

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«Харківський політехнічний інститут»

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

1'2015

ВИСОКІ ТЕХНОЛОГІЇ
В МАШИНОБУДУВАННІ

HIGH TECHNOLOGIES
IN MACHINE ENGINEERING

Збірник наукових праць

Printed scientific works

Харків НТУ «ХПІ» – 2015 – Kharkiv NTU «KhPI»

ББК 34.63

УДК 621.91

Державне видання
Свідectво Державного комітету телебачення і радіомовлення України
КВ № 7839 від 8 вересня 2003 року

Друкується за рішенням Вченої Ради НТУ "ХПІ",

Редакційна колегія:

*Верезуб М. В., д.т.н. (відповідальний редактор),
Пупань Л. І. (зам. відповідального редактора),
Доброскок В. Л., д.т.н., Залого В. О., д.т.н., Зубар В. П., проф.,
Мовшович О. Я., д.т.н., Пермяков О. А., д.т.н., Тимофієв Ю. В. д.т.н.,
Турманідзе Р. С., д.т.н., Узунян М. Д., д.т.н., Фадєєв В. А., проф.,
Федорович В. О., д.т.н., Крюкова Н.В. (відповідальний секретар)*

В збірнику представлені наукові праці, які присвячені вирішенню проблем в області високих технологій машинобудування. Розглянуті питання обробки матеріалів різанням, верстатів з ЧПК, сучасного інструментального забезпечення, використання 3D моделювання для конструювання інструментальних та робочих поверхонь, контролю поверхонь, які отримані за допомогою нанотехнологій, та ін.
Для фахівців в області машинобудування, науково-технічних працівників і студентів.

Високі технології в машинобудуванні: зб. наук. праць. – Харків, НТУ “ХПІ”, 2015. – Вип. 1 (25). – 237 с.

В сборнике представлены научные труды, которые посвящены решению проблем в области высоких технологий машиностроения. Рассматриваются вопросы обработки материалов резанием, станков с ЧПУ, современного инструментального оснащения, применения 3D моделирования для конструирования инструментальных и рабочих поверхностей, контроля поверхностей, полученных с помощью нанотехнологий, и др.
Для специалистов в области машиностроения, научно-технических работников и студентов.

ББК 34.63

Матеріали відтворено з авторських оригіналів

ББК 34.63

УДК 621.91

© НТУ «ХПІ», 2015

Г.И. Ищенко, М.Г. Ищенко, Харьков, Украина

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПАО «ТУРБОАТОМ»

У статті представлений стислий ілюстрований огляд сучасних наукоємних турбінобудівних технологічних можливостей і напрямків технічного переозброєння одного з провідних підприємств світового енергетичного машинобудування.

В статье представлено краткое иллюстрированное обозрение современных наукоёмких турбиностроительных технологических возможностей и направлений технического перевооружения одного из ведущих предприятий мирового энергетического машиностроения.

The article presents a brief illustrated review of modern science intensive turbine manufacture technological possibilities and directions of technical re-equipment of one of the world's leading in energy engineering.

Введение. С начала XX столетия турбина вытеснила паровые машины и стала основным двигателем для приведения в действие электрогенераторов. Турбиностроение является основой современного энергомашиностроения, определяющего потенциал промышленности и экономики в целом. При этом развитие атомного энергомашиностроения относится к доминирующим тенденциям нынешнего, шестого технологического уклада, переживаемого экономически передовыми странами мировой цивилизации [1].

Харьковский турбогенераторный завод, построенный в 1934 году по проекту американской фирмы Дженерал Электрик и начинавший с выпуска турбин как ее лицензиат, сегодня имеет замкнутый цикл производства турбин от проектно-конструкторских работ до натурных испытаний и всемирно известный бренд «Турбоатом». По накопленному опыту разработок [2, 3] и объему установленных мощностей турбин для АЭС ПАО «Турбоатом» успешно конкурирует с наибольшим в Европе немецким транснациональным концерном Сименс и самой большой многоотраслевой производственной группой Японии Мицубиси, вместе с крупной французской компанией Альстом и американскими транснациональными гигантами Вестингауз и той же Дженерал Электрик, см. рис. 1, входит в четверку мировых соперничающих лидеров атомного энергомашиностроения, на долю которых совокупно приходится 2/3 глобального рынка.

Свои трудовые успехи торящий свой девятый десяток ПАО «Турбоатом» на протяжении всей своей истории неразрывно связывает с учебно-научно-производственным сотрудничеством с отечественной высшей технической школой, прежде всего с НТУ «ХПИ».

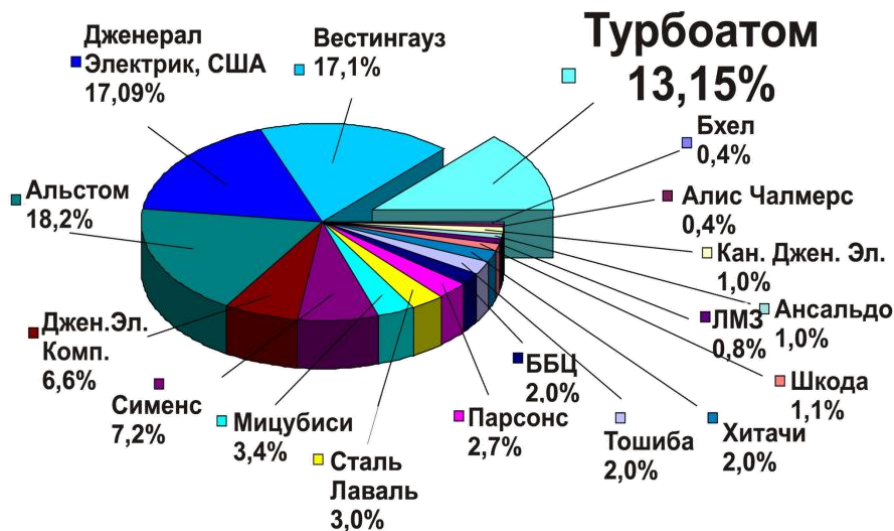


Рисунок 1 – Распределение установленных мощностей турбин для АЭС по фирмам-изготовителям

Для обеспечения конкурентоспособных эксплуатационных характеристик и технологичности производства турбин необходимы наукоемкие знания из металловедения, динамики и прочности машин, технологии машиностроения, автоматизированного управления, необходимо изучать возникающие в турбине тепловые процессы. Не случайно одновременно с закладкой в Харькове турбогенераторного завода в 1930 году в Харьковском механико-машиностроительном институте (ХММИ, ныне НТУ «ХПИ») создается ряд факультетов и кафедр, вовлеченных в подготовку специалистов и решение конструкторско-технологических инженерно-научных проблем становления и развития отечественного турбиностроения. Создается уникальная кафедра турбиностроения (1930 г.), научно-исследовательская лаборатория которой в современной истории Украины официально признана ее национальным достоянием (с 2006 г.), кафедра динамики и прочности машин (1930 г.), кафедра металловедения и термической обработки металлов (1932 г.) и др. [4-7].

Свой путь инноваций, надежности и успеха [8] ПАО «Турбоатом» во все времена преодолевает и вместе с научной школой физики процессов резания и подготовившей ему многих впоследствии высококвалифицированных специалистов и руководителей производства кафедрой резания металлов и металлорежущих инструментов (ныне – интегрированных технологий машиностроения) НТУ «ХПИ», от рождения предприятия и до наших дней

возглавляемыми выдающимися организаторами высшего технического образования и науки профессорами Н. И. Резниковым, М. Ф. Семко (с 1941 г.) и А. И. Грабченко (с 1979 г.) [9-11].

Представляемое здесь краткое иллюстрированное обозрение современных турбиностроительных технологических возможностей и направлений технического перевооружения ПАО «Турбоатом» направлено на привлечение внимания и профессиональной компетенции широкого круга специалистов к особой сложности и уникальной масштабности инженерно-научных технологических задач механообработки, стоящих перед предприятием и решаемых им.

Не менее важной логистической функцией представленного обзора является донесение до потенциальных потребителей в реальном секторе экономики технологических возможностей и инвестиционной привлекательности ПАО «Турбоатом».

В предлагаемой фактографической иллюстрированной подборке использованы авторские материалы и материалы сайта предприятия [12].

Технологические возможности. Структура производства ПАО «Турбоатом» включает металлургическую (10 %), сварочную (25 %) и механосборочную (65 %) составляющие.

Механосборочное производство располагает всеми видами оборудования для выполнения таких работ, как точение, растачивание, фрезерование, сверление, шлифование, нарезание зубьев, дробеструйная очистка и окрашивание, сборка и испытание. В его распоряжении находится 1836 ед. металлорежущего оборудования, в том числе 125 уникальных металлорежущих станков и более 80 станков с ЧПУ.

Обработка деталей типа «вал» производится на уникальных токарных станках с диаметром обработки до 5 м и длиной до 16 м (рис. 2). Высокоточная обработка выполняется на станках фирмы Хёш с максимальной грузоподъемностью до 200 т, диаметром обработки до 3,2 м и длиной до 14 м (рис. 3).

Для обработки корпусных и кольцевых деталей используются также уникальные токарно-карусельные станки Краматорского завода тяжелых станков с максимальным диаметром обрабатываемых деталей до 20 м, высотой до 5,2 м и суммарной массой до 400 т (рис. 4).

Растачивание деталей производится на уникальном немецком (фирмы Вальдрых Кобург) и итальянском (фирмы Инноченти) оборудовании. В первом случае габариты рабочего пространства 5х5,8х17 м и грузоподъемность стола 200 т (рис. 5). Во втором – размер стола 4,5х4,5 м, диаметр шпинделя 0,22 м, грузоподъемность 150 т (рис. 6).



Рисунок 2 – Обработка вала гидротурбины
на токарном станке фирмы Шкода



Рисунок 3 – Обработка ротора паровой турбины
на токарном станке с ЧПУ фирмы Хёш



а



б

Рисунок 4 – Обработка статора (*а*) и диафрагмы (*б*) на токарно-карусельных станках моделей 1594 (*а*) и КУ-152Ф1 (*б*)

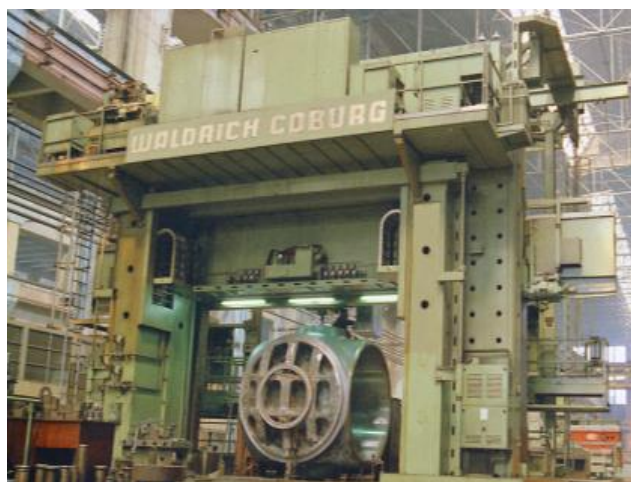


Рисунок 5 – Обработка ротора шарового затвора на обрабатывающем центре с ЧПУ фирмы Вальдрих Кобург



Рисунок 6 – Растачивание внутреннего кольца направляющего аппарата на станке фирмы Инноченти

Фрезерование поверхностей сложной формы осуществляется на уникальных станках с ЧПУ немецкой фирмы Шисс (рис. 7), итальянской фирмы Инноченти (рис. 8) и отечественном производства Краматорского завода тяжелых станков (рис. 9), оснащенных поворотными столами грузоподъемностью до 150 т.



Рисунок 7 – Фрезерование лопасти гидротурбины на горизонтально-фрезерном станке фирмы Шисс



Рисунок 8 – Обработка лопасти рабочего колеса на фрезерно-расточном станке фирмы Инноченти



Рисунок 9 – Нарезание «елочных» пазов для установки лопаток последних ступеней паровой турбины мощностью 1 млн. кВт на роторно-фрезерном станке мод. КУ-324М

Фрезерование профиля рабочих лопаток проводится на модернизированном специальном оборудовании с ЧПУ (рис. 10) и является одним из основных объектов приложения программы технической модернизации механосборочного производственного сегмента предприятия [8].



Рисунок 10 – Обработка рабочих лопаток паровых турбин на станке ЧПУ модели ГФ2253С1

Перевооружение механообрабатывающего комплекса. Техническое перевооружение ПАО «Турбоатом» обеспечивает самоинвестированием из собственных оборотных средств без привлечения дополнительных кредитов. Основное содержание модернизации станочного парка, учитывая его полную реконструкцию в последнем десятилетии советского периода, заключается в закупке и установке современных систем ЧПУ, среднесрочной комплектации запчастями и эффективном инструментальном обеспечении [13].

Однако не исключается и принятие решений о покупке и нового станочного оборудования, как это было сделано в отношении ныне эксплуатируемых на предприятии шести станков известной американской компании Хаас: трех токарных и трех фрезерных, с общей суммой контракта на поставку на сумму порядка 600 тыс. долл. [8].

В порядке организационной поддержки действующей программы технического развития на 2008-2015 гг., предусматривающей модернизацию производства по всем направлениям с общим объемом затрат 800 млн. грн. [8], на предприятии проведена реорганизация ремонтной службы с преодолением ее децентрализации и усилением акцента от поддерживающего работоспособность текущего ремонта станочного оборудования к капитальному ремонту и расширяющей технологические возможности модернизации [14].

В лопаточном производстве выполнена модернизация станков (всего 15 шпинделей) для круговой обработки лопаток паровых турбин с установкой систем ЧПУ. Рис. 11-13 демонстрируют вид станков после модернизации.



Рисунок 11 – Обработка турбинных лопаток на модернизированном обрабатывающем центре с ЧПУ модели ИС-800ПМФ4



Рисунок 12 – Фрезерование турбинных лопаток по программе на станке модели 65A90Ф4



Рисунок 13 – Обработка турбинных лопаток на модернизированном станке с ЧПУ фирмы Форест

Рис. 14-15 характеризуют масштаб ремонтно-модернизационных работ, проводимых на крупнотоннажном металлорежущем оборудовании.

В июле 2015 года в паротурбинном цехе после завершения капитального ремонта и модернизации введен в эксплуатацию продольно-фрезерный станок-гигант модели НС-33Ф2 (рис. 16). Этот обрабатывающий центр предназначен для комплексной обработки крупногабаритных деталей паровых и гидротурбин сложной конфигурации. Ремонтно-модернизационные работы на этом станке совместно с инженерно-техническими и ремонтными службами ПАО «Турбоатом» около двух лет выполнялись специалистами компании Вальдрих Кобург. Реновация основных узлов НС-33Ф2, в частности суппорта и направляющих, выполнена в Германии. Станок оснащен необходимыми новыми универсальными головками и новой системой ЧПУ фирмы Сименс.



Рисунок 14 – Общий вид ремонтно-модернизационной платформы обрабатывающего центра с ЧПУ фирмы Вальдрик Кобург



Рисунок 15 – Рабочий момент капитального ремонта и модернизации станка фирмы Шисс

Выполненная реконструкция продольно-фрезерного станка модели НС-33Ф2 повысила точность и качество обработки деталей. Благодаря применению современной фрезерной головки появилась возможность пятикоординатной обработки сложного профиля деталей. Объединение операций технологического процесса позволяет теперь снизить трудоемкость и сократить производственный цикл, вернуть на предприятие работы, выполнявшиеся по кооперации в домодернизационный период.



Рисунок 16 – Капитальный ремонт и модернизация специального продольно-обрабатывающего станка с ЧПУ модели NC-33Ф2

В августе 2015 года, после ремонта и модернизации, выполненных инженерно-техническими и ремонтными службами предприятия, в литейном цехе прошел тестирование и начал работать токарно-карусельный станок модели 1516Ф1 с диаметром планшайбы 1,5 м и скоростью перемещения суппорта 1,8 м/мин. Наибольшие параметры обрабатываемой заготовки: диаметр – 1,6 м, высота – 1 м, масса – 6,3 т. Основная задача этого станка – предварительная обработка заготовок из цветного литья, на участке которого он установлен, что позволяет замкнуть цикл производства деталей из такого литья в цехе. Передача готовых деталей в основное производство значительно ускорит его цикл.

В соответствии с программой технического перевооружения предприятия и в соответствии с подписанным в 2013 году контрактом с чешской фирмой Шкода [8] выполняется модернизация горизонтально-расточного станка (рис. 17).

Также по плану технического перевооружения в 2015 году запланирован пуск продольно-фрезерного станка модели 6640Ф2 в цехе механообрабатывающего и сварочного производства (рис. 18).



Рисунок 17 – Модернизация горизонтально-расточного станка модели W-200 фирмы Шкода



Рисунок 18 – Капитальный ремонт и модернизация продольно-фрезерного станка с ЧПУ модели 6640Ф2

Заключение. Расширение технологических возможностей предприятия является необходимым условием успешной конкуренции в условиях мирового экономического кризиса и обострения глобального соперничества в энергетическом машиностроении. ПАО «Турбоатом» видит в этом как источник обеспечения динамичного развития производства собственных разработок, так и выхода на мировой рынок с высокотехнологичными изделиями конкурирующих фирм на правах их лицензиата, что просматривается, например, в уже обозначенных перспективах сотрудничества с представляющей крупнейшую многоотраслевую производственную группу Японии фирмой Мицубиси Хеви Индастриз в отношении совместного производства для рынков СНГ паровой турбины мощностью 600 МВт, рассчитанной для работы на сверхкритических параметрах [13].

В первом полугодии 2015 года ПАО «Турбоатом» вложило 20,8 млн. грн. в собственное техническое перевооружение и капитальный ремонт.

Предприятием отгружены ряды рабочих лопаток для Южно-Украинской АЭС, Змиевской и Трипольской ТЭС в Украине, две гидравлические турбины для ДнепроГЭС-2 №5 (Украина) и Новосибирской ТЭС №3 (Россия), закладные части для Кременчугской ТЭС №5 (Украина) и Новосибирской ТЭС №4 (Россия), оборудование для Днестровской ГАЭС №3, Кременчугской ТЭС №9 (Украина) и ТЭС Ингури (Грузия).

Доход от реализации продукции ПАТ «Турбоатом» в первом полугодии 2015 года составил 1 млрд. 374 млн. грн. с темпом роста 124 % к аналогичному периоду 2014 года. Удельный вес экспорта в общем объеме реализации составил 65 % [12].

Вся более чем 80-летняя история феномена инноваций, надежности и успеха ПАО «Турбоатом» в мировом энергетическом машиностроении [8] свидетельствует о привлекательности инженерно-научного творчества в его тематическом поле, перспективности интеллектуальных и финансовых инвестиций в его деятельность.

Список использованных источников: 1. Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science: NSF/DOC – sponsored report / Ed. by M. C. Roco and W. S. Bainbridge. – Arlington, Virginia: National Science Foundation, June 2002. – 424 p. – Режим доступа : <http://www.wtec.org/ConvergingTechnologies/1/NBIC-report.pdf>. 2. Турбоатому - 75. История, достижения, перспективы / В. Г. Субботин (ред.), А. А. Бугаец (ред.). – Харьков : Золотые страницы, 2009. – 200 с. 3. Левченко, Е. В. Опыт ОАО «Турбоатом» в разработке и модернизации турбин для АЭС / Е. В. Левченко, В. Л. Швецов И. И. Кожешкурт, А. Н. Лобко // Вестн. Нац. техн. ун-та «Харьк. политехн. ин-т». Сер.: Энергетические и теплотехнические процессы и оборудование. – 2010. – № 3. – С. 5-11. 4. Интервью с генеральным директором ОАО «Турбоатом» В. Г. Субботиным / Беседу записал : В. В. Дмитрик // Автоматическая сварка. – 2014. – № 12. – С. 3-4. 5. Меньшиков, С. О. Внесок харківських вчених у розвиток атомної енергетики / С. О. Меньшиков // Вісн. Нац. техн. ун-ту «Харк. політехн. ін-т». Сер. : Історія науки

і техніки. – 2013. – № 48. – С. 91-100. **6.** *Меньшиков, С. О.* Співпраця кафедри турбінобудування ХПІ з Харківським турбінним заводом / *С. О. Меньшиков* // Вісн. Нац. техн. ун-ту «Харк. політехн. ін-т». Сер.: Історія науки і техніки. – 2012. – № 42. – С. 73-80. **7.** *Завистовская, Е. И.* Проблемы прочности в турбостроении и развитие школы механики НТУ «ХПИ» / *Е. И. Завистовская, А. А. Ларин* // Вісн. Нац. техн. ун-ту «Харк. політехн. ін-т». Сер.: Історія науки і техніки. – 2009. – № 48. – С. 40-49. **8.** *Субботин, В. Г.* «Турбоатом» – это 80 лет инноваций, надежности и успеха / *В. Г. Субботин*, интервью. Провела: *О. Щукина* // Турбоатом : газ. трудового коллектива ОАО «Турбоатом». – 6 февр. 2014 г. – № 1 (4784). – С. 1-2. – Режим доступа : <http://www.turboatom.com.ua/content/documents/27/2673/files/2014-02-06.pdf>.

9. *Лісачук, Г. В.* Загальна характеристика напрямів науково-технічної співпраці вчених Харківського політехнічного інституту з промисловими підприємствами господарського комплексу Радянського Союзу у 1950 – 1980-х роках / *Г. В. Лісачук* // Вісн. Нац. техн. ун-ту «Харк. політехн. ін-т». Сер.: Історія науки і техніки. – 2011. – № 1. – С. 90-99. **10.** *Машинобудівний факультет. 125 років у складі ХПІ: монографія / За заг. ред. А. І. Грабченка і М. С. Степанова.* – Х.: Вид-во «Курсор», 2010. – 212 с. **11.** *Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»* [Официальный сайт; г. Харьков, Украина]. – Режим доступа : <http://www.kpi.kharkov.ua>. **12.** *ПАТ «Турбоатом»* [Официальный сайт; г. Харьков, Украина]. – Режим доступа : <http://www.turboatom.com.ua>. **13.** *Бугаец, А. А.* С уверенностью в завтрашнем дне / *А. А. Бугаец, В. Г. Субботин*, пресс-конф. Подготовил : *А. Корбут* // Турбоатом : газ. трудового коллектива ОАО «Турбоатом». – 29 янв. 2009 г. – № 3 (4605). – С. 1-2. – Режим доступа : <http://www.turboatom.com.ua/content/documents/1/65/files/2009-01-29.pdf>. **14.** *Ищенко, Г. И.* Реорганизация ремонтной службы предприятия – требование времени / *Г. И. Ищенко, А. Б. Килесо*, интервью. Провела : *М. Арестова* // Турбоатом : газ. трудового коллектива ОАО «Турбоатом». – 11 февр. 2009 г. – № 4 (4606). – С. 1-2. – Режим доступа : <http://www.turboatom.com.ua/content/documents/1/65/files/2009-02-11.pdf>.

Bibliography (transliterated): **1.** *Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science.* NSF/DOC – sponsored report. Ed. by M. C. Roco and W. S. Bainbridge. Arlington, Virginia. National Science Foundation, June 2002. 424 p. Web. 15 Aug. 2015

<<http://www.wtec.org/ConvergingTechnologies/1/NBIC-report.pdf>>. **2.** *Turboatomu – 75. Istorija, dostizhenija, perspektivy.* V. G. Subbotin and A. A. Bugaec, ed. Kharkov: Zolotyie stranicy, 2009. Print.

3. *Levchenko, E. V., et al.* "Opyt OAO "Turboatom" v razrabotke i modernizacii turbin dlja AES." *Visnyk NTU "KhPI"*. No. 3. 2010. 5-11. Print. **4.** "Interv'ju s general'nym direktorom OAO "Turboatom" V. G. Subbotinym." V. V. Dmitrik, interviewer. // *Avtomaticheskaja svarka*. No. 12. 2014. 3-4. Print. **5.** *Men'shikov, S. O.* "Vnesok harkivsk'ikh vchenih u rozvitok atomnoi energetiki." *Visnyk NTU "KhPI"*. No. 48. 2013. 91-100. Print. **6.** *Men'shikov, S. O.* "Spivpracija kafedri turbinobuduvannja KhPI z Harkivsk'im turbinnim zavodom." *Visnyk NTU "KhPI"*. No. 42. 2012. 73-80. Print. **7.** *Zavistovskaja, E. I. and A. A. Larin.* "Problemy prochnosti v turbostroenii i razvitie shkoly mehaniki NTU "KhPI". *Visnyk NTU "KhPI"*. No. 48. 2009. 40-49. Print. **8.** *Subbotin, V. G.* "Turboatom" – jeto 80 let innovacij, nadezhnosti i uspeha." Interview. O. Shhukina, interviewer. *Turboatom : gaz. trudovogo kollektiva "Turboatom" Public Corporation*. 6th Feb. 2014. No. 1. 1-2. Web. 15 Aug. 2015 <<http://www.turboatom.com.ua/content/documents/27/2673/files/2014-02-06.pdf>>. **9.** *Lisachuk, G. V.* "Zagal'na harakteristika naprjamiv naukovo-tehnichnoi spivpraci vchenih Harkiv'skogo politehnichnogo institutu z promislivimi pidpriemstvami gospodars'kogo kompleksu Radjansk'kogo Sojuzu u 1950 – 1980-h rokah." *Visnyk NTU "KhPI"*. No. 1. 2011. 90-99. Print. **10.** *Mashinobudivnij fakul'tet. 125 rokiv u skladi KhPI: Monografija.* A. I. Grabchenko and M. S. Stepanov, ed. – Kharkov: Izd-vo "Kypcor", 2010. Print. **11.** *Nat. Tech. Univ. "Kharkov Polytechnic Inst."* Web. 15 Aug. 2015 <<http://www.kpi.kharkov.ua>>. **12.** *"Turboatom" Public Corporation.* Web. 15 Aug. 2015 <<http://www.turboatom.com.ua>>. **13.** *Bugaec, A. A. and V. G. Subbotin.* S uverennost'ju v zavtrashnem dne. Press conference. A. Korbut, ed. *Turboatom : gaz. trudovogo kollektiva "Turboatom" Public*

Corporation. 29th Jan. 2009. No. 3. 1-2. Web. 15 Aug. 2015
<<http://www.turboatom.com.ua/content/documents/1/65/files/2009-01-29.pdf>>. 14. Ishhenko, G. I. and A. B. Kileo. "Reorganizacija remontnoj sluzhby predprijatija – trebovanie vremeni." Interview. M. Arestova, interviewer. *Turboatom : gaz. trudovogo kollektiva "Turboatom" Public Corporation*. 11th Feb. 2009. No. 4. 1-2. Web. 15 Aug. 2015
<<http://www.turboatom.com.ua/content/documents/1/65/files/2009-02-11.pdf>>. 9. Bugaev, A. A. and V. G. Subbotin. S uverennost'ju v zavtrashnem dne. Press conference. A. Korbut, ed. *Turboatom : gaz. trudovogo kollektiva "Turboatom" Public Corporation*. 29th Jan. 2009. No. 3. 1-2. Web. 15 Aug. 2015
<<http://www.turboatom.com.ua/content/documents/1/65/files/2009-01-29.pdf>>.

УДК.669.15

С.Б. Беликов, д-р техн. наук; И.П. Волчок, д-р техн. наук;
В.В. Нетребко, канд. техн. наук, Запорожье, Украина;

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА И СВОЙСТВ ИЗНОСОСТОЙКИХ ВЫСОКОХРОМИСТЫХ ЧУГУНОВ

Показано, що вміст вуглецю до 2,4% та хрому до 24%, забезпечує задовільну оброблюваність зносостійких чавунів, легованих Ni та Mn до 2%. Для чавунів, які працюють в корозійному середовищі, а також чавунів які містять більше 4% Mn, рекомендуються проводити відпал при 720° C, для інших – нормалізацію від 1050° C. Надані настанови, щодо розробки складу зносостійких чавунів, легованих Mn та Ni, з урахуванням необхідності проведення механічної обробки різанням.

Показано, что содержание углерода до 2,4% и хрома до 24% обеспечивает удовлетворительную обрабатываемость износостойких чугунов, легированных Ni и Mn до 2%. Для чугунов, эксплуатируемых в коррозионной среде, а также чугунов, содержащих более 4% Mn рекомендуется проводить отжиг при 720° C, для других – нормализацию от 1050° C. Предложены рекомендации по разработке составов износостойких чугунов, легированных Mn и Ni, с учетом необходимости проведения механической обработки.

It has been shown that content of carbon up to 2.4% and chromium up to 24% provides satisfactory machinability of wear-resistant cast irons alloyed by Ni and Mn up to 2%. It is recommended to carry out annealing at 720° C for cast irons operation in the corrosive media as well as for cast irons containing more than 4% of Mn. Other cast irons require normalization from 1050° C. Recommendations for development of compositions of wear-resistant cast irons alloyed by Ni and Mn, taking into account the necessity of mechanical treatment, have been suggested.

Введение. Постановка задачи исследования. Высокохромистые чугуны используются для деталей машин, работающих в условиях интенсивного абразивного изнашивания в различных средах [1-3]. Структура чугунов состоит из металлической основы, которая может быть ферритной, мартенситной, аустенитной или состоящей из этих фаз в определенных соотношениях и карбидов, в количестве до 40 %. Свойства и применение этих чугунов определяются сочетанием различной металлической основы и количества карбидов.

Металлическая основа износостойких чугунов должна обладать достаточной прочностью и вязкостью для удержания карбидов. Лучшими в этом отношении являются мартенситная основа и аустенитная, образующая мартенсит деформации. Оптимальной основой, в условиях ударно-абразивного изнашивания, является мартенсито-аустенитная, содержащая 50...70 % аустенита [4]. Однако такие чугуны практически невозможно обрабатывать лезвийным инструментом.

Проблема обрабатываемости этих материалов возникает при

изготовлении ремонтного литья в мелкосерийном производстве, где неэффективно использование специализированного оборудования или специальных методов обработки (электроэрозионной или электрохимической). Обрабатываемость резанием зависит от исходной структуры и свойств материала детали, состояния литой поверхности, наличия литейных дефектов (раковин), материала резца, режимов резания, процессов, вызывающих изменение структуры во время обработки и других факторов [5]. Известные способы повышения обрабатываемости (уменьшение содержания углерода и легирующих элементов) снижают износостойкость. Улучшение обрабатываемости высокохромистых чугунов за счет проведения смягчающей термической обработки (отжига) требует проведения восстановительной обработки (нормализации или закалки) после механической обработки [1, 6, 7]. Такая технология является дорогостоящей и энергозатратной.

Наиболее оптимальным решением этой проблемы является получение чугуна с удовлетворительной обрабатываемостью в литом состоянии с последующей термической обработкой, повышающей твердость и износостойкость.

