beams in flexure using natural jute fibre - textile reinforced composite system and its comparative study with CFRP and GFRP strengthening systems // International Journal of Sustainable Built Environment. - 2013. - № 2.- P. 41-55. **5.** *Hintze W., Hartmann D.* Modeling of delamination during milling of unidirectional CFRP // Procedia CIRP. -2013. - № 8. - P. 444-449. **6.** *Li Y., Hori N.*, Improvement of interlaminar mechanical properties of CFRP laminates using VGCF // Composites. - 2009. - № 40. - P. 2004-2012. **7.** *Gao F., Boniface L.* Damage accumulation in woven-fabric CFRP laminates under tensile loading: 2. Modeling the effect of damage on macro-mechanical properties // Composites Science and Technology. – 1999. - № 59. – P. 137-145. **8.** Моделирование процессов резания методом конечных элементов: методологические основы: монография / Д.В. Криворучко, В.А. Залога; Под общ. ред. В.А. Залоги. – Сумы : Университетская книга, 2012. – 496 с.

Bibliography (transliterated): **1.** *Mahajan P., Bhatnagar N.* Micro-mechanical modeling of FRP composites – Cutting force analysis // Composites science and technology. - 2007. - № 67. - C. 579-593. **2.** *Brinksmeier E., Fangmann S.* Drilling of composites and resulting surface integrity // Manufacturing technology. - 2011. - № 60. - C. 57-60. **3.** *Balle F., Huxhold S.* Damage Monitoring of Ultrasonically Welded Aluminum / CFRP-Joints by Electrical Resistance Measurements // Procedia Engineering. - 2011.- № 10. - R. 433-438. **4.** *Sen T., Reddy H. N.J.* Strengthening of RC beams in flexure using natural jute fibre - textile reinforced composite system and its comparative study with CFRP and GFRP strengthening systems // International Journal of Sustainable Built Environment. -2013. - № 2. - R. 41-55. **5.** *Hintze W., Hartmann D.* Modeling of delamination during milling of unidirectional CFRP // Procedia CIRP. -2013.- № 8. -R. 444-449. **6.** *Li Y., Hori N.*, Improvement of interlaminar mechanical properties of CFRP laminates using VGCF // Composites. - 2009. - № 40. - R. 2004-2012. **7.** *Gao F., Boniface L.* Damage accumulation in woven-fabric CFRP laminates under tensile loading: 2. Modeling the effect of damage on macro-mechanical properties // Composites Science and Technology. – 1999. - № 59. – R. 137 – 145. **8.** Modelirovanie processov rezaniya metodom konechnykh jelementov: metodologicheskie osnovy: monografija / D. V. Krivoruchko, V. A. Zaloga ; Pod obshh. red. V.A. Zalogi. — Sumy: Universitetskaja kniga, 2012. — 496 s.

УДК 621.923

В.І. ЛАВРІНЕНКО, д-р техн. наук,

О.А. ДЕВИЦЬКИЙ,

Б.В. СИТНИК,

В.Г. ПОЛТОРАЦЬКИЙ, Київ, Україна,

В.Ю. СОЛОД, канд. техн. наук, Дніпродзержинськ, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРИЗАЦІЇ НА ПРОЦЕС ШЛІФУВАННЯ КРУГАМИ З ВВЕДЕННЯМ КОМПАКТІВ МІКРОПОРОШКІВ НТМ ДО РОБОЧОГО ШАРУ

Досліджено електризацію, що виникає при шліфуванні кругами з введенням компактів до робочого шару, та її вплив на абразивне оброблення. Визначено, що введення компактів та збільшення їх концентрації в кругах з алмазними зернами в різальному шарі зменшує інтенсивність процесів, пов'язаних з електризацією, що сприяє підвищенню зносостійкості кругів з надтвердих матеріалів.

Исследована электризация, которая возникает при шлифовании кругами с введением компактов в рабочий слой, и её влияние на абразивную обработку. Определено, что введение компактов и увеличение их концентрации в кругах с алмазными зернами в режущем слое уменьшает интенсивность процессов, связанных с электризацией, что способствует повышению износостойкости кругов со сверхтвердых материалов.

Investigated electrization that occurs during grinding wheels with the introduction of compacts in the working layer and its influence on the abrasive treatment. Determined that the introduction of compact and increase in their concentration in wheels with diamond grains in the cutting layer reduces the intensity of the processes associated with electrization, thereby increasing wear resistance wheels of superhard materials.

З розвитком машинобудівної галузі важливим є пошук шляхів підвищення ефективності оброблення, зокрема за рахунок впровадження сучасного інструменту з високою різальною здатністю. Таким інструментом є інструмент з надтвердих матеріалів (НТМ), що характеризується високими експлуатаційними характеристиками. Разом з тим, в процесі шліфування, внаслідок фрикційного контакту поверхонь кругу та оброблюваного матеріалу, виникає електризація тертям (трибоелектризація), яка, як свідчать попередні дослідження напряму

пов'язана з процесом алмазно-абразивного оброблення і чинить вплив на нього [1]. При шліфуванні кругами на полімерному зв'язуючому, внаслідок накопичення надлишкового заряду, спостерігається підвищений знос алмазно-абразивного інструменту. Одним зі шляхів боротьби з цим негативним явищем є внесення до робочого шару шліфувальних кругів додаткових домішок та застосування покріттів зерен НТМ, що сприятиме зниженню інтенсивності процесів, пов'язаних з електризацією при обробленні [1, 2]. В якості таких домішок можуть використовуватись компакти мікропорошків НТМ.

Метою даної роботи було дослідження впливу електризації на процес шліфування кругами з введенням компактів до робочого шару та визначення шляхів підвищення ефективності оброблення.

Оскільки на електризацію при шліфуванні впливає як введення домішок до абразивного шару, так і застосування покріттів різальних зерен – до робочого шару кругів вводились компакти мікропорошків кубічного нітриду бору (КНБ) зернистості 160/125, попередньо металізовані нікелем – (КМ 3/1)_{метал.}. Дослідження проводились при шліфуванні твердого сплаву ВК6 та швидкорізальної сталі Р6М5 відповідно алмазними та кубонітовими кругами форми 12А2-45° габаритних розмірів 125x5x3x32 на полімерному зв'язуючому В2-08 з заміною 25% зерен від загальної концентрації на вказані вище компакти та кругами з 100%-ю концентрацією алмазних або кубонітових зерен.

Для оцінки електризації в процесі шліфування вимірювалась величина напруженості електростатичного поля продуктів шліфування (шламу), який містить у своєму складі мікрочастинки оброблюваного матеріалу та робочого шару алмазно-абразивного інструменту. Вимірювання значень напруженості електростатичного поля шламу здійснювалося вимірювачем параметрів електростатичного поля ІПЭП-1. Результати досліджень представлені в табл. 1.

З табл. 1 видно, що при шліфуванні твердого сплаву ВК6 алмазними кругами з введенням компактів мікропорошків КНБ до робочого шару величина напруженості електростатичного поля шламу, яка характеризує електризацію при обробленні, зменшується. При шліфуванні ж

швидкорізальної сталі Р6М5 кубонітовими кругами, введення компактів до робочого шару кругів, навпаки, призводить до збільшення напруженості електростатичного поля.

Таблиця 1 – Зв’язок напруженості електростатичного поля шламу з експлуатаційними характеристиками процесу шліфування

Характерис-тики НТМ	Продуктив-ність оброблення Q , $\text{мм}^3/\text{хв}$	Напруженість електро-статичного поля шламу $/E/$, $\text{kB}/\text{м}$	Відносні витрати НТМ q_e , $\text{мг}/\text{Г}$	Шорсткість обробленої поверхні R_a , $\mu\text{м}$
AC6 125/100-100%	106,5	2,0	2,90	0,57
	177,5	1,9	8,15	0,56
	266,25	1,7	5,64	0,59
	355	2,2	8,67	0,56
	532,5	2,1	21,72	0,59
	710	2,5	23,04	0,68
AC6 125/100-75% + $(\text{KM } 3/1)_{\text{метал.}}$ - 25%	106,5	1,7	1,40	0,61
	177,5	1,1	2,82	0,59
	266,25	1,4	3,60	0,45
	355	1,9	6,05	0,62
	532,5	1,9	15,14	0,69
	710	2,2	19,79	0,86
KP 125/100-100%	120	1,3	3,62	0,41
	200	1,0	7,48	0,57
	300	1,6	4,75	0,55
	400	1,6	17,39	0,80
	600	2,4	27,19	0,75
KP 125/100-75% + $(\text{KM } 3/1)_{\text{метал.}}$ - 25%	120	1,8	8,93	0,70
	200	1,6	10,65	0,86
	300	1,7	14,52	0,75
	400	2,3	28,03	0,71
	600	2,6	38,10	0,84

Оскільки електризація, що супроводжує оброблення, напряму впливає на експлуатаційні характеристики алмазно-абразивного шліфування, визначено лінійним методом відносні витрати НТМ, а також шорсткість обробленої поверхні за допомогою профілографа-профілометра MITUTOYO SurfTest SJ-201.

На рис. 1 та рис. 2 представлені кореляційні залежності відносних витрат НТМ в алмазних та кубонітових кругах від напруженості електростатичного поля шламу.

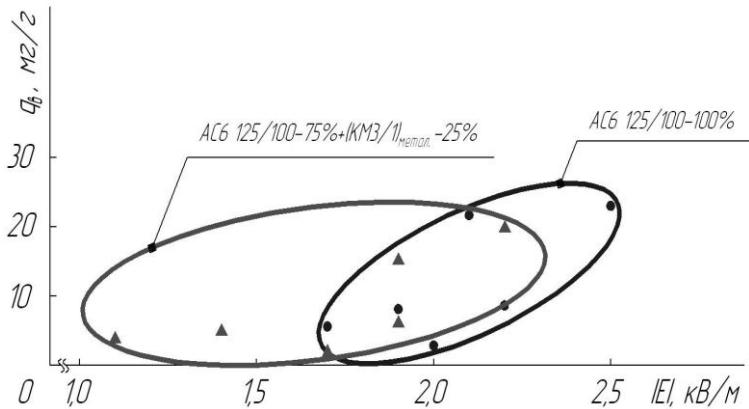


Рисунок 1 – Кореляційні залежності відносних витрат НТМ в алмазних кругах від напруженості електростатичного поля шламу при шліфуванні твердого сплаву ВК6

Згідно результатів (рис. 1, рис. 2), введення компактів мікропорошків КНБ до абразивного шару алмазних кругів сприяє зниженню величини напруженості електростатичного поля шламу та, відповідно, зменшенню відносних витрат НТМ.

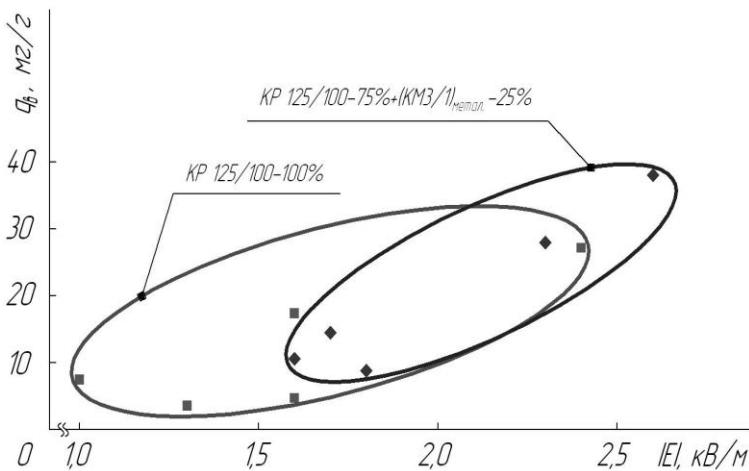


Рисунок 2 – Кореляційні залежності відносних витрат НТМ в кубонітових кругах від напруженості електростатичного поля шламу при шліфуванні швидкорізальної сталі Р6М5

Для кубонітових кругів заміна різальних зерен на компакти – недоречна, оскільки у цьому випадку спостерігається зростання напруженості електростатичного поля шламу та підвищується знос інструменту. Варто зауважити, що із зростанням величини напруженості електростатичного поля шламу, відносні витрати алмазно-абразивних зерен збільшуються як для алмазних, так і для кубонітових кругів, що свідчить про можливість застосування цієї величини з метою оцінки характеристик, які дозволяють судити про ефективність процесу шліфування.

Для визначення взаємозв'язку між величиною напруженості електростатичного поля та якістю обробленої поверхні, побудовано відповідні кореляційні залежності (рис. 3, рис. 4).

Результати засвідчили, що взаємозв'язок між напруженістю електростатичного поля шламу та шорсткістю обробленої поверхні не є чітким. Проте, згідно аналізу табл. 1, рис. 3 та рис. 4, варто зауважити, що при шліфуванні на високих продуктивностях як алмазними, так і кубонітовими кругами з заміною зерен на компакти мікропорошків КНБ, якість обробленої поверхні дещо погіршується.

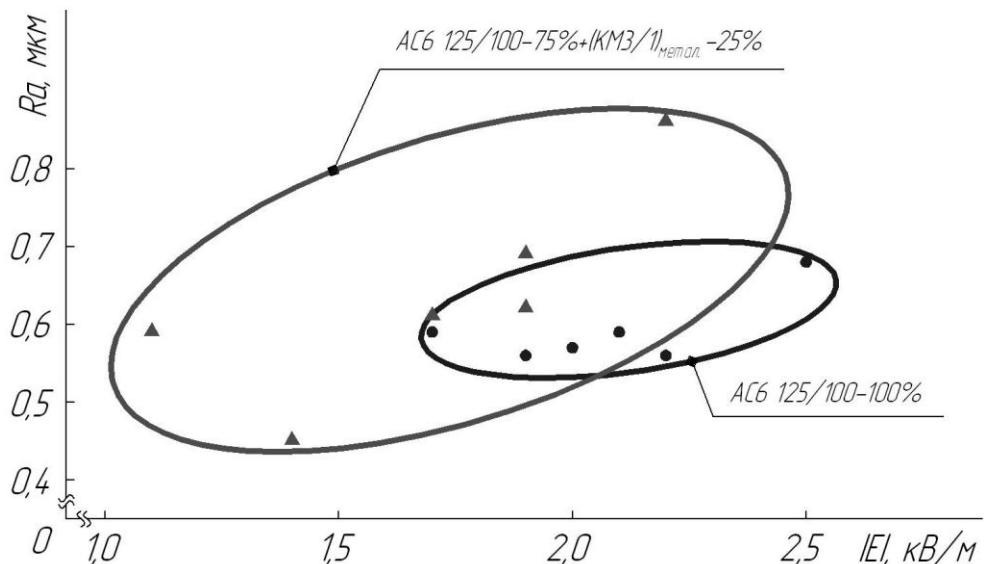


Рисунок 3 – Кореляційні залежності шорсткості обробленої поверхні твердого сплаву ВК6 після шліфування алмазними кругами від напруженості електростатичного поля шламу

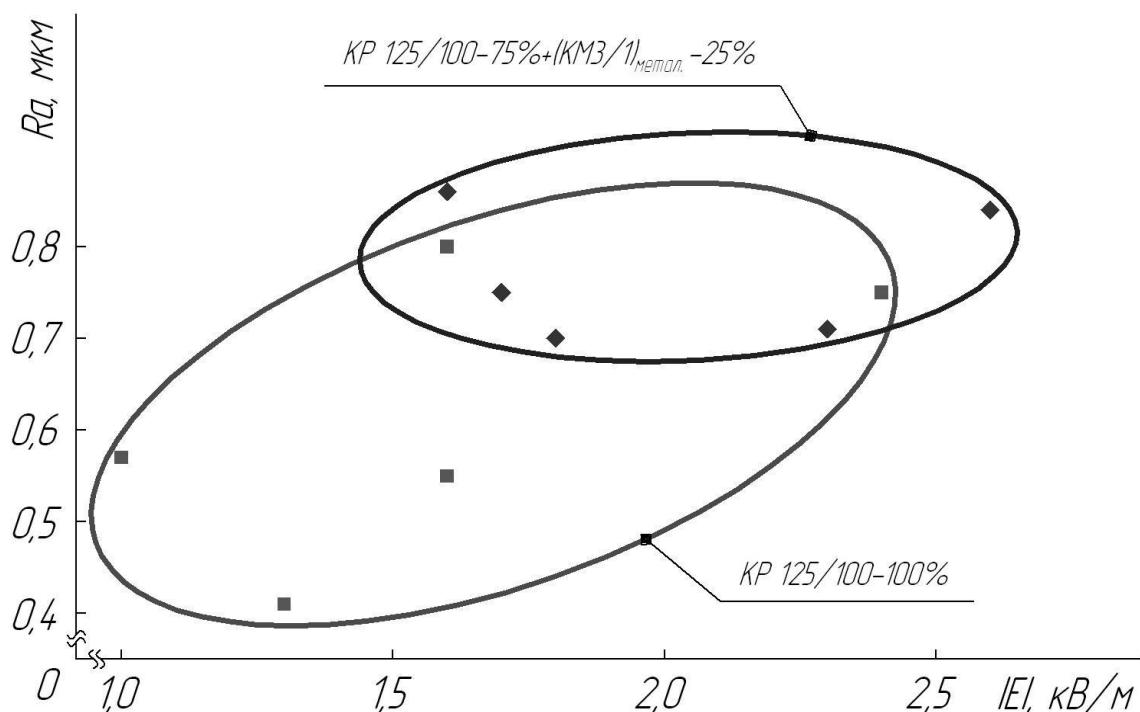


Рисунок 4 – Кореляційні залежності шорсткості обробленої поверхні швидкорізальної сталі Р6М5 після шліфування кубонітовими кругами від напруженості електростатичного поля шламу

З наведеного вище випливає, що можливо збільшення концентрації компактів мікропорошків КНБ в робочому шарі шліфувальних кругів сприятиме зниженню інтенсивності процесів, пов’язаних з електризацією, а відтак підвищиться зносостійкість кругів з НТМ. Щоб підтвердити або спростувати цю гіпотезу і, знаючи, що величина напруженості електростатичного поля характеризує електризацію при шліфуванні та є своєрідним оцінювальним показником, за яким можна судити про ефективність оброблення, визначені значення напруженості електростатичного поля шламу при шліфуванні кругами зі змінною концентрацією компактів у робочому шарі. Проведено шліфування твердого сплаву ВК6 алмазними кругами на полімерному зв’язуючому В2-08, тієї ж форми і габаритних розмірів, що і в попередніх дослідженнях. Вводились компакти мікропорошків КНБ зернистістю 160/125 та концентрацією від 25 до 75% від загальної концентрації зерен НТМ в абразивному шарі кругів. Продуктивність шліфування становила 500 $\text{мм}^3/\text{хв}$. Результати зведені до табл. 2.

Таблиця 2 – Значення напруженості електростатичного поля шламу при шліфуванні кругами з різною концентрацією алмазних зерен та компактів у робочому шарі

Характеристики НТМ	$/E$, кВ/м
AC6 125/100-100%	2,1
AC6 125/100-75%+К 160/125-25%	2,0
AC6 125/100-50%+К 160/125-50%	1,8
AC6 125/100-25%+К 160/125-75%	1,6

Як видно з табл. 2, зі збільшенням концентрації компактів порошків КНБ в робочому шарі кругів значення напруженості електростатичного поля шламу знижуються, що підтверджує висунуту нами гіпотезу.

Отже, підсумовуючи матеріал, наведений в даній статті, варто наголосити, що електризація в процесах шліфування напряму пов'язана з характеристиками, які визначають ефективність алмазно-абразивного оброблення. Введення ж компактів до робочого шару кругів з алмазними зернами дозволить змінити перебіг процесів, пов'язаних з електризацією, і тим самим – підвищити зносостійкість інструменту, що сприятиме зменшенню витрат НТМ на високих продуктивностях шліфування.

Список використаних джерел: 1. Підвищення ефективності шліфування матеріалів кругами з НТМ врахуванням електричних явищ, що супроводжують абразивну обробку / О.А. Дєвицький // Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. – К., 2014. – 20 с., 2. Лавріненко В.І., Дєвицький О.А., Ситник Б.В., Кухаренко С.А., Солод В.Ю. Вплив функціональних домішок у робочому шарі кругів з надтвердих матеріалів та покріттів зерен на процеси електризації при шліфуванні // Процеси механічної обробки в машинобудуванні. Зб. наук. праць ЖДТУ. – Житомир: ЖДТУ, 2010. – Вип. 9. – С. 92 – 98.

Bibliography (transliterated): 1. Pidvishhennja efektivnosti shlifuvannja materialiv krugami z NTM vrahuvannjam elektrichnih javishh, shho suprovodzhujut' abrazivnu obrobku / O.A. Devic'kij // Avtoreferat disertacii na zdobuttja naukovogo stupenja kandidata tehnichnih nauk. – K., 2014. – 20 s., 2. Lavrinenko V.I., Devic'kij O.A., Sitnik B.V., Kuharenko S.A., Solod V.Ju. Vpliv funkcional'nih domishok u robochomu shari krugiv z nadtverdih materialiv ta pokr'ittiv zeren na procesi elektrizaciї pri shlifuvanni // Procesi mehanichnoї obrobki v mashinobuduvanni. Zb. nauk. prac' ZhDTU. – Zhitomir: ZhDTU, 2010. – Vip. 9. – S. 92 – 98.

УДК 621.923

P.M. СТРЕЛЬЧУК, канд. техн. наук,
М.Д. УЗУНЯН, д-р техн. наук, Харків, Україна

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗМЕРНОГО ИЗНОСА КРУГА ПРИ ШЛИФОВАНИИ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ ИЗ НАНОРАЗМЕРНЫХ ЗЕРЕН МОНОКАРБИДА ВОЛЬФРАМА

Представлено результати досліджень і моделювання розмірного зносу круга при шліфуванні твердих сплавів з нанорозмірних зерен монокарбіду вольфраму. Розрахований знос алмазного круга для різних сполучень характеристик кругів, режимів різання і стану рельєфу.

Представлены результаты исследований и моделирование размерного износа круга при шлифовании твердых сплавов из наноразмерных зерен монокарбида вольфрама. Рассчитан износ алмазных кругов для различных сочетаний характеристик кругов, режимов резания и состояния рельефа.

The results of studies and modeling of the size of wheel wear in grinding carbide grains of nanoscale tungsten monocarbide. Designed to wear diamond circles for different combinations of characteristics of circles, cutting and state relief.

ВВЕДЕНИЕ

В обычных процессах шлифования износ кругов регламентируется периодом стойкости, т. е. временем его работы до засаливания или потери режущей способности. Наступает так называемое «отказное состояние» абразивного инструмента и это обычно связывается с его рабочим циклом [1]. В этих условиях абразивный инструмент с позиции надежности становится наиболее слабым звеном технологической системы обработки.

При алмазно-искровом шлифовании достигается активное самозатачивание рельефа кругов и, как было показано, съем материала во времени практически остается неизменным [2]. Устойчивое состояние рабочей поверхности алмазных кругов в течение длительного периода времени позволяет сделать вывод об их равномерном износе, т.е. понятие

стойкости, как показателя надежности при алмазно-искровом шлифовании теряет смысл и надежность уже не следует, как обычно, рассматривать как временную характеристику качества.

Таким образом, из наиболее слабого звена в технологическом процессе шлифования алмазный круг при АИШ превращается в достаточно надежное. На основании изложенного появляется возможность при допущении сохранения оптимального устойчивого состояния режущего рельефа круга определить скорость его износа в установленвшемся режиме шлифования [3].

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспериментальные исследования проводились на базе универсально-заточного станка модели ЗД642Е, а дополнительная энергия в зону резания вводилась от генератора импульсов НО 6506, преобразующего переменный ток напряжением 380В в униполярный импульсный с регулируемой частотой и величиной тока. В процессе проведения опытов среднее значение тока составляло 4-6 А, напряжение 35-45 В, частота импульсов 22 кГц, скважность 2, при этом алмазный круг служил анодом, а обрабатываемый материал – катодом (обратная полярность). Охлаждающей жидкостью служил 3%-ный водный раствор соды. Скорость резания на станке составляла $V = 20$ м/с. Нормальное давление изменялось с помощью приспособления для упругого шлифования в диапазоне от 1,2 до 2,0 МПа с интервалом 0,4 МПа.

Применялась торцевая схема шлифования, которая осуществлялась чашечными кругами конической формы 12А2-45° 150x10x3x32 (ГОСТ 16172-80) производства Полтавского завода искусственных алмазов на связке М1-01 с алмазными зернами АС6, диапазоном зернистости 50/40...160/125 и концентрации – 4. При определении работоспособности алмазные круги предварительно правились и прирабатывались в течении 5-10 минут. В качестве обрабатываемого материала использовались наноструктурные твердосплавные пластины «ВолКар», представляющие собой геометрическую фигуру типа диска диаметром 20 мм и толщиной 5 мм. Для проведения экспериментальных исследований пластинам придавалась форма квадрата с размером 14x14 мм. Размерный износ круга

измерялся с помощью специального приспособления (рис. 1) непосредственно на рабочем месте. Приспособление представляет собой текстолитовый диск, на одном торце которого по окружности с помощью эпоксидного клея прикреплены твердосплавные пластинки, которые после их крепления были доведены на плоскошлифовальном станке. В осевом отверстии приспособления с помощью винта устанавливается индикатор часового типа с ценой деления 0,001мм. Износ круга измерялся от постоянной базы, что достигалось установкой круга по риске до и после опыта, ножка индикатора при этом упирается в головку крепежного болта, поверхность которого и служит базой при измерении. Износ высчитывался как среднее 3-х измерений до и после проведения эксперимента. Температура корпуса алмазного круга до и после опыта обязательно соответствовала температуре окружающей среды.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При помощи математической программы «Maple» были рассчитаны значения объема износа алмазных зерен на 1 мм^2 рабочей поверхности в расчете на 1 оборот круга V_u , $\mu\text{мм}^3$, суммарная площадь условных поверхностей износа зерен F_u , $\mu\text{мм}^2$, и значения размерного износа кругов за 10 минутный промежуток времени его работы μ^{10} , $\mu\text{мм}$, при шлифованииnanoструктурного твердого сплава «ВолКар». Пример тела программы для конкретных условий обработки – нормальное давление $P = 1,2 \text{ МПа}$, скорость резания $v = 20 \text{ м/с}$ приведен ниже.

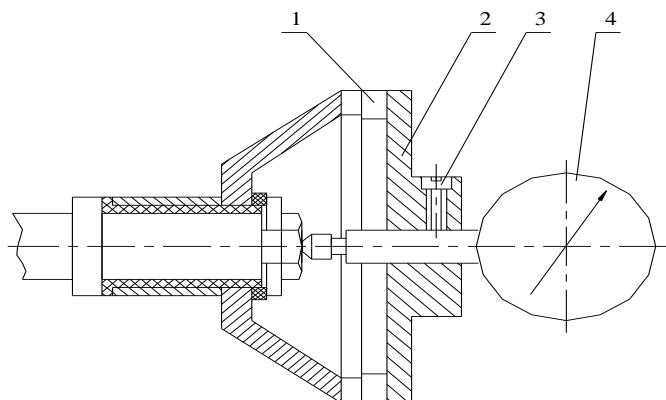


Рисунок 1 – Приспособление для измерения износа круга

1 - пластиинки из твердого сплава; 2 - корпус;

4 - индикатор часового типа

Моделирование износа алмазного круга (зернистость 100/80) при обработкеnanoструктурного твердого сплава "ВолКар"

Вводим все переменные:

- диаметр шлифовального круга, мм:

> restart :

> $d := 150;$

$$d := 150$$

Скорость резания, м/с:

> $V := 20;$

$$V := 20$$

- толщина среза z, мкм, зависит от нагрузки P, МПа:

> $P := 1.2;$

$$P := 1.2$$

> $z := 1.42;$

$$z := 1.42$$

- работоспособность зерен, зависит от обрабатываемого материала:

> $R := 688.03 + 4733.4 \cdot z - 6382.1 \cdot z^2 + 2228.3 \cdot z^3;$

$$R := 920.856210$$

- α - половина угла при вершине конуса:

> $\alpha := 45;$

$$\alpha := 45$$

- длина пути резания за один оборот, мкм:

> $L := 6000;$

$$L := 6000$$

- количество работающих контактирующих зерен (1 mm^2):

> $npk := 216 \cdot 10^{-2};$

$$npk := \frac{54}{25}$$

- число зерен в единице объема(в 1 mm^3):

> $n := 437 \cdot 10^{-3};$

$$n := \frac{437}{1000}$$

- размер большей полуоси зерна, мкм:

> $b := 67.5;$

$$b := 67.5$$

- максимальная высота выступания зерен, мкм:

$$> \delta_m := 7.2 \cdot b^{0.46};$$

$$\delta_m := 49.9818390;$$

- минимальная глубина заделки зерен, мкм:

$$> h := 5.286 + 0.647 \cdot b;$$

$$h := 48.958;$$

- определяем число оборотов круга, об/мин:

$$> n_{kp} := \frac{(1000 \cdot V \cdot 60)}{3.14 \cdot d};$$

$$n_{kp} := 2547.77070;$$

- определяем половину угла при вершине:

$$> tga;$$

$$tga$$

- определяем сечение среза, мкм:

$$> S := z^2 \cdot tga;$$

$$S := 2.0164$$

- определяем расстояние от связки до материала, мкм:

$$> r := \delta_m - z;$$

$$r := 48.5618390;$$

- определяем значения объема износа зерен, мкм^3 :

$$> V_u := npk \cdot \frac{(S(x) \cdot L)}{R(x)},$$

$$V_u := 28.3785282;$$

- определяем суммарную площадь, мкм^2 :

$$> F_u := n \cdot (0.88 \cdot (r + h)^3 + b \cdot (1.86 \cdot b^2 - 2.09 \cdot (r + h)^2));$$

$$F_u := 20333.6912;$$

- определяем износ круга за 10 мин, мкм:

$$> \mu := \frac{V_u \cdot n_{kp} \cdot 10}{F_u};$$

$$\mu := 35.5577263;$$

Результаты расчетов значений объема износа алмазных зерен на 1 мм^2 режущей поверхности круга за 1 оборот круга V_u , мкм^3 , суммарной

площади поверхностей износа этих зерен F_u , мкм^2 , и размерного износа круга за 10 минутный промежуток времени его работы μ^{10} , мкм представлены в табл. 1. Как видно, с увеличением нормального давления размерный износ кругов возрастает. Это в большей степени связано с ростом объема износа V_u особенно для мелкозернистых кругов. Например, для кругов зернистостью 50/40 при увеличении нормального давления с 1,2 МПа до 2,4 МПа V_u возрастает в 2,2 раза, а суммарная площадь износа F_u в 1,2 раза. Для кругов зернистостью 160/125 при том же интервале значений нормального давления V_u увеличивается в 1,2 раза, а F_u изменяется незначительно с возрастанием всего в 1,09 раза.

При анализе представленных в приведенной таблице результатов четко прослеживается тот факт, что для любой из рассмотренных зернистостей алмазного круга с ростом нормального давления суммарная площадь износа F_u изменяется весьма незначительно. Это свидетельствует с одной стороны об активной возобновляемости режущей поверхности, с другой стороны – об устойчивости рельефа при шлифовании.

В связи с полученными результатами расчета износа алмазных кругов для различных условий шлифования, представляет интерес сравнение их с экспериментальными данными, которые рассматриваются в работе [4].

Таблица 1 – Значения объема износа зерен V_u , мкм^3 ,
суммарной площади F_u , мкм^2 , и размерного износа круга μ^{10} , мкм

Зернистость	Нормальное давление Р, МПа								
	1,2			1,6			2,0		
	V_u	F_u	μ^{10}	V_u	F_u	μ^{10}	V_u	F_u	μ^{10}
50/40	14,52	8138	45,5	18,80	8781	54,6	25,93	9249	71,5
100/80	28,38	20333	35,6	37,13	21274	44,5	50,94	22130	58,7
160/125	21,61	32304	17,1	24,02	33473	18,3	25,46	34347	18,9

Для сравнительной оценки рассмотрим три конкретных примера. При шлифовании твердого сплава «ВолКар» со скоростью резания $V = 25$ м/с и нормальном давлении $P = 1,6$ МПа алмазным кругом зернистостью 100/80, концентрацией 4 размерный износ за 10 минут работы составил $\Delta S = 54,5$ мкм; а значение расчетного износа для тех же условий обработки составляет $\mu = 44,5$ мкм. При шлифовании твердого сплава «ВолКар» со скоростью резания $V = 25$ м/с и нормальном давлении $P = 1,6$ МПа алмазным кругом зернистостью 100/80, концентрацией 4 размерный износ за 10 минут работы составил $\Delta S = 54,5$ мкм; а значение расчетного износа для тех же условий обработки составляет $\mu = 44,5$ мкм. Шлифование тем же алмазным кругом с нормальным давлением $P = 1,2$ МПа и скоростью резания $V = 15$ м/с по результатам экспериментов сопровождалось износом $\Delta S = 41,5$ мкм; при этом расчетные значения износа было получено $\mu = 35,6$ мкм. Шлифование мелкозернистым алмазным кругом 50/40 и сравнение с расчетными данными также показало незначительное расхождение результатов. При проведении экспериментов со скоростью резания $V = 25$ м/с и нормальном давлении $P = 1,2$ МПа износ составил $\Delta S = 39,3$ мкм; а расчетом получено $\mu = 45,5$ мкм.

Таким образом, результаты расчета показывают вполне приемлемую сопоставимость с экспериментальными данными. Процент расхождения в приведенных выше примерах по размерному износу составил от 16 % до 22 %, что по моему мнению можно считать достаточно удовлетворительным результатом. Возможности реализации расчета износа алмазных кругов позволяют оценивать его результаты для различных сочетаний характеристик кругов, режимов резания и состояния рельефа. Учитывая, что проведение стойкостных экспериментов по износу алмазных кругов связано со значительными издержками – длительными и дорогостоящими опытами, расходом значительных объемов твердого сплава, в частности «ВолКар», возможности расчетного износа преобретают важное значение.

Список использованных источников: 1. Узунян М.Д. Алмазно-искровое шлифование твердых сплавов // Резание и инструмент. – 1981. – Вып. 26. – с. 42–48. 2. Узунян М.Д.,

Краснощек Ю.С. Работоспособность кругов при алмазно-искровом шлифовании твердых сплавов // Резание и инструмент. – 1980. – Вып. 23. – с. 3–10. **3. Малкин С., Кук Н.** Износ алмазных кругов // Конструирование и технология машиностроения. Тр. американ. общ-ва инж.-механиков. Пер. – М.: Мир, 1971. – № 4. – с. 237–252. **4. Стрельчук Р.М., Джха Ш.К.** Исследование и анализ производительности обработки при шлифованииnanoструктурных твердых сплавов // Високі технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ «ХПІ», 2012. – вип. 1(22). – С. 275-280.

Bibliography (transliterated): **1.** *Uzunjan M.D.* Almazno-iskrovoe shlifovanie tverdyh splavov // Rezanie i instrument. – 1981. – Vyp. 26. – s. 42–48. **2.** *Uzunjan M.D., Krasnoshhek Ju.S.* Rabotosposobnost' krugov pri almazno-iskrovom shlifovanii tverdyh splavov // Rezanie i instrument. – 1980. – Vyp. 23. – s. 3–10. **3.** *Malkin S., Kuk N.* Iznos almaznyh krugov // Konstruirovaniye i tehnologija mashinostroenija. Tr. amerik. obshh-va inzh.-mehanikov. Per. – M.: Mir, 1971. – № 4. – s. 237–252. **4.** *Strel'chuk R.M., Dzhha Sh.K.* Issledovaniye i analiz proizvoditel'nosti obrabotki pri shlifovanii nanostrukturnykh tverdyh splavov // Visoki tehnologii v mashinobuduvanni. – Harkiv: NTU «HPI», 2012. – vip. 1(22). – S. 275-280.

УДК 621.9(075.8)

B. В. СТУПНИЦЬКИЙ, канд. техн. наук,
A.М. КУК, канд. техн. наук, Львів, Україна

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ НАПРУЖЕНО-
ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЗАГОТОВКИ ВІД ПЕРЕДНЬОГО
КУТА РІЗАЛЬНОГО КЛИНА НА ОСНОВІ РЕОЛОГІЧНОГО
МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ**

На формування напружене-деформованого стану заготовки в зоні стружкоутворення суттєвий вплив має величина переднього кута різального клина. З метою дослідження впливу цього технологічного чинника на показники, що визначатимуть силові та деформаційні параметри процесу різання, проведений аналіз реологічного імітаційного моделювання при обробленні різномірних конструкційних матеріалів, що найчастіше використовуються в машинобудуванні.

На формирование напряженно-деформированного состояния заготовки в зоне стружкообразования существенное влияние оказывает величина переднего угла режущего клина. С целью исследования степени влияния этого технологического фактора на показатели, которые будут определять силовые и деформационные параметры процесса резания, проведен анализ реологического имитационного моделирования при обработке разнородных конструкционных материалов, чаще всего использующихся в машиностроении.

The magnitude of the cutting wedge's rake angle has a significant influence on the stress-strain state in the chip formation zone. Rheological analysis of simulation for machining heterogeneous structural materials, which are often used in engineering, conducted to investigate the influence of this factor to the technological characteristics that will determine the strength and deformation parameters of the cutting process.

Вступ. Дослідження і опис основних закономірностей протікання різних процесів при механічному обробленні дозволяє підійти до пояснення масопереносу в умовах стружкоутворення, сформулювати основні принципи інтенсифікації різних процесів при обробленні металів. Дослідження процесів високошвидкісної деформації і руйнування матеріалів, з одного боку, дозволяє судити про динаміку зміни стану

речовин на субструктурному рівні за характером протікання процесів, а з іншого боку, розробити якісно нові фізичні принципи інтенсифікації методів обробки, контролю процесу обробки і діагностування стану різального інструменту. На основі всебічного вивчення взаємозв'язку деформаційних, післядеформаційних процесів і процесів руйнування матеріалів, структурних змін в умовах високих швидкостей обробки можливий науково-обґрунтований підхід до використання отриманих результатів при оптимізації режимів різання. Врахування проміжних станів матеріалу заготовки під час різання в рамках механіки локального руйнування вимагає аналізу існуючих розрахункових концепцій та моделей. Відповіді на ці питання можуть бути знайдені тільки на основі аналізу основних характеристик напружено-деформованого стану у найбільш характерних точках області стружкоутворення, отриманих шляхом використання для розрахунків реологічних моделей структури оброблюваних матеріалів в зоні різання, що адекватно описують їх реальні властивості. До основних характеристик відносяться дані про напруження, деформації, швидкості деформацій і температуру в зоні стружкоутворення. Одним з найширше важливих інструментів для дослідження локальних характеристик напружено-деформованого стану (НДС) в пластичній області є метод кінцевих елементів, який реалізований у таких відомих програмних продуктах світового рівня, як DEFORM, ABAQUS, LS DYN, Advantage. Ці програмні продукти дозволяють з достатньою точністю зробити розрахунок сил різання, усадки стружки, конфігурації і площині контактної поверхні з інструментом і межами пластичної зони, провести розподіл силових та деформаційних показників, швидкостей деформацій і температур як в зоні стружкоутворення, так і в інструменті [5, 9].

У статті проаналізовані результати імітаційного моделювання реологічної картини різання ізоморфного пластичного матеріалу, отриманої моделюванням процесу в DEFORM 2D.

Виклад основного матеріалу статті. При обробленні пластичних матеріалів із середніми режими різання і геометричними параметрами різального інструменту, напружене поле стружки має більший вплив на деформацію металу поверхневого шару, ніж напружене поле в зоні діатермічного зсуву. В результаті цього в поверхневому шарі виникає

залишкове напруження розтягу. Збільшення зусиль різання і відповідних полів напруження, пов'язане зі зміною режимів різання, призводить до зростання залишкового напруження розтягу. При збільшенні переднього кута різального клина γ коефіцієнт усадки стружки зменшується. Це підтверджується рядом досліджень, які показують, що із збільшенням переднього кута γ зменшується тертя стружки об передню поверхню інструменту, що у свою чергу призводить до збільшення кута зсуву β_1 . Відомо, що чим більший кут зсуву, тим менший коефіцієнт усадки стружки [3, 6]. Крім того, при обробці пластичних металів, приповерхневий шар деформується не лише під впливом силового поля передньої поверхні різця, але одночасно деформується під впливом стікаючої стружки. У зв'язку з тим, що інтенсивність пластичної деформації металу стружки значно вище за інтенсивність деформації металу під поверхнею зсуву, деформовані об'ємні ділянки заготовки під впливом верхнього шару металу, що йде в стружку, додатково витягаються у напрямі стружки, і у момент віddілення орієнтуються по відношенню до напряму вектору швидкості під кутом більше 45° [6].

Зі збільшенням переднього кута γ сила різання зменшується і процес віddілення стружки протікає з меншою затратою енергії, а отже оброблюваний матеріал менше підлягає деформаціям. Проте, при великих передніх кутах ($\gamma > 15^\circ$) міцність різця знижується: різальне лезо такого різця швидко зношується, а нерідко навіть викришується [3]. Тому, коли підбирають передній кут γ , мають на увазі не тільки зменшення сили різання, але й одержання необхідної міцності різального леза і стійкості різця. Тобто, чим твердішим є оброблюваний матеріал, тим меншим повинен бути передній кут різця [3]. На рис.1 наведені графіки залежності сил різання від величини переднього кута різального інструмента γ при обробленні конструкційних сталей 20 та сталі 45 (подача $S=0,25$ мм; глибина різання $t=1$ мм; швидкість різання $V=120$ мм/хв).

Аналізуючи графіки, наведені на рис.1, можна зробити висновок про те, що передній кут інструменту суттєво впливає на величину сили різання, а саме при обробленні сталі 20 збільшення кута γ від 5° до 15° призводить до зменшення сил різання лише на 5%, а при обробленні сталі 45 – взагалі

зменшення сил різання спостерігається лише в неусталеній частині врізання інструмента. Це пояснюється тим, що на етапі врізання ділянка контакту інструмента і заготовки при більших кутах γ є меншою, а отже і менші питомі навантаження. Натомість, при зменшенні кута γ від 5° до 0° відбувається суттєве зростання сили різання – приблизно на 25% при різанні сталей 20 і 45.

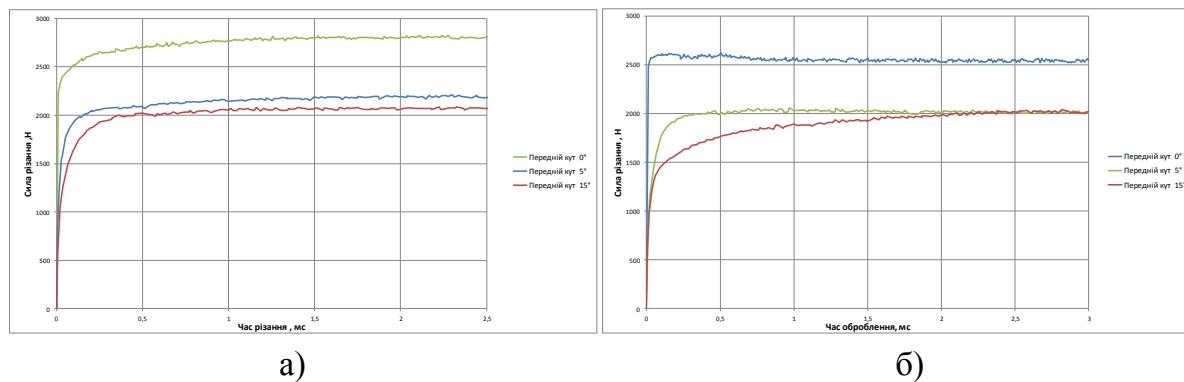


Рисунок 1 – Графіки залежності сил різання від переднього кута γ при обробленні сталі 20 (а) та сталі 45 (б), визначені на основі аналізу реологічних імітаційних моделей в системі Deform 2D

З метою аналізу коливань інструмента в поперечному напрямку (перпендикулярному напрямку подачі), проведений аналіз динаміки зміни поперечної складової сили різання, як величини, що найбільше впливає на частоту та амплітуду коливань інструмента [6]. Реологічні дослідження проводились при аналогічних режимах різання (подача $S=0,25$ мм; глибина різання $t=1$ мм; швидкість різання $V=120$ мм/хв), для оброблення заготовки, виготовленої зі сталі 20 інструментом з передніми кутами $\gamma=5^\circ, 0^\circ, 5^\circ, 15^\circ$.

Аналіз цих графіків дозволив виявити деякі закономірності, що підтверджують та розвивають результати теоретичних та експериментальних досліджень, наведених проф. Подураєвим В.Н. та проф. Жарковим І.Г. у роботах [4, 6]. Сила P_{Σ} , що збурює коливання інструмента, формується за рахунок векторної суми реакції сили тертя стружки об передню поверхню інструмента P_T в зоні стружкоутворення, сили тиску стружкового сегменту на передню поверхню інструмента P_f , та

сили відтиску інструменту P_R за рахунок пружної деформації металу на обробленій поверхні заготовки в зоні задньої його поверхні (рис. 3).

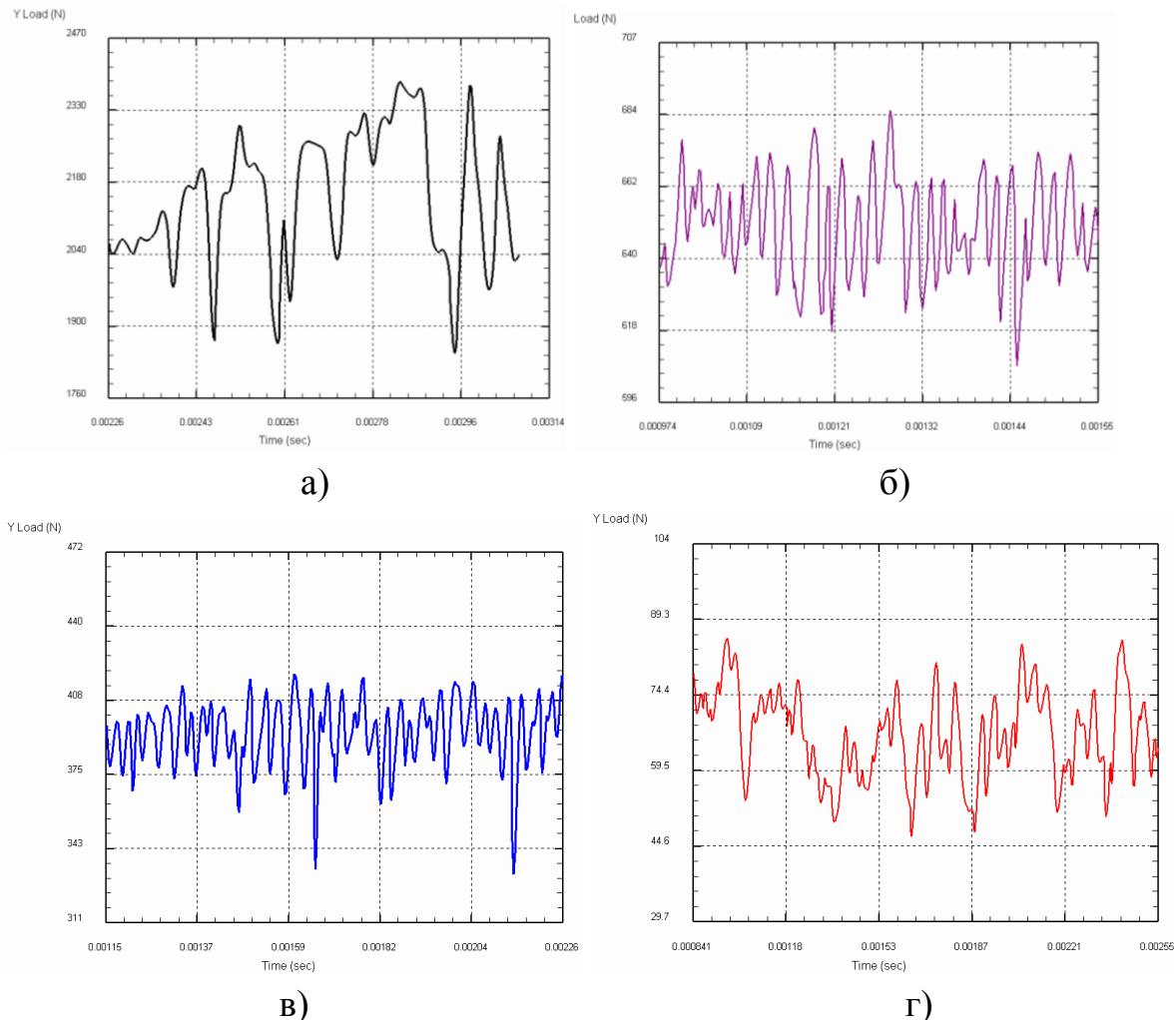


Рисунок 2 – Графіки коливань поперечної складової сил різання при режимах - подача $S=0,25$ мм; глибина різання $t=1$ мм; швидкість різання $V=120$ мм/хв, для оброблення заготовки, виготовленої зі сталі 20 інструментом з передніми кутами різання $\gamma=-5^\circ$ (а), $\gamma=0^\circ$ (б), $\gamma=5^\circ$ (в), $\gamma=15^\circ$ (г)

Приводячи проекції сил на вісь Y для позитивного переднього кута ($\gamma > 0$), отримаємо:

$$P_{\Sigma} = P_f \cdot \cos \gamma + P_T \cdot \sin \gamma - P_R \cdot \sin \alpha \quad (1)$$

У випадку негативного переднього кута ($\gamma < 0^\circ$):

$$P_{\Sigma} = P_T \cdot \sin \gamma - P_R \cdot \sin \alpha - P_f \cdot \cos \gamma \quad (2)$$

А при умові $\gamma = 0^\circ$:

$$P_{\Sigma} = P_T \cdot \sin \gamma - P_R \cdot \sin \alpha \quad (3)$$

Якщо прийняти, що задній кут α різального клина залишається незмінним, то очевидно, що найбільші коливання матимуть місце при умові, що силі тертя стружки об передню поверхню інструменту P_T будуть протидіяти співнаправлені сила тиску стружкового сегменту на передню поверхню інструмента P_f , та сила пружного відтиску інструменту P_R .

Тобто, сила тиску стружки на передню поверхню не буде гасити коливання інструменту, викликані динамічною зміною кута зсуву, коливаннями температури в зоні стружкоутворення, дефектами матеріалу, залишковими деформаціями, отриманими від попередніх методів оброблення тощо, а навпаки, буде їх збурювати. Це можливо за умови негативного переднього кута ($\gamma < 0^\circ$) різального клина. У випадку ж позитивного кута ($\gamma > 0^\circ$) – маємо зворотну картину: різальний інструмент попадає у своєрідний клин між стружковим елементом і обробленою поверхнею. Причому дії сил на цих поверхнях є протилежними за напрямком, що і спричинює гасіння коливань інструмента.

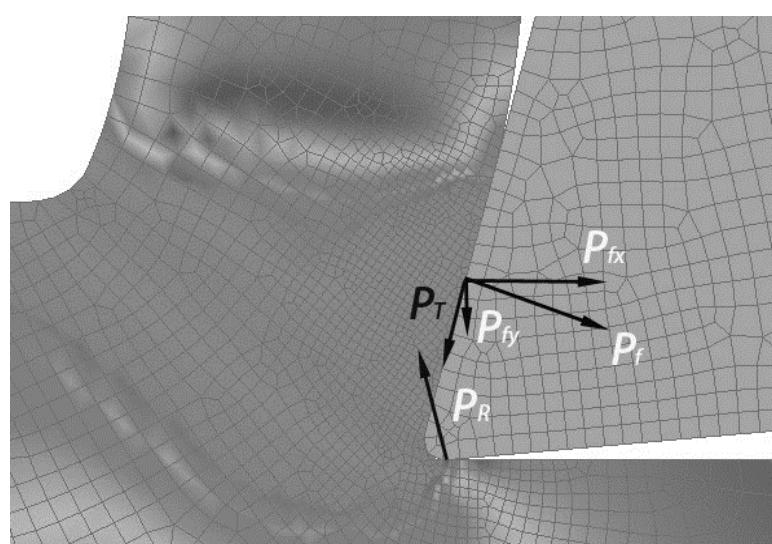


Рисунок 3 – Схема дії сил на передній поверхні інструмента

Аналіз результатів реологічного моделювання цілком підтверджує ці теоретичні викладки. Так, оброблення деталі зі сталі 20 на режимах різання - подача $S=0,25$ мм; глибина різання $t=1$ мм; швидкість різання $V=120$ мм/хв, при передньому куті інструмента $\gamma=-5^\circ$ спричинює коливання складової сили різання в межах 280...430 Н (рис.2(а)), при передньому куті інструмента $\gamma=0^\circ$ коливання складової сили різання становить лише 40...60 Н (рис.2(б)), при передньому куті інструмента $\gamma=5^\circ$ викликає коливання складової сили різання є в межах 25...30 Н (рис.2(в)), а при передньому куті інструмента $\gamma=15^\circ$ викликає коливання складової сили різання складає лише в межах 5...10 Н (рис.2(г)). Силові коливання є еквівалентом формоутворюючих вібрацій інструмента, що суттєво впливає на точність та шорсткість обробленої поверхні. Більш детально ці питання розкриті у роботі автора [10].

На рис.4 наведені графіки залежності сил різання від величини переднього кута різального інструмента γ при обробленні легованої сталі 34Х2Н2М (подача $S=0,25$ мм; глибина різання $t=1$ мм; швидкість різання $V=120$ мм/хв). Аналізуючи залежність силових параметрів від переднього кута інструменти при обробленні легованих сталей, можна спостерігати картину, аналогічну обробленню конструкційних сталей, з тією лише різницею, що вплив зменшення кута γ супроводжується ще більшим зростанням сили різання. Аналогічно зростають і коливання інструменту.

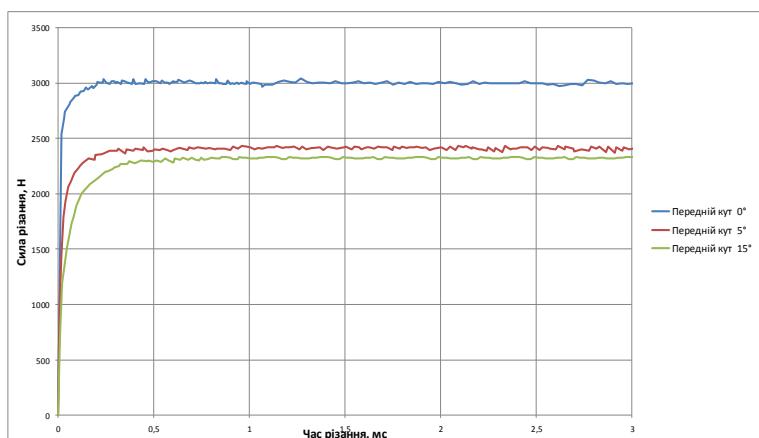


Рисунок 4 – Графік залежності сили різання від переднього кута γ при обробленні легованої сталі 34Х2Н2М, визначеній на основі аналізу реологічної імітаційної моделі в системі Deform 2D

Аналіз графіків впливу переднього кута інструменту на силу різання при обробленні легованої сталі 34Х2Н2М, наведених на рис.4, дозволяє зробити висновки, що збільшення кута γ від 5° до 15° призводить до зменшення сил різання лише на 7%, а при зменшенні кута γ від 5° до 0° відбувається суттєве зростання сили різання – приблизно на 20%.

На рис.5 наведені графіки залежності сил різання від величини переднього кута різального інструмента γ при обробленні алюмінієвого сплаву АД33 (подача $S=0,25$ мм; глибина різання $t=1$ мм; швидкість різання $V=120$ мм/хв).

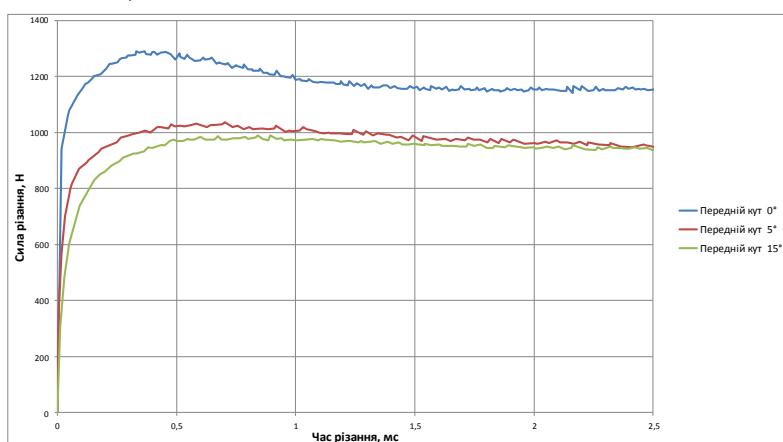


Рисунок 5 – Графік залежності сили різання від переднього кута γ при обробленні алюмінієвого сплаву АД33, визначеної на основі аналізу реологічної імітаційної моделі в системі Deform 2D

Попри аналогію із результатами аналізу впливу переднього кута інструменту на силу різання при обробленні алюмінієвого сплаву з конструкційними та легованими сплавами, в даному випадку спостерігається початкове різке зростання сил різання (до 0,5 мс), і наступне їх вирівнювання (від часу 1,5 мс), як результат подолання енергетичного бар'єру при перетворенні сили пружності у сили пластичного деформування та руйнування. Крім того, можна відзначити, що суттєвого ефекту від збільшення переднього кута, що перевищує значення $\gamma > 5^\circ$ не спостерігається. Натомість, з літератури [4] відомо, що в цих умовах відбувається активне наростоутворення на передній поверхні інструмента, що вкрай негативно позначається на формуванні мікрорельєфу оброблюваної поверхні. Отже, найбільш ефективний

діапазон використання передніх кутів при обробленні деталей, виготовлених з алюмінієвих сплавів, є в межах $\gamma = 0 \dots 5^\circ$, що цілком корелюється з рекомендаціями [11].

На рис.6 наведені графіки залежності сил різання від величини переднього кута різального інструмента γ при обробленні нікелевого жароміцького сплаву XH60Ю (аналог IN 718¹) (подача $S=0,25$ мм; глибина різання $t=1$ мм; швидкість різання $V=120$ мм/хв).

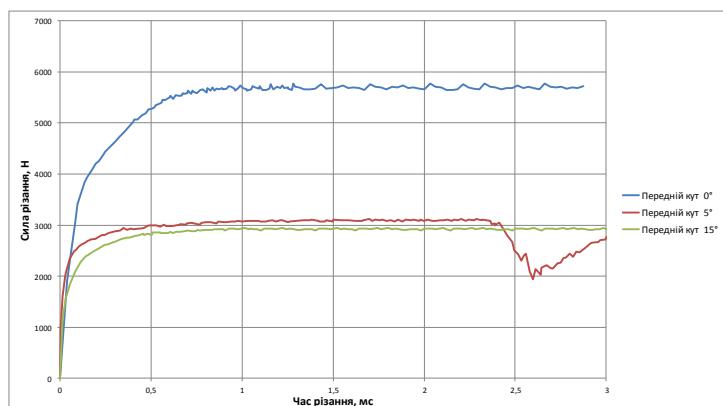


Рисунок 6 – Графік залежності сили різання від переднього кута γ при обробленні жароміцького сплаву XH60Ю (аналог IN 718), визначеної на основі аналізу реологічної імітаційної моделі в системі Deform 2D

В даному випадку зростання сили різання при зменшенні кута γ від 5° до 0° є набагато більшим і становить приблизно 45% в зоні усталеного різання. Такий різкий стрибок сили різання можна пояснити тим, що разом із зростанням навантаження стрімко зростає і температура в зоні різання, причому при порівнянні температурних полів при обробленні сталі 20 і жароміцького сплаву XH60Ю (режими різання - подача $S=0,25$ мм; глибина різання $t=1$ мм; швидкість різання $V=120$ мм/хв), можна зробити висновок, що температура в зоні різання жароміцького сплаву на 50% вище від температури при обробленні сталі 20. Таке явище обумовлено, в основному, високим відсотком вмісту нікелю у сплаві. *Мала тепlopровідність нікелевого сплаву XH60Ю* призводить до підвищеної температури в зоні контакту, а отже, до активізації явищ адгезії і дифузії, інтенсивного схоплювання контактних поверхонь і руйнування різальної

¹ Стандарт США ASTM 915, євростандарт EN 10363-3, стандарт Японії – JIS G4051.

частини інструменту. Основою різкого зростання силових чинників є здатність хромонікелевих сплавів зберігати початкову міцність і твердість при підвищених температурах, що призводить до високих питомих навантажень на контактні поверхні інструменту в процесі різання. Сплав ХН6Ю при температурі 20°C має $\sigma_B=680\ldots700$ МПа, а при температурі 800°C $\sigma_B=610\ldots630$ МПа [6]. З наведених даних видно, що міцність цього жароміцного матеріалу зі збільшенням температури до 800°C змінюється мало, тоді як міцність сталі 45 при цій же температурі знижується в 3-5 разів. Це незначне зменшення міцності матеріалу при нагріві в процесі різання призводить до високих питомих навантажень на передню поверхню різальної частини інструменту — від 5000 МПа при великих подачах, і до 9000 МПа при малых, що у декілька разів перевищує ці значення для звичайних конструкційних сталей і відповідає обробленню загартованих сталей з HRC 60…64 [4].

На рис.7 наведені графіки залежності сил різання від величини переднього кута різального інструмента γ при обробленні титанового сплаву BT6 ГОСТ 19807-91 (аналог Ti6Al4V) (подача $S=0,25$ мм; глибина різання $t=1$ мм; швидкість різання $V=120$ мм/хв).

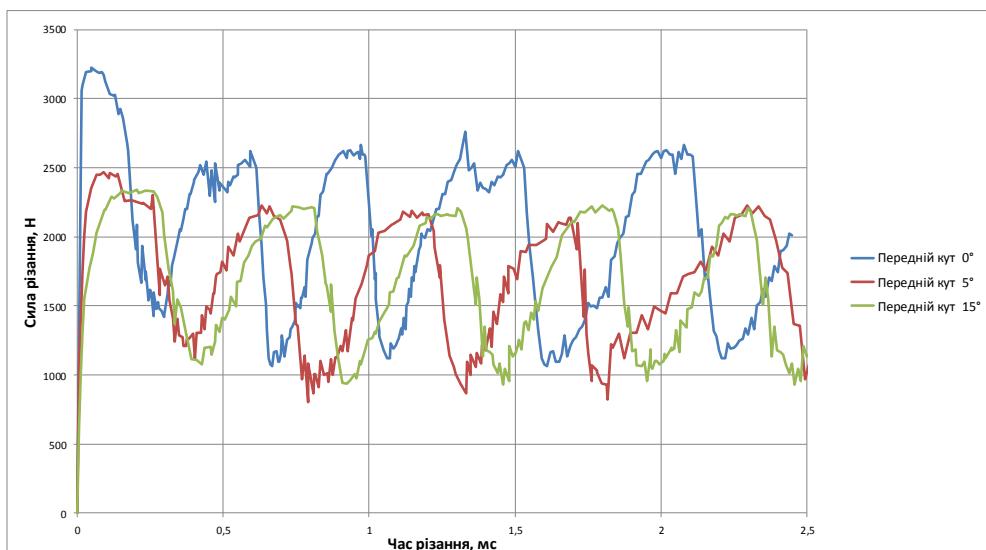


Рисунок 7 – Графік залежності сили різання від переднього кута γ при обробленні обробленні титанового сплаву BT6 ГОСТ 19807-91 (аналог Ti6Al4V), визначеній на основі аналізу реологічної імітаційної моделі в системі Deform 2D

В даному випадку не спостерігається значного зростання сили різання в залежності від зменшення переднього кута γ (при зменшенні γ з 5° до 0° сила різання зростає на 15...20%, а при зменшенні γ з 15° до 5° сила різання взагалі практично не змінюється). Проте із збільшенням γ зростає частота утворення зон адіабатичного зсуву. Висока пластичність титанових сплавів призводить до того, що при їх обробленні утворюється зубчастоподібна стружка, що на вигляд схожа на зливну, але має тріщини, які розділяють її на дуже слабо деформовані елементи, міцно пов'язані між собою тонким і сильно деформованим контактним шаром [2]. Утворення такої форми стружки пояснювалося тим, що із зростанням швидкості різання пластична деформація не встигає протікати в основному об'ємі, концентруючись в контактному шарі, де виникають високі тиски і температури. У той же час титанові сплави мають ще меншу теплопровідність, ніж жароміцні стали і сплави; внаслідок цього при різанні, наприклад, титанового сплаву ВТ6 виникає в середньому в 2,2 рази вища температура, ніж при обробленні сталі 45. Тому температура в зоні різання внаслідок поганої теплопровідності титаномістких матеріалів продовжує залишатися високою, викликаючи тим самим структурні перетворення і активну взаємодію з повітрям [1,8]. В результаті знижених пластичних властивостей титанових сплавів має місце утворення в процесі деформації випереджаючих макро- і мікротріщин. Це пояснює також утворення при різанні титанових сплавів великих кутів зсуву ($\beta = 38^\circ \dots 44^\circ$) з малою усадкою стружки (як правило, коефіцієнт усадки її по довжині близький до одиниці [6,10]).

Висновки. Проаналізувавши вплив переднього кута різального клина на реологічні властивості матеріалів, можна зробити висновки, що підтверджують експериментальні дані та розвивають теоретичні положення процесу теорії різання:

Передній кут γ має суттєве значення на формування силових, деформаційних характеристик матеріалів, створення вібрацій різального інструмента, особливо в діапазоні $\gamma < 5^\circ$. При обробленні більшості конструкційних та низьколегованих сталей збільшення кута γ від 5° до 15° призводить до зменшення сил різання лише на 3...5%. Натомість, при

зменшенні кута γ від 5° до 0° відбувається суттєве зростання сили різання – приблизно на 20...25%.

При обробленні жароміцьких сплавів з великим вмістом нікелю, вольфраму, хрому, молібдену, та іншими матеріалами, схильними до утворення інтерметалідних сполук низької тепlopровідності, зростання сили різання при зменшенні кута γ від 5° до 0° є набагато більшим і становить приблизно 45...50% в зоні усталеного різання. Такий різкий стрибок сили різання можна пояснити тим, що разом із зростанням навантаження стімко зростає і температура в зоні різання, причому при порівнянні температурних полів при обробленні сталі 20 і жароміцького сплаву ХН60Ю (режими різання - подача $S=0,25$ мм; глибина різання $t=1$ мм; швидкість різання $V=120$ мм/хв). Таким чином, можна зробити висновок, що температура в зоні різання жароміцького сплаву на 50% вище від температури при обробленні сталі 20.

Вплив зміни переднього кута на силові показники при обробленні титанових сплавів значного зростання сили різання не спостерігається. Наприклад, при зменшенні γ з 5° до 0° сила різання при обробленні сплаву ВТ6 зростає на 15...20%, а при зменшенні γ з 15° до 5° сила різання взагалі практично не змінюється. Проте із збільшенням γ зростає частота коливань зон адіабатичного зсуву, що значно погіршує умови стружкоутворення, сприяє значним вібраційним навантаженням на інструмент і активному зростанню залишкових деформацій на обробленій поверхні.

Список використаних джерел: 1. *Stupnytskyy Vadym. Thermal factors influence on rheological state of machining part in chip forming zone // Acta Universitatis Pontica Euxinus, Varna, Bulgaria (Proceeding of IX International Conference "Strategy of quality in industry and education"). - Vol.1.- 2013 – P.136-139.* 2. Армарего И.Дж. А., Браун Р.Х. Обработка металлов резанием. М.: «Машиностроение», 1977.- 325 с. 3. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. М: Машиностроение, 1975.- 344 с. 4. Жарков И.Г. Вибрации при обработке лезвийным инструментом. – Л.: Машиностроение, 1986. – 184 с. 5. Криворучко Д.В. Моделирование процессов резания методом конечных элементов: методологические основы / Д.В. Криворучко, В.А. Залога. – Сумы: Университетская книга, 2012.- 435 с. 6. Подураев В.Н. Резание труднообрабатываемых материалов. М.: "Высшая школа", 1974.- 587 с. 7. Резников А.Н. Тепловые процессы в технологических системах / А.Н. Резников, Л.А. Резников.– М.: Машиностроение, 1990. -288 с. 8. Ступницкий В.В. Исследование адиабатического сдвига стружки при механической обработке титановых и никелевых сплавов на основе анализа

результатов имитационного реологического моделирования в системе DEFORM // Научный (производственно-практический) журнал «Веснік Гродзенскага Дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы», Гродно (Республика Беларусь), 2013, №3(158), Серия 6.- с. 76-86. **9.** Ступницький В.В. Дослідження напружено-деформованого стану деталей машин під час їх механічного оброблення у зоні стружкоутворення// Вісник Національного університету «Львівська політехніка» «Динаміка, міцність та проектування машин і приладів». - Львів.- 2012, №730.- С. 125-129. **10.** Ступницький В.В., Новіцький Я.М. Математичне моделювання автоколивань різального інструменту та їхній вплив на інженерію поверхні // Машинознавство. — 2013. — №1-2 (187-188).- С.19-22. **11.** Ящерицын П.И. Теория резания /П.И. Ящерицын, Е.Э. Фельдштейн, М.А. Корниевич. – Минск: Новое знание, 2006.- 512 с.

Bibliography (transliterated): **1.** Stupnytskyy Vadym. Thermal factors influence on rheological state of machining part in chip forming zone // Acta Universitatis Pontica Euxinus, Varna, Bulgaria (Proceeding of IX International Conference “Strategy of quality in industry and education”). - Vol.1. 2013 – P.136-139. **2.** Armarego I. Dzh. A., Braun P.X. Obrabotka metallov rezaniem. M.: «Mashinostroenie», 1977.- 325 s. **3.** Bobrov V.F. Osnovy teorii rezaniya metallov. M: Mashinostroenie, 1975.- 344 s. **4.** Zharkov I.G. Vibracii pri obrabotke lezvijnym instrumentom. – L.: Mashinostroenie, 1986. – 184 s. **5.** Krivoruchko D.V. Modelirovanie processov rezaniya metodom konechnyh jelementov: metodologicheskie osnovy / D.V.Krivoruchko, V.A.Zaloga. – Sumy: Universitetskaja kniga, 2012.- 435 c. **6.** Poduraev V.N. Rezanie trudnoobrabatyvaemyh materialov. M.: "Vysshaja shkola", 1974.- 587 s. **7.** Reznikov A.N. Teplovye processy v tehnologicheskikh sistemah / A.N. Reznikov, L.A. Reznikov.– M.: Mashinostroenie, 1990. -288 c. **8.** Stupnickij V.V. Issledovanie adiabaticheskogo sdviga struzhki pri mehanicheskoy obrabotke titanovyh i nikelевых сплавов на основе анализа результатов имитационного реологического моделирования в системе DEFORM // Nauchnyj (proizvodstvenno-prakticheskij) zhurnal «Vesnik Grodzenskaga Dzjarzhaўnaga ўniversitjeta imja Janki Kupaly», Grodno (Respublika Belarus'), 2013, №3(158), Serija 6.- s. 76-86. **9.** Stupnic'kij V.V. Doslidzhennja napruzeno-deformovanogo stanu detalej mashin pid chas ih mehanichnogo obrobленja u zoni struzhkoutvorennja// Visnik Nacional'nogo universitetu «L'viv's'ka politehnika» «Dinamika, mitsnist' ta projektuvannja mashin i priladiv». - L'viv.- 2012, №730.- S. 125-129. **10.** Stupnic'kij V.V., Novic'kij Ja.M. Matematichne modeljuvannja avtokolivan' rizal'nogo instrumentu ta ihnij vpliv na inzheneriju poverhni // Mashinoznavstvo. — 2013. — №1-2 (187-188). S.19-22. **11.** Jashhericyn P.I. Teoriya rezaniya /P.I.Jashhericyn, E.Je.Fel'dshtejn, M.A.Kornievich. – Minsk: Novoe znanie, 2006. - 512 s.

УДК 621.941

A.A. ОРГІЯН, д-р техн. наук,
А.В. БАЛАНЮК, Одеса, Україна

ОСОБЕННОСТИ КОЛЕБАНИЙ КОНСОЛЬНЫХ БОРШТАНГ ДЛЯ ТОНКОГО РАСТАЧИВАНИЯ

У статті вивчені та уточнені параметри пружної системи шпиндель-борштанга обробно-розвічувальних верстатів. Наведено експериментальні результати досліджень ізгибних коливань борштанги при холостому ході і різанні. На основі вивчення коливань довгих борштанг проаналізована їх вібростійкість при збільшенні демпфірування і жорсткості, а також при зміні маси. Обговорено умови виникнення параметрических резонансів, залежно від власної частоти борштанги і варіювання швидкості різання.

В статье изучены и уточнены параметры упругой системы шпиндель-борштанга отделочно-расточных станков. Приведены экспериментальные результаты исследований изгибных колебаний борштанги при холостом ходе и резании. На основе изучения колебаний длинных борштанг проанализирована их виброустойчивость при увеличении демпфирования и жесткости, а также при изменении массы. Обсуждены условия возникновения параметрических резонансов в зависимости от собственной частоты борштанги и варьирования скорости резания.

In this paper we study and specification parameters of elastic system spindle boring bar finishing and borers. The experimental results of studies of flexural vibrations of the boring bar at idle and cutting. Based on the study of long boring bar vibrations analyzed by increasing their vibration damping and stiffness, as well as weight change. Discussed the conditions of parametric resonance depending on the natural frequency of the boring bar and varying cutting speeds.

Консольные борштанги, обеспечивая высокую производительность при растачивании на специальных и универсальных станках, обладают малой жесткостью, понижающей виброустойчивость.

Вследствие этого исследования колебаний консольных борштанг занимают одно из ведущих мест в динамике станков, по крайней мере, по числу опубликованных работ [1]. Анализируя содержание известных

работ, приведем основные результаты динамических исследований:

1. Условия возникновения внутреннего резонанса при совпадении первых собственных частот изгибных и крутильных колебаний борштанги не отражают влияния податливости других элементов упругой системы станка, а также характеристик обрабатываемого материала, геометрии резца и режимов резания.

2. Установлено существенное влияние шпиндельного узла и других элементов упругой системы на изгибные и крутильные колебания. Показано, что крутильные колебания, обнаруживаемые преимущественно у коротких и тонких борштанг, зависят от изменения характеристик системы при варьировании скорости резания, а также от вылета резца.

3. Установлено, что пространственная форма изгибных колебаний борштанги практически совпадает с формой статического изгиба при нагружении радиальной силой у резца. Связь между изгибными и крутильными колебаниями слабая, а амплитуды изгибных колебаний примерно на порядок больше, чем крутильных, причем отношение этих величин растет с увеличением диаметра борштанги.

4. При заданных режимах резания и обрабатываемом материале можно определить предельную податливость у резца, обеспечивающую виброустойчивость, но эта величина несколько уменьшается с ростом диаметра борштанги. Расчет податливости рекомендуется выполнять для системы шпиндель-борштанга, как для балки переменного сечения на упруго – податливых опорах.

5. Установлен стесненный характер стружкообразования при тонком растачивании. Поэтому сила резания значительно превышает величину, рассчитываемую по общепринятым формулам для наружного точения. При этом сила резания возрастает с уменьшением диаметра растачиваемого отверстия.

В настоящей работе приведены исследования динамических характеристик консольных борштанг, в том числе длинных борштанг.

Назовем "длинными" борштанги, для которых отношение длины консоли к диаметру $l_1 / d_1 > 3$. Такие борштанги являются удобным объектом модельного эксперимента, так как при их применении упругую систему можно считать одномерной, а замкнутая динамическая система станка в

зависимости от условий обработки либо обладает малым запасом устойчивости, либо переходит в режим автоколебаний. Важность исследования длинных борштанг определяется также и тем, что устанавливаются предельные условия обработки без применения виброгасящих устройств. Данные о борштангах в эксперименте и о шпиндельных узлах, на которые они устанавливались, сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Пределы варьирования конструктивных параметров

Борштанга		Шпиндельный узел	Борштанга		Шпиндельный узел
$d_1, \text{мм}$	$l_1, \text{мм}$		$d_1, \text{мм}$	$l_1, \text{мм}$	
15	30...75	УАР2	50	150...350	УАР4
25	50...175	УАР2	70	250..410	УАР4

Полученные экспериментальные данные зависимостей параметров УС от длины борштанги представлены на рисунке 1, а на рисунке 2 приведены конструктивная и статическая схемы шпиндельного узла с борштангой.

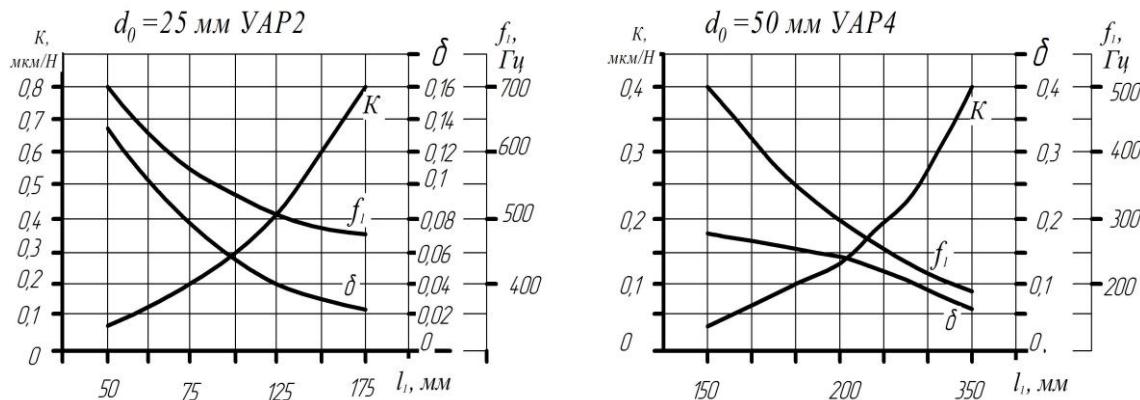


Рисунок 1 – Параметри системи шпиндель-борштанга
 f – перша собственна частота;
 δ – логарифмический декремент колебань

Радиальная податливость в сечении, где установлен резец, определяется выражением

$$K = \frac{l^3}{3EI} \left[\sum_{i=1}^n \frac{S_i^3 - S_{i-1}^3}{j_i} + QS_n^2 + \alpha(1 + 2\xi_n + 2\xi_n^2) \right], \quad (1)$$

где приняты обозначения рисунка 2, а также

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64}, \quad \xi = \frac{l_i}{l}, \quad j_i = \frac{\pi \cdot d_i^4}{64 \cdot I}, \quad \alpha = \frac{3 \cdot EI}{l^3 \cdot C_p}, \quad \beta = \frac{3 \cdot EI}{l^3 \cdot C_n}, \quad Q = \frac{(4 \cdot \beta + 3) \cdot \beta}{[4 \cdot (\beta + 1)^2 - 1]},$$

где C_p – радиальная жесткость дуплицированной подшипниковой опоры, а C_n – ее поворотная жесткость. Отметим, что расчет C_p и C_n на основе рекомендаций приводит к расхождению с данными эксперимента, достигающему для отдельных объектов 30-40%. Уменьшение этого расхождения до величины, не превышающей 10%, достигается уточнением значений Q и α , являющихся параметрами, зависящими от конструктивных особенностей шпиндельного узла. Эти значения приведены в таблице 3.

Таблица 2 – Конструктивные параметры шпиндельных головок отделочно–расточных станков

Параметры шпиндельных головок отделочно–расточных станков	для моделей			
	УАР1	УАР2	УАР3	УАР4
Приделы диаметров растачиваемых отверстий, мм	8...32	20...65	50..125	100..200
Наибольшее число оборотов шпинделя в минуту	6500	4000	2000	1600
Диаметр шпинделя в пролете d , мм	40	55	75	120
Диаметр консоли шпинделя d_n , мм	50	64	88	135
Диаметр фланца шпинделя d_{n-1} , мм	120	140	170	200
Длина пролета l , мм	316	310	302	300
Расстояние от середины передней опоры до фланца шпинделя $l_{конс}$, мм	44	47	49	64
Толщина фланца шпинделя, мм	20	20	20	24
Условное обозначение подшипника и его размеры	36208	36211	46215	46124
D , мм	80	100	130	180
d , мм	40	55	75	120
B , мм	18	21	25	28
Высота распорного кольца в дуплексе H , мм	10	10	10	10

Таблица 3 – Значения параметров для, расчета податливости по формуле (1)

Модель шпиндельной головки	$l^3 / 3EI, \text{мкм}/\text{Н}$	Q	α
УАР1	0,4185	0,43	0,023
УАР2	0,1105	0,55	0,063
УАР3	0,02956	0,73	0,29
УАР6	0,004422	0,96	1,95

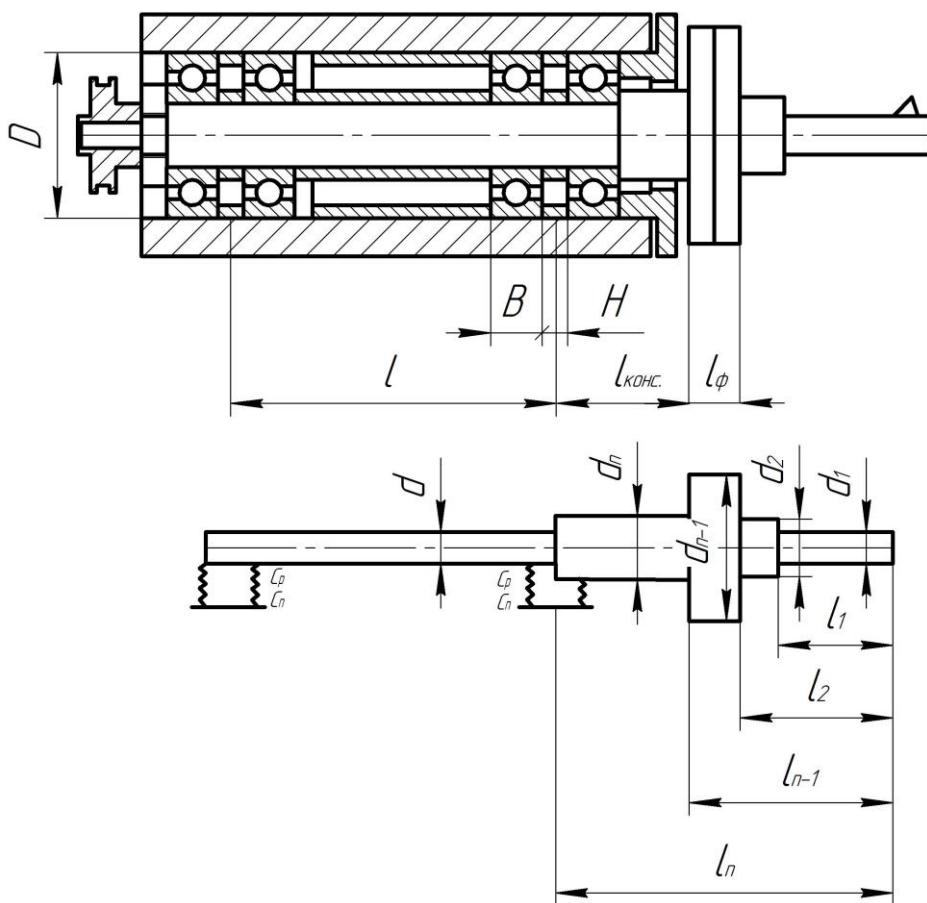


Рисунок 2 – Конструктивная и статическая расчетная схемы системы шпиндель-борштанга

Параметр Q , определяющий влияние на податливость сопротивления опоры повороту сечения, слабо зависит от β (на рисунке 3 шкала β логарифмическая). Поэтому значительные изменения Q могут возникнуть при изменении диаметра шпинделя, но не при конструктивно осуществимых изменениях l и H . Вид формулы (1) позволяет установить условия, при которых сопротивление опоры повороту сечения слабо влияет

на податливость у резца. Это происходит в случае весьма коротких консолей ($\xi_n \ll 1$), а также при $Q \ll 2\alpha$. Из данных таблицы 3 видно, что к последнему условию система шпинделя приближается с увеличением диаметра.

Значительно менее точными оказываются оценки демпфирующей способности системы. Ошибка в определении логарифмического декремента колебаний может достигать 50%. Причиной этого является сильная зависимость демпфирования от качества изготовления и сборки, от амплитуды возбуждаемых колебаний, а также от скорости вращения шпинделя. Отметим при этом, что влияние скорости вращения на демпфирование колебаний в системах, содержащих консольные борштанги, значительно слабее, чем в системах с гильзой. Эта экспериментально установленная закономерность подтверждает представления о влиянии на скоростную зависимость демпфирования вращения плоскости колебаний, так как в системах с консольными борштангами упругие перемещения невращающихся элементов малы. В таких системах зависимость демпфирования от скорости вращения определяется, в основном, физическими явлениями в опорах качения.

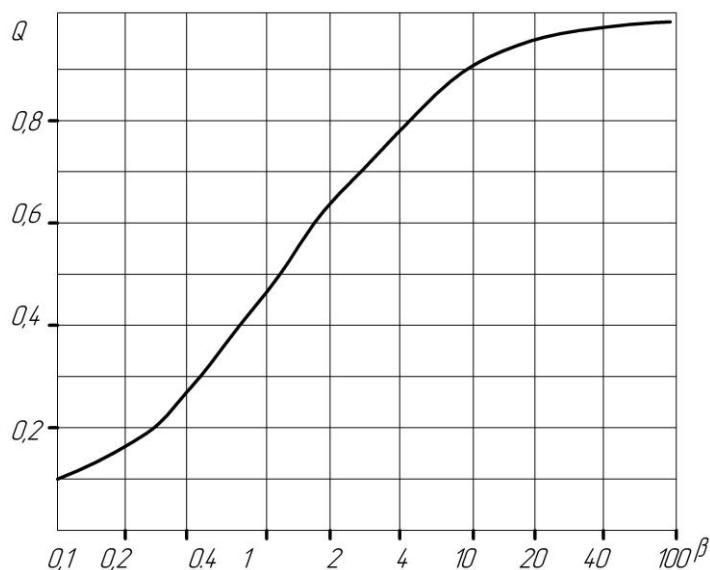


Рисунок 3 – Влияние поворотной податливости опоры на податливость у резца

Экспериментальное исследование колебаний выполнялось при растачивании образцов из стали 45 и чугуна (НВ I80), устанавливаемых в

жестком приспособлении. Условия обработки: борштанга диаметром $d_1 = 15, 25, 50, 70 \text{ мм}$; материал режущей части и углы заточки для стали: Т30К4, $\varphi = 60^\circ$, $\varphi_1 = 15^\circ$, $\gamma = 15^\circ$, $\alpha = 7^\circ$; для чугуна: ВК3, $\varphi = 45^\circ$, $\varphi_1 = 45^\circ$, $\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 7^\circ$; радиус закругления вершины $0,3 - 0,5 \text{ мм}$; режимы резания для стали: глубина резания $t = 0,05 \dots 0,2 \text{ мм}$, скорость резания $v = 2,25 \text{ м/с}$, подача $s = 0,05 \text{ мм/об}$; для чугуна – глубина резания $t = 0,05 \dots 0,3 \text{ мм}$, скорость резания $v = 2 \text{ м/с}$, подача $s = 0,05 \text{ мм/об}$.

Качественное описание результатов исследования изгибных колебаний борштанг сводится к тому, что при приближении к границе устойчивости развиваются узкополосные колебания с нарастающими средними значениями и вариациями амплитуд, а при дальнейшем увеличении длины борштанги наблюдаются устойчивые колебания высокого уровня. Частота колебаний при всех значениях длины борштанги мало отличается от ее собственной частоты. Амплитуда устойчивых интенсивных колебаний остается постоянной либо периодически изменяется в зависимости от характеристик стационарности системы.

В результате измерения уровня колебаний можно установить предельное значение длины борштанги для каждого значения ее диаметра, глубины резания и для заданного обрабатываемого материала. При этом обнаруживается, что податливость борштанги является достаточно представительным критериальным показателем виброустойчивости. При тонком растачивании стальных образцов граничное значение податливости лежит в пределах от 0,1 до 0,15 мкм/Н, а при растачивании чугуна – от 0,2 до 0,25 мкм/Н, несколько уменьшаясь с увеличением диаметра.

Возможность использования податливости в качестве критериальной характеристики виброустойчивости определяется характерными соотношениями между параметрами упругой системы отделочно-расточных станков с консольными борштангами и вовсе не означает, что динамический расчет станка может быть вообще заменен статическим расчетом.

На рисунке 4 приведены средние значения податливости системы, однако, шпиндельные головки, использованные в эксперименте, характеризуются заметной неравномерностью податливости по углу поворота шпинделя (рис. 5).

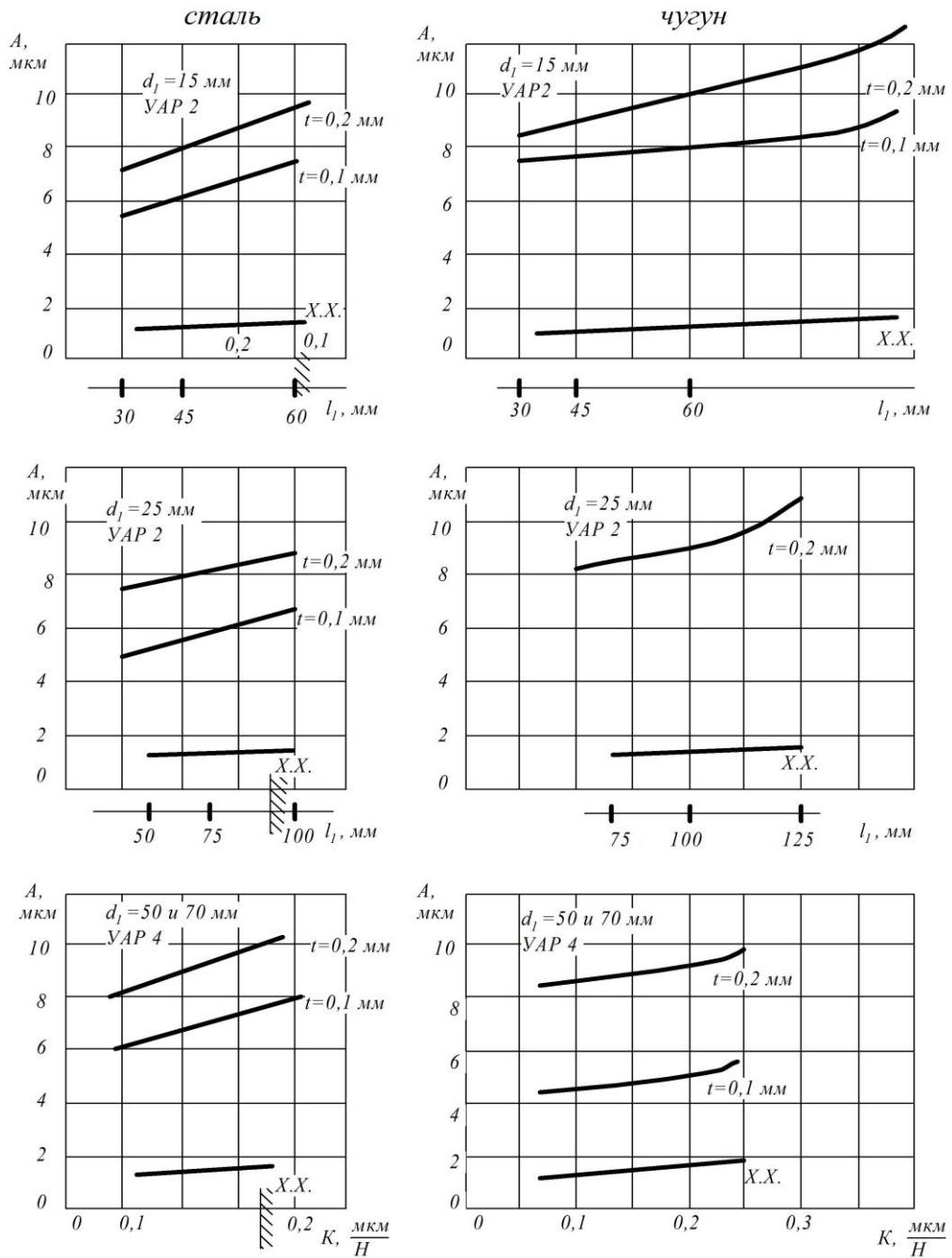


Рисунок 4 – Колебания длинных борштанг при растачивании;
Х.Х. – холостой ход

При испытаниях шпиндельных головок установлено, что овализация угловой эпюры радиальной податливости является типичной. На осциллограмме изгибных колебаний борштанги при растачивании отчетливо видна амплитудная модуляция с частотой, равной удвоенной частоте вращения шпинделя.

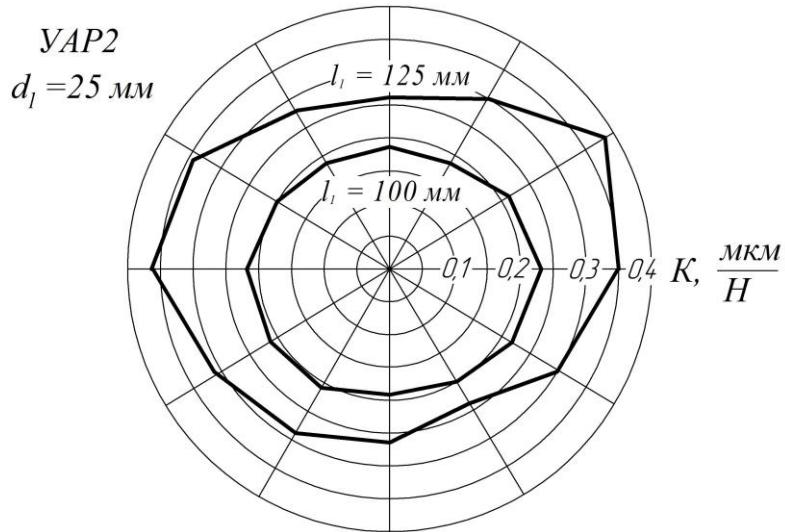


Рисунок 5 – Угловая эпюра радиальной податливости у резца

В проведенных опытах с длинными борштангами явление параметрической неустойчивости не обнаружено. Причиной этого является невыполнение условий возбуждения параметрических резонансов при выбранных скоростях резания. На рисунке 6 сопоставлены значения собственных частот, при которых возбуждается i -ый параметрический резонанс, $f_{1i} = \frac{1000 \cdot i \cdot V}{60 \cdot \pi \cdot d}$ (штриховые линии) с измеренными значениями частот свободных колебаний борштанг длиной от 75 до 125 мм (заштрихованная область). Видно, что при всех значениях i от 1 до 5 параметрические резонансы не могут возникнуть при скорости резания, меньшей 6,6 м/с.

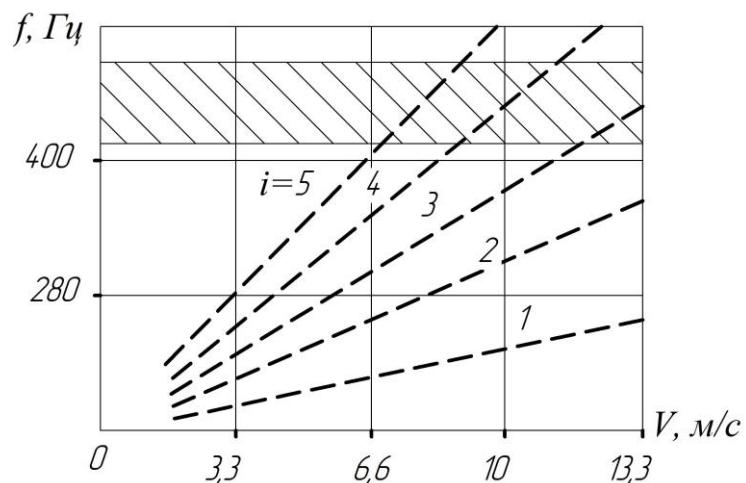


Рисунок 6 – Условия возникновения параметрических колебаний

Консольное закрепление расточных борштанг на шпиндельных головках, предотвращающие увод оси отверстия, применяется при финишной обработке высокоточных отверстий. Вместе с тем известно, что консольный инструмент обладает большой изгибной податливостью, что приводит к увеличению погрешностей обработки, вызванных статическими отжимами и колебаниями. Поэтому на практике применяют разные способы повышения изгибной жесткости и виброустойчивости, например, изготавливают борштанги из твердых сплавов с повышенным модулем Юнга или применяют составные борштанги с повышенным рассеиванием энергии. Известно, что увеличение жесткости и демпфирования консольных борштангах благоприятно влияет на точность обработки. Иначе обстоит дело с изменением массы консольного инструмента, в некоторых случаях изменение массы приводит к увеличению виброустойчивости, а в других – к нарастанию колебаний. Для разграничения этих случаев рассмотрим условие устойчивости одномассовой замкнутой динамической системы. Уравнения движения упругой системы замкнутой на процесс резания имеют вид

$$\begin{cases} m \frac{d^2y}{dt^2} + b \frac{dy}{dt} + cy = k_1 P, \\ T_p \frac{dP}{dt} + P = -k_p k_2 y, \end{cases} \quad (2)$$

где $T_p = \frac{a}{V}$ – постоянная времени стружкообразования, a – толщина стружки; V – скорость резания;
 m – приведенная масса;
 b – коэффициент демпфирования;
 c – жесткость упругой системы;
 P – главная составляющая силы резания;
 k_1, k_2 – коэффициенты, зависящие от ориентации силы резания относительно главных осей жесткости упругой системы;
 k_p – коэффициент резания.

Используя обозначения $\omega_0 = \sqrt{\frac{c}{m}}$ (первая собственная частота упругой системы) и $\tau = \omega_0 \cdot t$ (безразмерное время), приведем уравнения (2) к виду

$$\begin{cases} m \cdot \omega_0^2 \frac{d^2 y}{d\tau^2} + b \cdot \omega_0 \frac{dy}{d\tau} + cy = k_1 P, \\ T_p \cdot \omega_0 \frac{dP}{d\tau} + P = -k_p k_2 y. \end{cases} \quad (3)$$

Разделив первое уравнение на $m \cdot \omega_0^2$, получим

$$\begin{cases} \ddot{y} + \frac{b}{m \cdot \omega_0^2} \dot{y} + \frac{c}{m \cdot \omega_0^2} y = \frac{k_1}{m \cdot \omega_0^2} P, \\ T_p \cdot \omega_0 \cdot \dot{P} + P = -k_p k_2 y, \end{cases} \quad (4)$$

где точками обозначено дифференцирование по времени.

Введем обозначения для безразмерных параметров: диссипации

$k = \frac{b}{m \cdot \omega_0}$; постоянной времени стружкообразования $\theta = \omega_0 \cdot T_p$. С учетом этих

параметров и так как $m \cdot \omega_0^2 = c$, систему уравнений (4) представим в виде

$$\begin{cases} \ddot{y} + k \dot{y} + y = \frac{k_1}{c} P, \\ \theta \dot{P} + P = -k_p k_2 y. \end{cases} \quad (5)$$

Приведя систему уравнений (5) к одному дифференциальному уравнению и собирая коэффициенты при y , получим

$$\theta \ddot{y} + (1 + \theta \cdot k) \cdot \ddot{y} + (\theta + k) \cdot \dot{y} + (1 + \gamma) \cdot y = 0, \quad (6)$$

где $\gamma = \frac{k_1 k_2 k_p}{c}$ – коэффициент связанности.

Для определения устойчивости воспользуемся критерием Рауса–Гурвица:

$$a_0 = \theta; \quad a_1 = 1 + \theta \cdot k; \quad a_2 = \theta + k; \quad a_3 = 1 + \gamma.$$

Характеристическое уравнение имеет вид:

$$a_0 \cdot z^3 + a_1 \cdot z^2 + a_2 \cdot z + a_3 = 0.$$

Устойчивость решений этого уравнения будет при:

$a_0 > 0$, $a_1 > 0$, $a_2 > 0$, $a_3 > 0$ и $a_1 a_2 - a_0 a_3 > 0$, т.е. $(1 + \theta \cdot k)(\theta + k) - \theta(1 + \gamma) > 0$, тогда устойчивость решений определяется выражением

$$\gamma < k(\theta + \theta^{-1} + k). \quad (7)$$

Правую часть (7) обозначим через γ_0 – граничное значение коэффициентов связности УС станка с процессом резания

$$\gamma < \gamma_0 = k(\theta + \theta^{-1} + k).$$

Далее найдем зависимость γ_0 от θ .

$$\theta = \omega_0 \cdot T_p.$$

Учитывая, что логарифмический декремент колебаний для отделочно-расточных станков находится в пределах $\delta = 0,05 - 0,2$, и что $\delta \approx \pi \cdot k$, примем в расчетах среднее значение $k = 0,04$, $T_p = 4 \cdot 10^{-4}$, с.

Таблица 4 – Расчет параметра устойчивости – γ_0

f_0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
ω_0	628	1256	1884	2512	3140	3768	4396	5024	5652
θ	0,251	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,01	2,26
γ_0	0,171	0,10	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09	0,10	0,11

Зависимость γ_0 от θ представлена на рисунке 7.

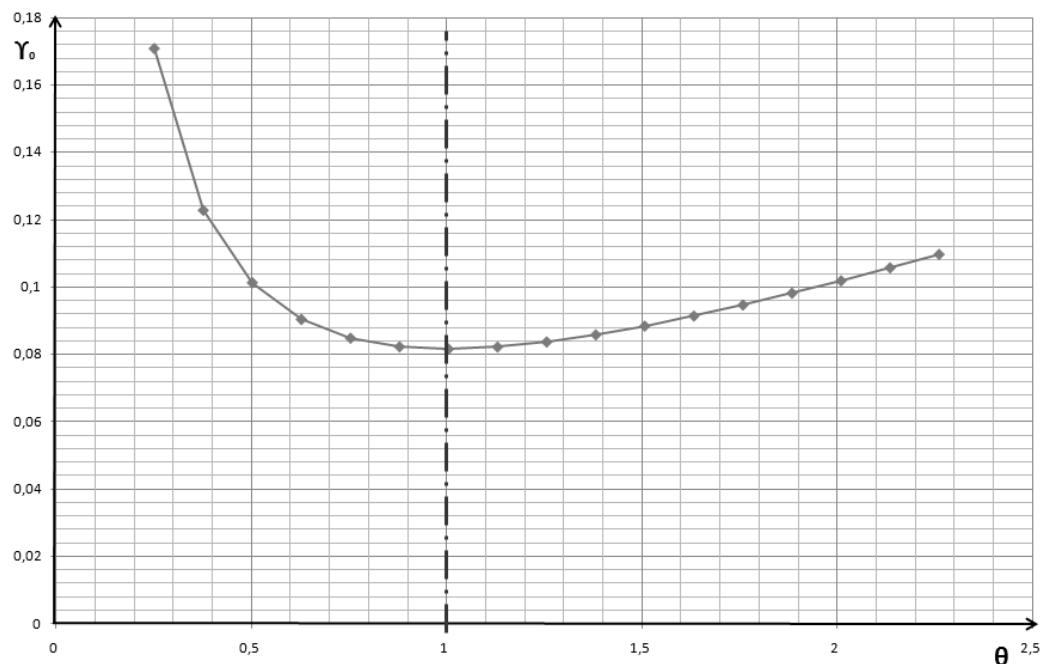


Рисунок 7 – Зависимость γ_0 от θ

Из рисунка 7 и таблицы 4 видно, что для борштанг с собственной частотой меньше 400 Гц для повышения устойчивости системы при обработке борштангами большого диаметра необходимо увеличить массу, что приводит к уменьшению θ и увеличению γ , и, наоборот, для борштанг с собственной частотой более 400 Гц для повышения устойчивости необходимо массу уменьшать.

Выводы

1. Изучены и уточнены параметры упругой системы шпиндель-борштанга, отделочно-расточных станков.
2. Приведены экспериментальные результаты исследований изгибных колебаний борштанги при холостом ходе и резании.
3. Установлено, что при приближении к границе устойчивости развиваются узкополосные колебания с нарастанием среднего значения и вариациями амплитуды, а при дальнейшем увеличении длины борштанги наблюдаются устойчивые колебания высокого уровня. Частота колебаний при всех значениях длины борштанги мало отличается от ее собственной частоты.
4. Изучено влияние увеличения демпфирования и жесткости, а также изменения массы борштанги на виброустойчивость.
5. Изучены условия возникновения параметрических резонансов в зависимости от собственной частоты борштанги и варьирования скорости резания.

Список использованных источников: 1. П.А. Лінчевський та ін.. Обробка деталей на обробно-розвивальних верстатах / П.А. Лінчевський, Т.Г. Джугурян, О.А. Оргіян, за заг. ред.. П.А. Лінчевського. – К.: Техніка, 2000. – 300 с. ISBN 966-575-048-8 2. Нормативы режимов резания и геометрия резцов для тонкого растачивания. Обработка на отделочно-расточных станках. Крупносерийное и массовое производство. НИИмаш., Москва 1979. – 93 с. 3. Кудинов В.А. Динамика станков. М.: Машиностроение, 1967. 359 с.

Bibliography (transliterated): 1. P.A. Linchevs'kij ta in. Obrobka detalej na obrobno-roztochuval'nih verstatah / P.A. Linchevs'kij, T.G. Dzhugurjan, O.A. Orgijan, za zag. red.. P.A. Linchevs'kogo. – K.: Tehnika, 2000. – 300 s. ISBN 966-575-048-8 2. Normativy rezhimov rezaniya i geometrija rezcov dlja tonkogo rastachivaniya. Obrabotka na otdelochno-rastochnyh stankah. Krupnoserijnoe i massovoe proizvodstvo. NIImash., Moskva 1979. – 93 s. 3. Kudinov V.A. Dinamika stankov. M.: Mashinostroenie, 1967. 359s.

УДК 621.941

А.А. ОРГІЯН, д-р техн. наук,
І.М. ТВОРИЩУК, Одесса, Україна

ИНТЕНСИВНОСТЬ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ РЕЗОНАНСОВ ПРИ ПРЕРЫВИСТОМ РЕЗАНИИ

В статті вивчені умови збудження параметричних резонансів, а також їх інтенсивність при розточуванні переривчастих поверхонь. Переривчастість поверхні що обробляються, описується кусково-постійною функцією $\Phi(t)$. Розрахунки за запропонованою моделлю добре узгоджуються з експериментальними даними при варіюванні режимів різання.

В статье изучены условия возбуждения параметрических резонансов, а также их интенсивность при растачивании прерывистых поверхностей. Прерывистость растачиваемой поверхности описывается кусочно-постоянной функцией $\Phi(t)$. Расчеты по предложенной модели хорошо согласуются с экспериментальными данными при варьировании режимов резания.

In this paper we study the excitation conditions of parametric resonance, as well as their intensities when boring discontinuous surfaces. Calculated discontinuity surface is described by a piecewise constant function $\Phi(t)$. Calculations on the proposed model go o degree meant with the experimental data by varying the cutting conditions.

Прерывистость обрабатываемой поверхности приводит к периодическому повторению процессов врезания и выхода инструмента, нарушая тем самым стационарность замкнутой динамической системы станка и вызывая появление интенсивных внешних воздействий на процесс резания. Период этих воздействий задается частотой входа и выхода режущих лезвий. Они возбуждают колебания станка, уровень которых значительно выше, чем при обработке сплошных поверхностей в аналогичных условиях.

Растачивание отверстий с прерывистой поверхностью является достаточно распространённой в машиностроении операцией, выполняемой от отделочно-расточных, координатно-расточных и токарных станках. Детали с прерывистой поверхностью обработки составляют до 12% от общего числа деталей, на которые наложены отделочно-расточные станки [1]. К числу таких деталей относятся шатуны, кронштейны, крышки, блоки

цилиндров, стаканы подшипников, шлицевые шестерни, гильзы цилиндров и другие, входящие в состав продукции машиностроительных заводов массового производства. Для рассмотренных деталей количество прерываний обрабатываемой поверхности на один оборот изменяется от 1 до 20.

Расчёты и эксперименты показывают, что колебания привода вращения токарных станков в условиях прерывистого резания зависят от частоты следования и формы импульсов. При наличии зазора в соединении элементов привода динамическая система станка становится нелинейной. Режимы работы, при которых зазоры раскрываются, сопровождаются повышенным шумом, износом соединений и режущего инструмента, вследствие чего такие режимы не допустимы.

Экспериментальное исследование колебаний при тонком растачивании отверстий с прерывистой поверхностью, выполнено на стенде, собранном в двух вариантах: с вращающейся и невращающейся борштангой. Невращающаяся борштанга устанавливалась так, что составляющие P_y и P_z силы резания были ориентированы по направлениям главных осей жёсткости упругой системы станка. Основная серия опытов проводилась при растачивании отверстий в образцах, выполненных из стали 45 с числом одинаково расположенных пазов $j=1,6$ и 20. Отдельные эксперименты проводились на образцах из серого чугуна СЧ-18, из титанового сплава ВТ-5 и из бронзы ОЦС 6-6-3, на образцах с $j=3,4$ и 5, а также на образцах с пазами неодинаковой ширины. Соотношение между шириной паза a_n и шириной выступа a_B , характеризуемое величиной $g = a_n / (a_n + a_B)$, изменялось в пределах от $g = 0,1$ до $g = 0,5$. Среднее значение диаметра обрабатываемого отверстия составляло 0,04 м. Растачивание стальных образцов выполнялось борштангами диаметром 0,03 м с $l_1/d_1 = 3$ и 4, оснащёнными резцами из сплава ТЗОК4 со следующей геометрией $\varphi = 60^\circ$, $\varphi_1 = 10^\circ$, $\alpha = 8^\circ$, $\alpha_1 = 12^\circ$, $\gamma = -3^\circ$, $\lambda = 15^\circ$, $\eta = 0,1$ мм. Скорость резания изменялась от 1,67 до 3,34 м/с с шагом 0,083 м/с при постоянной подаче 0,025 мм/об и двух значениях глубины резания: 0,05 и 0,1 мм.

Основные закономерности развития колебаний не изменяются при переходе от растачивания невращающейся борштангой, к растачиванию вращающейся борштангой и при изменении материала образца. Характер

колебаний сохраняется и при переходе к растачиванию образцов с пазами неодинаковой ширины. Рассмотрим поэтому результаты основной серии опытов, выполненных с применением невращающихся борштанг.

Найдены значения параметров при $l_1/d_1 = 3$ и 4: радиальная жёсткость у резца С, Н/мкм – 6 и 4; первая собственная частота f_0 , Гц – 1100 и 750; логарифмический декремент колебаний δ -0,10 и 0,09.

По осцилограммам, полученным при растачивании образцов с одним пазом, установлен характер колебаний: периодические изменения состояний равновесия и высокочастотные колебания. Декремент колебаний во время резания отличается от измеренного при прохождении паза и может быть выражен через параметры замкнутой динамической системы.

Считая УС одномерной, запишем уравнения замкнутой динамической системы станка

$$\begin{aligned} m \frac{d^2y}{dt^2} + b \frac{dy}{dt} + cy &= P, \\ T_p \frac{dp}{dt} + P &= -K_p y, \end{aligned} \quad (1)$$

где y – относительные перемещения резца и детали;

P – главная составляющая силы резания;

$K_p = K_{0d}$ – коэффициент резания;

K_0 – удельная сила резания;

d – ширина стружки;

$T_p = a/v$ – инерционная постоянная стружкообразования;

a – толщина стружки;

v – скорость резания;

m – приведённая масса системы шпиндель-борштанга;

b – коэффициент демпфирования;

c – жёсткость УС.

При переходе к безразмерному времени $\tau = \omega_0 t$, уравнения (1) примут вид:

$$m\omega_0^2 \frac{d^2y}{d\tau^2} + b\omega_0 \frac{dy}{d\tau} + cy = P,$$

$$T_p \omega_0 \frac{dp}{d\tau} + P = -K_p \cdot y, \quad (2)$$

Разделив первое уравнение из (2) $m\omega_0^2$ и введя обозначения $\chi = \frac{b}{m\omega_0}$, а обозначив безразмерную постоянную стружкообразования $\theta = \omega_0 T_p$, получим из уравнения из (2):

$$\ddot{y} + \chi \cdot \dot{y} + y = \frac{P}{C}, \quad (3)$$

$$\theta \dot{P} + P = -K_p \cdot y.$$

В уравнении (3) через « $\ddot{\cdot}$, $\dot{\cdot}$ » обозначены производные по времени.

Из уравнения (3) после приведения к одному уравнению, получим:

$$\theta \cdot \ddot{y} + (1 + \theta \cdot \chi) \ddot{y} + \pi^2 (\theta + \chi) \dot{y} + (1 + \gamma) y = 0, \quad (4)$$

где $\gamma = \frac{C}{K_p}$ – коэффициент связности.

Подставляя в уравнение (4) искомое решение в виде $y = \exp(-\frac{\Delta\tau}{2\pi}) \cdot \sin \nu\tau$ и исключая из уравнения гармонического баланса ν , получим уравнение для определения логарифмического декремента колебаний при резании:

$$\theta\delta^3 - 2\pi(1 + \theta \cdot \chi)\delta^2 + \pi^2(\theta + \theta^{-1} + 3\cdot\chi^2 + \theta \cdot \chi^2)\delta - \pi^3\Delta\gamma = 0. \quad (5)$$

Из - за малости δ можно ограничиться линейными членами и, как показала численная оценка, получить с погрешностью, не превышающей 3%, значение логарифмического декремента колебаний по формуле

$$\delta = \frac{\pi \cdot \Delta\gamma}{\theta + \theta^{-1} + 3\chi + \theta\chi^2}. \quad (6)$$

Для борштанги с l_1/d_1 при $t=0.05$ мм расчёт даёт $\delta=0,072$, а эксперимент – $\delta=0,07$. Для борштанги с $l_1/d_1=4$ получены соответственно значения 0,047 и 0,04. Поскольку всегда $\theta+\theta^{-1} \geq 2$ можно для оценок пренебречь в (6) членами знаменателя, содержащими χ , и получить:

$$\delta = \frac{\pi \cdot \Delta\gamma}{\theta + \theta^{-1}}. \quad (7)$$

Отметим, что непосредственно после врезания колебания носят декрементный характер даже при таких условиях обработки, которые при растачивании сплошных поверхностей приводят к возбуждению автоколебаний. Это объясняется синхронизирующим действием ударных импульсов при врезании, благодаря которому колебания на двух последовательных оборотах оказываются почти синфазными, и механизмы резания по следу стабилизируют замкнутую динамическую систему.

С ростом глубины резания увеличивается смещение положения равновесия (отжим резца), а также возрастает начальное значение амплитуд высокочастотных колебаний. Эта закономерность сохраняется и при обработке образцов с большим числом пазов, когда колебания мало изменяют свой уровень за время прохождения выступа и паза. Для таких образцов на уровень колебаний существенно влияет значение их фазы в момент врезания и выхода резца, а потому значительны изменения уровня колебаний при варьировании частоты вращения шпинделя.

Результаты эксперимента представлены в виде зависимостей амплитуд изгибных колебаний борштанг от скорости резания. На рисунке нанесены также шкалы значений отношения собственной частоты колебаний борштанги f_0 к частоте возмущения f_v , вызываемой прерываниями процесса резания. Малые значения f_0/f_v соответствуют обработке образцов с $j=20$, а большие – $j=6$. При малых значениях отношения f_0/f_v максимумы амплитуды колебаний достигаются, когда f_0/f_v кратно 0,5. При больших значениях этого отношения максимумы амплитуды достигаются только при целых его значениях. Максимальные значения амплитуд колебаний при растачивании прерывистой поверхности в 2-4 раза больше, чем при растачивании сплошной поверхности. В зоне больших значений отношения f_0/f_v наблюдается чередование

интенсивностей максимумов: при нечётных значениях f_0 / f_B амплитуды колебаний больше, чем при чётных.

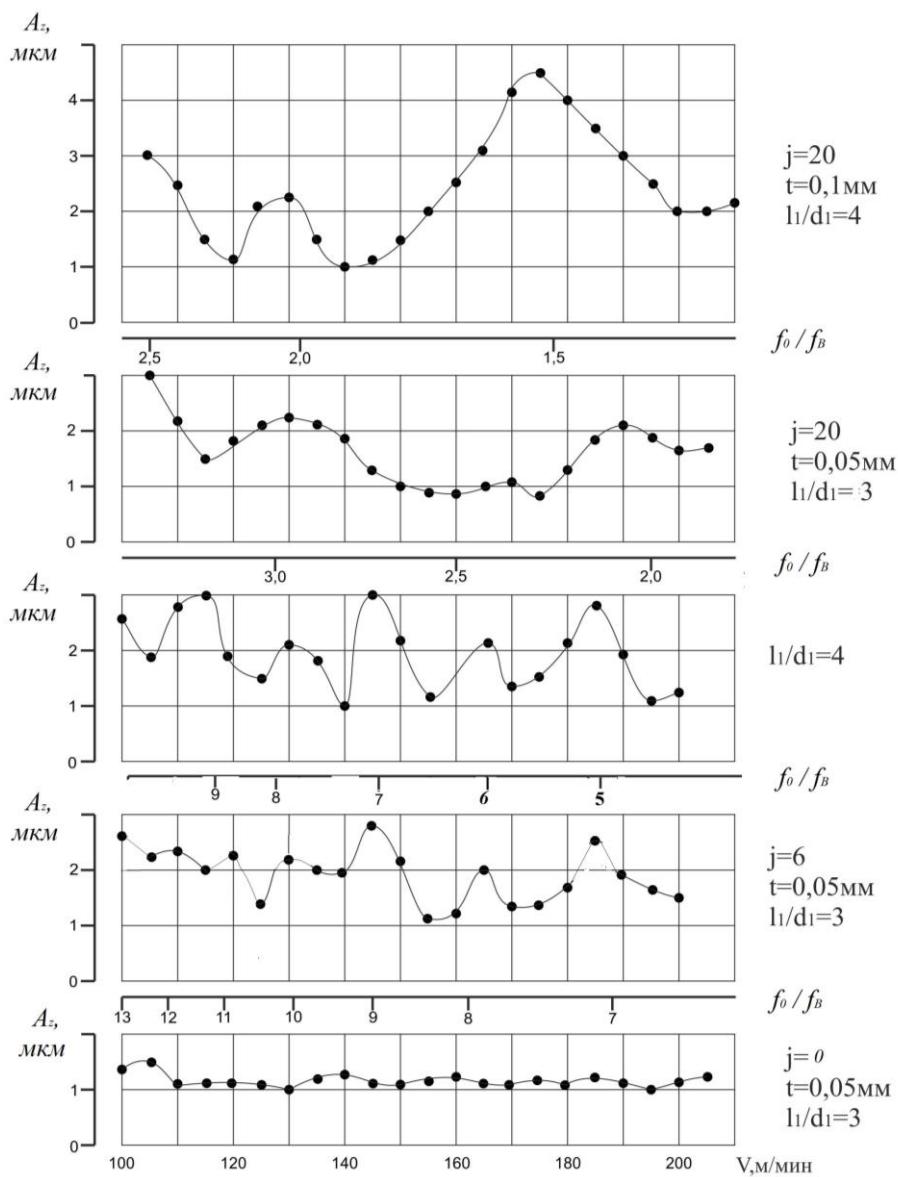


Рисунок – Зависимость амплитуды колебаний
от скорости резания при растачивании
прерывистых и сплошных поверхностей

Экспериментальные данные сопоставлены с результатом исследований решений системы уравнений движений, при составлении которых УС рассматривается как система с двумя степенями свободы,

соответствующими направлениям главных осей изгибной податливости борштанги:

$$\begin{aligned} m_1 \cdot \ddot{z} + \eta_1 \cdot \dot{z} + c_1 z &= P_z \Phi(t) + P_1(t), \\ m_1 \ddot{y} + \eta_1 \dot{y} + c_1 y &= \mu \cdot P_z \Phi(t) + P_2(t), \\ T_p \dot{P}_z + P_z &= (-K_p y - \beta \cdot \dot{z} + K_p W) \Phi(t). \end{aligned} \quad (8)$$

Здесь P_1 и P_2 – заданные внешние силовые воздействия на УС, W – приведённое значение заданной толщины срезаемого слоя, β – определено экспериментально как $dP_z/d\dot{z}$ в зависимости от скорости резания, а $\Phi(t)$ – функция периода $T_B = (a_n + a_B)/V$, описывающая чередование замкнутых ($\Phi=1$) и незамкнутых ($\Phi=0$) состояний динамической системы. Последняя функция определяется соотношениями

$$\Phi(t) = \begin{cases} 0 & iT_B < t < (i+g)T_B \\ 1 & (i+g)T_B < t < (i+1)T_B \\ i = 0,1,2,\dots \end{cases} \quad (9)$$

При записи уравнений движения принято, что составляющие силы резания связаны соотношением $P_y = \mu \cdot P_z$ и что тангенциальные смещения вершины резца, вызванные упругими деформациями, не изменяют продолжительности резания и его прерывания.

Моделирование уравнений на АВМ приводит к результатам, вполне удовлетворительно согласующимся с экспериментальными данными по положению и интенсивности максимумов колебаний. Расхождение с экспериментом возрастает в зоне малых значений f_0/f_B , где очевидно должна проявляться ограниченность допущения о независимости моментов изменения состояний системы от тангенциальных колебаний.

Моделирование показывает, что принятый вид функции $\Phi(t)$ вовсе не равносителен допущению о воздействии на УС прямоугольных импульсов. Запись переменной P_z позволяет установить наклон участков нарастания и убывания силы резания, зависящий от значений параметров динамической системы.

Исследования решений на модели приводят к выводу о слабом влиянии скоростной зависимости силы резания на положения и интенсивность максимумов амплитуды колебаний. Этот вывод согласуется с результатами У.Найта и С.Тобайса [2], полученными при обработке

сплошных поверхностей, и является одним из необходимых условий для рассмотрения моделей замкнутой динамической системы станка, включающей УС с одной степенью свободы. Изменения параметра g , характеризующего временную форму возмущений при прерываниях процесса резания, приводят к небольшим изменениям положения и интенсивности максимумов амплитуды колебаний. Сравнение колебаний, возникающих при обработке прерывистой и сплошной поверхностей, показывает, что внешние воздействия на УС слабо влияют на колебания при прерывистой обработке. Закономерности изменения уровня колебаний, показывают, что при обработке прерывистых поверхностей источниками колебаний, является внешние воздействия на процесс резания ($K_p W\Phi(t)$) и параметрические возмущения, причём последние оказываются существенными лишь при малых значениях f_0 / f_B (в наших опытах при $f_0 / f_B \leq 2,5$). Объяснение ряда закономерностей можно дать основываясь на рассмотрении спектра возмущений.

Фурье – разложение функции (9) имеет вид:

$$\Phi(t) = 1 - g + \frac{1}{\pi} \sum_{i=1}^0 \left(\frac{\cos 2ig\pi - 1}{i} \sin \frac{2i\pi t}{T_B} - \frac{\sin 2ig\pi}{i} \cos \frac{2i\pi t}{T_B} \right). \quad (10)$$

Если положить в этом выражении $g = 0,5$ то получим

$$\Phi(t) = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{(-1)^{i-1}}{i} \sin \frac{2i\pi t}{T_B}, \quad (11)$$

то есть при ширине паза, мало отличающееся от расстояния между пазами, в разложении сохраняются только гармоники нечётного порядка. Отсюда ясна причина, по которой уровень вынужденных колебаний при нечётных значениях f_0 / f_B заметно больше, чем при чётных.

Для оценки критических значений коэффициента возбуждения параметрических резонансов рассмотрим систему с одной степенью свободы, принимая статическую характеристику процесса резания. Условия параметрической устойчивости получим для однородного уравнения

$$m \cdot \ddot{y} + b \cdot \dot{y} + [c + \mu \cdot K_p \Phi(t)]y = 0, \quad (12)$$

используя метод сшивания решений, применённый в работах при исследовании частных случаев этой задачи [3].

Выполнив подстановку Эйлера

$$y = u \cdot \exp\left(-\frac{bt}{2m}\right), \quad (13)$$

получим для функции $u(t)$ уравнение Хилла с кусочно-постоянным параметрическим возмущением

$$\ddot{u} + P_g^2 [1 - 2 \cdot \varepsilon \cdot \Phi_1(t)] \cdot u = 0, \quad (14)$$

где $P_g^2 = \frac{c}{m} + \frac{\mu K_p}{2m} - \frac{b^2}{4m^2}$,

$$2\varepsilon = \frac{\mu \cdot K_p}{2(c + \mu \cdot K_p)},$$

$$\Phi(t) = 1 - 2\Phi(t) \begin{cases} 1 & \text{при } iT_B < t < (i+g)T_B \\ -1 & \text{при } (i+g)T_B < t < (i+1)T_B \end{cases}.$$

Обозначая функцию u индексами, соответствующими значениями $\Phi(t)$, запишем условия сшивания

$$\begin{aligned} u_1(g \cdot T_B) &= u_{-1}(g \cdot T_B), & u_{-1}(T_B) &= S u_1(0), \\ \dot{u}_1(g \cdot T_B) &= \dot{u}_{-1}(g \cdot T_B), & \dot{u}_{-1}(T_B) &= S \dot{u}_1(0). \end{aligned} \quad (15)$$

Величина S , описывающая нарастание решений уравнения (14), удовлетворяет характеристическому уравнению

$$S^2 + 2SN + 1 = 0, \quad (16)$$

где

$$\begin{aligned} N &= \cos(gP_g T_B \sqrt{1+2\varepsilon}) \cdot \cos[(1-g)P_g T_B \sqrt{1-2\varepsilon}] - \\ &\quad - \frac{\sin(gP_g T_B \sqrt{1+2\varepsilon}) \cdot \sin[(1-g)P_g T_B \sqrt{1-2\varepsilon}]}{\sqrt{1-4\varepsilon^2}}. \end{aligned} \quad (17)$$

Учитывая зависимость (13), получим условие устойчивости

$$|N| < c \cdot h \cdot (\delta \cdot f_0 / f_B). \quad (18)$$

В отличие от гармонического параметрического возмущения, при котором критические значения коэффициента возбуждения ε_n^* монотонно возрастают с ростом номера n области параметрической неустойчивости, кусочно-постоянное параметрическое возмущение приводит к немонотонному изменению ε_n^* при увеличении n . Причиной этого следует считать возможность возбуждения параметрических резонансов низших

порядков высшими гармониками функции $\Phi(t)$. Если, например, $f_0 / f_B = n/2$, то главный параметрический резонанс может возбуждаться n -ой гармоникой функции $\Phi(t)$. Амплитуда этой гармоники равна $2\sqrt{2(1-\cos 2ng\pi)}/n\pi$, а условие устойчивости принимает вид:

$$\varepsilon < n\pi \cdot \varepsilon_1^* / 2\sqrt{2(1-\cos 2ng\pi)}, \quad (19)$$

где ε_1^* – критическое значение коэффициента возбуждения при гармоническом возмущении.

Выводы.

1. Приведены экспериментальные исследования колебаний при тонком растачивании отверстий с прерывистой поверхностью. Установлен характер колебаний: периодические изменения состояний равновесия и высокочастотные колебания.

2. Декремент колебаний во время резания отличается от измеренного во время прохождения паза и может быть выражен через параметры замкнутой динамической системы. Определена зависимость амплитуды колебаний от скорости резания. С помощью разложения в ряд Фурье кусочно-постоянной функции $\Phi(t)$ определены гармоники, влияющие на интенсивность параметрических резонансов.

3. В целом, рассмотренная расчётная методика приводит к результатам, согласующимся с данными опыта. Рекомендации по расчёту колебаний при растачивании прерывистых поверхностей с помощью АВМ и по определению благоприятных скоростей резания используются при проектировании отделочно-расточных станков.

Список использованных источников: 1. Копелев Ю.Ф., Оргян А.А. «Колебания при тонком растачивании прерывистых поверхностей» - Станки и инструменты 1972 г., М10, с. 13-15. 2. Knight W.A., Tobias S.A. Tensional vibrations and machine tool satiability// Advances in machine tool decagon research / Proceedings of the 10t international NTDR conference. – Oxford, 1970. – ptg. 299–323. 3. Стрелков С.П. Введение в теорию колебаний. – М.; Л.; Изд-во – Техн. теорет. лит., 1960. – 344 с.

Bibliography (transliterated): 1. Kopelev Ju.F., Orgjan A.A. «Kolebanija pri tonkom rastachivaniipreryvistyh poverhnostej» - Stanki i instrumenty 1972 g., M10, s. 13-15. 2. Knight W.A., Tobias S.A. Tensional vibrations and machine tool satiability// Advances in machine tool decagon research / Proceedings of the 10t international NTDR conference. – Oxford, 1970. – ptg. 299– 323. 3. Strelkov S.P. Vvedenie v teoriju kolebanij. – M.; L.; Izd-vo – Tehn. teoret. lit., 1960. – 344 s.

УДК 621.923

І.Н. ПЫЖОВ, д-р техн. наук,
В.А. ФЕДОРОВИЧ, д-р техн. наук,
Н.В. РЯЗАНОВА-ХИТРОВСКАЯ,
Н.В. КРЮКОВА, Харків, Україна,
В.Г. КЛИМЕНКО, Полтава, Україна

НЕКОТОРЫЕ ПОДХОДЫ К ПОВЫШЕНИЮ РЕСУРСА РАБОТЫ АЛМАЗНЫХ КАРАНДАШЕЙ

Запропоновано деякі підходи, спрямовані на підвищення ресурсу роботи алмазних олівців. Вони полягають у стабільному забезпеченні рясного охолодження алмазу в зоні правки, попередньому нанесенні на алмаз товстошарових рельєфних металевих покріттів, а також використанні алмазів, виготовлених способом конденсації з газової фази (метод CVD).

Предложены некоторые подходы, направленные на повышение ресурса работы алмазных карандашей. Они заключаются в стабильном обеспечении обильного охлаждения алмаза в зоне правки, предварительном нанесении на алмаз толстослойных рельефных металлических покрытий, а также использовании алмазов, изготовленных способом конденсации из газовой фазы (метод CVD).

Some approaches aimed at increase in the life time of the diamond dressers are proposed. The approaches consist in stable provision with abundant cooling of diamond in dressing zone, predepositing of thick patterned metallic coatings on diamond, as well as application of diamonds produced by chemical vapor deposition (method CVD).

1. Постановка проблемы. Абсолютное большинство шлифовальных кругов из обычных абразивов в настоящее время подвергают правке алмазными правящими инструментами. Как известно, правка необходима для восстановления геометрической формы шлифовального круга в продольном и поперечном сечениях, режущей способности абразивных зерен на макро-, микро- и субмикроуровнях и круга в целом. От условий правки зависят расход круга и правящего инструмента и состояние их

рабочих поверхностей, а, следовательно, период стойкости круга, производительность и себестоимость обработки. В конечном итоге это отражается на качестве шлифованных деталей [1]. В связи с этим исследования, направленные на изыскание путей повышения эффективности процесса правки абразивных кругов, следует считать актуальными и важными для различных отраслей промышленности.

2. Анализ последних исследований и публикаций. Известны два основных способа правки, отличающихся совокупностью формообразующих движений правящего инструмента и шлифовального круга: точением и шлифованием. К первому относят правку алмазом в оправе, алмазной иглой, алмазным карандашом, алмазной пластиной, ко второму – правку алмазным кругом или роликом.

Промышленность СНГ производит алмазные правящие инструменты достаточно широкой номенклатуры. Наиболее распространены однокристальные (алмазы в оправе - ГОСТ 22908-78) и многокристальные (алмазные карандаши - ГОСТ 607-80) правящие инструменты. Все они оснащаются техническими природными или высококачественными синтетическими алмазами. К наиболее известным синтетическим (поликристаллическим) алмазам, разработанным в СНГ, относятся АСПК, АСБ (метод синтеза), СВ, СКМ-Р (метод спекания) [2]. К основным недостаткам таких алмазов следует отнести наличие металлофазы в их составе, а также недостаточно высокую стабильность физико-механических свойств.

В последние годы начато производство синтетических поликристаллических алмазов с использованием CVD технологии [3]. По данным профессора Э. Ульмана (Германия, [4]), высококачественный алмаз CVD может иметь теплопроводность, которая не уступает теплопроводности высокочистых натуральных алмазов и может достигать уровня $\lambda \approx 2000 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ (для природного алмаза ее значение составляет $\lambda = 900-2300 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$). При приемлемых затратах в настоящее время обеспечивается теплопроводность CVD алмаза в пределах $\lambda = 1000-1200 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$. Такие алмазы практически не содержат примеси и обеспечивают результаты, практически аналогичные природным алмазам [5].

В однокристальных правящих инструментах алмазные зерна закрепляются в корпусе инструмента с помощью пайки, зачеканки или механического крепления. В многоокристальных инструментах это делают с помощью связки, в качестве которой применяют порошки вольфрама, никеля, твердого сплава и др., а в качестве смачивателя используют такие металлы, например, как серебро и медь [6].

В тех случаях, когда необходимо изготовить однослойный алмазный инструмент, алмазы закрепляют с помощью электрохимического осаждения таких металлов как, например, никель, хром или железо [6].

3. Цель исследования. Целью настоящей работы является изыскание дополнительных путей повышения работоспособности алмазных карандашей.

4. Материалы исследований. Существуют несколько путей повышения срока службы алмазных карандашей.

-разработка специальных металлических износостойких и адгезионно - активных связок. В качестве иллюстрации этого подхода можно привести тот факт, что, например, в ИСМ НАН Украины разработана специальная металлическая адгезионно - активная связка (МААС) для более прочного удержания алмазов в правящих инструментах [7].

-создание условий для обильного охлаждения зоны правки СОТС. Еще одним путем следует назвать необходимость снижения температуры в зоне правки за счет обильного охлаждения рабочей зоны. Согласно ГОСТ 607-80 для нормальной эксплуатации алмазного карандаша необходимо обеспечивать подачу СОТС в зону правки в количестве не менее 20 л/мин. Наши исследования показали, что наиболее просто эта задача может быть решена применительно к плоскому торцовому шлифованию на станках с вертикальным расположением шпинделя [8]. Здесь за счет использования специальной ванны правка круга осуществляется в сплошном слое СОТС, что позволяет на 15-20% увеличить срок службы алмаза

Суть такого подхода поясняется рисунком 1. Алмазный правящий карандаш 1 устанавливают в специальной плите 2 ванне 3 которая в свою очередь расположена на столе 4 станка. При этом рабочая поверхность карандаша 1 имеет вылет над плитой 2 не менее $\Delta=0,1$ мм. На

вертикальном шпинделе 5 станка установлен торцевой абразивный круг 6, подлежащий правке. Стол 4 станка выполняет вращательное или поступательное движение с продольной подачей ($S_{\text{пр.}}$), а шпиндельный узел (или стол станка) имеет возможность выполнять поперечную подачу ($S_{\text{поп.}}$). Для подачи СОТС в ванну и слива ее из нее в последний выполнены два отверстия, причем отверстие для подачи СОТС находится несколько выше отверстия для слива. Последний располагают таким образом, чтобы уровень слоя СОТС превышал уровень РПК на величину не менее 5 мм. При вращении круга создается воздушный поток, который препятствует попаданию СОТС в зону правки. Но в данном случае СОТС, которая подается в ванну, через отверстия и пазы в плите 2 благодаря методу сообщающихся сосудов принудительно подается во внутреннюю полость круга 6 и под действием центробежных сил прокачивается через зазор Δ .

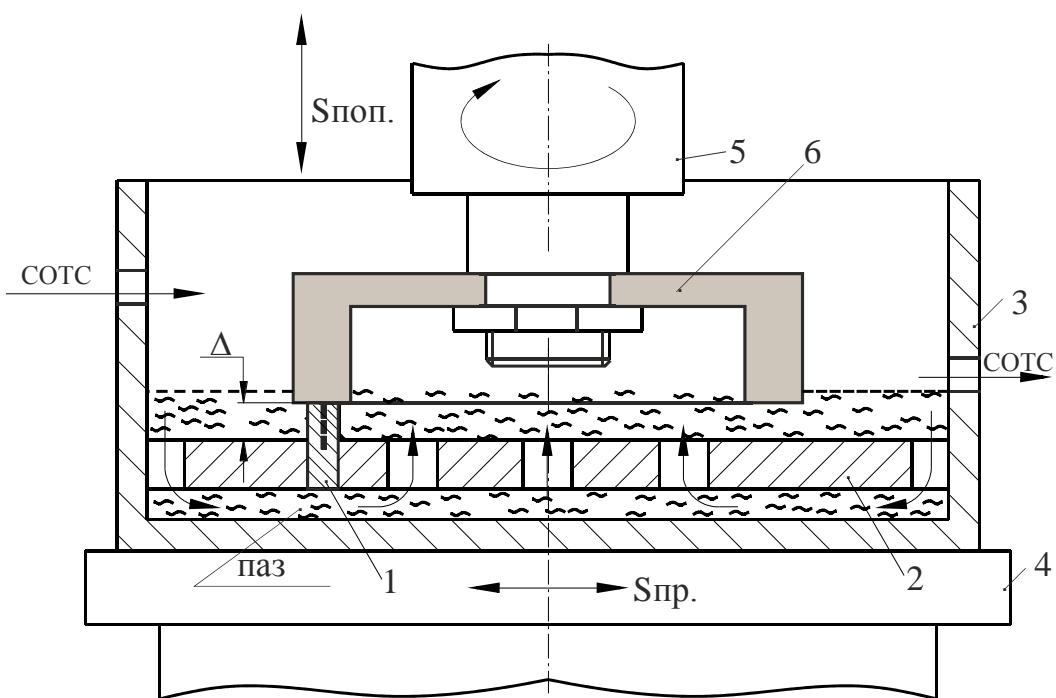


Рисунок 1 – Принципиальная схема правки круга алмазным карандашом в сплошном слое СОТС

Таким образом, в процессе правки круга происходит гарантированное интенсивное охлаждение алмаза в карандаше 1.

-нанесение на поверхность алмаза толстослойных рельефных металлических покрытий. Роль покрытия при изготовлении алмазного

карандаша многоцелевая. Во-первых, покрытие позволяет сформировать блок поликристаллов, во-вторых, оно способствует увеличению силы удержания алмазов в державке карандаша, в-третьих, в условиях высокотемпературного и высокосилового закрепления алмазов в державке карандаша оно способно предотвратить возможность растрескивания алмаза т.п. В целом все это способствует повышению общего срока службы карандаша и качества правки круга. Конструкция алмазного карандаша с металлизированными алмазами приведена на рисунке 2 [9].