При разработке составов износостойких чугунов с удовлетворительной обрабатываемостью необходимо учитывать:

- наличие коррозионной среды (необходимо содержание хрома в металлической основе более 13%);
- твердость абразива (требуется высокая твердость металлической основы, а также большое количество карбидов прочно закрепленных в основе);
- наличие ударных нагрузок (легирование Ni и Mn);
- образование крупных заэвтектических карбидов, снижающих износостойкость и ухудшающих обрабатываемость резанием.

В процессе термической обработки протекают процессы, которые влияют на эти ограничения:

- при охлаждении снижается растворимость углерода в γ -Fe, что вызывает образование специальных карбидов Cr, которые снижают содержание Cr в металлической основе особенно в околокарбидных зонах;
- образуются мелкодисперсные карбиды, которые могут выкрашиваться в процессе эксплуатации, что снижает износостойкость.

Целью данной работы являлась определение влияния химического состава чугуна на его обрабатываемость, а также влияние отжига и нормализации на твердость чугуна и химическую неоднородность металлической основы.

Методика исследования. Химический состав исследуемых чугунов представлен в таблице. Чугун выплавляли в индукционной печи с основной футеровкой. В сухие формы отливали цилиндрические образцы диаметром 30 мм и длиной 400 мм, которые перед испытаниями обтачивались

до диаметра 25 мм. Оценка обрабатываемости чугунов производилась по методу А.С. Кондратова с построением зависимостей линейного износа задней поверхности резца от скорости резания в двойной логарифмической сетке координат [5], а так же путем определения линейного износа на единицу длины пути резания. Для точения использовали резцы с пластинами 10x10 мм из сплава ВК8 по ГОСТ 19051-80. Режимы резания: глубина резания – 0,8 мм; продольная подача – 0,15 мм/об, частота вращения шпинделя при точении 200...630 об/мин. СОЖ не применяли. Анализ структуры выполняли на оптическом микроскопе Sigeta MM-700 и РЕМ 106И. Свойства чугунов определяли в литом состоянии и после отжига в течение 9 ч при 720 °С, а также после гомогенизирующей выдержки при 1050° С в течение 4,5 ч с последующей нормализацией. Коррозионные испытания чугунов проводили в среде HCl с pH 2,5. Микротвердость структурных составляющих измеряли на приборе ПМТ-3 и Duramin-1, макротвердость сплава – на твердомере Роквелла.

Таблица – Химический состав исследуемых чугунов (масс. %)

№ п/п	C	Cr	Mn	Ni	Si
1	1,1...3,8	17,8	1,5	0,2	1,3
2	3,1	11,4...29,9	1,6	1,4	1,1
3	2,5	18,9	0,7...5,9	0,2	1,3
4	3,4	19,7	5,7	0,2...2,7	1,0

Результаты исследований и их обсуждение. Структуры исследуемых чугунов представлены на рис. 1. С ростом содержания углерода в чугуне, с 17,8% Cr, 1,5% Mn и 0,2% Ni (п. 1 табл.) увеличивалось количество карбидов и изменялся тип карбидов от разобщенных $Me_{23}C_6$ – Me_7C_3 при 1,1% C до сплошной ледебуритной сетки из смеси карбидов Me_3C – Me_7C_3 при 3,7% C.

Влияние хрома на карбидную фазу носило противоположный характер. При увеличении содержания хрома в чугуне, содержащем 3,1% C, 1,6% Mn и 1,4% Ni (п. 2 табл.) карбидная фаза изменяется от Me_3C – Me_7C_3 при 11,4% Cr до Me_7C_3 при 29,9% Cr с образованием крупных заэвтектических карбидов.

Влияние марганца и никеля (п. 3, 4 табл.) на структуру высокохромистого чугуна проявлялось в изменении металлической основы. При минимальном содержании марганца и никеля основа была ферритной, а при их максимальном количестве аустенитной.

Структурные изменения в чугунах оказали большое влияние на их свойства, в том числе на обрабатываемость. Зависимости интенсивности изнашивания резца от скорости резания при изменении химического состава чугуна представлены на рис. 2. Влияние Mn и Ni на износ резца показано на рис. 3.

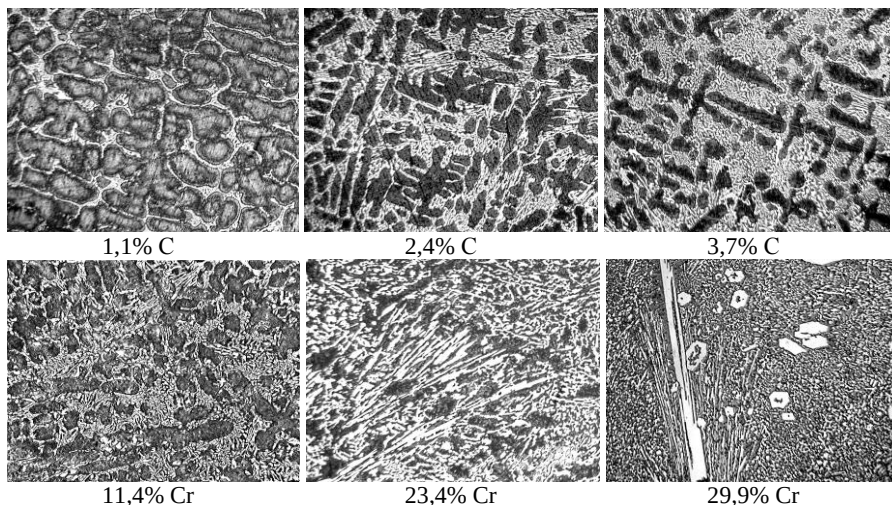


Рисунок 1 – Структура чугунов в литом состоянии с различным содержанием углерода (п. 1 табл.) и хрома(п. 2 табл.), $\times 150$

Результаты стойкостных испытаний позволяют отметить следующее. Увеличение содержания углерода и марганца в чугуне увеличивает износ резца. Чугуны, содержащие до 1,6% С обладали удовлетворительной обрабатываемостью. Особенно сильное изнашивание резца происходило при увеличении содержания углерода более 2,4%, что объясняется образованием сплошной сетки цементита с твердостью более 800 HV₅₀. Марганец в количествах до 2% незначительно увеличил износ резца, за счет твердорастворного упрочнения. Повышение содержание марганца с 2% до 4% интенсифицировало износ резца в результате появления закалочных структур с твердость 800...900 HV₅₀. Дальнейшее увеличение содержания марганца резко увеличивало износ резца в результате образования аустенитной металлической основы и появления наклепа с твердостью более 1000 HV₅₀. Влияние Cr на интенсивность изнашивания резца показывает, что увеличение содержания хрома с 11,4% до 16,4% снижало износ резца в результате появления специальных карбидов (карбидной эвтектики) которые разрушали сетку цементита и улучшили обрабатываемость. Дальнейшее увеличение содержания хрома в чугуне увеличивало износ резца, что связано с возрастанием доли карбидов хрома, обладающих более высокой твердостью, чем у цементита. Особенно сильное изнашивание резца наблюдалось в чугуне, содержащем 29,9% хрома при появлении крупных заэвтектических карбидов (Cr,Fe)-C₃ твердостью более 1400 HV₅₀. Легирование никелем снижало интенсивность изнашивания резца за счет образования аустенита менее склонного к наклепу.

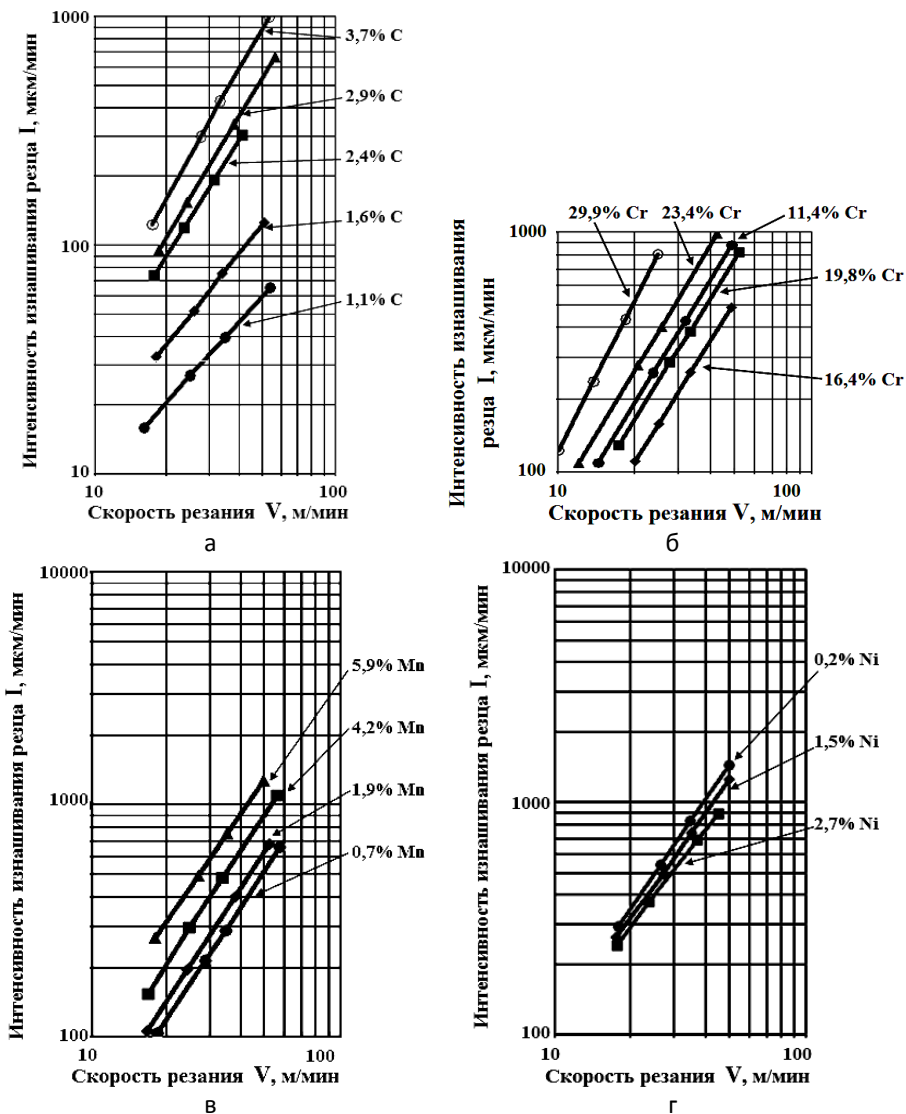


Рисунок 2 – Влияние химического состава чугуна и скорости резания на интенсивность изнашивания реза

а) – влияние C (п. 1 табл.), б) – влияние Cr (п. 2 табл.),
в) – влияние Mn (п. 3 табл.), г) – влияние Ni (п. 4 табл.)

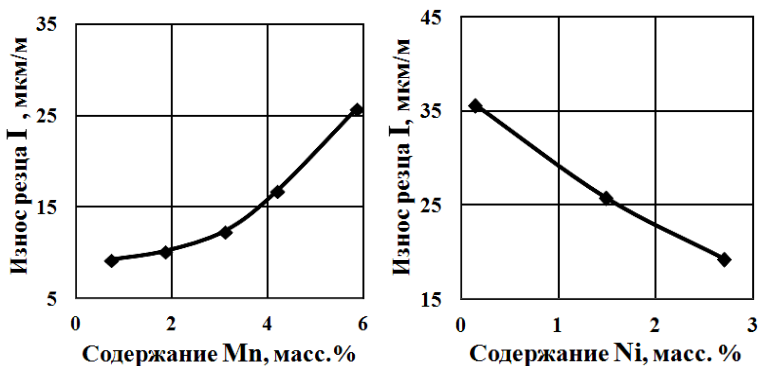


Рисунок 3 – Влияние Mn (п. 3 табл.), и Ni (п. 4 табл.), на износ резца

Увеличение скорости резания увеличивало изнашивание резца во всех случаях. При увеличении содержания углерода и марганца интенсивность изнашивания возрастала, о чем свидетельствует изменение угла наклона линий изнашивания. В чугунах с 1,1% С (рис. 2а) увеличение скорости резания с 20 до 50 м/мин увеличило интенсивность изнашивания с 20 до 65 мкм/мин, а при 3,7% С интенсивность изнашивания возросла со 150 до 900 мкм/мин. При содержании 0,7% Mn (рис. 2в) увеличение скорости резания с 20 до 50 м/мин увеличило интенсивность изнашивания со 110 до 500 мкм/мин, а при 5,9% Mn с 310 до 1200 мкм/мин.

С ростом содержания хрома от 11,4 до 16,4% (рис. 2б) интенсивность изнашивания резца при скорости резания 20 мкм/мин снижалась с 200 до 110 мкм/мин. Дальнейшее увеличение содержания хрома до 29,9% увеличило интенсивность изнашивания резца до 520 мкм/мин.

Положительное влияние никеля (рис. 2г) на интенсивность изнашивания проявляется с возрастанием скорости резания, так при скорости резания 20 м/мин увеличение никеля с 0,2% до 5,7% снижает изнашивание резца с 340 до 280 мкм/мин (17,6%), а при 45 м/мин с 1260 до 900 мкм/мин (28,6%).

Анализ коррозионных процессов протекающих в этих чугунах показал, что коррозия начинается с околокарбидных зон, содержащих менее 12,5% Cr. В чугунах, содержащих 1,1% С и 17,8% Cr коррозионный процесс развивался преимущественно в центре зерен в которых содержание хрома в металлической основе составляло более 12,6% (рис. 4а). При содержании 2,9% С, в этом чугуне, коррозионный процесс развивался преимущественно по границам карбидов, где содержание хрома составляло 8,4% (рис. 4б). При повышении содержания хрома до 29,9% в чугуне с 3,1% С коррозионный процесс носил равномерный характер, минимальное содержание хрома в металлической основе составляло 14,2% (рис. 4в).

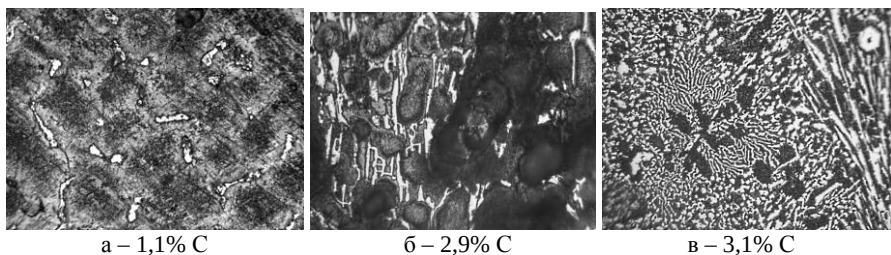


Рисунок 4 – Коррозия высокохромистых чугунов (п. 1 табл.)

Проведение отжига при 720 °С повысило твердость чугуна, содержащего 1,1% С (п. 1 табл.) с 34...35 HRC до 51...52 HRC. После гомогенизирующей выдержки при 1050 °С с последующей нормализацией твердость составила 44...45 HRC. Минимальное содержание хрома в металлической основе повысилось до 13,5...13,7% соответственно. Структура чугунов после термообработки представлена на рис. 5. Специфическое изменение твердости объясняется тем, что при 720 °С происходит распад первородного аустенита с образованием мелкодисперсных карбидов (рис. 5б). Выдержка при 1050 °С вызывала образование высокохромистых карбидов Cr_7C_3 , которые в отличие от карбидов $Cr_{23}C_6$, меньше обедняли основу хромом, что способствовало образованию ферритной основы (рис. 5в).

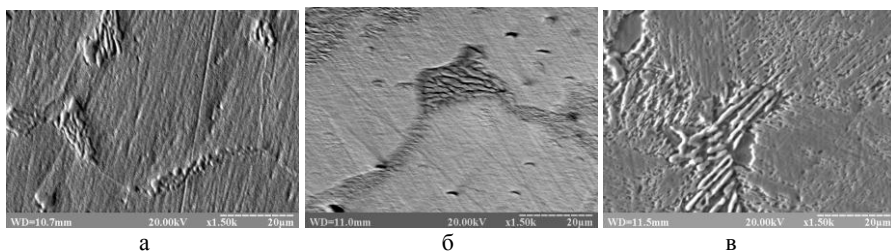


Рисунок 5 – Структура чугуна, содержащего 1,1% С 17,8% Cr, 1,5% Mn и 0,2% Ni (п. 1 табл.): а) в литом состоянии, б) после отжига, в) после нормализации

В чугуне содержащем 3,1% С и 29,9% Cr (п. 2 табл.) твердость в литом состоянии составила 57...59 HRC, после отжига 48...49 HRC, после нормализации 60...62 HRC. Минимальное содержание хрома в основе составляло 14,6% после отжига и 12,0% после нормализации. Структуры чугунов представлены на рис. 6. В процессе отжига в чугуне произошло обеднение основы углеродом, что снизило твердость (рис. 6б). При выдержке в течение 4,5 ч при 1050 °С происходило растворение карбидов, которые при нормализации (охлаждении) выделились в мелкодисперсном виде (рис. 6в), что повысило твердость.

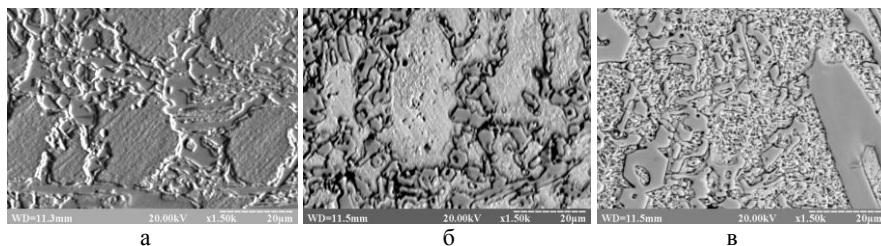


Рисунок 6 – Структура чугуна, содержащего 3,1% С 29,9% Cr, 1,6% Mn и 1,4% Ni (п. 2 табл.): а) в литом состоянии, б) после отжига, в) после нормализации

Чугуны содержащие 2,4...2,9% С, 11,4...19,8% Cr, 1,5% Ni и до 1,9% Mn в литом состоянии имели твердость 50...52 HRC. После отжига твердость этих чугунов понижалась до 37...38 HRC. После нормализации твердость этих чугунов содержащих 11,4% Cr составила 53...55 HRC, а содержащих 19,8% Cr – 59...61 HRC. В чугунах содержащих более 4% Mn отжиг повышал твердость, а нормализация снижала.

Изменение свойств чугунов при отжиге и нормализация объясняется процессами карбидообразования (изменение типа карбидов и их количества), появлением закалочных структур из-за изменения положения критических точек диаграммы Fe-C в результате легирования Cr, Mn, Ni, а также процессами перераспределения этих элементов при термической обработке.

ВЫВОДЫ.

1. Удовлетворительную обрабатываемость, в литом состоянии, имеют износостойкие чугуны, легированные до 2% Mn и 1,5% Ni, содержащие углерод до 2,4% и хром до 24%. Для повышения твердости этих чугунов, после механической обработки, необходимо проведение гомогенизирующей выдержки при 1050° С в течение 4,5ч с последующей нормализацией.

2. Для повышения твердости чугунов, содержащих более 4% Mn, а так же чугунов, эксплуатируемых в коррозионной среде, после обработки резанием рекомендуется проводить отжиг в течение 9 ч при 720° С.

Список использованных источников. 1. Гарбер М.Е. Износостойкие белые чугуны. – М.: Машиностроение, – 2010. – 280 с. 2. Цытин И.И. Белые износостойкие чугуны. Структура и свойства. М.: Металлургия. – 1983. – 176 с. 3. Герек А., Байка Л. Легированный чугун – конструкционный материал. М.: Металлургия. – 1978. – 208 с. 4. Чеilyах А.П. Экономнолегированные метастабильные сплавы и упрочняющие технологии. Харьков: ННЦ ХФТИ. – 2003. – 212 с. 5. Ящерицын П. И., Еременко М. Л., Фельдштейн Е. Э. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах. – Минск: Выш. шк., 1990. – 512 с. 6. Чабак Ю.Г., Ефременко В.Г., Кравцов А.С. Новые подходы к выбору режима смягчающей термической обработки высокохромистых чугунов // Тезисы 73-й междунар. научно-практ. конференции «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта». – Днепропетровск: ДИИЖТ. – 2013. – с. 282-283. 17. Беркун М.Н., Волчок И.П. и др. Влияние

термической обработки на свойства высокохромистого чугуна // *Металловедение и термическая обработка металлов.* – 1971. – №1. – с. 64-66.

Bibliography (transliterated): 1. Garber M.E. Iznosostojkie belye chuguny. – M. : Mashinostroenie, – 2010. – 280 s. 2. Cypin I.I. Belye iznosostojkie chuguny. Struktura i svojstva. M.: Metallurgija. – 1983. – 176 s. 3. Gerek A., Bajka L. Legirovannyj chugun – konstrukcionnyj material. M.: Metallurgija. – 1978. – 208 s. 4. Chejljah A.P. Jekonomnolegirovannye metastabil'nye splavy i uprochnjajushhie tehnologii. Har'kov: NNC HFTI. – 2003. – 212 s. 5. Jashhericyn P. I., Eremenko M. L., Fel'dshtejn E. Je. Teorija rezanija. Fizicheskie i teplovyje processy v tehnologicheskix sistemah. – Minsk : Vysh. shk., 1990. – 512 s. 6. Chabak Ju.G., Efremenko V.G., Kravcov A.S. Novye podhody k vyboru rezhima smjagchajushhej termicheskoj obrabotki vysokohromistyh chugunov // Tezisy 73-j mezhdunar. nauchno-prakt. konferencii «Problemy i perspektivy razvitija zheleznodorozhnogo transporta». – Dnepropetrovsk: DIIZhT. – 2013. – s. 282-283. 17. Berkun M.N., Volchok I.P. i dr. Vlijanie termicheskoj obrabotki na svojstva vysokohromistogo chuguna // *Металловедение и термическая обработка металлов.* – 1971. – №1. – с. 64-66.

И.И. Борисенко, Одесса, Украина

ОЦЕНКА ВОЗМУЩЕНИЯ КОНТЕЙНЕРА ПРИ ЕГО СТЕГАНОПРЕОБРАЗОВАНИИ

Запропоновано метод кількісної оцінки збурень контейнера під час його стеганографічного перетворення, який дозволяє побудову більш ефективних алгоритмів за рахунок мінімізації впливу вбудованого повідомлення на контейнер. Побудована функція, яка дозволяє виконати аналіз збурень, які виникають під час вбудовування повідомлень різними стеганографічними алгоритмами, що дає можливість порівнювати їх ефективність. Наведені результати обчислювального експерименту, які підтверджують ефективність запропонованого методу.

Предложен метод количественной оценки возмущений контейнера при его стеганографическом преобразовании, который позволяет построение более эффективных алгоритмов за счет минимизации влияния встроенного сообщения на контейнер. Построена функция, позволяющая выполнить анализ возмущений, возникающих при внедрении сообщений различными стеганографическими алгоритмами, что дает возможность сравнивать их эффективность. Приведены результаты вычислительного эксперимента, подтверждающие эффективность предложенного метода.

The method of the quantitative assessment of perturbations of the container in case of its steganographic conversion which allows to create more effective algorithms due to minimization of the impact of the built-in message on the container is offered. The function allowing to make the analysis of the perturbations, arising in case of embedding of messages different steganographic algorithms, that gives the opportunity to compare their efficiency is constructed. The results of numerical experiment confirm the efficiency of the proposed method.

Введение

Основной целью компьютерной стеганографии является сокрытие сообщения в некотором не привлекающем к себе внимания объекте – контейнере так, чтобы само его присутствие в контейнере не вызывало подозрения. В качестве сообщения может выступать любая конфиденциальная информация – личные или медицинские данные, банковская или коммерческая информация и т.д. Процесс встраивания сообщения в контейнер будем называть стеганографическим преобразованием (СП), а результат СП – стеганографическим сообщением или стеганоконтейнером [1, 2].

Как известно, стеганографическая система является совершенно стойкой (совершенно надежной) [2], если вероятностное распределение контейнера точно соответствует распределению стеганоконтейнера. Теоретически такие стеганосистемы для искусственных источников были построены [3].

Но, невозможно точно определить вероятностные распределения реальных контейнеров, в роли которых выступают цифровые медиа (звук, цифровые изображения, видео кадры) в силу сложности их структуры, поэтому совершенную стеганосистему на базе таких эмпирических источников построить нельзя [4]. В силу сказанного, построение защищенных стеганографических систем с использованием реальных контейнеров является открытым вопросом и требует дальнейшего исследования и развития.

Цель статьи и постановка задач

Целью настоящей работы является разработка на основе ОПАИС [5] метода оценки возмущений матрицы контейнера при его стеганографическом преобразовании, который бы:

- 1) не зависел от используемого стеганографического алгоритма и области погружения сообщения;
- 2) позволял проводить сравнение уровня возмущений, вносимых различными стеганоалгоритмами.

Для достижения цели требуется решить следующие задачи:

- 1) исследовать возмущения, вносимые элементом контейнера при его модификации с целью определения количественной меры для оценки таких возмущений;
- 2) построить функцию для оценки возмущения матрицы контейнера при его стеганопреобразовании;
- 3) провести вычислительный эксперимент с целью проверки эффективности разработанного метода.

Основная часть

В какой бы области (спектральной, пространственной и т.д.) преобразования матрицы контейнера не проводилось стеганопреобразование – это обязательно приведет к изменению значений элементов в пространственной области. В зависимости от того какие элементы подверглись модификации уровень возмущений матрицы контейнера будет неодинаковым. Рассмотрим это утверждение в формальном виде.

В качестве контейнера будем рассматривать цифровое изображение (ЦИ) с матрицей $C=[c_{ij}]$ размерности $m \times n$. Рассмотрим два пикселя со значениями яркости K_1 и K_2 таких, что $K_1 > K_2$, изменим эти значения на +1 каждое (придадим элементам минимально возможное возмущение), а значения яркости остальных пикселей оставим без изменения. Может вначале показаться, что поскольку значения пикселей изменились на одну и ту же величину, то их вклад в изменения характеристик контейнера должен быть одинаков, но это не так. Например, как известно [6] одной из важных характеристик цифрового сигнала является его энергия. Для ЦИ энергия в

пространственной области вычисляется по формуле: $E = \sum_i \sum_j c_{ij}^2$. Тогда новое

значение энергии $\bar{E} = E + \Delta E$ будет определяться формулой:
 $\bar{E} = c_{11}^2 + c_{12}^2 + \dots + K_1^2 + 2K_1 + 1 + \dots + K_2^2 + 2K_2 + 1 + \dots + c_{mn}^2$.

Приращение $\Delta E = \delta_1 + \delta_2$ составляет сумма величин $\delta_1 = 2K_1 + 1$ и $\delta_2 = 2K_2 + 1$, где $\delta_1 > \delta_2$. Следовательно, вклад пикселя со значением яркости K_1 в ΔE больше, чем вклад пикселя со значением яркости K_2 .

В наше время активно развиваются методы стеганографии [7, 8] и стеганоанализа [9] базирующиеся на ОПАИС [5], в основу которого положен матричный анализ и теория возмущений. Преобразование контейнера за счет погружения в него сообщения, независимо от способа и области этого погружения, в соответствии с ОПАИС представляется как возмущение ΔC матрицы C : $\bar{C} = C + \Delta C$, где $\bar{C}$ – матрица стеганоконтейнера или в виде совокупности возмущений множества сингулярных чисел (СНЧ) и сингулярных векторов (СНВ) матрицы контейнера, которые ее однозначно определяют [5]. Напомним, что для матрицы C сингулярное разложение (SVD) имеет вид: $F = U \Sigma V^T$, где U, V – ортогональные матрицы, т.е. $U^T U = I, V^T V = I$ (I – единичная матрица) размерности $m \times n$ и $n \times n$ соответственно; $\Sigma = \text{diag}(\sigma_1, \dots, \sigma_n)$, $\sigma_1 \geq \dots \geq \sigma_n \geq 0$. Столбцы $u_1, \dots, u_n$ матрицы U и $v_1, \dots, v_n$ матрицы V называют соответственно левыми и правыми сингулярными векторами матрицы F , величины $\sigma_1, \dots, \sigma_n$ – сингулярными числами.

Поскольку СНЧ и СНВ являются параметрами, которые однозначно характеризуют матрицу контейнера [5], то в какой бы области преобразования контейнера не произошли изменения, эти изменения обязательно отразятся на СНЧ и СНВ.

В [10] получена формула энергии, выраженная через СНЧ матрицы контейнера, а именно: $E = \sigma_1^2 + \dots + \sigma_n^2$, т.е. энергия матрицы контейнера равна сумме квадратов СНЧ. Таким образом, справедлива формула $E = \sum_i \sum_j c_{ij}^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_n^2$, а это означает, что δ_1 и δ_2 обязательно

отразятся в сингулярном спектре матрицы контейнера. Норма матрицы возмущений $\|\Delta C\|_2$ не зависит от того, какие именно СНЧ были возмущены при стеганопреобразовании, а зависит только от абсолютных величин этих возмущений, поэтому в дальнейшем будем использовать именно СНЧ.

Как было показано выше, различные элементы вносят различный вклад в общий уровень возмущения контейнера, поэтому предлагается сделать предобработку контейнера с целью определения коэффициента μ_{ij} –

количественной оценки вклада каждого конкретного элемента C_{ij} контейнера в $\|\Delta C\|_2$ на случай, если элемент будет модифицирован. Возмущения элементов контейнера будем моделировать изменением их значений на наименее возможное, а именно на единицу.

Основные шаги вычисления μ_{ij} и его использование:

1) возмутить элемент C_{ij} ; в результате получаем матрицу $\bar{C}_{\sim ij}$, в которой значения всех элементов совпадают со значениями элементов матрицы C , кроме одного, значение которого изменилось на единицу;

2) для матриц C и $\bar{C}_{\sim ij}$ построить сингулярное разложение: $C = USV^T$, $\bar{C}_{\sim ij} = \bar{U}_{\sim ij} \bar{S}_{\sim ij} \bar{V}_{\sim ij}^T$;

3) найти возмущение матрицы СНЧ: $\Delta S = S - \bar{S}_{\sim ij}$;

4) оценить значение μ_{ij} по формуле $\mu_{ij} = \max_i |\Delta S_{ii}|$, где ΔS_{ii} – диагональные элементы матрицы ΔS .

5) элементы контейнера, для которых выполняется условие $\mu_{ij} \in [(\mu_{ij})_{\min}; P]$, использовать для встраивания сообщения (P – некоторое значение μ_{ij} , которое определяется исходя, например, из объема сообщения);

6) для оценки возмущений контейнера вследствие стеганопреобразования использовать функцию $FS = \sum_{\mu_{ij} \in [(\mu_{ij})_{\min}; P]} \mu_{ij}$.