-установление рациональной конструкции карандаша. Разработки, связанные с созданием новых марок поликристаллов алмазов, усовершенствованием конструкций алмазных карандашей, а также технологий их изготовления и эксплуатации продолжаются и в настоящее время.

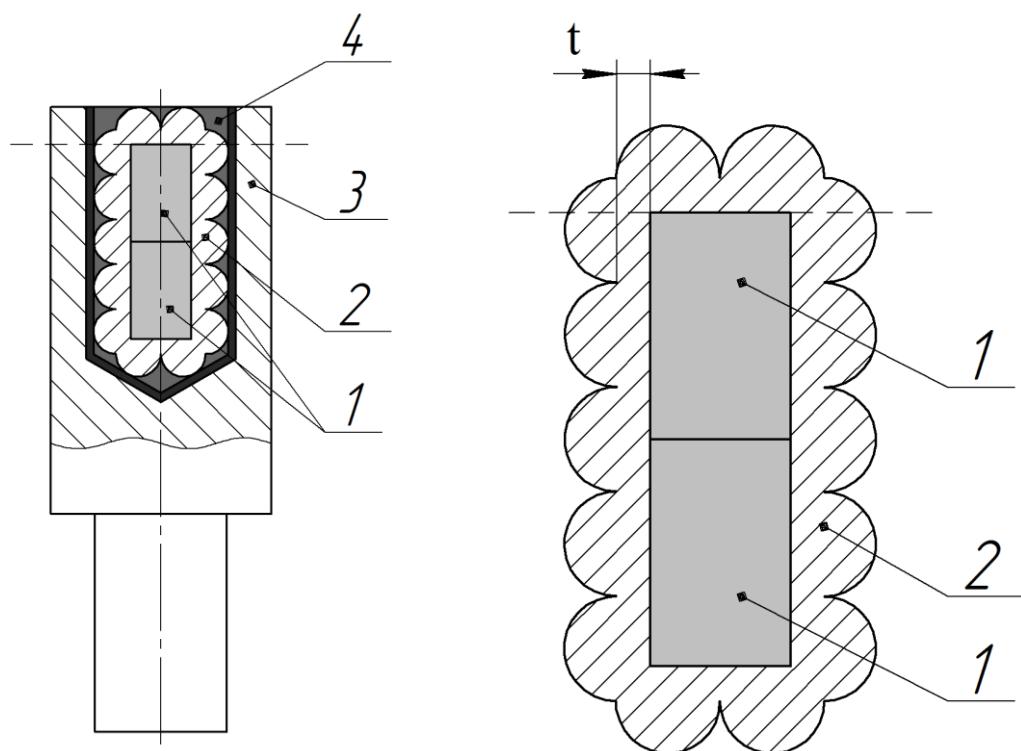


Рисунок 2 – Конструкция алмазного карандаша

1 – алмаз; 2 – покрытие; 3 – корпус; 4 – связка (припой)

В условиях высокотемпературного и высокосилового закрепления алмазов в державке карандаша необходимо предотвратить возможность растрескивания алмаза. Для этого нужно установить рациональный состав

материалов припоя (связки), металлического покрытия и корпуса, их размеры (например, толщину покрытия и др.).

В настоящее время в мировой практике для изучения процессов механической обработки материалов широко применяются программные продукты, основанные на методе конечных элементов (МКЭ) [10].

Для решения поставленной задачи основным программным пакетом при проведении исследований нами был принят пакет CosmosWorks, являющийся приложением к SOLIDWORKS.

Динамические расчеты позволяют выявить влияние температуры и давления на 3D напряженно-деформированное состояние (НДС) зон спекания рабочего слоя карандаша или запайки алмаза в его державке (рис. 3).

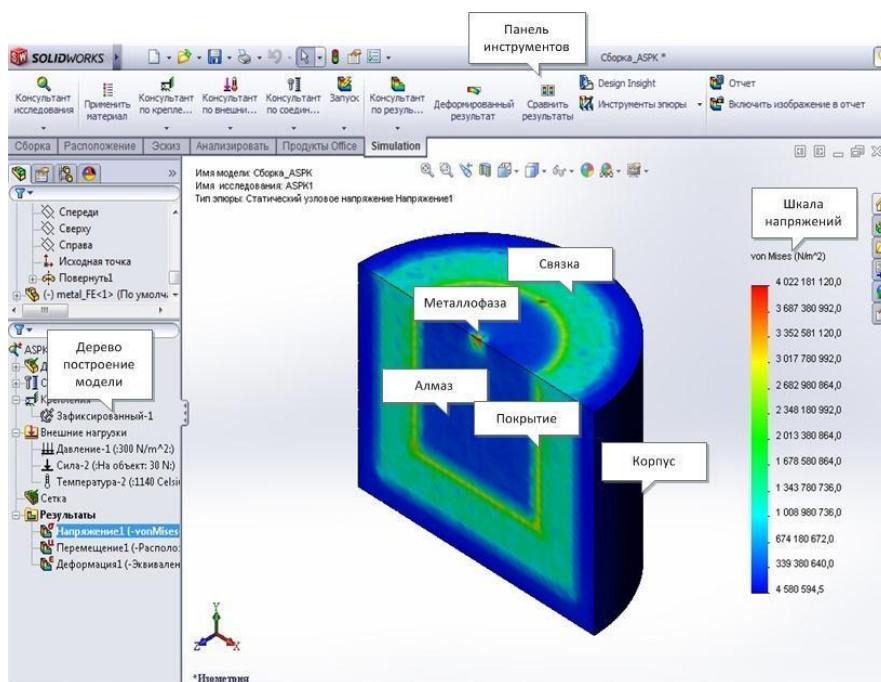


Рисунок 3 – Результаты расчета НДС при спекании алмазного карандаша

При этом имеется возможность учета факта наличия металлофазы в составе алмазного поликристалла, которая в решающей степени ответственна за образование трещин во время изготовления алмазного карандаша. В процессе исследований использовались следующие материалы: металл, преобладающий в составе металлофазы – молибден; синтетические поликристаллы алмаза марок CVD, АСПК, АСБ, СВ, СКМ-

P; материал покрытия: никель; связка (припой)-латунь ($t_{пл}=800\ldots950^{\circ}\text{C}$) или бронза ($t_{пл}=930\ldots1140^{\circ}\text{C}$); материал корпуса державки -: сталь. В процессе моделирования были выявлены некоторые особенности:

- во-первых, при использовании в карандаше синтетических алмазов, изготовленных методами синтеза или спекания с использованием металлофазы, с увеличением температуры и давления наблюдается увеличение напряжений;
- во-вторых, при использовании алмазов, изготовленных способом конденсации из газовой фазы (метод CVD) такие тенденции проявляются в значительно меньшей степени;
- в-третьих, наличие толстослойного металлического покрытия на алмазе позволяет защитить его от растрескивания в условиях высоких температур, которые имеют место в процессе изготовления рабочей части карандаша.

5. Выводы и перспективы развития. Выполненные исследования позволили предложить новые подходы к решению задачи повышения работоспособности алмазных правящих карандашей, а, следовательно, к повышению эффективности процесса шлифования в целом.

В дальнейшем представляет значительный интерес вопрос 3D моделирования напряженно-деформированного состояния зоны контакта алмазного карандаша с рабочей поверхностью круга в процессе правки последнего.

Список использованных источников: 1. Киселев Е.С. Термофизика правки шлифовальных кругов с применением СОЖ / Е.С. Киселев. - Ульяновск: УлГТУ, 2001. 171 с. 2. Семко М.Ф. Алмазное шлифование синтетических сверхтвердых материалов / М.Ф. Семко , А.И. Грабченко , М.Г. Ходоревский. – Харьков: Вища школа, 1980. – 192 с. 3. Кулакова И.И. Химический синтез алмаза и метастабильность / Кулакова И.И., Руденко А.П. // Proc. International Symposium on Diamond Film and Related Materials. Kharkov: - 1999. - Р 61-76. 4. E. Uhlmann; E. Wörner; M. Brücher. Leistungsfähigere Zerspanprozesse durch die wärmespreizende Wirkung von CVD-Diamant http://www.idr-online.com/german/pages/archive/2002_2/07_art/art07_2_02.htm. 1. P. K. Sen. Synthetische Diamant-Abrichtrohlinge für den zukünftigen Industriebedarf. http://www.idr-online.com/german/pages/archive/2002_2/16_art/art16_2_02.htm. 6. Байкалов А.К., Алмазный правящий инструмент на гальванической связке / А.К. Байкалов, И.Л. Суженник. - Киев : Наукова Думка, 1976. 204 с. 7. Киселев Е.С. Научные основы и технология шлифования заготовок: сборник учебно-исследовательских лабораторных

робот/ *E.S. Киселев, В.Н. Ковал'ногов.* – Ульяновск: УлГТУ, 2006. – 52 с. **8.** Пат. 76444 Україна, МПК (2013.01) В24 В 53/00. Спосіб правки торцевих абразивних кругів на шліфувальних верстатах з вертикальним шпинделем / *Грабченко А.І., Пижсов І.М., Кравченко С.І., Клименко В.Г.* Власник Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». - № у 2012 05634; заявл. 08.05.2012; опубл. 10.01.2013. Бюл. № 1. **9.** Пат. 74681 Україна, МПК (2012.01) В24 В 53/00. Спосіб виготовлення алмазного олівця / *А.І. Грабченко, І.М. Пижсов, В.О. Федорович В.Г. Клименко.* Власник Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кодратюка - № у 2012 04084; заявл. 03.04.2012; опубл. 12.11.2012. Бюл. № 21. **10.** *Грабченко А.І.* 3D моделирование алмазно-абразивных инструментов и процессов шлифования. / *А.І. Грабченко, В.Л. Добросок В.А. Федорович* – Хар'ков: НТУ «ХПИ», 2006. – 364 с.

Bibliography (transliterated): **1.** *Kiselev E.S.* Teplofizika pravki shlifoval'nyh krugov s primeneniem SOZh / E.S. Kiselev. - Ul'janovsk: UlGTU, 2001. 171 s. **2.** *Semko M.F.* Almaznoe shlifovanie sinteticheskikh sverhtverdyh materialov / M.F. Semko, A.I. Grabchenko, M.G. Hodorevskij. – Har'kov: Vishha shkola, 1980. – 192 s. **3.** *Kulakova I.I.* Himicheskij sintez almaza i metastabil'nost' / Kulakova I.I., Rudenko A.P. // Proc. International Symposium on Diamond Film and Related Materials. Kharkov: - 1999. - P 61-76. **4.** *E. Uhlmann; E. Wörner; M. Brücher.* Leistungsfähigere Zerspanprozesse durch die wärmespreizende Wirkung von CVD-Diamant http://www.idr-online.com/german/pages/archive/2002_2/07_art/art07_2_02.htm. **5.** *P.K. Sen.* Synthetische Diamant-Abrechtrohlinge für den zukünftigen Industriebedarf. http://www.idr-online.com/german/pages/archive/2002_2/16_art/art16_2_02.htm. **6.** *Bajkalov A.K.*, Almaznyj pravjashhij instrument na gal'venicheskoy svjazke / A.K. Bajkalov, I.L. Sukennik. - Kiev : Naukova Dumka, 1976. 204 s. **7.** *Kiselev E.S.* Nauchnye osnovy i tehnologija shlifovanija zagotovok: sbornik uchebno-issledovatel'skih laboratornyh rabot/ E.S. Kiselev, V.N. Koval'nogov. – Ul'janovsk: UlGTU, 2006. – 52 s. **8.** Pat. 76444 Україна, MPK (2013.01) V24 V 53/00. Sposib pravki torcevih abrazivnih krugiv na shlifuval'nih verstatah z vertikal'nim shpindelem / Grabchenko A.I., Pizhov I.M., Kravchenko S.I., Klimenko V.G. Vlasnik Nacional'nij tehnichnij universitet «Harkiv's'kij politehnichnij institut». - № у 2012 05634; zajavl. 08.05.2012; opubl. 10.01.2013. Bjul. № 1. **9.** Pat. 74681 Україна, MPK (2012.01) V24 V 53/00. Sposib vigotovlennja almaznogo olivcja / A.I. Grabchenko, I.M. Pizhov, V.O. Fedorovich V.G. Klimenko. Vlasnik Poltav's'kij nacional'nij tehnichnij universitet im. Ju. Kodratjuka - № у 2012 04084; zajavl. 03.04.2012; opubl. 12.11.2012. Bjul. № 21. **10.** *Grabchenko A.I.* 3D modelirovanie almazno-abrazivnyh instrumentov i processov shlifovanija. / A.I. Grabchenko, V.L. Dobroskok, V.A. Fedorovich – Har'kov: NTU «HPI», 2006. – 364s.

ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 621.83:621.9.06

C.I. ГРОМНЮК,
I.Є. ГРИЦАЙ, д-р техн. наук,
I.O. КОВАЛЬЧУК, Львів, Україна

КОНЦЕПЦІЯ ЗУБОФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТУ НА ОСНОВІ РАДІАЛЬНО-КОЛОВОГО СПОСОБУ ЗУБОНАРІЗАННЯ

Запропоновано концепцію зубофрезерного верстата на основі радіально-колового способу зубонарізання, що дає змогу значно спростити конструкцію верстата, істотно зменшити його масу та знизити споживану потужність. З цією метою в статті проаналізовано особливості використання радіально-колового способу зубофрезерування та виявлено його переваги порівняно з відомими методами, розроблено концепцію побудови та принципову схему зубофрезерного верстата на основі РК-способу формоутворення та різання, обґрунтовано переваги зубофрезерного верстата на запропонованій концепції.

Предложена концепция зубофрезерного станка на основе радиально-кругового способа зубонарезания, что позволяет значительно упростить конструкцию станка, существенно уменьшить массу и снизить потребляемую мощность. С этой целью в статье проанализированы особенности использования радиально-кругового способа зубофрезерования и выявлены его преимущества по сравнению с известными методами, разработана концепция построения и принципиальная схема зубофрезерного станка на основе РК-образа формообразования и резания, обоснованы преимущества зубофрезерного станка на предложенной концепции.

The concept of gear hobbing machine based on radial-circular gear cutting method is proposed. It allows to simplify significantly the design of the machine, to reduce significantly machine weight and to decrease significantly power consumption. For the purpose, the features of radial-circular hobbing technique application is analyzed, its advantages in comparison with the known methods are identified, the concept of development and schematic diagram of gear hobbing machine on the basis of the RC image of forming and cutting are worked out, advantages of gear hobbing machine on the proposed concept are proved.

Вступ. За останні роки в галузі технології зубчастих коліс зубообробного обладнання спостерігається значний прогрес, який затаркнув усі аспекти процесів зубообробки, компонентів верстатів і технологічного оснащення, у тому числі різальних інструментів. Так, сучасні високодинамічні зубообробні верстати з ЧПК працюють за технологією сухого високошвидкісного різання і забезпечують автоматизоване керування за 6 основними та 3-5-ма осями. Вони споряджені системами прямих приводів “серводвигун – електрошпіндель” і “серводвигун – клинова пасова зубчасти передача – передача гвинт – гайка”; системою змащення з подаванням мастила до підшипників та рухомих елементів верстата під тиском; верстати мають ефективну систему відведення стружки, що виключає її тепловий вплив на його елементи, з низькою теплопровідністю і малою чутливістю до теплової дії; інтегровані та автоматизовані периферійні системи обслуговування, зокрема складування, подавання і автоматичної заміни деталей. Станини і стояки корпусів верстатів і основних конструктивних елементів виконані з максимально збалансованими масами та порожнинами для теплової стабілізації усієї конструкції. Привід інструментального шпінделя через зубчасту передачу дає змогу змінювати потужність від 10 до 22 кВт залежно від необхідної величини обертового моменту.

Удосконалення модульних черв'ячних фрез йде шляхом підвищення їх точності, розроблення нових інструментальних матеріалів з підвищеними різальними властивостями. Їх виготовляють із швидкорізальних інструментальних сталей, а також з карбідосталей, які мають твердість до 65-66 HRC, згинну міцність до 3 Гпа та теплостійкість до 700°C , що дає змогу вести обробку на підвищених швидкостях різання. Нанесенням надтвердих захисних зносостійких покрів з кераміки, карбідів і нітридів титану, алюмінію, боридів титану і хрому товщиною до 15 мкм досягають підвищення стійкості черв'ячних фрез, яка наближається до стійкості інструментів з надтвердих інструментальних матеріалів, що дозволяє збільшити швидкість різання до 100 - 150 м/хв.

Разом з тим, у ринкових умовах продукція машинобудування, у т.ч. верстатобудування, повинна відповісти вимогам ринкової економіки, а її розвиток має підлягати загальній тенденції – зменшення ціни при одночасному підвищенні якості і технічного рівня. Однак, зміни і нововведення, які стосуються вдосконалення зубофрезерних верстатів не відповідають цим вимогам, оскільки з підвищенням їх технічного рівня та якості ціни на зубооброблювальне обладнання неухильно зростають.

Крім того, у розвитку цієї групи верстатів присутні також інші негативні тенденції – збільшення маси та енерговитратності. Як відомо, еволюція усіх без винятку машин йде шляхом зменшення їх матеріалоємкості та скорочення співвідношення між масою і певними експлуатаційними показниками, або показниками ефективності функціонування. В той же час підвищення жорсткості та вібростійкості сучасних зуборізних верстатах досягають збільшенням їх маси. Показовий приклад цього - зубохонігувальні верстати мод. Synchro Fine («Prawema») і мод. K-300 («Fässler»), усі вузли яких змонтовано на гранітних основах. У простіших випадках основи для підвищення протидії вібраціям станин наповнюють бетоном.

Одночасно зі збільшенням матеріалоємності виробники зубообрібного обладнання збільшують потужність головного приводу до 1,8 - 2,8 кВт на одиницю модуля зубчастих коліс. Зростання енергооснащеності цих верстатів веде до розриву між ефективною потужністю різання та потужністю приводу, внаслідок чого обладнання виявляється недовантаженими, а технологічні процеси зубообрібки – занадто енерговитратними.

Аналіз літературних джерел та постановка задачі дослідження. Змінити таке становище в галузі зубооброблювального обладнання можна на основі нової схеми різання, що закладена в радіально-ковому способі зубонарізання з мультиплікатором на осі інструменту. Суть цього способу полягає у виготовленні зубчастих поверхонь дисковим інструментом – тонкою відрізною фрезою при неперервному обкочуванні, як це є у черв'ячному зубофрезеруванні та на аналогічному обладнанні. Проте, на відміну від черв'ячної фрези, яка повинна мати той же модуль, що й нарізувані нею зубчасті колеса, одну дискову фрезу можна використовувати для широкого діапазону модулів шляхом зміни ексцентрикитету при її установці, тому цей спосіб є високоефективним, матеріало- та ресурсоощадним [1-3].

Ще більше розширює можливості даного способу роз'єднання кінематичного зв'язку між головним та допоміжними кінематичними рухами. Вперше ідея розривання кінематичного зв'язку між обертанням інструменту і рухом обкочування для зубообрібки запропонована

I.A.Когановим та розроблена для горизонтально-фрезерного верстата [4]. З допомогою механічної системи, утвореної на базі цього верстата забезпечується вирізання впадини між зубцями дисковою головкою, яка споряджена різцями з пластиналами з твердого сплаву. Горизонтально - фрезерний верстат модернізують так, щоб забезпечити привід обертання заготовці зубчастого колеса на столі верстата. Столу додатково надають періодичний зворотно-поступальний поперечний рух, який забезпечується механічним слідуючим пристроєм та відтворює рух копіру у впадині зубчастого колеса по двох етalonних колесах того ж модуля і числа зубців. Профілювання здійснюється на повну висоту зубця фрезою, встановленою в горизонтальному шпинделі, при цьому осьова, або радіальна подача не передбачені. Загалом, дана механічна система працює за багаточисельними кулачками-копірами, є складною та громіздкою.

У наш час ця ідея реалізована як «контурне оброблення» на горизонтальному оброблювальному центрі з використанням сучасного програмного забезпечення [5-12] (рис. 1).

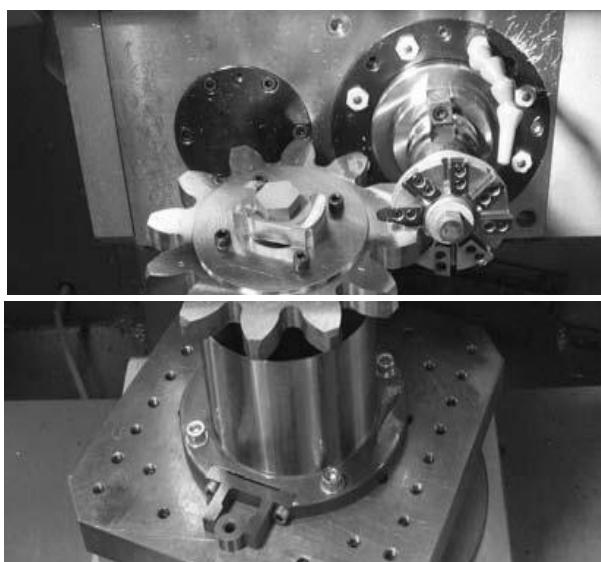


Рисунок 1 – Нарізання зубчастого колеса на горизонтальному фрезерному верстаті з ЧПК за методом контурного оброблення

Проте, необхідність багатокоординатних верстатів з ЧПК, на що розрахований цей метод, обмежує його використання лише одиничним виробництвом зубчастих коліс, оскільки експлуатувати настільки дороге та

універсальне обладнання для вищих типів виробництва вузького класу деталей економічно недоцільно. Крім того, контурне фрезерування поширюється лише на прямозубі колеса, при цьому основний час операції на ОЦ при тих же режимах різання, що й для черв'ячного зубофрезерування у 20-100 разів більший [6].

Мета і задачі дослідження.

Метою дослідження є підвищення ефективності зубофрезерного обладнання на основі нової концепції зубофрезерного верстата з керованими приводами.

Задачі дослідження:

- проаналізувати особливості використання радіально-колового способу зубофрезерування та виявити його переваги порівняно з відомими методами;
- розробити концепцію побудови та принципову схему зубофрезерного верстата на основі РК-способу формоутворення та різання;
- обґрунтувати переваги зубофрезерного верстата на запропонованій концепції.

Виклад основного матеріалу.

1. Переваги РК-способу.

На відміну від контурної обробки на багатокоординатному фрезерному верстаті, РК- спосіб має значно вищу гнучкість і ширші технологічні можливості, які полягають у наступному:

- для його реалізації не потрібно дорогого та високоавтоматизованого обладнання з ЧПК, оскільки він базується на звичайному зубофрезерному обкочувальному верстаті;
- дає змогу нарізати і прямозубі і косозубі колеса;
- може бути використаний для будь-якої партії зубчастих коліс та в усіх типах виробництва;
- застосування тонкої дискової фрези дозволяє виготовляти колеса не лише з прямолінійними, але й з гвинтовими зубцями (рис.2).
- введення мультиплікатора на осі дискової фрези (рис.3), який може бути одноступеневим з передавальним числом 3, або двоступеневим, з передавальним числом до 9, дає змогу збільшити продуктивність процесу, відповідно, у 3-9 разів.

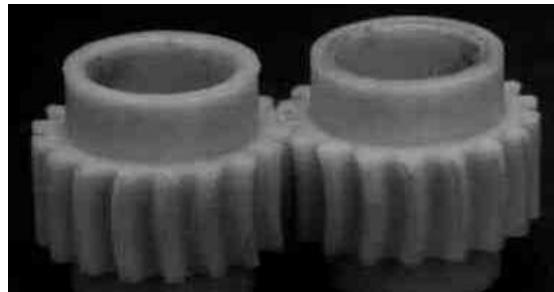


Рисунок 2 – Циліндричні колеса з гвинтовими зубцями, нарізані РК-способом

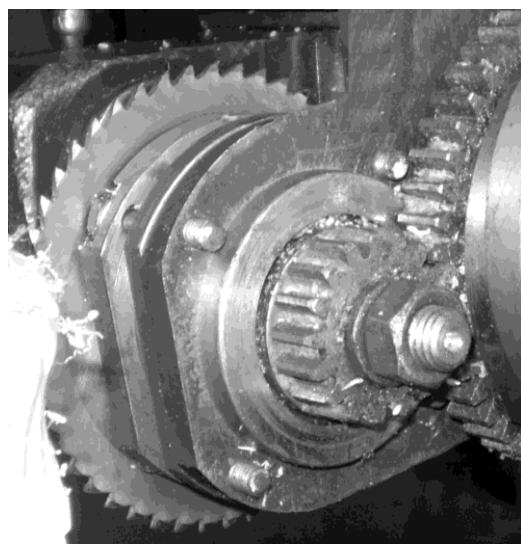


Рисунок 3 – Одноступеневим мультиплікатором зубофрезерного верстата в процесі зубонарізання РК-способом з, $i = 3$

2. Особливості радіально-колового способі зубофрезерування, на яких базується ідея кінематики і будови зубофрезерного верстата.

1. Внаслідок роз'єднання кінематичного зв'язку між рухами різання і формоутворення виникає можливість усунути усі кінематичні пари, зубчасті колеса, валі, підшипникові вузли та інші елементи, які вносять власні відхилення у сумарну похибку нарізуваного колеса в серійних зубофрезерних верстатах.

2. Різання дисковою фрезою, як і у випадку черв'ячної фрези є багатозубчастим, проте зубці дискової фрези розташовані в одній площині – радіальній площині інструменту, а їх кількість у багато разів більша, ніж відповідна кількість зубців на діаметрі черв'ячної фрези. Так, для дискової

фрези число зубців може бути рівним 60-100, а у черв'ячної фрези воно становить 10 (максимально -16, якщо верстат допускає значне збільшення зовнішнього діаметра фрези). Внаслідок цього силове поле дискової фрези є плоским, в той час, як у черв'ячної фрези воно об'ємне [13]. Збільшення кількості різальних елементів в РК-способі рівнозначне багатократному зменшенню сили різання, а вузько спрямоване силове поле означає зменшення бокових навантажень, що в підсумку призводить до істотного підвищення точності нарізання зубчастих коліс.

3. За умови збільшення частоти обертання дискової фрези при обробці однієї впадини у декілька разів, вказані вище силові фактори зводяться до мінімуму, а їх вплив на точність практично нівелюється.

4. Дослідження параметрів зрізів та сили різання показало, що при збереженні закону обкочувального руху черв'ячної фрези: поворот колеса на кутовий крок- один оберт дискової фрези в РК-способі теж присутня певна нерівномірність сили різання в одній впадині, а максимум сили різання припадає на середини висот лівих і правих профілів [14]. Разом з тим, перехід до модифікованої схеми різання та збільшення у 3-4 рази кількості обертів фрези теж зводить до мінімуму нерівномірність різання. Враховуючи цю обставину одночасно з істотним зменшенням сили зубофрезерування, процес різання в РК_способі відбувається плавно, без ударних навантажень.

3. Кінематична схема зубофрезерного верстата, скомпонованного на основі радіально-колового способу.

На рис. наведено принципову компонувальну схему зубофрезерного верстата, в якій враховано викладені вище положення. Періодичне зворотно-поступальне осьове переміщення дискової фрези з зубцевою частотою здійснюється з допомогою власного кривошипно-затисного механізму. Рух інструментальної каретки скерується і забезпечується парою «шліцевий вал – втулка». Можна використати також серійні напрямні з двома валиками на напрямних втулках з кульовими опорами, або втулках із бронзи (рис.4).

Обертання дискової фрезі надається від власного приводу – серводвигуна, розташованого співвісно з інструментальним валом і керованого контролером, комп'ютером (в експериментальних

дослідженнях), або системою ЧПК. Вибір частоти обертів фрези залежить від матералу зубців і її діаметру та розраховується на основі моделі точності і якості зубчастих поверхонь, які утворюються з допомогою РК_способу.

Керування частотою зворотних ходів і величиною ходу осьового переміщення штока з фрезою також здійснюється від контролера, комп’ютера, або системою ЧПК. Одночасне числове програмне керування по двох осях – швидкістю різання і швидкістю осьового переміщення фрези дозволяє нарізати зубчасті поверхні будь-яких профілів – евольвентних, зачеплення Новикова, аркових та ін.

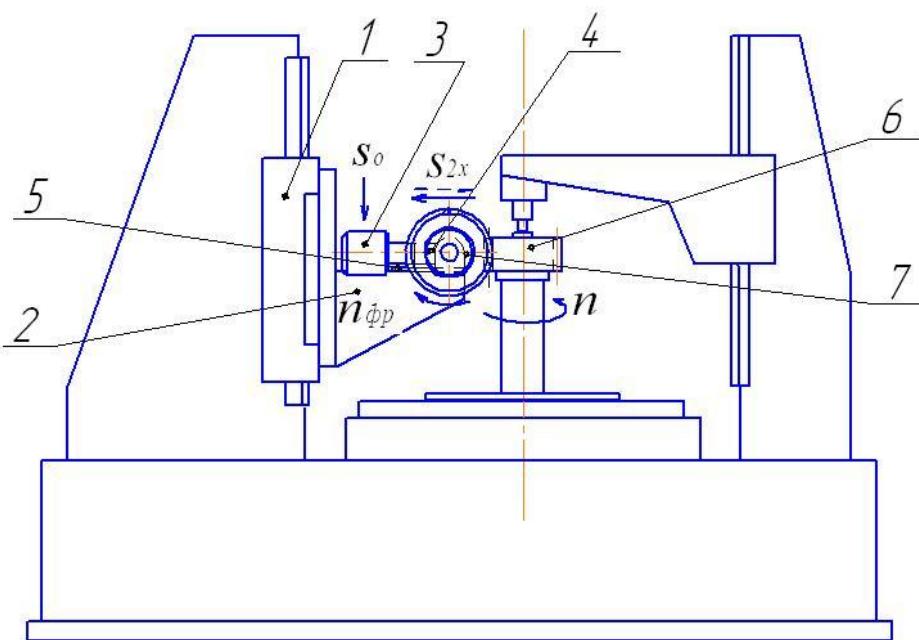


Рисунок 4 – Будова зуборезерного верстата з керованими приводами на основі РК-способу

Рух колової подачі - обертання заготовки зубчастого колеса зі столом може здійснюватися від одного приводу – асинхронного двигуна і черв’ячної передачі. Цей рух відбувається з однією частотою для усіх нарізуваних коліс, а адаптація процесу до заготовки відбувається програмуванням рухів фрези – швидкості різання та швидкості осьового зворотно-поступального переміщення суппорта.

Для забезпечення осьової подачі теж можна використати черв’ячу передачу з власним приводом. Тангенційне переміщення суппорта при нарізанні косозубчастих коліс можна реалізувати з допомогою серводвигуна.

Висновки. Запропонована концепція зубофрезерного верстата на основі радіально-ковового способу зубонарізання дає змогу:

1 – значно спростити конструкцію верстата на основі відмови від більшості кінематичних ланцюгів – головного руху, ділення і обкочування;

2 – істотно зменшити його масу внаслідок багатократного скорочення сили різання та практичного усунення динамічних навантажень;

3 – значно зменшити споживану потужність як результат зменшення сили різання і втрат потужності, які мають місце в традиційному обладнанні внаслідок тертя в кінематичних ланках;

4 – зменшення ціни зубофрезерних верстатів внаслідок запропонованих ідей супроводиться значним підвищеннем їх продуктивності за рахунок збільшення швидкості різання, яка відповідає умовам роботи сучасних інструментальних матеріалів, а також підвищення осьової подачі у 5-10 разів.

Список використаних джерел: 1. Грицай И.Е., Благут Е.Н. Зубчатые передачи и технологии их изготовления: новое в традиционном. – Оборудование и инструмент: Международный информационно-технический журнал. – №2 (61) 2005. – С.36-40. 2. Литвиняк Я.М., Грицай I.Є., Махоркін Є.М. Підвищення технологічної гнучкості операцій формоутворення зубців циліндричних зубчастих коліс в автоматизованому виробництві // Автоматизація виробничих процесів у машинобуд. та приладобудув. Укр. міжвідомчий наук.-технічн. збірник. Львів.: Вид-во НУ “Лівівсь. політехіка”. Випуск №42. – 2008. С.157-163. 3. Грицай I.Є., Литвиняк Я.М. Синусоїdalні зубчасті передачі як альтернатива традиційним передачам та новий метод їх виготовлення. Зб.: Вісник Національного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск «Проблеми механічного приводу». Х5арків: НТУ «ХПІ». – 2009, №19. – 168 с. – с. 4. Коганов И.А. Прогрессивная обработка зубчатых профилей и фасонных поверхностей. – Тула: Приокское книжн. из-во, 1970. – 180 с. 5. Формоутворення зубчастих коліс різних класів вихідними дисковими формоутворювальними тілами / А.Кривошея, Ю.Данильченко та ін.: 8-й міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків у Львові. - Тези доповідей. – 23-25 травня 2007 р., Львів. – С.101 6. Пастернак С.І. Економічне обґрунтування методу контурної обробки деталей з періодичними профілями дисковим інструментом / Пастернак С.І., Данильченко Ю.М., Сторчак М.Г., Кривошея А.В. // Сборник научных трудов "Вестник НТУ "ХПИ": Проблемы механического привода №19 – Вестник НТУ "ХПИ", 2009. С. 118-126. 7. Пастернак С.І. Силові характеристики контурної обробки циліндричних зубчастих коліс дисковим інструментом / Пастернак С.І., Данильченко Ю.М.,

Сторчак М.Г., Кривошея А.В. // Сборник научных трудов "Вестник НТУ "ХПИ": Проблемы механического приводу №28 – Вестник НТУ "ХПИ", 2011. **8.** *Данильченко Ю.М., Кривошия А.В., Пастернак С.І.* Математичне моделювання законів руху дискового інструменту при обробці зубчастих коліс довільного профілю. //Вестник НТУУ «КПІ», сер. Машиностроение. – 2006. – № 49. – С. 104-108. **9.** *Пастернак С.І., Данильченко Ю.М.* та ін. Контурна обробка зубчастих коліс з довільним профілем зубів дисковими інструментами // Матеріали доповідей Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Прогресивні напрямки розвитку машино-приладобудівних галузей та транспорту". – Севастополь: Вид-во СевНТУ, 2007. – С. 90-91. **10.** *Данильченко Ю.М., Пастернак С.І.* Продуктивність контурної обробки зубчастих ланок дисковим інструментом // Вестник Национального технического университета України "Київський політехнічний інститут". Машиностроение. –2008. – №53. – С. 215-225. **11.** *Пастернак С.І., Данильченко Ю.М., Сторчак М.Г., Кривошея А.В.* Експериментальне дослідження контурної обробки циліндричних зубчастих коліс дисковим інструментом. //Вісник Національного Технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск «Проблеми механічного приводу». – Харків: НТУ «ХПІ». 2010. - № 26. – С. 94-101. **12.** *Heisel U., Pasternak S., Storchak M., Stehle T.:* Jede Verzahnung mit einem Werkzeug herstellbar. dima. 2009. Nr. 5, 44-45. **13.** *Грицай І., Свізінський В., Новіцький Я.* Аналіз силового поля черв'ячної фрези на основі параметрів зразків. В кн.: 4й міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків у Львові. Тези доповідей. Львів, 19-21 травня 1999 р. С.107. **14.** *Грицай І.Є., Громнюк С.І., Кук А.М.* Параметри поперечного перерізу зразків в радіально-обкочувальному способі нарізання зубчастих коліс з осьовою подачею. Вісник НУ "Львів. політехніка" Оптимізація виробничих процесів і техн. контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – № 772. – Львів. - Вид-во НУ "Львів. політехніка". – 2014. – С.8-14.

Bibliography (transliterated): **1.** *Gricaj I.E., Blagut E.N.* Zubchatye peredachi i tehnologii ih izgotovlenija: novoe v tradicionnom. – Oborudovanie i instrument: Mezhdunarodnyj informacionno-tehnicheskij zhurnal. – №2 (61) 2005. – S.36-40. **2.** *Litvinjak Ja.M., Gricaj I.Є., Mahorkin Є.М.* Pidvishhennja tehnologichnoї gnuchkosti operacij formoutvorennja zubcov cilindrichnih zubchastih kolis v avtomatizovanomu virobniictvi // Avtomatizacija virobniichih procesiv u mashinobud. ta priladobuduv. Ukr. mizhvidomchij nauk.-tehnichn. zbirnik. L'viv.: Vid-vo NU "Liviv's. politehika". Vipusk №42. – 2008. – S.157-163. **3.** *Gricaj I.Є., Litvinjak Ja.M.* Sinusoidal'ni zubchasti peredachi jak al'ternativa tradicijnim peredacham ta novij metod ih vigotovlennja. Zb.: Visnik Nacional'nogo universitetu «Harkiv'skij politehnichnij institut». Zbirnik naukovih prac'. Tematichnij vpusk «Problemi mehanichnogo privodu». H5arkiv: NTU «HPI». – 2009, №19. – 168 s. – s. **4.** *Koganov I. A.* Progressivnaja obrabotka zubchatyh profilej i fasonnyh poverhnostej. – Tula: Priokskoe knizhn. iz-vo, 1970. – 180 s. **5.** Formoutvorennja zubchastih kolis riznih klasiv

vihidnimi diskovimi formoutvorjuval'nimi tilami / A.Krivosheja, Ju.Danil'chenko ta in.: 8-j mizhnarodnj simpozium ukraïns'kih inzheneriv-mehanikiv u L'vovi. – Tezi dopovidej. – 23-25 travnya 2007 r., L'viv. – S.101 **6.** *Pasternak S.I.* Ekonomichne obrruntuvannja metodu konturnoї obrobki detalej z periodichnimi profiljami diskovim instrumentom / Pasternak S.I., Danil'chenko Ju.M., Storchak M.G., Krivosheja A.V. // Sbornik nauchnyh trudov "Vestnik NTU "HPI" : Problemi mehanichnogo privodu №19 - Vestnik NTU "HPI", 2009. S.118-126.] **7.** *Pasternak S.I.* Silovi harakteristiki konturnoї obrobki cilindrichnih zubchastih kolis diskovim instrumentom / Pasternak S.I., Danil'chenko Ju.M., Storchak M.G., Krivosheja A.V. // Sbornik nauchnyh trudov "Vestnik NTU "HPI" : Problemi mehanichnogo privodu №28 - Vestnik NTU "HPI", 2011. **8.** *Danil'chenko Ju.M., Krivosheja A.V., Pasternak S.I.* Matematichne modeljuvannja zakoniv ruhu diskovogo instrumentu pri obrobci zubchastih kolis dovil'nogo profilju. //Vestnik NTUU «KPI», ser. Mashinostroenie. – 2006. – № 49. – S. 104-108. **9.** *Pasternak S.I., Danil'chenko Ju.M. ta in.* Konturna obrobka zubchastih kolis z dovil'nim profilem zubiv diskovimi instrumentami // Materiali dopovidej Mizhnarodnoї naukovo-tehnichnoї konferencii studentiv, aspirantiv i molodih vchenih "Progresivni naprjamki rozvitku mashino-priladobudivnih galuzej ta transportu". – Sevastopol': V-vo SevNTU, 2007. – S. 90-91. **10.** *Danil'chenko Ju.M., Pasternak S.I.* Produktivnist' konturnoї obrobki zubchastih lanok diskovim instrumentom // Vestnik Nacional'nogo tehnicheskogo universiteta Ukrayny "Kievskij politehnicheskij institut". Mashinostroenie. –2008. – №53. – S. 215-225. **11.** *Pasternak S.I., Danil'chenko Ju.M., Storchak M.G., Krivosheja A.V.* Eksperimental'ne doslidzhennja konturnoї obrobki cilindrichnih zubchastih kolis diskovim instrumentom. //Visnik Nacional'nogo Tehnichnogo universitetu «HPI». Zbirnik naukovih prac'. Tematichnij vipusk «Problemi mehanichnogo privodu». – Harkiv: NTU «HPI». 2010. – № 26. – S. 94-101. **12.** *Heisel U., Pasternak S., Storchak M., Stehle T.*: Jede Verzahnung mit einem Werkzeug herstellbar. dima. 2009. Nr. 5, 44-45. **13.** *Gricaj I., Svizins'kij V., Novic'kij Ja.* Analiz silovogo polja cherv'jachnoї frezi na osnovi parametrv zriziv. V kn.: 4j mizhnarodnj simpozium ukraïns'kih inzheneriv-mehanikiv u L'vovi. Tezi dopovidej. L'viv, 19-21 travnya 1999 r. S.107. **14.** *Gricaj I.C., Gromnjuk S.I., Kuk A.M.* Parametri poperechnogo pererizu zriziv v radial'no-obkochuval'nomu sposobi narizannja zubchastih kolis z os'ovoju podacheju. Visnik NU "L'viv. politehnika" Optimizacija virobnichih procesiv i tehn. kontrol' u mashinobuduvanni ta priladobuduvanni. – № 772. – L'viv. Vid-vo NU "L'viv. politehnika". – 2014. – S.8-14.

УДК 621.9.01

А.Г. ДЕРЕВЯНЧЕНКО, д-р техн. наук,
Д.А. КРИНИЦЫН, Одесса, Украина

ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ МОДЕЛЕЙ СОСТОЯНИЙ РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ В СТРУКТУРЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ИНСТРУМЕНТОВ

Приведені результати розробки моделей, що відображають як окремі стані різальної частини, так і їх динаміку із зносом інструменту. Моделі формуються за наслідками контролю інструментів з використанням систем технічного зору. Для цього в структурі інтелектуальної системи діагностування станів інструментів створений спеціальний програмний комплекс

Приведены результаты разработки моделей, отображающих как отдельные состояния режущей части, так и их динамику с износом инструмента. Модели формируются по результатам контроля инструментов с использованием систем технического зрения. Для этого в структуре интеллектуальной системы диагностирования состояний инструментов создан специальный программный комплекс.

The results of models development, representing both the separate cutting part states, and their dynamics with the tools wear are discussed. Models are formed as results of tolls control with the systems of technical sight using. For this purpose the special programm complex in structure of the intellectual system of tools diagnosing is created.

Анализ предыдущих исследований. Средства искусственного интеллекта (технического интеллекта [1]) все чаще используются в современном производстве. В комплексах, создаваемых для диагностирования состояний режущих инструментов (РИ), начинают применять системы технического зрения (СТЗ), методы и алгоритмы распознавания состояний РИ с предварительным обучением [2, 3] и др. Для обеспечения надежного многопараметрического прогнозирования отказов инструментов уже недостаточным оказывается распознавание отдельных состояний режущей части (РЧ). Требуется формирование

многоуровневых моделей динамики состояний РЧ. Поэтому тематика статьи представляется авторам актуальной.

Целью настоящей статьи является изложение некоторых результатов разработки моделей, отображающих как отдельные состояния РЧ, так и их динамику* с износом инструмента, и соответствующего программного комплекса.

Рассмотрим основные результаты исследований. В ОНПУ разработаны основные модули интеллектуальной системы диагностирования состояний РЧ (ИСДСРЧ) и стендовые системы для мониторинга инструментов с использованием систем технического зрения. Основой для выполнения в ИСДСРЧ операций многопараметрического прогнозирования остаточного ресурса РЧ, определения момента смены инструмента и др. являются соответствующие модели динамики состояний (далее – “динамические модели”).

Для упрощения изложения материала примем, что “контрольной точкой” РЧ являются только задние поверхности РИ и обобщенная зона их износа (A_2^T).

Рассмотрим развернутую структуру динамической модели A_2^T для последовательности состояний инструмента, зарегистрированных на отрезке периода стойкости – ресурса РИ: $\hat{\tau} = 0 \dots T^K$ (здесь К – количество актов контроля РЧ). Она условно может быть представлена в виде отображения (1):

$$\nu : \{M_{A_2}^0, M_{A_2}^{T_1}, M_{A_2}^{T_2}, \dots, M_{A_2}^{T_i}, \dots M_{A_2}^{T_K}\} \rightarrow M_{A_2}^{(0, T_K)}, \quad (1)$$

где:

$M_{A_2}^0, M_{A_2}^{T_1}, M_{A_2}^{T_2}, \dots, M_{A_2}^{T_i}, \dots M_{A_2}^{T_K}$ – последовательность текущих (“единичных”) моделей отдельных состояний РЧ, зарегистрированных интеллектуальной системой за весь период эксплуатации инструмента (или за принадлежащий ему отрезок времени: от состояния “0” до состояния “К”);

*Термин “динамика” используется здесь в контексте обозначения последовательных или внезапных изменений состояний РИ.

ν – отображение, здесь – обобщенный алгоритм формирования динамической модели РЧ по наборам текущих моделей, представляющих каждое из зарегистрированных состояний РЧ.

Примерами моделей класса $M_{A_2}^{(0,T_K)}$ могут служить совмещенные наборы контуров зон износа задних поверхностей, построенные в рабочей плоскости; совмещенные 3D – модели A_2^T , построенные в инструментальной системе координат, и др. Могут строиться как графические, так и аналитические модели.

Модель (комплексный образ) РЧ для некоторого текущего состояния задней поверхности (модель состояния на момент Т: $M_{A_2}^{T_i} \subset M_{A_2}^{(0,T_K)}$) может быть представлена выражением (приводится в сокращенном варианте):

$$M_{A_2}^{T_i} = \left\{ I^{RGB}, I^{OS}, I^{BIN}, K^\Sigma, Tr^\Sigma, Pr^1, Pr^2, \Omega_i^{F[A_2^T]}, \dots, \Omega_j^{Tx[A_2^T]}, \dots, S^F[A_2^T], Kr^{Tx[A_2^T]}, \dots, S^{Tx[A_2^T]}, \dots, C[A_2^T] \right\}. \quad (2)$$

Раскроем содержание основных элементов (2):

I^{RGB} – изображение A_2^T в формате RGB;

I^{OS} – изображение A_2^T ”в оттенках серого”;

I^{BIN} – изображение A_2^T бинарное;

K^Σ – набор выделенных зон A_2^T ;

Tr^Σ – набор выделенных внутренних контуров A_2^T и соответствующих участков изображений;

Pr^1 – набор первичных признаков формы зоны A_2^T ;

Pr^2 – набор вторичных признаков формы зоны A_2^T ;

$\Omega_i^{F[A_2^T]}$ – класс формы A_2^T (или форм внутренних контуров), распознанный с использованием одного из разработанных методов [3]. Можно записать: $\Omega_i^{F[A_2^T]} \subset R^{F[A_2^T]}$, где $R^{F[A_2^T]}$ – множество классов форм A_2^T , каждый из которых отображает ту или иную структуру дефектов РЧ;

$\Omega_j^{Tx[A_2^T]}$ – класс текстуры (текстур) A_2^T , распознанный с использованием одного из разработанных методов [5]. Можно записать: $\Omega_i^{Tx[A_2^T]} \subset W^{Tx[A_2^T]}$, где $W^{Tx[A_2^T]}$ – множество классов текстур, соответствующих поверхностям износа или разрушений РИ из различных инструментальных материалов. Каждый из них отображает тот или иной механизм изнашивания или разрушения РИ. В совокупности с оценками интенсивности изнашивания различных участков задних поверхностей РЧ (например – на основе анализа совмещенные 3D – моделей A_2^T для ряда состояний РЧ в структуре $M_{A_2}^{(0,T_k)}$) может выполняться уточнение результатов многопараметрического прогнозирования;

$S^{F[A_2^T]}$ – структура A_2^T , определенная по данным $\Omega_i^{F[A_2^T]}$ и др.;

$Kr^{Tx[A_2^T]}$ – карта текстур A_2^T , формируемая с использованием $Tr^\Sigma, \Omega_j^{Tx[A_2^T]}$;

$S^{Tx[A_2^T]}$ – структура A_2^T , дополненная результатами анализа $Kr^{Tx[A_2^T]}$;

$C^{[A_2^T]}$ – класс состояния A_2^T (класс состояния РЧ) на момент контроля. Можно записать: $C_i^{[A_2^T]} \subset C^{[A_2^T]}$, где $C^{[A_2^T]}$ – множество классов значимых состояний A_2^T .

Модель типа $M_{A_2}^{T_i}$ (многоуровневый образ A_2^T) является комплексной. Она формируется в результате многоуровневой обработки одного или нескольких (в зависимости от принятой схемы контроля и требуемой глубины диагноза) цифровых изображений РЧ. В структуре $M_{A_2}^{T_i}$ может быть сформирована 3D – модель A_2^T , аналогичные модели отдельных информативных участков контактных поверхностей.

Определим основные типы данных элементов моделей типа $M_{A_2}^{T_i}$:

1. I^{RGB}, I^{OS}, I^{BIN} – цифровые матрицы (цифровые изображения РЧ);
2. K^Σ - наборы двумерных массивов координат точек контуров;

3. Tr^{Σ} – цифровые матрицы (изображения) зон определенной текстуры;
4. Pr^1, Pr^2 – двумерные цифровые массивы данных - признаки формы и текстур;
5. $\Omega_i^{F[A_2^T]}$ – номер или код распознанного класса формы A_2^T ;
6. $\Omega_j^{Tx[A_2^T]}$ – номер или код распознанного класса текстур A_2^T ;
7. $S^F[A_2^T]$ – матрица структуры A_2^T ;
8. $Kr^{Tx[A_2^T]}$ – множество двумерных массивов контуров – границ зон A_2^T с однородной текстурой (соответствующей тому или иному механизму изнашивания контактной поверхности), определенных на матрицах I^{OS} ;
9. $S^{Tx[A_2^T]}$ – матрица структуры A_2^T , дополненная и уточненная по результатам текстурного анализа (анализа $\Omega_j^{Tx[A_2^T]}, Kr^{Tx[A_2^T]}$);
10. $C^{[A_2^T]}$ – класс состояния A_2^T , обозначаемый номером или кодом.

В структуре моделей типа $M_{A_2}^{(0,T_k)}$ могут определяться параметры текущей геометрии РЧ, значения интенсивности изнашивания A_2^T и отдельных ее участков, и др.

Часть данных моделей класса $M_{A_2}^{T_i}$ используется для текущего прогнозирования остаточного ресурса, часть – для накопления информации в БД и последующей обработки.

Поскольку контроль РИ может выполняться вне зоны и вне процесса обработки (например – в инструментальном магазине станка), временные затраты на построение моделей не являются критичными для процесса обработки. Несмотря на кажущуюся информационную избыточность моделей типа $M_{A_2}^{T_i}, M_{A_2}^{(0,T_k)}$, они (по мнению авторов) являются платформой для создания распределенных “многопользовательских” интеллектуальных систем диагностирования состояний РИ с использованием интернет – технологий.

Покажем, как формируются некоторые из элементов $M_{A_2}^{T_i}$ в структуре ИСДСРЧ.

После предобработки изображений A_2^T выделяется комплекс признаков формы и других параметров зоны износа или скола РЧ (Pr^1, Pr^2), которые затем поступают на вход комплексного классификатора формы - КЛФ (рис. 1). На выходе КЛФ формируется $\Omega_i^{F[A_2^T]}$.

В состав КЛФ входит ряд модулей, в том числе:

– программные комплексы, реализующие методы сокращения размерности пространства диагностических признаков – метод полного перебора (МПП), метод сокращенного перебора (МСП) [4], метод комплексного перебора (МКП) [3];

– программные комплексы, реализующие известные и модифицированные методы распознавания – метод максимального правдоподобия (КММП), комплексный модифицированный (ККМ), нейросетевой классификатор (КНС), нейросетевой нечеткий классификатор (КННС) [3 – 7 и др.].

Выбор метода и классификатора обусловлен особенностями решаемой задачи.

В базе знаний (БЗ), обменивающейся информацией с БД расширенного динамического образа (динамической модели) БД РДО РЧ, содержатся решающие правила для распознавания форм (РПФ) зон износа.

В состав ИСДСРЧ входят также такие модули, как комплексный классификатор текстур, модуль многопараметрического прогнозирования остаточного ресурса и мн. др.

Для формирования, обработки, анализа и хранения моделей отдельных состояний и динамики состояний РЧ создан специальный программный комплекс.

Некоторые из его рабочих панелей представлены на рис. 2 – 7.

В ряде случаев в качестве “контрольной точки” РЧ принимают режущие кромки – РК (L_3^T) инструмента.

Фрагменты рабочих этапов формирования соответствующей динамической модели представлены на рис. 7.

В левой части каждого рисунка показаны фрагменты таблиц – массивов координат точек проекций РК на основную плоскость.

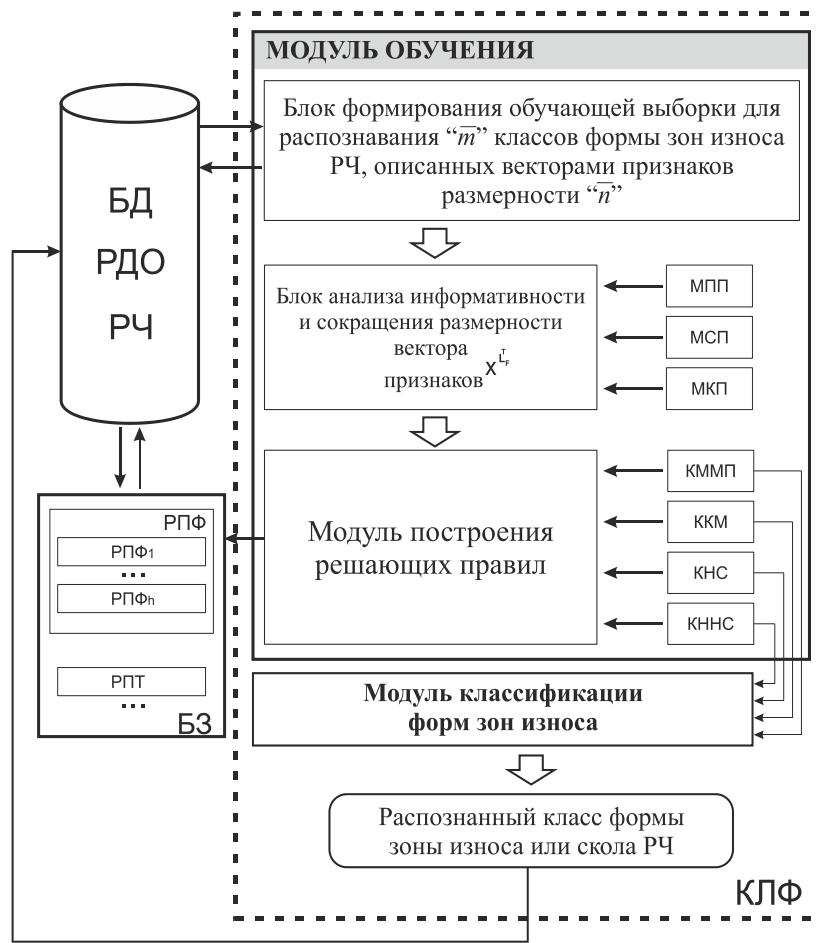


Рисунок 1 – Структурная схема одного из модулей ИСДСРЧ – комплексного классификатора форм зон износа и зон разрушений режущей части РИ

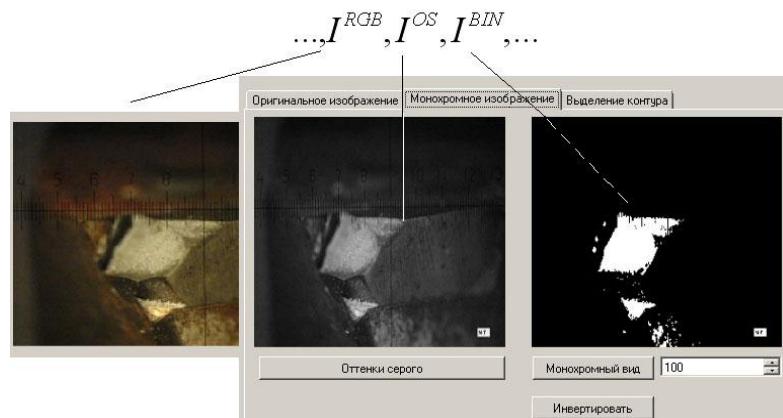


Рисунок 2 – Панель программного комплекса, в которой отображены некоторые из компонентов модели A_2^T для резца в состоянии отказа (здесь – изображения зоны скола РЧ)

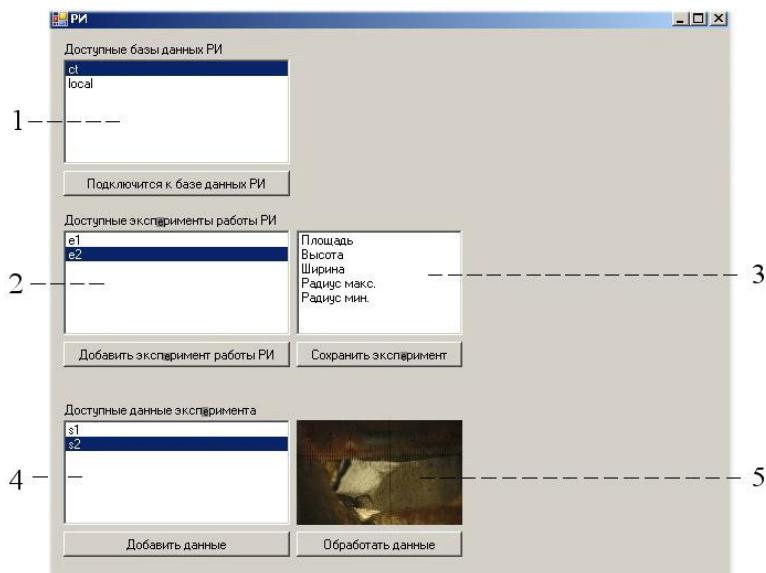


Рисунок 3 – Панель, в которой отображаются признаки наиболее информативные для данного класса состояния РЧ:
 1 – окно БД; 2 – окно индикации номеров партий экспериментов;
 3 – окно параметров; 4 – окно индикации обозначений экспериментальных наборов данных; 5 – изображение РЧ (здесь – изображение зоны скола)

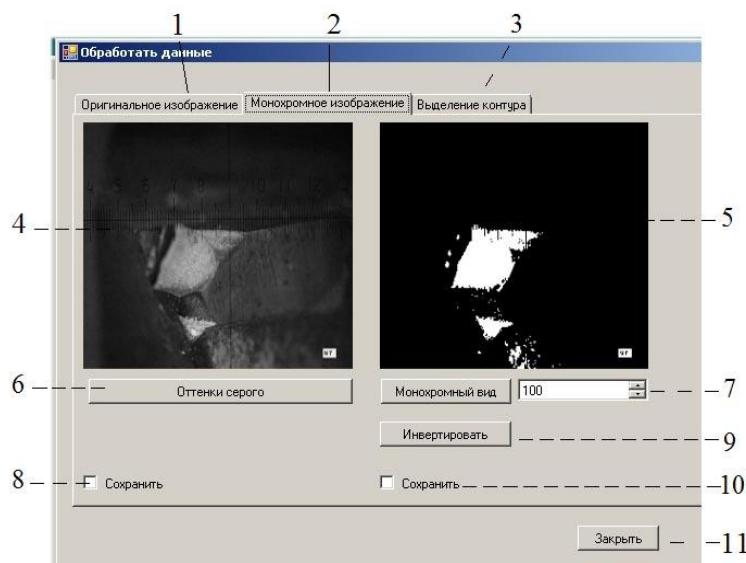


Рисунок 4 – Панель, в которой отображаются все этапы выделения множества контуров на изображении РЧ:
 1-3 – названия рабочих окон; 4 – изображение зоны скола РЧ (“в оттенках серого”); 5 – окно контуров РЧ; 6-10 – элементы управления операциями над изображением РЧ

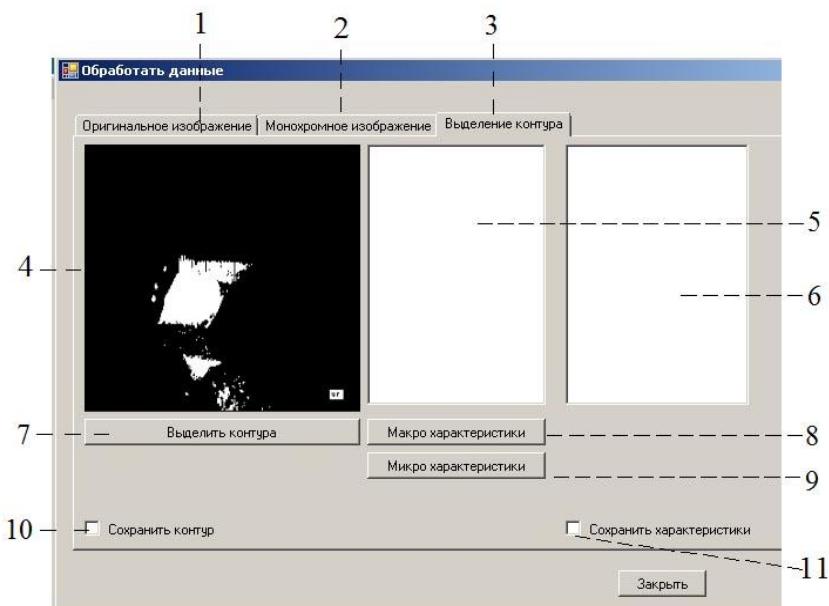


Рисунок 5 – Панель, в которой последовательно задаются варианты расчета признаков контуров зон РЧ – здесь зона скола (с определением макро- и микрохарактеристик контура): 1-3 – названия рабочих окон; 4-6 – рабочие окна; 7-11 – операции над изображением РЧ

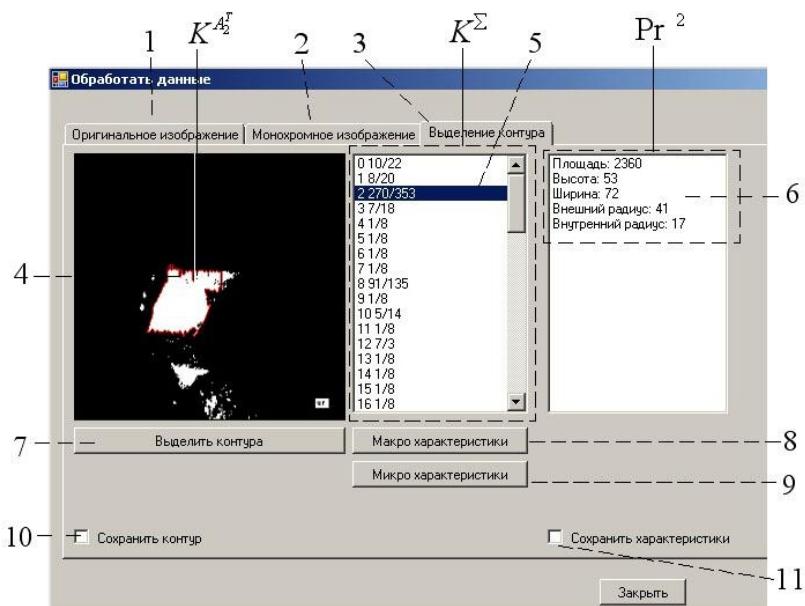


Рисунок 6 – Панель индикации наборов выделенных контуров в зоне A_2^T и соответствующих признаков:
1-3 – названия рабочих окон; 4 – окно с изображением текущего выделенного контура; 5 – номер контура; 6 – параметры выделенного контура;
7-11 – элементы управления операциями над контурами

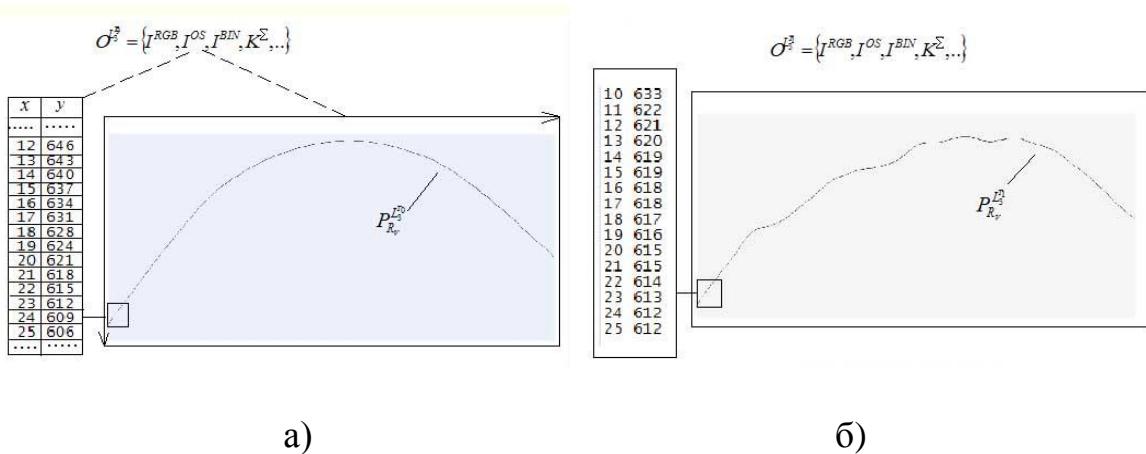


Рисунок 7 – Представление двух этапов формирования динамической модели режущих кромок РЧ для двух последовательных состояний РИ – контуры режущих кромок в исходном (а) и рабочем (б) состояниях резца

Выводы. 1. Разработан подход к формированию новых комплексных моделей, отображающих как отдельные состояния режущей части, так и их динамику с износом инструмента. Модели строятся по результатам контроля инструментов с использованием систем технического зрения. 2. В структуре интеллектуальной системы диагностирования состояний инструментов создан соответствующий специальный программный комплекс. Проведены его испытания для построения моделей динамики состояний и отказа резцов, показавшие его работоспособность и перспективность использования для решения комплекса задач ИСДСРЧ.

Список использованных источников: 1. Деревянченко А.Г. Подход к распознаванию состояний поверхностей режущей части инструментов с учетом результатов анализа их текстур./А.Г. Деревянченко, О.Ю. Бабилунга, А.О. Соценко, Р.Г. Долицкий//Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: НТУ “ХПИ”. 2011 – Вып. 80. – С. 68 – 75. 2. Горелик А.Л. Методы распознавания. Учебн. пособие / Горелик А.Л., Скрипкин В.А. – М.: Высшая школа, 1984. – 208 с. 3. Деревянченко А.Г. Повышение качества системы поддержания работоспособности инструментов с использованием нечеткого нейросетевого классификатора их состояний/ Деревянченко А.Г., Фомин А.А, Фомина О.В. //Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія "Машинобудування і машинознавство". Випуск 7 (166). Донецьк: Дон НТУ, 2010. – С. 177-184.

Bibliography (transliterated): **1.** *Derevjanchenko A.G.* Podhod k raspoznavaniju sostojanij poverhnostej rezhushhej chasti instrumentov s uchetom rezul'tatov analiza ih tekstur./ A.G. Derevjanchenko, O.Ju. Babilunga, A.O.Socenko, R.G. Dolishhinskij//Rezanie i instrument v tehnologicheskikh sistemah.- Har'kov: NTU "HPI". 2011 — Vyp. 80. — S. 68-75.

2. *Gorelik A.L.* Metody raspoznavaniya. Uchebn. posobie / Gorelik A.L., Skripkin V.A. - M.: Vysshaja shkola, 1984. – 208 s. **3.** *Derevjanchenko A.G.* Povyshenie kachestva sistemy podderzhaniya rabotosposobnosti instrumentov s ispol'zovaniem nechetkogo nejrosetevogo klassifikatora ih sostojanij/ Derevjanchenko A.G., Fomin A.A, Fomina O.V. //Naukovi praci Donec'kogo nacional'nogo tehnichnogo universitetu. Serija "Mashinobuduvannja i mashinoznavstvo". Vipusk 7 (166). Donec'k: Don NTU, 2010. – S. 177-184.

УДК 004.925.8

В.О. ЗАЛОГА, д-р техн. наук,
О.О. ЗАЛОГА, Суми, Україна

ДО ПИТАННЯ ВИКОРИСТАННЯ СУЧASNІХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В СТОМАТОЛОГІЇ ТА ОРТОПЕДІЇ

В статті розглянуто питання використання сучасних інформаційних технологій в стоматології та ортопедії та підвищення ефективності процесу виконання етапів сканування, моделювання та остаточного виготовлення відповідних виробів на верстатах з ЧПК. Розглянуто можливість використання для цих задач програмних продуктів компанії Delcam.

В статье рассмотрен вопрос использования современных информационных технологий в стоматологии и ортопедии и повышения эффективности процесса выполнения этапов сканирования, моделирования и окончательного изготовления соответствующих изделий на станках с ЧПУ. Рассмотрена возможность использования для этих задач программных продуктов компании Delcam.

The article reviewed the use of modern information technologies in dentistry and orthopedics and improve the process of performing steps scanning, modeling and final manufacturing of the respective products on CNC machines. The possibility of using Delcam software for these tasks.

Питання здоров'я населення завжди були і залишаються важливими в усьому світі взагалі, і в Україні зокрема. Існують такі напрями медицини, де необхідною є тісна взаємодія лікарів та інженерів. В умовах, які склалися на даний час, коли постійно створюються нові матеріали, використовуються нові технології проектування та виробництва, нові інструменти, це питання встає дуже гостро. Основними напрямами для взаємодії лікарів та інженерів, наприклад, є проектування та виготовлення зубних протезів та імплантатів, протезів суглобів, кінцівок та інших частин тіла, а також ортопедичного взуття та устілок (в першу чергу індивідуальних). Всі ці вироби носять сугубо індивідуальний характер, а тому, як правило, не можуть виготовлятися масово, що з метою

підвищення якості цих виробів, а також, що є дуже суттєвим та злободенним, скорочення термінів їхнього виготовлення, потребує специфічних підходів як до процесів їх проектування, так і до технологій їх виготовлення. Одним з найперспективніших напрямків успішного вирішення вказаних задач є використання на всіх етапах створення кожного з виробів сучасних інформаційних технологій. Тому дана стаття, з метою визначення найкращих (раціональних, а бажано і оптимальних) умов створення відповідних продукту, присвячена аналізу новітніх технологій в кожному з напрямків, до яких належить той чи інший з вказаних виробів – ортопедична стоматологія, виготовлення протезів суглобів та кінцівок, виготовлення індивідуального ортопедичного взуття та устілок.

Щодо питання використання новітніх технологій в ортопедичній стоматології. На даний момент, основними задачами при виготовленні зубних протезів є не тільки відновлення цілісності зубів та зубних рядів, відновлення жувальної та мовної функцій, а ще й отримання високих естетичних показників готових реставрацій. Все це стає можливим завдяки появі нових матеріалів, які можуть поєднати в собі фізико-механічні властивості, що практично співпадають із характеристиками твердих тканин зубів та естетичні можливості й біологічні властивості кераміки [4,12,14].

При загальноприйнятій традиційній технології виготовлення таких зубних протезів без використання новітніх CAD/CAM систем на етапі проектування та виготовлення протезу велику роль відіграє людський фактор, що значно зменшує точність виготовлення протезу і потребує неоднократних примірювань і відповідних доробок після них. Технологічна схема виготовлення зубних протезів з використанням інноваційних інформаційних технологій (рис.1) представляє собою 7 етапів: виконання зліпку щелепи пацієнта, виготовлення гіпової моделі по зліпку, сканування гіпової моделі на тривимірному сканері, проектування протезу або імплантату в CAD системі, написання керуючої програми для верстату з ЧПК в CAM системі, обробка протезу на верстаті з ЧПК типу CNC не менш ніж 4-х координатного, остаточна термічна обробка протезу. Якщо детально розглянути представлений на рис. 1 технологічний процес

виготовлення зубних протезів та імплантатів, то можна побачити, що частину етапів (відбиток, гіпсова модель) повинен виконувати тільки стоматолог, але виконання «левової долі» етапів є цілком інженерною задачею, хоча і не без консультаційного супроводу зубного техніка. Таким чином можна констатувати, що виготовленням відбитку займається стоматолог-ортопед, виготовлення гіпсової моделі – це задача зубного техніка, а вже етапи сканування, моделювання та остаточного виготовлення – це інженерні задачі. Разом з тим, треба мати на увазі, що на етапі моделювання необхідна тісна взаємодія інженерів та зубних техніків.

Суттєво підвищити ефективність процесу виконання етапів сканування, моделювання та остаточного виготовлення на верстатах з ЧПК може бути забезпечене шляхом використання програмних продуктів фірми Delcam та сучасного оснащення – 3D - сканера та не менш ніж 4D верстата з ЧПК. Програмні продукти фірми Delcam дозволяють обробляти отримане за допомогою сканера зображення гіпсової моделі та проектувати необхідний протез (Система «DentCad» на базі «PowerShape») та розробляти керуючу програму для верстата з ЧПК (Система «DentMill» на базі «PowerMill») для його виготовлення із необхідного матеріалу. Крім того, програмні продукти фірми Delcam у своєму складі мають повний спектр програмного рішення для виготовлення зубних протезів та імплантатів (рис.2)



Рисунок 1 – Технологічна схема виготовлення зубних протезів з використанням сучасних CAD/CAM технологій

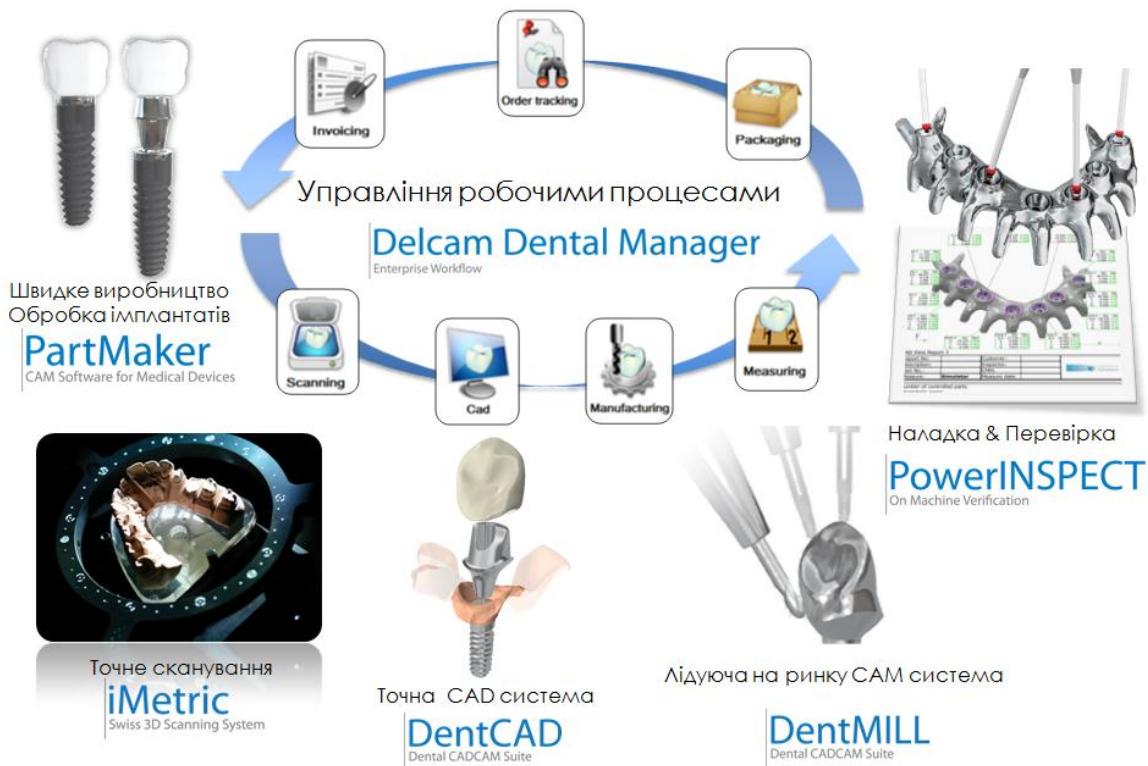


Рисунок 2 – Повний спектр програмного рішення для виготовлення зубних протезів та імплантатів

Найгострішим сьогодні є питання **виготовлення протезів суглобів та кінцівок**. На даний момент в Україні щорічно потребують протезування біля 1000 хворих і травмованих на 1 млн. населення, тобто зараз це близько 40 тисяч хворих [1]. В сучасному світі дуже великий кількості людей для того, щоб вести комфортний спосіб життя необхідна заміна колінних та тазостегнових суглобів, заміна міжхребцевих дисків штучними.

Всі суглоби повинні відповідати жорстким вимогам: повинні відновлювати кінематику, максимально наблизену до кінематики здорового суглобу; мати велику зносостійкість; мати необхідні трибологічні властивості (табл.1) [2]; мати велику точність оброблених поверхонь (шорсткість, розміри, форму) та їх взаємного розташування. Протези суглобів можуть бути як універсальними, так і можуть бути виготовлені індивідуально для кожного пацієнта.

Таблиця 1 – Трибологічні характеристики матеріалів, що використовуються в шарнірних сполученнях[2]

Показник	Значення для різних пар матеріалів		
	метал/метал	метал/поліетилен	кераміка/кераміка
Коефіцієнт тертя	0,1-0,3	0,06-0,1	0,02-0,07
Швидкість об'ємного зношування, $\text{мм}^3/\text{рік}$	0,1-1	30-100	$0,5-1 \times 10^{-3}$
Розмір часток зношування, мм	30	300	10
Біологічна активність	зниження життєстійкості клітин	17,5	1

Майже всі сучасні суглоби проектуються та виготовляються з використанням новітніх CAD/CAM технологій та 5-ти координатних обробляючих центрів. Для досягнення високої якості виготовлених протезів необхідно вірно виконати розрахунок і проектування суглобу, правильно скласти технологію виготовлення, грамотно написати керуючу програму для верстату з ЧПК та виконати вірний підбір інструменту, що дозволить не тільки виготовити високоякісний протез, а ще й забезпечити його довговічність. Ефективне виконання всіх названих етапів також може бути забезпечене (по аналогії з вирішенням вказаних задач у стоматології) використанням програмних продуктів фірми Delcam [5,6,8,11].

Однією з важливих задач при конструюванні суглобу є моделювання його напружено-деформованого стану для того, щоб ще на цьому етапі можна було б прогнозувати стійкість і працездатність створюваної конструкції [3,7-10,13]. На рис. 3 наведена розрахункова схема ендопротеза тазостегнового суглоба[2].

Ця схема дозволяє з використанням методу скінчених елементів (МСЕ) визначати величини й розподіл контактних нормальніх і дотичних напружень у вкладиші ендопротезу, виконаного у вигляді пари рухливого з'єднання «сферична головка з кераміки – вертлюжна западина із сапфіру», а також в оцінці напружено-деформованого стану (НДС) у ньому

й у визначенні конструктивних характеристик вкладиша вертлюжної западини рухливого з'єднання ендопротезу.

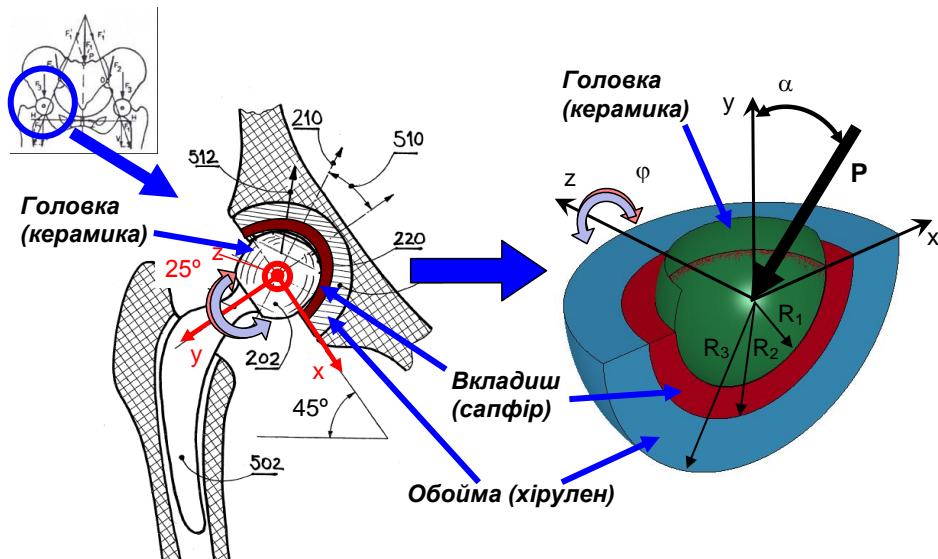


Рисунок 3 – Розрахункова схема ендопротеза тазостегнового суглоба [2]

На даний момент є багато інженерних рішень для моделювання тих чи інших конструкцій методом скінчених елементів [2,3], але, нажаль, ще не існує модулів для прогнозування стійкості саме штучних суглобів для різних умов їхнього використання (стрибок, удар тощо). Таким чином, ця задача є дуже важливою, ще й тому, що при проектуванні суглобів необхідно враховувати також і те, в яких умовах він буде експлуатуватись. Заміну суглобів потребують як люди літнього віку, так і спортсмени, молоді люди, військові та ін. З огляду на вік, рід занять, спосіб життя необхідно розраховувати відповідну стійкість суглобів. Наприклад, якщо суглоб проектується для людини похилого віку, котрій необхідно вільно та спокійно пересуватись вдома або містом, ходити по сходах, то може недоцільним буде розроблення коштовного протезу проте, якщо суглоб буде замінюватись у спортсмена, наприклад, парашутиста, легкоатлета та т.п. або військового, то він повинен бути більш витривалим, мати більші дозволені навантаження та більш високу зносостійкість.

Щодо питання **виготовлення індивідуального ортопедичного взуття та устілок**. В теперішній час дуже великий кількості населення в Україні необхідне ортопедичне взуття, а особливо дітям. Те взуття, що

виготовляється масово є відносно не поганим, але, так як воно має, як правило, типовий характер для різних видів проблем, то лікарі можуть лише приблизно підібрати необхідну модель. Це тягне за собою цілий ряд специфічних проблем, наприклад: дуже повільне, а деколи майже і неможливе, відновлення нормальної ходьби або вірного функціонування всього опорно-рухового апарату; незручність для пацієнта; обмежений і відносно невеликий вибір дизайну взуття та інше. Крім того, якість виготовлення ортопедичного взуття та устілок традиційними методами (рис. 4) також в значній мірі визначається людським (суб'єктивним) фактором.



Рисунок 4 - Традиційні процеси виготовлення ортопедичного взуття та устілок

При впровадженні нових CAD/CAM технологій [15-17] та тісної взаємодії лікарів-ортопедів та інженерів можна швидко виготовляти індивідуальне взуття, що відповідає всім вимогам пацієнта та лікаря, буде комфортним і мати красивий дизайн. Якщо розглянути технологічну схему виготовлення ортопедичного взуття та устілок, можна зробити висновок, що на етапах сканування стопи (ноги) пацієнта та проектування взуття

необхідна тісна взаємодія інженерів та лікарів-ортопедів, причому усі ж інші етапи виготовлення – це цілком інженерна задача, яку можна також успішно вирішувати за допомогою спеціальних модулів програмних продуктів фірми Delcam (рис. 5 та 6). Використання інформаційних інноваційних технологій в стоматології та ортопедії дозволяє не тільки забезпечувати тісну взаємодію інженерів та лікарів – стоматологів й ортопедів, а й вести більш ефективну підготовку як практичних працівників у медичній сфері, так і висококваліфікованих інженерних кадрів, наприклад, шляхом організації у вищих навчальних закладах медико-інженерних центрів. Такий центр організовано у Сумському державному університеті на базі кафедри «Технологія машинобудування, верстати та інструменти» (факультет технічних систем та енергоефективних технологій) за участю стоматологічного факультету медичного інституту. З метою забезпечення високої якості навчального процесу вже розроблено та виготовлено цілий ряд методичних вказівок до практичних робіт, наприклад, [18-21].



Рисунок 5 - Процес виготовлення ортопедичного взуття та устілок з використанням програмних продуктів фірми Delcam



Рисунок 6 – Керування робочим процесом виготовлення ортопедичних устілок від компанії DELCAM

Висновки.

1. Використання сучасних інформаційних технологій в стоматології та ортопедії дозволяє суттєво підвищити якість виробів (протезів зубів, імплантатів, протезів суглобів та інших частин тіла, а також ортопедичного взуття й устілок) за рахунок суттєвого усунення людського (суб'єктивного) фактору та скоротити терміни їх виготовлення.
2. Суттєво підвищити ефективність процесу виконання етапів сканування, моделювання та остаточного виготовлення відповідних виробів на верстатах з ЧПК може бути забезпечено шляхом використання програмних продуктів фірми Delcam та сучасного оснащення.
3. Програмні продукти фірми Delcam у своєму складі мають повний спектр програмного рішення для виготовлення як зубних протезів та імплантатів, так і елементів суглобів, а також ортопедичного взуття, що дозволяє проводити весь цикл виготовлення, наприклад, зубних протезів від сканування зубів пацієнта за допомогою інтраорального тривимірного сканера, навіть без виконання зліpkів та гіпсових моделей, до слідкування за доставкою вже готового імплантату чи протезу.

4. Для ефективного використання інформаційних інноваційних технологій в стоматології та ортопедії необхідна тісна взаємодія інженерів та лікарів – стоматологів й ортопедів.

Список використаних джерел: **1.** Лазарев I.A., Костогриз O.A., Скибан M.B. Математичне моделювання з визначенням напруженео-деформованого стану в тібіофеморальній зоні в умовах дефекту суглобового хряща – Київ, журнал «Травма». – 2013 (4). **2.** Розенберг O. A. , Залога В. А. и др. О выборе параметров сборных компонентов подвижного соединения эндопротеза тазобедренного сустава. Часть 1. Методика исследований – Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. – 2009. – №4. – С. 156-169. **3.** Розенберг O. A. , Залога В. А. и др. О выборе параметров сборных компонентов подвижного соединения эндопротеза тазобедренного сустава. Часть 2. Результаты исследований – Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. – 2009. – №4. – С. 156-169. **4.** Біда В.І., Пальчиков А.В. Технологічні аспекти безметалового протезування із застосуванням CAD/CAM-систем – з інтернет-журналу MedExpert http://medexpert.org.ua/modules/myarticles/article_storyid_473.html

5. Тонконогий В.М., Савельєва Е.В., Бец А.В. Информационные технологии проектирования в ортопедии - Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві – 2013 - вип. 1(2) – стор.182-188. **6.** Пасічник В. А., Равська Н. С., Бесарабець Ю. Й. Інформаційні технології DELCAM у біоінженерії. Досвід застосування – Літопис травмотології та ортопедії № 1-2 2014 – р. (29-30) – С. 215. **7.** Інтегрована CAD/CAM система автоматизованого проектування операцій виготовлення штучного колінного суглоба людини : звіт про НДР (заключ.) НТУУ "КПІ"; кер. роб. Ю. Петраков. – К., 2012. – 174 л. + CD-ROM. - Д/б №2449-п. **8.** Петраков Ю.В., Писаренко В.В. Розенберг O.O. Нова концепція проектування 3-D моделі ендопротезу суглобу людини – Вісник Житомирського державного технологічного університету №51, 2009.-С. 73-80. **9.** Петраков Ю.В., Писаренко В.В. Оцінка точності виготовлення 3-D поверхні ендопротеза колінного суглоба людини – Вісник НТУУ «КПІ» №66, 2012, С. 11-16. **10.** Корж A.A., Танькут В.А. Эндопротезирование тазобедренного сустава (актуальность и перспективы) – Ортопедия и травматология. 1995. **11.** Савельєва О.В., Павличко А.В. та ін. Застосування інформаційних технологій при проектуванні імплантатів тазостегнових суглобів – з інтернет-ресурсу. **12.** Риберт Ю.О., Кирманов О. С. CAD/CAM-системи в тимчасовому діагностичному протезуванні пацієнтів із дисфункцією скронево-нижньощелепних суглобів (огляд літератури) – науково-практичний рецензований журнал Український стоматологічний альманах – 2013(4) – С. 92-96. **13.** Петрухин А.В., Золотарев А.В. Автоматизация построения и анализа 3D моделей в задачах медицинской диагностики – Известия ВолгГТУ – 2011 №9(35) – С. 111-114. **14.** Zhang R, Li L, Yu LN and other 3D Solid Model of Mandible with Dental Arch via LOM method – Shanghai kou Qiang yi xue = Shanghai Journal of Stomatology – 2000, №9(4) –PP. 240-242. **15.** Aura Mihai, Catalin Dumitras and other Therapeutic Footwear Virtual Prototyping based on GAIT Analysis Data – Materials of Autex 2010 World Textile Conference – 2010. **16.** Antunes P. J., Dias G. R. and other Non-linear Finite Element Modelling of Anatomically Detailed 3D Foot Model, – 2006 –

available on www.materialise.com/materialise/download/en/1541746/file. **17.** Erdemir A., Saucerman J.J and other Local Plantar Pressure Relief in Therapeutic Footwear: Design Guidelines from Finite Element Models, – Journal of Biomechanics, – 2005 – No. 38, – PP. 1798–1806. **18.** Методичні вказівки до практичної роботи "Система "POWERSHAPE". Поверхневе моделювання" з курсів "Комп'ютерні технології у верстатобудуванні" та "Комп'ютерні технології в інструментальному виробництві" [Текст] : для студ. спец. 7.090203 "Металорізальні верстати та системи", 7.090204 "Інструментальне виробництво" усіх форм навчання / В. О. Залога, Р. М. Зінченко. – Суми : СумДУ, 2010. – 177 с. – 16-05. **19.** Методичні вказівки до практичної роботи "Система POWERSHAPE. Інтерфейс системи" з курсу "Комп'ютерні технології у верстатобудуванні" та "Комп'ютерні технології в інструментальному виробництві" [Текст] : для студ. спец. 7.090203 «Металорізальні верстати та системи», 7.090204 "Інструментальне виробництво" усіх форм навчання / В. О. Залога, Р. М. Зінченко. – Суми : СумДУ, 2009. – 66 с. – 5-78. **20.** Методичні вказівки до практичної роботи "Система POWERSHAPE. Основи 3D моделювання" з курсів "Комп'ютерні технології у верстатобудуванні" та "Комп'ютерні технології в інструментальному виробництві" [Текст] : для студ. спец. 7.090203 "Металорізальні верстати та системи", 7.090204 "Інструментальне виробництво" усіх форм навчання / В. О. Залога, Р. М. Зінченко. – Суми : СумДУ, 2009. –130 с. – 10-90. **21.** Методичні вказівки до практичної роботи "Система "POWERSHAPE". створення САПР за допомогою макросів" з курсів "Комп'ютерні технології у верстатобудуванні" та "Комп'ютерні технології в інструментальному виробництві" [Текст] : для студ. спец. 7.090203 "Металорізальні верстати та системи", 7.090204 "Інструментальне виробництво" усіх форм навчання / В. О. Залога, Р. М. Зінченко. –Суми : СумДУ, 2011. – 164 с. –14-65.

Bibliography (transliterated): 1. Lazarev I.A., Kostogriz O.A., Skiban M.V. Matematichne modeljuvannja z viznachennjam napruzheno-deformovanogo stanu v tibiofemoral'nij zoni v umovah defektu suglobovogo hrjashha – Kiїv, zhurnal «Travma». – 2013 (4). 2. Rozenberg O. A. , Zaloga V. A. i dr. O vybere parametrov sbornyh komponentov podvizhnogo soedinenija jendoproteza tazobedrennogo sustava. Chast' 1. Metodika issledovanij – Visnik Sums'kogo derzhavnogo universitetu. Serija Tehnicki nauki. – 2009. – №4. – S. 156-169. 3. Rozenberg O. A. , Zaloga V. A. i dr. O vybere parametrov sbornyh komponentov podvizhnogo soedinenija jendoproteza tazobedrennogo sustava. Chast' 2. Rezul'taty issledovanij – Visnik Sums'kogo derzhavnogo universitetu. Serija Tehnicki nauki. – 2009. – №4. – S. 156-169. 4. Bida V.I., Pal'chikov A.V. Tehnologichni aspekti bezmetalovogo protezuvannja iz zastosuvannjam SAD/CAM-sistem – z internet-zhurnalu MedExpert http://medexpert.org.ua/modules/myarticles/article_storyid_473.html 5. Tonkonogij V.M., Savel'eva E.V., Bec A.V. Informacionnye tehnologii proektirovaniya v ortopedii - Informacijni tehnologii v osviti, nauci ta virobnictvi – 2013 - vip. 1(2) – stor.182-188. 6. Pasichnik V. A., Ravs'ka N. S., Besarabec' Ju. J. Informacijni tehnologii DELCAM u bioinzhenerii. Dosvid zastosuvannja – Litopis travmotologii ta ortopedii № 1-2 2014 – r. (29-30) – S. 215. 7. Integrovana CAD/CAM sistema avtomatizovanogo proektuvannja operacij vigotovlennja shtuchnogo kolinnogo sugloba ljudini : zvit pro NDR (zakljuch.) NTUU "KPI"; ker. rob. Ju. Petrakov. – K., 2012. – 174 l. + CD-ROM. - D/b №2449-p. 8. Petrakov Ju.V.,

Pisarenko V.V. Rozenberg O.O. Nova koncepcija projektuvannja 3-D modeli endoprotezu suglobu ljudini – Visnik Zhitomirs'kogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu №51, 2009.-S. 73-80. 9. Petrakov Ju.V., Pisarenko V.V. Ocinka tochnosti vigotovlennja 3-D poverhni endoproteza kolinnogo sugloba ljudini – Visnik NTUU «KPI» №66, 2012, S. 11-16.

10. Korzh A.A., Tan'kut V.A. Jendoprotezirovaniye tazobedrennogo sustava (aktual'nost' i perspektivy) – Ortopediya i travmatologija. 1995. 11. Savel'eva O.V., Pavlishko A.V. ta in. Zastosuvannja informacijnih tehnologij pri projektuvanni implantatativ tazostegnovih suglobiv – z internet-resursu. 12. Ribert Ju.O., Kirmanov O. C. CAD/CAM-sistemi v timchasovomu diagnostichnomu protezuvanni pacientiv iz disfunkcieju skronevo-nizhn'oshhelepnih suglobiv (ogljad literaturi) – naukovo-praktichnij recenzovanij zhurnal Ukraїns'kij stomatologichnij al'manah – 2013(4) – S. 92-96. 13. Petruhin A.V., Zolotarev A.V. Avtomatizacija postroenija i analiza 3D modelej v zadachah medicinskoj diagnostiki – Izvestija VolgGTU – 2011 №9(35) – S. 111-114. 14. Zhang R, Li L, Yu LN and other 3D Solid Model of Mandible with Dental Arch via LOM method – Shanghai kou Qiang yi xue = Shanghai Journal of Stomatology – 2000, №9(4) –RR. 240-242. 15. Aura Mihai, Catalin Dumitras and other Therapeutic Footwear Virtual Prototyping based on GAIT Analysis Data – Materials of AUTEX 2010 World Textile Conference – 2010. 16. Antunes P. J., Dias G. R. and other Non-linear Finite Element Modelling of Anatomically Detailed 3D Foot Model, – 2006 – available on www.materialise.com/materialise/download/en/1541746/file. 17. Erdemir A., Saucerman J.J and other Local Plantar Pressure Relief in Therapeutic Footwear: Design Guidelines from Finite Element Models, – Journal of Biomechanics, – 2005 – No. 38, –PP. 1798–1806. 18. Metodichni vkazivki do praktichnoї roboti "Sistema "POWERSHAPE". Poverhneve modeljuvannja" z kursiv "Komp'juterni tehnologii u verstatobuduvanni" ta "Komp'juterni tehnologii v instrumental'nomu virobniictvi" [Tekst] : dlja stud. spec. 7.090203 "Metalorizal'ni verstati ta sistemi", 7.090204 "Instrumental'ne virobniictvo" usih form navchannja / V. O. Zaloga, R. M. Zinchenko. – Sumi : SumDU, 2010. – 177 s. – 16-05. 19. Metodichni vkazivki do praktichnoї roboti "Sistema POWERSHAPE. Interfejs sistemi" z kursu "Komp'juterni tehnologii u verstatobuduvanni" ta "Komp'juterni tehnologii v instrumental'nomu virobniictvi" [Tekst] : dlja stud. spec. 7.090203 «Metalorizal'ni verstati ta sistemi», 7.090204 "Instrumental'ne virobniictvo" usih form navchannja / V. O. Zaloga, R. M. Zinchenko. – Sumi : SumDU, 2009. – 66 s. – 5-78. 20. Metodichni vkazivki do praktichnoї roboti "Sistema POWERSHAPE. Osnovi 3D modeljuvannja" z kursiv "Komp'juterni tehnologii u verstatobuduvanni" ta "Komp'juterni tehnologii v instrumental'nomu virobniictvi" [Tekst] : dlja stud. spec. 7.090203 "Metalorizal'ni verstati ta sistemi", 7.090204 "Instrumental'ne virobniictvo" usih form navchannja / V. O. Zaloga, R. M. Zinchenko. – Sumi : SumDU, 2009. – 130 s. – 10-90. 21. Metodichni vkazivki do praktichnoї roboti "Sistema "POWERSHAPE". stvorennja SAPR za dopomogoju makrosiv" z kursiv "Komp'juterni tehnologii u verstatobuduvanni" ta "Komp'juterni tehnologii v instrumental'nomu virobniictvi" [Tekst] : dlja stud. spec. 7.090203 "Metalorizal'ni verstati ta sistemi", 7.090204 "Instrumental'ne virobniictvo" usih form navchannja / V. O. Zaloga, R. M. Zinchenko. –Sumi : SumDU, 2011. – 164 s. –14-65.

УДК 621.914.1

В.А. ЛОГОМИНОВ, канд. техн. наук, Запорожье, Украина

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ РЕГЕНЕРАТИВНЫХ АВТОКОЛЕБАНИЙ ПО СУТ-ГРАММАМ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ ТОНКОСТЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ

Описана методика дослідження регенеративних коливань по cut-грамам коливань тонкостінної деталі при її фрезеруванні. Запропонована методика розділення cut-грамм коливань на складові, що викликаються змушеними коливаннями та регенеративними автоколиваннями. Розділення здійснюється за допомогою згладжу вального фільтру Савицького-Голея.

Описана методика изучения регенеративных автоколебаний по cut-граммам колебаний тонкостенной детали при её фрезеровании. Предложена методика разделения cut-грамм колебаний на составляющие, вызванные вынужденными колебаниями и регенеративными автоколебаниями. Разделение осуществляется с помощью сглаживающего фильтра Савицкого-Голея.

The article describes a technique for the analysis of regenerative chatter using cut-grams vibrations of thin-walled workpiece during it milling. The technique divides cut-gram into two components: forced oscillations and regenerative chatter. Dividing is carried out using a smoothing filter Savitzky-Golay.

При механической обработке могут возникать вибрации элементов технологической системы СПИЗ. Появление колебаний связывают с различными физическими причинами [1, 2, 3, 4]. Вибрации приводят к ряду негативных последствий, таким как: ухудшение качества обработанной поверхности, повышенный износ и поломка инструмента и оборудования, увеличение шума и др. Колебания принято разделять на собственные, вынужденные и автоколебания [4]. Такое разделение позволяет облегчить исследование причин появления вибраций при лезвийной обработке и упростить поиск методов снижения их интенсивности.

Изучение колебаний удобно вести по cut-граммам. Cut-граммама —

это осциллограмма колебательного перемещения режущего инструмента и (или) обрабатываемой детали по направлению, перпендикулярному к поверхности резания, под действием всех видов сил, возникающих в процессе обработки. Cut-граммама может иметь размерность силы, т.е. величина перемещения умноженная на жесткость соответствующего элемента системы СПИЗ, колебания которого изучаются.

Сложность изучения колебаний при фрезеровании тонкостенной детали заключается в том, что отклонения тонкостенной детали, вызванные регенеративными автоколебаниями [1, 4], накладываются на отклонения, вызванные вынужденными колебаниями. При этом вынужденные колебания при фрезеровании есть всегда, в силу особенностей процесса фрезерования, а регенеративные автоколебания могут возникать или не возникать в зависимости от виброустойчивости обработки. На рис. 1 показаны cut-граммы колебаний тонкостенной детали, полученные при разных скоростях её фрезерования [5].

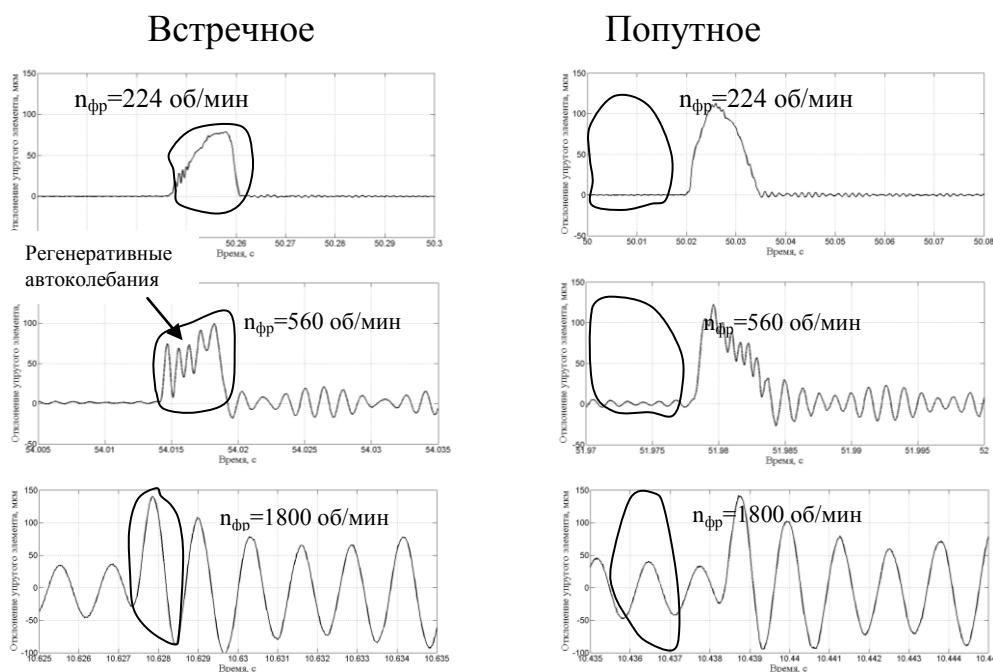


Рисунок 1 – Cut-граммы колебаний тонкостенной детали для различных скоростей вращения фрезы. Обведены колебания, возникающие в период резания зубом фрезы ($S_z=0,05$ мм/зуб; $B=3,4$ мм; $t=0,5$ мм)

Из рисунка видно, что при низких скоростях вращения фрезы ($n_{\phi p}=224$ об/мин) наблюдаются практически только вынужденные колебания. При более высоких скоростях ($n_{\phi p}=560$ об/мин) появляются регенеративные колебания, а при частоте вращения шпинделя $n_{\phi p}=1800$ об/мин автоколебания вырождаются и наблюдаются только вынужденные колебания.

Для более детального исследования регенеративных колебаний по cut-граммам предлагается разделять cut-грамму на составляющую, вызванную вынужденными колебаниями и автоколебаниями. Делается это в следующем порядке. Сначала из общей cut-граммы выделяем участок, на котором происходит резание одним зубом (рис. 2). Затем cut-грамма обрабатывается сглаживающим фильтром Савицкого-Голея [6]. Сглаженная cut-gramma представляет собой перемещение тонкостенной детали, вызванное силой отжима, без перемещений, вызванных автоколебаниями (рис. 3). Если из исходной cut-грамммы вычесть сглаженную cut-граммму получим перемещения тонкостенной детали вызванное автоколебаниями (рис. 3).

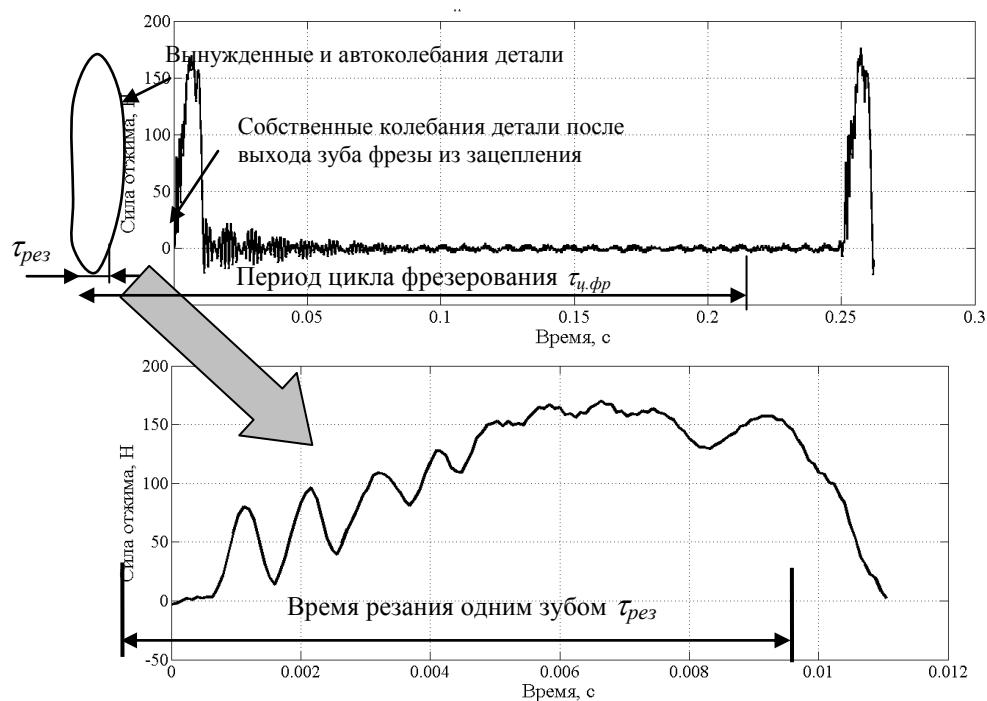


Рисунок 2 – Выделение участка резания одним зубом из общей cut-грамммы

Использование при сглаживании cut-граммы фильтра Савицкого-Голея показывает лучшие результаты по сравнению с аппроксимацией полиномами, рядами Фурье и фильтром Гаусса. Это связано с меньшим краевым эффектом. Кроме того фильтр Гаусса искажает форму сигнала.

Описанная методика обработки cut-грамм позволяет оценивать амплитуды вынужденных и автоколебаний, частоту автоколебаний, а также фазовый сдвиг автоколебаний. Сдвиг фаз автоколебаний определяется по следующей методике, названной методом смещенных cut-грамм.

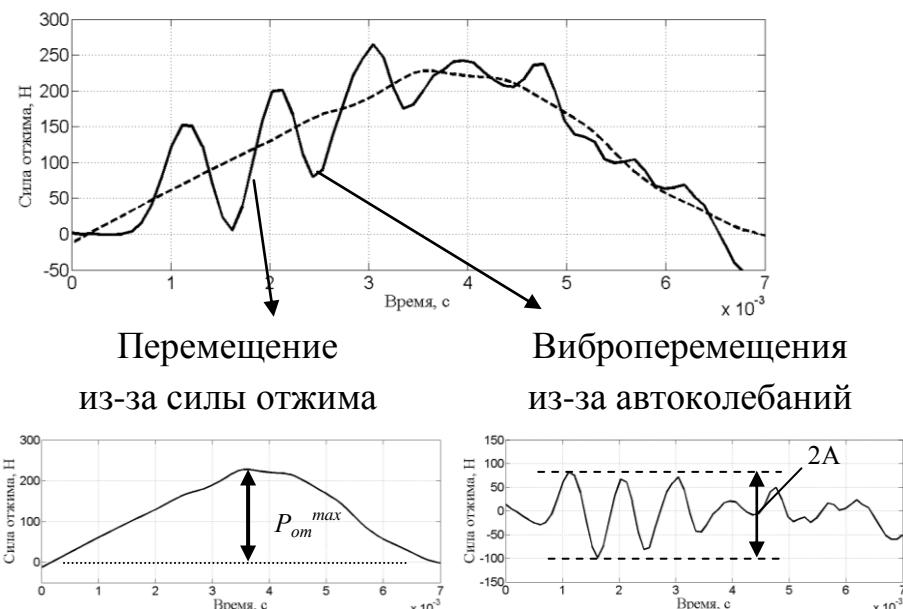


Рисунок 3 – Разделение cut-граммы на составляющие, вызванные силой отжима и автоколебаниями

Суть методики заключается в том, что cut-грамма каждого последующего среза зубом фрезы смещается относительно первого на величину периода цикла фрезерования ($\tau_{u,fp}$). Периодом цикла фрезерования считаем время между началом фрезерования соседних зубьев. Для однозубой фрезы (принятой для исследования) это время одного оборота. Важным в данной методике является точное определение величины $\tau_{u,fp}$. Далее по смещенным cut-граммам автоколебаний определяется, за какое число резов зубом фрезы происходит смещение автоколебаний на один период. Сдвиг фаз определяется по формуле –

$\varphi = \frac{2\pi}{N}$ [рад], где N – число резов за которые автоколебания смещаются на один период.

На рис. 4 показан пример определения угла φ для встречного фрезерования. Приведены cut-граммы 11-го, 21-го, 31-го, 41-го и 51-го последовательных срезов. Выбор 11-го среза был сделан для удобства, т.к. максимум первой волны автоколебаний совпадает с линией сетки графика, соответствующей 1 мс. Из рис. 4 видно, что смещение автоколебаний на один период происходит за 40 резов. Таким образом, фазовый сдвиг составляет 0,157 рад или 9 град.

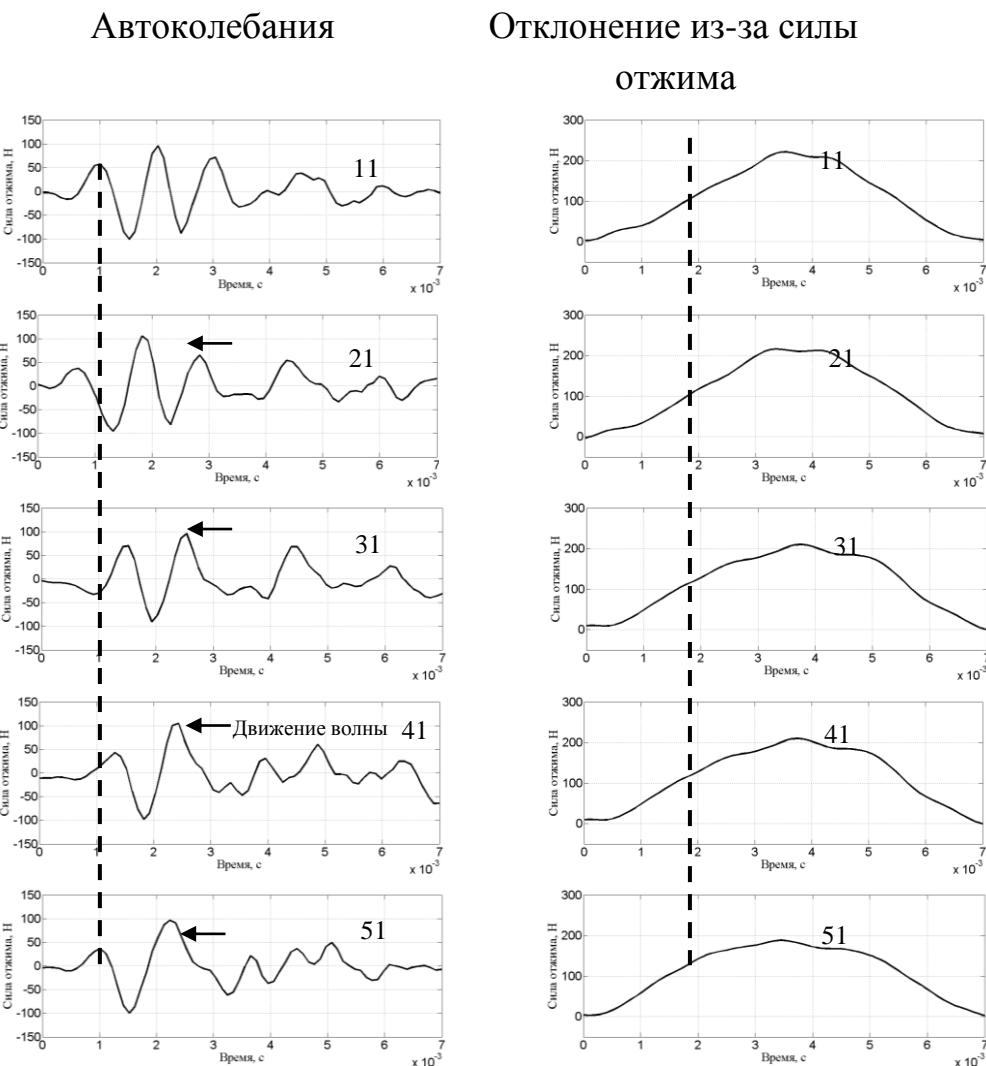


Рисунок 4 – Определение угла сдвига фаз автоколебаний по cut-граммам (встречное фрезерование; $n_{\phi p}=560$ об/мин; $S_z=0,05$ мм/зуб; $B=3,4$ мм; $t=0,5$ мм)

Аналогичная обработка cut-грамммы была проведена и для попутного фрезерования (рис. 5). Угол сдвига фаз φ в этом случае равен ≈ 52 град. Причем, если при встречном фрезеровании движение волны автоколебаний противоположно направлению резания, то при попутном – совпадает с направлением резания.

Применение описанной в статье методики обработки cut-грамм позволяет более детально исследовать характеристики автоколебаний, возникающих при фрезеровании тонкостенных деталей, и количественно оценить технологические мероприятия по их подавлению.

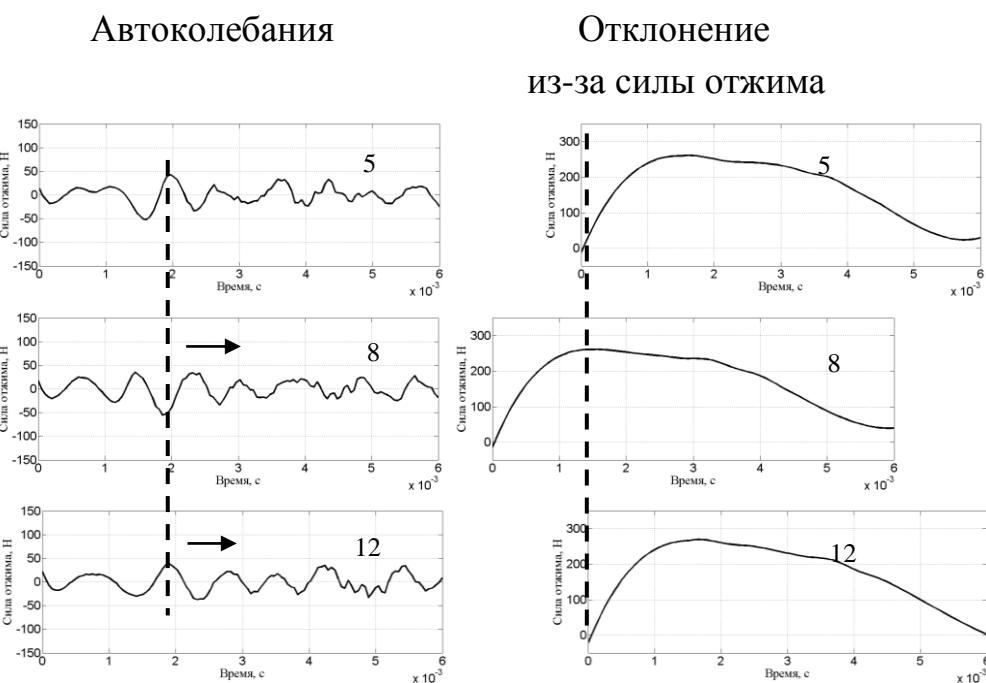


Рисунок 5 – Определение угла сдвига фаз автоколебаний по cut-граммме (попутное фрезерование; $n_{fp}=560$ об/мин; $S_z=0,05$ мм/зуб; $B=3,4$ мм; $t=0,5$ мм)

Список использованных источников:

1. Altintas Y. Chatter Stability in Metal Cutting and Grinding / Y. Altintas, M. Weck //Annals of the CIRP. – №53/2. – 2004. – P.619–642.
2. Жарков И.Г. Вибрации при обработке лезвийным инструментом / И.Г. Жарков. – Л.: Машиностроение. Ленингр. Отд-ние, 1986. – 184 с.
3. Кудинов В.А. Динамика станков / В.А. Кудинов. – М.: Машиностроение, 1967. – 360 с.
4. Cheng K. Machining Dynamics: Theory, Applications and Practices / K. Cheng. – London: Springer, 2008. – 341 p.
5. Логоминов В.А. Формирование шероховатости обработанной поверхности при концевом цилиндрическом фрезеровании тонкостенных элементов деталей: дис. ... канд. техн. наук.: 05.03.01: защищена 21.02.2013: утв. 25.04.2013 / Логоминов Виктор

Алексеевич. – Запорожье, 2013. – 226 с. **6.** Introduction to Signal Processing [Электронный ресурс] / Sophocles J. Orfanidis. – Rutgers University, 2010. – 795 р. –Режим доступа к книге: www.ece.rutgers.edu/~orfanidi/i2sp.

Bibliography (transliterated): **1.** Altintas Y. Chatter Stability in Metal Cutting and Grinding / Y. Altintas, M.Weck //Annals of the CIRP. – №53/2. – 2004. – P.619–642. **2.** Zharkov I.G. Vibracii pri obrabotke lezvijnym instrumentom / I.G. Zharkov. – L.: Mashinostroenie. Leningr. Otd-nie, 1986. – 184 s. **3.** Kudinov V.A. Dinamika stankov / V.A. Kudinov. – M.: Mashinostroenie, 1967. – 360 s. **4.** Cheng K. Machining Dynamics: Theory, Applications and Practices / K. Cheng. – London: Springer, 2008. – 341 p. **5.** Logominov V.A. Formirovanie sheroхovatosti obrabotannoj poverhnosti pri koncevom cilindricheskem frezerovanii tonkostennyh jelementov detaej: dis. ... kand. tehn. nauk.: 05.03.01: zashhishhena 21.02.2013: utv. 25.04.2013 / Logominov Viktor Alekseevich. – Zaporozh'e, 2013. – 226 s. **6.** Introduction to Signal Processing [Jelektronnyj resurs] / Sophocles J. Orfanidis. – Rutgers University, 2010. – 795 r. –Rezhim dostupa k knige: www.ece.rutgers.edu/~orfanidi/i2sp.

УДК 621.9.01

М.П. МАЗУР, д-р техн. наук,
А.С. ГАЮР,
Ю. БЕНЬ, Хмельницький, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВИХ ЯВИЩ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ ІНСТРУМЕНТОМ З ПОКРИТТЯМ МЕТОДОМ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ

У статті наведено стислий опис скінченноелементної моделі процесу вільного ортогонального різання лезовим інструментом із покриттям. Огляд найбільш широко розповсюджених покрить для лезових інструментів та порівняння впливу покріттів на термічні процеси, що виникають при лезовому обробленні.

В статье приведено краткое описание конечноэлементной модели процесса свободного ортогонального резания лезвийным инструментом с покрытием. Сделан обзор наиболее распространенных покрытий для лезвийных инструментов и проведено сравнение влияния покрытий на тепловые процессы, возникающие при лезвийной обработке.

A concise description of the finite element model of the process of free orthogonal cutting with edged coated tool is given in the article. A review of the most common coatings for edged tools is shown and the influence of coatings on the heat processes occurring at the edged machining is compared.

Вступ.

Підвищення продуктивності роботи металообробного обладнання за рахунок зміни режимів різання та скорочення часу, пов'язаних зі зміною інструменту, являється однією із важливих проблем сучасного машинобудування. У зв'язку з цим доцільно використовувати зносостійкі покриття, що дозволяють значною мірою підвищити ресурс інструменту. Тому напрямок розроблення нових інструментальних покріттів у даний час активно розвивається. Метод скінчених елементів (МСЕ) дозволяє попередньо розробити модель механічного оброблення інструментом із покриттям, що у свою чергу дозволяє спрогнозувати доцільність використання покріттів в умовах аналогічних змодельованим.

Основана частина. Опис методики моделювання.

Розглядається термомеханічна задача напружено-деформованого стану при обробленні лезовим інструментом. Модель побудована на основі попередньо розробленої моделі механічного оброблення металу в умовах низьких температур [1]. Розрахунок відбувається на основі ітераційного методу обчислення, на базі програмного продукту Deform – 3D. Метод полягає у розбитті всього процесу на малі проміжки часу, під час обрахунку яких обчислюється температурне поле у системі. Одночасно в ході даного розрахунку відбувається перебудова сітки скінчених елементів та оновлення граничних умов. Процес відбувається до завершення встановленого часу розрахунку.

Під час моделювання були прийняті наступні умови: інструмент абсолютно однорідний та абсолютно твердий, покриття на інструменті має однорідну структуру, покриття абсолютно тверде та має сталу товщину на всій поверхні леза. Заготовка – прямокутне тіло, переміщення якого обмежене по осі Y. Різання відбувається завдяки переміщенню заготовки вздовж осі X із швидкістю різання $V = 200$ м/хв. (рис. 1). Товщина зрізуваного шару по всій довжині заготовки однаакова і дорівнює $a=0,15$ мм. Процес різання відбувається у повітряному середовищі при $T_{\bar{\Pi}}=20^{\circ}\text{C}$. Елементи системи контактиують із навколошнім середовищем, яке у свою чергу являється охолоджувачем. При цьому відбувається конвективний теплообмін, в умовах вимушеної конвекції, при зовнішньому обтіканні середовища системи. Коефіцієнт тепловіддачі системи в цьому випадку дорівнює $k = k_0 \Delta T^n$ ($k_0 = 0,004$ кВт/(м² × °C), $n = 0,25$) [2].

Матеріал заготовки – сталь 45, визначальне рівняння параметрів міцності матеріалу задається рівнянням Мізеса $\bar{\sigma} = \sigma_n(\varepsilon, \dot{\varepsilon}, T)$, а визначальне рівняння цих же характеристик інструментальних матеріалів задається формулою Т. Altan [3] $\bar{\sigma} = c\varepsilon^n \cdot \dot{\varepsilon}^m + y$. Тепловий потік між стружкою та інструментом, створений джерелами тертя, розподіляється згідно залежності $\frac{q_{\text{стружки}}}{q_{\text{інструменту}}} = \frac{\sqrt{\theta_c c_c \rho_c}}{\sqrt{\theta_i c_i \rho_i}}$ [4], де λ – коефіцієнт теплопровідності, c – питома теплоємність, ρ – густина матеріалу. У симуляційному моделюванні використовувалось для порівняння три

покриття TiN, TiC, Al_2O_3 , коефіцієнти теплопровідності яких приведені у таблиці 1.

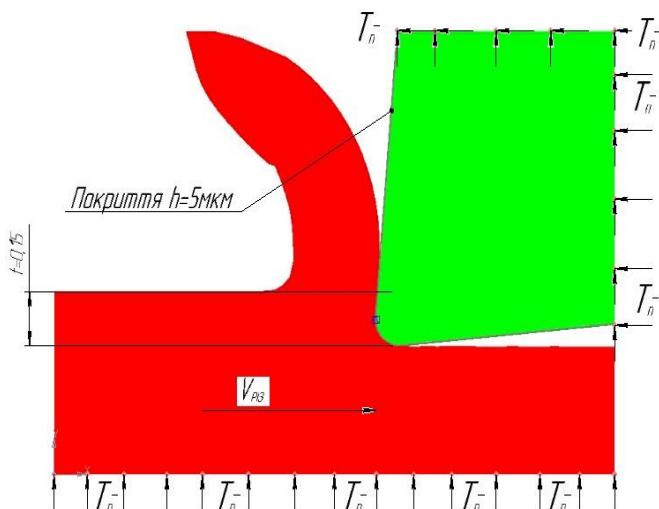


Рисунок 1 – Розрахункова схема
та граничні умови

У таблиці 2 приведені залежності теплофізичних властивостей сталі 45 від температури.

Таблиця 1 – Коефіцієнти теплопровідності для матеріалів покріттів (λ , Вт/м*К) при різних температурах [5]

T, K	TiN	TiC	Al_2O_3
100	-	-	400
200	44	33	196
300	34	29	40
400	26	-	32
500	20	18	28
600	16	-	21
700	12	11	15,7
800	9	-	12,5
1000	7	-	10,5
1200	6	-	7,8

Таблиця 2 – Механічні та теплофізичні характеристики сталі 45 і їх залежність від температури

Характеристика	T, °C	E 10-5, МПа	α 106 1/ °C	λ , Вт/(м·град)	ρ , кг/м3	C, Дж/(кг·град)
Значення	20	2	-	-	7826	-
	100	2,1	11,9	48	7799	473
	200	1,93	12,7	47	7769	494
	300	1,9	13,4	44	7735	515
	400	1,72	14,1	41	7698	536
	500	-	14,6	39	7662	583
	600	-	14,9	36	7625	578
	700	-	15,2	31	7587	611
	800	-	-	27	7595	720
	900	-	-	26	-	708

Результати моделювання.

У ході симуляційного моделювання, вирішувалась термомеханічна задача, яка дозволяє проаналізувати розподіл температурних полів у системі заготовка – інструмент із покриттям (рис. 2…4), а на рисунках 5-7 при тих же умовах, але у тілі різального інструменту із покриттями.

Оброблення проводилося інструментом із геометричними параметрами $\gamma = 5^\circ$, $\alpha = 5^\circ$, радіус заокруглення різальної кромки $R=0,05$ мм. Коефіцієнт тертя на передній поверхні інструменту при моделюванні приймався у першому наближенні постійним: для інструментів із покриттями TiN та TiC $\mu = 0,4$, а із для інструменту із покриттям $\text{Al}_2\text{O}_3 - \mu = 0,45$ [6].

За результатами даного етапу досліджень можна зробити наступні висновки. При порівнянні покриттів трьох типів (TiC, TiN, Al_2O_3) (рис. 8) напруження в зоні різання майже незмінні, $\sigma_{\text{TiN max}} = 1240$ МПа, $\sigma_{\text{TiC max}} = 1250$ МПа, $\sigma_{\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ max}} = 1240$ МПа, характер розподілу напружень одинаковий. Проте найбільше вираженою є різниця температур на ріжучому лезі. При використанні Al_2O_3 температура на вершині різця суттєво знизилась. Різниця температур в порівнянні з TiC

склала 260°C. Цей фактор можна пояснити різницею коефіцієнтів тепlopровідності матеріалів, що використовувалися при моделюванні, і дозволяє більш тепlopровідному покриттю на основі Al₂O₃ збільшувати відвід тепла у інструмент, тоді як інші покриття працюють як термобар'єри.

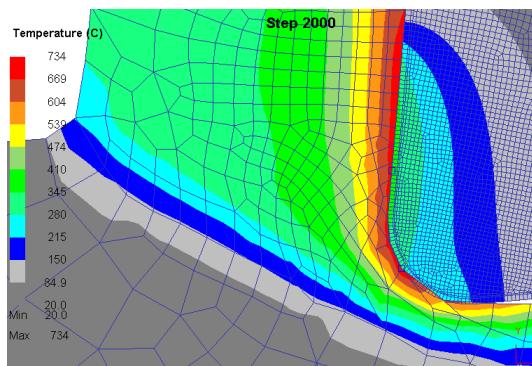


Рисунок 2 – Розподіл температурних полів у системі заготовка – інструмент, при обробленні сталі 45 інструментом із покриттям TiC

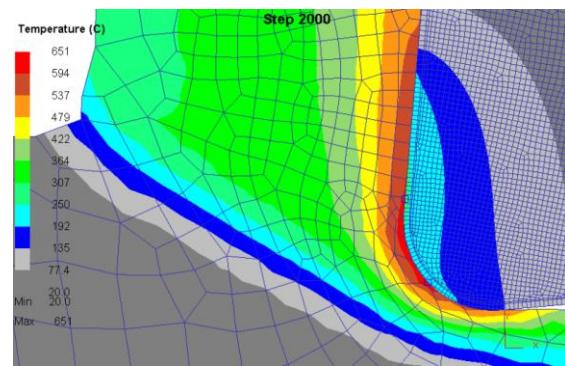


Рисунок 3 – Розподіл температурних полів у системі заготовка – інструмент, при обробленні сталі 45 інструментом із покриттям TiN

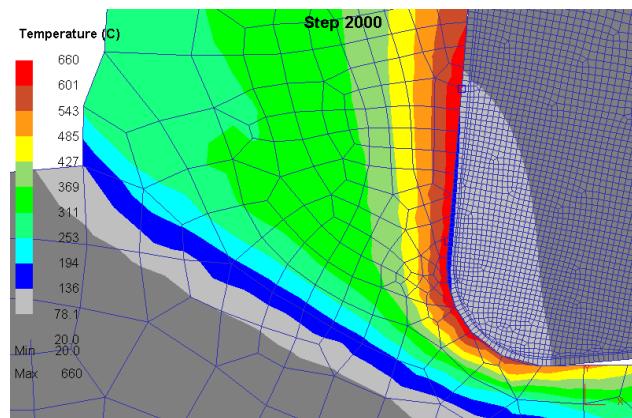


Рисунок 4 – Розподіл температурних полів у системі заготовка – інструмент, при обробленні сталі 45 інструментом із покриттям Al₂O₃

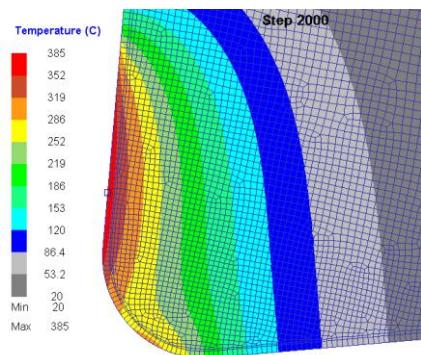


Рисунок 5 – Розподіл температурних полів у лезі інструменту із покриттям TiN

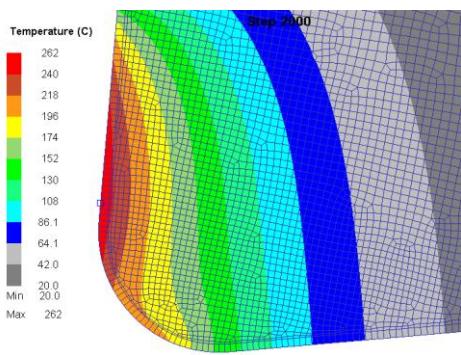


Рисунок 6 – Розподіл температурних полів у лезі інструменту із покриттям TiC

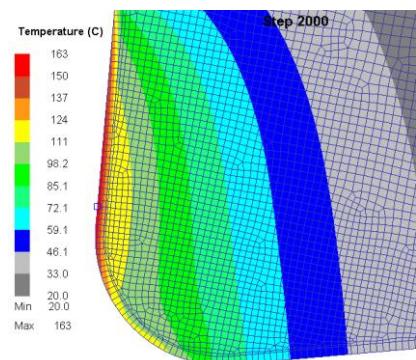


Рисунок 7 – Розподіл температурних полів у лезі інструменту із покриттям Al_2O_3

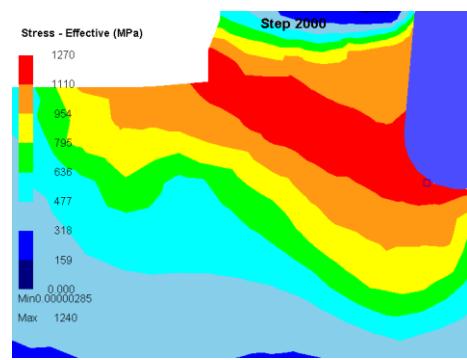


Рисунок 8 – Розподіл нормальних напружень у тілі заготовки при моделюванні (Al_2O_3)

Розроблена скінченно-елементна модель дозволяє попередньо дослідити вплив покріттів на параметри процесу різання, оцінити ефективність їх використання у заданих умовах моделювання, виходячи із найбільш впливаючого на працездатність інструмента фактору – температури в зоні різання і у різальному лезі інструмента.

Список використаних джерел: 1. Мазур М.П. Комп’ютерне моделювання процесу обточування процесу обточування труб великого діаметра / М.П. Мазур, Л.В. Присяжний, А.С. Гаюр // Materiály IX mezinárodní vědecko – praktická konference «Vědecký pokrok na přelomu tisíciletí – 2013» Technické vědy: Praha. Publishing House «Education and Science», 2013. – 96 с. 2. Остафьев В.А. Расчет динамической прочности

режущого инструмента. – М.: Машиностроение, 1979 – 168 с. **3.** Grzesik W., Nieslony P., Bartoszuk M. Comparative Assessment of the Tool Temperature Prediction using Analytical and Simulation Models//Proceedings of the 8th CIRP International Workshop on Modeling of Machining Operations. -Chemnitz, 2005. -C. 659 - 666. **4.** Криворучко Д.В. Основи 3D моделювання процесів механічної обробки методом скінченних елементів : навч. посіб. / Д.В. Криворучко. – Суми : СумДУ, 2010. – 209 с **5.** Відкрита міжнародна база матеріалів. Доступ до ресурсу: <http://www.matweb.com/> **6.** Cenk KILIÇASLAN Modeling and simulation of metal cutting by finite element metod. – Izmir, 2009 – С. 73.

Bibliography (transliterated): **1.** Mazur M.P. Komp'juterne modeljuvannja procesu obtochuvannja procesu obtochuvannja trub velikogo diametra / M.P. Mazur, L.V. Prisjazhnij, A.S. Gajur // Materiály IX mezinárodní vědecko – praktická konference «Vědecký pokrok na přelomu týsyachalety – 2013» Technické vědy: Praha. Publishing House «Education and Science», 2013. – 96 p. **2.** Ostaf'ev V.A. Raschet dinamicheskoy prochnosti rezhushhego instrumenta. – М.: Mashinostroenie, 1979 – 168 s. **3.** Grzesik W., Nieslony P., Bartoszuk M. Comparative Assessment of the Tool Temperature Prediction using Analytical and Simulation Models//Proceedings of the 8th CIRP International Workshop on Modeling of Machining Operations. -Chemnitz, 2005. -C. 659- 666. **4.** Krivoruchko D.V. Osnovi 3D modeljuvannja procesiv mehanichnoї obrobki metodom skinchennih elementiv: navch. posib. / D.V. Krivoruchko. – Sumi : SumDU, 2010. – 209 s **5.** Vidkrita mizhnarodna baza materialiv. Dostup do resursu: <http://www.matweb.com/> **6.** Cenk KILIÇASLAN Modeling and simulation of metal cutting by finite element metod. – Izmir, 2009 – С. 73.

УДК 621.822.681.2:369.64

B.I. МАРЧУК, д-р техн. наук,
C.B. МАРЧУК,
Л.М. РАВЕНЕЦЬ, Луцьк, Україна

ПРОГНОЗУВАННЯ ВІБРОАКУСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПІДШИПНИКА НА ЕТАПІ ВИГОТОВЛЕННЯ КІЛЕЦЬ

Експлуатаційні властивості підшипників качення залежать не тільки від якості матеріалу заготовок і розмірів складових деталей, а й від мікрогеометричних параметрів робочих поверхонь як то параметрів хвильності та шорсткості доріжок качення. В роботі розглядається методика моделювання вібрації підшипника та порівняння значень параметрів вібрацій отриманих розрахунковим шляхом за допомогою математичного моделювання та шляхом експериментальних досліджень на віброакустичній установці DVK. Наведена методика моделювання використовується для прогнозування віброакустичних підшипників на стадії характеристик технологічного проектування.

Эксплуатационные свойства подшипников качения зависят не только от качества материала заготовок и размеров составляющих деталей, но и от микрогеометрических параметров рабочих поверхностей то есть параметров волнистости и шероховатости дорожек качения. В работе рассматривается методика моделирования вибрации подшипника и сравнения значений параметров вибраций полученных расчетным путем с помощью математического моделирования и путем экспериментальных исследований на виброакустической установке DVK. Приведенная методика моделирования используется для прогнозирования виброакустических подшипников на стадии характеристик технологического проектирования.

Performance characteristics of rolling bearings depends not only on the quality of the material pieces and sizes of components parts, but also on working surfaces micro geometric parameters such as roughnesses and wavinesses parameters of the rolling track . In this paper describe the method of modeling vibration and bearing vibration compare parameter values obtained by calculations using mathematical modeling and by experimental research on vibro-acoustic installation DVK. The technique of simulation is used to predict the vibroacoustic characteristics bearing on the stage of technological design .

© *B.I. Марчук, C.B. Марчук, Л.М. Равенець, 2014*

Вступ. Під час виготовлення підшипників важливу роль відіграє можливість прогнозування експлуатаційних характеристик поверхонь кочення. Моделювання вібрацій будь-якої коливної системи передбачає розв'язок двох основних питань: по-перше, виявлення джерел та параметрів віброзбурення, тобто інформацію про сили, що викликають вібрацію; по-друге, про визначення динамічних властивостей коливної системи. В цьому зв'язку розглянемо вібрацію зовнішнього кільця роликового підшипника під час його випробування на віброакустичній установці DVK [3].

Опис постановки задачі про віброзбурення, що генерується роликовими підшипниками з технологічними похибками доріжок кочення кілець і роликів типу хвилястості в умовах осьового навантаження підшипника розглядається в [2]. Розв'язок задачі визначає зв'язок між спектрами хвилястості кілець і роликом з одного боку, і спектрами осьових, радіальних і кутових віброзбурень, що генеруються роликовими підшипниками, з іншого. Відповідні залежності для радіальних віброзбурень (спектр першого наближення) представлені в таблиці. На основі цілого ряду проведених експериментальних і теоретичних досліджень нами було встановлено, що радіальні віброзбурення викликають лише парні гармоніки хвилястості роликів і гармоніки хвилястості доріжок кочення кілець, номери яких відрізняються від кратних числу роликів z значень на ± 1 .