Рассмотрим несколько приложений использования коэффициентов μ_{ij} . Одним из открытых вопросов является сравнение эффективности стеганографических алгоритмов. Для сравнения нескольких стеганографических алгоритмов $CA_1, \dots, CA_n$ по критерию вносимых возмущений следует выполнить пункты 1) – 4). Далее определить элементы контейнера, в которых локализовано сообщение. Для определенных элементов вычислить $FS_1 = \sum_{\text{локализ. } CA_1} \mu_{ij}$, ..., $FS_n = \sum_{\text{локализ. } CA_n} \mu_{ij}$. Сравнение FS_i

провести исходя из того, что чем меньшие возмущения были внесены в контейнер вследствие СП, тем FS_i будут меньше.

Для проверки эффективности предложенного метода алгоритмом CA_1 модифицировались элементы контейнера, которым соответствовали наименьшие μ_{ij} , а алгоритмом CA_2 – все остальные. Полученные результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика возмущений контейнера

Объем встроенного сообщения	CA_1		CA_2	
	FS	$\ \Delta C\ _2$	FS	$\ \Delta C\ _2$
10 битов	0,1903	1,4142	1,3362	2,1358
1/5 контейнера	32,4363	34,6888	85,9742	45,3085
1/2 контейнера	160,9376	49,3305	212,4801	65,8341

В [11] был предложен стеганографический алгоритм *GRAPH_matching*, в основу которого положено построение графовой модели контейнера. Встраивание сообщения происходит за счет обмена элементов контейнера в большей степени, чем за счет их корректировки, что позволяет сохранить статистики первого порядка. Элементы контейнера разбиваются на группы и каждой такой группе ставится в соответствие узел графа. Ребра между узлами создаются только в том случае, если элемент одного узла можно обменять на элемент другого без видимого искажения контейнера. Поскольку узлы – это группы элементов, то ребер между узлами может быть несколько, следовательно, существует несколько пар элементов, которые можно обменять. Эту ситуацию, с учетом изложенного выше метода, будем использовать следующим образом. Выполнить предобработку контейнера, в результате чего получим матрицу M коэффициентов μ_{ij} . Если узлу инцидентно несколько ребер, то для обмена элементов C_{ij} и C_{kl} контейнера выбрать ту пару, которой соответствует наименьшая сумма $\mu_{ij} + \mu_{kl}$.

Оценка возмущений контейнера, которые вызваны стеганопреобразованием алгоритмом *GRAPH_matching* и его модифицированной версией *GRAPH_matching_1* приведена в табл. 2.

Таблица 2 – Сравнительная характеристика возмущений контейнера $\|\Delta C\|_2$

Объем встроенного сообщения	<i>GRAPH_matching_1</i>	<i>GRAPH_matching</i>
10 бітів	0,4142	1,9358
1/5 контейнера	32,6878	46,3185
1/2 контейнера	50,5305	68,7341

Полученные результаты свидетельствуют о наличии эффекта от применения предобработки матрицы контейнера.

Выводы. В работе предложен метод оценки возмущений контейнера, который позволяет минимизировать эти возмущения за счет определения места локализации встраиваемого сообщения во время стеганопреобразования. Предложенный метод может использоваться при разработке новых стеганографических алгоритмов, а также для сравнения различных стеганоалгоритмов с целью выбора лучшего из них по критерию минимальности вносимых возмущений в контейнер. Предварительная обработка контейнера позволяет выбрать из множества доступных контейнеров тот, количество элементов которого с малыми коэффициентами μ_{ij} удовлетворяет желаемому порогу.

Список использованных источников: 1. Хорошко В.О., Азаров О.Д и др. Основи комп'ютерної стеганографії : Навчальний посібник для студентів і аспірантів. – Вінниця: ВДТУ, 2003. – 143 с. 2. Грибунин В.Г., Оков И.Н., Туринцев И.В. Цифровая стеганография. – М.: Солон-Пресс, 2002. – 272 с. 3. Boris Ryabko, Daniil Ryabko Constructing perfect steganographic systems// Information and Computation 209 (2011) 1223–1230. 4. Böhme R. Advanced statistical steganalysis. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2010. 5. Кобозева А.А. Загальний підхід до оцінки властивостей стеганографічного алгоритму, заснований на теорії збурень / А.А. Кобозева // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2008. – №1 (11). – С.164-171. 6. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р.Гонсалес, Р.Вудс; пер. с англ. под ред. П.А.Чочиа. — М.: Техносфера, 2005. – 1072 с. 7. Борисенко І.І. Застосування методів порівняння послідовностей в стеганографічних перетвореннях цифрових зображень / І.І. Борисенко // Сучасна спеціальна техніка. – 2014. – №2 (37). – С. 110-115. 8. Борисенко І.І. Метод оцінки збурень контейнера внаслідок його стеганографічного перетворення / І.І. Борисенко // 10 МНПК Військова освіта і наука: сьогодення та майбутнє. – 2014. 9. Бобок І.І. Использование метода анализа ROC-кривых для комплексной оценки эффективности стеганоаналитического метода / И.И. Бобок // Информатика и математические методы в моделировании. – 2012. – №3 – С. 221-229. 10. Кобозева А.А. Повышение помехоустойчивости стеганографических методов, использующих сингулярное и спектральное разложение матрицы контейнера/ А.А. Кобозева, И.И. Борисенко // Труды одесского политехнического университета. – 2007. – №2 (28). – С. 192-198. 11. Борисенко І.І. Застосування теорії графів в задачах створення стеганографічних повідомлень / І.І. Борисенко // Сучасна спеціальна техніка. – 2015. – №2.

Bibliography (transliterated): 1. Horoshko B.O., Azarov O.D i dr. Osnovi komp'yuternoї steganografії : Navchal'niy posibnik dlja studentiv i aspirantiv. – Vinnicja: VDTU, 2003. – 143 s. 2. Gribunin V.G., Okov I.N., Turincev I.V. Cifrovaja steganografija. – M.: Solon-Press, 2002. – 272 s. 3. Boris Ryabko, Daniil Ryabko Constructing perfect steganographic systems// Information and Computation 209 (2011) 1223–1230. 4. Böhme R. Advanced statistical steganalysis. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2010. 5. Kobozeva A.A. Zagal'nij pidhid do ocinki vlastivostej steganografichnogo algoritmu, zasnovanij na teorii zburen' / A.A. Kobozeva // Informacionnye tehnologii i komp'yuternaja inzhenerija. – 2008. – №1 (11). – S.164-171. 6. Gonsales R. Cifrovaja obrabotka izobrazhenij / R.Gonsales, R.Vuds; per. s angl. pod red. P.A.Chochia. — M.: Tehnosfera, 2005. – 1072 s. 7. Borisenko I.I. Zastosuvannja metodiv porivnannja poslidovnostej v steganografichnih peretvorennyah cifrovih zobrazen' / I.I. Borisenko // Suchasna special'na tehnika. – 2014. – №2 (37). – S. 110-115. 8. Borisenko I.I. Metod ocinki zburen' kontejnera vnaslidok jogo steganografichnogo peretvorennya / I.I. Borisenko // 10 MNPK Vijs'kova osvita i nauka: s'ogodennja ta majbutne. – 2014. 9. Bobok I.I. Ispol'zovanie metoda analiza ROC-krivyh dlja kompleksnoj ocenki jeffektivnosti steganoanaliticheskogo metoda / I.I. Bobok // Informatika i matematicheskie metody v modelirovanii. – 2012. – №3 – S. 221-229. 10. Kobozeva A.A. Povyshenie pomehoustojchivosti steganograficheskikh metodov, ispol'zujushihh singularnoe i spektral'noe razlozhenie matricy kontejnera/ A.A. Kobozeva, I.I. Borisenko // Trudy odesskogo politehnicheskogo universiteta. – 2007. – №2 (28). – S. 192-198. 11. Borisenko I.I. Zastosuvannja teorii grafiv v zadachah stvorennya steganografichnih povidomlen' / I.I. Borisenko // Suchasna special'na tehnika. – 2015. – №2.

В.А. Вайсман, д-р техн. наук, Е.В. Колесникова, д-р техн. наук,
А.С. Лопаків; Борчанова Ю.С., Одесса, Україна

СТАНДАРТИЗАЦІЯ МОДЕЛІ ТЕХНОЛОГІЙ ІНІЦІАЦІЇ ПРОЄКТОВ

Відомі структурні моделі проєктів не в повній мірі відповідають на виклики проєктного менеджменту, особливо на стадії ініціації систем управління якістю проєктів. Запропонована модель включає в себе технологію для формулювання проблем цілепокладання, планування, організації роботи, аналізу, моніторингу, управління, відбору та прийняття управлінських рішень.

Известные структурные модели проектов не в полной мере отвечают на вызовы проектного менеджмента, особенно на стадии инициации систем управления качеством проектов. Предложенная модель включает в себя технологию для формулирования проблем целеполагания, планирования, организации работы, анализа, мониторинга, управления, отбора и принятия управленческих решений.

Famous model structure projects do not fully meet the challenges of project management, especially at the stage of initiation of projects quality management systems. The proposed model includes technology to formulate problems of goal-setting, planning, organization of work, analysis, monitoring, management, selection and management decisions.

Введение. В практике систем менеджмента качества (СМК) используются подходы проектного управления и определения, известные из теории систем: системный подход [1], целостность [2], структура [2], модели [3], многовекторность [4] и др. Действительно, СМК, как целостная система деятельности предприятий, направленная на обеспечение условий качественной подготовки производства и согласованной работы подсистем производства включает комплекс процессов, которые формируют проектно-ориентированную среду организаций и могут быть реализованы в рамках СМК через проекты [2].

Постановка проблемы. Как известно, управление относится к сфере профессиональной деятельности в любой области знаний, направленных на формирование и достижение целей организаций, коллективов, отдельных личностей. Можно также отметить, что управление реализуется через технологии постановки и достижения цели в технике, экономике и других областях человеческой деятельности [5]. Технологии управления включают в себя модели, методы, способы и приемы выполнения управленческих работ. Поэтому ключевым игроком в команде, обеспечивающей производственную деятельность предприятий, являются менеджеры СМК, которая в последнее время трансформируется в систему управления предприятием. Перестройка

организационной составляющей деятельности предприятий в направлении проактивного управления программами и проектами, особенно в области обеспечения качества, является приоритетным направлением развития предприятий и организаций [6].

Целью статьи является стандартизация структурной модели технологий управления проектами на основе системного подхода в контексте реализации систем менеджмента качества.

Анализ публикаций. При разработке проектов СМК, особенно в части научных исследований этих проектов, применяются многочисленные понятия системного подхода, которые позволяют описать отдельные процессы и систему в целом в форме абстрактных моделей [4-6]. При этом системы образуются взаимозависимыми элементами и связями между ними, которые в совокупности придают этому образованию целостность, единство [7]. Системный подход (системный анализ + системный синтез) составляет последовательность действий по определению объекта, предмета, целей и задач их познания или управления или преобразования для определения внутренних и внешних связей предмета. Системный анализ рассматривается как совокупность методов исследования (логико-эвристических, эмпирических, математических) [8].

Принципы системного подхода:

- иерархичность означает, что объект одновременно рассматривается как самостоятельное целое и как подсистема для высших уровней;
- целостность, является свойством системы, в которой элементы связаны в структуру, самостоятельно функционирует - при этом удаление любого элемента переводит систему в состояние нетрудоспособности;
- структурирование означает, что функционирование системы обусловлено не столько свойствами отдельных ее элементов, сколько их определенной упорядоченностью, расположением и распределением ролей и статусов;
- многовекторность, многозначность, множественность - любой объект может рассматриваться с разных сторон так, что каждая точка зрения определяет свои свойства объекта;
- изменчивость, текучесть - все имеет свое начало и свой конец, любое явление рождается и умирает, превращаясь в нечто качественно иное;
- функциональность - каждый элемент имеет свое назначение (функцию), а каждое действие направлено на определенную цель.

Основные понятия системного подхода:

- объект исследования - часть объективной реальности, которая определяет задачи теоретической или познавательной и практической деятельности субъекта;
- предмет исследования - часть объекта, которая включает совокупность свойств и отношений, которые подлежат изучению или преобразованию;

- методы исследования - приемы изучения явлений и процессов, способ достижения цели;
- преобразования, изменение - разрешение противоречия взаимосвязей или элементов системы, переход в качественно иное состояние;
- противоречия, противоречивая ситуация - борьба двух или более тенденций за доминирование, преобладание в процессах принятия решений и осуществлении действий.

Типология систем: открытые - закрытые, малые - большие, простые - сложные, статические - динамические и др.

Системное мышление в познании, управлении, хозяйствовании:

– системное мышление заключается в поиске таких связей и тенденций, которые раскрывают причины и следствия, соотношение доли и целого, общих и специфических свойств, порождают диалектическое единство антонимов противоречащих, взаимоисключающих элементов или характеристик.

– сущность системности в распознавании, разграничении процесса функционирования явления от процесса, познания этого явления.

– системный анализ: идем "сверху вниз", при синтезе - "снизу вверх".

Этапы системного анализа: формирование проблемы; формирование ряда (дерева) целей; генерирования альтернатив; выбор оптимальных альтернатив; проверка достоверности и истинности.

Ограничения системного подхода. Не всегда удается точно установить границы системы, соотношение с окружающими, особенно при одновременном протекании процессов в различных системах. Некоторые ученые считают противоположным синергетическом подходе, который описывает самоорганизацию и неоднозначность (многоальтернативность, эквивиальность) путей развития.

Системный подход является методом исследования различных объектов, которые можно представить в определенной совокупности элементов и связями между ними. Системным моделям присущи свойства эмерджентности (система имеет больше свойств, чем сумма свойств элементов). Декомпозиция систем на элементы и синтез системных моделей позволяет сократить время на исследования и разработку проектов.

Построение модели состава стандартных технологий управления.

Модели можно определить, как созданный исследователем реальный или виртуальный объект, который отражает существенные свойства оригинала [9]. При этом под существенными свойствами понимаются такие свойства оригинала, которые необходимы для решения научной либо практической задачи [10].

Для любого объекта можно создать множество моделей [7]. Среди широко распространенных моделей, используемых для анализа систем управления проектами, можно отметить модели «черного ящика», модели

состава и модели структуры. Модель «черного ящика» устанавливает связь между входом и выходом системы (объекта, явления, процесса и т.п.). Модель состава определяет уровень декомпозиции объекта на отдельные подсистемы. Модель структуры – как связаны, части этой системы друг с другом и с ее входом и выходом [11].

Представленные в работах [12, 13] модели состава, включающие семь стандартных состояний (процессов) не в полной мере отвечают задачам проектного управления, особенно на стадии инициации проектов СМК. Используемые в этих моделях состояния не дают четкого представления об управленческих процедурах: технологии формулирования проблемы, целеполагания, планирования, организации работ, технологии анализа, контроля, регулирования, выбора и принятия управленческих решений [14-16]. Иной вариант модели состава системы показан на рис. 1. Слева приведены технологии управленческих работ, которые условно могут быть названы основными (базовыми), так как без этих технологий – в большем или меньшем объеме – не обходится ни одна работа.

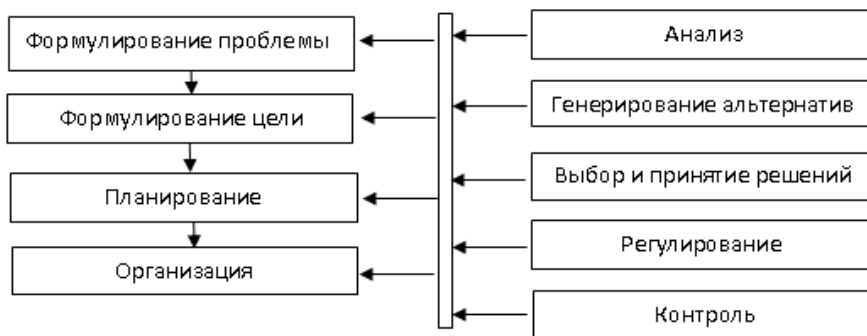


Рисунок 1 - Вариант модели стандартных технологий управления

Справа показаны вспомогательные (сервисные) технологии, которые используются для обслуживания основных управленческих работ. Сюда же включена еще одна технология – технология генерирования альтернатив [13].

Выполнение основных работ инициации проектов СМК позволяет в определенной логической последовательности создать модель проекта.

Формулирование проблемы. Какие противоречия в системе порождают проблему? В чем заключается проблема? Что является источником проблемы? Какие факторы сопряжены с данной проблемной ситуацией? Какие возможны формулировки проблемы? Выбор «наилучшей» формулировки.

Формулирование цели. Что нужно сделать, чтобы решить проблему? Какие возможны варианты целеполагания? Как формулировать цель

осуществления проекта? Каким образом реализация цели повлияет на составляющие и все факторы, связанные с решением проблемы?

Планирование работ по достижению цели. Что делать, чтобы достичь цели? Как делать (по какой технологии)? Когда делать, в какие сроки? Где делать? Кому делать (исполнители, квалификация)? Какие необходимы ресурсы (финансовые, материальные, людские)?

Организация работ по реализации плана. Что и в каком порядке нужно делать, чтобы выполнить план?

Следует отметить, что основные технологии используются при реализации как основных, так и вспомогательных управленческих работ. Так, проблема, цель должны формулироваться на любой стадии работ. Любая управленческая работа должна планироваться и организовываться [1, 2].

Кроме того, любая работа должна контролироваться, регулироваться, анализироваться [15]. В необходимых случаях производится генерирование возможных вариантов (альтернатив) выполнения работ, выполняется выбор «наилучшей» альтернативы, принимается управленческое решение [16].

Анализ проблемы (вопроса, цели и т.п.) позволяет установить суть этой проблемы, причинно-следственные связи частей проблемы и связи проблемы с выше- и нижестоящими проблемами [5].

Контроль – это измерение параметров контролируемой системы (объекта, процесса) и сравнение результатов измерений с требованиями нормативных документов [6]. Контролироваться могут все, без исключения, управленческие процедуры.

Управлять – это значит направлять движение объекта управления в нужном направлении, воздействуя на его входы. При этом регулировать – означает поддерживать выходной параметр (параметры) объекта постоянным (стабилизация), изменять этот параметр во времени по заранее известному закону (программное регулирование) или, наконец, изменять этот параметр по закону, который задается каким-то внешним независимым процессом (следящее регулирование) [10].

При создании системы регулирования социальных объектов (например, промышленного производства, организации или фирмы) прежде всего необходимо определить, какой параметр (параметры) будет регулироваться. Если будут регулироваться несколько параметров, очевидно, должно быть создано несколько систем регулирования.

Выбор можно определить как целевое сужение множества альтернатив. Будем представлять выбор, как действие над множеством альтернатив, в результате которого получается подмножество альтернатив (в лучшем случае - одна альтернатива) [12].

Сужение множества альтернатив возможно, если имеется способ сравнения альтернатив между собой и определения наиболее предпочтительных. Каждый такой способ будем называть критерием

предпочтения. Обратим внимание на то, что при таком описании выбора считают пройденными три важных этапа:

- генерирование множества альтернатив, из которого предстоит осуществлять выбор;

- определение целей выбора;

- разработка критериев выбора.

В необходимых случаях производится моделирование всего управленческого процесса или его составляющих [1-4].

Выводы. Предложен вариант модели состава стандартных технологий управления. Дальнейшие исследования могут быть направлены на построение модели структуры управления с учетом технологий реализации, области применения, уровня компетентности персонала, а также специфических характеристик объекта управления.

Список использованных источников: 1. Вайсман, В. А. Методологические основы управления качеством: факторы, параметры, измерение, оценка / В. А. Вайсман, В. Д. Гогунский, В. М. Тонконогий // Сучасні технології в машинобудуванні: зб. наук. праць. –2012. – Вип. 7. - С. 160-165. 2. Вайсман, В.О. Сучасна концепція проектно-орієнтованого командного управління підприємством / В.О. Вайсман, К.В. Колеснікова, В.В. Натальчишин // Сучасні технології в машинобудуванні: зб. наук. пр. – № 8. – НТУ «ХПІ», 2013. - С. 246-253. 3. Колесникова, Е.В. Построение автоматизированной системы тренинга персонала дуговой сталеплавильной печи / Е.В. Колесникова, Вайсман В.А., Тонконогий В.М., Лопаков О.С. // Сучасні технології в машинобудуванні : зб. наук. пр. – № 7. – НТУ «ХПІ», 2012. — С. 304-311. 4. Белоцицкий, А.А. Управление проблемами в методологии проектно-векторного управления образовательными средами / А.А. Белоцицкий // Управління розвитком складних систем. – 2012. - № 9. – С. 104-107. 5. Вайсман, В. Нова методологія створення інноваційного розвитку проектно-керованих організацій / В. Вайсман, В. Гогунський // Економіст. – 2011. - № 8 (298). – С. 11-13. 6. Яковенко, В.Д. Прогнозування стану системи керування якістю навчального закладу / В.Д. Яковенко, В.Д. Гогунський // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2009. - № 2. - С. 50 – 57. 7. Колесникова, Е.В. Моделирование слабо структурированных систем проектного управления / Е.В. Колесникова // Тр. Одес. политехн. ун-та. – 2013. - № 3 (42). – С. 127-131. 8. Тернер, Дж. Родни. Руководство по проектно-ориентированному управлению / Пер. с англ. – М. : Изд. Дом Гребенникова, 2007. – 552 с. 9. Колеснікова К.В. Розвиток теорії проектного управління: обґрунтування закону ініціації проектів / К.В. Колеснікова // Управління розвитком складних систем. - № 17. – 2014. - С. 24-31. 10. Бушуев, С.Д. Ценностный подход в управлении развитием сложных систем / С.Д. Бушуев, Д.А. Харитонов // Управління розвитком складних систем.– 2010 - № 1. – С. 10-15. 11. Руденко, С. В. Сетевые процессы управления проектами в контексте отображения состояний проекта / С. В. Руденко, Е. В. Колесникова, В. И. Бондарь // Проблемы техники. – 2012. – № 4. – С. 61-67. 12. Колесникова, Е.В. Развитие теории проектного управления: закон Ю.Л. Воробьева о влиянии риска на успешность портфеля проектов / Е.В. Колесникова // Управління розвитком складних систем. - № 18. – 2014. - С. 62-67. 13. Колеснікова, К.В. Розвиток теорії проектного управління: обґрунтування закону К. В. Кошкіна щодо завершення проектів / К. В. Колеснікова // Управління розвитком складних систем – 2013. – № 16. – С. 38-45. 14. Яковенко, В.Д. Комп'ютерна реалізація системи автоматизованого управління навчальним процесом / Яковенко В.Д., Гогунський В.Д., Сафонова Г.Ф. // Моделир. в прикл. науч. исследованиях: XVI семинар. — 2008. — С. 27-30. 15. Оборський, Г.О. Стандартизація і сертифікація процесів управління якістю освіти у вищому навчальному закладі / Г.О. Оборський, В.Д. Гогунський, О.С. Савельєва // Труды Одесского политехнического ун-та. – 2011. - Вип. 1(35). – С. 251 – 255. 16. Гогунский, В.Д. Практические задачи измерения качества в

проектах / В.Д. Гогунский, Т. М. Олех, А.Г. Оборская // Вост.-Европ. журнал передовых технологий. – 2012. - № 1 (11/55). – С. 6-8.

Bibliography (transliterated): 1. Vajsman, V. A. Metodologicheskie osnovy upravlenija kachestvom: faktory, parametry, izmerenie, ocenka / V. A. Vajsman, V. D. Gogunskij, V. M. Tonkonogij // Suchasni tehnologii v mashinobuduvanni: zb. nauk. prac'. – 2012. – Vip. 7. S. 160-165.

2. Vajsman, V.O. Suchasna koncepcija proektno-orientovanogo komandnogo upravlinnja pidpriemstvom / V.O. Vajsman, K.V. Kolesnikova, V.V. Natal'chishin // Suchasni tehnologii v mashinobuduvanni: zb. nauk. pr. – № 8. – NTU «HPI», 2013. S. 246-253.

3. Kolesnikova, E.V. Postroenie avtomatizirovannoj sistemy treninga personala dugovoj staleplavil'noj pechi / E.V. Kolesnikova, Vajsman V.A., Tonkonogij V.M., Lopakov O.S. // Suchasni tehnologii v mashinobuduvanni : zb. nauk. pr. – № 7. – NTU «HPI», 2012. — S. 304-311.

4. Beloshhickij, A.A. Upravlenie problemami v metodologii proektno-vektornogo upravlenija obrazovatel'nymi sredami / A.A. Beloshhickij // Upravlinnja rozvitkom skladnih sistem. – 2012. № 9. – S. 104-107.

5. Vajsman, V. Nova metodologija stvorennja innovacijnogo rozvitku proektno-kerovanih organizacij / V. Vajsman, V. Gogunskij // Ekonomist. – 2011. № 8 (298). – S. 11-13.

6. Jakovenko, V.D. Prognozuvannja stanu sistemi keruvannja jakistju navchal'nogo zakladu / V.D. Jakovenko, V.D. Gogunskij // Sistemni doslidzhennja ta informacijni tehnologii. – 2009. № 2. S. 50 – 57.

7. Kolesnikova, E.V. Modelirovanie slabo strukturirovannyh sistem proektnogo upravlenija / E.V. Kolesnikova // Tr. Odes. politehn. un-ta. – 2013. № 3 (42). – S. 127-131.

8. Ternier, Dzh. Rodni. Rukovodstvo po proektno-orientirovannomu upravleniju / Per. s angl. – M. : Izd. Dom Grebennikova, 2007. – 552 s.

9. Kolesnikova K.V. Rozvitok teorii proektnogo upravlinnja: obruntuvannja zakonu iniciacii proektiv / K.V. Kolesnikova // Upravlinnja rozvitkom skladnih sistem. № 17. – 2014. S. 24-31.

10. Bushuev, S.D. Cennostnyj podhod v upravlenii razvitiem slozhnyh sistem / S.D. Bushuev, D.A. Haritonov // Upravlinnja rozvitkom skladnih sistem. – 2010. № 1. – S. 10-15.

11. Rudenko, S. V. Setevye processy upravlenija proektami v kontekste otobrazhenija sostojanij proekta / S. V. Rudenko, E. V. Kolesnikova, V. I. Bondar' // Problemi tehniki. – 2012. – № 4. – S. 61-67.

12. Kolesnikova, E.V. Razvitie teorii proektnogo upravlenija: zakon Ju.L. Vorob'eva o vlijanii riska na uspešnost' portfelja proektiv / E.V. Kolesnikova // Upravlinnja rozvitkom skladnih sistem. № 18. – 2014. S. 62-67.

13. Kolesnikova, K.V. Rozvitok teorii proektnogo upravlinnja: obruntuvannja zakonu K. V. Koshkina shhodo zavershennja proektiv / K. V. Kolesnikova // Upravlinnja rozvitkom skladnih sistem - 2013. - № 16. - S. 38-45.

14. Jakovenko, V.D. Komp'juterna realizacija sistemi avtomatizovanogo upravlinnja navchal'nim procesom / Jakovenko V.D., Gogunskij V.D., Safonova G.F. // Modelir. v prikl. nauch. issledovanijah: XVI seminar. — 2008. — S. 27-30.

15. Obors'kij, G.O. Standartizacija i sertifikacija procesiv upravlinnja jakistju osviti u vishhomu navchal'nomu zakladi / G.O. Obors'kij, V.D. Gogunskij, O.S. Savel'eva // Trudy Odesskogo politehnicheskogo un-ta. – 2011. Vyp. 1(35). – S. 251 – 255.

16. Gogunskij, V.D. Prakticheskie zadachi izmerenija kachestva v proektah / V.D. Gogunskij, T. M. Olex, A.G. Oborskaja // Vost.-Evrop. zhurnal передовых технологий. – 2012. № 1 (11/55). – С. 6-8.

УДК 621.785.4

О.П. Гапонова, канд. техн. наук, К.О. Дядюра, д-р техн. наук,
О.В. Супрун, О.В. Сорока, Суми, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РЕЖИМІВ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА МІКРОСТРУКТУРУ І ВЛАСТИВОСТІ СТАЛІ АУСТЕНИТНО-МАРТЕНСИТНОГО КЛАСУ

В роботі представлені результати, проведені з метою визначення режимів термічної обробки для сплаву ВНЛ-6, який працює в агресивному середовищі при видобуванні нафти. Дослідження кінетики фазових перетворень показали, що сталі цього класу можна термічно обробляти в умовах стабілізації та дестабілізації аустеніту. Мікроструктура після дестабілізуючої термічної обробки містить більшу кількість мартенситу, що сприяє збільшенню міцнісних властивостей, а пластичність і в'язкість залишається на достатньому рівні. Фрактографічний аналіз показав, що після стабілізованої термічної обробки злами сталі мають в'язкий характер з ямковою будовою, а при дестабілізації - основною рельєфною складовою є сплюснені ямки з фасетками квазісколу.

В работе представлены результаты, проведенные с целью определения режимов термической обработки для сплава ВНЛ-6, который работает в агрессивной среде при добыче нефти. Исследование кинетики фазовых превращений показали, что стали этого класса можно термически обрабатывать в условиях стабилизации и дестабилизации аустенита. Микроструктура после дестабилизующей термической обработки содержит большее количество мартенсита, что способствует увеличению прочностных свойств, а пластичность и вязкость остается на достаточном уровне. Фрактографический анализ показал, что после стабилизирующей термической обработки изломы стали имеют вязкий характер с ямочным строением, а при дестабилизующей – основной рельефной составляющей является уплощенные ямки с фасетками квазискола.

In the work is presented the results of VNL-6 steel, which was carried out to determine of heat treatment regimes. This steel is worked in hostile environments in oil. Study of the kinetics phase transformation showed that steel in this class can be thermally processed in a stabilization and destabilization of the austenite. Microstructure after destabilizing heat treatment contains more of martensite, thereby increasing the strength properties and the plasticity and viscosity remains at a sufficient level. Fractometrical analysis showed that after stabilizing heat treatment of fractures have become viscous character to the pit structure, and at destabilizing - the main component of the relief is flattened pits with facets quasibreak.

Постійний розвиток нафтової промисловості приводить до підвищення вимог механічних і експлуатаційних властивостей елементів насосів. Численні науково-дослідні роботи, проведені в лабораторіях, а також великий досвід вітчизняного та зарубіжного гідромашинобудування вказують на можливість істотного підвищення зносостійкості насосів шляхом виготовлення їх деталей з матеріалів, здатних протистояти кавітації і абразивному впливу. З цією метою, перспективним є використання

жароміцних сталей перехідного аустенітно-мартенситного класу, типу ВНЛ-6.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Особливістю термічної обробки сталей аустенітно-мартенситного класу є можливість їх обробки в стан із структурою аустеніту, що характеризується підвищеною пластичністю, або в зміцнений – зі структурою мартенситу [1].