Опис задачі про динамічні властивості роликових підшипників у складі приводної установки розглядається в [1]. Показано, що вібрація, яка реєструється давачем, розташованим на зовнішньому кільці роликового підшипника, визначається коливаннями кільця, як абсолютно твердого тіла і його згинаючими коливаннями по перших формах, причому найбільш виражені резонанси, пов'язані із згинаючими коливаннями кільця. Отримана й експериментально перевірена наступна формула для власних частот коливань системи:

$$\nu_m^2 = \frac{5(m^2 - 1)^2}{36(1 + 1/m^2)} \tilde{\nu}_2^2 + \frac{\lambda}{1 + 1/m} \cdot \frac{C_x}{4\pi^2 M} \kappa \Gamma u^2,$$

де m – номер форми коливань ($m=1$ відповідає коливанням кільця, як абсолютно твердого тіла); M – вібруюча маса, кг; $\lambda=2$ при $m \neq \frac{z}{2} q$; $\lambda=0$ і

$\lambda=4$ при $m=\frac{z}{2}q$; $q=1,2,3,\dots$; $\tilde{\nu}_2$ – власна частота другої форми згинаючих коливань вільного кільця, що розраховується за наступною наближеною формулою:

$$\tilde{\nu}_2^2 = 5,06 \cdot 10^3 \frac{D-d}{(D+d)^2}, \text{кГц}^2$$

де D, d – зовнішній і внутрішній діаметри зовнішнього кільця підшипника, мм;

C_x – радіальна жорсткість підшипника, що розраховується по наступній наближеної формулі:

$$C_x = 3,75 z^{2/3} D_p^{1/3} \sin^{5/3} \tau \operatorname{ctg}^2 \tau (0,1 F_0)^{1/3}, \text{Н/мкм},$$

де D_p – середній діаметр роликів, мм;

F_0 – осьове навантаження, Н.

Таблиця 1 – Залежності для визначення радіальних вібрацій роликопідшипника

Елемент, що викликає збурювання	Номер гармоніки похибки	Частота збурювання	Амплітуда збурювання
Зовнішнє кільце	$\lambda = qz \pm 1$	$(\lambda \pm 1)\omega_1$	$C_x \alpha_\lambda$
Внутрішнє кільце	$x = qz \pm 1$	$\xi \omega_3 \pm \omega_1$	$C_x \alpha_x$
Ролик	$\xi = 2\kappa$	$x\omega_2 \pm \omega_1$	$\frac{C_x}{\cos \tau} \sqrt{\frac{2}{\pi z}} \alpha_\xi$

У табл. 1 λ, χ, ξ – номера гармонік хвильості доріжки кочення зовнішнього кільця, внутрішнього кільця і ролика; $\alpha_\lambda, \alpha_\chi, \alpha_\xi$ - амплітуди відповідних гармонік; C_x – радіальна жорсткість підшипника; $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ - кутові швидкості сепаратора відносно зовнішнього, внутрішнього кілець і ролика навколо власної вісі.

Розглянемо радіальні коливання зовнішнього кільця, як абсолютно твердого тіла ($m=1$). Якщо припустити, що амплітуди коливань малі щодо геометричного осьового натягу (для цього роликовий підшипник повинний бути навантажений досить великою осьовою силою F_0), то систему можна вважати близькою до лінійної, рівняння радіальної вібрації кільця може бути представлена у вигляді:

$$\ddot{\chi} + 2h\dot{\chi} + \omega_p^2 \chi = \sum_j F_j \sin(\omega_j t + \Psi_j) / M, \quad (1)$$

де χ – радіальне вібропереміщення кільця;

ω_p – власна частота, $\omega_p^2 = (2\pi\nu_{m1})^2 \cdot 10^6 = 10^6 K_\chi / M$, рад/с;

F_j , ω_j , ψ_j – амплітуда, частота і фаза j -ої гармоніки віброзбурень, причому F_j і ω_j зв'язані з хвилястістю доріжок кочення кілець і роликів залежностями, представленими в таблиці.

Вібропереміщення зовнішнього кільця знаходиться розв'язком рівняння (1)

$$\chi = \sum_j F_j K_D(\omega_j) \sin(\omega_j t + \Psi'_j), \quad (2)$$

де K_D – коефіцієнт динамічності:

$$K_D(\omega_j) = \frac{1}{M \sqrt{(\omega_p^2 - \omega_j^2)^2 + 4h\omega_j^2}} \quad (3)$$

Апаратні засоби для контролю вібрації – аналізатори спектра – влаштовані таким чином, що дозволяють контролювати середньоквадратичні значення вібропереміщень, віброшвидкостей чи віброприскорень. З огляду на середньоквадратичний характер підсумовування окремих гармонік, замість (2) варто використовувати наступні формули:

$$\hat{\chi} = \sqrt{\sum_j [F_j K_D(\omega_j)]^2}; \quad \hat{\chi}' = \sqrt{\sum_j [F_j K_D(\omega_j) \omega_j]^2}; \\ \hat{\chi}'' = \sqrt{\sum_j [F_j K_D(\omega_j) \omega_j]^2}; \quad (4)$$

де підсумовування ведеться за всіма j , для яких ω_j попадає в розглянутий діапазон частот.

Розглянемо радіальні коливання зовнішнього кільця з врахуванням його вигину. Середньоквадратичне значення віброприскорення зовнішнього кільця будемо розраховувати аналогічно (4):

$$\hat{\chi}''' = \sqrt{\sum_j [F_j K_D(\omega_j) \omega_j]^2}; \quad (5)$$

де, однак, значення коефіцієнта динамічності $K_D(\omega_j)$ будемо визначати неза формулою (3), а за наступною напівемпіричною залежністю:

$$\tilde{K}_x(\omega_j) = \sqrt{\sum_{m=1}^l \frac{1}{M_m^2 [(\omega_m^2 - \omega_j^2)^2 + (2h_m\omega_j^2)]}}. \quad (6)$$

Тут ω_m – власна частота m -ої форми коливань зовнішнього кільця $\omega_m^2 = (2\pi\nu_m)^2 \cdot 10^6$;

M_m – коефіцієнт, що характеризує інерційні властивості кільця ($M_{m=1}=M$ – маса кільця з приєднаними до нього елементами);

h_m – коефіцієнт демпфірування m -ої форми коливань;

q – число розглянутих форм коливань кільця.

У виразах для амплітуд гармонік віброзбурень F_j є постійний множник K_x – радіальна жорсткість роликового підшипника. Будемо вважати,

$$K_x / M_m = \omega_m^2,$$

що фізично віправдано для $m=1$, а для всіх інших значень m приймається гіпотетично. При цьому вираз для середньоквадратичного значення радіального віброприскорення кільця (5) буде мати вигляд:

$$\hat{\ddot{x}} = \sqrt{\sum_j A_j^2 \sum_{m=1}^l \frac{1}{[(\omega_m / \omega_j - 1)^2 + (2h_m\omega_j)^2]}} \quad (7)$$

де $A_j = F_j / K_x$.

Моделювання амплітудного спектра віброприскорень роликового підшипника полягає в розрахунку значень $\hat{\ddot{x}}$ за формулою (7) для кожної частотної смуги спектра, тобто в підсумуванні по j -тих амплітуд гармонік віброприскорень, частоти ω_j яких попадають у відповідну смугу спектра. Невідомі коефіцієнти демпфування h_m варто визначати в ході обчислювального експерименту шляхом порівняння результатів моделювання з результатами вимірювань і відповідного корегування значень h_m .

За формулою (7) визначають вібраційну модель роликового підшипника, пов'язуючи між собою два типи спектрів. На вході моделі – амплітудні спектри технологічних похибок кілець $\alpha_\lambda(\lambda)$, $\alpha_\chi(\chi)$ і роликів $\alpha_\xi(\xi)$. Апаратним засобом вимірювання цих спектрів є кругломіри типу “Талиронд-73” з гармонійним аналізом круглограми.

Вихідним параметром моделі є амплітудний спектр радіальних віброприскорень зовнішнього кільця. Апаратними засобами вимірювання цього спектра є аналізатори спектра типів 2033 чи 2133 фірми "Брюль і К'ер" (Данія).

Основними труднощами, що виникають під час моделювання, є визначення амплітудних спектрів $\alpha_\lambda(\lambda)$, $\alpha_\chi(\chi)$ і $\alpha_\xi(\xi)$. Щоб задати ці спектри необхідно визначити амплітуди декількох десятків перших гармонік хвильості поверхонь кілець і роликів, що на практиці виявить проблематично через обмежену точність існуючих кругломірів (0,005 мкм) і спаданні амплітуд гармонік похибок з ростом їхніх номерів.

У зв'язку з цим задати спектри похибок можливо, використовуючи регресійні залежності наступного виду [4]:

$$\alpha_\lambda = \alpha_1 / \lambda^{\beta_1}; \alpha_\chi = \alpha_2 / \chi^{\beta_2}; \alpha_\xi = \alpha_3 / \xi^{\beta_3}; \quad (8)$$

Коефіцієнти α і β цих залежностей визначаються як коефіцієнти регресії шляхом статистичного оброблення результатів вимірювань профілів партій кілець і роликів і їхньої екстраполяції на високі номери гармонік, або на основі обчислювального експерименту шляхом порівняння результатів моделювання з результатами вимірювань спектрів вібрації конкретних роликових підшипників.

На основі такого підходу розроблені алгоритм і програма моделювання спектра радіальних віброприскорень зовнішнього кільця роликового підшипника в складі приводної установки "DVK" алгоритмічною мовою Бейсик. Приклад результатів моделювання спектра віброприскорень підшипника типу 7510 представлений на рис.1а, на рис.1б – експериментально встановлений спектр віброприскорень того ж підшипника, отриманий за допомогою аналізатора типу 2131 під час випробування підшипника в складі приводної установки DVK. Порівняння результатів моделювання з результатами вимірювання свідчить про їхню максимальну наближеність .

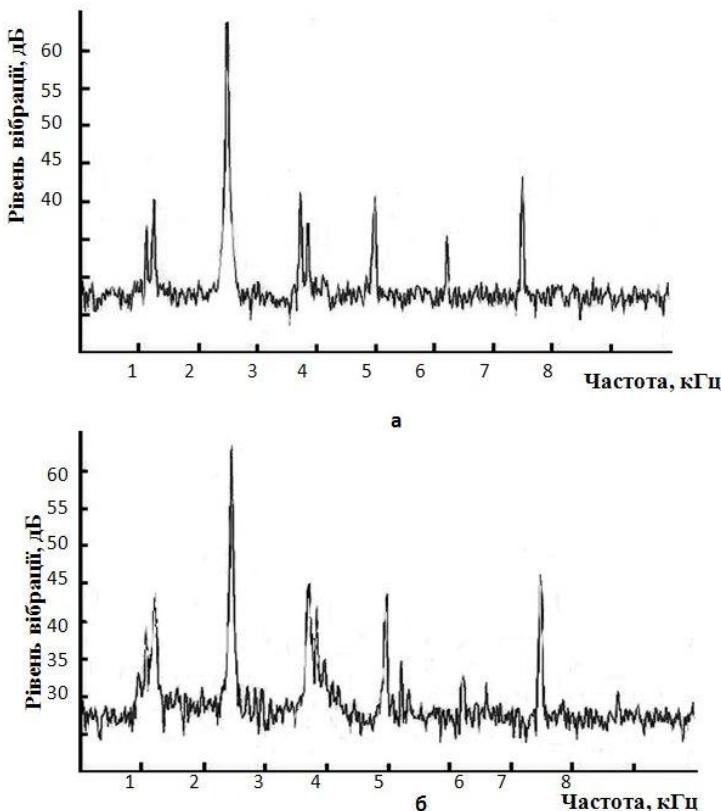


Рисунок 1 – Моделювання спектра віброприскорень

Результати досліджень. Проведено чисельне й експериментальне дослідження впливу частоти обертання на рівні вібрації підшипників типів 7505 і 7510 у стандартних октавних смугах частот і на загальний рівень вібрації в діапазоні частот 0-10 кгц. Моделювання спектрів вібрації в октавних смугах частот проводилося з використанням модифікації програми “DVK”, вимірювання спектрів вібрації в октавних смугах частот і загального рівня вібрації – на удосконаленій віброакустичній установці DVK, що забезпечує можливість регулювання частоти обертання в межах 600-3000 хв⁻¹, з використанням аналізатора спектра типу 2131.

Аналіз результатів вимірювання спектрів віброприскорень роликових підшипників типів 7505 і 7510 дозволив одержати наступну регресійну залежність рівня вібрації від частоти обертання внутрішнього кільця:

$$A = A_0 \cdot N^{1.3}, \text{м/с}^2, \quad (9)$$

де A_0 – коефіцієнт, що залежить від конструкції і похибок підшипника, м/с²;

N – частота обертання, хв^{-1} .

Результати моделювання в певній мірі залежать від значень коефіцієнтів α і β (8), що апроксимує спектри похибок кілець і роликів. Безпосереднє визначення цих коефіцієнтів за результатами гармонійного аналізу круглограм виявилося неможливим у силу надзвичайно малих значень амплітуд високих гармонік спектрів похибок кілець і роликів високоточних підшипників. У той же час аналіз теоретичної моделі дозволив встановити наступну залежність між значеннями коефіцієнтів β залежностей (8) і ступенем залежності (9) рівня вібрації від частоти обертання кільця:

$$\delta = \beta - 0,5$$

У результаті для $\delta=1,3$ маємо $\beta=1,8$.

Коефіцієнти α_1 , α_2 і α_3 вибиралися на основі чисельного експерименту, виходячи з того, щоб рівні вібрації, обумовленої похибками зовнішнього кільця, внутрішнього кільця і роликів, були приблизно однакові, а загальний рівень вібрації підшипників, одержаний у результаті моделювання, відповідав загальному рівню вібрації, який реєструється під час вимірювання.

Для наочності порівняння результати вимірювання і моделювання апроксимувалися різними видами регресійних залежностей з використанням стандартних підпрограм. Найкращий збіг з результатами експериментів і моделювання було отримано для регресійної залежності виду

$$y = a + b \ln x$$

Коефіцієнти кореляції регресійної залежності за результатами моделювання, а також регресійної залежності за результатами вимірювання близькі до одиниці. Відповідні регресійні залежності, а також дані моделювання й експериментів по трьох октавних смугах частот і загальному рівню вібрації представлені на рис. 2 На графіках значками + позначені результати моделювання, а значками 0 – результати вимірювання.

Зіставлення представлених розрахункових і експериментальних залежностей свідчить про їхню максимальну наближеність, особливо в області високих частот. В області низьких частот результати моделювання і вимірювання узгоджуються значно гірше, ці недоліки пов’язані з тим, що

у використаній програмі не враховується спектр вібрації першого наближення, який відіграє важливу роль в області низьких частот.

Висновки. Таким чином, за результатами виконаних досліджень можна констатувати:

– розроблений алгоритм і програма моделювання спектра віброприскорень зовнішнього кільця з врахуванням згидаючих коливань і різних відхилень основних параметрів доріжок і тіл кочення. Експериментальні дослідження підтвердили результати, отримані розрахунковим методом;

– отримана їй експериментально перевірена формула розрахунку рівня вібрації при різних частотах обертання внутрішнього кільця.

Наведена методика моделювання вібрацій дозволяє прогнозувати експлуатаційні характеристики роликових підшипників ще на стадії механічного оброблення кілець та роликів за відомими параметрами хвилястості поверхонь кочення.

Список використаних джерел: 1. Бальмот В.Б., Самотин О.Н., Варламов Е.Б., Авдеев А.М. Вибрация и шум подшипников качения: Обзор. – М.: Цнинтэиавтопром, 1987. – 125 с. 2. Журавлев В.Ф., Бальмот В.Б. Механика шарикоподшипников гирроскопов. – М.: Машиностроение, 1986. – 248 с. 3. Марчук В.І. Моделювання динамічної системи безцентрового врізного шліфування робочих поверхонь роликопідшипників // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник (за напрямом “Інженерна механіка”), вип.14, серпень 2004. – Луцьк, 2004. – С. 187-198. 4. Струтинський В.Б. Математичне моделювання процесів та систем механіки: Підручник. – Житомир: Тіті, 2001. – 612с.

Bibliography (transliterated): 1. *Bal'mot V.B., Samotin O.N., Varlamov E.B., Avdeev A.M.* Vibracija i shum podshipnikov kachenija: Obzor. – M.: Cnintjeiavtoprom, 1987. – 125 s. 2. *Zhuravlev V.F., Bal'mot V.B.* Mehanika sharikopodshipnikov giroskopov. – M.: Mashinostroenie, 1986. – 248 s. 3. *Marchuk V.I.* Modeljuvannja dinamichnoї sistemi bezcentrovogo vriznogo shlifuvannja robochih poverhon' rolikopidshipnikiv // Naukovi notatki. Mizhvuzivs'kij zbirnik (za naprjamom “Inzhenerna mehanika”), vip.14, serpen' 2004. – Luc'k, 2004. – S. 187-198. 4. *Strutins'kij V.B.* Matematichne Modeljuvannja Procesiv Ta Sistem Mehaniki: Pidruchnik. – Zhitomir: Titi, 2001. – 612 s.

УДК 621. 9

Э.А. СИМСОН, д-р техн. наук,
С.А. НАЗАРЕНКО, канд. техн. наук,
И.Д. ПРЕВО, Харьков, Украина

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Розглянуті математичні моделі та методи чисельних досліджень високо навантажених елементів деяких технологічних систем. Представлена динамічна модель ультразвукової системи технологічного призначення. Для процесу розкочування розроблена математична модель, що дозволяє прогнозувати напруженно-деформований стан інструменту.

Рассмотрены научно обоснованные математические модели и численные методы анализа элементов некоторых технологических систем. Представлена динамическая модель ультразвуковой системы технологического назначения. Для процесса раскатки разработана модель, позволяющая прогнозировать напряженно-деформируемое состояние инструмента.

Mathematical model of construction elements of the technological system is presented. The analysis of spectrum of frequencies and modes of vibrations of sonotrodes of ultrasonic welding is conducted. For the process of ring-rolling mathematical model using finite element method to predict the stress-deformed state of the tool was developed.

Постановка проблемы. Интенсификация рабочих процессов, усложнение конструктивных форм, применение новых материалов и технологий обуславливают потребность в создании совершенных математических моделей элементов технологических систем, унифицированных для различных объектов техники закономерностей, уравнений состояния [1, 2]. Увеличение производительности компьютеров, повышение эффективности вычислений (за счет сетевых Internet-технологий, многопроцессорности и параллелизации) содействовало интеграции вычислительных технологий для инженерного анализа

виртуальных испытаний технологических систем [3]. Целью работы являлась разработка научно обоснованных математических моделей и численно-аналитических методов анализа высоконагруженных элементов технологических систем.

Задача анализа элементов технологических систем, как правило, сводится к решению систем нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных. Структуру уравнений определяет тип исследуемого процесса, состав системы, граничные условия, нагрузки и условия сопряжения. Обобщенное уравнение движения различных математических моделей (от одномерной до трехмерной) запишем следующим образом

$$A[\vec{V}] + D[\vec{V}] + C[\vec{V}] - \vec{f} = 0 \quad (1)$$

где A - оператор приведенных «жесткостных» характеристик; $\vec{v}(\vec{x}, t)$ - обобщенный вектор (функция) перемещений, \vec{x} - координатный вектор; t - время, D - приведенный «инерционный» оператор; C - оператор диссипативных сил. Реальные эксплуатационные режимы моделируются нагрузками $\vec{f} = \vec{f}(\vec{x}, t)$, которые зависят от характера взаимодействия объекта с окружающей средой (газом, жидкостью) или с внешним полем (температурное, электромагнитное), а также от возможного контакта с другими элементами в структуре системы.

Возможности классических методов, основывающихся на решении системы уравнений в частных производных краевых задач математической физики (1), ограничены. Краевая задача может быть приведена к вариационной форме при помощи умножения уравнения (1) на произвольный виртуальный z из пространства Z гладких «обобщенных перемещений», удовлетворяющих краевым условиям, и последующего интегрирования по частям. Например, для случая статики задача (1) приводится к вариационному уравнению, справедливому для всех кинематически допустимых z :

$$a_h(y, z) \equiv (\overline{A_h}y, z) = (f, z) \quad (2)$$

или в случае контактного взаимодействия тел с гладкими поверхностями к вариационному неравенству:

$$(\overline{A_h}y, z - y) \geq (f, z - y), \quad \forall z \in G, \quad (3)$$

где \overline{A} – расширение по Фридрихсу оператора краевой задачи; $a_h(y, z)$ – соответствующая положительно определенная и непрерывная билинейная форма, (f, z) – линейная силовая форма, G – множество, задаваемое условиями непроникновения. Вариационные задачи или неравенства приводятся к проблеме минимизации функционалов. Для случая (2) ищется безусловный минимум, а для случая (3) – минимум на множестве G в пространстве функций y . Под функцией варьируемых параметров h понимаются характеристики физико-механических свойств материалов, геометрические размеры и др.. Соотношения метода конечных элементов (МКЭ), считающегося наиболее мощной, универсальной и распространенной технологией расчета, приводят к матричной алгебраической проблеме.

Математическое моделирование технологических систем. В отличие от машиностроительных конструкций технологические системы вибрационной техники проектируются на работу в резонансе как основном функциональном режиме [4]. Проектирование ультразвуковых систем связано с рассмотрением конструкции: «генератор – преобразователь – концентратор – инструменты – наконечники – среда». Применение объемных КЭ позволяет описывать элементы систем пространственной формы и трехмерного электрического и напряженно-деформированного полей

$$K_{yy} \vec{y} + K_{y\varphi} \vec{\varphi} - \omega^2 M \vec{y} = 0; \quad K_{y\varphi}^T \vec{y} + K_{\varphi\varphi} \vec{\varphi} = 0, \quad (4)$$

где K_{yy} , $K_{y\varphi}$, $K_{\varphi\varphi}$ – соответственно матрицы жесткости; пьезоэлектрической связи; диэлектрической проницаемости, M – матрица масс системы.

Для ультразвуковой сварки, резки и заделки используются сонотроды, являющиеся пассивными резонансными элементами системы и предназначающиеся для передачи волновой энергии от преобразователя к поверхностям деталей. Их конфигурации отличаются разнообразием, обусловленным широкой номенклатурой свариваемых изделий. На этапе проектирования сонотролов надо обеспечить настройку конструкции (с

учетом автоподстройки генератора) в “рабочий резонанс”, отстроившись от паразитных частот ω^- и ω^+

$$\omega_p \leq \omega^* + \Delta\omega^*, \quad \omega_p \geq \omega^* - \Delta\omega^*, \quad \omega^- \leq \omega^* - \Delta\omega, \quad \omega^+ \geq \omega^* + \Delta\omega.$$

В зависимости от способа ввода колебаний в изделие резонансная мода движения должна характеризоваться однородным распределением нормальной или касательной составляющей перемещений на излучающей ультразвук поверхности, что связано с качеством получаемого шва. К дополнительным требованиям относятся максимизация коэффициента полезного действия установок; заданный коэффициент усиления перемещений на рабочем торце, циклическая прочность, низкий уровень потерь энергии на внутреннее трение; габаритные, компоновочные и конструктивные ограничения и другое. Примеры результатов расчета форм перемещений и полей интенсивностей динамических напряжений (представлены тоновой заливкой) ножевого сонотрода, соответствующих различным собственным частотам, представлены на рис. 1 и 2.

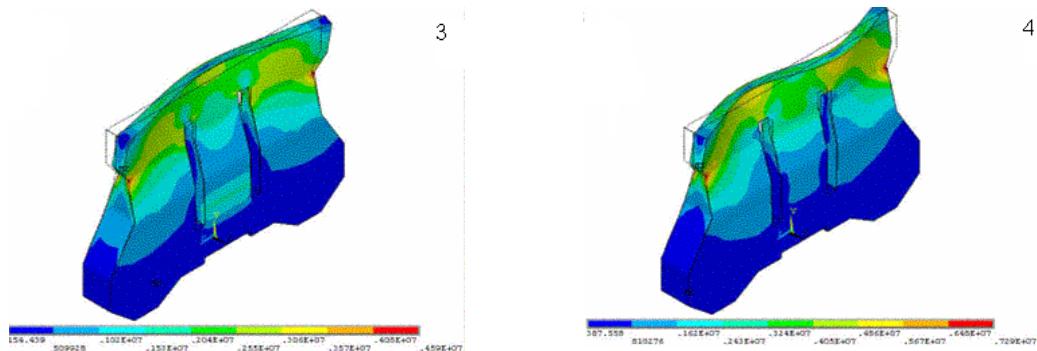


Рисунок 1 – 3-я собственная
форма колебаний

Рисунок 2 – 4-я собственная
форма колебаний

Раскатка относится к методам обработки металлов давлением и основана на использовании свойств пластичности материалов. Раскатка профильных элементов деталей по сравнению с их нарезанием имеет следующие преимущества: повышение производительности труда, точности и долговечности обрабатываемых деталей; экономия металла;

уменьшение расходов на инструмент; экономия производственных площадей [5].

К достоинствам данного вида обработки можно причислить улучшенную макроструктуру металла после деформаций за счет его проработки (появляется возможность заменять марки материалов за счет повышения механических характеристик), отсутствие перерезанных волокон и высокий коэффициент использования материала [6]. Точность профильных элементов, изготовленных раскаткой, часто не ниже точности, получаемой резанием [7]. Недостатком использования раскатки являются повышенные нагрузки на оправку, поэтому актуальным является создание и изучение новых технологических схем, позволяющих снизить нагрузки на инструмент и расширить номенклатуру производимых изделий.

Для технологий раскатки, связанных с формоизменением деформируемых тел, конечным этапом теоретических исследований является решение соответствующей контактной задачи теории пластичности элементов механико-технологических систем. Рассмотрим модель технологической системы изготовления кольца подшипника (рис. 3), состоящей из контактирующих между собой на общих участках поверхности конструктивных элементов: оправки, заготовки кольца, ролика. Характерной особенностью процесса является сложное напряженное состояние в связи с наличием постоянно смещающегося по спирали к периферии заготовки локального очага деформации и присутствием внеконтактной деформации. В процессе раскатки одновременно увеличивается диаметр отверстия и наружный диаметр поковки за счет уменьшения толщины ее стенки.

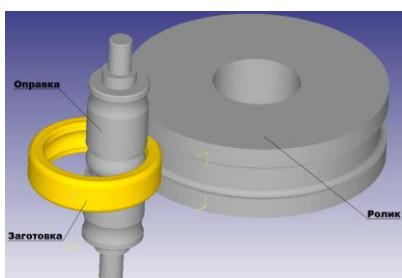


Рисунок 3 – Расчетная модель процесса раскатки кольца подшипника



Рисунок 4 – Поле эквивалентных напряжений на поверхности оправки

Жесткость деформируемого тела заготовки кольца намного меньше жесткости контактирующих с ней твердых материалов оправки и ролика. Поэтому заготовка кольца рассматривалась как упруговязкопластично деформируемое тело, оправка и ролик привода как абсолютно жесткие тела, т. е. контактная задача с проскальзыванием может рассматриваться как жестко-податливая. Математическое моделирование процесса раскатки проводилось с помощью МКЭ в постановке объемного напряженно-деформированного состояния в рамках инкрементального подхода Лагранжа-Эйлера. Учет свойств материалов раскатного инструмента и заготовки осуществлялся при поддержке диаграмм деформирования для характерных скоростей деформирования. Параметры процесса раскатки были заданы в соответствии с операционной картой.

На величину показателя появляющихся на поверхности контакта сил трения оказывает влияние ряд обстоятельств: физико-химическое состояние поверхности раскатного инструмента, состояние поверхности и химический состав заготовки, температура деформации, скорость относительного скольжения и наличие смазывающе-охлаждающей жидкости. Максимальная интенсивность напряжений находилась в зонах перехода сферической части инструмента в цилиндрическую и составляла $\sigma_{max} = 1820$ МПа (рис. 4).

Выводы. Результаты исследований показали, что математическое моделирование МКЭ достоверно воспроизводит технологические процессы раскатки и ультразвуковой сварки. Дальнейшим направлением исследований является применение методов анализа чувствительности сложных конечноэлементных моделей и современных методов оптимизации при выборе рациональных параметров технологических процессов обработки.

Список использованных источников: 1. Тимофеев Ю.В. Обобщенная структура жизненного цикла машиностроительного производства и его изделий / Ю.В. Тимофеев, В.А. Фадеев, М.С. Степанов, С.А. Назаренко // Вісник Національного технічного університету „Харківський політехнічний інститут“. – Харків, НТУ “ХПІ”. – 2009. – № 1. – С. 86-95. 2. Грабченко А. И. Система моделирования рабочих процессов интегрированных технологий. / А. И. Грабченко, В. Л. Добросок, С. И. Чернышов // Сучасні технології у машинобудуванні: – Харків, НТУ «ХПІ». – 2007. – С. 236-268. 3. Степанов М. С. Разработка метода многодисциплинарной оптимизации механико-

технологических систем / M. C. Степанов, C. A. Назаренко, H. C. Скворцов // Вісник Національного технічного університету „Харківський політехнічний інститут». – Харків, НТУ “ХПІ”. – № 24.– С. 32-40. 4. Асташев В. К. О нелинейной динамике ультразвуковых технологических процессов и систем / В. К. Асташев // Научно-технический журнал «ВНТР», Национальная Технологическая Группа.– М: 2007.– №2. – С. 123-127. 5. Капланов В. И. Динамика и трибоника высокоскоростной тонколистовой прокатки. Мировая тенденция и перспектива / В. И. Капланов.– Мариуполь: Изд-во Рената, 2008. – 456с. 6. Sidorov J. Microstructural and crystallographic aspects of conventional and asymmetric rolling processes / J. Sidorov, A. Miroux, R. Petrov, L. Kestens // Acta materials. – 2008. – 56, № 11. – P. 2495-2507. 7. Медведев В. С. Математическое моделирование прокатки в фасонных калибрах в среде MathCAD / В.С. Медведев, А.Н. Масленый // Авиационно-космическая техника и технология. – Харьков, ХАИ, 2009. – № 2 (59). – С. 32–35.

Bibliography (transliterated): 1. Timofeev Ju. V. Obobshhennaja struktura zhiznennogo cikla mashinostroitel'nogo proizvodstva i ego izdelij / Ju.V. Timofeev, V.A. Fadeev, M.S. Stepanov, S.A. Nazarenko // Visnik Nacional'nogo tehnichnogo universitetu „Harkiv's'kij politehnichnij institut». – Harkiv, NTU “HPI”. – № 1. – S. 86-95. 2. Grabchenko A.I. Sistema modelirovaniya rabochih processov integrirovannyh tehnologij. / A.I. Grabchenko, V.L. Dobroskok, S.I. Chernyshov // Suchasni tehnologii u mashinobuduvanni: – Harkiv, NTU «HPI». – 2007. – S. 236-268. 3. Stepanov M.S. Razrabotka metoda mnogodisciplinarnoj optimizacii mehaniko-tehnologicheskikh sistem / M. S. Stepanov, S.A. Nazarenko, N.S. Skvorcov // Visnik Nacional'nogo tehnichnogo universitetu „Harkiv's'kij politehnichnij institut». – Harkiv, NTU “HPI”. – 2010. – № 24.– S. 32-40. 4. Astashev V. K. O nelinejnoj dinamike ul'trazvukovyh tehnologicheskikh processov i sistem / V. K. Astashev // Nauchno-tehnicheskij zhurnal «VNTR», Nacional'naja Tehnologicheskaja Gruppa. – M: 2007.– №2. – S. 123-127. 5. Kaplanov V.I. Dinamika i tribonika vysokoskorostnoj tonkolistovoj prokatki. Mirovaja tendencija i perspektiva / V.I. Kaplanov. – Mariupol': Izd-vo Renata, 2008. – 456s. 6. Sidorov J. Microstructural and crystallographic aspects of conventional and asymmetric rolling processes / J. Sidorov, A. Miroux, R. Petrov, L. Kestens // Acta materials. – 2008. – 56, № 11. – R. 2495-2507. 7. Medvedev V.S. Matematischeskoe modelirovanie prokatki v fasonnyh kalibrah v srede MathCAD / V.S. Medvedev, A.N. Maslenyj // Aviacionno-kosmicheskaja tekhnika i tehnologija. – Har'kov, HAI, 2009. – № 2 (59). – S. 32–35.

УДК 621.9.06-229.331

В.М. ТОНКОНОГІЙ, д-р техн. наук,
С.Ю. ДМИТРИЕВА,
А.А. ЯКИМОВ, канд. техн. наук, Одесса, Україна

**ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ
ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ В УСЛОВИЯХ
ШЛИФОВАНИЯ ВЫСОКОТОЧНЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС
ПРЕРЫВИСТЫМИ ЭЛЬБОРОВЫМИ КРУГАМИ**

У роботі теоретично обґрунтовано можливість запобігання явищ параметричного резонансу при Зубошліфування переривчастими тарілчастими колами за нульовою схемою за рахунок застосування ельборових кіл і розрахунку геометричних параметрів макрорельєфа їх робочої поверхні.

В работе теоретически обоснована возможность предотвращения явлений параметрического резонанса при зубошлифовании прерывистыми тарельчатыми кругами по нулевой схеме за счет применения эльборовых кругов и расчета геометрических параметров макрорельефа их рабочей поверхности.

The paper theoretically proved possible to prevent parametric resonance phenomena in gear grinding broken mop disc zero scheme by applying cbn wheel and calculation of geometrical parameters macrorelief their work surface.

1. Постановка проблемы и анализ последних публикаций. Одним из путей повышения производительности шлифования является применение кругов из кубического нитрида бора (КНБ, эльбора). Режущая способность этих кругов на 20-30% больше, чем электрокорундовых кругов [9]. Применение кругов из КНБ позволяет повысить производительность обработки в полтора раза по сравнению со шлифованием абразивными кругами [14]. Исследования, направленные на повышение производительности операции шлифования путем применения кругов из КНБ, выполнены в работах [1] ÷ [19]. Исследования, связанные с использованием кругов из КНБ на операциях зубошлифования, проведены в работах [2, 3, 13, 14, 17, 18].

Особо актуальным является применение кругов из КНБ при обработке на станках МААГ, 5851, 5853 тарельчатыми кругами по нулевой схеме, т.к. из всех существующих схем зубошлифования эта схема обеспечивает наибольшую точность обработки, но является наименее производительной. Меньший размерный износ кругов из КНБ по сравнению с абразивными кругами позволяет отказаться от механизма компенсации износа при шлифовании по этой схеме [2,3,17,18]. Отрицательным фактором, сдерживающим применение тарельчатых кругов из КНБ на операции шлифования по нулевой схеме, является невозможность эффективно осуществлять обработку «всухую» (без применения СОЖ), следствием чего является, в ряде случаев, образование прижогов на шлифуемых поверхностях. Возможность осуществлять зубошлифование «всухую» достигается применением кругов из КНБ с торговым называнием АЭРОБОР, выпускаемых Абразивным заводом «Ильич» (С.-Петербург, Россия). Особенностью этих кругов является увеличение размеров и количество пор, что способствует лучшему размещению стружки, меньшей засаливаемости рабочей поверхности инструмента и, как следствие, снижению теплонапряженности процесса шлифования [1]. Однако применение кругов торговой марки АЭРОБОР не снимает в полной мере проблему снижения теплонапряженности при зубошлифовании тарельчатыми кругами по нулевой схеме. Известно, что эффективным путем снижения теплонапряженности процесса шлифования является применение кругов с прерывистой рабочей поверхностью. Однако известны случаи, когда при прерывистом шлифовании развивались значительные колебания упругой системы станка, приводящие к повышению шероховатости обработанной поверхности и к появлению на ней циклических прижогов (рис.1).

Это объясняется тем, что периодичность изменения контакта инструмента с деталью в условиях прерывистого шлифования приводит к периодическому изменению жесткости упругой системы станка. В связи с этим актуальной является проблема предотвращения появления параметрической неустойчивости упругой системы станка при зубошлифовании прерывистыми тарельчатыми кругами из КНБ по нулевой схеме.

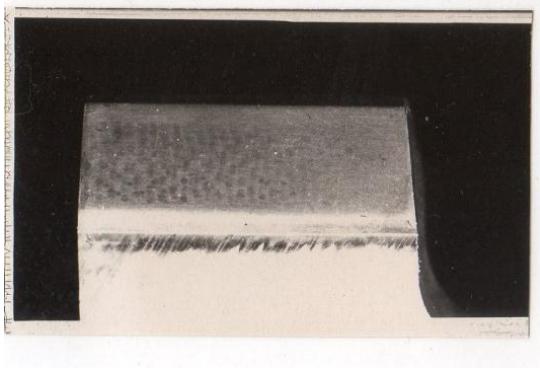


Рисунок 1 – Внешний вид цилиндрических прижгов на рабочей поверхности зуба, образованных из-за неустойчивой работы упругой системы шлифовального станка

2. Цель исследования. Целью настоящей работы является предотвращение появления параметрического резонанса при зубошлифовании тарельчатыми эльборовыми прерывистыми кругами по нулевой схеме на станках МААГ, 5851, 5853.

3. Основные результаты исследования. В работе [20] получено условие параметрической неустойчивости упругой системы зубошлифовального станка, работающего тарельчатыми прерывистыми кругами по нулевой схеме:

$$|L| > \frac{1+M}{2} \quad (1)$$

где:

$$\begin{aligned} L = & \frac{e^{-h(\tau_1 + \tau_2)}}{h(k_2 + h \sin 2k_2 \tau_1)} \left[k_1^2 \sin k_1 \tau_1 \sin k_2 \tau_2 - \right. \\ & \left. - 2 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \cos k_2 \tau_1 \cdot \cos k_1 \tau_1 \cdot \cos k_2 (\tau_1 + \tau_2) - \right. \\ & \left. - k_2^2 \sin k_1 \tau_1 \sin (2 \cdot k_2 \tau_1 + k_2 \tau_2) \right] \end{aligned} \quad (2)$$

$$M = \frac{k_1 k_2 e^{-2h(\tau_1 + \tau_2)} \cos[2(k_2(\tau_1 + \tau_2))]}{h(k_2 + h \sin 2k_2 \tau_1)} \quad (3)$$

$$\tau_1 = \frac{l_1}{V_{kp}}; \tau_2 = \frac{l_2}{V_{kp}}; l_1 = \frac{\pi \cdot D_{kp}}{n \cdot (1+N)}; l_2 = \frac{\pi \cdot D_{kp}}{n \cdot \left(1 + \frac{1}{N}\right)}; N = \frac{l_2}{l_1},$$

l_1 – длина выступа; l_2 – ширина впадины; n – количество режущих выступов на шлифовальном круге; D_{kp} – диаметр круга; V_{kp} – скорость круга.

$$k_1 = \sqrt{\frac{C_o}{m} + \frac{C_o \cdot \left(\frac{t_{\lambda}}{t_{\phi}} - 1\right)}{2} \cdot \frac{1}{m} - h^2}; \quad k_2 = \sqrt{\frac{C_o}{m} - \frac{C_o \cdot \left(\frac{t_{\lambda}}{t_{\phi}} - 1\right)}{2} \cdot \frac{1}{m} - h^2}$$

где t_{λ} , t_{ϕ} – глубина резания, установленная по лимбу и фактическая глубина резания соответственно, м;

C_0 – приведенная жесткость упругой системы, $\frac{H}{m}$;

m – приведенная масса, $\frac{H \cdot \text{сек}^2}{m}$;

h – величина, характеризующая затухание колебаний во времени, $\frac{1}{\text{сек}}$.

На рис. 2 приведены расчетные зависимости левой и правой частей условия неустойчивости (1) от количества прорезей на шлифовальном круге и от величины отношения ширины впадины к длине режущего выступа.

Зависимость $L = f(n; N)$ выглядит в виде волнообразной поверхности, а зависимость $\frac{1+M}{2} = f(n, N)$ – в виде плоской поверхности. Эллипсообразные линии пересечения этих поверхностей являются границами областей, содержащих совокупности геометрических параметров макрорельефа рабочей поверхности прерывистого шлифовального круга, при которых возникает параметрическая неустойчивость упругой системы станка. Расчеты проводились для различных значений приведенной массы шлифовального круга.

Из рис. 2 видно, что на параметрическую устойчивость упругой системы станка сильное влияние оказывают приведенная масса шлифовального круга, количество прорезей на его рабочей поверхности и величина отношения ширины впадины к длине режущего выступа.

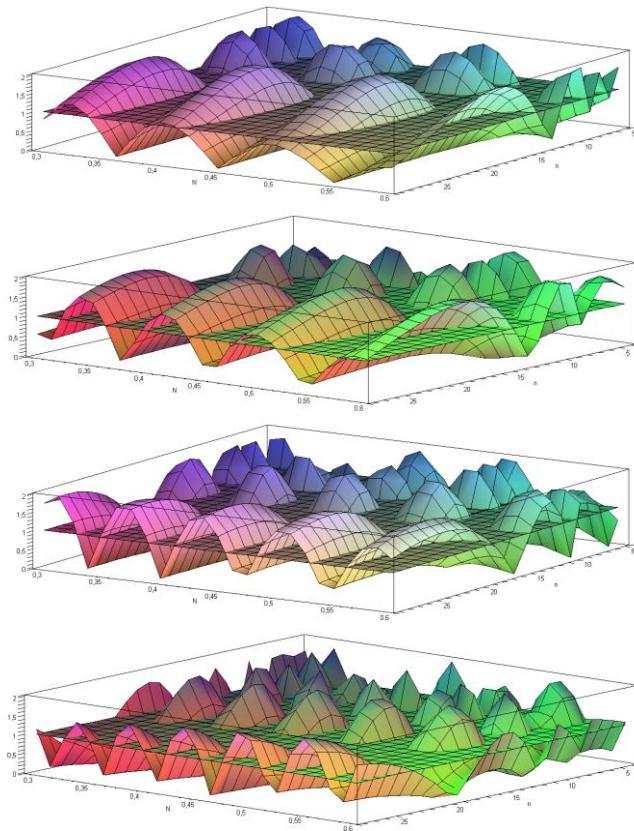


Рисунок 2 – Влияние приведенной массы круга m на параметрическую устойчивость упругой системы станка:
 $m = 0,452; 0,352; 0,252; 0,152 \frac{H \cdot \text{сек}^2}{M}$ соответственно (сверху вниз)

На рис. 3 показаны области неустойчивой работы упругой системы станка, построенные в плоской системе координат, в которой по осям абсцисс отложены значения отношений длин впадин к длинам режущих выступов ($N = 12/11$), а по осям ординат – число режущих выступов на шлифовальном круге n . Расчеты областей произведены для различных значений приведенной массы шлифовального круга m .

Из рис. 3 видно, что при уменьшении приведенной массы m области неустойчивой работы упругой системы станка смещаются в сторону увеличения числа режущих выступов на круге. Уменьшение приведенной массы прерывистого инструмента приводит к сужению границ областей неустойчивой работы упругой системы станка в направлении, параллельном оси абсцисс, и к сближению областей, т.е. к уменьшению расстояний между соседними областями.

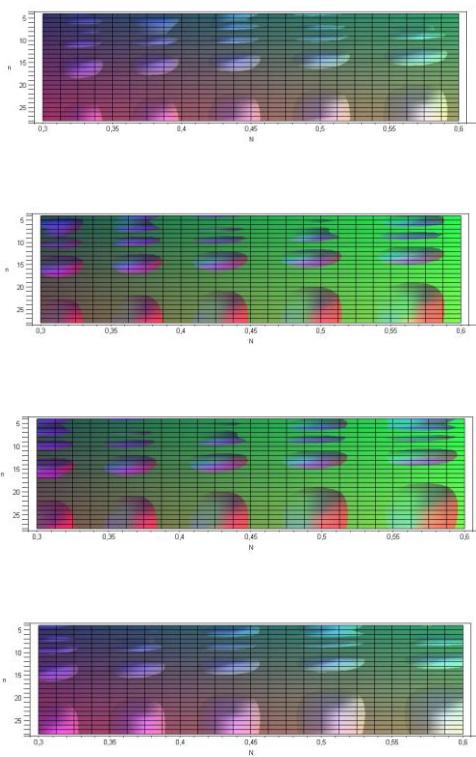


Рисунок 3 – Овально-подобные границы областей, включающих в себя такие сочетания чисел впадин и отношений их длин к длинам выступов, при которых наблюдается неустойчивая работа упругой системы шлифовального станка. Расчеты произведены для приведенных масс кругов $m = 0,152; 0,172; 0,192; 0,212; 0,232; 0,252 \frac{H \cdot \text{сек}^2}{M}$ соответственно (сверху вниз)

На рис. 4 показаны заштрихованные области, соответствующие устойчивым состояниям упругой системы станка. Эти области включают в себя в совокупности значений отношения ширины впадины к протяженности выступа и динамической жесткости резания K_0 .

$$K_0 = C_0 \cdot \left(\frac{t_{\lambda}}{t_{\phi}} - 1 \right)$$

Из рис. 4 видно, что увеличение жесткости резания (т.е. потеря кругом режущей способности) приводит к сужению областей устойчивой работы упругой системы шлифовального станка.

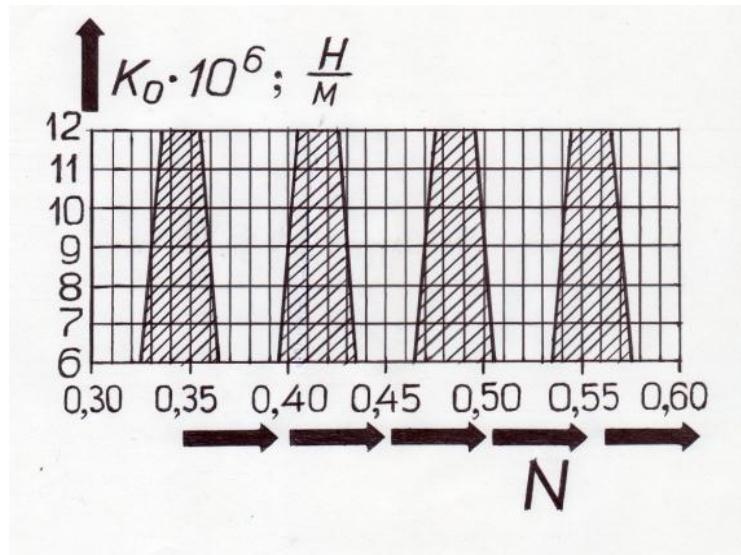


Рисунок 4 – Заштрихованные области, соответствующие устойчивым состояниям упругой системы станка, для $m = 0,252 \frac{H \cdot \text{сек}^2}{m}$ $4 \leq n \leq 28$

Из рис. 2,3,4 видно, что параметрическая устойчивость упругой системы станка зависит от массы и режущей способности шлифовального круга, от числа впадин на его рабочей поверхности и от величины отношения ширины впадины l_2 к длине выступа l_1 .

При эксплуатации абразивного инструмента происходит уменьшение его диаметра (в следствие износа и периодических правок круга) и режущей способности (в следствие засаливаемости рабочей поверхности круга). Уменьшение диаметра круга приводит к уменьшению его массы и к возрастанию величины отношения ширины впадины l_2 к протяженности режущего выступа l_1 (в следствие уменьшения l_1 и неизменности l_2). Все эти изменения приводят к нарушению параметрической устойчивости упругой системы шлифовального станка. Применение прерывистых кругов из КНБ позволит сохранить параметрическую устойчивость упругой системы, т.к. режущая способность этих кругов на 25-30% больше, а размерный износ в 3 раза меньше, чем абразивных [14].

Вывод. Теоретически обосновано применение тарельчатых эльборовых кругов на операции прерывистого зубошлифования на станках МААГ, 5851, 5853 по нулевой схеме с позиции предотвращения явлений параметрического резонанса.

Список использованных источников: 1. Кремень З.И. АЭРОБОРТМ – новое поколение кругов из эльбора – КНБ на керамической связке // инструмент и технологии. – 2003. – №15-16. – с. 50-57. 2. Рябченко С.В. Разработка технологии шлифования зубчатых колес тарельчатыми кругами из СТМ // Сучасні процеси механічної обробки інструментами із НТМ та якість поверхні деталей машин: Зб. наук. праць (серія Г «Процеси механічної обробки, верстати та інструменти») НАН України. ІІМ ім. В.М. Бакуля. – Київ, 2006. – с. 161-168. 3. Рябченко С.В. Повышение эффективности шлифования высокоточных зубчатых колес кругами из КНБ // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: Зб. наук. праць. – Краматорськ: ізд-во ДГМА, 2008. Вип. 23. – с. 95-101. 4. Лавриненко В.И., Смоквина В.В., Солод В.Ю. Особенности морфологии порошков из кубического нитрида бора и их направленное использование в шлифовальном инструменте. // Сучасні технології в машинобудуванні: Зб. наук. праць. – Вип. 8. – Харків: НТУ «ХПІ», 2013. – с. 56-65. 5. Carius Alan. CBN Abrasives and the Grindability of Powder Metal Materials // Gohram conferences: Precision Grinding & Finishing in the Global Economy – 2001, Chicago, October, 1-3, 2001. 6. Аль-Аджейлат С.А., Лебедев В.Г., Усов А.В. Объем металла, удаляемого зерном КНБ, при шлифовании закаленной стали. // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ, 2008. – Вип. 68 – с.51-54. 7. Серов Б.С. Качество обработки при круглом наружном эльборовом шлифовании быстрорежущих инструментов // Вісник інженерної академії України (спец. випуск). – Київ: 2000. – с.263-268. 8. Худобин Л.В., Унянин А.Н. Эльборовое шлифование заготовок из труднообрабатываемых материалов с ультразвуковой гидроочисткой круга // Вісник інженерної академії України – Київ: 2001. – №3 (Частина 1) – с.196-203. 9. Серов Б.С. Производительность процесса эльборового шлифования быстрорежущей стали // Авиационно-космическая техника и технология. Труды государственного аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Харьков: ГАУ «ХАИ», 2000. – Вип. 14 – с.350-352. 10. Аль-Аджейлат С.А., Лебедев В.Г., Усов А.В. Аналитическое определение сил и температур резания единичным эльборовым зерном // Вісник харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка – Харків: ХНТУСГ, 2009. – Вип. 81 – с.263-270. 11. Кремень З.И. Анализ возможностей управления пористостью шлифовальных кругов из эльбора с целью расширения областей их применения // З.И. Кремень, А.И. Лебедев // Инструмент и технологии. – 2010. – №27. – Вып.1 – с.46-49. 12. Кремень З.И. Шлифовальные круги из эльбора – новый уровень эксплуатационных свойств // Инструмент и технологии. – 2003. – №11-12. – с.175-180. 13. Поклад В.А. Производственные испытания высокопористого эльборового круга при профильном шлифовании зубчатых колес / В.А. Поклад, В.С. Новиков, Ю.И. Жуков, В.К. Старков, С.А. Рябцев // Технология машиностроения. – 2006. - №5. – с.27-31. 14. Старков В.К. Сравнительный анализ работоспособности высокопористых эльборовых и корундовых

кругов при профильном зубошлифовании / В.К. Старков, С.А. Рябцев, В.А. Поклад, В.С. Новиков, М. Кайзер, С.В. Костров // Технология машиностроения. – 2007. – №2. – с.17-22. **15.** Старков В.К. Структурное моделирование рецептурных составов шлифовальных кругов из кубического нитрида бора / В.К. Старков, С.А. Рябцев, Л.С. Петросян // Вестник МГТУ «Станкин». – 2009. - №1. – с.87-97. **16.** Чумаченко Т.В. Фактическое расстояние между режущими зернами в эльборовом круге / Т.В. Чумаченко, В.Г. Лебедев // Проблемы техники: научно-производственный журнал. – 2009. - №2. – с.124-134.**17.** Рябченко С.В. Износ кругов из СТМ при зубошлифовании. // Породорасширяющий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения – 2010. – Вып. 13 – с.495-500. **18.** Рябченко С.В. Шлифование зубчатых колес тарельчатыми кругами // Оборудование и инструмент для профессионалов. – Харьков: ОOOИД «Центр информ», 2014. - №2 – с.44-48. **19.** Z.I. Kremen. A new generation of high-porous vitrified CBN wheels, IDR, 2003, №4, р.р.53-56. **20.** Якимов А.А. Условие параметрической неустойчивости упругой системы станка при шлифовании кругами с прерывистой рабочей поверхностью // Сучасні технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ «ХПІ», 2013. – Вип.8 – с.201-210.

Bibliography (transliterated): **1.** Kremen' Z.I. AJeROBORTM – novoe pokolenie krugov iz jel'bora – KNB na keramicheskoy svjazke // instrument i tehnologii. – 2003. – №15-16.– s.50-57. **2.** Rjabchenko S.V. Razrabotka tehnologii shlifovanija zubchatyh koles tarel'chatymi krugami iz STM // Suchasni procesi mehanichnoї obrobki instrumentami iz NTM ta jakist' poverhni detalej mashin: Zb. nauk. prac' (serija G « Procesi mehanichnoї obrobki, verstati ta instrumenti») NAN Ukrayini. INM im. V.M. Bakulja. – Kiїv, 2006. – s.161-168. **3.** Rjabchenko S.V. Povyshenie jeffektivnosti shlifovanija vysokotochnyh zubchatih koles krugami iz KNB // Nadijnist' instrumentu ta optimizacija tehnologichnih sistem: Zb. nauk. prac'. – Kramators'k: izd-vo DGMA, 2008. Vip. 23. – s.95-101. **4.** Lavrinenko V.I., Smokvina V.V., Solod V.Ju. Osobennosti morfologii poroshkov iz kubicheskogo nitrida bora i ih napravленное использование в шлифовальном инструменте. // Suchasni tehnologii v mashinobuduvanni: Zb. nauk. prac'. – Vip. 8. – Harkiv: NTU «HPI», 2013. – s.56-65. **5.** Carius Alan. CBN Abrasives and the Grindability of Powder Metal Materials // Gohram conferences: Precision Grinding & Finishing in the Global Economy – 2001, Chicago, October, 1-3, 2001. **6.** Al'-Adzhejlat S.A., Lebedev V.G., Usov A.V. Ob#em metalla, udaljaemogo zernom KNB, pri shlifovanii zakalенноj stali. // Visnik Harkiv'skogo nacional'nogo tehnichnogo universitetu sil's'kogo gospodarstva im. Petra Vasilenka. – Harkiv: HNTUSG, 2008. – Vip. 68 – s.51-54. **7.** Serov B.S. Kachestvo obrabotki pri kruglom naruzhnym jel'borovom shlifovanii bystrorezhushhih instrumentov // Visnik inzhenernoї akademii Ukrayini (spec. vipusk). – Kiїv: 2000. – s. 263-268. **8.** Hudobin L.V., Unjanin A.N. Jel'borovoe shlifovanie zagotovok iz trudnoobrabatyvaemyh materialov s ul'trazvukovoj gidroochistkoj kruga // Visnik inzhenernoї akademii Ukrayini – Kiїv: 2001. – №3 (Chastina 1) – s.196-203. **9.** Serov B.S. Proizvoditel'nost' processa jel'borovogo shlifovanija

bystrorezhushhej stali // Aviacionno-kosmicheskaja tehnika i tehnologija. Trudy gosudarstvennogo ajerokosmicheskogo universiteta im. N.E. Zhukovskogo «HAI». – Har'kov: GAU «HAI», 2000. – Vip. 14 – s.350-352. **10.** *Al'-Adzhejlat S.A., Lebedev V.G., Usov A.V.* Analiticheskoe opredelenie sil i temperatur rezanija edinichnym jel'borovym zernom // Visnik harkiv'skogo nacional'nogo tehnichnogo universitetu sil's'kogo gospodarstva im. Petra Vasilenka – Harkiv: HNTUSG, 2009. – Vip. 81 – s.263-270. **11.** *Kremen' Z.I.* Analiz vozmozhnosti upravlenija poristost'ju shlifoval'nyh krugov iz jel'bora s cel'ju rasshireniya oblastej ih primenenija // Z.I. Kremen', A.I. Lebedev // Instrument i tehnologii. – 2010. – №27. – Vyp.1 – s.46-49. **12.** *Kremen' Z.I.* Shlifoval'nye krugi iz jel'bora – novyj uroven' jeksploatacionnyh svojstv // Instrument i tehnologii. – 2003. – №11-12. – s. 175-180. **13.** *Poklad V.A.* Proizvodstvennye ispytaniya vysokoporistogo jel'borovogo kruga pri profil'nom shlifovanii zubchatyh koles / V.A. Poklad, V.S. Novikov, Ju.I. Zhukov, V.K. Starkov, S.A. Rjabcev // Tehnologija mashinostroenija. – 2006. - №5. – s.27-31. **14.** *Starkov V.K.* Sravnitel'nyj analiz rabotosposobnosti vysokoporistykh jel'borovyh i korundovyh krugov pri profil'nom zuboshlifovanii / V.K. Starkov, S.A. Rjabcev, V.A. Poklad, V.S. Novikov, M. Kajzer, S.V. Kostrov // Tehnologija mashinostroenija. – 2007. – №2. – s.17-22. **15.** *Starkov V.K.* Strukturnoe modelirovanie recepturnyh sostavov shlifoval'nyh krugov iz kubicheskogo nitrida bora / V.K. Starkov, S.A. Rjabcev, L.S. Petrosjan // Vestnik MGTU «Stankin». – 2009. – №1. – s.87-97. **16.** *Chumachenko T.V.* Fakticheskoe rasstanjanie mezhdu rezhushchimi zernami v jel'borovom kruge / T.V. Chumachenko, V.G. Lebedev // Problemy tehniki: nauchno-proizvodstvennyj zhurnal. – 2009. – №2. – s.124-134. **17.** *Rjabchenko S.V.* Iznos krugov iz STM pri zuboshlifovanii. // Porodorasshirjajushhij i metalloobrabatyvajushhij instrument – tehnika i tehnologija ego izgotovlenija i primenenija – 2010. – Vyp. 13 – s.495-500. **18.** *Rjabchenko S.V.* Shlifovanie zubchatyh koles tarel'chatymi krugami // Oborudovanie i instrument dlja professionalov. – Har'kov: OOOIID «Centr inform», 2014. – №2 – s.44-48. **19.** *Z.I. Kremen.* A new generation of high-porous vitrified CBN wheels, IDR, 2003, №4, p.p.53-56. **20.** *Jakimov A.A.* Uslovie parametricheskoy neustojchivosti uprugoj sistemy stanka pri shlifovanii krugami s preryvistoj rabochej poverhnost'ju // Suchasni tehnologii v mashinobuduvanni. – Harkiv: NTU «HPI», 2013. – Vip.8 – s. 201-210.

УДК 621.833.65

В.М. ТОНКОНОГІЙ, д-р техн. наук,

В.М. ТІГАРЄВ, канд. техн. наук,

К.В. КОЗИРЕВА, Одеса, Україна

РОЗРОБКА ПАРАМЕТРИЧНОЇ ТРИВИМІРНОЇ МОДЕЛІ ПРОСТОРОВОЇ РАМИ АВТОМОБІЛЯ

Розглянуто загальний підхід створення та аналізу просторової каркасно-векторної рами автомобіля за допомогою САПР Autodesk Inventor Professional. Представлено технологію комп’ютерного моделювання рами спортивного автомобіля. Виконано аналіз моделі рами спортивного автомобіля на базі методу скінчених елементів.

Рассмотрен общий подход создания и анализа пространственной каркасно-векторной рамы автомобиля с помощью САПР Autodesk Inventor Professional. Представлена технология компьютерного моделирования рамы спортивного автомобиля. Выполнен анализ модели рамы спортивного автомобиля на базе метода конечных элементов.

The General approach of creating and analyzing spatial frame-vector frame car using CAD Autodesk Inventor Professional. Computer simulation of the frame sports car is presented is performed on the basis of the finite element method.

Вступ. Призначення рами спортивного автомобіля полягає у включені всіх чотирьох коліс у структуру з жорсткістю на згин та кручення, тобто таку, яка не буде ні прогинатися, ні викручуватися. Вона повинна бути здатна підтримувати всі компоненти і пасажирів, а також вбирати в себе всі подані на неї навантаження без надмірних відхилень. Яким би не був спортивний автомобіль та яким би не було його призначення, лише рама є засобом досягнення цієї мети [1, 2].

Постановка завдання. Проектування рами спортивного автомобіля з використання сучасних комп’ютерних технологій дозволяє скоротити час, підвищити точність, створити комп’ютерну модель для проведення аналізу механічних навантажень. Проектування рам можливо у різних CAD системах. Приклад комп’ютерної моделі рами спортивного

автомобіля представлено у [3], але у цій роботі не представлена технологія створення моделі. Цю задачу зручніше вирішити за допомогою САПР Autodesk Inventor Professional [4, 5], яка дозволяє створити параметричну тривимірну модель просторової рами автомобіля в розділі «Проектування рам». Параметризація дозволяє провести аналіз створеної моделі для різноманітних профілів елементів конструкції. Однією з найважливіших цілей проектування рами має бути забезпечення безпеки водія, а вже потім її ефективність як конструкції з'єднання основних вузлів авто. Але щоб бути ефективною з точки зору конструкції, рама повинна бути досить жорсткою, що також сприяє підвищенню рівня її безпеки. Тобто ці дві цілі досягаються дещо схожими методами, різниця лише в місцях застосування. Для аналізу створеної моделі рами необхідно проведення симуляції фронтального та бокового впливів для різних модифікацій рами.

При створенні моделі спортивного автомобіля необхідно виконати модель основи рами, а потім створити групи елементів, які дозволять зміцнити загальну надійність конструкції. Такий підхід дозволить провести поетапний аналіз конструкції на жорсткість та надійність.

Побудова просторової рами має деякі особливості порівняно зі звичними збірками, зібраними зі звичних змодельованих деталей. По-перше, для того щоб модель можна було тестувати в середовищі «Аналіз рам», вона повинна бути створена зі спеціальних профільних елементів. По-друге, для завдання стандартного профілю необхідний попередньо створений ескіз, введений в середовище збірки у якості компоненту (профіль задається лише в середовищі збірки). По-третє, для моделі необхідна наявність декількох підрівнів деталізації (збірки в збірках), що надасть певну свободу контролю над різними компонентами та рівнями деталізації, що було пояснено раніше.

Ціллю даної роботи є розгляд технології створення тривимірної параметричної каркасно-векторної моделі рами спортивного автомобіля, та аналіз створеної моделі рами. Для цього необхідно проведення симуляції фронтального та бокового впливів для різних модифікацій рами.

Результати дослідження. На першому етапі створюємо тривимірну каркасно-векторну модель рами, яка створена з ескізів моделі основи рами, ескізів поперечних елементів рами та елементів жорсткості.

На другому етапі проводимо профілювання основи та поперечних елементів рами та профілювання елементів жорсткості.

На третьому етапі проводимо під'єднання компонентів у параметричну тривимірну модель просторової рами. Після створення моделі проводимо аналіз механічних впливів на раму.

Розглянемо етапи більш детально.

Моделювання почнемо зі створення ескізної моделі основи рами. Створюємо новий локальний проект під назвою «Frame». В якості шаблону обираємо «Звичайний .ipt» – шаблон тривимірної деталі. На екрані відкривається тривимірне середовище деталі. Обираємо команду «Створити 2D-ескіз» та вказуємо на найзручнішу з трьох площин середовища, переходячи при цьому в середовище створення ескізу. Знаходячись в двомірному просторі, створюємо креслення ескізу, задаючи за допомогою розмірів необхідні параметричні залежності (рис. 1). Створений ескіз є каркасно-векторно-параметричним тому, що він створений за допомогою найпростіших каркасних елементів. Каркас векторний тому, що напрям створення елементів каркасу буде використовуватися при їх профілюванні. Каркас параметричний тому, що усі розміри зв'язані та розміщуються у таблиці параметрів.

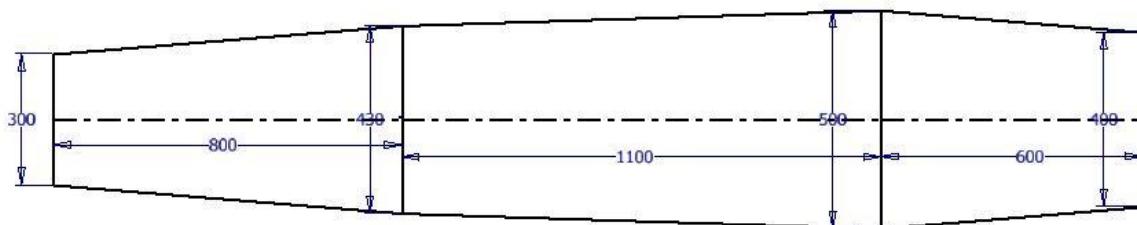


Рисунок 1 – Перший ескіз моделі

Цей ескіз задає положення та розміри нижньої горизонтальної частини рами. Ми приймаємо ескіз та відразу переходимо до команди «Площина». В режимі команди наводимо курсор на площину попереднього ескізу, доки не з'явиться прозора рамка навколо неї, а потім відтягуємо її вгору, створюючи паралельну площину на відстані 300 мм. Виділяємо новостворену площину та натискаємо на піктограму

«Створити ескіз», що відобразилась біля курсору. Знову переходимо в середовище побудови ескізу та створюємо креслення розмітки елементів передньої горизонтальної частини рами. Приймаємо ескіз.

Наступним кроком створюємо ескізи поперечних елементів, проводячи робочі площини між двома паралельними площинами через необхідні точки (рис. 2). Алгоритм створення ескізів нічим не відрізняється від попередніх.

Останнім пунктом створення повного тривимірного ескізу моделі буде створення елементів, що зв'язують плоскі ескізи в просторові. В цьому допоможе команда «3D-ескіз». Вибрали цю команду, ми залишаємося в тривимірному середовищі, але з'являються 3D прив'язки всіх об'єктів моделі .ipt. Проводимо елементи, яких не вистачає в моделі рами (рис. 3).

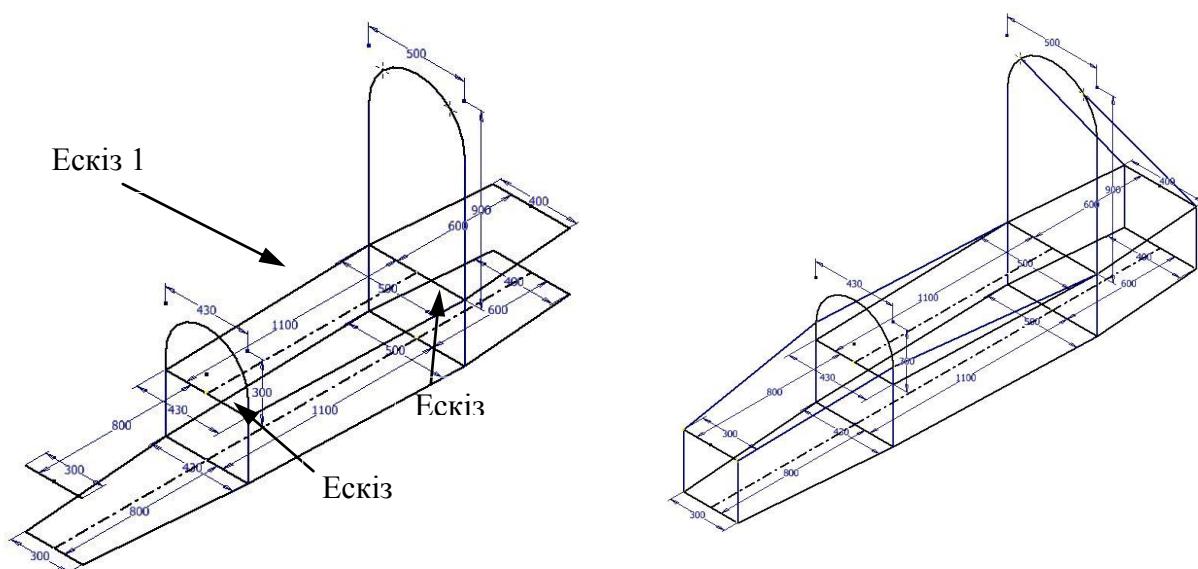


Рисунок 2 – Ескізи поперечних елементів ескізної моделі

Рисунок 3 – Остаточний вигляд основи рами

Отримана лінійна рама повністю відповідає кресленням, наведеним в регламенті конструкції рами спортивного автомобіля, тобто це лише вихідні дані для подальшого доопрацювання. Конструкції не вистачає елементів жорсткості, в даному вигляді вона надзвичайно вразлива до будь-яких навантажень, особисто торсіонних. Найбільш прийнятним для

просторової рами буде введення діагональних ескізів в прямокутні секції конструкції. Так як метою розробки програмного додатку є надання можливості самостійного управління формою, то розроблені в подальшому елементи повинні бути незалежними один від одного, що надасть можливість вибирати підключення того чи іншого компоненту проектувальником.

Для реалізації поставленого вище завдання створимо ескізи моделі в окремих файлах.ipt. Для кожного з наступних компонентів ми використаємо копію попередньо змодельованої ескізної рами для більш зручного встановлення залежностей в фінальній збірці.

Першими з елементів жорсткості ми зробимо хрестоподібні ескізи в поперечні прямокутники першої секції рами. Для цього відкриємо копію ескізної рами та оберемо команду «3D-ескіз». Проведемо діагональні лінії в обраній нами локації (рис. 4).

Після цього створюємо хрестоподібні включення в бічні прямокутники тієї ж секції. Алгоритм ідентичний попередньому. За основу знову візьмемо перший варіант ескізної рами, тобто в ній будуть відсутні елементи, створені в попередньому кроці.

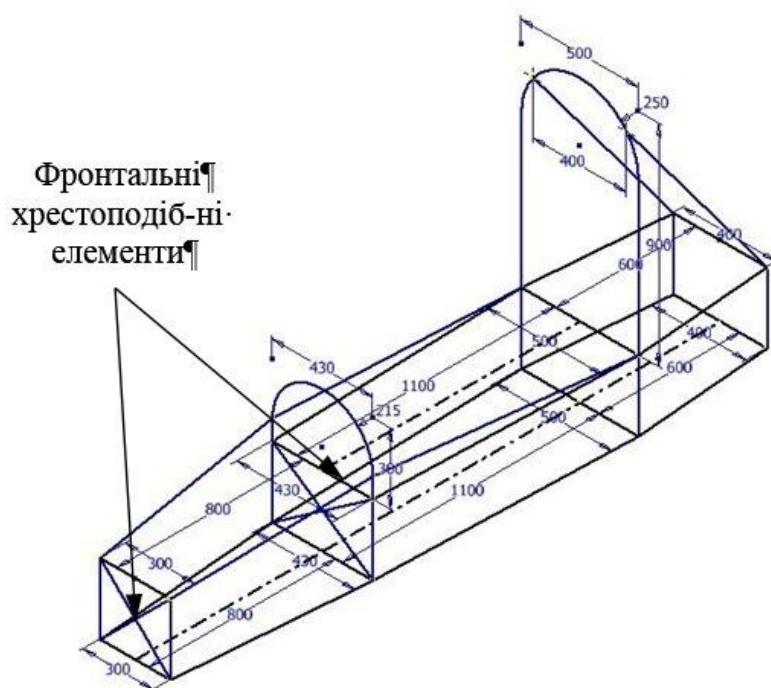


Рисунок 4 – Хрестоподібні ескізи в поперечних елементах

Останніми моделюємо діагональні елементи бічних прямокутників другої та третьої секцій. Скористаємося тією ж основою та аналогічним алгоритмом, що й в попередніх кроках.

Створені ескізи мають бути повністю автономними. Тобто на момент підключення їх до основної збірки вони повинні вже бути об'ємними. Так як це необхідно виконувати профілюванням ескізу в файлі збірки, то для кожної вставки потрібно створити окремий файл .iam (збірка), в якому і проведемо нарощування об'єму.

Створимо файл збірки, відкривши шаблон .iam. Оберемо команду «Вставити» та завантажимо файл з ескізом поперечних хрестовин. Для профілювання переходимо на вкладку «Проектування» та обираємо команду «Вставити профіль». В діалоговому вікні можна обрати тип стандартного профілю із стандартів, наявних в Autodesk Inventor, стандартний матеріал, точку прив'язки профілю та деякі інші налаштування. Встановивши необхідні налаштування (на даному етапі вони не мають великого значення, так як будуть в подальшому змінені параметрично), не виходячи з команди, вказуємо на лінії ескізу, яким треба надати об'єму, ігноруючи решту ліній, котрі відносяться до початкового файла моделі (вони необхідні тільки для зв'язування з ідентичними в основному файлі). По завершенні команди ми отримуємо тривимірні трубчасті елементи, готові до інсталяції в основний файл (рис. 5).

Використаємо такий спосіб для профілювання бічних хрестовин та задніх діагональних елементів.

Останнім кроком моделювання буде створення головного файла збірки. Саме в ньому буде проведено профілювання основи рами та під'єднання компонентів. Відкриваємо шаблон .iam, та вставляємо раму, вона буде фікованим компонентом. Надання профілю виконується так само, як і для інших елементів основи рами (рис. 6).

Після цього вставляємо ескізи елементів жорсткості, користуючись залежністю типу «Суміщення» по збігу точки та прямої. В остаточному вигляді рама буде мати всі наявні елементи (рис. 7).

Таким чином ми маємо змогу перейти в середовище «Аналіз рам» (відкривається за допомогою кнопки «Профіль. Аналіз») та проводити симуляції для різних модифікацій конструкції рами, динамічно змінюючи

їх. Аналіз моделі рами спортивного автомобіля виконується на базі методу скінчених елементів.

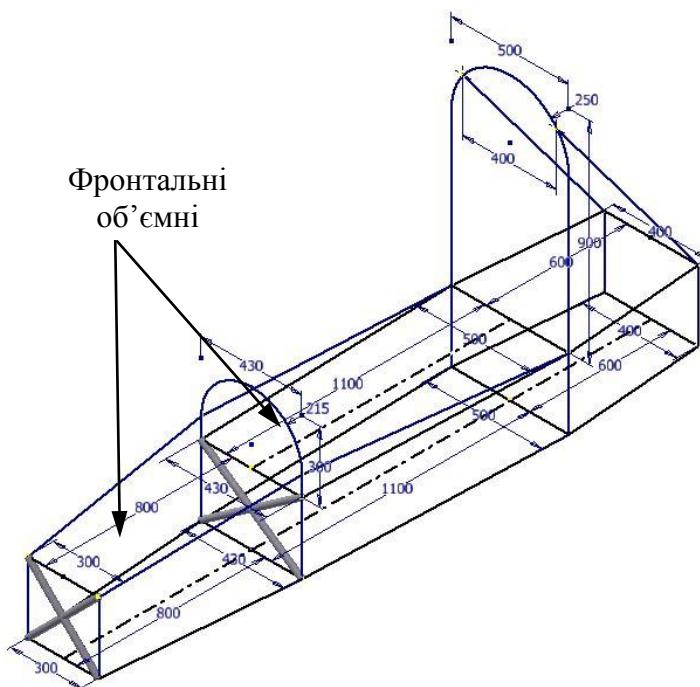


Рисунок 5 – Готові профільовані елементи

Однією з найважливіших цілей проектування рами має бути забезпечення безпеки водія, а вже потім її ефективність, як конструкції з'єднання основних вузлів. Але щоб бути ефективною з точки зору конструкції, рама повинна бути досить жорсткою, що також сприяє підвищенню рівня її безпеки. Тобто ці дві цілі досягаються дещо схожими методами, різниця лише в місцях застосування.

Беручи до уваги вищесказане, необхідно проведення симуляції фронтального та бокового впливів достатньої сили (близької до сили зіткнення) різних модифікацій рами.

Початково рама не буде містити жодних елементів підвищення жорсткості, матеріалом рами буде вуглеволокно, як найкраще по характеристиках у співвідношенні міцність-маса. Проводимо налаштування та засоби проведення аналізу для фронтального впливу на раму. Вказуємо місця, напрям та значення сил, які прикладені до фронтальної частині рами, а також опори та залежності фіксації.

Обов'язково необхідно вказати силу тяжіння. Деформації при фронтальному навантаженні рами за такої конструкції занадто великі та мають недопустимий вигин догори (рис. 8).

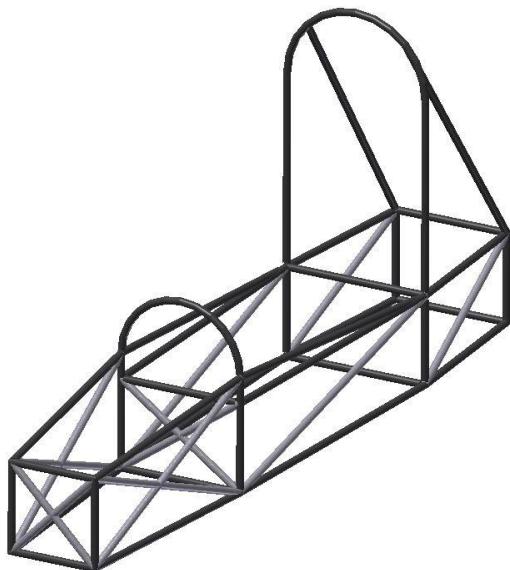


Рисунок 6 – Основна частина рами
(об'ємна)

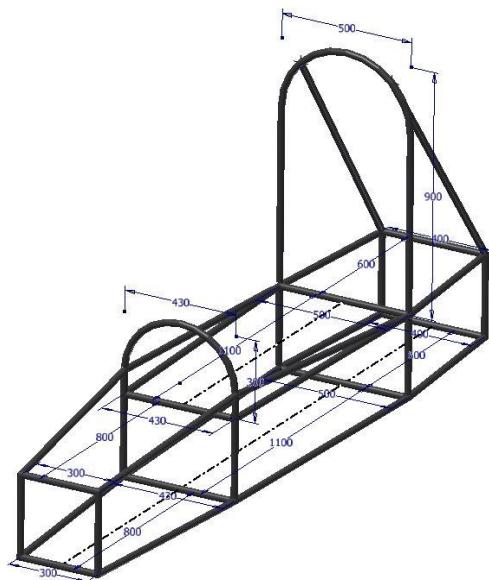


Рисунок 7 – Остаточний вигляд
рами



Рисунок 8 – Перша конфігурація рами – фронтальне навантаження

Проведемо подальший аналіз для цієї рами – бічне навантаження. Для цього вказуємо місця, напрям та значення сил, які прикладені до бічної частині рами, а також опори та залежності фіксації. Вказуємо силу тяжіння. Результат представлено на рис. 9. При симуляції виникають недопустимі деформації, але вже кручення.

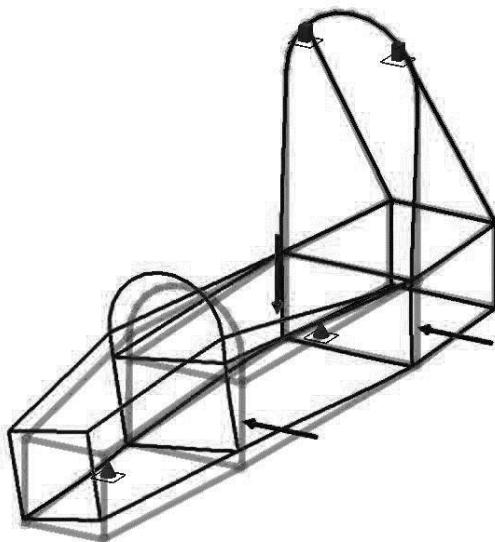


Рисунок 9 – Перша конфігурація рами – бічне навантаження

Так як більш критичними виявилися деформації кручення, то першочергово інсталюємо поперечні хрестовини, і також проведемо для них дві аналогічні симуляції (рис. 10, 11).

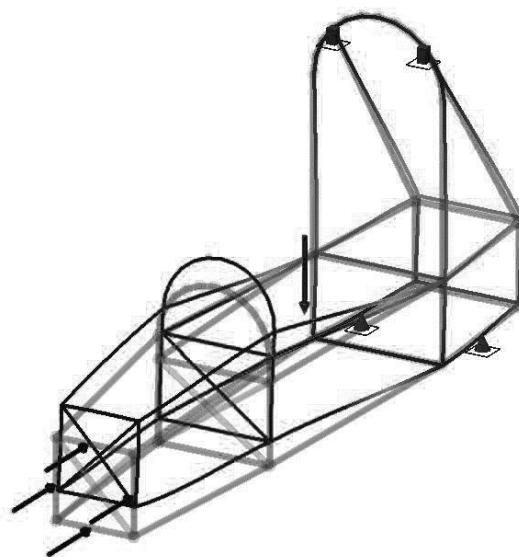


Рисунок 10 – Друга конфігурація рами – фронтальне навантаження

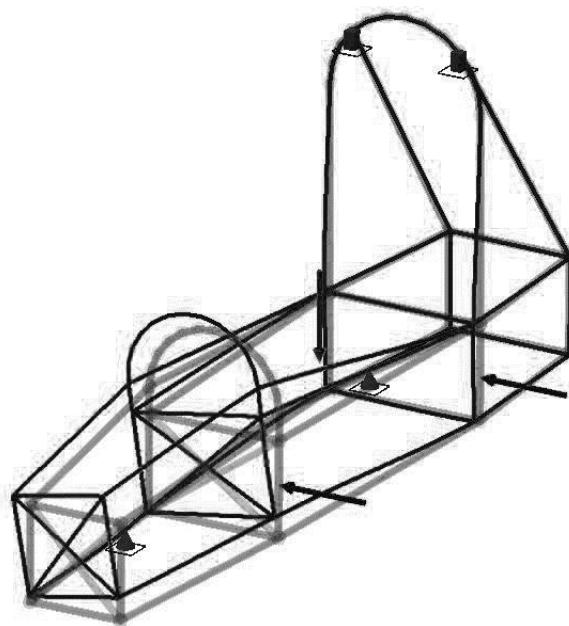


Рисунок 11 – Друга конфігурація рами – бічне навантаження

Деформація кручення має дещо меншу амплітуду, але вигин догори при фронтальному навантаженні майже не змінився, тому ми вводимо бічні хрестовини та проводимо симуляцію для них (рис. 12, 13).

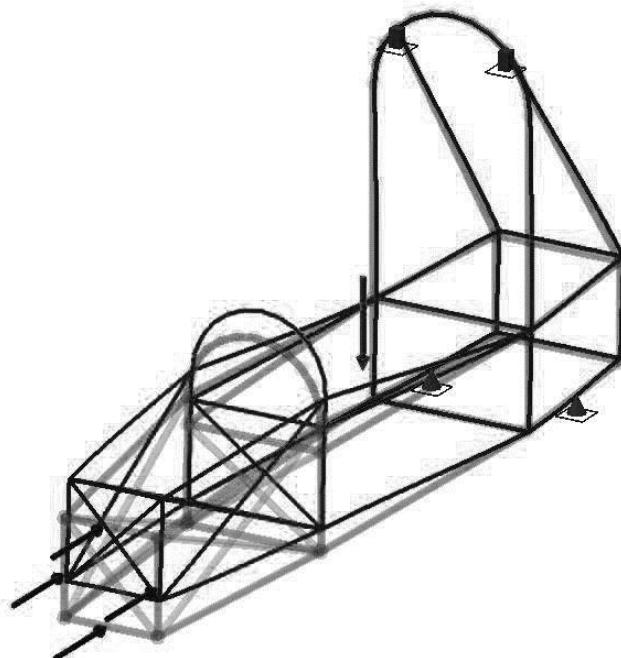


Рисунок 12 – Третя конфігурація рами – фронтальне навантаження

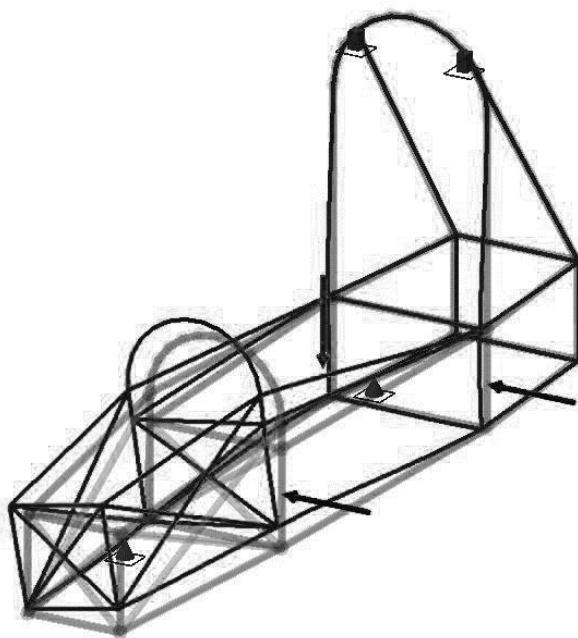


Рисунок 13 – Третя конфігурація рами – бічне навантаження

В цьому випадку навпаки деформація при бічному навантаженні залишилася майже незмінною, а вигин при фронтальному дещо змінив характер та зменшив амплітуду. Щоб знизити одразу і те, і інше, інсталюємо задні бічні діагоналі та проводимо симулляцію (рис. 14, 15).

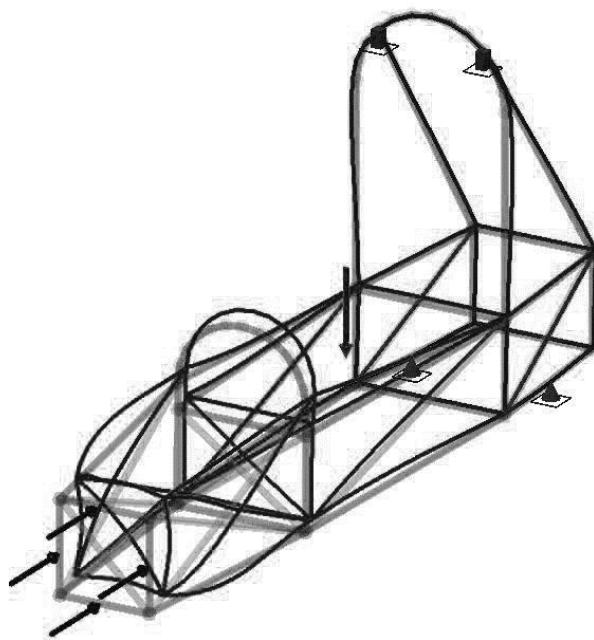


Рисунок 14 – Четверта конфігурація рами – фронтальне навантаження

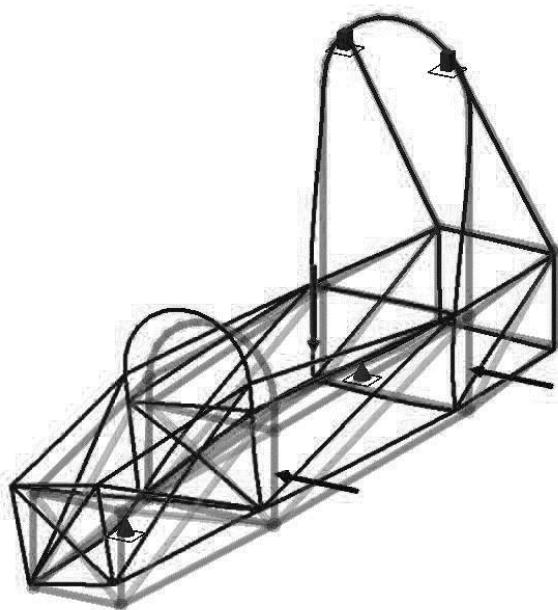


Рисунок 15 – Четверта конфігурація рами – бічне навантаження

Аналіз наведених результатів симуляції показує, що змінився характер деформації при фронтальному навантаженні. Деформація за бічного навантаження змістилася близьче до першої секції, майже втричі знизилась її амплітуда. За результатами симуляцій остання модифікація виявилась найвдалішою та має оптимальний характер деформацій.

Висновки. У роботі розглянуто загальній підхід до створення та аналізу моделі рами спортивного автомобіля. Запропонована технологія створення тривимірної параметричної каркасно-векторної моделі рами спортивного автомобіля та елементів жорсткості у САПР Autodesk Inventor Professional. З використанням створеної комп’ютерної моделі проведено тестування моделі рами в за допомогою методу скінченних елементів. Послідовно розглянуто аналіз деформації при фронтальному та бічному навантаженні для різних варіантів конфігурації рами автомобіля. Аналіз дозволив знайти оптимальну конфігурацію рами спортивного автомобіля. Запропонована методика дозволяє створити основу для розробки комп’ютерної програми вибору найбільш оптимального варіанту конструкції рами автомобіля, що є завданням подальших досліджень.

Список використаних джерел: 1. Michael Costin, David Phipps. Racing and sports car chassis design. – London: B. T. Batsford ltd, 1965, – 146с. 2. Фентон Дж. Несущий каркас

кузова автомобиля и его расчет. – М.: Машиностроение, 1984. – 200 с. **3.** S.V. Rusnak, V.V. Khamray, M.A. Novak. Computer simulation and calculation of a sporting car frame. /Праці Одеського політехнічного університету: – Одеса, 2012. – Вип. 2(39). – с 101-103.
4. Tom Trembli Autodesk Inventor 2013 и Inventor LT 2013. Основы. Официальный учебный курс /. – М.: ДМК-Пресс, 2013. – 348 с. **5.** Curtis Waguespack. Mastering Autodesk Inventor 2014 and Autodesk Inventor LT 2014. – Sybex, 2013. – 1032 р.

Bibliography (transliterated): **1.** Michael Costin, David Phipps. Racing and sports car chassis design. – London: V.T. Batsford ltd, 1965, – 146 s. **2.** Fenton Dzh. Nesushhij karkas kuzova avtomobilja i ego raschet. – М.: Mashinostroenie, 1984. – 200 с. **3.** S.V. Rusnak, V.V. Khamray, M.A. Novak. Computer simulation and calculation of a sporting car frame. /Praci Odes'kogo politehnichnogo universitetu: – Odesa, 2012. – Vip. 2(39). – s. 101-103.
4. Tom Trembli Autodesk Inventor 2013 i Inventor LT 2013. Osnovy. Oficial'nyj uchebnyj kurs /. – M.: DMK-Press, 2013. – 348 s. **5.** Curtis Waguespack. Mastering Autodesk Inventor 2014 and Autodesk Inventor LT 2014. – Sybex, 2013. – 1032 p.

УДК 004.925.8

A.E. ЯКОВЕНКО, канд. техн. наук,
П.С. НОСОВ, канд. техн. наук, Херсон, Украина

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ В 3D МОДЕЛИРОВАНИИ ОРТЕЗНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Запропоновано технологічні рішення моделювання та виготовлення ортезних пристосувань з використанням систем автоматизованого проектування групи CAD (Computer Aided Design) – CAM (Computer Aided Design).

Рассмотрены технологические решения моделирования и изготовления ортезных приспособлений с использованием систем автоматизированного проектирования группы CAD (Computer Aided Design) – CAM (Computer Aided Design).

The technological decisions of design and making of orteznykh adaptations are considered with the use of group of CAD (Computer Aided Design) – CAM (Computer Aided Design).

Введение. Во многих странах созданы такие условия, что работающие инвалиды составляют в среднем половину лиц от общего количества людей с ограниченными возможностями, в том числе стомированные больные, у которых опорожнение кишечника происходит через искусственно созданный орган (стому). Стома не имеет сфинктера и лишена нервных окончаний, поэтому стомированные инвалиды не чувствуют позывов и не могут контролировать процесс опорожнения, а также не испытывают боли на выведенном отрезке кишки. Однако кожа вокруг стомы весьма чувствительная, и болевые ощущения, жжение или зуд, могут быть связаны с раздражением именно кожи вокруг стомы.

Проблем с кожей у стомированных инвалидов огромное количество. Ежедневное отклеивание и приkleивание действует крайне разрушительно на кожу, верхние слои кожи истончаются, появляются раздражение, покраснение.

Если вокруг стомы имеются **неровности**, то их заполняют специальными дорогостоящими пастами.

Практически нет инвалидов, у которых бы не возникал контактный дерматит, покраснение, мацерация, небольшие эрозии, пузырьки. Не секрет, что такие инвалиды просто терпят боль, не предполагая даже, что можно жить и без нее.

Стомированные люди обладают большим жизненным потенциалом, так как у них нет увечий, резко ограничивающих физические или умственные способности, они не требуют социальной изоляции, как психические больные, а своевременное оказание разносторонней помощи в решении их проблем, способствует полному возвращению их к нормальному, полноценному образу жизни.

Поэтому решение проблемы надежного крепления стомийного мешка или стомийной пластины к поверхности кожи при *неправильном расположении стомы, втянутости или неровности* без применения дорогостоящих паст представляет собой актуальную задачу, которую авторы исследования предлагают решить с помощью современных доступных компьютеризированных устройств и современных систем автоматизированного проектирования.

Материал и результаты исследования. В рамках исследования предполагается выполнение ряда этапов, с применением систем автоматизированного проектирования группы CAD (Computer Aided Design) – CAM (Computer Aided Design).

Процесс создания индивидуального слепка для пациента может видоизменяться ввиду сложности объекта и использования различных материалов, механических структурных узлов. Процесс можно разбить на 4 этапа:

Сканирование объекта, анализ и обработка полученных данных: объектом для сканирования может выступать как сам пациент, так и уже готовый (или специально созданный пробный) слепок, просто поместив его под сканер. Особенность такого подхода к сканированию позволяет использовать 3D -сканеры меньших размеров и без непосредственного участия пациента.

При помощи фотографий или их множества можно также получить рельеф стомы. Из 2D растрового изображения, возможно, создать барельеф. Для этой задачи идеально подходит программа семейства

Delcam Artcam. Благодаря тонкой и оптимальной настройке, можно получить слепок среднего качества, то есть на порядок ниже и к тому же требует специального программного обеспечения, часы ручной работы по подгонке и оптимизации модели полученной таким образом через фотографию.

При этом возникает ряд проблем связанных с компоновкой стандартных клапанов и пластин вокруг стомы.

Решением данной проблемы может быть создание индивидуальной пластины под «неровности» поверхности тела инвалида используя данные 3D сканирования.

Проанализировав существующие технологические решения при изготовлении указанных пресс-форм, можно выделить два направления: применение 3D принтеров и использование станков с ЧПУ [11-12].

Программа FeatureCAM предлагает на выбор большое количество разнообразных материалов, среди которых имеется широкий спектр полимерных материалов. Важным фактором является и то, что присутствует возможность указывать параметры материала вручную. Выбор материала необходимый для определения параметров обработки, скорости подачи и скорости обращения фрезы, выбор инструмента.

Создание физической 3D модели слепка стомы:

Как ранее описывалось, 3D модель можно выточить из ряда различных материалов или напечатать на 3D принтере.

3D принтер только начал свой путь к массовому использованию, к тому же есть большое множество принтеров различных технологий и модификаций, каждый со своими преимуществами и недостатками. Таким образом, принтеры с низкой точностью, или неподходящим материалом для печати, может ухудшить качество создаваемого изделия и свести на «нет» кропотливую работу специалистов.

Не смотря на такие недостатки, 3D принтеры дают больше возможностей, а малые размеры слепка позволяют напечатать его почти на любом существующем 3D принтере, доступном на рынке.

С этой же задачей справится станок ЧПУ при наличии необходимых миниатюрных фрез (рис. 1). Есть возможность дополнить программу

черновыми и чистовыми этапами при помощи смены фрез и стратегий обработки, установке количества проходов, шага и т.д.



Рисунок 1 – Использование станка с ЧПУ

Дополнение крепежей и функциональных отверстий в готовую модель.

Изготовление и установка зажимов и других узлов системы: не менее важная составляющая. Возможно их создание или печать, либо использование существующих. В зависимости от применяемого вида, может быть использована различная комбинация функциональных отверстий и крепежных систем.

После процесса сканирования при помощи 3D-сканера необходимой области стомы тела пациента, обрабатывается для дальнейшего создания слепка (рис. 2).

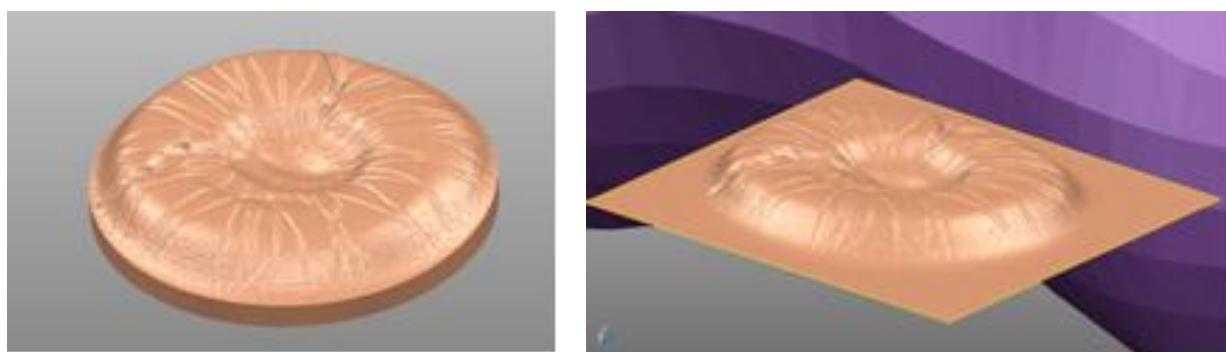


Рисунок 2 – Сканирование стомы

Операция создания слепка выполняется на основе полученной части тела. Заготовка для слепка может претерпевать изменения в зависимости от характера области стомы (рис. 3).

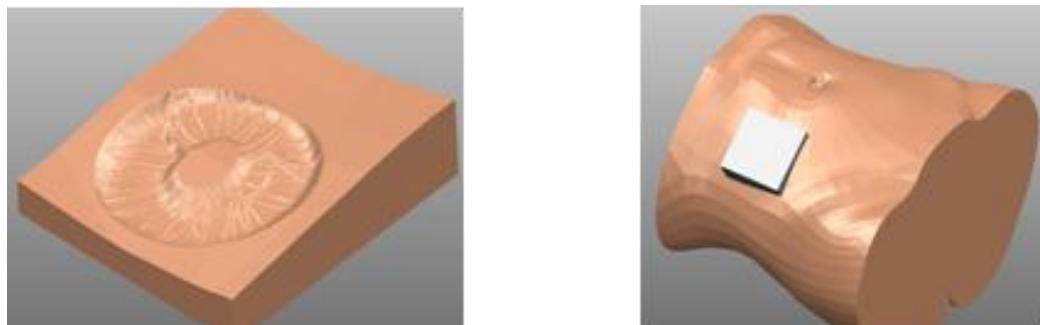


Рисунок 3 – Создание 3D слепка стомы

Полученный 3D слепок получает оптимальную форму и внутреннее функциональное отверстие.

Далее создаются необходимые узлы соединения, по возможности уменьшается объем слепка, сглаживаются острые углы.

Максимально малый 3D слепок помогает как в экономии материала на его изготовления, так и на скорости его печати/изготовления. Появляется возможность печати партии таких объектов за один сеанс. При этом чем меньше слепок, тем он более удобен и эргономичен.

На обратную сторону слепка фиксируются компоненты клапана. Конечный вариант металлических компонентов может быть изменен и масштабирован, также как и слепок может получить стандартный размер и первичную форму (рис. 4).

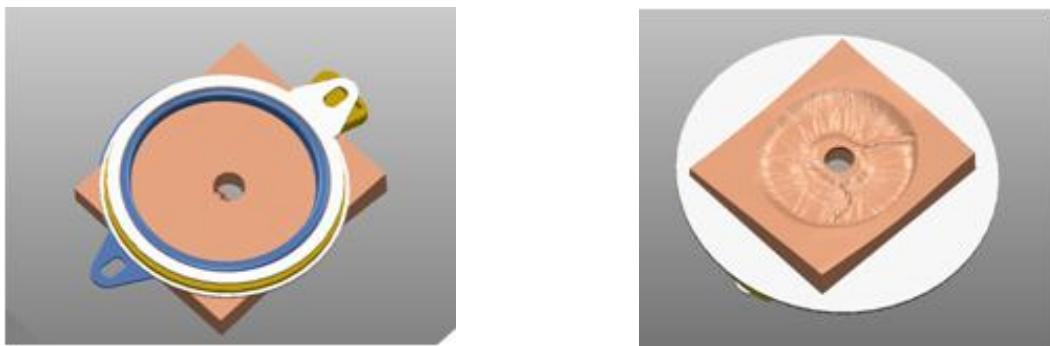


Рисунок 4 – Комплект индивидуальноспроектированной стомийної пластины

Модель 3D слепка экспортируется из CAD Delcam PowerShape в CAM Delcam Featurecam. Для транзита используется формат *.STL.

В формате *.STL модель представлена в виде набора треугольных полигонов и вершин, часто используется для создания на ее основе программ управления станков и 3D-принтеров (рис. 5).



Рисунок 5 – Создание управляющей программы для станка с ЧПУ

CAM Delcam Featurecam представляет широкий объем инструментов для создания программы обработки.

Текущее изделие будет изготовлено из пластика на двухмерном станке ЧПУ или 3D-принтере. В случае с вариантом изготовления изделия на станке ЧПУ, будут применены две операции (черновая и чистовая), с различными фрезами в каждом отличающимся размером для достижения скорости и максимальной детализации выфрезеровываемого изделия (рис. 6)

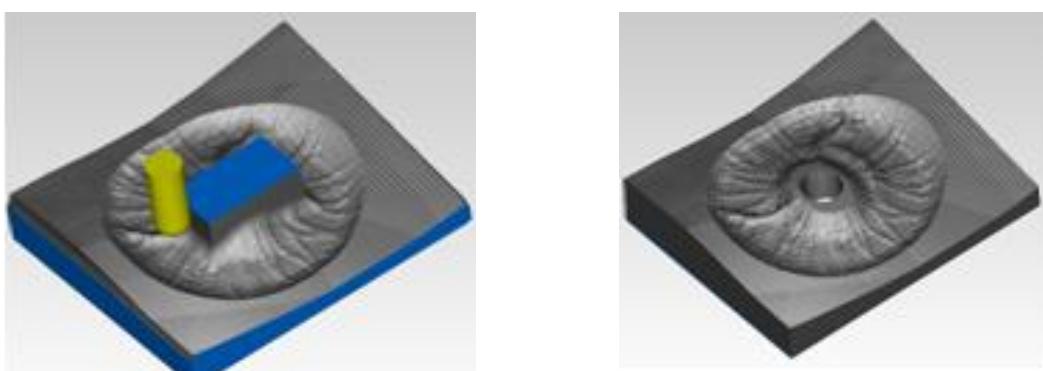


Рисунок 6 – Процесс фрезерования 3D слепка на станке с ЧПУ

Выводы. Применение указанных в статье подходов и технологических решений требуют практического обоснования в ходе создания прототипов стомийных пластин и клапанов.

Дальнейшие исследования будут направлены на анализ эксплуатационных характеристик разработанных прототипов.

Синтез экспериментальных данных позволит выработать конечный, замкнутый жизненный цикл изготовления индивидуальной стомийного комплекта, обеспечив более высокий уровень жизнедеятельности инвалидов.

Список использованных источников : 1. Голубева, М.Ю. Реабилитация пациентов со стомой. Проблемы и решения. [Текст] / М.Ю. Голубева, В.Г.Суханов. – Москва, 2001. 2. Основы медико-социальной реабилитации инвалидов [Текст] / (Под общ. ред. О.С. Андреевой) – М., 2003. 3. Яковенко, О.Є. Як жити зі стомою? [Текст] / О.Є. Яковенко: Посібник для стомованих хворих. – Херсон: НКЦ «Полін», 2007. – 24 с. 4. Тонконогий, В.М. Информационные технологии проектирования в ортопедии [Текст] / В.М. Тонконогий, Е.В. Савельева, А.В. Бец. Інф. техн. в освіті, науці та виробн. Зб. наук. пр. – Вип. 1(2) – Одеса. 2012: АО "Бахва", С. 182-188. 5. Носов, П.С. 3D Моделирование конструкции ортопедического корсета в Delcam PowerShape-FeatureCam. [Текст] / П.С. Носов. Вісник ХДМА. Збірник наукових праць. Вип. – Херсон: ХДМА, № 1(8) – С. 241-247.

Bibliography (transliterated): 1. Golubeva, M.Ju. Reabilitacija pacientov so stomoj. Problemy i reshenija. [Tekst] / M.Ju. Golubeva, V.G.Suhanov. – Moskva, 2001. 2. Osnovy mediko-social'noj reabilitacii invalidov [Tekst] / (Pod obshh. red. O.S. Andreevoj) – M., 2003. 3. Jakovenko, O.Є. Jak zhiti zi stomoju? [Tekst] / O.Є. Jakovenko: Posibnik dlja stomovanih hvorih. – Herson: NKC «Polin», 2007. – 24 s. 4. Tonkonogij, V.M. Informacionnye tehnologii proektirovaniya v ortopedii [Tekst] / V.M. Tonkonogij, E.V. Savel'eva, A.V. Bec. Inf. tehn. v osviti, nauci ta virobni. Zb. nauk. pr.. – Vip. 1(2) – Odesa. 2012: AO "Bahva", S. 182-188. 5. Nosov, P.S. 3D Modelirovanie konstrukcii ortopedicheskogo korseta v Delcam PowerShape-FeatureCam. [Tekst] / P.S. Nosov. Visnik HDMA. Zbirnik naukovih prac'. Vip. – Herson: HDMA, № 1(8) –S. 241-247.

ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ

УДК 621.924

***В.А. ЗАЛОГА*, д-р техн. наук,
В.В. НАГОРНИЙ,
А.М. ТУР, Суми, Україна**

ПРОГРАМНО-АПАРАТНИЙ КОМПЛЕКС ДІАГНОСТИКИ МЕТАЛООБРОБНОЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ

Контроль і діагностування стану металообробної технологічної системи є одним з найбільш важливих завдань автоматизованого виробництва. У статті розглядається один з таких програмно-апаратних комплексів, призначений для контролю стану металообробної технологічної системи. Комплекс дозволяє: контролювати якість виготовлення деталі; прогнозувати момент підналагодження або заміни інструменту; визначати напрацювання верстата до зупинки його на ремонт, а також і причину ремонту.

Контроль и диагностирование состояния металлообрабатывающей технологической системы является одной из наиболее важных задач автоматизированного производства. В статье рассматривается один из таких программно-аппаратных комплексов, предназначенный для подобного контроля состояния металлообрабатывающей технологической системы. Комплекс контролирует качество изготовления детали, прогнозирует момент подналадки или замены инструмента, а также определяет наработку станка до остановки его на ремонт и причину ремонта.

Monitoring and diagnosing the state of the metal processing system is one of the most important tasks of automated production. The main function of the control system, diagnose the current state of technological processing system is to predict the moment of replacement tool parts avoiding the defect parts and unplanned downtime technological system associated with the replacement of the cutting tool, or failure of the corresponding structural parts of the machine. To perform this task, you need the following information: condition of the workpiece; the amount of tool wear; condition of the machine with the position of his performance. Operation of control systems is subject to a specific algorithm, which is put into them with the appropriate software. The bearer of this software is the hardware part of these systems, which is a fixed, portable, and often embedded microprocessor devices. The

combination of programs and their carriers - hardware - is called hardware and software systems. It is the examination of that hardware-software complex and the subject of this article.

Вступ. Контроль і діагностування стану металообробної технологічної системи є одним з найбільш важливих завдань автоматизованого виробництва. Основною функцією системи контролю, що діагностує поточний стан технологічної обробної системи, є прогнозування моменту її підналагодження або заміни інструменту, що дозволяє уникати браку деталі та незапланованих простоїв технологічної системи, пов'язаних з заміною різального інструменту, або виходу з строю відповідної конструктивної частини верстату.

Для виконання цього завдання необхідна наступна інформація про:

- стан оброблюваної деталі ;
- величину зношування інструменту;
- стан верстата з позиції його працездатності.

Функціонування контролюючих систем підпорядковується певному алгоритму, який закладається в них за допомогою відповідного програмного забезпечення. Носієм цього програмного забезпечення є апаратна частина цих систем, яка представляє собою стаціонарні, переносні, а, найчастіше, вбудовані мікропроцесорні пристрой. Комбінація програм і їх носіїв – апаратних засобів – носить називу програмно-апаратні комплекси.

Саме розгляду такого апаратно-програмного комплексу (рис. 1) і присвячена дана стаття.

Програмна складова комплексу. Програмна складова комплексу (рис.2) реалізує певний алгоритм контролю технічного стану металообробної технологічної системи, який забезпечує:

- управління процесом збору необхідної для аналізу вхідної інформації;
- оперативну обробку в режимі поточного часу масиву зареєстрованої інформації;
- оцінювання якості обробки деталі;
- прогноз стійкості інструменту;

- прогноз часу напрацювання верстата до підналагодження або ремонту із зазначенням причини цього
- ремонту;
- відачу результатів діагностування на екран дисплея та їх збереження у вигляді текстового файлу.

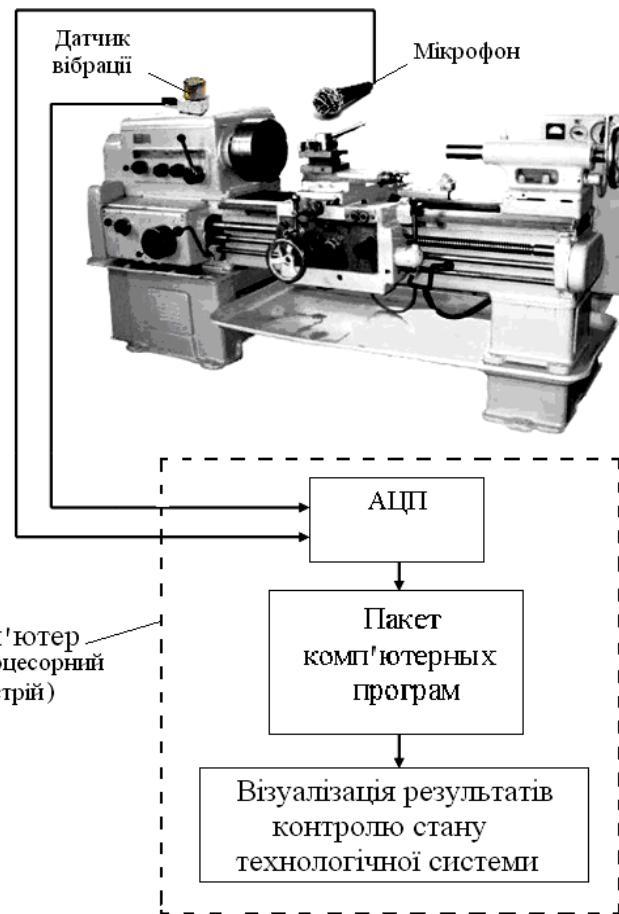


Рисунок 1 – Схема програмно - апаратного комплексу

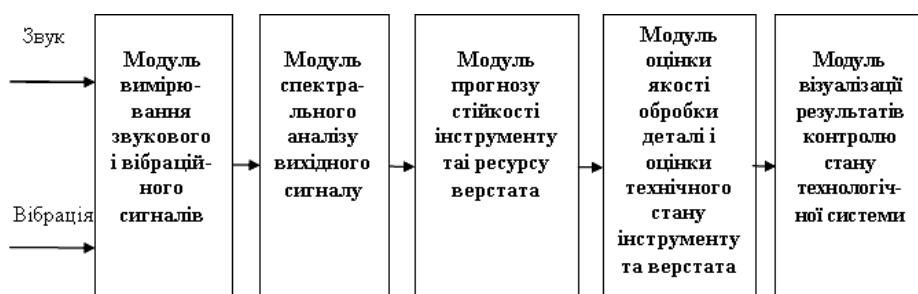


Рисунок 2 – Модулі, які складають програмну частину комплексу

Для забезпечення універсальності програмного комплексу по відношенню до апаратних засобів він побудований за модульним принципом (рис.2) і реалізований на декількох алгоритмічних мовах: Турбо Паскаль, Делфі, Сі і JAVA. Останній варіант комплексу розрахований на мікропроцесорні пристрой, що працюють на платформі Android.

Модуль вимірювання звукового і вібраційного сигналів. У даному модулі (рис. 3) вхідна інформація реєструється по декількох каналах: по одному з них фіксується звуковий сигнал, що супроводжує процес різання, а по іншим – вібросигнали, які надходять з датчиків, встановлених в потрібних контрольних точках верстата. Для скорочення об'єму інформації, що реєструється, та підвищення оперативності контролю можна обмежитися (якщо цього достатньо) і однією контрольною точкою, розміщеною, наприклад, на передній бабці верстата, в якій розташовані зубчасті передачі.

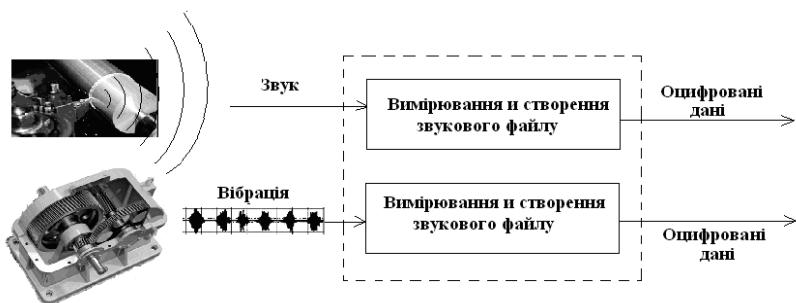


Рисунок 3 – Модуль вимірювання звукового і вібраційного сигналів

Модуль спектрального аналізу. У даному модулі здійснюється спектральний аналіз вхідних сигналів за допомогою швидкого перетворення Фур'є. При цьому визначається амплітудний спектр віброшвидкості для вібросигналу і амплітуди звукового тиску для звукового сигналу.

Модуль прогнозу стійкості інструменту і ресурсу верстата. У даному модулі по однаковому алгоритму у процесі мінімізації значення функціоналу (1), знаходиться або стійкість інструменту або ресурс верстата.

$$U = \sum_{i=1}^m [P^P(\tau_i) - P^\phi(\tau_i)]^2, \quad (1)$$

де $P^\phi(\tau)$ – фактичний параметр сигналу (тиск звуку $E_{3B}^\phi(\tau)$ або рівень $A^\phi(\tau)$ вібрації), які вимірюються при функціонуванні технологічної системи;

$P^P(\tau)$ – розрахунковий параметр сигналу;

m – кількість порівнюваних вимірюваних і розрахованих значень параметра сигналу.

Розрахункове значення параметра $P^P(\tau)$ визначається за допомогою апроксимаційної моделі (2) [1]:

$$P^P(\tau) = P^\phi(\tau_0) \left[1 \pm \alpha \left(\frac{\tau - \tau_0}{T - \tau} \right)^\beta \right], \quad (2)$$

де T – стійкість інструменту, або ресурс станка;

$P^\phi(\tau_0)$ – рівень звукового тиску, або рівень вібрації, зареєстровані на початку процесу обробки деталі (на початку функціонування верстату);

τ_0, τ – тривалість механічної обробки деталі (тривалість функціонування верстату), відповідно, на момент першого (виходного) і поточного контролів їх станів;

α, β – параметри апроксимаційної моделі.

Модуль оцінки якості. У даному модулі за допомогою кумулятивних безрозмірних комплексних параметрів – індикаторів – кількісно описується якісні показники функціонування технологічної системи (табл. 1).

Точність форми деталі оцінюється за допомогою індикатора якості форми $a_{\phi\delta}(\tau)$ [2] (табл.1). Параметри даної залежності (α, β, T) знаходяться при мінімізації функціоналу (1). Індикатор $a_{\phi\delta}(\tau)$ змінюється від нуля (при $\tau_i = \tau_0$), коли інструмент «гострий», до одиниці (при $\tau_i = T$), коли інструмент потребує заміни.

На рис.4 наведено графік зміни індикатора якості $a_{\phi\delta}(\tau)$, реалізованого при поздовжньому точенні. Аналіз показує, що індикатор якості форми деталі протягом основного часу роботи інструменту змінюються незначно, маючи величину, близьку до 0.5. Різке збільшення

значення індикатору якості форми свідчить про необхідність припинення процесу обробки для запобігання браку деталі у зв'язку з досягненням ступеня зношування інструменту до його недопустимої величини.

Таблиця 1 –Індикатори, які використовуються для оцінки якості функціонування технологічної системи

Елемент технологічної системи	Індикатор	Формула
Деталь	Точність форми деталі [2]	$a_{\phi\delta}(\tau) = \frac{(\tau - \tau_0)^\beta}{(\tau - \tau_0)^\beta + (T - \tau)^\beta}$
	Шорсткість оброблюваної поверхні	$a_{III} = 125 \frac{S^2}{r_s} a_{BK}$
Різальний інструмент	Поступове зношування леза інструменту	$F_{IH} = \alpha \bar{A} + \beta \bar{V}$
	Викишування леза	$a_{BK} = \frac{\tau - \tau_0}{T_d - \tau_0} [2]$
Комплексний вплив на технічний стан інструменту процесів зношування і викишування його леза		$a_{КОМП} = a_{BK} + F_{IH} - a_{BK} \cdot F_{IH}$
Верстат	Ступінь розвитку дефектів верстата	$F_{iD} = \alpha \bar{A} + \beta \bar{V}$

Якість технічного стану різального інструменту прийнято характеризувати такими параметрами: «добре», «прийнятне», «допустиме», «вимагає підналагодження» і «вимагає заміни» (табл. 2). Кількісно ці стани описуються за допомогою дискримінантної (класифікуючої) функції F_{IH} [3] (табл.1). Ця формула має слідуючи складові: $\bar{A} = \frac{E_{3B}(\tau) - E_{3B}(\tau_0)}{E_{3B}(T) - E_{3B}(\tau_0)}$ – ступінь зміни рівня звукового тиску; $\bar{V} = \frac{T_u - \tau_0}{T_d - \tau_0}$ – швидкість зміни рівня звукового тиску; $E_{3B}(T)$ – рівень звукового тиску на час заміни інструменту; T_d – дійсна стійкість

інструменту (напрацювання інструменту до його заміни); T_n – прийнята (нормативна) стійкість інструменту; α, β – вагові коефіцієнти ($\alpha + \beta = 1$).

Величини вагових коефіцієнтів уточнюються в ході експлуатації технологічної системи і при відсутності накопиченого досвіду експлуатації рекомендовано приймати рівними 0,5.

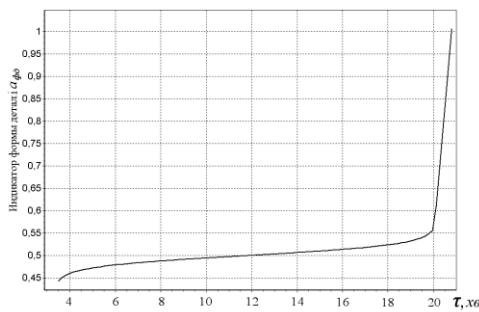


Рисунок 4 – Зміна індикатора якості форми деталі $a_{\phi\delta}$ в залежності від тривалості поздовжнього точіння

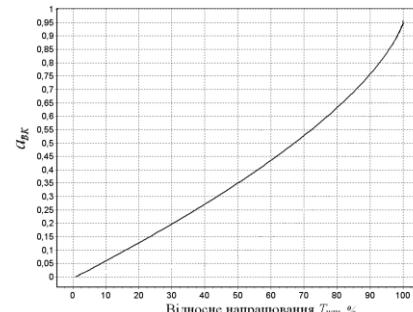


Рисунок 5 – Зміна індикатора викришування (відколу) a_{BK} в залежності від тривалості фрезерування

Співвідношення між якісною і кількісною характеристиками стану інструменту наведено у табл. 2.

Таблиця 2 – Співвідношення між якісною і кількісною характеристиками технічного стану інструменту

«добре»	«прийнятне»	«допустиме»	«вимагає підналагодження»	«вимагає заміни»
0.0 – 0.41	0.41–0.63	0.63–0.90	0.90–1.0	> 1.0

Класифікуюча функція F_{II} характеризує поступову зміну стану інструменту в наслідок його зношування. Однак, на стан інструменту істотно впливає і викришування різальної кромки леза. Це явище кількісно описується за допомогою індикатора викришування a_{BK} (див. табл.1).

Результати розрахунку індикатора a_{BK} наведено на рис. 5. У якості вихідних для розрахунку даних використовувалася інформація, отримана при фрезеруванні циліндричною фрезою, в ході якого було реалізовано відкол зуба фрези. З графіка витікає, що індикатор a_{BK} по мірі зростання

тривалості різання, змінюється від нуля до одиниці в момент відколу зуба фрези.

Якщо індикатор a_{BK} помножити на величину параметра R_z , що характеризує шорсткість оброблюваної поверхні, то можна отримати індикатор, який буде характеризувати якість обробленої поверхні. Параметр R_z розраховується за наступною відомою емпіричною залежністю, яка запропонована професором Чебишевим В.Н.[4]:

$$a_{III} = 125 \frac{S^2}{r_e} a_{BK}, \text{МКМ}$$

де S – подача, мм/об;

r_e – радіус вершини різця, мм.

Класифікуюча функція F_{III} і індикатор викришування a_{BK} змінюються від нуля до одиниці, тому їх можна розглядати як імовірнісні події. Оцінимо ймовірність їхнього спільного наставання при різанні. Вважаючи ці події незалежними, отримаємо наступний вираз для індикатора a_{KOMP} , що характеризує комплексний вплив на технічний стан інструменту його поступового зношування і викришування (див. табл. 1).

Оцінка технічного стану верстатного обладнання здійснюється по аналогії з методикою діагностування різального інструменту за допомогою класифікуючої функції (табл. 1) та шляхом використання співвідношень між якісними і кількісними характеристиками стану інструменту, наведеними у табл. 2.

Застосування класифікуючої функції дозволяє об'єднати простоту вже достатньо широко прийнятого в промисловості, наприклад, для обертових машин типу компресор, методу діагностування на основі норм віброактивності з точністю діагнозу, що одержується шляхом обчислення швидкості зміни технічного стану верстатного обладнання.

Алгоритм, реалізований програмним забезпеченням даного модуля, передбачає виділення в спектрі вібросигналу тих частотних складових, що реагують на появу і розвиток дефектів верстата. Часові ряди, складені з амплітуд цих частотних складових – інформаційних гармонік – апроксимуються за допомогою моделі (2).

У ході цієї апроксимації визначаються ресурси вузлів верстата, на дефекти яких реагують контролювані інформаційні гармоніки. Далі розраховуються величини класифікуючих функцій, що характеризують ступінь критичності технологічного стану кожного з підконтрольних вузлів верстата.

Модуль візуалізації результатів контролю стану технологічної системи. У даном модулі на екран дисплея виводяться лінійчаті індикатори (рис. 6), які змінюються зліва направо. Індикатори характеризують якість обробки деталі (формули (3) і (6)), стан інструменту (формули (4), (5) і (7)) і стан вузлів верстата (формула (4)).



Рисунок 6 – Інформація про стан металообробної системи, яка виводиться на дисплей монітору

Апаратна частина комплексу. Дано частина комплексу складається з датчика вібрації, мікрофону та комп’ютера. На рис. 7 показано макет апаратної частини комплексу, а на рис. 8 наведено приклад використання програмно – апаратного комплексу при контролі стану технологічної системи в процесі фрезерування циліндричною фрезою.

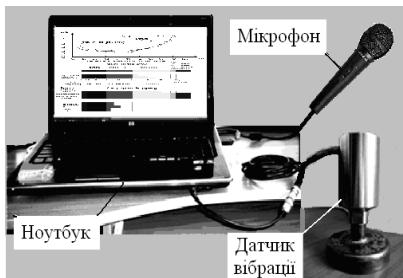


Рисунок 7 – Макет аппаратної частини програмно-апаратного комплексу

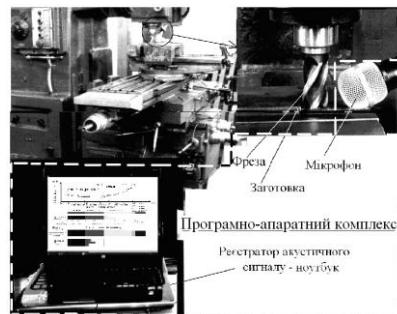


Рисунок 8 – Контроль звуку, супроводжуючого процес фрезерування, за допомогою аппаратної частини програмно-апаратного комплексу

Датчик вібрації та мікрофон (рис. 7 і 8) перетворюють коливання та звуковий тиск в електричні сигнали. Ці сигнали подаються на комп'ютер, де вони піддаються спектральному і логічному аналізу за допомогою розглянутого раніше програмного оснащення даного аппаратно – програмного комплексу, яке забезпечує:

- реєстрацію зміни звуку та вібрації в часі;
- розрахунок і будування спектрів звуку та вібрацій верстату;
- розрахунок терміну експлуатації різального інструменту та наробітку верстату до його зупинки на ремонт чи підналагодження;
- контроль якості обробки деталі, технічного стану інструменту та верстату зі збереженням усіх даних у текстовому файлі;
- відображення результатів контролю у наглядній формі на екрані дисплею;
- подачу звукового сигналу у разі досягнення технологічною системою критичного стану, пов'язаного або з якістю обробки деталі, або з технічними станами різального інструменту та верстату;
- документування результатів діагностування у вигляді «Протоколу ...», що зберігається в текстовому файлі.

Висновки. Розроблено програмно-апаратний комплекс та методику його використання, які дозволяють діагностувати та контролювати стан елементів металообробної технологічної системи у режимі реального часу, що є одним із найбільш важливих завдань автоматизованого виробництва.

Основною функцією цього комплексу є прогнозування моменту підналагодження тих елементів технологічної системи, стан яких наближається до критичного. Це дозволяє уникати браку деталі та незапланованих простоїв обробної технологічної системи, пов'язаних з її налагодженням або заміною різального інструменту.

Список використаних джерел: **1.** Залога В.А. Оценка степени износа инструмента методом вибродиагностики / В.В. Нагорный, В.А. Залога // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. – 2011. – № 4. – С. 88-96. **2.** Залога В.А. Расчёт индикаторов разрушения режущего инструмента / В.В. Нагорный, В.А. Залога // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. – 2012. – № 2. – С. 101-111. **3.** Нагорний В.В. Розробка системи технічного діагностування машин / В.В. Нагорний, // Міжнародна науково-практична конференція «Комп’ютерні науки для інформаційного суспільства». – Луганськ : Вид-во «Ноулідж», 2010.-С.178-180. **4.** Гребень В. Г. Резание материалов: конспект лекций / В.Г. Гребень, П.Е. Попов – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2011. – 76 с.

Bibliography (transliterated): **1.** Zaloga V.A. Ocenna stepeni iznosa instrumenta metodom vibrodiagnostiki / V.V. Nagornyyj, V.A. Zaloga // Visnik Sums'kogo derzhavnogo universitetu. Serija Tehnichni nauki. – 2011. – № 4. – S. 88-96. **2.** Zaloga V.A. Raschjot indikatorov razrushenija rezhushhego instrumenta / V.V. Nagornyyj, V.A. Zaloga // Visnik Sums'kogo derzhavnogo universitetu. Serija Tehnichni nauki. – 2012. – № 2. – S. 101-111. **3.** Nagornij V.V. Rozrobka sistemi tehnichnogo diagnostuvannja mashin / V.V. Nagornij // Mizhnarodna naukovo-praktichna konferencija «Komp'yuterni nauki dlja informacijnogo suspil'stva». – Lugans'k: Vid-vo «Noulidzh», 2010.-S.178-180. **4.** Greben' V.G. Rezanie materialov: konspekt lekcij / V.G. Greben', P.E. Popov – Omsk: Izd-vo OmGTU, 2011. – 76 s.

УДК 378.147

М.С. САФОНОВ,

О.Є. ЯКОВЕНКО, канд. техн. наук, Херсон, Україна

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ВПРОВАДЖЕННЯ ТА ТЕСТУВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПОТОКАМИ ДАНИХ В ІСНУЮЧУ ІНФОРМАЦІЙНУ СИСТЕМУ

Проведено аналіз системи управління потоками даних на основі наступних п'яти коефіцієнтів якості роботи системи: відмовостійкість системи, прогнозованість системи, стабільність росту черги обробки запитів, актуальність даних та відсутність помилкового виконання. В процесі використання агентів та агентно-орієнтованого методу управління потоками даних встановлено, що робота системи є більш стабільною та прогнозованою в порівнянні з класичним методом обробки всіх даних на сервері без використання розподілених баз даних.

Проведен анализ системы управления потоками данных на основе следующих пяти коэффициентов качества работы системы: отказоустойчивость системы, прогнозируемость системы, стабильность роста очереди обработки запросов, актуальность данных и отсутствие ошибочного выполнения. В процессе использования агентов и агентно-ориентированного метода управления потоками данных было установлено, что работа системы является более стабильной и прогнозируемой по сравнению с классическим методом обработки всех данных на сервере без использования распределенных баз данных.

The analysis of a management system by data streams on the basis of following five coefficients of quality of system operation is carried out: fail safety of system, прогнозируемость systems, stability of growth of queue of handling of requests, an urgency of the data and absence of erratic performance. In the course of usage of agents and the agentno-oriented management method by data streams it has been installed that system operation is handling of all data more stable and predicted in comparison with a classical method on the server without usage of the distributed databases.

Існуючі на сьогоднішній день методи тестування програмного забезпечення (ПЗ) не дозволяють однозначно й повністю виявити всі дефекти й установити коректність функціонування аналізованої програми,

тому всі існуючі методи тестування діють у рамках формального процесу перевірки досліджуваного або розроблюваного ПЗ.

Такий процес формальної перевірки або верифікації може довести, що дефекти відсутні з погляду використованого методу. Тобто немає ніякої можливості точно встановити або гарантувати відсутність дефектів у програмному продукті з урахуванням людського фактору, який присутній на всіх етапах життєвого циклу ПЗ.

Існує безліч підходів до вирішення завдання тестування й верифікації ПЗ, але ефективне тестування складних програмних продуктів — це процес найвищою мірою творчий, що не зводиться до наслідування визначенням і чітким процедуром або створенню таких.

З погляду ISO 9126, якість ПЗ можна визначити як сукупну характеристику досліджуваного ПЗ з урахуванням наступних складових: надійність, супроводжуваність, практичність, ефективність, мобільність, функціональність.

Вичерпне тестування (тобто перебір усіх можливих варіантів виконання) для будь-якої нетривіальної програми неможливо [1].

Після проведення аналізу результатів впровадження системи управління потоками даних в інформаційну систему Херсонського політехнічного коледжу Одеського національного політехнічного університету (ХПТК ОНПУ), принципи та механізми роботи якої викладені в матеріалах [2, 3], узагальнимо результати дослідження.

Аналіз був проведений на основі наступних п'яти коефіцієнтів якості роботи системи: відмовостійкість системи (k_1); прогнозованість системи (k_2); стабільність росту черги обробки запитів (k_3); актуальність даних (k_4) та відсутність помилкового виконання запитів (k_5), які визначаються за наступними формулами. Коефіцієнт k_1 :

$$k_1 = \frac{\sum_{i=1}^N t_i - \sum_{i=1}^{N_{\text{el}}} t_{i,\text{el}}}{\sum_{i=1}^N t_i} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де t_i — час виконання i -го завдання ($i \in \overline{1, N}$);

$t_{i\text{ed}}$ – час виконання i-го завдання під час критичного навантаження робочої станції.

Коефіцієнт k_2 визначається як відношення відхилення емпіричної функції від прогнозованої. В такому випадку k_2 виступає в якості критерію Пірсона. Коефіцієнт k_3 :

$$k_3 = \frac{\left| \sum_{i=1}^N o_i - \frac{\sum_{i=1}^N o_i}{N} \right|}{N \max(o_i)} \cdot 100\%, \quad (2)$$

де o_i – кількість запитів в черзі в момент i ($i \in \overline{1, N}$). Коефіцієнт k_4 :

$$k_4 = \frac{\sum_{j=1}^{N_s} z_j - \sum_{j=1}^{N_s} h_j}{\sum_{j=1}^{N_s} z_j} \cdot 100\%, \quad (3)$$

де h_j – кількість неактуальних даних в j-й сутності,

z_j – загальна кількість даних в j-й сутності, які мають властивість оновлюватися. Коефіцієнт k_5 :

$$k_5 = \frac{\sum_{j=1}^{N_s} p_j - \sum_{j=1}^{N_s} e_j}{\sum_{j=1}^{N_s} p_j} \cdot 100\%, \quad (4)$$

де p_j – кількість виконаних запитів в момент j,

e_j – кількість виконаних запитів з помилками або неактуальними даними в момент j.

Визначимо 3 основні вимоги до роботи системи:

Пріоритет відмовостійкості (F). Виконання завдань в процесі найменшої завантаженості робочої станції за допомогою агентів.

Пріоритет швидкості (S). Виконання завдань з урахуванням найменших витрат часу із застосуванням агентно-орієнтованого методу управління потоками даних в базах даних (БД). Метод описан в статтях [4, 5].

Пріоритет навантаження на головну систему управління (ГСУ) (T). Без застосування агентів. Всі дані відправляються до серверу з ГСУ та оброблюються безпосередньо на ньому.

Так як задача найкращого розподілу вагових коефіцієнтів полягає в найвдалішому упорядкуванні додаткових вимог за їх важливістю, а після впровадження системи управління потоками даних враховуються 3 вимоги (F, S, T), то всього можливих упорядкувань (перестановок з 3 елементів), а значить і різних пріоритетів роботи, буде $3! = 6$. Розшифруємо значення всіх пріоритетів:

– (F, T, S) – робота з агентами з відправленням всіх даних та обробкою їх безпосередньо в ГСУ. Агенти виконують завдання за розкладом тільки в момент слабкого навантаження робочої станції.

– (S, T, F) – робота з використанням агентно-орієнтованого методу управління потоками даних. Агенти не використовуються. ГСУ безпосередньо виконує обробку даних та управляє віддаленими БД.

– (F, S, T) – використання на всіх робочих станціях агентів та агентно-орієнтованого методу управління потоками даних. Всі обробки даних виконуються на робочих станціях в момент їх слабкого навантаження.

– (T, F, S) – використання локальних незв'язаних агентів для виконання правил на відокремлених БД. ГСУ та агентно-орієнтований метод управління потоками даних не використовуються. Завдання агентами виконуються в момент слабкого навантаження на робочу станцію.

– (S, F, T) – використання на всіх робочих станціях агентів та агентно-орієнтованого методу управління потоками даних. Всі обробки даних виконуються на робочих станціях в момент надходження команди, незважаючи на їх рівень навантаження.

– (T, S, F) – робота без агентів. Агентно-орієнтований метод управління потоками даних використовується як допоміжний при надсиланні даних до БД від ГСУ. Рівень навантаження робочої станції не враховується.

На основі аналізу та обробки отриманих експериментальних оцінок всіх шести сформованих послідовностей за кожним з 5 коефіцієнтів якості

k_i (табл. 1, рис. 1), були задані відношення домінування, тобто ступені переваги для кожної пари пріоритетів (табл. 2).

Таблиця 1 – Результати аналізу якості обраних пріоритетів обробки послідовностей даних

Розклад (x_i)\Коефіцієнти якості (k), %	x_1 (F, T, S)	x_2 (S, T, F)	x_3 (F, S, T)	x_4 (T, F, S)	x_5 (S, F, T)	x_6 (T, S, F)
відмовостійкість системи (k_1)	100	90	100	95	90	92
прогнозованість системи (k_2)	99	60	100	93	72	84
стабільність росту черги обробки запитів (k_3)	90	99	99	85	100	90
актуальність даних (k_4)	90	100	89	85	100	100
відсутність помилкового виконання запитів (k_5)	99	100	100	100	100	99

Отримане відношення домінування є нечітким, тобто для кожної пари пріоритетів (x_i, x_j) визначається $R(x_i, x_j)$ – кількість коефіцієнтів, в яких має перевагу x_i , та $R(x_j, x_i)$ – кількість коефіцієнтів, в яких має перевагу x_j [6], причому виконання коефіцієнту k_1 вдвічі важливіше за виконання всіх інших коефіцієнтів якості.

Для розв'язання задачі упорядкування отриманих пріоритетів за зменшенням їх параметрів якості була використана формула (5), яка характеризує ступінь переваги даного пріоритету роботи системи

управління потоками даних, тобто зводить оцінки за різними коефіцієнтами в одну [7]:

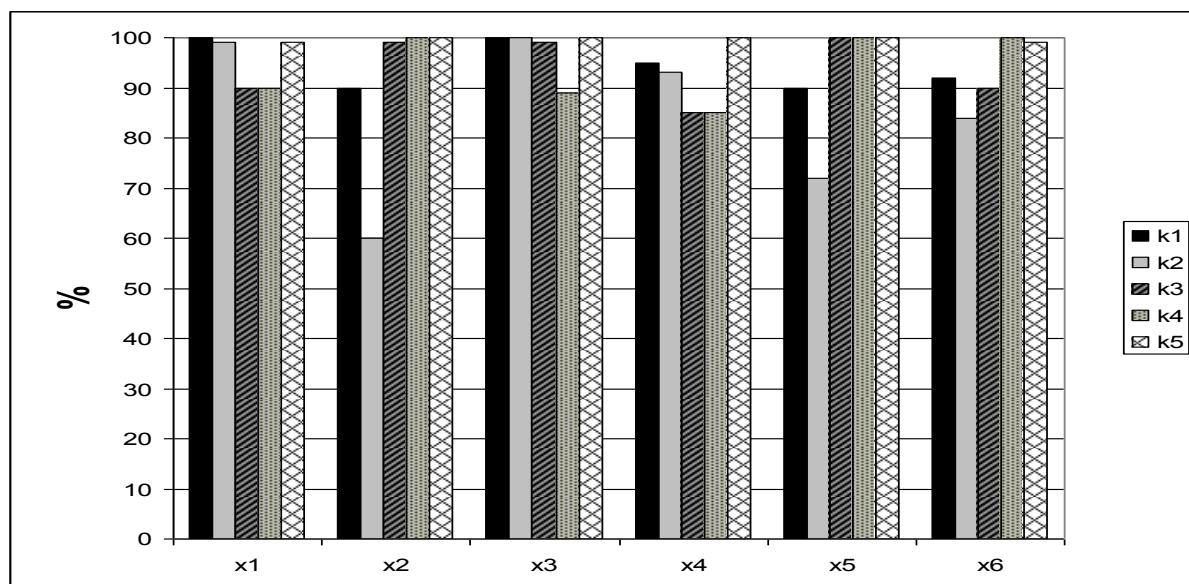


Рисунок 1 – Діаграма розподілу значень коефіцієнтів якості

Таблиця 2 – Відношення домінування $R(x_i, x_j)$

x_i	x_j					
	x_1 (F, T, S)	x_2 (S, T, F)	x_3 (F, S, T)	x_4 (T, F, S)	x_5 (S, F, T)	x_6 (T, S, F)
x_1 (F, S, T)	-	2	2	4	2	4
x_2 (S, F, T)	3	-	3	3	3	3
x_3 (F, T, S)	4	4	-	5	3	4
x_4 (T, F, S)	1	3	1	-	3	3
x_5 (S, T, F)	3	5	3	3	-	3
x_6 (T, S, F)	3	3	1	2	3	-

$$\phi(x_i) = \min_{j(j \neq i)} \frac{R(x_i, x_j)}{R(x_j, x_i)}. \quad (5)$$

Для відношення $R(x_i, x_j)$ табл. 2 маємо:

$$\phi(x_1) = \min \left\{ \frac{2}{3}, \frac{2}{4}, \frac{4}{1}, \frac{2}{3}, \frac{4}{3} \right\} = 0,5 \quad (6)$$

$$\phi(x_2) = \min \left\{ \frac{3}{2}, \frac{3}{4}, \frac{3}{3}, \frac{3}{5}, \frac{3}{3} \right\} = 0,6 \quad (7)$$

$$\phi(x_3) = \min \left\{ \frac{4}{2}, \frac{4}{3}, \frac{5}{1}, \frac{3}{3}, \frac{4}{1} \right\} = 1 \quad (8)$$

$$\phi(x_4) = \min \left\{ \frac{1}{4}, \frac{3}{3}, \frac{1}{5}, \frac{3}{3}, \frac{3}{2} \right\} = 0,2 \quad (9)$$

$$\phi(x_5) = \min \left\{ \frac{3}{2}, \frac{5}{3}, \frac{3}{3}, \frac{3}{3}, \frac{3}{3} \right\} = 1 \quad (10)$$

$$\phi(x_6) = \min \left\{ \frac{3}{4}, \frac{3}{3}, \frac{1}{4}, \frac{2}{3}, \frac{3}{3} \right\} = 0,25 \quad (11)$$

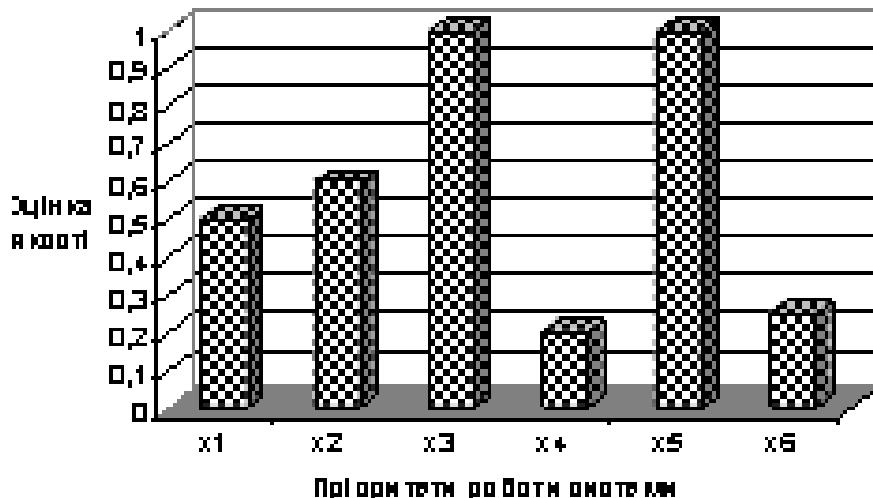


Рисунок 2 – Зведені оцінки якості пріоритетів x_i роботи системи що приводить до наступного впорядкування: $x_1, x_5, x_2, x_3, x_4, x_6$ (рис. 2).