Відомо, що термічна обробка високоміцних корозійностійких сталей аустенітно-мартенситного класу, зокрема ВНЛ-6, в промислових умовах полягає в проведенні гартування від температур близько 1000 – 1150°C на повітрі, обробки холодом до мінус 70°C і відпусканні при температурі 400-450 °C, на твердість 2,9-3,2 мм по Бринелю та на ударну в'язкість 5,0 кгс·м/см² (ОСТ 1 90090-79). Але стандартна термічна обробка не завжди забезпечує необхідний рівень механічних та експлуатаційних властивостей, оскільки для сталі ВНЛ-6 одним з основних критеріїв довговічності в умовах експлуатації є не тільки корозійна стійкість, але і висока твердість. Тому представляє практичний інтерес дослідження впливу режимів термічної обробки на механічні властивості.

Ціль та задачі дослідження. Проведені дослідження ставили за мету визначити вплив термічної обробки на структуру та фізико-механічні властивості високоміцної аустенітно-мартенситної сталі ВНЛ-6, а також розробка технологічних режимів обробки робочого колеса відцентрового насоса з обраної сталі. Для досягнення зазначеної мети необхідно було вирішити наступні завдання:

1. Вивчення кінетики фазових перетворень високоміцної корозійностійкої сталі аустенітно-мартенситного класу.
2. Дослідження впливу режимів термічної обробки на структуроутворення.
3. Дослідження фізико-механічних властивостей сталі ВНЛ-6 після термічної обробки.

Матеріали та методи дослідження впливу термічної обробки на мікроструктуру та механічні властивості сталі. При проведенні експериментального дослідження були виготовлені зразки для випробування на ударний згин (ГОСТ 9454-98) з U-подібним надрізом.

Термічну обробку проводили за режимами:

1. Гартування 1130 °C, 40...50 хвилин на повітрі, обробка холодом при мінус 70°C, 2 години з охолодженням на повітрі. Відпускання при 480°C, 3 години, охолодження на повітрі.

2. Гартування 1130 °С, 40...50 хвилин на повітрі, обробка холодом при мінус 55 °С з витримкою 4 години, охолодження на повітрі. Відпускання при 380 °С, 2 години, охолодження на повітрі.

3. Гартування 1130 °С, 40...50 хвилин на повітрі, обробка холодом при мінус 70 °С, 2 години з охолодженням на повітрі. Відпускання при 380 °С, 2 години, охолодження на повітрі.

4. Гартування 1130 °С, 40...50 хвилин з охолодженням з піччю до температури 1030 °С, а послідовним охолодженням у воді. Обробка холодом при мінус 70 °С, 4 години, відпускання при 480 °С, 3 години, охолодження на повітрі.

5. Перше гартування: 1050°С, 40...50 хвилин на повітрі, друге – 830 °С, 40...50 хвилин з охолодженням на повітрі. Обробка холодом при мінус 70 °С, 2 години, відпускання при 480 °С, 2 години з охолодженням на повітрі.

6. Гартування 800-850 °С, 40...50 хвилин на повітрі, обробка холодом при мінус 70 °С, 2 години, відпускання при 480 °С, 2 години на повітрі.

Режими підібрані експериментально, з огляду на підвищення міцнісних властивостей виробів, що обробляються.

Контроль твердості проводили на приборі Роквела за шкалою «С» (ГОСТ 9013-59). Для аналізу характеру руйнування при випробуваннях на удар злами досліджували на растровому електронному мікроскопі «РЭМ-106И». Мікроструктуру вивчали за допомогою оптичного мікроскопу «НЕОРНОТ 2» на попередньо підготовлених зразках. Травлення проводили електролітичним методом в шавлевій кислоті, ударний згин та твердість – за стандартними методиками.

Результати досліджень мікроструктури та механічних властивостей сталі

Однією з переваг аустенітно-мартенситних сталей є можливість регулювання їх структури і властивостей термічною обробкою: після гартування з охолодженням до кімнатної температури вони можуть володіти властивостями аустенітних сталей, а різна ступінь зміцнення може бути досягнута в залежності від обраного режиму ізотермічного перетворення $\gamma \rightarrow M$ і відпускання. Так, сталі аустенітно-мартенситного класу схильні до стабілізації аустеніту та його дестабілізації при використанні різних умов термічної обробки.

Дослідження мікроструктури сталей після термічної обробки за режимом I в зоні стабілізації аустеніту показало, що їх основною структурною складовою є крупногільчатий мартенсит із залишковим аустенітом у вигляді острівців (рис. 1).

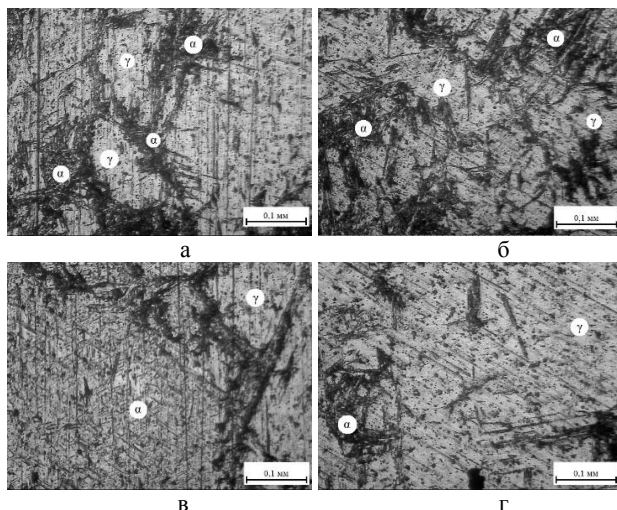


Рисунок 1 – Структура сталі ВЛ-6 після гартування з 1130 °С, обробки холодом -70 °С і відпускання при 480 °С

Слід зазначити відносну неоднорідність мартенситу за величиною і розподілом. Спостерігається відмінність форм, розмірів і місць розташування аустенітних фрагментів відносно меж колишніх аустенітних зерен. Це пояснюється явищем структурної спадковості литої сталі [2].

Згідно рис. 1 в мартенситі можна виявити мартенсит наступних морфологічних типів:

1-й тип – відносно крупні виділення голкоподібної форми однієї або декількох орієнтувань (рис. 1 а, б). Ці виділення в структурі розподілені нерівномірно;

2-й тип – дуже дисперсні голкоподібні виділення, які розподілені в структурі також нерівномірно, але вони орієнтовані за визначеним кристалографічним напрямленням (рис. 1 в, г).

Дослідження мікроструктури за режимом 2 при охолодженні сталі до мінус 55 °С та витримкою 4 години очікуваного результату не дало. Очевидно, що обробки холодом при -55 °С не достатньо для перетворення аустеніту в мартенсит, тому що, як відомо, мартенситне перетворення відбувається в інтервалі температур від M_n і M_s . Отже, аустеніт в стабілізованому стані може бути переохолодженим до будь-якої температури ізотерми без утворення мартенситу в процесі охолодження [3].

На перетворення аустеніту в мартенсит чинить вплив швидкість охолодження після гартування (рис. 2). В залежності від швидкості

оохолодження виникає різна кількість мартенситу при оохолодженні та змінюється кінетика перетворень. Швидке оохолодження металу при гартуванні завжди викликає внутрішні напруження, а також виключає перетворення при оохолодженні й ініціює його в ізотермічних умовах та при нагріванні від низької до кімнатної температури, при цьому частина аустеніту перетворюється на бейніт. На кінцевий результат, що характеризується кількістю мартенситу в результаті нагрівання до кімнатної температури є однаковим. При повільному оохолодженні більше утворюється мартенситу оохолодження ($A_{\text{зал}} \rightarrow M_{\text{гарт}}$), а при швидкому – мартенситу відпускання ($A_{\text{зал}} \rightarrow M_{\text{відп}}$) [4].

Щоб не ускладнювати процес термічної обробки регулюванням швидкості оохолодження рекомендується протягом 1-2 годин витримувати зразки при низькій температурі при обробці холодом [4]. При цьому можливі зміни швидкості оохолодження і її вплив на ступінь перетворення зрівнюються і незалежно від конкретних умов буде утворюватися однакова кількість мартенситу.

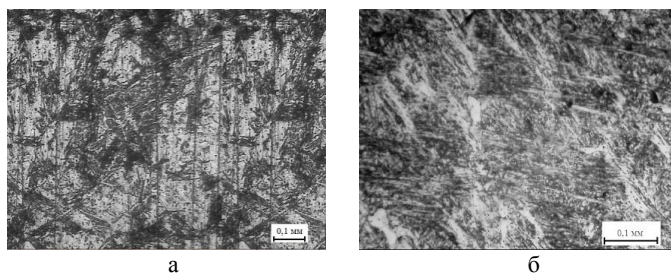


Рисунок 2 – Структура сталі ВНЛ-6 після термічної обробки:
а – гартування з 1130 °С з оохолодженням на повітрі обробки холодом -70 °С і відпускання при 480 °С
(темні ділянки мартенсит відпускання, світлі – залишковий аустеніт);
б – гартування з 1130 °С з оохолодженням з піччю до температури 1030°С (оохол. у воді), обробки холодом -70 °С і відпускання при 480 °С
(структура розпаду мартенситу)

При вмісті таких легувальних елементів як молібден, нікель, кобальт, структура литої сталі складається в основному з великої кількості аустеніту, пересиченого вуглецем і карбідотвірними елементами. Цей аустеніт знаходиться у термодинамічно нестійкому стані. При нагріванні в інтервалі інтенсивного карбідовиділення із аустеніту виділяються дисперсні вторинні карбіди, в результаті яких відбувається зниження концентрації вуглецю і хрому і підвищення температури M_n вище кімнатної. Така термічна обробка викликає дестабілізацію структурного стану [5].

Дослідження мікроструктури сталі після термічної обробки за режимом 6 (рис. 3) в зоні дестабілізації аустеніту показало, що структура в основному складається з мартенситу відпускання та деякої кількості залишкового аустеніту. При такій обробці, починаючи з 600-650 °С, виділяються карбіди у вигляді сітки по межах аустенітних зерен. Зменшення стійкості аустеніту в зоні дестабілізації, ймовірно, пояснюється збідненням твердого розчину хромом і вуглецем внаслідок випадіння карбідів [4].

За режимом 5 для дослідження кінетики перетворення стабілізованого аустеніту було проведено попереднє гартування від 1050 °С, вилежування при кімнатній температурі та додаткове нагрівання при 830 °С. При такій термічній обробці структура сталі складається в більший мірі з аустеніту (рис. 3, а), що ймовірно пояснюється його стабілізацією при нагріванні до 1050 °С та витримці при кімнатній температурі. При температурі гартування 1050 °С, вірогідно, відбувається розчинення карбідів хрому в аустеніті, що знижує мартенситну точку і підвищує кількість залишкового аустеніту. Витримка при кімнатній температурі сприяє стабілізації аустеніту. При повторному нагріванні до 830 °С стабілізований аустеніт не перетворюється на мартенсит, тому в структурі сталі спостерігається більша його кількість в порівнянні зі сталлю після обробки за режимом 6.

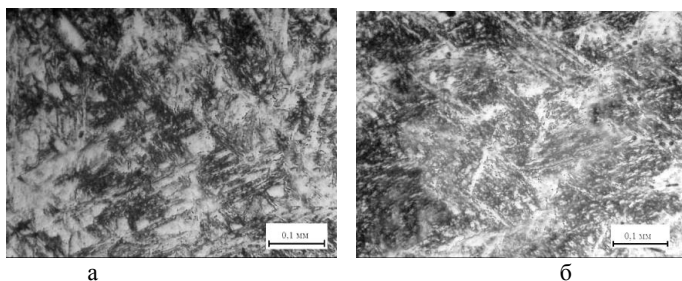


Рисунок 3 – Структура сталі ВНЛ-6 після термічної обробки:

а – перше гартування: 1050 °С на повітрі, друге – 830 °С з охолодженням на повітрі.

Обробка холодом при мінус 70 °С, відпускання при 480 °С;

б – гартування з 800 °С з охолодженням на повітрі, обробки холодом -70 °С і відпускання при 480 °С; (темні ділянки мартенсит, світлі – залишковий аустеніт)

Зміна співвідношення і морфології фаз в сталі перехідного аустенітно-мартенситного класу після термічної обробки за досліджуваними режимами обумовлює отримання відмінних показників міцності і в'язкості (табл. 1 і 2).

Таблиця 1 – Механічні властивості ВНЛ-6 в зоні стабілізації аустеніту

№ п/п	Температура, °C, операції ТО			Твердість, HRC	Ударна в'язкість, KCU, кгс·м/см ²
	$t_{гарт}$	$t_{охол}$	$t_{відпуск}$		
1	1130, повітря	-70	480	26 – 27	6,3 – 10,1
2	1130, повітря	-55	380	34	7,6 – 8,8
3	1130, повітря	-70	380	36–39	6,9 – 7,4
4	1130, охол. з піччю до 1030°C, далі – вода	-70	480	39 – 42	3,0 – 3,3

Таблиця 2 – Механічні властивості ВНЛ-6 в зоні дестабілізації аустеніту

№ п/п	Температури, °C, операції ТО			Твердість, HRC	Ударна в'язкість, KCU, кгс·м/см ²
	$t_{гарт}$	$t_{охол}$	$t_{відпуск}$		
5	1050, повітря 2) 830, повітря	-70	480	36 – 37	1,8 – 2,0
6	830, повітря	-70	480	40 – 44	1,8 – 3,0

При термічній обробці за режимами 1-3, при температурі аустенізації вище 1000°C відбувається зниження твердості, але підвищення ударної в'язкості. Ймовірно, це пояснюється тим, що при охолодженні аустеніт через вміст меншої кількості вуглецю і легувальних елементів перетворюється в мартенсит при більш високій температурі. В цьому випадку мартенсит, отриманий при охолодженні сталі до кімнатної температури, містить менше вуглецю, тому і міцність становиться зниженою [5].

Твердість сталі за режимом 4 в порівнянні з режимами 1-3 є вищою. Очевидно, це пояснюється напруженням після гартування при збільшенні швидкості охолодження. Згідно літературних даних швидке охолодження сприяє утворенню мартенситу, особливо в інтервалі температур 950-650 °C, коли карбіди не встигають виділитись при охолодженні[6].

Висока твердість сталі за режимами 5-6, що призводять до дестабілізації аустеніту, пояснюється великим вмістом мартенситу, що ймовірно пов'язано з утворенням деякої кількості δ -фериту. Наявність в структурі сталі δ -фериту викликає суттєву зміну вмісту вуглецю і легувальних елементів і може інтенсифікувати мартенситне перетворення при обробці холодом. Він значно погіршує пластичність сталі, але підвищує її міцність [7].

Особливості мікромеханізму руйнування аустенітно-мартенситних сталей були вивчені на зломах ударних зразків, які випробовувались при температурі мінус 60 °С.

Фрактографічний аналіз, результати якого представлені на рис. 4, свідчить про те, що зразки мають змішаний характер руйнування. На фоні ямкової будови спостерігаються ділянки квазісколу.

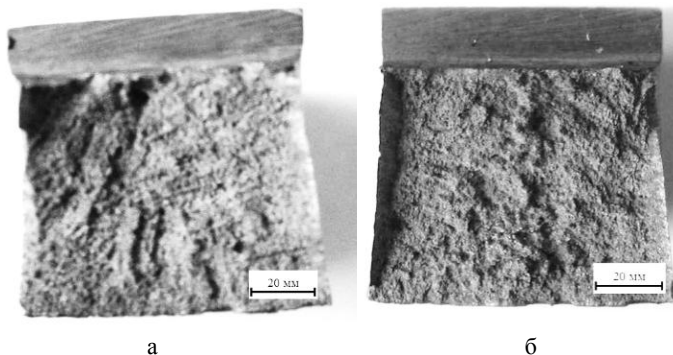


Рисунок 4 – Злами зразків із сталі ВНЛ-6 після термічної обробки:
а – за режимом 2; б – за режимом 3

Термічна обробка, що призведе до стабілізації аустеніту сприяє зменшенню кількості мартенситу, а, отже, підвищенню в'язкості сталі. Характер зламу сталі свідчить про змішану будову: на поверхні зламів спостерігаються як маленькі, дуже неглибокі (сплощені) ямки, так і фасетки квазіскола з розвинутою інфраструктурою у вигляді мікрогребінців (рис. 4).



Рисунок 5 – Злами зразків із сталі ВНЛ-6 після термічної обробки:
а – за режимом 5; б – за режимом 6

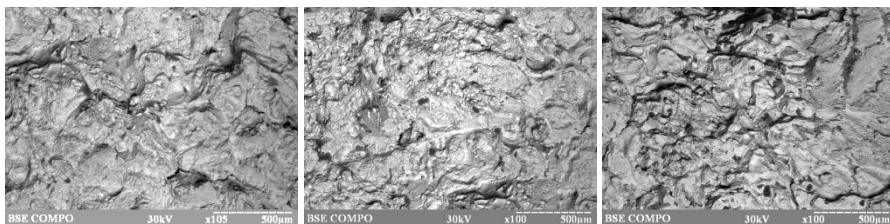


Рисунок 6 – Злами зразків із сталі ВНЛ-6 після термічної обробки:
а – за режимом 4; б – за режимом 5; в – за режимом 6

При стабілізації сталі злами загартованої сталі мають характерну для високоенергоємного руйнування в'язку ямкову будову з окремими фасетками квазісколу (рис. 6, а). При дестабілізації сталі утворюється злам з менш в'язкою мікробудовою (рис. 6, б, в). Утворення більшої кількості високоміцного мартенситу сприяє зменшенню енергоємності ямок, збільшенню кількості ділянок квазіскола і міжзеренного руйнування. Наявність ділянок з крихким характером руйнування свідчить про високу твердість сталі при низьких значеннях ударної в'язкості.

Можна вважати, що неоднорідне і переважно квазіскольне мікробудування зламу сталі, термообробленої за режимом 6, пов'язане з особливостями мікроструктури. Структура сталі при термічній обробці складається переважно з мартенситу, залишкового аустеніту та карбідних й інтерметалідних фаз. У зв'язку з цим можна припустити, що руйнування відбувається шляхом квазікрихкого відриву за площинами сполучення різко відмінних структурних складових, що пояснює появу багато чисельних фасеток квазісколу [8].

Для всіх сталей, які мають при температурі мінус 60°C високі значення ударної в'язкості, переважним є механізм руйнування шляхом злиття мікропор. Це призводить до виникнення ямок, витягнутих уздовж магістральної тріщини. Спостерігається також утворення великої кількості поперечних вторинних тріщин, що свідчить про значній енергоємності процесу руйнування. Подібне вторинне руйнування, ймовірно, пояснюється особливостями структури і пов'язано в основному з великою протяжністю границь зерен.

Висновки. Проведеними дослідженнями щодо аналізу кінетики фазових перетворень високоміцної корозійностійкої сталі аустенітно-мартенситного класу встановлено, що сталі цього класу типу ВНЛ-6 можна термічно обробляти в умовах стабілізації аустеніту – міцнісні властивості зменшуються, а пластичність збільшується, а також в умовах дестабілізації аустеніту – міцнісні властивості збільшуються, а пластичність і в'язкість залишається на достатньому рівні.

Після стабілізуючої термічної обробки сталь має в структурі аустеніт з деякою кількістю мартенситу. В мікроструктурі після дестабілізуючої термічної обробки сталі аустенітно-мартенситного класу за рахунок більш повного перетворення аустеніту в мартенсит характерна більша кількість мартенситної фази.

Визначено, що швидке охолодження після аустенізації ініціює мартенситне перетворення в ізотермічних умовах і при нагріванні, що підвищує міцність сталі.

Фрактографічний аналіз показав, що після стабілізованої термічної обробки злами загартованої сталі мають в'язкий злам з характерною ямковою будовою, а при дестабілізації - основною рельєфною складовою є сплюснені ямки з окремими фасетками квазісколу.

Список використаних джерел: 1. Структура и коррозия металлов и сплавов : Атлас. Справочник / И.Я. Сокол, Е.А. Ульянов, Э.Г. Фельдгандлер [и др.] – М. : Металлургия, 1989. – 400 с. 2. Никитин В.И. Наследственность в литых сплавах. Изд. 2-е, перераб. и доп. / В.И. Никитин, К.В. Никитин – М.: Машиностроение, 2005. – 476 с. 3. Кубышкина Т.Д. Мартенситные превращения нержавеющей сталей аустенитно-мартенситного класса / Т.Д. Кубышкина, Л.М. Певзнер, Я.М. Потак // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1960. – №8. – С. 23-30. 4. Гуляев А.П. Мартенситное превращение, механические свойства и структура нержавеющей сталей аустенитно-мартенситного класса / А. П. Гуляев, В.М. Макаров // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1960. – №8. – С. 3-9. 5. Мухин Г.Г. Нержавеющие стали аустенитно-мартенситного класса / Г.Г. Мухин // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1960. – №8. – С. 57-63. 6. Потак Я.М. Высокопрочные стали / Я.М. Потак. – М. : Металлургия, 1972. – 208 с. 7. Потак Я.М. Высокопрочные нержавеющей стали переходного аустенитно-мартенситного класса / Я.М. Потак, В.В. Сачков, Л.С. Попова // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1960. – №5. С. 24-26. 8. Фрактография – средство диагностики разрушенных деталей / М. А. Балтер, А. П. Любченко, С. П. Аксенова, А. А. Чернякова, Л. Я. Гольдштейн, Е. А. Куриц. – М.: Машиностроение, 1978. – 184 с.

Bibliography (transliterated): 1. Struktura i korroziya metallov i splovov : Atlas. Spravochnik / I. Ya. Sokol, Ye. A. Ul'yanin, E. G. Fel'dgandler [i dr.] – M. : Metallurgiya, 1989. – 400 s. 2. Nikitin V. I. Nasledstvennost v litykh splavakh. Izd. 2-e, pererab. i dop. /V. I. Nikitin, K. V. Nikitin - M. : Mashinostroenie, 2005. - 476 p. 3. Kubyshkina T. D. Martensitnyye prevrashcheniya nerzhaveyushchikh stalyakh astunitno-martensitnogo klassa / T. D. Kubyshkina, L. M. Pevzner, Ya. M. Potak // Metallovedeniye i termicheskaya obrabotka metallov. – 1960. – №8. – S. 23 – 30. 4. Gulyayev A. P. Martensitnoye prevrashcheniye, mekhanicheskiye svoystva i struktura nerzhaveyushchikh staley austenitno-martensitnogo klassa / A. P. Gulyayev, V.M. Makarov // Metallovedeniye i termicheskaya obrabotka metallov. – 1960. – №8. – S. 3 — 9. 5. Mukhin G. G. Nerzhaveyushchiye stali austenitno-martensitnogo klassa / G. G. Mukhin // Metallovedeniye i termicheskaya obrabotka metallov. – 1960. – №8. – S. 57 – 63. 6. Potak Ya.M. Vysokoprochnyye stali / Ya.M. Potak. – M. : Metallurgiya, 1972. – 208 s. 7. Potak Ya.M. Vysokoprochnyye nerzhaveyushchiye stali perekhodnogo austenitno-martensitnogo klassa / Ya.M. Potak, V.B. Sachkov, L.S. Popova // Metallovedeniye i termicheskaya obrabotka metallov. – 1960. – №5. S. 24 — 26. 8. Fraktografiya – sredstvo diagnostiki razrushennykh detaley / M. A. Balter, A. P. Lubchenko, S. P. Aksanova, A. A. Chernyakova, L. J. Goldstein, E. A. Kurits. - M.: Mashinostroenie, 1978. - 184 p.

Ю.Г. Гуцаленко, Харьков, Украина

ОСОБЕННОСТИ И ВОЗМОЖНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОГЕОМЕТРИИ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ АЛМАЗНО-ИСКРОВОМ ШЛИФОВАНИЕМ

Представлена розробка геометричної моделі формування шорсткості поверхні в присутності ерозійних мікроруїнувань оброблюваної поверхні під дією електричних розрядів в умовах алмазно-іскрового шліфування. Показані можливості використання ерозійних ефектів видалення мікрооб'ємів матеріалу з оброблюваної поверхні в згладжуванні її мікрорельєфу.

Представлена разработка геометрической модели формирования шероховатости поверхности в присутствии эрозионных микроразрушений обрабатываемой поверхности под действием электрических разрядов в условиях алмазно-искрового шлифования. Показаны возможности использования эрозионных эффектов удаления микрообъемов материала с обрабатываемой поверхности в сглаживании ее микрорельефа.

It is presented the development of the geometric model of the formation of surface roughness in the presence of erosive microfracture treated surface under the action of electrical discharges in terms of a diamond-spark grinding. The possibilities of using the erosive effects of microvolume material removing from the treated surface in its microrelief smoothing are shown.

Введение. Предшествующий опыт и задача развития. Экспериментальные исследования прогрессивного технологического метода алмазно-искрового шлифования (АИШ), разработка которого основана в НТУ «ХПИ» и выполняется в нем более 40 лет [1], свидетельствуют, как правило, о некотором повышении шероховатости обработанной поверхности по сравнению с обычной алмазной обработкой [2-4]. Как отмечается в [2], причины этого явления заключаются в таких присущих АИШ достоинствах и особенностях, как "увеличение высоты выступания зёрен, уменьшение удельной работы связи в процессе шлифования и наличие микролунок, образованных электрическими разрядами".

Вместе с тем опыт микроскопических исследований поверхностей после электроэрозионного воздействия в процессе АИШ позволил предложить модель сглаживания шероховатости поверхности при участии электрической эрозии в формировании окончательного рельефа обработанной поверхности в усовершенствованных циклах обработки [5-6].

Эта модель исходит из того, что, во-первых, в условиях АИШ объемно-геометрические характеристики рабочей зоны обработки достаточно стабильны и их изменения прогнозируемы, а электрические режимы

ожидаемо определяют величину критического зазора электрического пробоя между металлами связки шлифовального круга и обрабатываемой поверхности. Во-вторых, в заданных кинематико-геометрических и электрических условиях АИШ данного материала эрозионный след электрического разряда на его поверхности может рассматриваться в виде вытянутого полуэллипсоида вращения с вполне определенной глубиной H [7], рис. 1.

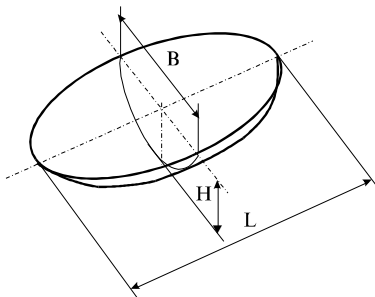


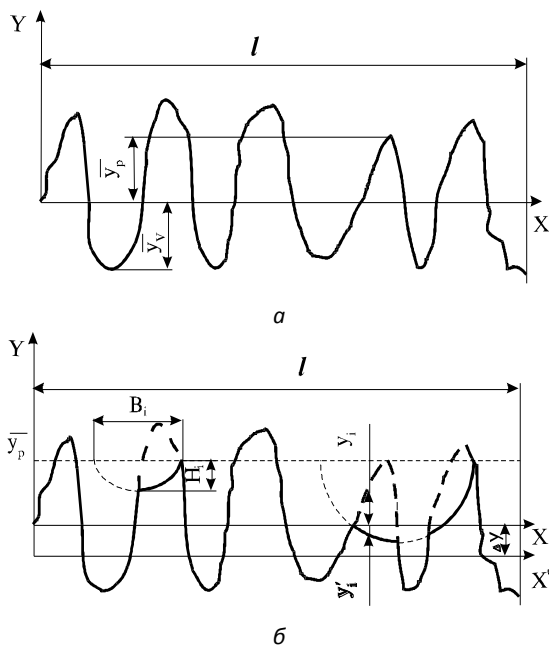
Рисунок 1 – Модель эрозионной лунки

Тогда возможны относительно малые по высотным характеристикам электроэрозионные вмешательства в картину микропрофиля шлифованной поверхности ($H < R_z$, R_z по [8]), которые сглаживают её рельеф и, если и не приводят к уменьшению R_z (при неполном перекрытии эрозионными пятнами обработанной поверхности), то наверняка снижают величину среднего арифметического отклонения профиля R_a [8], как это показано в работе [5], рис. 2.

Рис. 2 отображает микропрофиль поверхности, сформированный в отсутствие электрических разрядов (после обычного алмазного шлифования, рис. 2, а) и с их участием (после АИШ, рис. 2, б).

При алмазной обработке кругом после предварительной электроэрозионной правки или с одновременной основному рабочему процессу автономной правкой (непрерывной, периодической), осуществляемой вне зоны резания, микропрофиль шлифованной поверхности (рис. 2, а) идентичен участкам микропрофиля после АИШ, не испытавшим электроэрозионных вмешательств. Следы этих вмешательств глубиной H_i и шириной B_i показаны на рис. 2, б. Учитывая, что в процессе АИШ имеет место скольжение электрических контактов (пятен каналов электрических разрядов) по обработанной поверхности, модель – полушар или шаровой сегмент высотой (глубиной лунки) H , какими описывалась бы эрозия в неподвижных точечных электрических контактах, трансформируется в модель – полуэллипсоид с размерами полуосей H (глубина лунки), $B/2$ (B – ширина лунки) и $L/2$ (L – длина лунки), рис. 1. Согласно с теорией и

практикой электроэрозионных явлений в движущихся электрических контактах вообще [9] и возникающих в зоне АИШ в особенности [2-4], модель эрозионной лунки по рисунку 1 представляет полуэллипсоид, вытянутый в направлении скольжения электроэрозионного контакта (в направлении шлифования). При $H = \frac{B}{2} < \frac{L}{2}$ модель эрозионной лунки является вытянутым полуэллипсоидом вращения.



a – незерозированной, b – эрозированной

Рисунок 2 – Микропрофиль поверхности

По модели [5] (рис. 2) величины высот $\bar{y}_p$ и $\bar{y}_v$ [8] соответствуют средним значениям пяти наибольших выступов ($\bar{y}_p$) и впадин ($\bar{y}_v$) профиля, по которым рассчитывается параметр R_z шероховатости поверхности [8], т. е.

$$|\bar{y}_p| = \frac{\sum_{i=1}^5 |y_{pi}|}{5}, \quad (1)$$

$$|\bar{y}_v| = \frac{\sum_{i=1}^5 |y_{vi}|}{5}. \quad (2)$$

Принимается также [5], что линии высот и впадин со средними значениями $\bar{y}_p$ и $\bar{y}_v$ симметричны средней линии профиля (оси абсцисс X , рис. 2, б), т.е.

$$|\bar{y}_p| = |\bar{y}_v|, \quad (3)$$

$$|\bar{y}_p| = \frac{R_z}{2}. \quad (4)$$

Геометрическая логистика модели [5] опирается на физическое ожидание того, что эрозионные следы движущихся пятен каналов разрядов (электрических контактов) занимают энергетически наиболее выгодные положения, с возможно минимальным зазором (сопротивлением в контакте), и потому, во-первых, не пересекаются (каждая последующая лунка формируется вне уже состоявшихся, если такая ситуация возможна) и, во-вторых, эрозия начинается с наибольших выступов профиля (т.е. среднестатистично с уровня $\bar{y}_p$, рис. 2, б).

Рассмотрение [5] пренебрегает во многих случаях характерными эрозионным лункам-кратерам "лавообразования", когда расплавленный материал образует навалы по краям лунок и (или) заполняет попавшие в зону эрозионного лункообразования впадины микрорельефа поверхности. Последнее в большей степени присуще обработке пластичных материалов, особенно электроэрозионным процессам с относительно малыми энергиями единичных импульсов, когда $H < R_a$ или хотя бы $H < R_z$, как это могло бы иметь место в геометрическом представлении по рис. 2, б.

Модель [5] вовлекает в рассмотрение исключительно ситуации с относительно малыми по высотным характеристикам электроэрозионные вмешательства в картину микропрофиля шлифованной поверхности сглаживают её рельеф и, если и не приводят к уменьшению R_z (при весьма малой плотности N эрозионных пятен на обработанной поверхности), то наверняка снижают величину среднего арифметического отклонения профиля R_a . При этом положение средней линии профиля меняется (понижается на некоторую величину Δb , рис. 2, б).

Однако покажем, что иллюстрированное рис. 2, б введение в модель сглаживания шероховатости поверхности при АИШ является таковым и в ситуациях, когда $H \geq R_z$ в рассмотрении R_z при работе без тока. Эти ситуации являют предпосылку использования эрозионного лункообразования в сглаживании шероховатости поверхности в цикле АИШ, включающем завершающий цикл технологический переход выхаживания без тока.

Основная часть. Итак, рассмотрим, как проявится возникновение эрозионных разрушений микропрофиля поверхности в результате электроразрядных процессов, протекающих в зоне резания при АИШ, при их использовании в сглаживании основных высотных характеристик шероховатости обработанной поверхности, а именно R_a и R_z [8], в контексте обозначенной задачи развития предшествующего опыта, т.е. ситуациях, когда $H \geq R_z$.

Исследуем на применимость в рассматриваемой задаче расчетной схемы [5], рис. 3.

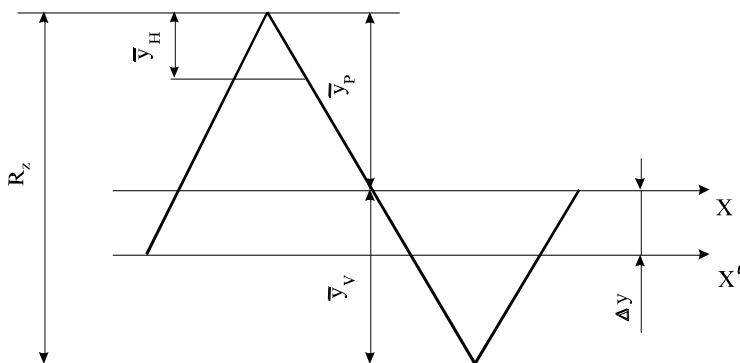


Рисунок 3 – Расчетная схема сглаживания шероховатости

Аналогично [5] сразу заметим, что из расчетной схемы (рис. 3) с учётом (3) и (4) следует:

$$R_z = 4 \cdot R_a. \quad (5)$$

Тогда, если y_n – известная величина линейного электроэрозионного съёма (при однопроходном шлифовании с продольной подачей на ширину круга $\bar{y}_n < H$), установленная расчетным или экспериментальным путём, или их комбинацией, и являющаяся величиной приведенной (т.е. средневзвешенной в объёме поверхностного слоя), отсчитываемой от уровня выступов $\bar{y}_p$, то можно определить и понижение Δu средней линии профиля поверхности от уровня X к уровню X' , и значение параметра шероховатости R'_a , пониженное по сравнению с формируемым алмазным кругом той же остроты в технологиях без возбуждения электрических разрядов в зоне обработки:

$$\Delta y = 0,5 \bar{y}_i, \quad (6)$$

$$R'_a = R_a - 0,25 \bar{y}_i. \quad (7)$$

Соответственно, с увеличением отношения $\bar{y}_n/R_a$ в диапазоне соответствующей полноте R_a четверти R_z , т. е. от 0 (обычное алмазное шлифование) до 1, расчетное значение R'_a снижается до 75 % от R_a , полученного при обработке с наложением эрозионного лункообразования, при этом понижение Δu составляет $0,5R_a$; и так далее с дальнейшей интенсификацией электроэрозионных процессов на обрабатываемой поверхности, по глубине геометрической наследственности соизмеримых с шероховатостью поверхности при шлифовании в отсутствие эрозионного воздействия на нее.

Тогда в общем случае, как это следует из основанных на анализе экспериментальных данных модельных представлениях [5] и изложенного здесь, достижимый сглаживающий эффект массы единичных электроэрозионных вмешательств в картину формирования шероховатости обработанной поверхности (в том числе, как это рассматривается [5], относительно малых по высотным характеристикам, $H < R_z$) является наследственностью действия электрических импульсов, возбуждающих электрические разряды. В том числе как это рассматривается [5], относительно маломощные высокочастотные, правящее действие которых на анодную поверхность металлической связки круга в высокопроизводительных процессах из опытной практики недостаточно для поддержания стабильно высокой развитости режущего рельефа алмазно-абразивного инструмента, обеспечивающей основные организационно-технические, технологические и экономические преимущества АИШ. Поэтому подтвердим здесь рекомендацию [5] об использовании в цикле АИШ электрических режимов, шадящих обрабатываемое твердое тело в зоне его непрерывной сплошности ниже линии впадин шероховатости поверхности, в заключительной фазе обработки, непосредственно перед выхаживанием или в его начале.

В циклах же АИШ с $H \geq R_z$, т.е. без целенаправленного, для формирования сглаживающей микрорельеф обрабатываемой поверхности технологической наследственности, включения в завершающий их структуру этап шадящих электрических режимов, завершение циклов для получения сглаженного микрорельефа обработанной поверхности с использованием эрозионного лункообразования следует проводить без тока. В том числе применяя выхаживание, и притом на глубину внедрения режущего рельефа алмазного круга в бестоковой обработке, при которой номинальный микрорельеф (рис. 2, а) все еще пересекается с эрозионным лункообразованием (рис. 2, б).

Если уровень шероховатости в выполняемой операции нормируется некоторым ограничением сверху $[R_a]$, а $R_a > [R_a]$, и притом желательно

минимизировать электрофизическую технологическую наследственность АИШ в структуре поверхностного слоя обработанной поверхности, то выхаживание в комбинации с электроразрядным воздействием на нее следует проводить в пределах $\bar{y}_i \leq [\bar{y}_i]$, $[\bar{y}_i] = 4(R_a - [R_a])$. Ситуация $\bar{y}_i < [\bar{y}_i]$ предполагает обязательное дополнительное понижение шероховатости выхаживанием после отключения технологического тока.

Теоретические исследования [10] и обширная экспериментальная практика указывают на высокую технологическую рациональность выхаживания, в особенности в технологиях АИШ [2, 3, 11]. Помимо размерно-геометрических аспектов примем здесь во внимание, что выдающимся исследователем и практиком шлифования акад. П. И. Ящерицыным с функциональных позиций упрочнения обрабатываемой поверхности выхаживание рассматривается в одном ряду с такими специальными операциями как обкатка и дорнование [12].

Эрозионное сглаживание шероховатости при АИШ, проводимое с выхаживанием при минимальном внедрении следов электрических разрядов в обрабатываемую поверхность, предполагает выполнение соотношения $H \leq [\bar{y}_i]$. Поскольку величина $[\bar{y}_i]$ предопределена R_a и заданием $[R_a]$ или $[R_z]$, то осуществимость этого соотношения обеспечивается необходимым понижением H . Частотное регулирование импульсного действия электрического тока в зоне АИШ предоставляет большие возможности для этого. Об этом свидетельствует и опыт исследования локальной объемной эрозионной деструкции металлической связки шлифовальных кругов, работающих в режиме АИШ [13].

Существенные возможности понижения H предоставляет также реализация кинематико-геометрической схемы АИШ с повышенной скоростью перемещения обрабатываемой поверхности относительно инструментальной, когда энергия электрических разрядов реализуется с удлиненными и потому менее глубокими эрозионными следами. Характерным примером в этом направлении является технологическая практика внутришлифовального станка-полуавтомата модели 3М227ВРФ2 (3М227ВЭРФ2) с конструктивно обеспечиваемой частотой вращения изделия до 1200 об/мин.

Заключение. Практическая ценность. Эрозионные образования (лунки) на поверхности, обрабатываемой АИШ, существенно изменяют общую картину и показатели шероховатости по сравнению с обычным шлифованием. При этом возможен эффект эрозионного сглаживания окончательного (шлифованного) микрорельефа.

В идентичных режимных условиях алмазного шлифования, в отсутствие электроэрозионного разрушения стружек в процессе их отделения от шлифуемой поверхности и после него, в случае развитого режущего рельефа

(после правки), межзеренное пространство, по-видимому, является своего рода галтовочной миникамерой, в которой роль шлифовально-полировального инструмента, непрерывно частично удаляемого и возобновляемого, играют сколы сверхтвердого абразива и, главным образом, заторможенные стружки и продукты их диспергирования. Рабочей зоне АИШ эти явления также присущи, но в гораздо меньшей степени, что и проявляется, как правило, менее сглаженным микрорельефом обработанной поверхности.

В случае же постепенной потери остроты режущего рельефа при алмазном шлифовании без правки инструмента и затупленным кругом, зерна его рабочей поверхности с привершинными площадками износа все менее режут и все более выглаживают, связка круга все более втягивается в выглаживающий контакт с обрабатываемой поверхностью.

С практической реализацией предложенной модели, помимо собственно расширенных здесь технологических возможностей сглаживания шероховатости обрабатываемой АИШ поверхности, связывается, во-первых, сокращение времени выхаживания и всего операционного цикла АИШ до достижения заданной шероховатости, и, во-вторых, минимизация потерь развитости режущего рельефа шлифовальных кругов по сравнению с конвенциональными подходами к организации рабочих циклов АИШ.

Список использованных источников: 1. *Гуцаленко, Ю. Г.* Алмазно-искровое шлифование : обзор сорокалетия разработки харьковской научной школы физики процессов резания / *Ю. Г. Гуцаленко* // Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве : Тр. 18-й междунар. науч.-практ. конф., 5-6 дек. 2012 г. – Харьков : ГП ХМЗ «ФЭД», 2012. – С. 79-88. 2. *Кобзарь, Л. Е.* Прогрессивное алмазно-искровое шлифование / *Л. Е. Кобзарь, В. А. Фадеев, Н. К. Беззубенко* // Харьков : Харьк. гос. политехн. ун-т, Харьк. науч.-производств. об-ние ФЭД, 1995. – 153 с. 3. *Беззубенко, Н. К.* Повышение эффективности алмазного шлифования путем введения в зону обработки дополнительной энергии в форме электрических разрядов : Дис. ... д-ра техн. наук : 05.03.01 – процессы механической обработки, станки и инструменты / *Н. К. Беззубенко*; Харьк. гос. политехн. ун-т. – Харьков, 1996. – 468 с. 4. *Беззубенко, Н. К.* Качество поверхности деталей и инструмента при алмазно-искровом шлифовании / *Н. К. Беззубенко, Ю. Г. Гуцаленко, Н. Н. Серова* // Технологическое управление качеством поверхности деталей : Сб. науч. тр. – Киев : Асоц. технологів-машиностроїтелів України, 1998. – С. 108-114. 5. *Гуцаленко, Ю. Г.* Влияние микроэрозионных явлений на шероховатость поверхности / *Ю. Г. Гуцаленко* // Вестн. Харьк. гос. политехн. ун-та : Сб. науч. тр. – Вып. 65. – Харьков : ХГПУ, 1999. – С. 145-152. 6. *Гуцаленко, Ю. Г.* Модель сглаживания шероховатости поверхности при алмазно-искровом шлифовании / *Ю. Г. Гуцаленко* // Современные инновации в науке и технике : Сб. науч. тр. 4-ой междунар. науч.-практ. конф. 17 апр. 2014 г. – В 4-х т. – Курск : Юго-Зап. гос. ун-т, 2014. – Т. 1. – С. 325-328. 7. *Гуцаленко, Ю. Г.* Расчет электроэрозии при алмазно-искровом шлифовании по данным микроскопической визуализации / *Ю. Г. Гуцаленко* // Вестн. Харьк. гос. политехн. ун-та : Сб. науч. тр. – Вып. 66 : Новые решения в соврем. технологиях. – Харьков : ХГПУ, 1999. – С. 54-58. 8. ГОСТ 2789-73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики. Введ. 01.01.1975. Переизд. – М. : Стандартинформ, 2006. – 7 с. 9. *Намитоков, К. К.* Электроэрозионные явления : Монография / *К. К. Намитоков*. – М. : Энергия, 1978. – 456 с. 10. *Новиков, Ф. В.* Оптимизация структуры и параметров операций круглого наружного продольного глубинного шлифования / *Ф. В. Новиков, Ю. Г. Гуцаленко, С. А. Дитиненко* // Високі технології в машинобудуванні : Зб. наук. пр. НТУ «ХПІ». – 2005. –

Вип. 2 (11). – С. 262-267. **11.** *Погребной, Н. А.* Формирование упрочненного поверхностного слоя сталей после предварительной термофрикционной обработки и алмазно-искрового шлифования / *Н. А. Погребной, Ю. А. Сизый, Ю. Г. Гуцаленко, О. А. Волков* // Резание и инструмент в технологических системах : Междунар. науч.-техн. сб. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2007. – Вып. 73. – С. 244-250. **12.** *Яцерицин, П. І.* Технологічне спадкування експлуатаційних параметрів деталей машин / *П. І. Яцерицин* // Вісник ЖДТУ. – 2003. – № 2 (26). – С. 206-209. **13.** *Гуцаленко, Ю. Г.* Особенности влияния скорости резания и электрических импульсов на инструмент алмазно-искрового шлифования / *Ю. Г. Гуцаленко* // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации : Сб. науч. тр. XI-ой междунар. науч.-техн. конф. 19-21 мар. 2014 г.; в 4-х т. – Т. 1. – Курск : Юго-Зап. гос. ун-т, 2014. – С. 386-390.

Bibliography (transliterated): **1.** Gutsalenko, Yu. G. "Almazno-iskrovoe shlifovanie: obzor sorokaletija razrabotki har'kovskoj nauchnoj shkoly fiziki processov rezanija". *Fizicheskie i komp'yuternye tehnologii v narodnom hozjajstve: Tr. 18-j mezhdunar. nauch.-prakt. konf. 5th-6th Dec. 2012.* Kharkov: GP HMZ "FED", 2012. Print. **2.** Kobzar', L. E., V. A. Fadeev and N. K. Bezzubenko. *Progressivnoe almazno-iskrovoe shlifovanie.* Kharkov: Kharkov State Polytech.Univ., Kharkov R&D Prod. Assoc. FED, 1995. Print. **3.** Bezzubenko, N. K. *Povyshenie jeffektivnosti almaznogo shlifovaniya putem vvedeniya v zonu obrabotki dopolnitel'noj jenerгии v forme jelektricheskikh razrjadov. Dys. ... d-ra tehn. nauk.* Kharkov, 1996. Print. **4.** Bezzubenko, N. K., Yu. G. Gutsalenko and N. N. Serova. "Kachestvo poverhnosti detalej i instrumenta pri almazno-iskrovom shlifovanii." *Tehnologicheskoe upravlenie kachestvom poverhnosti detail: Sb. nauch. tr.* Kiev: ATMU, 1998. 108-114. Print. **5.** Gutsalenko, Yu. G. "Vlijanie mikrojerostionnyh yavlehiy na sherohovatost' poverhnosti." *Vestn. Kharkov State Polytech.Univ.* 1999. Iss. 65: 145-152. Print. **6.** Gutsalenko, Yu. G. "Model' sglajzhivaniya sherohovatosti poverhnosti pri almazno-iskrovom shlifovanii." *Sovremennye innovacii v nauke i tehnike. Sb. nauch. tr. 4th mezhdunar. nauch.-tehn. konf. 17th Apr. 2014.* Kursk: Southwest State Univ., 2014. Vol. 1. 325-328. Print. **7.** Gutsalenko, Yu. G. "Raschet jelektrojerostii pri almazno-iskrovom shlifovanii po dannym mikroskopicheskoy vizualizacii." *Vestn. Kharkov State Polytech.Univ.* 1999. Iss. 66: 54-58. Print. **8.** GOST 2789-73. *Sherohovatost' poverhnosti. Parametry i harakteristiki.* Moscow: Standartinform, 2006. Reprint. **9.** Namitokov, K. K. *Jelektrojerostionnye javleniya: Monografija.* Moscow: Энергия, 1978. Print. **10.** Novikov, F. V., Yu. G. Gutsalenko and S. A. Ditinenko. "Optimizacija struktury i parametrov operacij kruglogo naruzhnogo prodol'nogo glubinnogo shlifovaniya." *Vysoki tehnologii v mashinobuduvanni: Zb. nauk. pr. NTU "KhPI".* 2005. Iss. 2: 262-267. Print. **11.** Pogrebnoj, N. A., et al. "Formirovanie uprochnennogo poverhnostnogo sloja staley posle predvaritel'noj termofrikcionnoj obrabotki i almazno-iskrovoe shlifovaniya." *Rezanie i instrument v tehnologicheskikh sistemah: Mezhdunar. nauch.-tehn. sb.* Kharkov: NTU "KhPI", 2007. Iss. 73: 244-250. Print. **12.** Jazhericyn, P. I. "Tehnologichne spadkuvannja ekspluatacijnyh parametriv detalej mashin." *Visnyk ZhSTU.* 2003. No. 2: 206-209. Print. **13.** Gutsalenko, Yu. G. "Osobennosti vlijanija skorosti rezanija I jelektricheskikh impul'sov na instrument almazno-iskrovogo shlifovaniya." *Sovremennye instrumental'nye sistemy, informacionnye tehnologii i innovacii. Sb. nauch. tr. XI-oj mezhdunar. nauch.-tehn. konf. 19th -21th Mar. 2014.* Kursk: Southwest State Univ., 2014. Vol. 1. 386-390. Print.

УДК 621.923

Ю.Г. Гуцаленко, В.В. Ивкин, А.В. Руднев, Е.К. Севидова, канд. техн. наук,
И.И. Степанова, канд. техн. наук, Харьков, Украина

СТАНКОИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ ПОДДЕРЖКИ АЛМАЗНО-ИСКРОВОГО ШЛИФОВАНИЯ

Розглядається розробка електроізоляційних захисних покриттів інструмента та планшайби шліфувального верстата комбінованих технологій високоточної продуктивної обробки з введенням в зону різання додаткової енергії електричних розрядів для підтримки сталої працездатності шліфувальних кругів з алмазно-металевої композицією робочої частини. Наводяться відомості про патентний захист розробки.

Рассматривается разработка электроизоляционных защитных покрытий инструмента и планшайбы шлифовального станка комбинированных технологий высокоточной производительной обработки с введением в зону резания дополнительной энергии электрических разрядов для поддержания устойчивой работоспособности шлифовальных кругов с алмазно-металлической композицией рабочей части. Приводятся сведения о патентной защите разработки.

It is considered the development of electrically insulating coatings for tool and faceplate of grinder for combined technologies of high-efficient processing with the introduction into the cutting zone additional energy of electrical discharges to maintain stable a working capacity of grinding wheels with diamond-metal composition of the working part. There are adduced the data about patent protection of development.

Введение. В конвенциональных подходах к организационно-техническому обеспечению операций алмазно-искрового шлифования (АИШ) подводом в зону обработки дополнительной энергии в форме электрических разрядов, как в специальном станкостроении, так и при специальной модернизации универсального оборудования его потребителями, предусматривается электроизоляция шпинделя станка. При этом в базовую конструкцию вводятся новые (нетокопроводные) элементы (детали), служащие необходимым барьером электрическому току в функционально запрещенных направлениях, но повышающие степень сборочной сложности и понижающие жесткость и геометрическую точность функционирования технической системы.

Шлифовальный инструмент как объект барьерных технических решений, обеспечивающих нетокопроводность его контакту с посадочным местом на металлической планшайбе станка, в известной исследовательской и производственной практике не рассматривается.

В преодолении этих недостатков альтернативой объемно-массивной текстолитовой изоляции является применение специально разработанных диэлектрических покрытий, наносимых на прочную основу базовых деталей

(элементов), конструктивно требующих электроизоляции, в традиционном исполнении изготавливаемых из конструкционной стали (планшайба) и конструкционных сплавов, прежде всего алюминиевых (несущий корпус инструмента).

Инверсия задачи электроизоляции металлического корпуса шлифовального круга от стальной планшайбы шлифовального станка в сторону инновационного решения инструмента может быть решена нанесением специальных диэлектрических покрытий на поверхности соприкосновения корпуса инструмента с планшайбой станка, т. е. на цилиндрическую посадочного отверстия и примыкающие к ней торцевые, по одной из которых, обращенной к планшайбе, происходит позиционирование на ней, а вторая, на некотором, достаточном для токозащиты планшайбы удалении от ее посадочной наружной цилиндрической поверхности, должна быть свободна от электроизоляционного покрытия для возможности осуществления через нее токоподвода к алмазно-металлической композиции рабочей части шлифовального круга.

Дополнительно к ранее опубликованной информации о разработках [1] предлагаемая здесь презентация содержит сведения об их патентной защите.

Токозащитное покрытие корпуса инструмента. В общей традиционной практике изготовления токопроводных корпусов алмазных абразивных инструментов применяют алюминий (прокат и литье) и стали (конструкционные и легированные). При этом из-за эксплуатационных преимуществ алюминиевый выбор доминирует.

Мировая практика износостойкой защиты поверхностей алюминиевых сплавов связана с анодно-искровыми покрытиями (АИП) микродуговым оксидированием (МДО) [2], известным также как ANOF (Anodishen Oxidation unter Funkenentladung) в Германии, ASD (Anodic Spark Deposition) в США, Европе и Китае, микродуговое оксидирование в России, РЕО (Plasma Electrolytic Oxidation) в Великобритании, ПЕО (плазмово-электролитне оксидування) в Украине.

Согласно [3] на алюминиевых материалах можно получить защитные пленки толщиной до 400 мкм, выдерживающие тепловой удар до 2500 °С, с пробойным напряжением до 6000 В, микротвердостью до 25 ГПа и износостойкостью на уровне твердых сплавов. Как правило, в известных применениях в первую очередь используются износостойкие, коррозионностойкие и теплостойкие свойства АИП, что позволяет [4] повысить соответствующие эксплуатационные показатели в 1,5-2,5 раза.

В меньшей степени известно применение АИП в качестве диэлектрических, хотя, согласно литературным данным [5], диэлектрические параметры таких покрытий могут иметь очень высокие показатели, приближающие их к диэлектрикам высшего качества. В частности, исследуемое [6] удельное электрическое сопротивление АИП,

сформированного на алюминии марки АДО, при различных режимах составляет $1,2 \cdot 10^{13}$ – $2,7 \cdot 10^{13}$ Ом·м.

В отечественных и российских алюминиевых технологиях корпусов алмазных абразивных инструментов наиболее распространено применение сплава АК6 (или 1360) по ГОСТ 4784-97. Этот сплав имеет стандартные зарубежные аналоги в США, Японии, Великобритании, Франции, Италии, Польше, Чехии, а также в других странах и в Евросоюзе в целом. Наличие многочисленных зарубежных аналогов сплаву АК6 свидетельствует о патентно-лицензионной перспективности инновационных разработок связанных с ним технологий функциональных покрытий.

Оксидные покрытия на алюминиевом сплаве АК6 формировали в алюминатном электролите при напряжении 250-300 В. Толщина покрытий по поверхности составляла 100...120 мкм.

После анодирования образцы подвергали кипячению в дистиллированной воде в течение 30 минут с целью уменьшения открытой пористости за счет гидратации оксидной пленки.

По результатам тераометрических измерений установлено, что удельное электрическое сопротивление сформированного покрытия составило примерно $1,2 \cdot 10^{12}$ Ом·м, а пробивное напряжение – свыше 1000 В (в режиме испытаний с нагружением испытываемого электроизоляционного слоя приложением напряжения до 1 кВ пробой не наблюдался).

Полученные результаты позволили отказаться от дополнительной пропитки сформированного покрытия кремний-органическим лаком ввиду достаточности выходных характеристик токозащиты.

Предложенные покрытия можно механически обрабатывать, что позволяет доводить посадочное отверстие шлифовального круга до нужного размера с необходимой точностью. В технологическом маршруте изготовления алмазных кругов операция анодного оксидирования должна выполняться до напрессовки на корпус алмазоносного слоя, чтобы обезопасить этот слой от преждевременных электрофизикохимических повреждений.

Разработка защищена патентом Украины на полезную модель [7].

Токозащитное покрытие планшайбы. Приспособляемость конструкции шлифовальных станков к использованию в технологиях АИШ предлагается обеспечивать в результате нанесения на посадочные для инструмента поверхности стальной основы планшайбы специально разработанных диэлектрических покрытий на основе семейства эпоксидно-диановых смол.

Износостойкость обеспечивается введением диэлектрических порошков триоксида алюминия Al_2O_3 или диоксида кремния SiO_2 с возможным варьированием массовой доли как диэлектрических порошков, так и эпоксидных групп.

Композицію получают путем смешивания эпоксидно-диановой смолы и бутилглицидилового эфира с последовательным введением в смесь диэлектрического наполнителя (Al_2O_3 или SiO_2), полиметилсилоксана и полиметилфенилоксана. Отвердитель – моно-N-(–цианэтил)–диэтилентриамин – вводят непосредственно перед использованием. Покрытие наносят на поверхность с помощью щетки в 2-3 приема. Минимальное время отвердевания одного слоя покрытия – 7 часов. Время выдержки после нанесения последнего слоя – 24 часа. После затвердевания деталь с покрытием обрабатывают механическим способом до заданных размеров с требуемой точностью.

Таблица

Объект оценки	H_v , МПа	$\sigma_{сж}$, МПа	ρ , Ом·м	δ , мкм
1	204	135	1014	14
1/2	1,5	1,5	> 10	0,6

В табл. приведены физико-механические свойства разработанного композитного электроизоляционного износостойкого покрытия на основе эпоксидно-диановой смолы с 20 % содержанием массовой доли эпоксидных групп и 30 мас. % Al_2O_3 (объект 1) и их сопоставление с показателями без использования порошкового наполнителя (объект 2). Контролировалась твердость по Виккерсу H_v , прочность на сжатие $\sigma_{сж}$, удельное электрическое сопротивление ρ и износостойкость. Износостойкость оценивалась на приборе, в котором изнашивание поверхности осуществлялось шлифовальной бумагой, закрепленной на наконечнике, вращающемся относительно неподвижной плоскости образцов. Размерный износ δ определяли путем измерения толщины образцов до и после испытаний с помощью вертикального длинномера.

Разработка защищена патентом Украины на полезную модель [8].

Заключение. Разработанные в НТУ «ХПИ» износостойкие электроизоляционные покрытия предлагаются предприятиям станкоинструментальной отрасли, производящим шлифовальные станки и круги из сверхтвердых материалов на токопроводящих связках, для развития универсализации этих изделий в направлении их потенциального использования потребителем в электрофизических технологиях АИШ. Решение задач адаптации станков и инструментов для АИШ в условиях производств-изготовителей среди прочего мотивируется следующими аспектами рыночной привлекательности улучшенной продукции: во-первых, подготовленный к АИШ инструмент не требует передела шпиндельного узла универсального станка его потребителем или производителем.

Во-вторых, использование электроизоляционных износостойких покрытий на контактных с инструментом поверхностях планшайбы станка в условиях предприятий-изготовителей универсальных шлифовальных станков

создает конструктивно решающие предпосылки для организации потребителем станка АИШ и других электрофизикохимические технологий, поскольку последующие модернизационные мероприятия (включение в станочную систему источника-генератора технологического тока и обеспечение токоподвода в зону резания) уже не требуют вмешательства в формообразующую точность шлифовальных станков, обеспеченную в станкостроительной промышленности.

Список использованных источников: 1. Севидова, Е. К. Специальные электроизоляционные покрытия станкоинструментального назначения / Е. К. Севидова, Ю. Г. Гуцаленко, И. И. Степанова // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации : Сб. науч. тр. XI-ой междунар. науч.-техн. конф. 19-21 мар. 2014 г. – В 4-х т. – Курск : Юго-Зап. гос. ун-т, 2014. – Т. 4. – С. 77-81. 2. Мерцало, И. П. Зносотривкість анодно-іскрового покриття на сплавах алюмінію / І. П. Мерцало, В. Т. Яворський, М. Д. Кляпиков, Р. С. Мардаревич // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2003. – № 1. – С. 116-118. 3. Эпельфельд, А. В. Применение технологии микродугового оксидирования для формирования защитных покрытий / А. В. Эпельфельд // Технология машиностроения. – 2004. – № 4. – С. 39-44. 4. Коломейченко, В. В. Повышение износостойкости МДО-покрытий при изготовлении и восстановлении деталей машин / В. В. Коломейченко // Технология машиностроения. – 2005. – № 9. – С. 43-47. 5. Павлюс, С. Г. Диелектрические свойства анодно-искровых силикатных покрытий на алюминии / С. Г. Павлюс, В. И. Соборницкий, Ю. А. Шепрут, Л. А. Снежко, В. И. Черненко // Электронная обработка материалов. – 1987. – № 3. – С. 34-36. 6. Баковец, В. В. Оксидные пленки, полученные обработкой алюминиевых сплавов в концентрированной серной кислоте в анодно-искровом режиме / В. В. Баковец, И. П. Долговесова, Г. Л. Никифорова // Защита металлов. – 1986. – Т. 22. – № 3. – С. 440-444. 7. Гуцаленко, Ю. Г. Шліфувальний круг : патент на корисну модель № 96568 Україна: МПК (2006.01) B24D 3/06 / Ю. Г. Гуцаленко, О. К. Севидова, І. І. Степанова; власник : Нац. техн. ун-т «Харк. політехн. ін-т». – № у 201409394; заявл. 26.08.2014; опубл. 10.02.2015. Бюл. № 3. 8. Гуцаленко, Ю. Г. Композиція для електроізоляційних зносостійких покриттів : патент на корисну модель № 92786 Україна : МПК C08L 63/02 (2006.01), C08J 5/16 (2006.01) / Ю. Г. Гуцаленко, В. В. Івкін, О. В. Руднев, О. К. Севидова; власник : Нац. техн. ун-т «Харк. політехн. ін-т». – № у 201315441; заявл. 30.12.2013; опубл. 10.09.2014. Бюл. № 17.