Згідно рис. 2 отримуємо, що в процесі використання агентів та агентно-орієнтованого методу управління потоками даних, робота системи є більш стабільною та прогнозованою в порівнянні з класичним методом обробки всіх даних на сервері без використання розподілених БД.

Таким чином, в результаті впровадження системи управління потоками даних в інформаційну систему ХПТК ОНПУ, була підвищена ефективність роботи локальних автоматизованих систем управління.

Це дозволило зменшити пікове навантаження на робочі станції на 8%. Час сканування всіх БД та пошук потрібної інформації зменшився на 5%. Час виконання складних запитів до розподілених БД зменшився на 14 % (рис. 3).

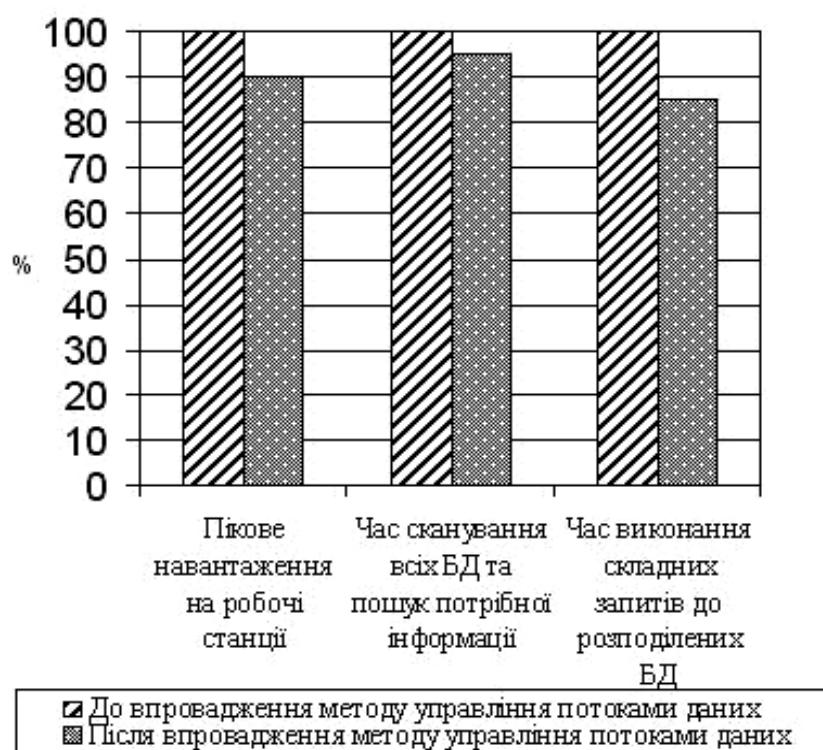


Рисунок 3 – Порівняльна діаграма використання агентно-орієнтованого методу управління потоками даних

Список використаних джерел: 1. Тестирование программного обеспечения [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://social.msdn.microsoft.com/Forums/ru-ru/fordesktopru/thread/e750a78b-0c1f-4766-81a2-7cea9b4b3ea2> (08.04.14). 2. Сафонов М.С. Метод реінжинірингу інформаційної системи з використанням об'єктів управління [Текст] / М.С. Сафонов // Збірник наукових праць / Електротехнічні та комп'ютерні системи — Вип. 13(89) — Київ, 2014 — С. 105-113. 3. Сафонов М.С. Використання об'єктів

керування для оптимізації потоків інформації в мережевих базах даних з різною архітектурою [Текст] / М.С. Сафонов, О.Є. Яковенко, С.О. Савченко // Збірник наукових праць / Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві — Вип. 1 — Одеса, 2012 — С. 60-62. **4.** Сафонов М.С. Імітаційне моделювання обробки даних в інформаційній системі [Текст] / М.С. Сафонов // Збірник наукових праць / Восточно-европейский журнал передовых технологий — Вип. 2/4(68) — Харків: Технологічний Центр, 2014 — С. 37-42. **5.** Сафонов М.С. Моделирование управления потоками данных в информационной системе [Текст] / М.С. Сафонов, А.Е. Яковенко // Сборник научных трудов / Труды Одесского политехнического университета / Компьютерные и информационные сети и системы — Вип. 1 — Одесса, 2013 — С. 97 – 103. ISSN 2076-2429. **6.** Гмурман В.Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике [Текст] / В.Е. Гмурман — М.: Высш. шк., 1999. – 225 с. **7.** Ягер Р.Р. Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения [Текст] / Р.Р. Ягер — М.: Радио и связь, 1986. – 408 с.

Bibliography (transliterated): **1.** Testirovanie programmnogo obespechenija [Elektronniy resurs] — Rezhim dostupu: <http://social.msdn.microsoft.com/Forums/ru-ru/fordesktopru/thread/e750a78b-0c1f-4766-81a2-7cea9b4b3ea2> (08.04.14). **2.** Safonov M.S. Metod reinzhiniringu informacijnoї sistemi z vikoristannjam ob'ektiv upravlinnja [Tekst] / M.S. Safonov // Zbirnik naukovih prac' / Elektrotehnichni ta komp'juterni sistemi — Vip. 13(89) — Kiїv, 2014 — S. 105-113. **3.** Safonov M.S. Vikoristannja ob'ektiv keruvannja dlja optimizacii potokiv informaciї v merezhevih bazah danih z riznoju arhitekturoju [Tekst] / M.S. Safonov, O.Є. Jakovenko, S.O. Savchenko // Zbirnik naukovih prac' / Informacijni tehnologii v osviti, nauci ta virobniictvi — Vip. 1 — Odesa, 2012 — S. 60-62. **4.** Safonov M.S. Imitacijne modeljuvannja obrobki danih v informacijniy sistemi [Tekst] / M.S. Safonov // Zbirnik naukovih prac' / Vostochno-evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij — Vip. 2/4(68) — Harkiv: Tehnologichnj Centr, 2014 — S. 37-42. **5.** Safonov M.S. Modelirovanie upravlenija potokami dannyh v informacionnoj sisteme [Tekst] / M.S. Safonov, A.E. Jakovenko // Sbornik nauchnyh trudov / Trudy Odesskogo politehnicheskogo universiteta / Komp'juternye i informacionye seti i sistemy — Vip. 1 — Odessa, 2013 — S. 97 – 103. ISSN 2076-2429. **6.** Gmurman V.E. Rukovodstvo k resheniju zadach po teorii verojatnostej i matematicheskoj statistike [Tekst] / V.E. Gmurmam — M.: Vyssh. shk., 1999. – 225 c. **7.** Jager R.R. Nechetkie mnozhestva i teorija vozmozhnostej. Poslednie dostizhenija [Tekst] / R.R. Jager — M.: Radio i svjaz', 1986. – 408 s.

УДК 629.12

A.B. УСОВ, д-р техн. наук
Е.Ю. КУТЯКОВ, Одеса, Украина

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРАНСМИССИЙ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

У статті розглянуті дослідження впливу технологічних параметрів на експлуатаційні властивості зубчатих передач трансмісій. Показано вплив термомеханічних явищ на формування якості поверхневого шару зубчатих передач з урахуванням видів їх обробки, встановлено вплив їх на тріщино- та припікоутворення на основі кількісного аналізу теплового та пружного стану.

В статье изложены исследования влияния технологических параметров на эксплуатационные свойства зубчатых передач трансмиссий. Показано влияние термомеханических явлений на формирование качества поверхностного слоя зубчатых передач с учетом предшествующих видов их обработки, установление влияния их на трещино- и прижогообразование на основе количественного анализа теплового и напряженного состояния.

In article researches of influence of technological parameters on operational properties of tooth gearings of transmissions are stated. Influence of the thermomechanical phenomena on formations of quality of a blanket of tooth gearings taking into account previous types of their processing, establishment of their influence on treshchino-and a prizhogoobrazovaniye on the basis of the quantitative analysis thermal and a tension is shown.

Постановка проблемы. При эксплуатации колесных транспортных средств, как в промышленном назначении, так и в частном пользовании, доля отказов агрегатов трансмиссии, согласно [1], составляет 10-15% от суммарных потоков отказов, неизбежно сопровождающих эксплуатацию автомобилей. Основываясь на указанных цифрах сложно утверждать, что агрегаты трансмиссии существенным образом могут влиять на транспортный процесс, в частности, на общую эксплуатационную надежность автомобиля. Однако, наряду с относительно высокой

надежностью, на восстановление работоспособности силовых узлов трансмиссии в случае наступления их аварийных отказов требуется до 40% от суммарных материальных и трудовых затрат, необходимых для выведения транспортной единицы из аварийных состояний на протяжении всего срока ее эксплуатации.

Таким образом, трансмиссия автомобиля остается хоть и относительно надежной при эксплуатации, но все же достаточно дорогостоящей системой при ее восстановлении. Поэтому вопросы, связанные с увеличением ресурса агрегатов трансмиссии автомобиля, а также с разработкой методов снижающих тяжесть последствий их аварийных отказов, в частности, с разработкой методов их предупреждения, на сегодняшний день продолжает быть актуальной.

Цель и задачи статьи. В конструкции трансмиссий, устанавливаемых на современные автомобили, несмотря на все более широкое применение автоматических коробок передач, в которых используются фрикционные, основным элементом по-прежнему остается зубчатая передача. Она используется для передачи крутящего момента в механической коробке передач, а также для постоянного его увеличения в главной передаче. Кроме этого, коническое зацепление используется в межколесных и межосевых дифференциальных механизмах, для распределения крутящего момента.

Исходя из изложенного выше, следует сформулировать, что целью данной статьи является освещение путей и методов увеличения ресурса трансмиссии автомобиля посредством увеличения ресурса зубчатых передач.

Основная часть. В зависимости от компоновочной схемы автомобиля, которые представлены на рисунке, зубчатое зацепление может использоваться в следующих агрегатах (рис. 1):

- в механической коробке передач, в случае механической трансмиссии;
- в раздаточной коробке, в случае полноприводной компоновки;
- в межосевом дифференциальном механизме, в случае полноприводной компоновки.

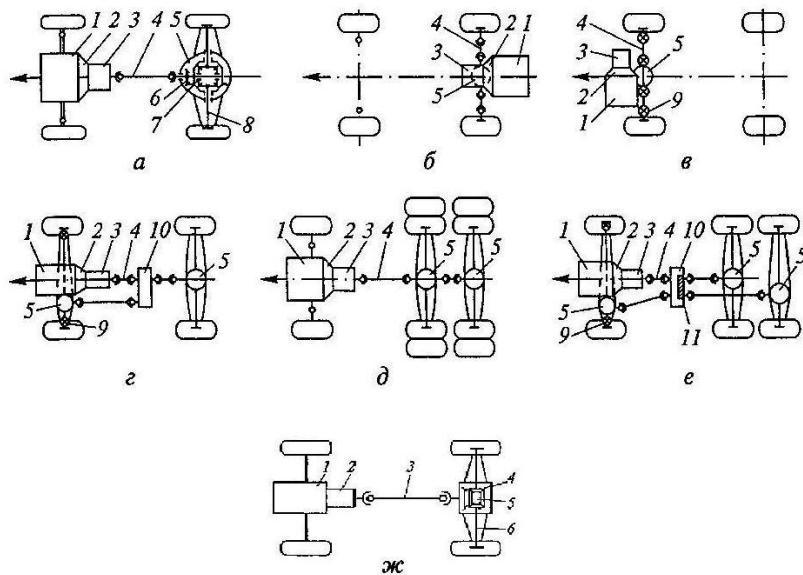


Рисунок 1 – Компоновочні схеми трансмісій автомобілів
с різними колесними формулами

а – задньоприводний автомобіль з колесною формулою 4x2;

б – задньоприводний автомобіль з заднім розташуванням двигуна, 4x2;

в – передньоприводний автомобіль, 4x2; *г* – повноприводний автомобіль
підвищеної проходимості, 4x4; *д* – задньоприводний автомобіль підвищеної
проходимості, 6x4; *е* – повноприводний автомобіль високої проходимості,
6x6; *жс* – задньоприводний автомобіль з автоматичною трансмісією, 4x2

1 – двигатель; 2 – сцепление (для схемы *жс* – гидромеханическая коробка
передач); 3 – коробка передач; 4 – карданная передача (для схемы *жс* – 3);

5 – ведущий мост; 6 – главная передача (для схемы *жс* – 4);

7 – дифференциал (для схемы *жс* – 5); 8 – полуоси (для схемы *жс* – 6);

9 – карданный шарнир; 10 – раздаточная коробка;

11 – межкосевой дифференциал

Независимо від компоновочної схеми транспортного засобу, во всіх легкових і грузових автомобілях зубчатое зацепление применяется в главной передаче и межколесном дифференциальном механизме.

Механическая коробка переключения передач (МКПП) (также как и автоматическая и роботизированная) предназначена для изменения крутящего момента, развиваемого двигателем, как по величине (в большинстве случаев в сторону увеличения), так и по направлению. На сегодняшний день в механических коробках передач наибольшее

распространение получила цилиндрическая косозубая передача, поскольку этот вид эвольвентного зацепления по сравнению с прямозубыми передачами, при равной расчетной мощности имеет меньшие габариты и, следовательно, вес. Тем не менее, в истории французской компании Citroen имеется опыт применения в МКПП шевронного зацепления.

На большегрузных автомобилях для увеличения ступеней, и как следствие, улучшения приспособляемости двигателя к изменению дорожных условий спереди и сзади МКПП могут устанавливаться дополнительные коробки – делители. В них также применяются цилиндрические косозубые передачи. Кроме этого, данный вид передач наравне с цепной передачей может применяться и в раздаточных коробках.

Межосевые дифференциальные механизмы, устанавливаемые в полноприводных автомобилях, предназначены для распределения крутящего момента между ведущими осями. В них могут использоваться все основные виды зубчатых передач: цилиндрические, конические и червячные.

Главная передача, устанавливаемая абсолютно на всех современных автомобилях, предназначена для постоянного увеличения крутящего момента двигателя и его передачи ведущим колесам. Передаточное число главной передачи (3,5...5) должно обеспечивать легковому автомобилю максимальную скорость при включенной высшей, передаче. От его величины зависят не только тягово-скоростные свойства автомобиля, но и расход топлива.

Главная передача легкового автомобиля образуется двумя шестернями: ведущей малого и ведомой большого диаметра. В зависимости от типа зубчатых колес и зацеплений главная передача может быть цилиндрической, конической и гипоидной. Цилиндрические главные передачи устанавливают на переднеприводных автомобилях в общем картере с коробкой передач, дифференциалом и сцеплением. Такие передачи наиболее просты в изготовлении, дешевы и не требуют применения специальных трансмиссионных масел.

Меньшими габаритами по сравнению с цилиндрическими обладают конические главные передачи. При небольших размерах и более прочных

зубьях шестерен они позволяют передавать крутящий момент под углом 90°.

Наибольшее распространение в современных автомобилях получили так называемые гипоидные передачи. Основным преимуществом и особенностью этого вида передач по сравнению с другими видами является более низкое расположение оси ведущей шестерни, чем оси ведомой (оси шестерен перекрещиваются). Указанное позволяет понизить расположение оси карданной передачи, что увеличивает полезный объем кузова при классической компоновке автомобиля. В этом случае также понижается и центр масс автомобиля, что повышает устойчивость его движения, и как следствие, безопасность.

Межколесные дифференциальные механизмы предназначены для распределения крутящего момента между колесами ведущей оси. Однако в отличие от межосевых дифференциалов в этих узлах используется преимущественно конические передачи планетарного типа.

Основной текст. Установление связей между важнейшими эксплуатационными свойствами деталей (износостойкость, усталостная и длительная прочность, контактная жесткость и др.) и технологическими параметрами – микрорельефом обработанной поверхности, микротвердостью, наличием микротрещин, сколов, глубиной распространения упрочнения рабочего слоя зубчатых зацеплений представляет собой одну из важнейших задач технологии машиностроения.

Изучение влияния только механической обработки на эксплуатационные свойства изделий является недостаточным, так как предшествующие виды обработок (термическая, термомеханическая, химико-термическая и др.) и особенно способы получения заготовок, вносят существенный вклад в изменение свойств поверхностного слоя, подвергающегося в последствии механической обработке.

Разработка проблемы технологической наследственности является основой нового научного и практического направления в технологии машиностроения, имеющего целью повышение эксплуатационных качеств деталей машин технологическими методами в самом процессе изготовления деталей.

Возможности повышения эффективности эксплуатации зубчатых зацеплений машин на 15-25% только за счет рационального назначения методов и режимов механической обработки, без изменения конструкции изделия или его материала и без введения дополнительных технологических операций показаны в ряде фундаментальных исследований.

Сложность процессов, протекающих в металле приповерхностного слоя, подверженного механической обработке, а также при эксплуатации этих деталей делает необходимым рассмотрение проблемы технологической наследственности только на операции окончательной обработки.

Наиболее распространенным методом окончательной обработки является шлифование, обеспечивающее высокую точность и высокую производительность изготовления деталей.

Но с применением шлифования связано появление в поверхностных слоях деталей прижогов, трещин, стягивающих напряжений, что значительно влияет на надежность и долговечность этих деталей, в процессе их эксплуатации /2/.

Задача улучшения качества поверхностного слоя шлифуемых изделий решается в настоящее время следующими методами /3/;

– осуществляется подбор рациональных для данного материала режимов шлифования и соответствующих характеристик инструмента;

– применяются шлифовальные круги и ленты с прерывистой рабочей поверхностью;

– используются системы автоматического регулирования активной мощности резания;

– рекомендуются СОС, снижающие в значительной мере теплонапряженность операции шлифования и тем самым вероятность появления прижогов и трещин.

Однако указанные методы при существующей технологии изготовления в том числе и в связи с появлением композиционных материалов не позволяют полностью исключить дефекты, возникающие в поверхностном слое. Этому способствуют: неизбежные колебания припуска от погрешностей предшествующих операций механической

обработки; микронеоднородность самого материала, характеризующаяся величиной зерна, дефектами упаковки, дислокациями и структурными превращениями, коробление деталей при термической и ей подобной обработке, недостаточно изучены термомеханические явления, сопровождающие процесс шлифования и вследствие которых на обрабатываемых поверхностях появляются прижоги, микротрешины, структурные превращения, остаточные напряжения.

Исследование термомеханических явлений, формирующих качество поверхностного слоя зубчатых передач с учетом предшествующих видов их обработки, установление влияния их на трещино- и прижогообразование на основе количественного анализа теплового и напряженного состояния и составляют сущность данных исследований /4/.

В настоящей работе:

1. Анализируются известные результаты о формировании напряженного состояния в поверхностном слое зубчатых передач при шлифовании указываются недостатки в рекомендациях по устранению дефектов типа трещин.

2. Разрабатываются более совершенные модели для изучения количественных связей между параметрами технологической системы физико-механическими свойствами материалов зубчатых передач, их структурой и термомеханическими процессами происходящими в поверхностном слое шлифуемых деталей.

3. На основе установленных соотношений и предлагаемой классификации материалов зубчатых передач по признаку трещино- и прижогообразования, надежности их эксплуатационных свойств в зависимости от технологических дефектов, привнесенных в поверхностный слой на финишных и предшествующих ей операциях, разрабатываются оптимальные технологические параметры по обработке деталей трансмисси, существенно предрасположенных к появлению в поверхностном слое дефектов, типа трещин, сколов, прижогов.

4. Практическая ценность полученных результатов проверяется путем сравнения с известными результатами по адекватным критериям. Для подтверждения основополагающих выводов проводится

непосредственный эксперимент на модельных материалах при обработке их шлифованием.

Выводы. Проведенные сравнения подтверждают практическую значимость созданного аналитического аппарата для анализа термомеханических процессов в поверхностных слоях шлифуемых изделий с учетом предшествующих видов обработки и структуры материала. Построенная модель базируется на фундаментальных физических законах. Она позволяет определять рациональное сочетание технологических параметров по заданным свойствам материалатрансмиссии, требованиям к обрабатываемой поверхности, исходя из эксплуатационных характеристик, свойств инструмента.

Одним из конкретных результатов работы является установление закономерностей появления шлифовочных дефектов типа трещин и прижогов в зависимости от наследственности и типа обрабатываемого материала передач его неоднородности и способы их устранения соответствующим подбором параметров технологической системы.

Список использованных источников: 1. Кузнецов Е.С. Техническая эксплуатация автомобилей/ Е.С. Кузнецов, А.П. Болдин, Е.М. Власов. – М.: Наука, 2001. – 535 с. 2. Якимов А.В. Теплофизика механической обработки // А.В. Якимов, А.В. Усов, П.Т. Слободянник К., "Наукова думка", 1991. – с.270. 3. Усов А.В. Моделирование систем с распределенными параметрами // А.В. Усов, А.Н. Дубров, Д.В. Дмитришин. Одесса, "Астропринт" 2002г.–664 с. 4. Оборский Г.А. Моделирование систем [Монография]// Г.А. Оборский, А.Ф. Дащенко, А.В. Усов, Д.В. Дмитришин. – Одесса: Астропринт, 2013. – 661 с.

Bibliography (transliterated): 1. Kuznecov E.S. Tehnicheskaja ekspluatacija avtomobilej/ E.S. Kuznecov, A.P. Boldin, E.M. Vlasov. – M.: Nauka, 2001. – 535s. 2. Jakimov A.V. Teplofizika mehanicheskoj obrabotki // A.V. Jakimov, A.V. Usov, P.T. Slobodjanik K., "Naukova dumka", 1991. – s.270. 3. Usov A.V. Modelirovaniye sistem s raspredelennymi parametrami // A.V. Usov, A.N. Dubrov, D.V. Dmitrishin. Odessa, "Astroprint" 2002. □–664 s. 4. Oborskij G.A. Modelirovaniye sistem [Monografija]// G.A. Oborskij, A.F. Dashhenko, A.V. Usov, D.V. Dmitrishin. □Odessa:Astroprint, 2013. – □661 s.

УДК 621.9

B.A. ФАДЕЕВ, д-р техн. наук, профессор, Харьков, Украина

РЕЗУЛЬТАТИВНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ КАЧЕСТВА

У статті розглядається діюча процедура опису й аналізу результатів контролю якості продукції та результативності системи якості. Описано процеси управління, спрямовані на поліпшення якості продукції та підвищення результативності системи якості.

В статье рассматривается действующая процедура описания и анализа результатов контроля качества продукции и результативности системы качества. Описаны процессы управления, направленные на улучшение качества продукции и повышение результативности системы качества.

The article discusses current arrangements for the description and analysis of quality control and effectiveness of the quality system. We describe the management processes to improve product quality and increase the effectiveness of the quality system.

Целью работы является повышение эффективности производства продукции машиностроения с учетом оценки результативности функционирования системы качества изготовления деталей.

Рассмотрена действующая процедура описания и анализа результатов контроля качества продукции и результативности системы качества. Установлена периодичность проведения такого анализа. Описаны процессы управления, направленные на улучшение качества продукции и повышения результативности системы качества.

Входными данными для проведения анализа результативности системы качества являются: результаты внутренних аудитов системы качества и аудитов, проводимых органом по сертификации, данные о проверках эффективности отдельных процессов системы качества, сведения о реализации мер корректирующего и предупреждающего воздействия и оценке их результативности, сведения о факторах, которые могут потребовать внесения изменений в систему качества, результаты реализации решений, принятых по выводам предшествующего анализа, а

также предложения и рекомендации по совершенствованию системы качества.

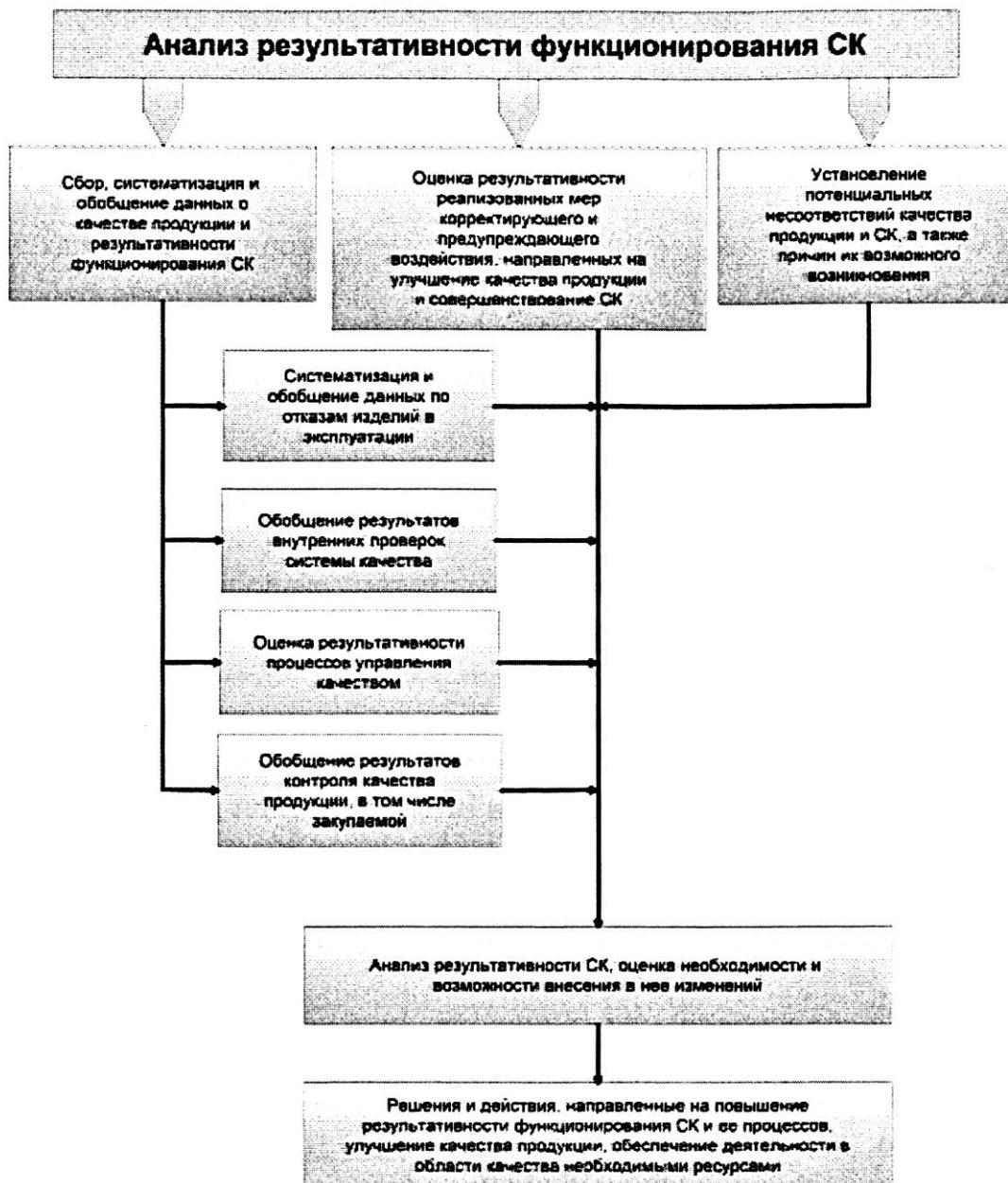


Рисунок 1 – Аналіз результативності функціонування системи якості

Выходными данными анализа являются решения по действиям с несоответствующей продукцией, а также решения, направленные на повышение результативности функционирования системы качества и ее процессов, улучшение качества продукции и обеспечение деятельности предприятия соответствующими ресурсами. Типовая структурно-

логическая схема процесса "Анализ результативности функционирования системы качества" приведена на рисунке 1.

В документации системы качества должны быть изложены процедуры описания материалов, полуфабрикатов, комплектующих изделий и элементов конструкции продукции с несоответствиями, предоставлены формы документов для регистрации решений по этой продукции. Также необходимо иметь перечень видов несоответствий и принятие решений.

Система качества машиностроительного производства как часть общей системы управления предприятием, может эффективно работать и приносить наибольшую выгоду, если ее поддерживают современные технологии, разработанные и внедренные на предприятии в соответствии со спецификой его запросов и уровня развития.

Построение системы качества мы осуществляем по стандарту ISO 9001:2008 при помощи имитационного моделирования. Основными требованиями данного стандарта есть выполнение процессов представленных на рисунке 2:



Рисунок 2 – Процессы стандарта ISO 9001:2008

Для разработки системы качества изготовления деталей необходимо следовать только процессам жизненного цикла.

При разработке системы качества необходимо использовать рекомендации стандарта ISO 9004:2000.

На основе этого можно построить предположительную схему системы качества изготовления деталей машиностроительного производства и связать ее с типовой схемой процессного подхода, тем самым обеспечив непрерывность процессов (рис. 3).



Рисунок 3 – Схема системы качества изготовления деталей инструментального производства

Построить правильную взаимосвязь всех процессов предприятия в данной ситуации затруднительно, но при помощи матрицы процессов можно показать основные взаимосвязи процессов предприятия.

Этот вид описания предусматривает построение матрицы процессов управления качеством и матрицы распределения обязанностей, полномочий и ответственности за функционирование системы качества между управляющим персоналом производства.

Матрица процессов управления качеством устанавливает состав процессов, их взаимосвязь и определяет необходимые входные и выходные потоки.

Достоинство указанного вида описания – наглядное и компактное отображение процессов управления качеством и их взаимосвязи.

Пример матрицы процессов управления качеством приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Матрица процессов управления качеством

Наименование процессов	Организация управления качеством	Управление ресурсами	Управление производством продукции	Контроль качества продукции и результативности функционирования СК
	Входные данные			
Организация управления качеством	в	-	Политика в области качества. Обеспеченность ресурсами	Политика в области качества. Документы СК. Политика в области качества. Мероприятия по улучшению качества. Документы СК.
Управление ресурсами	х о д н ы е	Сведения о наличии и качестве ресурсов	-	Подготовленный персонал. Производственная инфраструктура.
Управление производством продукции	д а н н ы е	Требования заказчика. Нормативные требования	Заявки подразделений на персонал. Требования к инфраструктуре.	Подготовленный персонал. Производственная инфраструктура. Продукция. Документы на продукцию.
Контроль качества продукции и результативности функционирования СК		Результаты контроля качества продукции и результативности СК.	Заявки на обеспечение персоналом, осуществляющим контроль.	Заключение о качестве продукции.

Результаты. В результате проведенной работы представлена действующая процедура рассмотрения и анализа результатов контроля качества продукции и результативности системы качества. Установлена периодичность проведения такого анализа. Описаны процессы управления, направленные на улучшение качества продукции и повышения результативности системы качества.

С помощью матрицы процессов управления качеством можно установить их взаимосвязи и определить необходимые входные и выходные потоки информации.

Список использованных источников: 1. Басовский Л.Е., Протасьев В.Б. / Управление качеством: Учебник. - М: ИНФРАМ, 2001. – 212 с. 2. Туркин В.Г., Герасимов Б.И., Жариков В.Д. / Качество машиностроительной продукции / Под науч. ред. Б.И. Герасимова. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. – 104с. 3. Управление качеством. Учебник / С. Д. Ильинкова, Н. Д. Ильинкова, С. Ю. Ягудин и др. / Под ред. доктора экономических наук, профессора Ильинковой С. Д. - М.: ЮНИТИ. 4. Бастрыкин Д.В., Евseyчев А.И., Нижегородов Е.В., Румянцев Е.К., Сизикин Ю.А., Торбина О.И. / Управление качеством на промышленном предприятии/ Под науч. ред. д-ра экон. наук. проф. Б.И. Герасимова. - М.: «Издательство Машиностроения-1», 2006. –204 с.

Bibliography (transliterated): 1. Basovskii L.E., Protas V.B. / Quality Management: Textbook. - M: Infra, 2001 - 212 p. 2. Turkin V.G. Gerasimov B.I. Zharikov V.D. / Quality engineering products / Under scientific. Ed. B.I. Gerasimov. - Tambov Univ Thumb. State. tehn. University Press, 2005 - 104 p. 3. Quality Management. Textbook / S.D. Il'enkova N.D. Il'enkova, S.Y. Yagudin and others. / Ed. Doctor of Economics, professor Ilyenkova S.D. - M.: UNITY. 4. Bastrikin D.V., Evseychev A.I., Nizhegorodov E.V., Rumyantsev E.K., Sizikin Y.A., Torbina O.I. / Quality Management in an industrial plant / Under scientific. Ed. Dr. ehkon. Sciences. prof. BI Gerasimov. - M.: "Publisher Mechanical Engineering-1", 2006, with the -204 p.

ЕКОНОМІКА ТА ОСВІТА

УДК 65.012.32

М.Е.КОЛІСНИК, канд. техн. наук, Харків, Україна

ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ КОРПОРАТИВНОГО ПІДПРИЄМСТВА

У статті розглянута задача управління розвитком підприємства, для чого було побудовано мультиплікативну модель декомпозиції динамічного ряду обраного показника.

В статье рассмотрена задача управления развитием предприятия, для чего была построена мультипликативная модель декомпозиции динамического ряда выбранного показателя.

In this article I consider the problem of development management company, which was built multiplicative decomposition model of dynamic range chosen indicators.

Відмінною рисою кінця ХХ - початку ХХІ століть виступають процеси прогресуючої глобалізації, які поступово стирають регіональні і національні межі, формуючи єдиний інтегрований ринковий простір, що характеризується наявністю коеволюційних ефектів. За цих умов розвиток підприємств, залежить не стільки від їх внутрішніх реальних і потенційних можливостей, скільки від впливів ринкового оточення, що динамічно змінюється та викликає до життя одне з найбільш гострих протиріч процесу розвитку систем - протиріччя між швидкістю змін зовнішнього середовища і швидкістю реакції підприємства на них. Дане протиріччя зумовлює виникнення проблеми управління розвитком підприємства, вирішення якого дозволяє забезпечити адаптацію підприємства в ринкове оточення на підставі встановлення адекватних цільових орієнтирів його розвитку і розробки системи управлінських впливів щодо регулювання поведінки підприємства в часі.

Проблема управління розвитком підприємства є актуальною не тільки у сучасних умовах кризи, а й у часи стабільності. Саме тому цьому

питанню приділяється велика увага з боку дослідників.

Управління організацією в наш динамічний час являє собою складну працю, що неможливо виконати успішно, керуючись тільки простими вивченими формулами. Керівник повинен поєднувати розуміння загальних істин та вагомість багаточисельних варіацій, завдяки яким виникають відмінності. Розвитком підприємства треба керувати: слід мати програму розвитку, систему контролю за її виконанням, а також кошти на реалізацію.[2]

Метою даної статті є дослідити тенденції розвитку підприємства та визначити можливі причини кризи у майбутньому. Базою дослідження було обрано корпорацію «Консалтингова група «Асторія», що налічує 7 основних організацій: ТОВ «Аудиторська фірма «Київ», ТОВ «Міжрегіональна аудиторська фірма «Успіх», ТОВ «МИР», АТ «Міраж», ТОВ «Надія», Універсальна товарна біржа «Зірка», які ведуть свою діяльність незалежно один від одного. Кожна з цих організацій надає різні види послуг: аудиторські, юридичні, торгові, біржові, консалтингові. Це дозволяє корпорації займати велику частку на ринку. Але останнім часом деякі з перерахованих організацій стали збитковими. Причинами цього можуть бути і зовнішні, і внутрішні обставини. Однак корпорація залишається на ринку консалтингових послуг одним з провідних підприємств, має хорошу репутацію і не втрачає постійних клієнтів.

З метою дослідження тенденцій розвитку була побудована мультиплікативна модель декомпозиції динамічного ряду виручки від реалізації консолідованого звіту корпорації.[1]

Мультиплікативна модель декомпозиції динамічного ряду має такий вигляд:

$$Y = T * C * S * R, \quad (1)$$

де Y - динамічний ряд досліджуваного показника (результативний показник в абсолютному вираженні); T - трендова складова; C - циклічна складова; S - сезонна складова; R - випадкова складова.

Побудова даної моделі починається з визначення трендової складової T :

$$T = a + b * X_i, \quad (2)$$

де X_i - номери кварталів; a , b - параметри моделі, які визначаються за допомогою методу найменших квадратів на підставі системи нормальних рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{K}y_i = a^*N + b^*\mathbf{K}x_i \\ \mathbf{K}(y^*x) = a^*\mathbf{K}x_i = b^*\mathbf{K}x_i^2 \end{array} \right. , \quad (3)$$

де y_i – центрована ковзка середня (СМА); N - кількість спостережень; x_i – номери кварталів; a , b - обчислюємі параметри.

Для рішення системи рівнянь заповнимо таблицю 1.

Таблиця 1 – Розрахунок даних для рішення системи рівнянь

X	Y	Y*X	X²
1	230,76625	230,76625	1
2	235,145	470,29	4
3	239,415	718,245	9
4	245,38625	981,545	16
5	245,8	1229	25
6	240,15	1440,9	36
7	234,5925	1642,1475	49
8	227,955	1823,64	64
9	224,2225	2018,0025	81
10	224,0825	2240,825	100
11	223,78	2461,58	121
12	223,6075	2683,29	144
13	226,1525	2939,9825	169
14	230,67625	3229,4675	196
15	233,95	3509,25	225
16	239,27625	3828,42	256
17	236,14375	4014,44375	289
18	222,46625	4004,3925	324
19	210,5	3999,5	361
20	195,315	3906,3	400
21	186,435	3915,135	441
22	187,37	4122,14	484
23	188,1	4326,3	529
24	190,3025	4567,26	576
25	193,44	4836	625
26	196,2625	5102,825	676
27	202,1975	5459,3325	729
28	205,4375	5752,25	784
406	6138,9275	85453,23	7714

На підставі отриманих даних розв'яжемо систему рівнянь:

$$6138,9275 = a * 28 + b * 406$$

$$85453,23 = a * 406 + b * 7714$$

$$a = 2660,01$$

$$b = 188,61$$

Занесши отримані значення у формулу трендової складової, обчислюємо значення Т для кожного з аналізуємих кварталів. Для узагальнення цієї та наступної складової результати розрахунків будемо представляти у вигляді таблиці (табл. 2).

На підставі отриманих значень центрованої ковзкої середньої і тренда побудуємо кореляційне поле для більш наглядного подання результатів (рис. 1).

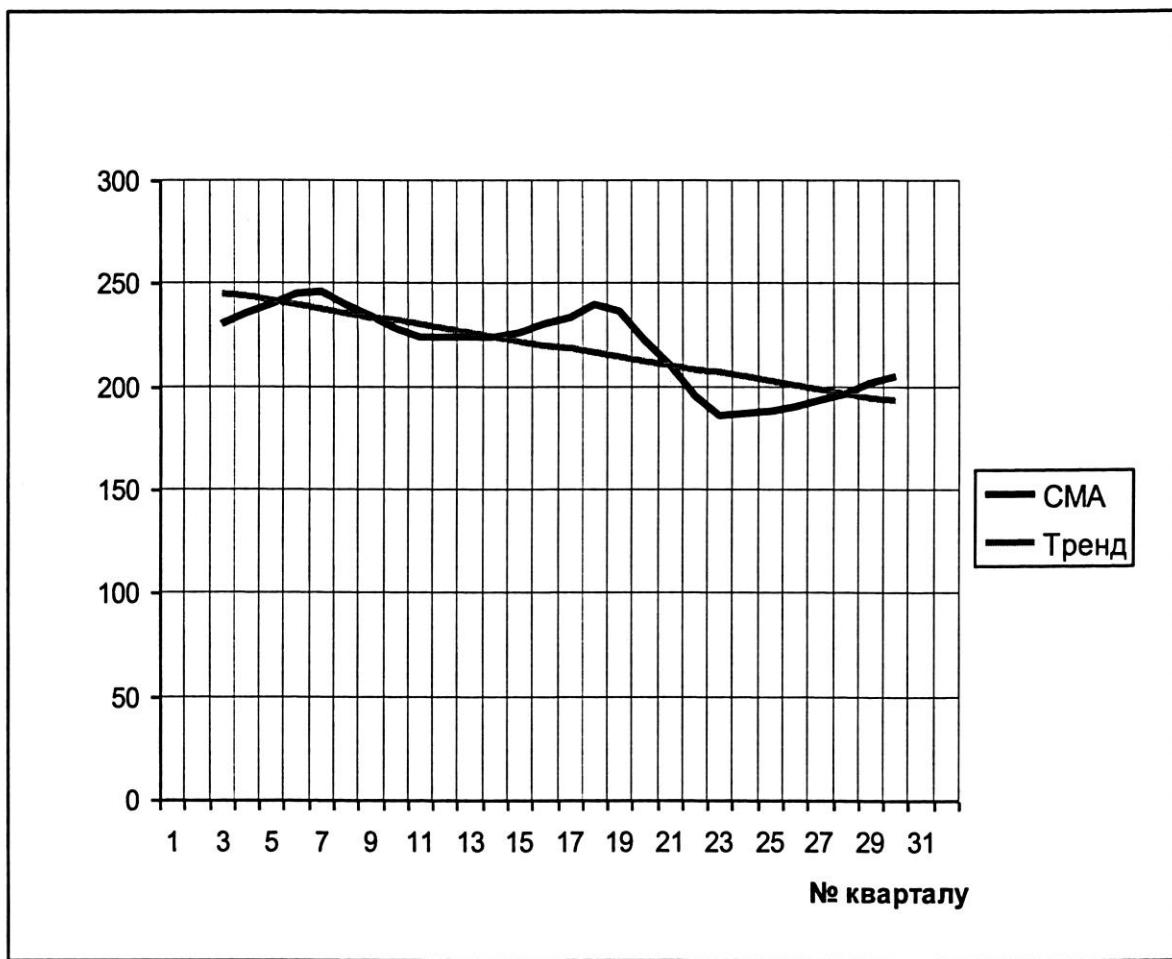


Рисунок 1 – Кореляційне поле

Таблиця 2 – Розрахунок даних для побудови мультиплікативної моделі декомпозиції динамічного ряду виручки від реалізації ТОВ «АФ «Харків»

Рік	Квартал	Виручка від реалізації	Ковзка середня	Центрована ковзка середня (СМА)	Коефіцієнт зміни виручки від реалізації (K_t)	Тренд (T)	Циклічна складова (C)	Випадкова складова (R)
2003	1	228,17	-	-	-	-	-	-
	2	231,3	-	-	-	-	-	-
	3	227,9	230,76625	0,987579423	245,561	0,939751223	0,993897972	0,963736978
	4	225,33	235,145	0,958239797	243,612	0,965243912	1,034482246	-
2004	1	248,9	239,415	1,039617401	241,663	0,99069779	1,023662573	1,005543813
	2	245,6	245,38625	1,000871076	239,714	1,0333793872	1,014422996	-
	3	247,76	245,8	1,0079793963	237,765	1,018378736	1,06053491	-
	4	253,24	240,15	1,054507599	235,816	1,018378736	0,951403297	-
2005	1	224,3	234,5925	0,956126048	233,867	1,003102191	0,991645066	1,004950511
	2	225	227,955	0,987036915	231,918	0,982912064	1,005345486	-
	3	223,9	224,2225	0,998561697	229,969	0,975011849	0,989866016	0,994615874
	4	224	224,0825	0,999631832	228,02	0,982731778	1,008678674	-
2006	1	223,68	223,78	0,999553133	226,071	0,997704375	0,987830033	0,978962578
	2	224,5	223,6075	1,003991369	224,122	1,017911717	1,03567959	-
	3	221,98	226,1525	0,98155006	222,173	1,047461902	1,011360479	-
	4	224,54	230,67625	0,973398865	220,224	1,07181308	0,987885812	-
2007	1	243,5	233,95	1,040820688	218,275	1,106091039	-	-
	2	240,87	239,27625	1,006660711	216,326	-	-	-
	3	231,8	236,14375	0,981605484	214,377	-	-	-
	4	257,33	222,46625	1,156714783	212,428	-	-	-
2008	1	185,65	210,5	0,881947743	210,479	1,000099772	0,877591393	-
	2	189,3	195,315	0,969203594	208,53	0,936627823	0,973728487	-
	3	187,64	186,435	1,006465379	206,581	0,902478931	1,02902748	-
	4	180,01	187,37	0,960719432	204,632	0,915643692	0,966210672	-
2009	1	191,93	188,1	1,02036151	202,683	0,928050206	1,015321469	-
	2	190,5	190,3025	1,001037821	200,734	0,948033218	1,005711338	-
	3	192,28	193,44	0,994093309	198,785	0,973111653	1,000362958	-
	4	192,99	196,2625	0,983325903	196,836	0,997086407	0,988946356	-
2010	1	204,05	202,1975	1,009161834	194,887	1,037511481	1,004177114	-
	2	200,96	205,4375	0,97820505	192,938	1,06478506	0,982771968	-
	3	229,3	-	-	-	-	-	-
	4	181,89	-	-	-	-	-	-

Отриманий тренд дає можливість згладити вплив різних несуттєвих факторів і виявляє негативну спадну тенденцію виручки від реалізації корпорації у період 2003-2010 років.

На наступному етапі визначимо циклічну складову С:

$$C = \text{СМА} / T \quad (4)$$

Результати представлені в табл. 2.

На підставі отриманих даних будуємо графік (рис. 2).

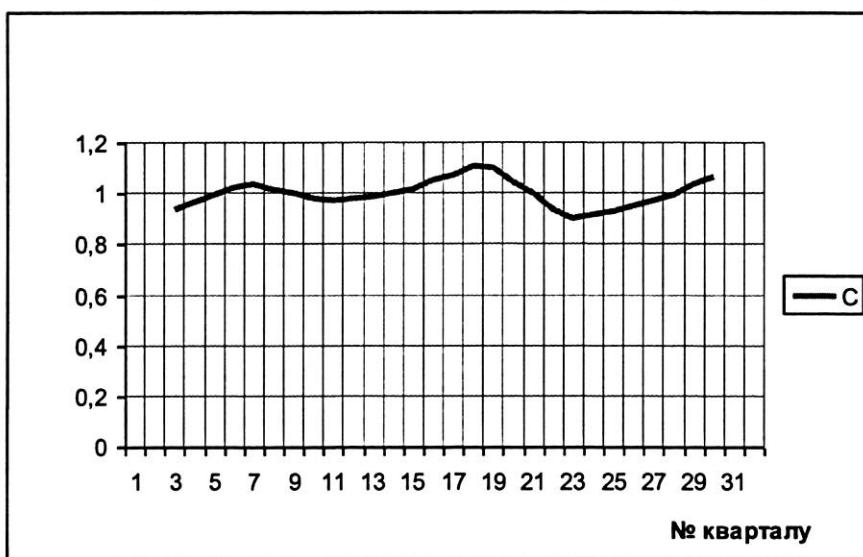


Рисунок 2 – Тенденції зміни циклічної складової

Перед сезонною складовою визначається коефіцієнт зміни вихідного показника, тобто виручки від реалізації (табл. 2):

$$K_i = \text{Виручка від реалізації} / \text{СМА} \quad (5)$$

На підставі отриманих даних для визначення сезонної складової складемо наступну таблицю (табл. 3):

Таблиця 3 – Виявлення сезонної складової

	I	II	III	IV
2003	-	-	0,98757942	0,958259797
2004	1,039617401	1,000871076	1,00797396	1,054507599
2005	0,956126048	0,987036915	0,9985617	0,999631832
2006	0,999553133	1,003991369	0,98155006	0,973398865
2007	1,040820688	1,006660711	0,98160548	1,156714783
2008	0,881947743	0,969203594	1,006463379	0,960719432
2009	1,02036151	1,001037821	0,994003309	0,983325903
2010	1,009161834	0,97820505	-	-
S _{кв}	1,004963985	0,995353024	0,99364266	0,994316726

$$S_{kv} = [\Sigma K_i - (\min K_i + \max K_i)] / n \quad (6)$$

Значення n у цьому випадку беремо рівним 5, бо при розрахунку не враховуються найбільше й найменше значення для того, щоб уникнути випадкового впливу.

Далі розрахуємо останню з розглянутих складових - випадкову (R):

$$R = K_i / S_{kv} \quad (7)$$

Отримані результати також були занесені до таблиці 2. Побудуємо графік зміни цієї складової (рис. 3).

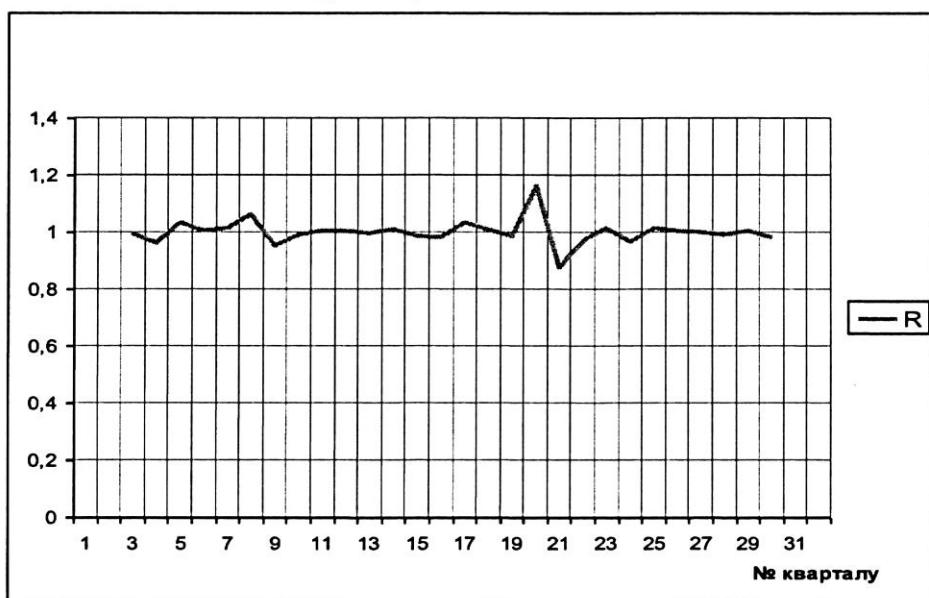


Рисунок 3 – Тенденції зміни випадкової складової

Таким чином був докладно розглянутий процес побудови моделі декомпозиції динамічного ряду виручки від реалізації продукції, товарів, робот, послуг корпорації «Консалтингова група «Асторія» за період 2003-2010 років. Основною метою було виявлення існуючого тренду та його формалізація для можливості прогнозування за інших рівних умов.

Прогнозування виручки від реалізації на період 2011-2018 років будемо також проводити в декілька етапів.

Для початку розрахуємо значення результативного показника (виручки від реалізації) з урахуванням впливу тренда за формулою 8:

$$Y_{прогн} = a + b * x_{прогн}, \quad (8)$$

де a , b - розраховані раніше параметри рівняння.

Спираючись на отримані результати складемо таблицю (табл. 4) та будуємо графік (рис. 4).

Таблиця 4 – Прогнозні значення виручки від реалізації корпорації «Консалтингова група «Асторія» 2011-2018 року

X _{прогн}	Y _{прогнT}	Y _{прогнTS}	Y _{прогнTSC}
29	190,989	191,9370666	180,3731
30	189,04	188,1615357	181,6218
31	187,091	185,9015985	184,1723
32	185,142	184,0897873	188,4458
33	183,193	184,1023673	190,3239
34	181,244	180,4017635	183,7173
35	179,295	178,1551604	178,7078
36	177,346	176,3380941	173,3248
37	175,397	176,2676681	171,8631
38	173,448	172,6419913	169,6608
39	171,499	170,4087222	168,6818
40	169,55	168,586401	168,1994
41	167,601	168,4329689	171,4499
42	165,652	164,8822192	172,7078
43	163,703	162,6622841	174,3436
44	161,754	160,8347078	177,8978
45	159,805	160,5982696	176,9046
46	157,856	157,122447	164,5472
47	155,907	154,9158459	154,9313
48	153,958	153,0830146	143,3818
49	152,009	152,7635704	137,8659
50	150,06	149,3626748	136,763
51	148,111	147,1694077	136,5806
52	146,162	145,3313214	137,7789
53	144,213	144,9288712	141,032
54	142,264	141,6029026	141,1903
55	140,315	139,4229696	144,6529
56	138,366	137,5796282	146,4927

Отриманий результат ілюструє тенденцію до зниження розміру виручки від реалізації корпорації «Консалтингова група «Асторія» у найближчі 8 років. Однак на цей показник впливає досить велика кількість факторів. Виявимо вплив ще деяких з них.



Рисунок 4 – Прогноз виручки від реалізації, враховуючи трендову складову

Прогноз виручки від реалізації, враховуючи трендову і сезонну складові, визначимо за допомогою отриманих раніше (див. табл. 3) даних за формулою 9:

$$Y_{\text{прогнTS}} = Y_{\text{прогнT}} * S_{\text{кв}} \quad (9)$$

Результати занесені до таблиці 4. Відобразимо їх графічно (рис. 5).

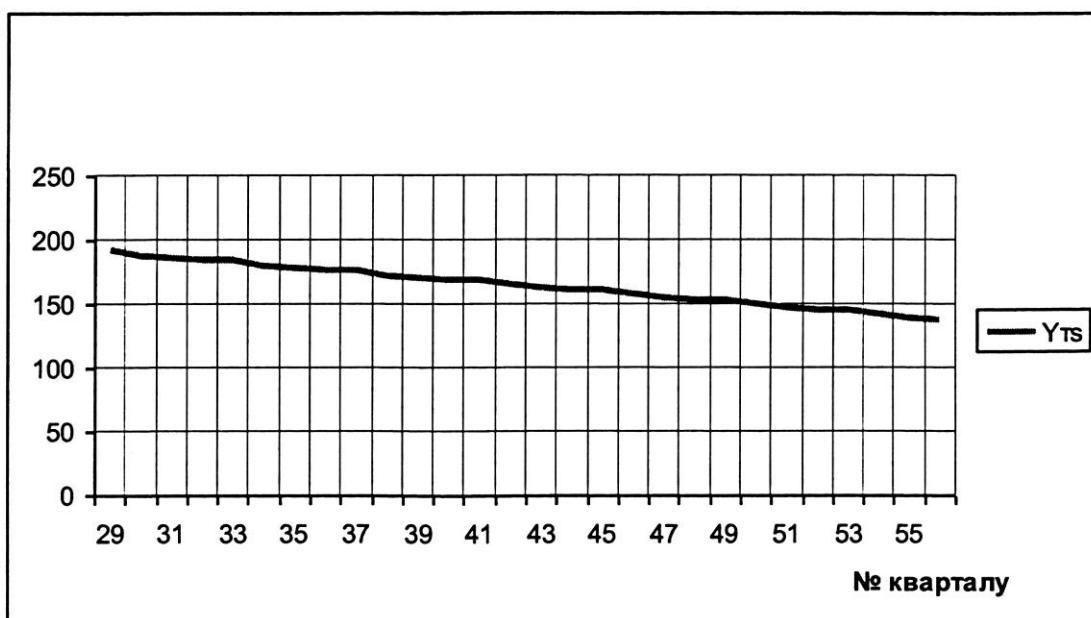


Рисунок 5 – Прогноз виручки від реалізації, враховуючи трендову і сезонну складові

Отже сезонна складова не змінила виявлений раніше тренд, що говорить невелику залежність досліджуваного підприємства від сезонного фактору.

На заключному етапі додаємо циклічну складову (табл. 4, рис. 6), розраховану за формулою 10:

$$Y_{\text{прогнTSC}} = Y_{\text{прогнTS}} * C \quad (10)$$

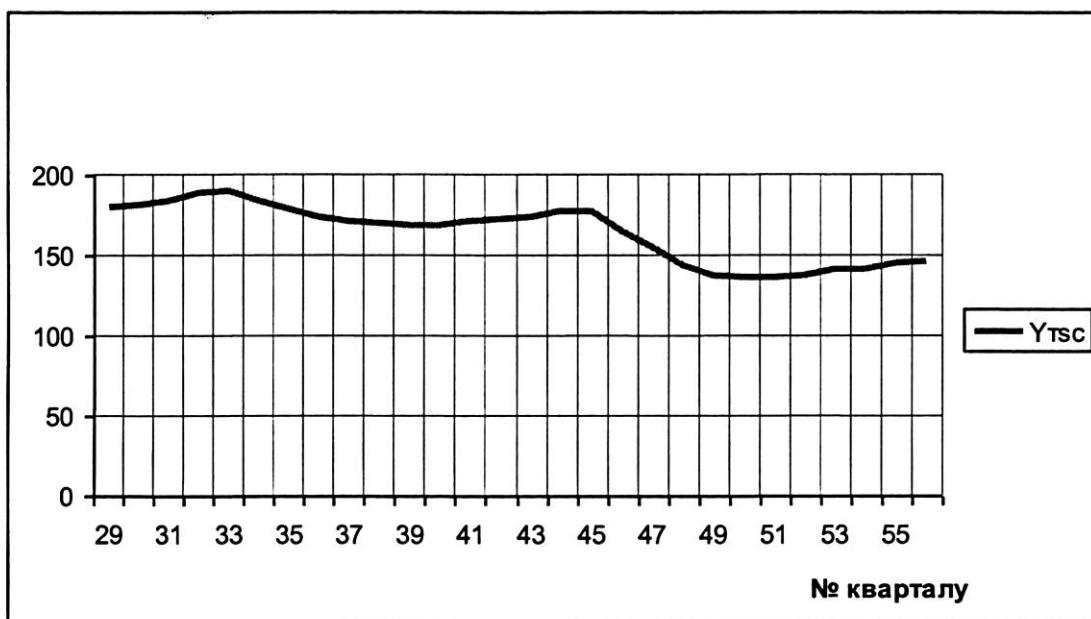


Рисунок 6 – Прогноз виручки від реалізації, враховуючи трендову, сезонну та циклічну складові

Отриманий прогноз дає можливість звернути увагу на передбачувані успішні й невдалі періоди в діяльності корпорації «Консалтингова група «Асторія», а також, передбачати й запобігти негативним тенденціям.

У цілому прогноз негативний. Перші 4 роки - найбільш позитивні, тому що виручка від реалізації в цей період буде залишатися приблизно на одному рівні без значних коливань і, зокрема, до кінця 2011 року матиме найбільший за весь прогнозний період розмір. Але потім за інших незмінних умов очікується досить різке падіння. На цей період варто звернути особливу увагу. З метою запобігання кризи підприємству варто розробити стратегію, спрямовану на поповнення клієнтської бази або шукати альтернативні джерела доходу. Також велике значення має встановлення факторів, що спричинили настільки значимі втрати. Тільки за таких умов є можливість швидко й дієво їх усунути, а також уникнути в майбутньому подібних помилок.

Більш пильну увагу варто звернути на кінець 2018 року, тому що при правильному плануванні є реальна можливість вийти з депресивного проміжку. Однак отримані результати є лише прогнозом і з точністю стверджувати нічого не слід. Період 2012-2016 років повинен стати для корпорації «Консалтингова група «Асторія» періодом особливої уваги та пильності. Можливо, будуть необхідні кардинальні зміни або швидке вирішення непередбачених проблем. На передодні варто вжити заходів, спрямованих на зниження ризиків зазнати збитків, підготувати чітку стратегію роботи.

З метою дослідити тенденції розвитку було побудовано мультиплікативну модель декомпозиції динамічного ряду виручки від реалізації корпорації «Консалтингова група «Асторія». В результаті була виявленена негативна тенденція, яка за інших незмінних умов може привести підприємство до занепаду. Отримані результати підтверджують необхідність управління розвитком підприємства, необхідність мати програму розвитку, систему контролю за його виконанням, а також кошти на його реалізацію.

Список використаних джерел: 1. Азаренков Г. Ф. Економічний аналіз. Навчальний посібник. Ч.2. / Г. Ф. Азаренков, З. Ф. Петряєва, Г. Г. Хмеленко.– Харків: Вид. ХНЕУ, 2004. – 232 с. 2. Методологические основы управления потенциалом предприятия. Научное издание.– Харьков: Изд. ХНЭУ, 2004. – 216 с.

Bibliography (transliterated): 1. Azarenkov G.F. Economic analysis. Textbook. Part 2. / G.F. Azarenkov, Z.F. Petryaeva, G.G. Hmelenko.- Kharkov: Type. KhNUE, 2004 - 232 p. 2 Methodological bases of management potential of the enterprise. Scientific izdanie.- Kharkov Univ. HNEU, 2004 - 216 p

УДК 519.874

E.B. НАБОКА, канд. техн. наук, Харьков, Украина

РАЗРАБОТКА КОМПОНЕНТ ПРОГРАММНОГО РЕШЕНИЯ В РАМКАХ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТА

У статті розглянута задача розробки компонентів програмного рішення для скорочення часу виконання робіт у рамках проекту. Запропоновано завдання на розробку компонентів програмного рішення. Розглянуті можливі шляхи її вирішення на основі програмної платформи автоматизації обліку «1С:Підприємство».

В статье рассмотрена задача разработки компонентов программного решения для сокращения времени выполнения работ в рамках проекта. Предложены задания на разработку компонентов программного решения. Рассмотрены возможные пути ее решения на основе программной платформы автоматизации учета «1С: Предприятие».

The article deals with the task of developing the components of software solutions to reduce the time of the work under the project. Proposed project on development of software components solutions. The considered is possible the way of its decision on the basis of programmatic platform of automation of account «1C:Enterprise».

Актуальность. Проект – это временное предприятие, предназначенное для создания уникальных продуктов, услуг или результатов. Управление проектами (англ. project management) — область деятельности, в ходе которой определяются и достигаются четкие цели при балансировании между объемом работ, ресурсами (такими как время, деньги, труд, материалы, энергия, пространство и др.), временем, качеством и рисками в рамках некоторых проектов. Ключевым фактором успеха проектного управления является наличие четкого заранее определенного плана, минимизации рисков и отклонений от него, эффективного управления изменениями (в отличие от процессного, функционального управления, управления уровнем услуг).

Существует ассоциация производителей ISSA, которая занимается клинингом. Данная компания имеет желание вовлечь в свои ряды отечественных производителей, и возникает потребность в охвате своей литературой украинского рынка потребителей и поставщиков услуг

клиниг. Следовательно, возникает актуальная задача относительно разработки компонент программного решения для управления проектом доставки печатной продукции по регионам Украины.

Качественная постановка задачи.

Таким образом, существует актуальная задача по разработке компонент программного решения для сокращения времени выполнения работ в рамках проекта. Тогда постановка задачи формулируется следующим образом: разработать компоненты программного решения для управления проектом доставки печатной продукции по регионам Украины.

Следует отметить, что в качестве проекта выступает непосредственно бизнес-процесс доставки. Этапы которые и необходимо автоматизировать в рамках поставленной задачи.

Жизненный цикл проекта – это набор, как правило, последовательных и иногда перекрывающихся фаз проекта, названия и количество которых определяются потребностями в управлении и контроле организации или организаций, вовлеченных в проект, характером самого проекта и его прикладной областью.

Независимо от размеров и степени сложности, все проекты могут иметь следующую структуру жизненного цикла:

- начало проекта;
- организация и подготовка;
- выполнение работ проекта;
- завершение.

На «этапе выполнение работ» абсолютно необходимо использование разработанных программных средств, с целью более результативного и скорейшего достижения этапа «завершение».

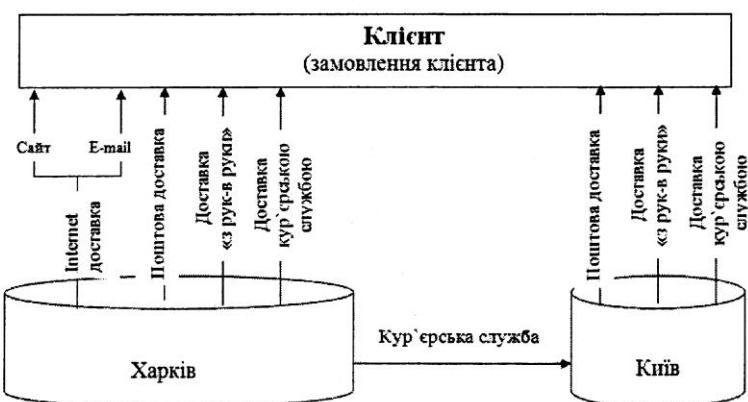


Рисунок 1 – Типы доставки продукции клиенту по территории Украины

Цель разработки компонент программного решения заключается в автоматизации выполнения этапов самого бизнес-процесса.

Рассмотрим типы доставки продукции клиенту по территории Украины, они отображены на рисунке 1.

Каждый клиент имеет право на выбор способа доставки. Поэтому клиентская база включает описание этих методов.

Следует отметить, что пользователями системы на каждом из автоматизируемых этапов будут следующие рабочие:

1) на этапе «обработка данных по клиентам» пользователем будет менеджер учетно-операционного отдела;

2) на этапе «составление плана поставок в месяц» пользователем будет менеджер учетной отдела;

3) на этапе «составление графика поставок» пользователями будут:

- Аналитик;
- Курьер;
- Менеджер учетного отдела;

4) на этапе «составление упаковочного листа» пользователем будут:

- Менеджер учетного отдела;
- Аналитик и т.д.

Таким образом, выявлены функции и участники бизнес процесса позволяют определить параметры бизнес процесса, подлежащие управлению.

На рисунке 2 представлен уникальный бизнес-процесс доставки печатной продукции.



Рисунок 2 – Уникальный бизнес-процесс доставки печатной продукции

Существует три типа процессов, которые ускоряются во времени за счет автоматизации. Учитывая достоверность на сколько они могут быть ускорены во времени, процессы разделяются на: тип А – процессы ускоряются на 5-20%, тип В – процессы ускоряются на 20-50%, тип С – процессы ускоряются до 75%.

Очевидно, возникает необходимость автоматизации только процессов группы В и С. Т.к. автоматизация процесса (типа А), который может быть ускоренным максимум на 20%, - является нерациональной.

После проведения полного анализа и разработки классификации этапов бизнес-процесса по типу были выделены этапы выполнения бизнес процесса, автоматизация которых является рациональной и приведет к сокращению времени выполнения всего бизнес процесса: обработка данных по клиентам, составление плана поставок на месяц, составление графика поставок, составление упаковочного листа. Другие этапы могут быть вспомогательными при выполнении основных.

Таким образом, выявленные функции потребуют разработки программного решения в составе следующих компонент: учет клиентов (товара и т.д.), планирование процесса поставок на текущий месяц, составление упаковочного листа (графика поставок).

Задание на разработку имеет вид: базируясь на единственной программной платформе, создать комплексное программное решение, которое помогает группам пользователей (менеджеры, курьеры) выполнять операции относительно учета (клиентов, товаров), планирования (процесса поставок на текущий месяц) и составления (упаковочного листа, графика поставок).

В работе компоненты являются разноплановыми, поэтому была проведена сравнительная оценка сред их разработки, и выявлено, что 1С:Предприятие воплощает самые передовые технологии баз данных, а именно, объектно-ориентированный подход к разработке программ. Поэтому именно «1С:Предприятие» был избран в данном проекте.