Bibliography (transliterated): 1. Sevidova, E. K., Yu. G. Gutsalenko and I. I. Stepanova. "Special'nye jelektroizoljacionnye pokrytija stankoinstrumental'nogo naznachenija." *Sovremennye instrumental'nye sistemy, informacionnye tehnologii i innovacii. Sb. nauch. tr. XIth mezhdunar. nauch.-tehn. konf.* 19th - 21th Mar. 2014. Kursk: Southwest State Univ., 2014. Vol. 4. 77-81. Print. 2. Mercalo, I. P., et al. "Znosotrivkist' anodno-iskrovogo pokrivu na splavah aljuminiju." *Fiziko-himichna mehanika materialiv.* 2003. No. 1. 116-118. Print. 3. Jepel'fel'd, A. V. "Primenenie tehnologii mikrodugovogo oksidirovanija dlja formirovanija zashhitnyh pokritij." *Tehnologija mashinostroenija.* 2004. No. 4. 39-44. Print. 4. Kolomejchenko, V. V. "Povyshenie iznosostojkosti MDO-pokrytij pri izgotovlenii i vosstanovlenii detalej mashin." *Tehnologija mashinostroenija.* 2005. No. 9. 43-47. Print. 5. Pavljus, S. G., et al. "Dijelektricheskie svojstva anodno-iskrovych silikatnyh pokrytij na aljuminii." *Elektronnaja obrabotka materialov.* 1987. No. 3. 34-36. Print. 6. Bakovec, V. V., I. P. Dolgovesova and G. L. Nikifirova. "Oksidnye plenki, poluchennye obrabotkoj aljuminievych splavov v koncentrirovannoj sernoj kislote v anodno-iskrovom rezhime." *Zashhita metallov.* Vol. 22 (1986). No. 3. 440-444. Print. 7. Gutsalenko, Yu. G., O. K. Sevidova and I. I. Stepanova. *Shlifival'nij krug: patent na korisnu model'.* No. 96568 Ukraine. IPC, 2006.01 B24D 3/06. No. u 201409394. Appl. 26.08.2014. Publish. 10.02.2015. Bull. No. 3. Print. 8. Gutsalenko, Yu. G., et al. *Kompozicija dlja elektroizoljacijnih znosostijkih pokrittiv: patent na korisnu model'.* No. 92786 Ukraine. IPC, 2006.01 C08L 63/02, C08J 5/16. No. u 201315441. Appl. 30.12.2013. Publish. 10.09.2014. Bull. No. 17. Print.

УДК 621.9.01

О.Г. Дерев'янченко, д-р техн. наук, Д.О. Криницин, канд.техн. наук,
К.В. Стасюк, Одеса, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПОТОЧНИХ СТАНІВ ФОРМОУТВОРЮЮЧОЇ ДІЛЯНКИ РІЗАЛЬНИХ КРОМОК РІЗЦІВ З ВИКОРИСТАННЯМ СТЗ

Викладено підхід до визначення параметрів формуючої ділянки різальних кромок різців з застосуванням системи технічного зору. Він базується на обробці послідовності цифрових зображень різальної частини різців, які реєструє СТЗ. Для цього розроблено спеціальний програмний комплекс.

Изложен подход к определению параметров состояний формообразующего участка режущих кромок резцов с применением систем технического зрения. Он основан на обработке последовательности цифровых изображений режущей части резцов, регистрируемых СТЗ. Для этих целей разработан специальный программный комплекс.

An approach to current state estimation of cutting tools edges forming part with the system of technical sight using is discussed. He is based on processing of the sequence of cutting part digital images, which are registered with the STS using. The special programmatic complex for this purpose is developed.

Аналіз попередніх досліджень. Відомо, що формуюча ділянка різальних кромок (ФДРК) різців для чистової та фінішної обробки є важливим елементом структури цих різальних інструментів (далі – РІ). Профіль ФДРК та просторове положення її вершини, значення радіусу при вершині (r), безпосередньо впливають на розмір та шорсткість обробленої поверхні деталі, поточну товщину зрізу, загальну можливість обробки фасонного профілю. Отже, параметри ФДРК безпосередньо впливають на якість обробки.

В процесі експлуатації та зношування РІ послідовно виникає безліч поточних станів ФУРК, що часто призводить до виникнення відхилень значень відповідних параметрів від початкових. Згідно з роботою [1], геометричні неточності ріжучої частини (РЧ) інструменту можуть призвести до похибок обробки. Виникають зміни розрахункової траєкторії внаслідок зміщень вершини РІ. Важливим параметром стану інструменту є радіус при вершині. Його величина r має кілька стандартизованих значень в діапазоні 0,4-1,6 мм. При фасонному точінні формування поверхні проводиться різними точками, що лежать на криволінійній ділянці РК (рис. 1.а). Фактично різець зазвичай має радіус при вершині, що відрізняється від заданого на

величину Δr . Внаслідок цього виникають похибки обробки деталі (рис. 1. б) [1].

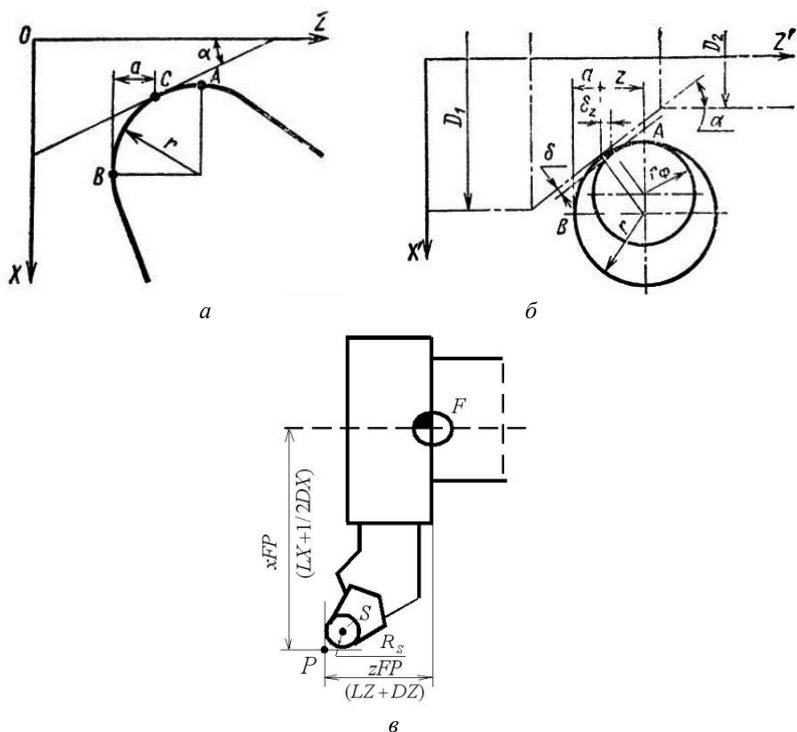


Рисунок 1 – Зміщення розрахункових точок різання при обробці різних поверхонь різцем із закругленою вершиною (а), похибки обробки при неточному визначення радіуса при вершині (б)[1], та параметри корекції на інструмент при обробці на верстатах з ЧПК (в) [2]

У роботі [2] відзначається, що на етапі рівномірного зношування РІ спостерігається лінійна залежність розмірного зносу від шляху різання. Це дозволяє компенсувати його вплив на точність обробки за допомогою коректорів. Розглянуті матеріали вказують на очевидну необхідність оперативного контролю поточних значень параметрів ФДРК РІ та внесення відповідних корекцій перед обробкою кожної нової деталі.

Метою даної статті є викладення деяких результатів розробок підходу до визначення параметрів формоутворюючої ділянки різальних кромek (РК) різців з застосуванням системи технічного зору (СТЗ) для внесення відповідних корекцій в параметри процесу обробки.

Розглянемо основні результати досліджень. На кафедрі ТКММ ОНПУ розроблено інтелектуальну систему контролю, розпізнавання поточних станів РІ та діагностування відмов різальної частини інструментів з використанням СТЗ [3, 4]. Вона дозволяє реалізувати декілька варіантів контролю РІ.

За першим з них у періоди припинення обробки (під час з'йому деталі та встановлення нової заготовки) поточний стан РЧ різців контролюється на спеціальному лабораторному стенді, що оздоблений спеціалізованою СТЗ. За другим варіантом контроль РІ виконується у інструментальному магазині свердлильно-фрезерно-розточувального верстату без переривання процесу обробки.

Пристрої орієнтування РІ відносно цифрової камери СТЗ (чи, при необхідності, орієнтування декількох цифрових камер відносно РІ) дозволяють послідовно (чи одночасно) реєструвати високоякісні зображення передньої поверхні, задніх поверхонь РЧ – тобто проекції відповідно на основну та робочу площини, систему додаткових площин. Розроблено програмні комплекси для формування 3D-зображень РЧ та ін.

Для визначення параметрів поточних станів ФУРК різців при кожному контролі РІ обов'язково виконується реєстрація цифрових зображень передньої поверхні РЧ у при вершинній зоні. Після їх обробки виділяють контури різальних кромки та найважливішої їх частини – ФУРК, формують відповідні масиви даних. Цю інформацію накопичують у відповідних довідниках спеціалізованої БД. Вона є основою для визначення параметрів формують формують ділянки різальних кромки поточного стану РІ.

Відповідно до [2], в сучасних системах ЧПК задають наступні шість параметрів корекції інструменту (рис. 1.в): 1. LX – зсув інструмента вздовж осі X (визначається відносно базової точки F); 2. LZ – зсув інструмента вздовж осі Z; 3. DX – знос в напрямку осі X (діаметр); 4. DZ – знос в напрямку осі Z; 5. Rt – радіус ріжучої кромки; 6. A – положення вершини Р інструменту у площині (визначається кодовими цифрами від 1 до 9 в залежності від напрямку). Цілком очевидно, що принаймні три параметри із зазначеного вище набору – DX, DZ і Rt – потребують постійного контролю. Схема процесів реєстрації просторового положення РК і вершини РЧ, контролю формозмін ФУРК і розмірного зносу різця (на основі обробки цифрових зображень РЧ) представлена на рис. 2.

Під час контролю РЧ у вихідному (L_3^0 , час експлуатації $T=0$) і поточному (L_3^T , час експлуатації $T=\dot{T}$) станах формують світлові потоки $Q^{L_3^0}$ і $Q^{L_3^T}$, які сприймаються матрицями цифрових камер СТЗ. Виділяють відповідні проекції РК на основну площину. Після їх суміщення нескладно

Подальший аналіз проєкції РК на основну площину дозволяє виконувати визначення площі шару матеріалу, що зрізається, поточних параметрів геометрії РК "в плані" (рис. 4, 5), та ін.

Отримані дані використовують для формування поточної комбінованої моделі РЧ. Вони зберігаються та накопичуються у спеціальній базі даних (БД), що забезпечує формування комбінованої динамічної моделі (ДМ [3]) різальної частини конкретного РІ. Обробка наборів ДМ РЧ РІ з використанням програмних комплексів, частковий опис яких виконано в [3, 4], дозволяє отримувати вирішальні правила для автоматичного розпізнавання класів поточних станів інструментів та їх прогнозування.

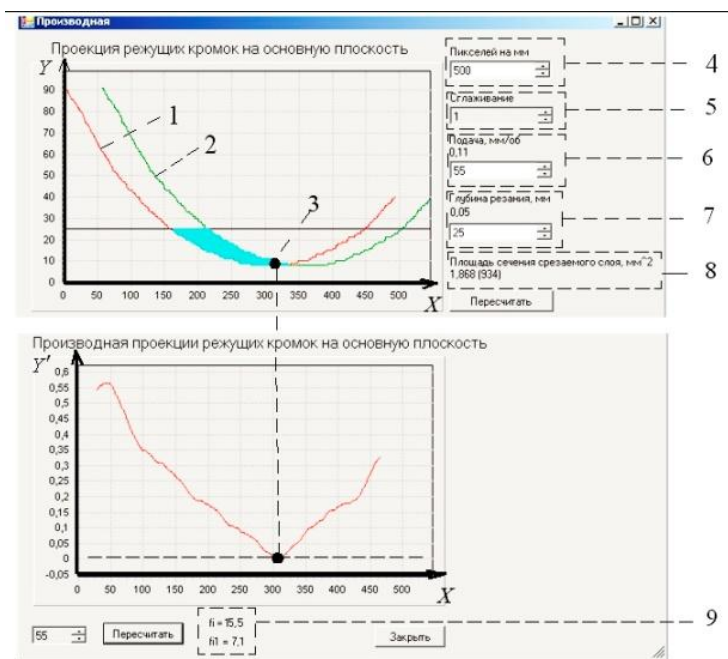


Рисунок 4 – Робоча панель визначення поточних параметрів перетину шару, що зрізає РІ, і геометрії різця "в плані"

1, 2 – два сусідніх положення РК; 3 – вершина РЧ;

4, 5 – параметри згладжування профілів РК; 6, 7 – відповідно глибина різання і подача;

8 – площа перерізу шару, який зрізається;

9 - значення головного та допоміжного кутів у плані

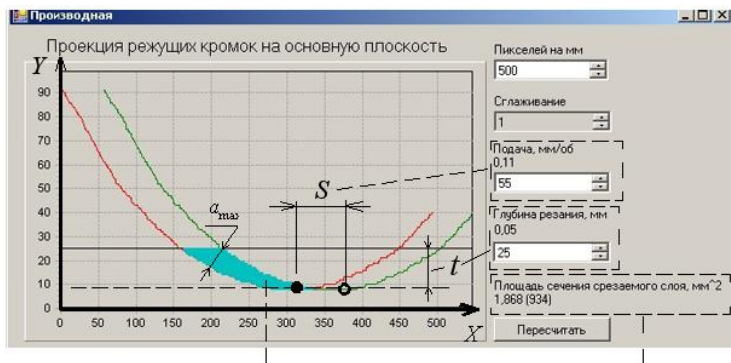


Рисунок 5 – Приклад автоматичного визначення площі перерізу шару матеріалу, який зрізається

Поточні моделі РЧ (зокрема – $M_{L_2}^0, M_{A_2}^{T_1}$ та інші) дозволяють виконувати ряд поточних корекцій для підтримки заданої якості обробки. На рис. 6, 7 наведені схеми оцінки набору параметрів поточного стану ФУРК різця та формування відповідних сигналів корекції для СЧПУ верстата.



Рисунок 6 – Схематичне подання процесів оцінки поточних параметрів формуютьрочної ділянки різальної кромки, радіального зносу РІ та формування відповідних параметрів корекції для СЧПУ верстата

На схемах використані такі позначення:

БД ВІДР – бази даних верстатів, інструментів, деталей, режимів різання;

STN – таблиці (довідники груп та моделей) металорізальних верстатів;

RI – таблиці класів та параметрів PI;

RR – таблиці (нормативні довідники) режимів різання;

D – таблиці класів форм та параметрів заготовок, деталей, матеріалів, що оброблюються;

$\Delta V, \Delta S, \Delta t$ – параметри корегування режимів різання;

$\phi_{cp}^{T_i}, \phi_{lcp}^{T_i}, r^{T_i}$ – поточні значення головного, допоміжного кутів ”в плані” та радіуса при вершині PI;

$a_{min}^{T_i}$ – мінімальна товщина шару, що зрізаний;

$a_{cp}^{T_i}$ – середня товщина шару, що зрізаний;

b^{T_i} – ширина шару, що зрізаний;

SS^{T_i} – площа шару, що зрізаний;

$h_p^{T_i}$ – поточне значення радіального зносу PI;

$P_{R_v}^{L_3^0}$ – проекція РК різця у початковому стані на основну площину;

$P_{R_v}^{L_3^0 \& L_3^{T_i}}$ – об’єднані проекції РК.

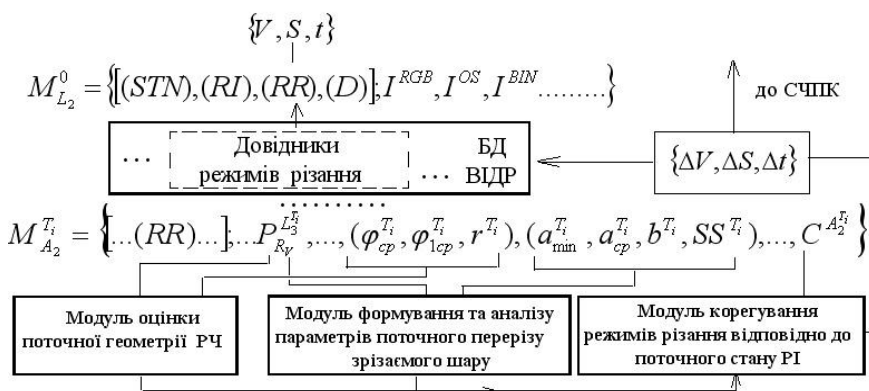


Рисунок 7 – Схематичне подання процесів оцінки поточної геометрії зношеного PI, параметрів поточного перетину шару, що зрізається, і формування корекції режимів різання – для забезпечення можливості подальшого використання інструменту і підвищення його залишкового ресурсу

Висновки.

1. Розроблено підхід до визначення комплексу параметрів поточних станів формуютьуючої ділянки різальних кромки різців. Його засновано на обробці послідовності цифрових зображень привершинної ділянки різальної частини, що реєструються з використанням систем технічного зору в структурі спеціальної діагностичної системи. Створено відповідний програмний комплекс

2. Оперативне отримання цих параметрів забезпечує, на думку авторів, інформаційну платформу для виконання поточних корекцій ряду параметрів процесу обробки, що дозволить підтримувати задану якість деталі на необхідному рівні.

Список використаних джерел: 1. *Марголит Р. Б.* Наладка станков с программным управлением. М.: Машиностроение, 1983. — 253 с. 2. *Гжиров Р.И., Серебренникий П.П.* Программирование обработки на станках с ЧПУ: Справочник. — Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1990. — 588 с. 3. *Деревянченко, А.Г.* Интеллектуальная система диагностирования отказов и прогнозирования ресурса режущих инструментов / *А.Г. Деревянченко, Д.А. Криницын* — Монография. — Одесса: Астропринт. 2012. — 202 с. 4. *Интеллектуальные системы распознавания состояний режущих инструментов / Деревянченко А.Г., Павленко В.Д., Фомин А.А., Павленко С.В., Бовнегра Л.В.* — Монография. — Одесса: Астропринт, 2013. — 300 с.

Bibliography (transliterated): 1. Margolit R. B. Naladka stankov s programmnyim upravleniem. M.: Mashinostroenie, 1983. — 253 s. 2. Gzhirrov R.I., Serebrenickij P.P. Programmirovaniye obrabotki na stankah s ChPU: Spravochnik. — L.: Mashinostroenie. Leningr. otd-nie, 1990. — 588 s. 3. Derevjanchenko, A.G. Intellektual'naja sistema diagnostirovaniya otkazov i prognozirovaniya resursa rezhushhih instrumentov / A.G. Derevjanchenko, D.A. Krinicyyn — Monografija. — Odessa: Astroprint. 2012. — 202 s. 4. Intellektual'nye sistemy raspoznavaniya sostojanij rezhushhih instrumentov / Derevjanchenko A.G., Pavlenko V.D., Fomin A.A., Pavlenko S.V., Bovnegra L.V. — Monografija. — Odessa: Astroprint, 2013. — 300 s.

А.Е. Колесников, канд. техн. наук, С.В. Ткачук,
Т.В. Отрадская, В.Ю. Васильева, Одесса, Украина

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТОМ СОЗДАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СРЕДЫ УНИВЕРСИТЕТА

Проблема непрерывного образования, профессиональной переподготовки является актуальной и ее значение неуклонно растет. В статье рассматривается понятие содержания и использования информационной среды вуза для организации дистанционного обучения.

Проблема безперервної освіти, професійної перепідготовки є актуальною і її значення неухильно зростає. У статті розглядається поняття змісту і використання інформаційного середовища вузу для організації дистанційного навчання.

The problem of continuing education, professional re-training is relevant and its importance is steadily growing. In the article the concept of content and use of the information environment of the institution for the organization of distance learning.

Введение. Задачи инновационного развития учебных заведений сопряжены с нацеленными на результат проектными подходами трансформации моделей, методов, способов и механизмов организации деятельности по предоставлению образовательных услуг и проведения научных исследований. Под инновациями образовательной составляющей понимается комплекс нововведений в образовательной среде – в содержании, методах, приемах и формах учебной деятельности и воспитания личности, в содержании и формах организации управления образовательной системой, а также в организационной структуре учебных заведений, в средствах обучения и воспитания и в подходах к социальным услугам в образовании, что существенно повышает качество, эффективность и результативность учебно-воспитательного процесса [1-3].

Цель статьи. Разработать основные требования к составу и назначению информационной среды университета для обеспечения современных форм дистанционного обучения.

Актуальность исследования. На основе примеров наилучшей практики, в том числе и лучших университетов мира, необходимо рассматривать учебное заведение, как субъект хозяйствования, с учетом специфики образовательной деятельности [4]. При этом целеполагание должно быть ориентировано на качество продукта, которым являются выпускники системы обучения [5].

Направления инновационного развития определяются известными векторами деятельности вуза:

1. *Образование.* Главная цель работы вуза – это возвращение достойных поколений высококлассных специалистов тех специальностей, которые необходимы для развития промышленного потенциала Украины;

2. *Наука.* Составляющая, без которой невозможно обеспечить современные стандарты образования, и развитие которой позволит учебным заведениям разрешить вызовы сегодняшнего дня и занять достойное место в инновационно-образовательном и научном пространстве Украины.

3. *Профессионализм.* Составляющая, которая обеспечивает достойный уровень образования и научных исследований. Профессионализм необходимо проявлять во всех областях деятельности вуза - в преподавании, в исследовательских работах, в маркетинге, в менеджменте и воспитании студентов.

4. *Усовершенствование.* По определению Дж. Родни Тернера проектно-управляемые организации, как организационно-технические системы, функционирующие в проектно-управляемой среде, должны быть ориентированы на управление изменениями [6].

Поэтому проектно-векторное инновационное развитие университетов, как и иных учебных заведений, должно быть нацелено на применение современных информационных технологий и систем. В первую очередь это относится к совершенствованию моделей, методов, способов и механизмов организации деятельности по предоставлению образовательных услуг по заочной (дистанционной) форме обучения.

Проблема непрерывного образования, профессиональной переориентации актуальна сегодня, как никогда раньше, и ее значимость непрерывно возрастает по мере изменения ситуации в экономике, усиления миграции населения [7]. Отсюда становится очевидной значимость научно обоснованной концепции наполнения и использования единого телекоммуникационного образовательного пространства для разных образовательных систем.

Постановка задачи исследования. Процесс обучения реализуется в сложной слабоструктурированной системе, включающей множество разнородных подсистем, которые образуют сложную «паутину» связей [8]. Разработка адекватного детерминированного формального описания для таких систем, в общем случае, не имеет своего решения, так как практически невозможно установить причинно-следственные связи между результатами, ресурсами и методами организационно-технического взаимодействия. Хотя нельзя отрицать, что существующие практики организации дистанционного обучения позволяют выявить основные тенденции развития систем обучения и оценки качества [16 – 26].

Результаты исследования. Процесс обучения можно анализировать с позиций теории самоорганизации сложных упорядоченных систем, базируясь на свойствах синергетического подхода. Системы обучения можно отнести к классу нелинейных систем, поскольку, например, увеличение управляющего воздействия в виде объема учебного материала, который необходим для изучения, не приводит к однозначному результату в виде улучшения качества. Известно, что к сложно организованным системам невозможно применить «жесткие» способы управления. Необходимо понять, способствуя их собственным тенденциям развития, каким образом вывести системы на рельсы самоорганизации, когда внешние цели сопряжены с потребностями этих систем. Определяющим постулатом синергетического подхода является то, что развитие, которое управляется, принимает форму самоуправления. Кроме того, широкое распространение различного рода учебной информации в электронных формах, с одной стороны, ведет к плюралистическому характеру путей достижения целей обучения, с другой стороны, объективно приводит к хаосу учебной информации. В связи с этим, формирование индивидуальной стратегии обучения, часто приводит к составлению уникального учебного плана для студента, с хаотическим нагромождением обучающих воздействий [7].

Рассмотрим необходимость инновационного решения задач дистанционного обучения, при котором преподаватель и обучаемый не имеют возможности прямого общения [9]. Для студентов заочной формы обучения достаточно проблематичны непосредственное и даже заочное общение с преподавателями [10]. Поэтому для обеспечения непрерывности обучения и качества образования в Одесском национальном политехническом университете (ОНПУ) были созданы учебно-консультационные центры и филиалы в Одесской, Николаевской, Херсонской, Ровенской, Запорожской, Днепропетровской и Житомирской областях Украины, а также в г. Днестровск (рис. 1).

До недавнего времени в этих учебно-консультационных центрах заочное обучение в основном сводилось к обмену печатной корреспонденцией, эпизодическим встречам обучаемых с преподавателями во время установочных, зачетных и экзаменационных сессий.

В других странах для этих целей широко использовались, наряду с печатными средствами возможности телевидения, видеозаписи, а также учебные радиопередачи [11]. Прямые трансляции на урок учебных теле или радиопередач были чрезвычайно затруднены в силу множества факторов. Что же касается использования видео или аудиозаписей этих программ, то они довольно часто использовались в обучении.

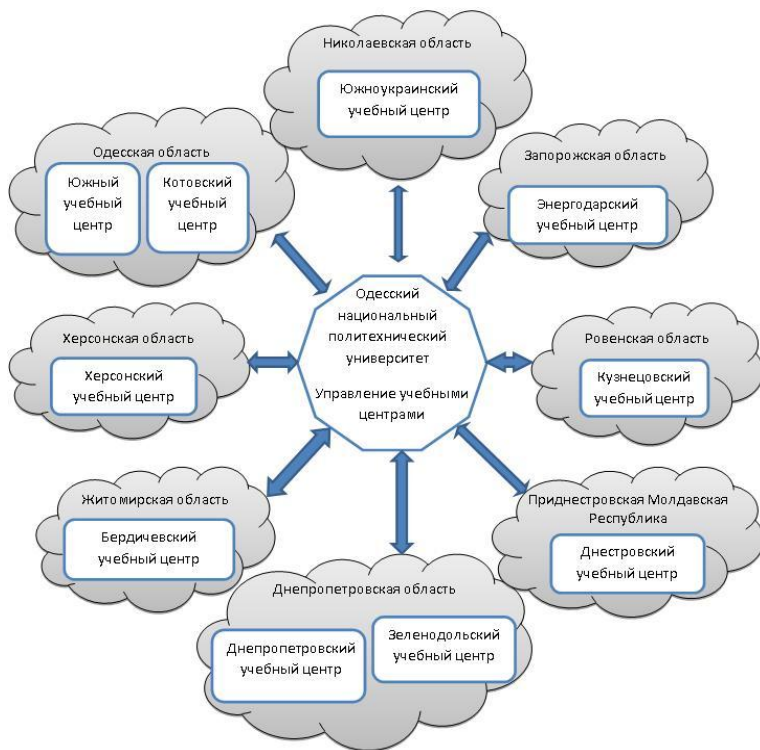


Рисунок 1 - Учебно-консультационные центры ОНПУ

Система обучения является диссипативной, т.е. открытой, потому что, в реальном режиме времени обменивается ресурсами, знаниями и информацией с внешней средой. Различие в формах и степени интеграции содержания различных учебных дисциплин, требует разнообразия в сочетаниях учебных дисциплин при формировании системы компетенций. Если в результате самоорганизации возникает несколько конкурирующих диссипативных структур, то выживает та из них, которая производит энтропию, являющуюся мерой беспорядка, с наименьшей скоростью [12]. Развитие новых упорядоченных структур осуществляется по бифуркационным сценариям, т.е. выбор дальнейшего пути в точках бифуркации определяется не только ее историей, но и отвечает новому порядку самоорганизации [13].

Дистанционное обучение издавна привлекало внимание, как педагогов, так и обучаемых. Такое обучение может принимать различные формы в зависимости от организации и используемых технологий обучения (рис. 2).

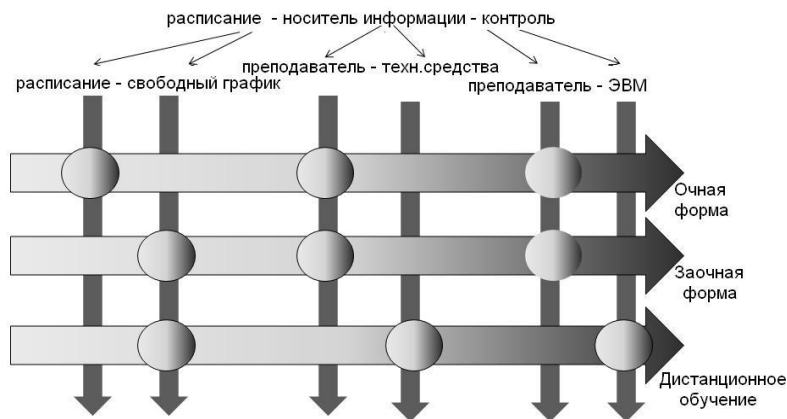


Рисунок 2 - Организационные формы обучения

Как видно, очная форма обучения отвечает «жесткой» привязке к расписанию, а также к преподавателю – как к носителю знаний и, одновременно, субъекту выполняющему контроль качества обучения. При заочной форме график обучения становится свободным – обучаемый самостоятельно планирует свою работу в рамках определенных ограничений по времени (от сессии до сессии). Дистанционное обучение характеризуется такими условиями работы обучаемого: расписание – свободный график, носитель информации – обучающая компьютерная система, контроль осуществляется дистанционно с помощью специальных программ тестирования. В последние годы университеты разных стран обратили внимание на возможности использования компьютерных телекоммуникационных технологий для организации дистанционного обучения. Компьютерные телекоммуникации обеспечивают эффективную как прямую, так и обратную связь, которая предусматривается в организации учебного процесса и общении с преподавателем, ведущим данный курс.

Существуют различные формы организации дистанционного обучения на базе новых информационных технологий. В последние годы все большее распространение получают следующие виды дистанционного обучения, основанного на:

- интерактивном телевидении (two-way TV);
- компьютерных телекоммуникационных сетях (региональных и глобальных, Internet) в режиме обмена текстовыми файлами;

- компьютерных телекоммуникационных сетях с использованием мультимедийной информации, в том числе в интерактивном режиме, а также с использованием компьютерных видеоконференций;
- сочетание интерактивного телевидения и компьютерных телекоммуникационных сетей.

Проблема организации дистанционного обучения многопланова и чрезвычайно сложна. Разумеется, она не исчерпывается обозначенными выше вопросами [14-18]. Отдельная проблема – инфраструктура информационного обеспечения студента:

как, где и каким образом должна располагаться учебная информация?

- какой должна быть структура и композиция самого учебного материала?
- какова оптимальная форма обратной связи при дистанционном обучении?
- если какие-то курсы или их модули будут размещаться на определенных серверах, какими могут быть условия доступа к ним?
- какую учебную информацию целесообразно помещать на страницах Web?

Выводы и направления дальнейших исследований. Уникальные решения, как технического, так и педагогического и экономического плана, должны составить основу информационной среды университета.

Построение концепции дистанционного обучения определяет круг вопросов, которые должны быть решены при управлении образовательными проектами. Эффективность таких проектов зависит от конкретных показателей (индикаторов), которые являются оценкой достигнутого уровня совершенства и характеризуют его интегральную оценку. Поэтому, с учетом различных вариантов организации дистанционного обучения, можно отметить, что в ближайшей перспективе, наиболее актуальной является задача организация информационной среды на базе компьютерных телекоммуникаций с учетом ценностного подхода.

Список использованных источников: 1. Оборський, Г.О. Стандартизація і сертифікація процесів управління якістю освіти у вищому навчальному закладі / Г.О. Оборський, В.Д. Гогунський, О.С. Савельєва // Труды Одесского политехнического ун-та. – 2011. - Вып. 1(35). – С. 251-255. 2. Белоцицкий, А.А. Управление проблемами в методологии проектно-векторного управления образовательными средами / А.А. Белоцицкий // Управління розвитком складних систем.– 2012. - № 9. – С. 104-107. 3. Вайсман, В. Новая методология створення інноваційного розвитку проектно-керованих організацій / В. Вайсман, В. Гогунський // Економіст. – 2011. - № 8 (298). – С. 11-13. 4. Рейтинг лучших университетов мира по версии QS [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://gtmarket.ru/ratings/qs-world-university-rankings/info>. 5. Оборський, Г. О. Нові тенденції і завдання щодо підготовки науковців вищої кваліфікації / Г. О. Оборський, В. Д. Гогунський // Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві. - Вип. 2. - Одеса : АО Бахва, 2013. - С. 15-22. 6. Тернер Дж. Родни. Руководство по проектно-ориентированному управлению / Пер. с англ. под ред. Воропаева В.И. – М. : Изд. Дом Гребенникова, 2007. – 552 с. 7. ISO/DIS 29990:2010. Learning services for non-formal education and training – Basic requirements for service providers. — ISO : ISO/TK 232, 2009. — 15 p. 8. Яковенко, В.Д. Прогнозування стану

системи керування якістю навчального закладу [Текст] / В.Д. Яковенко, В.Д. Гогунський // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2009. – № 2. – С. 50-57. 9. Колесніков, О.Є. Основні аспекти впровадження дистанційної освіти / О.Є. Колесніков, В.Д. Гогунський // Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві. – 2012. – № 1. – С. 34-41. 10. Яковенко В.Д. Комп'ютерна реалізація системи автоматизованого управління навчальним процесом / Яковенко В.Д., Гогунський В.Д., Сафонова Г.Ф. // Моделир. в прикл. науч. исследованиях : XVI семинар. — 2008. — С. 27-30. 11. Полотай, О.І. Напрями вдосконалення управління проектами запровадження дистанційного навчання у вищому навчальному закладі / О.І. Полотай // Управління розвитком складних систем. – 2013. – № 13. – С. 40-44. 12. Bushuyev, S. D. Entropy measurement as a project control tool / S. D. Bushuyev, S. V. Sochnev // International Journal of Project Management. – Elsevier, 1999. – Т. 17. – №. 6. – С. 343-350. 13. Бушуйев, С.Д. Ценностный подход в управлении развитием сложных систем / С.Д. Бушуйев, Д.А. Харитонов // Управління розвитком складних систем. – 2010 – № 1. – С. 10-15. 14. Колесникова Е.В. Оценка компетентности персонала сталеплавильной печи в проекте компьютерного тренажера / Е.В. Колесникова // Вост.-Европ. журнал передовых технологий. – 2013 – № 5/1 (65). – С. 45-48. 15. Вайсман, В.А. Методологические основы управления качеством: факторы, параметры, измерение, оценка / В.А. Вайсман, В.Д. Гогунский, В.М. Тонконогий // Сучасні технології в машинобудуванні: зб. наук. праць. –2012. – Вип. 7. – С. 160-165. 16. Тертышная, Т.И. Автоматизированная система контроля знаний / Т.И. Тертышная, Е.В. Колесникова, В.Д. Гогунский // Тр. Одес. политехн. ун-та. - 2001. - Вип. 1 (13). - С. 125-128. 17. Коджа, Т.И. Определение необходимых и достаточных условий объективности оценки результатов тестирования / Т.И. Коджа, В.Д. Гогунский // Тр. Одес. политехн. ун-та. – 2002. – Спецвып. – С. 87-88. 18. Колесникова, Е.В. Построение автоматизированной системы тренинга персонала дуговой сталеплавильной печи / Е.В. Колесникова, Вайсман В.А., Тонконогий В.М., Лопатов О.С. // Сучасні технології в машинобудуванні : зб. наук. праць. – Вип. 7. – НТУ «ХПІ», 2012. — С. 304-311.

Bibliography (transliterated): 1. Obors'kij, G.O. Standartizacija i sertifikacija procesiv upravlinnja jakistju osviti u vishhomu navchal'nomu zakladi / G.O. Obors'kij, V.D. Goguns'kij, O.S. Savel'eva // Trudy Odesskogo politehnicheskogo un-ta. – 2011. Vyp. 1(35). – S. 251 – 255. 2. Beloshhickij, A.A. Upravlenie problemami v metodologii proektno-vektornogo upravlenija obrazovatel'nymi sredimi / A.A. Beloshhickij // Upravlinnja rozvitkom skladnih sistem. –2012. № 9. – S. 104 – 107. 3. Vajsman, V. Nova metodologija stvorennja innovacijnogo rozvitku proektno-kerovanih organizacij / V. Vajsman, V. Goguns'kij // Ekonomist. – 2011. № 8 (298). – S. 11 – 13. 4. Rejting luchshih universitetov mira po versii QS [Elektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: <http://gtmarket.ru/ratings/qs-world-university-rankings/info>. 5. Obors'kij, G. O. Novi tendencii i zavdannja shhodo pidgotovki naukovicv vishhoi kvalifikacii / G. O. Obors'kij, V. D. Goguns'kij // Informacijni tehnologii v osviti, nauci ta virobniectvi. Vip. 2. Odesa : AO Bahva, 2013. S. 15 – 22. 6. Terner Dzh. Rodni. Rukovodstvo po proektno-orientirovannomu upravleniju / Per. s angl. pod red. Voropaeva V.I. – M. : Izd. Dom Grebennikova, 2007. – 552 s. 7. ISO/DIS 29990:2010. Learning services for non-formal education and training – Basic requirements for service providers. — ISO : ISO/TK 232, 2009. — 15 p. 8. Jakovenko, V.D. Prognozuvannja stanu sistemi keruvannja jakistju navchal'nogo zakladu [Tekst] / V.D. Jakovenko, V.D. Goguns'kij // Sistemni doslidzhennja ta informacijni tehnologii. – 2009. № 2. – S. 50 – 57. 9. Kolesnikov, O.E. Osnovni aspekti vprovadzhennja distancijnoi osviti / O.E. Kolesnikov, V.D. Goguns'kij // Informacijni tehnologii v osviti, nauci ta virobniectvi. – 2012. № 1. – S. 34 – 41. 10. Jakovenko, V.D. Komp'juterna realizacija sistemi avtomatizovanogo upravlinnja navchal'nim procesom / Jakovenko V.D., Goguns'kij V.D., Safonova G.F. // Modelir. v prikl. nauch. issledovanijah : XVI seminar. — 2008. — S. 27 — 30. 11. Polotaj, O.I. Naprjami vdoskonalennja upravlinnja proekтами zaprovadzhennja distancijnogo navchannja u vishhomu navchal'nomu zakladi / O.I. Polotaj // Upravlinnja rozvitkom skladnih sistem. – 2013. № 13. S. 40 – 44. 12. Bushuyev, S. D. Entropy measurement as a project control tool / S. D. Bushuyev, S. V. Sochnev // International Journal of Project Management. – Elsevier, 1999. – Т. 17. – №. 6. – S. 343 – 350. 13. Bushuev, S.D. Cennostnyj podhod v upravlenii razvitiem slozhnyh sistem / S.D. Bushuev, D.A. Haritonov // Upravlinnja rozvitkom skladnih

sistem.– 2010 № 1. – S. 10 – 15. 14. Kolesnikova E.V. Ocenka kompetentnosti personala staleplavil'noj pechi v proekte komp'juternogo trenazhera / E.V. Kolesnikova // Vost.-Evrop. zhurnal peredovyh tehnologij. – 2013 – № 5/1 (65). – S. 45 – 48. 15. Vajsman, V. A. Metodologicheskie osnovy upravlenija kachestvom: faktory, parametry, izmerenie, ocenka / V. A. Vajsman, V. D. Gogunskij, V. M. Tonkonogij // Suchasni tehnologii v mashinobuduvanni: zb. nauk. prac'. –2012. – Vip. 7. S. 160 – 165. 16. Tertyshnaja, T. I. Avtomatizirovannaja sistema kontrolja znanij / T. I. Tertyshnaja, E. V. Kolesnikova, V. D. Gogunskij // Tr. Odes. politehn. un-ta. 2001. Vyp. 1 (13). S. 125 – 128. 17. Kodzha, T. I. Opredelenie neobhodimyh i dostatochnyh uslovij obektivnosti ocenki rezul'tatov testirovanija / T. I. Kodzha, V. D. Gogunskij // Tr. Odes. politehn. un-ta. – 2002. – Specvyp. – S. 87 – 88. 18. Kolesnikova, E.V. Postroenie avtomatizirovannoj sistemy treninga personala dugovoj staleplavil'noj pechi / E.V. Kolesnikova, Vajsman V.A., Tonkonogij V.M., Lopakov O.S. // Suchasni tehnologii v mashinobuduvanni : zb. nauk. prac'. – Vip. 7. – NTU «HPI», 2012. — S. 304 – 311.

УДК 621.9.06-752

М.В. Кучугуров, А.И. Гермашев, С.И. Дядя, канд.техн.наук,
А.В. Пирожок, канд.техн.наук, Запорожье, Украина

ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ВОЗМОЖНОСТЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ПРИВОДАМИ СТАНКОВ НА БАЗЕ СТОЙКИ ЧПУ SIEMENS

В статті описана методика програмування стійки числового програмного керування Sinumerik 840D, яка дозволяє задавати синусоїдальний закон зміни частоти обертання шпинделя у часі. Розглянуті особливості реалізації даного режиму роботи осей верстата, використовуючи закладений функціонал синхронних дій, що дозволяє виконувати корекцію швидкостей та положення осей паралельно основній технологічній програмі обробки.

В статье описана методика программирования стойки числового программного управления Sinumerik 840D, позволяющая задавать синусоидальный закон изменения частоты вращения шпинделя во времени. Рассмотрены особенности реализации данного режима работы осей станка, используя заложенный функционал синхронных действий, позволяющий выполнять корректировку скоростей и положения осей параллельно основной технологической программе обработки.

The programming technique of Sinumerik 840D computer numerical control system that allows applying the sinusoidal spindle speed variation law is described. The features of implementation of this machine axes operation mode, using inbuilt synchronized actions functional that allows executing the correction of axes speeds and locations at the same time with main machining program are reviewed.

Управления скоростью работы приводов металлообрабатывающего оборудования является высокотехнологичным методом воздействия на процесс механической обработки резанием в условиях постоянного изменения частоты вращения шпинделя и движения подачи. Воздействуя на механизм регенерации, обусловленный резанием по следу, возможно подавление автоколебаний, приводящих к ухудшению качества обработанной поверхности детали, снижению стойкости инструмента, ускоренному износу оборудования.

Особенностью реализации метода подавления колебаний в зоне обработки путем резания с переменной скоростью вращения шпинделя является отсутствие в необходимости применения дополнительного оборудования. Современные станки с числовым программным управлением (ЧПУ) позволяют управлять движениями станка, задавая различные математические законы изменения положения осей и скоростей их перемещения во времени. Благодаря наличию жесткой обратной связи система управления контролирует данные величины в режиме реального времени, и в случае их отклонения от заданных значений осуществляет их автоматическую корректировку.

Целесообразность резания с переменной скоростью для подавления автоколебаний была показана еще в 70х годах 20 века. Однако эта задача до сих пор остается не решенной, так как только с созданием современных систем управления появилась возможность ее полноценной реализации. Ранее отсутствие данных механообрабатывающих систем было обусловлено следующими факторами:

1) Недостаточной развитостью технологий автоматизированного и компьютерного управления приводными системами.

2) Особенностью применяемых производственных технологических процессов изготовления в сочетании с эксплуатационными характеристиками станков. Считается, что основной задачей при проектировании металлорежущего оборудования является его эксплуатация в условиях постоянства скоростей движения. С точки зрения надежности, долговечности механических элементов станка и экономичности работы двигателя, данный режим работы наиболее целесообразен. Однако, постоянство скоростей вращения шпинделя и движения подачи не оказывают никакого влияния на снижение уровня автоколебаний при резании. А так как механизм их подавления путем варьирования основных движений станка (вращение шпинделя и продольное движение подачи) находится на этапе экспериментально-лабораторного изучения, сегодня такой режим обработки является нестандартным и не рассматривается в качестве рекомендуемого для практического применения.

Среди всех существующих фирм – производителей систем программного управления металлорежущего оборудования наиболее широкое распространение получила фирма Siemens. Существует целый ряд продукции данного класса – Sinumerik [1]. В зависимости от требуемой функциональности для каждого технологического процесса применяется соответствующая модель стойки ЧПУ. Среди всего многообразия данных систем наиболее популярной является серия Sinumerik 840D. Имея широкие вычислительные возможности, позволяющие одновременно управлять большим числом осей, а также наличие в открытом доступе технической документации по устройству и принципам ее работы и управления, делает ее применение простым и оправданным. Рассмотрение программы работы стоек ЧПУ фирмы Siemens будет дано для серии Sinumerik 840D.

В ходе исследований было проанализировано большое количество работ по изучению возможности подавления автоколебаний путем варьирования частотой вращения шпинделя. Установлено, что в современной литературе полностью отсутствует описание методик программирования станков с целью реализации требуемого режима работы. В статье [2] автор только обозначил возможность использования механизма синхронных действий, позволяющего задавать математический закон изменения частоты вращения шпинделя.

Целью данной статьи является описание методики программирования стойки ЧПУ, позволяющей реализовать работу привода главного движения станка в режиме управляемого варьирования частотой вращения шпинделя.

Способ, позволяющий осуществлять работу привода в заданном режиме, основан на использовании синхронных действий [3]. Данный программный функционал позволяет выполнять корректировку и изменение фактических параметров движения осей параллельно основной программе технологической обработки детали. С точки зрения синтаксиса программирования каждое синхронное действие является отдельным кадром технологической программы обработки. Перед запуском последней на исполнение, система ЧПУ предварительно просматривает ее с целью:

- проверки всего кода на наличие ошибок;
- выделение кадров, отвечающих за синхронные действия с дальнейшим их занесением в память ядра системы для последующей отработки.

Таким образом, для задания требуемого режима работы необходимо:

1) В основной технологической программе задать номинальный режим работы (номинальное число оборотов шпинделя, необходимые перемещения суппорта, включение и отключение подачи смазывающе-охлаждающей технологической среды и т.д.).

2) В кадре синхронных действий выполнить пересчет фактических значений скорости вращения шпинделя, величины подачи и задать полученные значения на исполнение системе ЧПУ.

Анализ литературных источников и современных работ по резанию с переменной скоростью вращения показал, что наиболее распространенным является изменение данной величины по синусоидальному закону – так называемая модуляция [4, 5, 6]. Данный режим варьирования является предпочтительным, так как влияние инерционных свойств привода и наличие внешней нагрузки процессом резания не позволяет полноценно реализовать другие математические законы изменения частоты вращения. Основными параметрами модуляции являются:

1) RVA – отношение амплитуды изменения фактической частоты вращения к номинальному значению последней;

2) RVF – отношение частоты модуляции к номинальной частоте вращения шпинделя.

Закон изменения фактической частоты вращения шпинделя имеет вид:

$$n_{\phi} = n_n \cdot (1 + RVA \cdot \sin(2\pi \cdot RVF \cdot 60n_n \cdot t)), \text{ об/мин} \quad (1)$$

где n_n – номинальная частота вращения шпинделя, об/мин;

t – время, с.

Механизм синхронных действий позволяет изменять фактическую частоту вращения шпинделя:

- непосредственной установкой частоты вращения через технологическую команду (например: S = 500);
- установкой процента включения фактической частоты вращения шпинделя через системную переменную \$AA_OVR[c], где c – имя оси шпинделя.

Для удобства программирования гармонический закон изменения частоты вращения (1) можно выразить через изменение процента включения шпинделя в работу:

$$P = 100 + A \cdot \sin(2\pi \cdot F \cdot t), \% \quad (2)$$

где A – амплитуда модуляция, %

F – частота модуляции, Гц

Команда синхронных действий в зависимости от указанных параметров, может выполняться:

- один раз за всю программу при выполнении заданных запрограммированных условий (достижения величины оси требуемого значения, получения сигнала от датчика и т.д.);
- многократное исполнение на протяжении действия всей программы обработки с частотой интерполяционного цикла системы управления (по умолчанию 250 Гц).

Интерполяционный цикл – период времени, за который система управления задает задание на привод, а последний в свою очередь должен выполнить указанные действия (изменить скорость движения осей, их координату и др.).

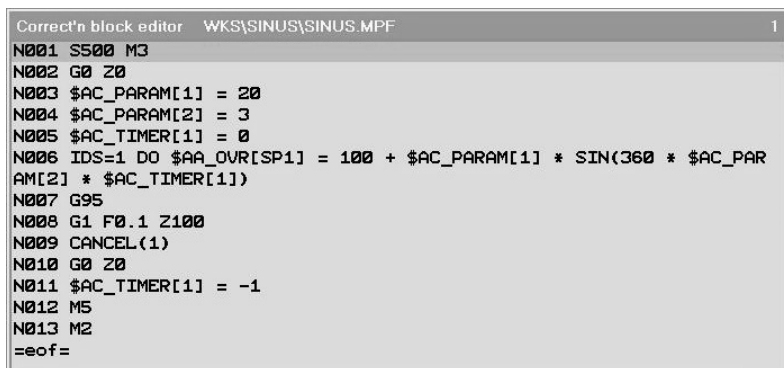
Используя данный механизм можно написать программу, которая будет пересчитывать фактическую частоту вращения шпинделя в зависимости от времени и задавать новое задание на отработку приводу главного движения. Пример данной программы приведен на рис. 1.

Данная программа имеет ряд особенностей, которые необходимо учитывать при ее использовании. Рассмотрим подробно данный алгоритм с пояснением каждого кадра программы. Предположим, мы хотим выполнять модуляцию частоты вращения при следующих параметрах: номинальная частота вращения шпинделя $n_n = 500$ об/мин; амплитуда изменения частоты вращения $A = 20\%$; частота изменения скорости вращения шпинделя $F = 3\text{Hz}$.

Составленная программа (рис. 1) содержит следующие компоненты:

1) N001 S500 M3 – задание номинальной частоты вращения 500 об/мин и включение вращения шпинделя по часовой стрелке.

2) N002 G0 Z0 – ускоренное перемещение суппорта по координате Z в положение 0; необходимо при текущем положении данной оси не равным нулю.



```
Correct'n block editor  WKS\SINUS\SINUS.MPF 1
N001 S500 M3
N002 G0 Z0
N003 $AC_PARAM[1] = 20
N004 $AC_PARAM[2] = 3
N005 $AC_TIMER[1] = 0
N006 IDS=1 DO $AA_OVR[SP1] = 100 + $AC_PARAM[1] * SIN(360 * $AC_PAR
AM[2] * $AC_TIMER[1])
N007 G95
N008 G1 F0.1 Z100
N009 CANCEL(1)
N010 G0 Z0
N011 $AC_TIMER[1] = -1
N012 M5
N013 M2
=eof=
```

Рисунок 1 – Тестовая программа, позволяющая модулировать частотой вращения шпинделя для стойки ЧПУ Sinumerik 840D

3) N003 \$AC_PARAM[1] = 20; N004 \$AC_PARAM[2] = 3 – третий и четвертый кадры программы. Запись \$AC_PARAM обозначает массив переменных дробных чисел (чисел с плавающей точкой). Используется для хранения значений амплитуды A в процентах (\$AC_PARAM[1] = 20) и частоты F в герцах (\$AC_PARAM[2] = 3). Данные переменные представлены для наглядности и удобства программирования. Вместо них можно использовать R – параметры, имеющие такой же тип данных.

4) N005 \$AC_TIMER[1] = 0 – инициализирует и запускает в работу системную переменную – таймер, которая используется для отчета времени в программе обработки. Запись \$AC_TIMER представляет собой массив таймеров в системе. Следует отметить, что по умолчанию таймеры не активны. Без активации последних, при выполнении данной программы система ЧПУ выдает ошибку и дальнейшая работа возможна только после перезагрузки системы управления.

Для активации возможности использования таймеров необходимо изменить следующие машинные данные: MM_NM_NUM_AC_TIMER = 5. Данная переменная имеет целочисленный тип и определяет количество доступных таймеров в системе. После присвоения значения (в данном примере = 5) необходимо применить машинные данные и перезагрузить систему ЧПУ.

5) N006 IDS=1 DO \$AC_OVR[SP1] = 100 + \$AC_PARAM[1] * SIN(360 * \$AC_PARAM[2] * \$AC_TIMER[1]) – шестой кадр программы – задание синхронного действия, выполняющее пересчет и корректировку частоты вращения шпинделя. Данная строка имеет следующий синтаксис:

IDS=1 – идентификатор синхронного действия, используется для указания последовательности их выполнения (в программе может быть

указано несколько синхронных действий), а также управление его работой (включение / отключение / удаление).

DO – кодовое слово, после которого указывается необходимое действие (в данном случае пересчет и установка процента работы частоты вращения шпинделя).

\$AA_OVR[SP1] – системная переменная, в которой пользователь может указать процент включения заданной частоты вращения шпинделя. Индекс SP1 – имя оси шпинделя. Система управления приводом построена таким образом, что при выполнении задания система ЧПУ считывает значение данной переменной каждый интерполяционный цикл. Таким образом, меняя данное значение, в каждом из них, можно управлять поведением указанной оси.

$100 + \$AC_PARAM[1] * \sin(360 * \$AC_PARAM[2] * \$AC_TIMER[1])$ – вычисление текущего значения % включения привода шпинделя по гармоническому закону. Т.к. значение переменной \$AC_TIMER[1] будет изменяться с каждым интерполяционным циклом, программа производит пересчет и присвоение обновленного значения процента включения частоты вращения шпинделя в соответствии с заданным математическим законом.

Следует обратить внимание на то, что в данных системах управления тригонометрические функции в качестве аргумента принимают значения углов в градусах. Поэтому при написании программы в формуле (2) вместо 2π радиан необходимо использовать 360 градусов.

6) N007 G95 – включение режима подачи суппорта в систему единиц мм/об. Данный параметр чрезвычайно важен при механической обработке в режиме модуляции. Т.к. привода шпинделя и подачи на станках с ЧПУ не имеют кинематической связи, обеспечение подачи на оборот детали производится программно. В условиях выполнения модуляции частотой вращения шпинделя использование данной команды приводит к изменению фактической минутной подачи с целью обеспечения постоянства подачи на оборот, что необходимо при проведении исследований. Без учета данного фактора (при резании в режиме постоянной минутной подачи – G94) процесс резания будет осуществляться в условиях одновременной модуляции величин частоты вращения шпинделя и величины подачи на оборот.

7) N008 G1 F0.1 Z100 – задание продольного перемещения суппорта с подачей на оборот $F = 0,1$ мм/об на величину 100 мм по координате Z. Данные значения выбираются из соображений длительности тестирования работы программы в автоматическом режиме, так как они влияют на время движения суппорта и соответственно на время работы программы.

8) N009 CANCEL(1) – деактивация и удаление синхронного действия с индексом IDS=1 (указанным в скобках) из памяти ядра системы после выполнения предыдущей команды.

9) N010 G0 Z0 – задание возвращения суппорта в нулевое положение на ускоренной подаче после выполнения тестирования.

10) N011 \$AC_TIMER[1] = -1 – остановка таймера, выполняется присвоением значения -1.

11) N012 M5; N013 M2 – выполняется остановка вращения шпинделя и завершение работы технологической программы.

Реальная работа привода в рассматриваемом режиме является нестандартной, влияние инерционных свойств механических частей станка, а также силы резания, могут привести к расхождению заданного числа оборотов шпинделя с их фактическим значением. Для отслеживания того, как привод обрабатывает задание в системе ЧПУ Sinumerik 840D, имеется встроенная функция серво-трейса, позволяющая построить график изменения заданной и фактической частоты вращения во времени и задания, а также сопоставить их (рис. 2).

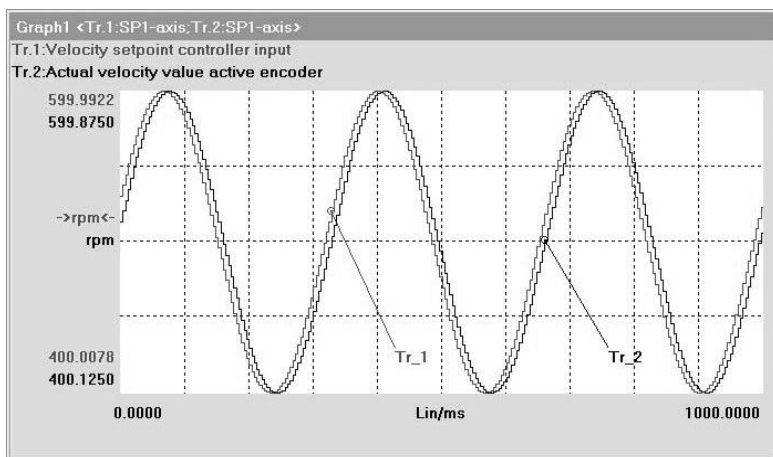


Рисунок 2 – График изменения частоты вращения шпинделя во времени:

Tr_1 – заданное значение;

Tr_2 – фактическое значение

Таким образом, современные станки с ЧПУ имеют возможности реализовать режимы резания с модулированием скоростью главного движения. Эти условия обработки позволяют подавлять автоколебания путем использования гибких средств программирования и диагностики работы приводов главного движения и движения подачи.

Список использованных источников: 1. SINUMERIK & SINAMICS. Системы автоматизации для станков / Каталог NC 61 • 2010. 2. Alberteli P., Musletti S. and etc. Spindle speed variation in turning: technological effectiveness and applicability to real industrial cases / International Journal of Advanced Manufacturing Technology, September 2012, Volume 62, Issue 1-4, pp. 59-67. 3. SIEMENS SINUMERIK 840D sl Synchronized actions – Function Manual. 4. Eman A., Jun N. and etc. Programming spindle speed variation for machining tool chatter suppression / Interational Journal of Machine Tools and Manufacture, September 2003, Volume 43, Issue 12, pp. 1229-1240. 5. Alpay Y., Emad A. and etc. Machine Tool Chatter Suppression by multi-level random spindle speed variation / Journal of Manufacturing Science and Engineering, April 2002, Volume 124(2), pp. 208-216. 6. Andreas O., Günter R. Application of spindle speed variation for chatter suppression in turning / CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 2013, Volume 6, Issue 2, pp. 102-109.

Bibliography (transliterated): 1. SINUMERIK & SINAMICS. Sistemy avtomatizacii dlja stankov / Katalog NC 61 • 2010. 2. Alberteli P., Musletti S. and etc. Spindle speed variation in turning: technological effectiveness and applicability to real industrial cases / International Journal of Advanced Manufacturing Technology, September 2012, Volume 62, Issue 1-4, pp. 59-67. 3. SIEMENS SINUMERIK 840D sl Synchronized actions – Function Manual. 4. Eman A., Jun N. and etc. Programming spindle speed variation for machining tool chatter suppression / Interational Journal of Machine Tools and Manufacture, September 2003, Volume 43, Issue 12, pp. 1229-1240. 5. Alpay Y., Emad A. and etc. Machine Tool Chatter Suppression by multi-level random spindle speed variation / Journal of Manufacturing Science and Engineering, April 2002, Volume 124(2), pp. 208-216. 6. Andreas O., Günter R. Application of spindle speed variation for chatter suppression in turning / CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 2013, Volume 6, Issue 2, pp. 102-109.

Н.Ю. Ламнауер, канд. техн. наук, Харків, Україна

УПРАВЛІННЯ ТОЧНІСТЮ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ОБРОБКИ ТА СКЛАДАННЯ ДЕТАЛЕЙ ЗА ПАРАМЕТРОМ ЛІНІЙНОГО РОЗМІРУ

Запропоновано для управління точністю обробки деталей проводити аналіз якості процесу за формулами: коефіцієнту відносної асиметрії, коефіцієнту точності, коефіцієнту налагодження процесу, що розраховані для загальної чотирьохпараметричної моделі розподілу випадкової величини – лінійного розміру. Для управління точності складання запропоновано алгоритм методу, що забезпечує високу якість виробу за лінійним розміром.

Предложено для управления точностью обработки деталей проводить анализ качества процесса по формулам: коэффициента относительной асимметрии, коэффициента точности, коэффициента настроенности процесса, которые рассчитаны для общей четырехпараметрической модели распределения случайной величины – линейного размера. Для управления точностью сборки предложен алгоритм метода, который обеспечивает высокое качество изделия по линейному размеру.

For control of precision machining of parts to analyze the quality of the process propose use formulas: of coefficient of relative asymmetry, coefficient accuracy, coefficient of adjustment of process. These factors calculated for the general four-parameter model distribution of the random variable - linear dimension. For control of the accuracy of the assembly proposed algorithm, that provides high quality products for linear dimensions.

Вступ. Від точності обробки та складання деталей залежить надійність та довговічність будь-якої машини. Одним з показників точності обробки є отриманий лінійний розмір деталі. В процесі виготовлення деталей машини точність її розміру у більшому або меншому ступені залежить від технологічних факторів. Частина з цих факторів є причиною систематичних погрешностей, що носять постійний чи змінний характер. Інша частина факторів є причиною випадкових погрешностей. Однією з умов для управління точністю є можливість аналізу якості та своєчасного впливу на технологічний процес з метою усунення виникаючих відхилень. Важливим інструментом в процесі управління якістю на сучасному підприємстві є статистичні методи управління точністю. Тому, розвиток теоретичного базису для управління точністю обробки та складання, що використовує методи статистики та теорії ймовірності має важливе значення в галузі технології машинобудування.

Аналіз останніх досліджень та літератури. Аналіз робіт вітчизняних та закордонних вчених [1, 2, 3] показав, що питанням управління якістю та точністю в машинобудуванні з використанням статистичних методів приділяється велика увага. Розвиток теоретичних основ в управлінні точністю

обробки знайшло своє відображення в роботах [4, 5], де була запропонована загальна чотирьохпараметрична модель розподілу випадкової величини – лінійного розміру та знайдені оцінки її параметрів.

В роботі [6] було показано, що точність виробу, що складається залежить від точності лінійних розмірів деталей, які входять до нього. А також доведено, що для отримання виробу високої якості необхідно, щоб дисперсія величин абсолютного відхилення розмірів від номінального, що йдуть на складання, була мінімальною.

Метою даної статті є розв’язання задач управління точністю технологічних процесів обробки та складання за параметром лінійного розміру, зі застосуванням ймовірносно-статистичних методів.