Был разработан регламент бизнес-процесса, который заключается в формировании схемы функционирования бизнес-процесса, в разработке документации, а так же в выделении участников бизнес-процесса.

При разработке системы автоматизации бизнес процесса, необходимо описать целый ряд разных сущностей, например — товары, материалы, другие ресурсы, клиентов, поставщиков, счета, накладные и другие документы и способы регистрации их движения, взаимодействия. При проектировании на основе платформы "1С: Предприятия" все они были классифицированы и объединены в классы сущностей (прототипы), которыми мы и манипулируем.

Разработанная информационно-логистическая схема программного решения приведена на рисунке 3. На схеме показано как классы объединяются в пакеты и отображена связь между пакетами.

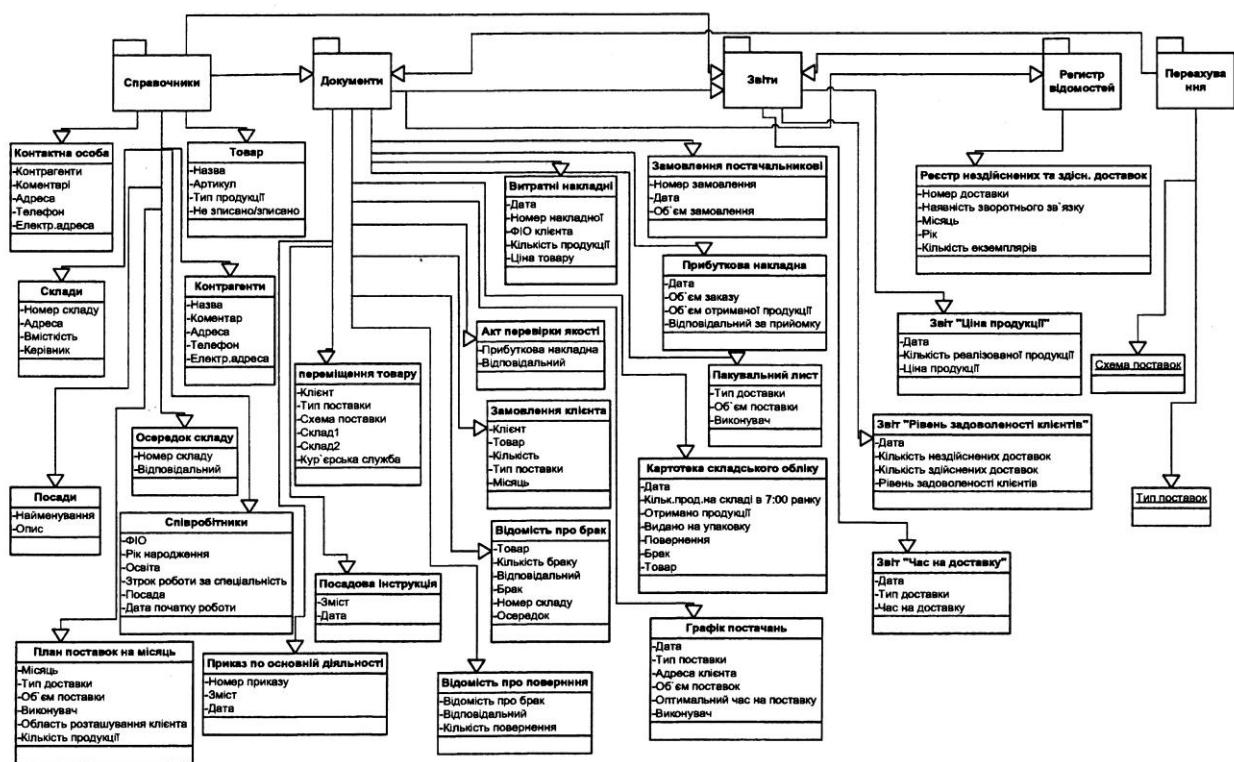


Рисунок 3 – Информационно-логистическая схема программного решения

Результаты. Результатом решения данной задачи являются сформированные карты маршрутов бизнес процесса, примеры которых приведены на рисунке 4.

Карта маршрута описывает логику бизнес процесса и весь его жизненный цикл от точки старта точки завершения. Она реализована в виде схематического изображения последовательности прохождения взаимосвязанных точек маршрута.

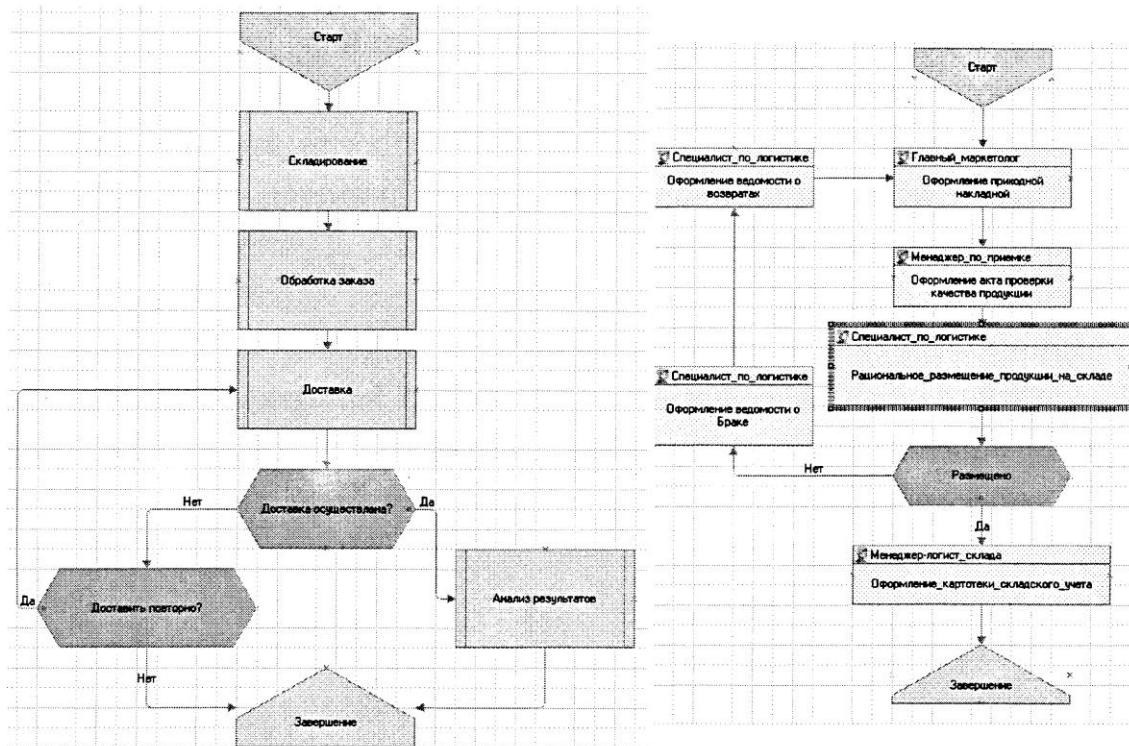


Рисунок 4 – Карта маршрута бизнес-процесса доставки и этапа складирования
бизнес-процесса доставки печатной продукции по регионам Украины

Также был разработан интерфейс конфигурации, который реализует работу пользователя с разработанными компонентами программного решения. Были сформированы экранные формы документов, справочников, отчетов и т.д. (рис. 5).

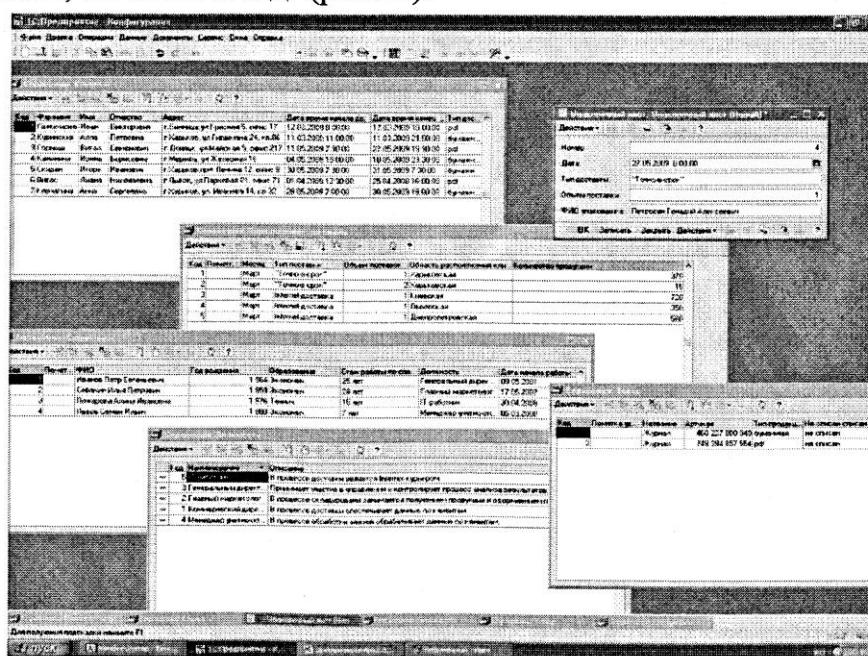


Рисунок 5 – Экранные формы справочников, документов, отчетов

На выходе программное решение предоставляет пользователю отчеты, которые содержат информацию об осуществленных и неосуществленных доставках, отчетах об уровне удовлетворенности клиентов, времени доставки и цене продукции и т.д.

Список использованных источников: 1. Советов Б.Я, Яковлев С.А. Моделирование систем.– М.: Высш.шк., 2001. 2. Appleton Company. IISSI (Integrated Information Support System Information Modeling Manual (IDEF1X)). / Пер. с англ. – М.: МетаТехнология, 1993. 3. Габец А.П., Гончаров Д.И. Информационная Система.1С:Предприятие 8.0.-М.: Издательство ООО "1С-Паблишинг", 2008. 4. Митичкин С.А. Разработка в системе "1С:Предприятие 8.0".-М.: ООО «1С-Паблишинг», 2003. 5. Маклаков С.В. Моделирование бизнес-процессов с Bpwin.-М.: Диалог Мифи, 2002.

Bibliography (transliterated): 1. Sovietov B.Y., Yakovlev S.A. Modeling systems, M.: Vyssh.shk., 2001. 2. Appleton Company. IISSI (Integrated Information Support System Information Modeling Manual (IDEF1X)). / Per. Translated from English. - M .: meta-1993. 3 Gabets A.P., Goncharov D.I. Information Sistema.1S: Enterprise 8.0.-M .: Publishing LLC "1C Publishing", 2008. 4. Mitichkin S.A. Development of the system "1C: Enterprise 8.0" .- M.: "1C Publishing", 2003. 5. Maklakov S.V. Modeling of business processes with the Bpwin.-M .: Dialogue MiFi 2002.

УДК 621.9

A.A. ОРГІЯН, д-р техн. наук,
Г.П. КРЕМНЕВ, канд. техн. наук,
В.М. КОЛЕСНИК, Одесса, Україна

ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ ПРАКТИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ БАКАЛАВРОВ И МАГИСТРОВ ПО ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Підвищення рівня практичної підготовки бакалаврів і магістрів з технології машинобудування. Виконано аналіз навчальних планів і робочих програм. На підставі аналізу сформований єдиний погляд на проблему практичної підготовки та відповідності тем занять вимогам ОКХ бакалавра та магістра.

Повышение уровня практической подготовки бакалавров и магистров по технологии машиностроения. Выполнен анализ учебных планов и рабочих программ. На основании анализа сформирован единый взгляд на проблему практической подготовки и соответствия тем занятий требованиям ОКХ бакалавра и магистра.

Enhancing practical bachelor's and master's degrees in engineering technology. The analysis of curricula and programs of work. Based on the analysis formed a single view of the problem of practical training and compliance requirements that the occupations OKH bachelor's and master's degrees.

Подготовка специалистов технологов-машиностроителей в современном мире строится на основах комплексности, поступательности, доступности, научного подхода и практической полезности. Эти принципы заложены в учебные планы бакалавров по инженерной механике и магистров по технологии машиностроения 6.050502 и 8.05050201 в Одесском национальном политехническом университете, а также в рабочих программах читаемых курсов.

Основные профессиональные знания, умения и компетенции выпускника ВУЗа формирует вертикаль технологических дисциплин,

направленная на подготовку:

– бакалавра, это «Технологические основы конструирования – ТОК», «Технологические основы машиностроения – ТОМ», «Теоретические основы технологии машиностроения – ТОТМ», «Технология обработки типовых деталей – ТОТД»;

– магистра, это «Технология машиностроения отраслевая – ТМо», «Программирование и обработка на станках с ЧПУ – Пр ОС ЧПУ» и «Ресурсо - и энергосберегающие технологии – РЭТМ». Эти дисциплины обеспечивает кафедра технологии машиностроения на протяжении 72 лекций и 68 практических и лабораторных занятий для бакалавров и 36 лекций и 45 лабораторно-практических занятий магистров.

Основные знания у студента формируют работы на лекциях, а закрепляют их работы на практических занятиях и в ходе СРС; основные умения и компетенции появляются у студента при выполнении практических и лабораторных работ и в ходе выполнения проектов. В данной статье авторы не намерены рассматривать пути формирования массива знаний и их закрепления, а затрагивают реализацию указанных в начале статьи принципов для повышения качества практической подготовки бакалавров и магистров.

Комплексность подхода состоит в том, что по курсам ТОМ, ТОТД, ТМо и РЭТМ (это 61 практическое и лабораторное занятие) сформировано 75 тем занятий, написано и подготовлено к изданию 75 методических указаний, из которых 20 – исследовательского профиля. Т. о. 25% работ имеют научно-исследовательский профиль практической подготовки, закладывающий научную базу. Каждая тема занятия отвечает одному или нескольким модулям умений ОКХ (имеет место и такое, когда несколько тем формируют 1 модуль умений). Из этого массива тем сформированы 3 учебных пособия: по ТОМ (находится в издательстве), по ТОТД (издано в 2014г.) и по ТМо (находится в издательстве), при этом в течении 2х учебных лет по этим разработкам проводились аудиторные занятия в ОНПУ.

Примерное содержание каждого из этих пособий приведено ниже.

Технологические основы машиностроения

Оглавление.

Введение.

1. Охрана труда и техника безопасности при выполнении работ.

2. Общие вопросы технологии.

2.1. Технологический анализ чертежа детали.

2.2. Анализ чертежа детали на технологичность.

2.3. Исследование систематических погрешностей обработки.

2.4. Исследование влияния геометрических факторов на шероховатость поверхности при механической обработке.

2.5. Исследование влияния пластичности металла и характера пластической деформации на шероховатость поверхности.

2.6. Исследование рассеивания размеров, связанного с погрешностью установки.

2.7. Элементы наладки токарного станка.

2.8. Настройка фрезерного станка.

2.9. Настройка вертикально сверлильного станка.

2.10. Выбор метода получения заготовки (прокат).

2.11. Выбор метода получения заготовки (штамповка).

2.12. Выбор метода получения заготовки (отливка).

2.13. Исследование влияния выбора метода получения заготовки.

2.14. Расчет припусков и промежуточных размеров (табличный метод).

2.15. Определение режимов резания.

2.16. Определение нормы времени.

2.17. Анализ заводского ТП механической обработки типовой детали.

2.18. Экономический анализ варианта ТП (операции, метода обработки).

3. Сборка.

3.1. Разработка технологической схемы сборки.

3.2. Разработка техпроцесса сборки сборочной единицы.

3.3. Сборка (метод пригонки и регулирования).

3.4. Нормирование техпроцесса сборки.

4. Специальная технология.

4.1. Исследование точности позиционирования ПР.

4.2. Определение постоянства размеров в партии деталей типа тел вращений на РТК.

Литература.

Приложения.

Технология обработки типовых деталей

Оглавление.

Введение.

1. Охрана труда и безопасности при выполнении работ.

2. Общий раздел технологий.

2.1. Отработка конструкции детали на технологичность.

2.2. Расчет припусков и промежуточных размеров (табличный метод).

2.3. Настройка фрезерного станка на размер (статическая настройка).

2.4. Определение режимов резания при механической обработке.

2.5. Определение нормы времени на операцию фрезерования.

2.6. Анализ заводского технологического процесса механической обработки типовой детали.

2.7. Исследование группового технологического процесса.

2.8. Экономический анализ варианта технологического процесса (операции, метода обработки).

2.9. Выбор наиболее экономичного варианта технологического процесса (операции).

3. Раздел технологии сборки.

3.1. Сборка сборочной единицы с использованием методов пригонки и регулирования.

3.2. Разработка технологической схемы сборки.

3.3. Разработка технологического процесса сборки.

3.4. Нормирование процесса сборки.

Литература.

Приложения.

Технология машиностроения отраслевая

Оглавление.

Введение.

1. Охрана труда и техника безопасности при выполнении работ.

2. Общий раздел.

2.1 Технологический анализ чертежа детали.

2.2 Методы достижения точности и шероховатости поверхностей при механической обработке.

2.3 Расчёт припусков и промежуточных размеров (табличный метод).

2.4 Расчет припусков и промежуточных размеров (аналитический метод).

2.5 Исследование производительности и экономичности методов отрезки проката.

2.6 Исследование методов литья по деревянными металлическим моделям.

2.7 Определение режимов резания при механической обработке.

2.8 Определение нормы времени на операцию фрезерования.

2.9 Обоснование целесообразности выбора механизированного приспособления.

2.10 Исследование износа инструментов и приспособлений и расчет их потребности.

2.11 Анализ заводского технологического процесса механической обработки типовой детали.

2.12 Анализ заводской документации на технологическую операцию механической обработки.

2.13 Экономический анализ варианта технологического процесса (операции, метода обработки).

2.14 Выбор наиболее экономичного варианта технологического процесса (операции).

2.15 Проектирование участка механического цеха.

3. Специальный раздел.

3.1 Исследование точности малых отверстий при сверлении на универсальных станках.

3.2 Исследование основных показателей процесса шлифования.

3.3 Исследование постоянства размеров в партии деталей типа тел вращения при обработке на роботизированном технологическом комплексе (РТК).

Литература.

Для подготовки дипломной работы бакалавра (ДРБ) составлено пособие по типовым технологическим процессам (ТТП), в котором из 21 темы 7 тем занятий – это типовые процессы механической обработки в серийном производстве деталей валов, крышек, шкивов, втулок, прямозубых, конических и червячных зубчатых колес с портфелем чертежей деталей – представителей, которые можно использовать в качестве заданий на ДРБ. 14 тем занятий – это сравнительные технико-экономического плана темы, например, «Выбор метода обработки точных отверстий типовых деталей» или «Сравнение методов обработки наружных цилиндров на токарно-револьверных и многорезцовых станках». В приложении к этому пособию имеется еще 25 типовых процессов на детали-представители классов деталей, наиболее часто применяемые в различных механизмах и сборочных единицах машин.

Примерное содержание пособия по ТТП приведено далее.

Типовые технологические процессы

Оглавление

Введение.

1. Охрана труда и техники безопасности при выполнении работ.

2. Общие вопросы технологий.

2.1. Методы достижение точности и шероховатости при механической обработке типовых поверхностей.

2.2. Анализ заводского типового технологического процесса (ТТП).

2.3. Анализ заводской документации на технологическую операцию механической обработки.

2.4. Экономический анализ вариантов операций.

2.5. Экономический анализ вариантов техпроцессов.

3. ТТП механической обработки валов, втулок, крышек, шкивов и зубчатых колес.

3.1. Разработка ТТП изготовления деталей класса валов.

3.1.1. Сравнение методов обработки наружных цилиндров на токарно-копировальных и токарно-револьверных станках.

3.1.2. Сравнение методов обработки наружных цилиндров на токарно-копировальных и многорезцовых станках.

3.1.3. Сравнение методов обработки наружных цилиндров на токарно-револьверных и многорезцовых станках.

3.2. Разработка ТТП изготовления деталей класса втулок.

3.2.1. Выбор метода обработки точных отверстий типовых деталей.

3.3. Разработка ТТП изготовления деталей-крышек.

3.3.1. Выбор метода обработки плоских и торцевых поверхностей типовых деталей.

3.4. Разработка ТТП изготовления деталей класса диски.

3.5. Разработка ТТП изготовления прямозубых и косозубых зубчатых колес 7 степени точности.

3.5.1. Выбор метода черновой обработки зубьев эвольвентных прямозубых зубчатых колес.

3.5.2. Выбор метода чистовой обработки зубьев эвольвентных прямозубых зубчатых колес.

3.6. Разработка ТТП изготовления конических зубчатых колес 8 степени точности.

3.7. Разработка ТТП изготовления червячных насадных зубчатых колес.

Литература.

Приложение. 1, 2, 3.

Все расчеты в этом и других пособиях выполнены в доступной цифровой форме, что дает возможность сравнения выбранных вариантов, в этом мы видим доступность материала для формирования модулей умений. Учебное пособие по ТТП готовится авторами к изданию в 2015г. Поступательность, на наш взгляд, состоит в том, что в первом курсе ТОМ формируются простые навыки и компетенции по общим вопросам технологии, методам обработки поверхностей и наладкам станков на их обработку, а также сборку соединений.

В пособиях по курсам ТОТД и ТОТМ сделана попытка формировать навыки проектирования типовых решений – операций или процессов серийного производства. В пособии для курса ТМо рассмотрены вопросы инженерного проектирования единичных технологических процессов, а в пособии по РЭТМ поиск путей рациональной экономии ресурсов и энергии.

В пособии по РЭТМ все умения формируются на сравнении вариантов, их анализе, обоснованиях и выводах о рациональности принятия решения.

Что же отличает изложенное выше от ранее существовавшего? Это – единый взгляд на проблему практической подготовки и соответствия тем занятий требованиям ОКХ бакалавра и магистра, комплексность всего массива формируемых умений и практический выход – наличие учебных пособий на проведение занятий.

Интерес к изложенному авторы готовы удовлетворить по телефонам +38048 705 83 82, +3 8048 705 86 29, Одесса, 65044, пр. Шевченко, 1, ОНПУ, каф. Технологии машиностроения.

УДК 378.019.3:378.014.6

М. РАДЖАБ ЗАДЕ, канд. техн. наук,

В.А. ЗАЛОГА, д-р техн. наук,

Н.А. БЯТОВА,

М. ЯГМАЙЙ ДЖАВАН, Кум, Іран

КАЧЕСТВО ПРЕПОДАВАНИЯ КАК ЧАСТЬ КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАНИЯ – ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ: УНИВЕРСИТЕТЫ ИРАНА

На основі практичного досвіду і спостереження за процесом викладання, авторами були виявлені негативні фактори, що впливають на якість викладання, а, отже, і процесу освіти. Були розглянуті думки студентів (за підсумками анкетування) про різні методи викладання та заходи по усуненню виявлених негативних факторів. На основі проведених досліджень розроблено рекомендації для удосконалення якості викладання в університетах.

На основе практического опыта и наблюдения за процессом преподавания, авторами были выявлены факторы, негативно влияющие на качество преподавания, а, следовательно, и процесса образования. Были рассмотрены мероприятия по устранению выявленных негативных факторов и мнения студентов (по итогам анкетирования) о различных методах преподавания. На основе проведенных исследований разработаны рекомендации по усовершенствованию качества преподавания в университетах.

Based on practical experience and observation of the teaching process, the authors identified the factors that negatively influence on quality of teaching and, consequently, quality of the education process. The measures to eliminate the identified negative factors and also the opinions of students (according to the survey) about the different methods of teaching were considered. On the basis of conducted research, recommendations to improve the quality of teaching at universities were developed.

Постановка проблемы

Система высшего инженерного образования всегда играла важную роль в жизни общества. В современном мире система высшего инженерного образования является основой для развития экономики.

Развитие научно-технического прогресса требует от высших учебных заведений формирования квалифицированного специалиста с высокой познавательной активностью, умением эффективно использовать уже накопленный образовательный потенциал и наращивать его, готового к постоянному профессиональному росту, самосовершенствованию. Современный высококвалифицированный специалист должен уметь активно самообучаться, легко адаптироваться к быстро изменяющимся условиям современного в значительной степени механизированного и автоматизированного производства, ориентироваться в лавинообразном потоке разнообразной информации, что само по себе невозможно без качественно сформированной учебно-профессиональной деятельности. Подготовку таких специалистов может обеспечить только качественно организованная система образования в вузах. Качественная подготовка специалиста с вышеуказанными требованиями невозможна без определения (выявления) факторов, которые негативно влияют на систему высшего образования, с последующей их ликвидацией.

Данное исследование основывается на практическом опыте и наблюдении за процессом преподавания в одном из технических университетов Ирана [1].

Постановка задачи

Целью данной статьи является анализ путей совершенствования процесса преподавания в ВУЗе за счет выявления факторов, негативно влияющих на процесс преподавания, а также разработка рекомендаций по его совершенствованию.

1 Общая характеристика системы образования в Иране

В Иране университеты подразделяются на две основные группы: государственные и негосударственные (частные). Также существует 3 формы обучения: дневная, заочная и вечерняя. Учреждения высшего образования подчиняются Министерству наук, исследований и технологий (*The Ministry of Sciences, Researches and Technology*). Обучение осуществляется как на бюджетной, так и на коммерческой (платной) основах.

Поступление в любое высшее учебное заведение Ирана происходит на основании проведения общегосударственного конкурса и полученных при этом его участниками оценок.

Главным условием участия во вступительных экзаменах, является наличие диплома о среднем образовании (среднее образование – это 12 летнее обучение в школе).

Уровни образования в Иране делятся на 4 группы:

1) *постдипломный уровень* – два года обучения по программе высшего образования с получением диплома *Kardani (Fogh-e-Diplom)*.

2) обучение на степень *бакалавра (Licenc или Karchenasi)*, которое длится 4 года, каждый из которых состоит из двух семестров.

3) обучение по программе *магистратуры (Fogh-e-Licance или Karshenasi-ye Arshad)*, которое на базе бакалавратуры составляет 2 года.

4) обучение по четырехгодичной программе на базе *магистратуры* с получением после защиты диссертации диплома доктора философских наук (PhD).

Учебный год в университетах Ирана состоит из 10 месяцев и начинается с 23-ого сентября календарного года. Каждый учебный год состоит из двух семестров. Семестр состоит из 17 недель и в конце семестра сдается экзамен по каждому предмету отдельно. Экзамен проводится в заранее назначенных аудитории и времени под контролем *наблюдателей* (присутствие самого преподавателя на экзамене не обязательно). Во время экзамена всем студентам раздаются билеты с одними и теми же вопросами и наблюдатели контролируют, чтобы никто не нарушил правила и порядок проведения экзамена. В университетах Ирана существует 20 бальная шкала (от 0 до 20), по которой оценивают знания студентов. Для успешной сдачи экзамена студент должен получить минимально 10 баллов. Причем, если средний балл студента по всем предметам составляет меньше 12 баллов, то он считается «условным» студентом и на следующий семестр выбрать для изучения больше, чем 14 учебных кредитов ему не разрешается.

Каждый предмет соответствует установленным кредитам. За один кредит принято 17 часов обучения предмета. Например, «однокредитный» предмет имеет 17 часов обучения, т.е. предмет читается по одному часу в

неделю в течение всего семестра (17 недель); «двухкредитный» - 34 часа обучения (читается 2 часа в неделю); «трехкредитный» предмет включает в себя 51 час обучения. В одном предмете может быть не более 4-х кредитов. В основном предметы имеют 1- 3 кредита.

Учебное расписание занятий каждого студента определяется выбранными им учебными кредитами. Выбор учебных кредитов планируется, таким образом, чтобы каждый студент, на каждый семестр имел в среднем 20 выбранных учебных кредитов. Выбор учебных кредитов, на основе которого составляется расписание, производится до начала семестра.

Надо отметить, что разрешенное количество учебных кредитов, выбираемых студентом, зависит от его успеваемости: если средний балл успеваемости студента по всем предметам составляет больше 17, то ему разрешается взять до 24 учебных кредитов, а если меньше 12, то только 14 учебных кредитов. Если студент последовательно 3 раза подряд попал в категорию «условный», то его из вуза отчисляют.

Уровень успеваемости того или иного студента в значительной мере зависит от множества как объективных, так и субъективных факторов, и в значительной (а иногда и в определяющей) мере тех, которые негативно влияют на процесс преподавания. Потенциально эти факторы определяются не только уровнем фундаментальной подготовки и отношения непосредственно студента к процессу получения им знаний, умений и навыков, но и многими другими моментами, определяемыми деятельностью и поведением в процессе обучения и самого студента, и преподавателя, и должностных лиц университета, организующих этот процесс. Таким образом, все факторы, оказывающие негативное влияние на качество процесса преподавания можно условно разделить на три группы:

1-ая группа – факторы, влияющие на процесс преподавания со стороны студентов;

2-ая группа - факторы, влияющие на процесс преподавания со стороны преподавателей;

3-ая группа - факторы, влияющие на процесс преподавания со стороны должностных лиц.

Одним из ответственнейших моментов в процессе повышения качества преподавания при его рассмотрении (оценке или самооценке), на том или ином уровне (студенческом, преподавательском, административном (кафедра, деканат, университет)), является не только своевременное выявление факторов, негативно влияющих на него, но и ранжирование выявленных факторов (с целью создания комплекса (системы) мероприятий по их устраниению) по степени их влияния на соответствующие показатели качества образования в целом, т.е. не только на формирование высококвалифицированного специалиста, но и воспитание ответственного и интеллигентного члена общества, преданного своему народу, своей родине.

2 Потенциальные факторы, негативно влияющие на процесс преподавания со стороны студентов

К факторам, которые негативно влияют на качество процесса преподавания и обусловлены деятельностью и поведением студентов непосредственно на занятии (уроке), относятся:

- низкая (недостаточная) степень общей фундаментальной подготовки;
- неумение (недостаточное умение) пользоваться литературными источниками по теме занятия;
- внешний вид студента (неопрятная и неряшливая одежда, нарушение дресс-кода и т.п.);
- нарушение дисциплины (отсутствие на занятиях или опоздание на них, создания шума, в том числе использование мобильных телефонов, списывание и т.п.);
- неэтичное поведение по отношению к преподавателю (фамильярность, оскорблениe и т.п.);
- другие.

3 Потенциальные факторы, негативно влияющие на процессе преподавания со стороны преподавателей

Ко второй группе факторов, негативно влияющих на процесс преподавания, относятся те, которые зависят от самих преподавателей. Следует отметить, что влияние на качество процесса преподавания со стороны преподавателей гораздо эффективнее, чем со стороны студентов,

так как преподаватель является для студента образцом и примером для подражания. К основным, на наш взгляд, факторам, негативно влияющим на качество процесса преподавания со стороны преподавателей, можно отнести:

- присутствие на занятиях в неопрятной, неряшливой одежде;
- отсутствие полного владения дисциплиной и способности профессионально отвечать на вопросы студентов;
- повышенная «доброта» и пониженная требовательность преподавателя, что часто может приводить к, условно говоря, « злоупотреблениям» со стороны студентов и сопровождаться их невнимательностью, шумом на уроке и т.п.;
- преподавание при отсутствии продуманного плана проведения занятия, что часто приводит к отсутствию четкой последовательности и согласованности учебного материала в процессе преподавания, повторениям, дублированию уже известного материала и т.п.;
- полное или частичное отсутствие объективной основы и справедливости при оценивании знаний студентов;
- отсутствие контроля со стороны преподавателя за порядком на уроке;
- отсутствие необходимых методических и учебных материалов (пособий): конспекта лекции, методических указаний по выполнению работы, списка вопросов, по которым необходимо готовится к экзамену (опросу, тестированию), списка литературы для самостоятельного изучения (подготовки) и др.;
- опоздание на занятия;
- обсуждение на уроке посторонних тем;
- отсутствие опыта преподавания и не владение его методологическими основами (основными принципами), часто выражающиеся в неумении или в слабой способности передачи своих (пусть даже и очень хороших) знаний, студентам;
- двойственное отношение и реакция на поведение студентов;
- злоупотребления при оценивании студентов, основанное только на личном отношении к студенту (например, если преподавателю симпатичен студент, то он ему завышает оценку, а если нет, то занижает).

- раздражительность, неумение выслушать вопрос или аргументацию студента, грубость, повышение голоса; неуважительное или фамильярное обращение к нему и т.п.;
- создание стрессовых ситуаций на занятии;
- болтливость и шумность в процессе проведения занятия;
- плохое (некультурное) поведение, применение плохих (традиционно не рекомендуемых) выражений, браны и оскорбление студентов, их унижение, выговор (особенно необоснованный), несоблюдение тактичности (принятых в обществе норм и правил) и др.;
- вызывание обиды студента, часто приводящее к потере им мотивации для продолжения (улучшения) учебы;
- коррупция;
- другие.

4 Потенциальные факторы, влияющие на процесс обучения со стороны должностных лиц университета

Анализ имеющейся информации о результатах деятельности университетов свидетельствует о том, что (к великому сожалению) в настоящее время среди должностных лиц университета учебного процесса еще в подавляющем своем большинстве бытует, на наш взгляд, неправильное или существенно искаженное суждение (мнение) об основных факторах, влияющих на качество преподавания: по их мнению, качество преподавания если не на все 100%, то минимум на 90%, зависит только от преподавателя. Вместе с тем, следует отметить, что за последние годы это мнение все чаще корректируется представлениями о зависимости качества учебного процесса (преподавания) как от контингента учащихся (см. раздел 2), так и должностных лиц (администрации) университета. К факторам, в наибольшей степени влияющим на процесс обучения со стороны должностных лиц университета, можно отнести:

- некачественный (недостаточно качественный) подбор менеджерского состава университета на всех (без исключения) уровнях организации его работы, начиная от ректора (ректората) и деканов (деканатов), и заканчивая, образно говоря, работниками, обеспечивающими уборку помещений и территории, так называемой

хозяйства, а также полное или частичное отсутствие профессионально необходимых благоприятных и комфортных условий его работы;

- относительно длительное использование неопытных или малоопытных преподавателей, особенно при отсутствии в университете или недостаточно эффективной работе системы соответствующей их подготовки и переподготовки (системы повышения квалификации профессорско-преподавательского состава), и преподавателей с малыми (недостаточными) знаниями;

- некачественное формирование, особенно численное, учебных групп (подгрупп);

- некачественная организация и проведение производственных практик, в т.ч. преддипломных;

- не обеспечение (недостаточное обеспечение) учебного процесса образовательной инфраструктурой: библиотеки, современное лабораторное оборудование, компьютеры, проекторы, столы, стулья, доски, достаточность рабочих мест для студентов и др.;

- отсутствие надежных систем охлаждения, отопления и вентиляции в аудитории в разное время года;

- отсутствие соответствующего освещения в аудитории;

- невыполнение (недостаточно хорошее или некачественное выполнение) своевременного технического обслуживания в аудитории;

- несоблюдение стандартной емкости занятия;

- задержка зарплаты преподавателям и сотрудникам. Несомненным является тот факт, что их недовольство может существенно влиять на качество преподавания;

- другие.

5 Анализ опыта, накопленного в университетах Ирана, и мероприятия по устранению негативных факторов, наиболее существенно влияющих на процесс преподавания

Многие из приведенных в разд. 2-4 негативных факторов, например, использование мобильного телефона во время урока (музыка, сообщение, звонок), отсутствие на уроке или опоздание на него, разговоры или шутки во время урока с соседом по парте; присутствие на занятиях без необходимых канцелярских приспособлений и др. (разд.2); присутствие на

занятиях в неопрятной, неряшливой одежде, отсутствие контроля со стороны преподавателя за порядком на уроке, опоздания на занятия и др. (разд. 3); отсутствие надежных систем охлаждения, отопления и вентиляции в аудитории в разное время года, отсутствие соответствующего освещения в аудитории, невыполнение (недостаточно хорошее или некачественное выполнение) своевременного технического обслуживания в аудитории, несоблюдение стандартной емкости занятия и др. (разд. 4) могут устраняться путем применения чисто дисциплинарных и организационных мероприятий.

Вместе с тем, среди приведенных в разд. 2-4 негативных факторов есть и такие: низкая (недостаточная) степень общей фундаментальной подготовки (разд. 2); отсутствие полного владения дисциплиной и способности профессионально отвечать на вопросы студентов; полное или частичное отсутствие объективной основы и справедливости при оценивании знаний студентов; отсутствие опыта преподавания и не владение его методологическими основами (основными принципами), часто выражающиеся в неумении или в слабой способности передачи своих (пусть даже и очень хороших) знаний студентам; длительное использование неопытных или малоопытных преподавателей, особенно при отсутствии в университете или недостаточно эффективной работе системы соответствующей их подготовки и переподготовки (системы повышения квалификации профессорско-преподавательского состава) и преподавателей с малыми (недостаточными) знаниями; не обеспечение (недостаточное обеспечение) образовательной инфраструктурой, такой как: библиотеки, лабораторное оборудование, компьютеры, проекторы, столы, стулья, доски, мел, достаточность рабочих мест для студентов и др.; либо существенного изменения всей образовательной системы, например, в части материально-технического обеспечения вузов, оплаты труда преподавателей и т.п.; либо использования специальных внутриуниверситетских мероприятий, например: образование факультетов (центров) повышения квалификации и обучение на них преподавателей педагогическому мастерству, психологии и др., создание систем оценивания преподавателей и систем, позволяющих учитывать мнение студентов по тем или иным вопросам и др. В данной статье на примере

одного из вузов Ирана [1] рассматриваются некоторые примеры внутриуниверситетских мероприятий, позволяющих решить проблему полного или частичного устранения тех или иных факторов, негативно влияющих на качество преподавания.

5.1. Проведение обучения с целью повышения квалификации преподавателей

С целью повышения квалификации используется обучение 4 категорий преподавателей.

1) Для преподавателя на испытательном сроке планируется прохождение обязательного обучения в объеме 60 часов из набора, в который входят следующие предметы:

- «Учебное программирование и модели составления урока» (24 часа);
- «Оценивание и измерение образовательного прогресса» (24 часа);
- «Психологические проблемы студентов (40 часов)»;
- «Методы составления успешной коммуникации (16 часов);
- «Обучение оптимизации отношений между преподавателем и студентом» (12 часов);
- «Принципы философии обучения и воспитания» (12 часов);
- «Психология воспитания» (20 часов).

2) Для преподавателей, успешно прошедших испытательный срок, до зачисления в штат также планируется прохождение 60-часового обязательного обучения, в том числе по предметам:

- «Разработка учебной программы» (8 часов);
- «Средства массовой информации и образовательное оборудование» (16 часов);
- «Применение информационных технологий в обучении и воспитании» (16 часов);
- «Оптимизация человеческих отношений в университете» (16 часов);
- «Стили изучения и результативные методы чтения (22 часа)»;
- «Применение теории изучения в обучении» (48 часов);
- «Модели группового изучения» (32 часов);
- «Мотивация и результативное изучение» (24 часа)
- «Введение в психологию изменений» (32 часа);

- «Введение в наиболее важные студенческие кризисы» (24 часа).
- 3) Для аспирантов-преподавателей требуется прохождение обязательного обучения в объеме 120 часов в соответствии с таблицей 1.
- 4) Для преподавателей - совместителей при необходимости обучение может проводиться по решению кафедры.

Таблица 1 – Перечень обучений для аспирантов-преподавателей [1]

Уровень	Название предмета	Срок (час)
Навыки обучения и воспитания (1)	Модели планирования и разработки учебного плана	8
	Модели преподавания и изучения	24
	Оценивание и измерение учебной успеваемости	8
Навыки обучения и воспитания (2)	Психология изучения и обучения	20
	Философия обучения и воспитания	12
	Знакомство с образовательными и исследовательскими правилами	8
Навыки обучения и воспитания (3)	Применение информационной технологии в обучении и воспитании	16
	Мотивация и результативное преподавание	16
	Знакомство с психологией изменения	8
Сумма		120
<i>Примечание: (1) – (3) – уровни повышения квалификации аспирантов-преподавателей.</i>		

Анализ программ обучения для повышения уровня качества преподавания показывает:

- срок обучения для категорий 1 и 2 относительно небольшой. Например, суммарный объем обучения по перечисленным предметам в категории 1 может быть 148 часов, а практически проводится только 60 часов;
- для преподавателей - совместителей (4 категории), у которых, как показывает практика, гораздо чаще и в больших масштабах возникают проблемы с преподаванием, обязательное обучение вообще не планируется;

- срок выполнения планируемых программ обучений на указанных категориях преподавателей неизвестно;
- отсутствие программ переподготовки преподавателей.

5.2. Оценивание преподавателей

Одним из эффективных мероприятий университета, которые бы могли решить проблему устранения негативных факторов, существенно влияющих на качество преподавания, является проведение процедуры оценивания преподавателей студентами. В предположении, что результаты такого оценивания должны влиять на совершенствование качества преподавания, в университете обязательно в конце каждого семестра студенты с помощью опросных листов (анкет, тестов и др.), разработанных в соответствии с приведенными в таблице 2 показателями оценивания, оценивают каждого из своих преподавателей. Одним из существенных недостатков уже созданной в университете системы оценивания преподавателей студентами является то, что его результаты практически не доводятся до ведома преподавателя. В связи с этим влияние такого оценивания на качество и совершенствование процесса преподавания, к сожалению, является не только малорезультативным, но довольно часто вообще не дает никакого положительного эффекта.

6 Примеры вопросов и анализ мнений студентов по поводу конспекта

Опросив студентов по поводу использования современных информационных технологий в процессе проведения занятия, например, мультимедийной техники, в частности проектора, а также качества конспекта, предоставляемого преподавателем, были получены следующие ответы.

Вопрос 1. Как Вы относитесь к предоставлению преподавателем распечатанного конспекта, имеющего относительно большой объем (около 300 - 400 страниц), а также к процессу преподавания с использованием только проектора без использования доски?

Полученные ответы студентов можно свести к следующему. Использование проектора, как вспомогательного образовательного

средства – это хорошо. Но неиспользование традиционного метода (мел и доска) снижает эффективность передачи информации от преподавателя к студенту. Предоставление конспекта в принципе – это неплохо, но не в объеме 300 – 400 страниц, так как преподаватель не успевает его изложить непосредственно на занятиях. Большинство студентов неудовлетворительно отнеслось к предоставлению конспекта, имеющего большой объем, мотивируя это тем, что большой объем конспекта вызывает их усталость и, как правило, нежелание учиться. Кроме того, большой по объему учебный материал, изложенный в таком конспекте, требует от самого преподавателя с целью проверки степени его усвоения, а, соответственно, знаний и успеваемости студентов проведения маленького экзамена (quiz) хотя бы один раз в течение одной - двух недель.

Вопрос 2. *Как Вы относитесь к предоставлению преподавателем распечатанного конспекта объемом 100 страниц, предоставлению дополнительного списка литературы для самостоятельного изучения по желанию и преподаванию с использованием проектора, слайдов, образовательных фильмов и традиционного метода (мел и доска)?*

Большинством студентов такой конспект был одобрен. По их мнению, в конспекте должен кратко излагаться только основной (общий) учебный материал, близкий по содержанию к материалу, излагаемому на занятиях (лекциях). Все, что не представлено в таком конспекте, должно в обязательном порядке (как часть учебной программы) изучаться с помощью книг (учебников и дополнительной литературы). Использование проектора, презентаций на слайдах и образовательных фильмов в сочетании (при необходимости) с традиционным методом (мел и доска) студенты считают эффективным инструментом для успешного обучения.

Вопрос 3. *Как Вы относитесь к тому, что преподаватель не предоставляет распечатанного конспекта, а диктует его на лекции, а также к предоставлению списка литературы для свободного чтения?*

Большинство студентов считают, что отсутствие рукописного или распечатанного конспекта – это плохо, потому что отсутствие такого конспекта, как правило, вызывает у них стресс и серьезную озабоченность, особенно в период подготовки к экзамену. Вместе с тем, они считают, что написание ими конспекта на занятии с дополнительным объяснением того,

чего нет в распечатанном конспекте, необходимо студентам для лучшего восприятия материала. Предоставляемый преподавателем список литературы должен быть целенаправленным по теме, рассматриваемой на занятии, с обязательным указанием нужных разделов для ее изучения.

Таблица 2 – Оценивание преподавателей

Тип показателя	Показатель оценивания	Балл
Научно-образовательная способность	Степень владения дисциплиной и знанием предмета	
	Общие хорошие знания преподавателя по специальности	
	Всеобщий взгляд и глубокое философское мышление преподавателя при представлении студентам соответствующих тематик читаемого курса	
	Способность передачи основных материалов урока	
	Использование приемлемого учебного плана, полнота и последовательность при представлении учебного материала во время занятия (урока)	
	Степень и эффективность использования новых тематик и обновленных информационных источников	
	Соответствие цели проводимого занятия (урока) стратегии и методологии преподавания курса	
	Использование соответствующих методов оценивания знаний студентов с учетом сформулированной цели урока	
	Привлечение студентов к дискуссиям	
	Создание мотивации и интереса студентов в изучении дисциплины и их активном участии в научной, в т.ч. исследовательской, работе	
	Создание мотивации и интереса студентов к успешному обучению и совершенствованию своих знаний	
	Управление аудиторией (порядком и временем)	
Академическое и общественное поведение	Возможность коммуникации с преподавателем в аудитории и вне ее	
	Общественные нравы и поведение в обращении со студентами, а также степень взаимного уважения	
	Рациональность и разумность реагирования на предложения, жалобы и комментарии студентов	
	Общительность преподавателя и степень уважительного отношения к студентам и окружающим	

Вопрос 4. Изложите Ваше общее мнение о конспекте и предложения о его улучшении.

По мнению студентов преподаватель обязательно должен им предоставить распечатанный конспект. Конспект должен кратко содержать самые общие и нужные материалы, необходимые для экзамена и будущей профессии. А тот учебный материал, с которым необходимо ознакомится более подробно, можно найти в учебниках. Учеба с использованием конспекта, предоставляемого преподавателем, приносит студентам удовольствие и повышает их научный уровень и желание учиться.

Выводы

На основе проведенного исследования и анализа полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1) Факторы, оказывающие негативное влияние на качество процесса преподавания можно условно разделить на три группы:

1-ая группа – факторы, влияющие на качество преподавания со стороны студентов;

2-ая группа - факторы, влияющие на качество преподавания со стороны преподавателей;

3-ая группа - факторы, влияющие на качество преподавания со стороны должностных лиц.

2) Рекомендуется пересмотреть систему контроля и улучшения уровня качества преподавания – систему повышения квалификации преподавателей. Рекомендуется применение должностными лицами более эффективных методов улучшения качества преподавания, в частности, особое внимание следует уделить преподавателям-совместителям.

3) Необходимо обратить внимание преподавателей на устранение упомянутых в разд. 3 негативных факторов, существенно влияющих на качество преподавания с их стороны, обеспечивая создание интереса студентов к учебе. Это может считаться самыми важным и принципиальным вопросом, имеющим прямую связь с характером и образованностью конкретного преподавателя. При этом будет очень полезным изучение им литературы об управлении и психологии преподавания, а также его участие в соответствующих программах обучения.

Для предупреждения возникновения негативных факторов преподавателю смогут помочь:

- проведение маленького и среднесеместрового экзаменов (опросов, тестирования);
- решение дополнительных упражнений;
- использование схемы взаимоотношений: «вопрос преподавателя - ответ студента»;
- похвала и поощрение студентов, как тех, которые успешно учатся, так и тех студентов, которые учатся относительно плохо, за достигнутые ими, пусть и относительно небольшие, успехи;
- повышение уровня компетенции преподавателя;
- ориентация на более квалифицированных и успешных преподавателей (в порядке обмена опытом);
- самосовершенствование с учетом развития науки и методик преподавания.

4) Хотя основной работой преподавателей является собственно сам процесс преподавания своего предмета, им надо обращать особое внимание на вопросы воспитания студентов.

5) Проведенные исследования показали, что предоставление преподавателями распечатанного конспекта является необходимым, причем его объем зависит от учебной программы и содержания данной дисциплины, но не должен по объему содержащейся в нем информации существенно отличаться от объема, представляющего преподавателям на занятиях (лекциях).

6) Поведение преподавателей и студентов при их общении должно основываться на соблюдении этичных принципов и взаимного уважения, чему эффективно сможет помочь изучение преподавателями этики, психологии и педагогики.

Список использованных источников: 1. Календарное расписание краткосрочных обучений в регионе 12. – Издательство «Исламский Азад Университет». – 2012. – с. 168-182.

Bibliography (transliterated): 1. Kalendarne raspisanie kratkosrochnyh obuchenij v regione 12. – Izdatel'stvo «Islamskij Azad Universitet». – 2012. – s. 168-182.

УДК 338.3

A.B. ФАДЕЕВ, канд. тех. наук, Харьков, Украина

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МАКСИМИЗАЦИИ ПРИБЫЛИ В ПРОЦЕССЕ ОПТИМИЗАЦИИ СОДЕРЖАНИЯ ПРОЕКТА ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

У статті розглядається математична модель задачі оптимізації змісту проекту за критерієм прибуток в результаті його здійснення. Створена модель є однокритеріальною, з булевими змінними, з алгоритмічною цільовою функцією і аналітичними обмеженнями. Запропоновано метод розв'язання даної задачі для інструментального виробництва.

В статье рассматривается математическая модель задачи оптимизации содержания проекта по критерию прибыль в результате его осуществления. Созданная модель является однокритериальной, с булевыми переменными, с алгоритмической целевой функцией и аналитическими ограничениями. Предложен метод решения данной задачи для инструментального производства.

In this paper we consider a mathematical model of scope project optimization problems by profits as a result of its implementation. The proposed model is a one-criterion, dynamic, with Boolean variables, with the objective function of the algorithmic and analytical limitations. A method for solving this problem is proposed for instrumental production.

Для решения задачи оптимизации содержания проекта по критериям прибыль, сроки, стоимость, качество и риски проекта с помощью метода, основанного на применении обобщенного критерия и неявного перебора, необходимо иметь решение однокритериальных задач. В том числе задачи оптимизации содержания проекта по критерию прибыль в результате осуществления проекта. Решение данной задачи во многих случаях может иметь и самостоятельное значение.

Следовательно, возникает актуальная задача создания модели и метода оптимизации содержания проекта по критерию прибыли.

Формирование содержания проекта традиционно осуществляется на эвристическом уровне. Часто работы или комплексы работ включаются в состав проекта без достаточного анализа их влияния на другие работы.

При этом количество рассматриваемых альтернатив обычно невелико. Данная ситуация объясняется большой трудоемкостью анализа альтернативных вариантов работ или их комплексов в многоэтапных проектах. В работе [1] предложены модель и метод оптимизации содержания проекта с точки зрения времени его выполнения. В работе [2] рассматриваются модель и метод оптимизации содержания проекта по критерию затраты на его осуществление при наличии ограничений на сроки. В работе [3] впервые предложена многокритериальная модель задачи оптимизации содержания проекта по критериям время и стоимость при наличии альтернативных вариантов выполнения работ или их комплексов, заданных в виде сетевых моделей. В работе [4] предложены модель и метод оптимизации содержания проекта по срокам и стоимости его выполнения при наличии ограничений на качество продукта после выполнения определенных этапов проекта. В работе [5] предложена математическая модель динамической задачи многокритериальной оптимизации содержания проекта при наличии ограничений и заданных альтернативных вариантах выполнения работ, представленных в виде сетевых моделей. Впервые в качестве критериев рассмотрены прибыль в результате выполнения проекта, качество продукта проекта, время выполнения проекта, его стоимость и связанные с ним риски. Предложен метод решения данной задачи. Для его осуществления необходимо иметь результаты однокритериальной оптимизации содержания проекта по критериям прибыль, качество, время, стоимость и риски.

Целью работы является создание модели и метода оптимизации содержания проекта по критерию прибыль, которая может быть получена в результате его осуществления.

Целевая функция модели должна отражать прибыль предприятия до налогообложения за все годы жизненного цикла.

В модели предполагается, что после завершения отдельных этапов выполнения проекта не должно быть финансовых задолженностей.

Модель задачи оптимизации содержания проекта по критерию прибыль, это модель вида:

$$\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^L C_t^{(i)} D_t^{(i)} - \sum_{h=1}^H \sum_{j=1}^{M_h} w_{hj} x_{hj} + \sum_{h=1}^H \sum_{j=1}^{M_h} E_{hj} x_{hj} - \sum_{t=1}^T U_t = P' \rightarrow \max_{x_{hj}} \quad (1)$$

$$S_h = S_{h-1} + K_h - \sum_{j=1}^M w_{hj} x_{hj}; \quad S_h \geq 0, h = \overline{1, H}; \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^M x_{hj} = 1, \quad h = \overline{1, H}; \quad (3)$$

$$x_{hj} \in \{0, 1\}, \quad j = \overline{1, M_h}, \quad h = \overline{1, H}; \quad (4)$$

где T – длительность фазы эксплуатации или потребления продукта;

l – вид продукции, общее количество которых равно L ;

$C_t^{(l)}$ – стоимость продукции l -го вида в t -м году, $t = \overline{1, T}$;

$D_t^{(l)}$ – объём продаж продукции l -го вида в t -м году, $t = \overline{1, T}$, $l = \overline{1, L}$;

$$\text{где } D_t^{(l)} = \begin{cases} A_t^{(l)}, & \text{если } A_t^{(l)} \leq B_t^{(l)}; \\ B_t^{(l)}, & \text{если } A_t^{(l)} > B_t^{(l)}; \end{cases}$$

$$A_t^{(l)} = \varphi_A(G, x_{hj}), t = \overline{1, T};$$

$$x_{hj} \in \{0, 1\}, h = \overline{1, H}, j = \overline{1, M_h},$$

$B_t^{(l)}$ – прогнозируемый спрос на продукцию l -го вида в t -м году;

$A_t^{(l)}$ – производственная мощность по l -му виду продукции в t -м году;

M_h – количество вариантов выполнения операций на этапе h , $h = \overline{1, H}$;

h – номер этапа выполнения операций;

H – количество этапов в проекте;

w_{hj} – стоимость выполнения операций j -го варианта сетевой модели на h -м этапе (может складываться из стоимостей нескольких операций);

x_{hj} – булевая переменная, равная единице, если осуществляется j -й вариант выполнения операций на h -м этапе, и равная нулю в противном случае;

G – сетевая модель операций проекта, включающая альтернативные варианты их выполнения, $G = \{A, Z, \tau, W\}$;

A – множество узлов сети,

$$A = \{a_{hj}\}, \quad i = \overline{1, n_j}, \quad h = \overline{1, H}, \quad j = \overline{1, M_h},$$

где a_{hij} – i -я операция, осуществляется на h -м этапе в j -м варианте (альтернативе) сетевой модели;

n_j – количество операций в j -м варианте сетевой модели;

Z – множество направленных дуг,

$$Z = \{z_{hij, pmf}\}, \quad i = \overline{1, n_j}, \quad m = \overline{1, n_f}, \quad h, p = \overline{1, H}, \quad j = \overline{1, M_h}, \quad f = \overline{1, M_p},$$

где $z_{hij,pmf}$ – дуга, которая выходит из узла i на этапе h альтернативного варианта j и входит в узел m на этапе p альтернативного варианта f ; $i \neq m$ при $p = h$; $p \geq h$;

τ – множество сроков выполнения операций в узлах,

$$\tau = \{ \tau_{hij} \}, i = \overline{1, n_j}, h = \overline{1, H}, j = \overline{1, M_h},$$

где τ_{hij} – срок выполнения i -й операции на h -м этапе для j -го варианта выполнения операций;

W – множество стоимостей выполнения операций сети,

$$W = \{w_{hij}\}, i = \overline{1, n_j}, h = \overline{1, H}, j = \overline{1, M_h},$$

где w_{hij} – стоимость выполнения i -й операции на h -м этапе для j -го варианта выполнения операций;

E_{hj} – остаточная стоимость выбывающих основных фондов при осуществлении на h -м этапе j -го варианта выполнения работ по проекту;

U_t – текущие затраты, связанные с производством продукции;

$$U_t = \varphi_c(G, x_{hj}), t = \overline{1, T};$$

S_h – остаток денежных средств после выполнения работ на h -м этапе;

K_h – объем денежных средств, выделяемых на h -м этапе.

Предложенная модель является однокритериальной, динамической, с булевыми переменными, с алгоритмической целевой функцией и аналитическими ограничениями.

Для решения данной задачи предложен метод оптимизации, относящийся к методам неявного перебора. Для сокращения объема вычислений в главном цикле этого метода и, соответственно, сокращения времени решения целесообразно провести предварительную подготовку информации. Подготовка информации для метода оптимизации содержания проекта с точки зрения прибыли заключается в вычислении нижней границы для затрат, связанных с осуществлением работ на каждом h – м этапе, $h = \overline{1, H}$. Для этого вначале определим затраты, связанные с реализацией на h – м этапе каждого j – го варианта выполнения работ

$$Z_{hj} = w_{hj} - E_{hj} + \sum_{t=1}^T U_{hjt},$$

$$h = \overline{1, H}, \forall j = \overline{1, M_h},$$

где U_{kjt} – текущие затраты в t -м году, связанные с осуществлением на h – м этапе j – го варианта выполнения работ.

Затем на каждом h -м этапе находим вариант, связанный с минимальными затратами, и определяем эти затраты

$$Z_{h \min} = \min \{z_{kj}\}_{j=1}^{M_h}.$$

Величины $Z_{h \ min}$ будут использованы в методе оптимизации содержания проекта по критерию прибыль.

Метод оптимизации содержания проекта по критерию прибыль состоит из ряда шагов.

1. $\Theta_H = 0$, Θ_H – множество вариантов j , выбранных на всех H этапах проекта;

$$h:=1; f:=0; f^*:=+\infty.$$

2. Начинаем рассмотрение с 1-го варианта, т.е. $j_h = 1$.
3. Проверяем, выполняется ли ограничение (2)

$$S_h = S_{h-1} + K_h - \sum_{j=1}^{M_h} w_{hj} x_{hj} \quad S_h \geq 0.$$

Если ограничение не выполняется, переходим к шагу 8.

4. Определяем прибыль, которая может быть получена в результате выполнения операций на всех этапах от 1-го до h - го включительно

$$P'_h = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^L C_t^{(1)} D_t^{(1)} - \sum_{k=1}^h \sum_{j=1}^{M_k} w_{kj} x_{kj} + \sum_{k=1}^h \sum_{j=1}^{M_k} E_{kj} x_{kj} - \sum_{k=1}^h \sum_{j=1}^{M_k} \sum_{t=1}^T U_{kjt} x_{kj},$$

где U_{kjt} – текущие затраты в t -м году, связанные с осуществлением на h – м этапе j – го варианта выполнения работ. Осуществляем присвоение $f := -P'_h$.

5. Оцениваем нижнюю границу для затрат, которые могут быть понесены в результате выполнения всех оставшихся этапов, т.е. начиная от $h+1$ -го до H -го включительно.

$$Z_h = Z_{h+1, \min} + Z_{h+2, \min} + \dots + Z_{H, \min}$$

Значения $Z_{h+1, \min}, Z_{h+2, \min}, \dots, Z_{H, \min}$ были определены на этапе подготовки информации.

Величина $\pi = P'_k - Z'_k$ является оценкой верхней границы для прибыли, которая может быть получена в результате выполнения операций на этапах от 1-го до H -го включительно. Если $-\pi \geq f^*$, то использование j -го варианта не приведет к решению лучшему, чем рекордное, переходим к шагу 8.

6. Если $k < H$, рассматриваем следующий этап проекта, $k = k + 1$ и возвращаемся к шагу 2.

7. Задаем новое значение рекорда $f^* = f$ и запоминаем множество $\Theta_H := \{j_h\}_{h=1}^H$.

8. Если $j_k < M_k$, анализируем следующий вариант, т.е. $j_k := j_k + 1$ и возвращаемся к шагу 3.

9. Если $k > 1$ возвращаемся на предыдущий этап, т.е. $k = k - 1$. Извлекаем из памяти значение j_k и возвращаемся к шагу 8. Если $k=1$ и $\Theta_H = \emptyset$, задача не имеет решения, иначе получено оптимальное решение. Значение целевой функции $P' = f^*$, $F_1 := P'$.

Результаты. В результате проведенной работы были предложены математическая модель и метод оптимизации содержания проекта по критерию прибыль. Разработанные модель и метод необходимы для решения более масштабной задачи оптимизации содержания проекта по критериям прибыль, сроки, стоимость, качество и риски проекта с помощью метода, основанного на применении обобщенного критерия и неявного перебора.

Модель в сочетании с разработанным методом предназначена для решения задач оптимизации содержания проекта для условий, когда любая работа последующего этапа в проекте не может быть начата до завершения работ предыдущего этапа. При этом альтернативные варианты выполнения работ могут относиться как к одному этапу их выполнения, так и к нескольким этапам.

Предложенная математическая модель и метод оптимизации на следующих этапах работы будет применена для оптимизации проекта развития инструментального производства ГП ХМЗ «ФЭД».

Список использованных источников: 1. Набока Е.В., Колесник М.Э. Разработка компонент программного решения в рамках управления проекта на примере доставки печатной продукции по регионам Украины // Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». Сборник научных работ. –

Харьков: НТУ «ХПИ». – 2010. – №49, С. 162-167. 2. Колесник, М.Э. Методика минимизации риска в процессе оптимизации содержания проекта [Текст] / М.Э. Колесник // Вестн. Нац. тех. Ун-та «ХПИ»: сб.науч. раб. – №40. – Х., 2011. – С. 35-39. 3. Колесник, М.Э. Модель и применение метода оптимизации содержания проекта по критерию стоимость [Текст] / М.Э. Колесник // Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб. –Харьков: НТУ «ХПИ», 2012. – Вып. 81.– С.126–130. 4. Колесник, М.Э. Модель и применение метода оптимизации содержания проекта по критерию стоимость [Текст] / М.Э. Колесник // Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб. –Харьков: НТУ «ХПИ», 2012. – Вып. 82. – С.99–103. 5. Колесник, М.Э. Метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов как инструмент управления качеством производства изделий [Текст] / Е.В. Набока, М.Э. Колесник // Современные технологии в машиностроении: сб.науч. раб. – Вып. 8. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2013. – С. 236-241.

Bibliography (transliterated): 1. Naboka E.V., Kolesnik M.E. Development of the software component solutions in the management of the project as an example of delivery of printed materials in regions of Ukraine // Bulletin of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute". Collection of scientific papers. - Kharkiv: NTU "KPI". - 2010. - №49, S. 162-167. 2. Kolesnik M.E. Technique to minimize the risk in the process of optimizing the content of the project [Text] / M.E. Kolesnik // Vestn. Nat. those. Univ "KPI": sb.nauch. slave. - №40. - H., 2011 - S. 35-39. 3. Kolesnik M.E. Model and the application of the method to optimize the content of the project by the criterion value [Text] / M.E. Kolesnik // Cutting and tools in technological systems: Internat. scientific-technical. Sb. -Harkov: NTU "KPI", 2012 - Vol. 81.- S.126-130. 4. Kolesnik M.E. Model and the application of the method to optimize the content of the project by the criterion value [Text] / M.E. Kolesnik // Cutting and tools in technological systems: Internat. scientific-technical. Sb. -Harkov: NTU "KPI", 2012 - Vol. 82 - S.99-103. 5. Kolesnik M.E. The method of analysis types and consequences of potential defects as a tool for quality management products [Text] / E.V. Nabokov, M.E. Kolesnik // Modern technology in mechanical engineering: sb.nauch. slave. - Issue. 8 - Kharkiv: NTU "KPI", 2013 - S. 236-241.

ЗМІСТ

Профессор Мамалис Атанасиос Георгиос..... 3

ФІЗИКА ТА МЕХАНІКА ПРОЦЕСІВ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ

<i>Брижсан Т.М., Крюкова Н.В.</i> Условия уменьшения энергоемкости механической обработки	9
<i>Гуцаленко Ю.Г.</i> Теория и практика оптимальной организации электроразрядных технологий спекания под давлением и алмазного шлифования высокоплотных порошковых материалов.....	17
<i>Гурей I.B., Гурей В.I., Дмитерко П.Р.</i> Вплив нанокристалічного зміщеного поверхневого шару на зносостійкість срого чавуну при терті з граничним мащенням	23
<i>Добросок В.Л., Гаращенко Я.Н., Воронков В.И., Калиберда М.А.</i> Модернизация установки для плазменного раскroя листовых заготовок мод. «Харьков-П»	33
<i>Залога В.А., Зинченко Р.Н., Шаповал Ю.В.</i> Обработка деталей малых диаметров точением с высокой частотой вращения шпинделя. Проблемы и перспективы.....	50
<i>Клименко В.Г., Грабченко А.І., Пижсов І.М., Федорович В.О.</i> Деякі шляхи удосконалення процесу плоского торцевого шліфування.....	63
<i>Криворучко Д.В., Осадчий И.О., Колесник В.А.</i> Исследование свойств волокнистых полимерных композиционных материалов	74
<i>Лавріненко В.І., Дєвицький О.А., Ситник Б.В., Полторацький В.Г., Солод В.Ю.</i> Дослідження впливу електризації на процес шліфування кругами з введенням компактів мікропорошків НТМ до робочого шару.....	83
<i>Стрельчук Р.М., Узунян М.Д.</i> Моделирование размерного износа круга при шлифовании твердых сплавов из наноразмерных зерен монокарбида вольфрама	90

<i>Ступницький В.В., Кук А.М.</i> Дослідження залежності напружено-деформованого стану заготовки від переднього кута різального клина на основі реологічного моделювання процесу різання	98
<i>Оргиян А.А., Баланюк А.В.</i> Особенности колебаний консольных борштанг для тонкого растачивания	111
<i>Оргиян А.А., Творищук И.М.</i> Интенсивность параметрических резонансов при прерывистом резании	124
<i>Пыжов И.Н., Федорович В.А., Рязанова-Хитровская Н.В., Крюкова Н.В., Клименко В.Г.</i> Некоторые подходы к повышению ресурса работы алмазных карандашей	134

ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ

<i>Громнюк С.І., Грицай І.Є., Ковальчук І.О.</i> Концепція зубофрезерного верстату на основі радіально-колового способу зубонарізання	142
<i>Деревянченко А.Г., Криницyn Д.А.</i> Подход к формированию моделей состояний режущей части в структуре интеллектуальной системы диагностирования инструментов	153
<i>Залога В.О., Залога О.О.</i> До питання використання сучасних інформаційних технологій в стоматології та ортопедії	164
<i>Логоминов В.А.</i> Методика исследования регенеративных автоколебаний по СУТ-граммам при фрезеровании тонкостенных деталей	176
<i>Мазур М.П., Гаюр А.С., Бень Ю.</i> Моделювання теплових явищ процесу різання інструментом з покриттям методом скінченних елементів	183
<i>Марчук В.І., Марчук С.В., Равенець Л.М.</i> Прогнозування вібраакустичних параметрів підшипника на етапі виготовлення кілець	190

<i>Симсон Э.А., Назаренко С.А., Прево И.Д.</i> Математические модели высоконагруженных элементов современных технологических систем	199
<i>Тонконогий В.М., Дмитриева С.Ю., Якимов А.А.</i> Предотвращение возникновения параметрической неустойчивости в условиях шлифования высокоточных зубчатых колес прерывистыми эльборовыми кругами	206
<i>Тонконогий В.М., Тігарєв В.М., Козирєва К.В.</i> Розробка параметричної тривимірної моделі просторової рами автомобіля	216
<i>Яковенко А.Е., Носов П.С.</i> Современные подходы в 3D моделировании ортезных приспособлений	229
ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ	
<i>Залога В.А., Нагорний В.В., Тур А.М.</i> Програмно-апаратний комплекс діагностики металообробної технологічної системи	236
<i>Сафонов М.С., Яковенко О.Є.</i> Аналіз результатів впровадження та тестування системи управління потоками даних в існуючу інформаційну систему	247
<i>Усов А.В., Кутяков Е.Ю.</i> Технологические возможности повышения эффективности эксплуатации трансмиссий транспортных средств	256
<i>Фадеев В.А.</i> Результативность функционирования системы качества	264
ЕКОНОМІКА ТА ОСВІТА	
<i>Колісник М.Е.</i> Тенденції розвитку корпоративного підприємства	270
<i>Набока Е.В.</i> Разработка компонент программного решения в рамках управления проекта	281
<i>Оргиян А.А., Кремнев Г.П., Колесник В.М.</i> Повышение уровня практической подготовки бакалавров и магистров по технологии машиностроения	288

Раджаб Заде М., Залога В.А., Бятова Н.А., Ягмаий Джаван М.	
Качество преподавания как часть качества образования – зарубежный опыт: университеты Ирана.....	296
Фадеев А.В. Математическое обоснование максимизации прибыли в процессе оптимизации содержания проекта инструментального производства	312

Науково-виробниче видання

**СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ
В МАШИНОБУДУВАННІ**

Збірник наукових праць
Українською, російською та англійською мовами

Випуск 9

Відповідальний за випуск: проф. *B. O. Федорович*

Матеріали відтворено з авторських оригіналів

Підп. до друку 19.08.2014 р. Формат 70×100 1/16. Папір офісний.
RISO-друк. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 20,0.
Наклад 300 прим. Зам. № _____

Видавничий центр НТУ «ХПІ».
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 116 від 10.07.2000 р.
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

Друкарня ДП ХМЗ "ФЕД". Україна 61023, м. Харків, вул. Сумська, 132.
Тел./факс: (057) 719-67-82.