Постановка проблеми. В процесі управління точністю обробки необхідно проводити аналіз точності процесу. Для цього необхідно мати статистичні характеристики, що стають індикатором якості. Отримана в [4, 5] ймовірносно-статистична загальна модель розподілу випадкової величини – лінійного розміру та знайдені оцінки її параметрів дозволяють запропонувати показники точності технологічного процесу, а також вирішувати питання, що, пов’язані з управлінням точністю складання деталей машин.

Аналіз точності технологічного процесу обробки, як складова управління якістю за параметром лінійного розміру.

Запропонована загальна модель розподілу та знайдені оцінки її параметрів, дають можливість аналізувати точність процесу обробки за допомогою таких показників, як: коефіцієнти точності та налагодженості. Поле розсіювання розмірів (розмах $c-b$), оцінка якого має вигляд: $\tilde{c}-\tilde{b}$ достатньо просто можливо визначити за допомогою моделі [4]:

$$f(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } x \notin (b, c), \\ \frac{1+k}{c-b} \left[1 - \left(\frac{x-a}{b-a} \right)^{\frac{1}{k}} \right] & \text{при } x \in [b, a], \\ \frac{1+k}{c-b} \left[1 - \left(\frac{x-a}{c-a} \right)^{\frac{1}{k}} \right] & \text{при } x \in (a, c], \end{cases} \quad (1)$$

де a – модальне значення, b – нижня границя, c – верхня границя розміру, k – параметр форми.

Оцінки параметрів b та c визначаються за знайденими k та q з розв’язання системи:

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{x} = \frac{3kb + kbq + b + bq + 3kqc + kc + c + qc}{2(1+q)(2k+1)}, \\ S^2(X) = \frac{(c-b)^2 (k+1)(2k^2q + 7k^2 + 7k^2q^2 + (4k+1)(q+1)^2)}{12(2k+1)^2(1+q)^2(3k+1)} \end{array} \right.$$

Оцінки параметрів k, q знаходяться з розв'язання системи:

$$\left\{ \begin{array}{l} RD1 = 4(2 + 2q^2 + 9k + 9kq^2 + 13k^2 + 13k^2q^2 + 14k^2q + 18kq + 4q)^2 (k + 1) / (3(7k^2 + 2k^2q + 7k^2q^2 + 4k + 4kq^2 + 8kq + 1 + 2q + q^2)(1+q)^2(2 + 3k)^2(1+3k)); \\ RD2 = (2 + 2q^2 + 9k + 9kq^2 + 13k^2 + 13k^2q^2 + 14k^2q + 18kq + 4q)(11k + 2 + 11kq^2 + 2q^2 + 22k^2 + 22k^2q^2 + 13k^3 + 13k^3q^2 + 22kq + 32k^2q + 14k^3q + 4q) / (3(7k^2 + 2k^2q + 7k^2q^2 + 4k + 4kq^2 + 8kq + 1 + 2q + q^2)(1+q)^2(2+3k)^2(1+3k)), \end{array} \right.$$

де $RD1 = (\tilde{\mu}_{2,2} - \tilde{\mu}_{1,2})^2 / S^2(X)$ та $RD2 = (\bar{x} - \tilde{\mu}_{1,2})^2 / S^2(X)$, при цьому оцінки $\tilde{\mu}_{1,2}, \tilde{\mu}_{2,2}$ – математичні очікування порядкових статистик вибірки

об'єму два беруться з виразів: $\tilde{\mu}_{1,2} = \frac{2}{n(n-1)} \sum_{i=0}^{n-2} (n-1-i)x_{(i+1)}$,

$\tilde{\mu}_{2,2} = \frac{2}{n(n-1)} \sum_{i=0}^{n-2} (1+i)x_{(i+2)}$, а $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ – вибіркове середнє та

$S^2(X) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$ – виправлена вибіркова дисперсія.

Оцінка параметра a визначається за формулою $a = (b + cq) / (1 + q)$.

Для всіх розрахунків створені програми в системі MAPLE.

Оскільки для одномодального не симетричного розподілу, що має, як додатній, так й від'ємний коефіцієнт асиметрії, модальне значення більш віддалене від середнього значення поля розсіювання, ніж математичне очікування, то правильно було б ввести коефіцієнт відносної асиметрії, замінюючи математичне очікування модальним значенням. В цьому випадку для моделі (1) коефіцієнт відносної асиметрії має вигляд:

$$as = (2a - b - c) / (c - b) \quad (2)$$

Якщо x_0 – координата середини поля допуску, δ – половина встановленого поля допуску, то коефіцієнт точності для моделі (1) визначається формулою:

$$\eta = (c - b) / 2\delta \quad (3)$$

Оскільки для одномодального розподілу, σ має як додатний, так й від’ємний коефіцієнт асиметрії, ймовірність появи розмірів в деякому симетричному околу моди більше, ніж в цьому ж околу відносно математичного очікування, то, бажано, в коефіцієнті налагодження процесу $E = [M(X) - x_0] / \delta$ замінити математичне очікування модою. В цьому випадку для моделі (1) коефіцієнт налагодження процесу має вигляд:

$$E = [a - x_0] / \delta. \quad (4)$$

Модель (1) обмежена зліва та справа, тому частка дефектних виробів, що вийшли за межі поля допуску, визначиться в залежності від взаємного розташування поля допуску 2δ і поля розсіювання $c - b$.

Визначимо частку дефектних виробів через коефіцієнти відносної асиметрії (2,) точності (3) та налагодженості процесу (4).

Якщо дефектні вироби відсутні, то $b \geq x_0 - \delta$ і $c \leq x_0 + \delta$. В цьому випадку повинні виконуватися нерівності: $\eta(1 + as) \leq 1 + E$; $\eta(1 - as) \leq 1 - E$, такі ж, як до заміни математичного очікування модою. У випадку, коли тільки поле розсіювання розмірів виходить за ліву межу поля допуску, тобто $x_0 - \delta \geq b$, а $c \leq x_0 + \delta$, частка дефектних виробів має вигляд:

$$p_1 = \frac{as + 1}{2} + \frac{1 + E}{2\eta} \left(k \left(\frac{1 + E}{\eta(1 + as)} \right)^{1/k} - k - 1 \right), \quad (5)$$

де $a \geq x_0 - \delta$.

Ця частка залежить від параметра форми k , як і у випадку, коли тільки поле розсіювання розмірів виходить за праву межу поля допуску, тобто $x_0 + \delta \leq c$ і $b \geq x_0 - \delta$. Тоді частка дефектних виробів для $a \leq x_0 + \delta$ має вигляд:

$$p_2 = -\frac{as - 1}{2} - \frac{1 - E}{2\eta} \left(-k \left(\frac{1 + E}{\eta(as - 1)} \right)^{1/k} + k + 1 \right). \quad (6)$$

Якщо поле розсіювання розмірів виходить за обидві межі поля допуску і має місце нерівність $x_0 - \delta \leq a \leq x_0 + \delta$, то частка дефектних виробів дорівнює $P_1 + P_2$.

Управління точністю складання деталей за параметром лінійного розміру. Проведені теоретичні дослідження розподілів випадкової величини – лінійного розміру в [6] довели, що дисперсія мінімального значення абсолютного відхилення величини розміру від номінального в десятки разів менше дисперсії випадкової величини. – лінійного розміру.

Ці результати, що базувалися на ймовірносно-статистичних методах досліджень, а саме: на вивченні властивостей дисперсії, дозволили запропонувати метод управління точністю складання деталей, що забезпечить високу якість за параметром лінійного розміру. Цей метод складається з наступного алгоритму:

1. Взяти вибірку об'єму m від 5 до 10 деталей, що йдуть на складання.
2. Визначити їхні лінійні розміри.
3. Оцінити моду a , загальної чотирьохпараметричної моделі лінійного розміру.
4. Визначити абсолютні величини z_i ($i=1..m$) від'ємності лінійного розміру x_i деталі від отриманого модального значення: $z_i = |x_i - a|$
5. Отримані значення z_i упорядкувати за величиною від мінімального до максимального.
6. Повторити все, починаючи з першого пункту, для інших складальних деталей.
7. Проводити складання деталей, що мають перше упорядковане значення $z_{(1)}$.
8. Додавати по одному виду деталей, що йдуть на складання, та повторяти все з пункту 2.

Висновки.

1. Запропоновано для управління точністю обробки за параметром лінійного розміру проводити аналіз якості технологічного процесу, визначаючи: коефіцієнт відносної асиметрії, коефіцієнт точності, коефіцієнт налагодження процесу за розрахунковими формулами для загальної моделі розподілу лінійних розмірів..
2. Запропоновано метод управління точністю складання за параметром лінійного розміру, що забезпечує високу якість виробу.

Список використаних джерел: 1. Вакулич Е.А., Годлевский В.Е., Карпилова О.М., Киселев В.Н., Кокотов В.Я., Юнак Г.Л. Статистические методы анализа качества: Учебное пособие. – Самара: НВФ «Сенсоры. Модули, Системы», 1998. – 104 с. 2. Якимов А.В., Новиков Ф.В., Якимов А.А., Новиков Г.В., Решетнев Н.И. Теоретические основы технологии машиностроения: Учебник – Одесса, ОНПУ, 2002. – 491 с. 3. Mohammed A. Rahim, Yasir A. Siddiqui, Moustafa Elshafei

/Integration of Multivariate Statistical Process Control and Engineering Process Control// Proceedings of the 2014 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Bali, Indonesia, January 7-9, 2014 4. Ламнауер Н.Ю. Загальна модель розподілу лінійних розмірів деталей та її застосування для поліпшення якості виробів. Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2013. – №54 (1027). – С.134-143. 5. Ламнауер Н.Ю. Модель распределения размеров изделий и ее применение для оценки точности обработки. Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2012. – №27. – С.98-107. 6. Ламнауер Н.Ю. Метод сборки деталей машин, обеспечивающий точность соединения. Восточно-Европейский журнал передовых технологий – 2014. – 6/7(72). – С.45-49.

Bibliography (transliterated): 1. Vakulich E.A., Godlevskij V.E., Karpilova O.M., Kiselev V.N., Kokotov V.Ja., Junak G.L. Statisticheskie metody analiza kachestva: Uchebnoe posobie. – Samara: NVF «Sensory. Moduli, Sistemy», 1998. – 104 s. 2. Jakimov A.V., Novikov F.V., Jakimov A.A., Novikov G.V., Reshetnev N.I. Teoreticheskie osnovy tehnologii mashinostroenija: Uchebnik – Odessa, ONPU, 2002. – 491 s. 3. Mohammed A. Rahim, Yasir A. Siddiqui, Moustafa Elshafei /Integration of Multivariate Statistical Process Control and Engineering Process Control// Proceedings of the 2014 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Bali, Indonesia, January 7-9, 2014 4. Lamnauer N.Ju. Zagal'na model' rozpodilu linijnih rozmiriv detal'ej ta ii zastosuvannja dlja polipshennja jakosti virobiv. Visnik Nacional'nogo tehničnogo universitetu «Harkivs'kij politehničnij institut». Zbirnik naukovih prac'. Tematičnij vipusk: Matematichne modeljuvannja v tehniči ta tehnologijah. – Harkiv: NTU «HPi». – 2013. – №54 (1027). – S.134-143. 5. Lamnauer N.Ju. Model' raspredelenija razmerov izdelij i ee primenenie dlja ocenki točnosti obrabotki. Visnik Nacional'nogo tehničnogo universitetu «Harkivs'kij politehničnij institut». Zbirnik naukovih prac'. Tematičnij vipusk: Matematichne modeljuvannja v tehniči ta tehnologijah. – Harkiv: NTU «HPi». – 2012. – №27. – S.98-107. 6. Lamnauer N.Ju. Metod sborki detal'ej mashin, obespechivajushhij točnost' soedinenija. Vostočno-Evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij – 2014. – 6/7(72). – S.45-49.

Н.В. Лищенко, канд. техн. наук, Одесса, Україна

ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОФИЛОГРАММЫ ПОВЕРХНОСТИ И ВИБРАЦИЙ ПРИ ЕЁ ОБРАБОТКЕ

Розглянуто особливості вимірювання та аналізу параметрів якості поверхні на основі застосування частотного методу розділення гармонійних складових профілограми на шорсткість поверхні, її хвилястість і відхилення форми профілю. Розроблено методику обробки профілограми, що містить етапи її оцифровки, низькочастотної фільтрації і формуванням профілю шорсткості. Наведено результати експериментального дослідження профілограми фрезерованої поверхні і сигналу вібропереміщення при фрезеруванні.

Рассмотрены особенности измерения и анализа параметров качества поверхности на основе применения частотного метода разделения гармонических составляющих профилограммы на шероховатость поверхности, её волнистость и отклонение формы профиля. Разработана методика обработки профилограммы, содержащая этапы её оцифровки, низкочастотной фильтрации и формированием профиля шероховатости. Приведены результаты экспериментального исследования профилограммы фрезерованной поверхности и сигнала виброперемещения при фрезеровании.

The features of measurement and analysis of surface quality parameters through the application of separation frequency method of profilogram harmonic components on the surface roughness, waviness and the deviation of the profile are reviewed. A method of profilogram processing, comprising the steps of its digitization, low-pass filtering and the formation of the roughness profile is developed. The results of experimental studies of milled surface profilogram and the vibrodisplacement signal in the milling.

Качество обработанной поверхности наряду с требуемым физико-механическим состоянием поверхностного слоя и точностью обработки является важнейшим комплексным показателем, определяющим эксплуатационные свойства деталей машин. Сложность послеоперационного контроля микро – и макрогеометрии поверхности делает актуальной задачу технологической диагностики параметров шероховатости и волнистости обработанной поверхности на основе информационных сигналов, которые можно контролировать при обработке. Источником таких сигналов являются физические явления, сопровождающие процесс лезвийной и абразивной обработки: силовые, температурные и виброакустические. Понимание связи этих явлений с указанными параметрами качества деталей машин позволит прогнозировать это качество не только контролем результата (контроль шероховатости и волнистости), но также контролем процесса обработки (например, контролем виброакустических колебаний). Следует отметить, что многие задачи из этого направления не решены в научном плане, другие

(решенные задачи) часто недоступны по причине коммерческого интереса фирм-разработчиков.

Неровности поверхности деталей машин и приборов, характеризующие качество этой поверхности, оказывают существенное влияние на эксплуатационные характеристики деталей и изделий машиностроения. Методология назначения и оценки качества поверхности используется на различных этапах жизненного цикла изделия: при конструкторской и технологической подготовке производства, собственно производстве и при контроле (тестировании) выпускаемой продукции. Принято считать, что теория неровностей входит в состав более общей теории размерных параметров, так как все размерные параметры деталей влияют совместно на эксплуатационные свойства соединений этих деталей. Например, при трении и износе соединений деталей совместное влияние на КПД и долговечность изделий оказывают зависящие от размеров зазоры, отклонения формы (овальность конусообразность и др.), волнистость и шероховатость поверхности [1].

За последние годы в мире накоплен опыт в использовании связи качества поверхности с функциональным назначением деталей. За счёт оптимального нормирования параметров шероховатости и их технологического обеспечения достигнуто значительное улучшение качества машин и механизмов, что положительно влияет на их эксплуатационные свойства. В то же время отечественные стандарты по шероховатости поверхности давно не пересматривались, допущено отставание их уровня от соответствующих европейских (DIN) и американских (ASME) стандартов. Отечественные конструкторы не имеют сведений о параметрах шероховатости, которые отражают функциональные возможности поверхностей, работающих на контакт, о влиянии волнистости на функциональные свойства поверхности. В литературе недостаточно сведений о единой концепции измерения и анализа неровностей независимо от вида измеряемой микро – или макронеровности (шероховатость, волнистость, контур) [2, 3]. Эта концепция (в зарубежной литературе Perthometer concept) основана на спектральном анализе и преобразовании спектра неровностей независимо от их метрологической классификации при цифровой обработке данных. Концепция реализуется на модульной компьютеризированной станции (computer-controlled station) для измерения и анализа шероховатости, контура и топографии исследуемой поверхности с одновременным документированием результатов анализа в соответствии с официально действующим стандартом (DIN, ASME) или с учётом требований заказчика.

Инструментом разделения неровностей в интервале их изменения «от микро до макро» является фильтрация цифрового сигнала профилограммы, полученного при помощи компьютеризированной аппаратуры. Однако, в технической литературе нет сведений о методике проведения такого

цифрового анализа данных. Как правило, некоторые сведения частично приведены в руководствах к портативным измерительным приборам со встроенными микроконтроллерами (фирма Mitutoyo, Япония), а также к стационарным и лабораторным компьютеризированным станциям типа «Hommel-Etamic T8000» (компания JENOPTIC AG, Германия) и MarSurf LD 120 (компания Mahr GmbH, Германия).

Виброакустические колебания при лезвийной и абразивной обработке представляют собой ещё одно актуальное направление в технологии механической обработки, получившее название технологическая динамика. В этой области частотный подход, представляющий возможности перевода информации из временной формы её представления в частотную форму, используется давно. Это вызвано тем, что виброакустические параметры колебаний (виброускорение, виброскорость, виброперемещение, звуковое давление) по физической своей природе изменяются во времени по мере лезвийной и абразивной обработки в отличие от сигнала неровностей поверхности, который является функцией от одной (обычная одномерная профилограмма) или двух (топография) координат обработанной поверхности.

Имеющиеся сведения по применению частотного подхода к анализу неровностей обработанной поверхности разрознены, основаны на разной терминологии и принятых обозначениях, не связаны с анализом виброакустических колебаний при обработке.

Таким образом, разработка методики измерения и анализа параметров качества обработанной поверхности и виброакустических колебаний при её обработке на основе частотного подхода является актуальной задачей в технологии машиностроения, так как эта методика может быть использована при компьютерной диагностике технологической системы лезвийной и абразивной обработки на станках с ЧПУ.

Необходимо разработать методику цифровой обработки профилограммы поверхности после её фрезерования путём применения частотного подхода к анализу неровностей поверхности и к анализу вибраций при фрезеровании для установления взаимосвязи между полученными спектрограммами профиля поверхности и вибраций при её обработке.

Исследования выполнены на современном оборудовании с ЧПУ (обработка образцов при фрезеровании на обрабатывающем центре мод. 500V/5) и измерительной станции T8000 (измерения параметров качества обработанной поверхности). Станция T8000 – настольного типа, выполнена в виде координатно-измерительной машины с ЧПУ. Содержит моторизованную колонну типа Wavelift для вертикального перемещения поперечной траверсы на 400 мм, поворотную опору привода, привод механизма подачи типа Waveline (на длину 60 или 120 мм), двукоординатный измерительный стол без электропривода, гранитную плиту с T-образным

пазом. Инструментальный стол типа GTR-4, имеет нишу с принтером и систему пассивного подавления вибраций. Имеется два контактных элемента: безопорный щуп для измерения шероховатости (волнистости) поверхности (набор TKU 300/600) и датчик для измерения контура типа Wavecontour [4].

Программное обеспечение – TURBO ROUGHNESS, TURBO WAVE, TURBO CONTOUR и EVOVIS – используется для измерений параметров шероховатости, волнистости, геометрических параметров профиля поверхности и топографии, соответственно, в соответствии со стандартом DIN EN ISO 4287.

Используемые цифровые фильтры позволяют реализовать процедуру разделения длинных и коротких волн, содержащихся в профиле шероховатой поверхности (рис. 1). Для разграничения видов неровностей фильтры следующие: RC дискретно вычисляемый (мм) по DIN 4768; Гаусса (M1) цифровой фильтр (мм) по DIN EN ISO 11562, часть 1, (50% Гаусса); двойной Гаусса (M2) для определения относительной опорной длины и R_k - параметров по DIN EN ISO 13565-1.

Предельная длина волн (отсечка шага) для всех фильтров (RC, Гаусса M1 и M2) составляет: 0,025; 0,08; 0,25; 0,8; 2,5; 8 мм. Предельная длина ультракоротких волн λ_s выбирается по ступеням отношения λ_s / λ_s : 30; 100; 300. Базовая длина (sampling length) для шероховатости l_r (или отсечка шага λ_c): 0,08; 0,25; 0,8; 2,5; 8 мм. Скорость трассирования: 0,05; 0,15; 0,5 мм/с.

Длина трассирования (traversing length) l_t : 0,48; 1,5; 4,8; 15; 48 мм или переменная от 0,1 до 200 мм (рис. 1). Длина оценки l_n (evaluation length): 0,40; 1,25; 4,0; 12,5; 40 мм или переменная отсечка предельной длины волн. Радиус кривизны щупа в режиме измерения шероховатости (волнистости) составляет 2 или 5 мкм, а в режиме измерения профиля: 22; 250; 500; 1000; 2000; 3000 мкм.

Алгоритм обработки данных для оценки шероховатости и волнистости содержит два этапа: получение оцифрованного первичного профиля (primary profile), подвергаемого фильтрации, и оценка параметров волнистости и шероховатости в зависимости от цели анализа (рис. 1).

Разработана следующая методика измерения и анализа сигнала первичной профилограммы обработанной поверхности.

1. Оцифровка графика профилограммы (рис. 1, а), например, путём выделения дискретного цифрового кода из компьютерного формата «.bmp». Формирование цифрового кода первичного профиля, например, в форматах «Текстовый документ» или Excel.

2. Формирование и анализ сигнала волнистости (рис. 1, б), например, путём построения скользящего среднего с переменными весовыми коэффициентами, определяемыми по закону Гаусса.

3. Вычитание из цифрового образа первичного профиля ординат (для каждого дискретного значения абсциссы) сигнала волнистости (рис.1,б) для получения цифрового сигнала шероховатости.

4. Анализ сигнала шероховатости на предмет определения его параметров, например, R_a , R_z и R_{max} .

5. Частотный анализ первичного профиля (профилограммы) путём применения быстрого преобразования Фурье.

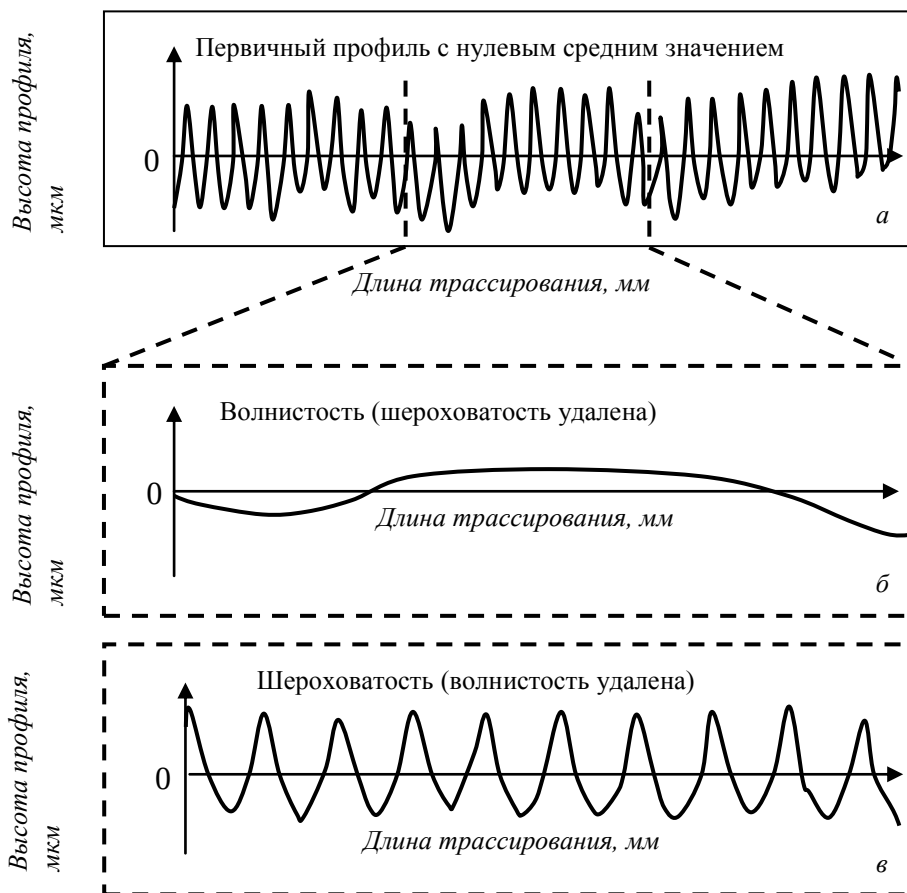


Рисунок 1 – Фильтрация сигнала первичного профиля (а) с выделением сигнала волнистости (б) и шероховатости (в) (не содержит формы и отклонения формы)

Определенную сложность в применении частотного подхода представляет переход из «временной» области в частотную. Дело в том, что сигнал, характеризующий профилограмму, не относится к временному ряду данных $x(t)$ в отличие от, например, сигнала, характеризующего параметры вибраций. Поэтому этот сигнал (профилограмму) представляют последовательностью чисел x_n или $x(n)$, которые по мере дискретного изменения n , где n – целое число, представляют собой результаты равноотстоящих измерений (длина или размер одномерного массива чисел). В этом случае сигнал профилограммы представляет собой ряд дискретных чисел, который может быть подвергнут процедуре цифровой фильтрации. В этом случае по определению Р.В. Хемминга цифровым фильтром является преобразование входного ряда x_n в выходной ряд следующего вида [5]

$$y_n = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k x_{n-k} + \sum_{k=1}^{\infty} d_k y_{n-k}, \quad (1)$$

где y_n – выходной (n – й) дискретный сигнал на выходе цифрового фильтра ($n = 1, 2, \dots, n$); c_k и d_k – коэффициенты.

Таким образом, цифровой фильтр представляет собой линейную комбинацию равноотстоящих отсчётов x_{n-k} некоторой (входной) функции $x(t)$, а также вычисленных ранее значений на выходе y_{n-k} . Другими словами, для каждого следующего один за другим n формула (1) сдвигает текущую отсчётную точку вдоль потока входных отсчётов x_{n-k} [5].

На примере формулы (1) можно показать отличие нерекурсивного (без обратной связи) фильтра от рекурсивного (с обратной связью). В первом случае все коэффициенты d_k для всех выходных отсчётов y_{n-k} равны нулю, во втором случае коэффициенты d_k не являются нулевыми. Известно, что оба фильтра приводят к изменению фазы гармонических составляющих, проходящих через фильтр [6]. При выделении волнистости поверхности это приводит к искажению амплитуды и положения формируемой при фильтрации волны. Поэтому в соответствии с принятыми европейскими (DIN) и американскими (ASME) стандартами дополнительным требованием к цифровому фильтру является отсутствие фазового сдвига для всех гармонических составляющих, проходящих через фильтр. Идея фазовой коррекции сигнала при цифровой фильтрации была описана в работе [5] и получила дальнейшее развитие в работе [6], в которой говорится о методе построения «фильтра с нулевой фазой». Отличительной особенностью этого фильтра является невозможность его применения в системах реального времени.

Частотный подход к описанию цифровых фильтров в соответствии с формулой (1) позволяет рассмотреть известные математические операции по аппроксимации и сглаживанию дискретных цифровых рядов чисел, как

обычные процедуры низкочастотной цифровой фильтрации. Кроме того, в работе [5] показано, что известная математическая операция интегрирования последовательности входных отсчётов какой-либо физической величины также является процедурой низкочастотной цифровой фильтрации. Это в полной мере относится, например, к операции интегрирования входного сигнала виброускорения (вход низкочастотного фильтра – интегратора) при получении выходного сигнала фильтра – интегратора, каким является виброскорость колебаний. Аналогичные рассуждения можно привести к формированию сигнала виброперемещения из сигнала виброскорости.

Сложность построения «фильтра с нулевой фазой» или фазокорректирующего фильтра (phase correcting filter) делает актуальной задачу сглаживания данных профилограммы для выделения профиля волнистости при наименьших искажениях формы и положения получаемой волны. Проведенные поисковые исследования позволили выявить наиболее приемлемый алгоритм сглаживания, имеющийся в приложении Mathcad 14.0: Mathcad Help → Functions → Curve Fitting And Smoothing Functions → Smoothing Data → ksmooth (Gaussian kernel smoothing). Встроенная функция ksmooth (vx, vy, b) создаёт вектор локальных весовых средних элементов в массив vy, используя ядро Гаусса шириной b. При этом, сглаженные элементы из vy формируются в соответствии с выражением

$$vy' = \frac{\sum_{j=1}^n K\left(\frac{vx_i - vx_j}{b}\right) \cdot vy_j}{\sum_{j=1}^n K\left(\frac{vx_i - vx_j}{b}\right)}, \quad (2)$$

где $K(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot (0,37)} \exp\left(-\frac{t^2}{2 \cdot 0,37^2}\right)$; vx – вектор действительных чисел с

элементами в возрастающем порядке (аргумент, т.е. вход фильтра); vy – вектор действительных чисел той же длины, что и vx (аргумент, т.е. вход фильтра); b – ширина полосы сглаживающего окна (аргумент, т.е. вход фильтра).

Из сравнения выражений (1) и (2) следует, что алгоритм сглаживания по формуле (2) аналогичен рекурсивному фильтру (т.е. фильтру с обратной связью), поскольку выходной сигнал этого алгоритма сглаживания является функцией не только входного массива vx, но также ранее полученных выходных сигналов фильтра vy. Ширина полосы b обычно устанавливается равной нескольким расстояниям между точками данных на оси x, в зависимости от желаемой степени сглаживания. При определении волнистости принимаем $b = lr$ (или отсечке шага λc), т.е. ширина полосы b равна базовой длине участка определения шероховатости.

Европейский стандарт DIN ISO 11562:1996 определяет метрологические характеристики фазокорректируемых фильтров для измерения поверхностных профилей. Этот стандарт указывает, в частности, как отделить состав длинных волн от состава коротких волн. В соответствии с этим стандартом весовая функция $S(x)$ фазокорректируемого фильтра соответствует по форме Гауссовой функции плотности вероятности. Ее уравнение при длине волны отсечки шага фильтра, равной λ_c , имеет вид [7]

$$S(x) = \frac{1}{0,4697 \cdot \lambda_c} \exp\left(-\frac{x}{0,4697 \cdot \lambda_c}\right)^2. \quad (3)$$

Как следует из выражения (3) на выходе фильтра низкой частоты будут составляющие с длиной волны $x \leq 0,5 \cdot \lambda_c$, поэтому этот фильтр называют «50% Гауссов фильтр». Этот фильтр низкой частоты пропускает спектральный состав с длинами волн менее, чем 50% от длины волны отсечки шага.

Таким образом, выражения $S(x)$ и $K(t)$ являются аналогичными. Передаточную характеристику фильтра определяют с учётом выражения (1) через весовую функцию (3) посредством Фурье-преобразования (в данной статье не приводится). Коротковолновый набор составляющих профиля (спектр шероховатости поверхности) в соответствии со стандартом находят как разность между профилем поверхности (primary profile) и длинноволновым набором составляющих профиля (выход фазокорректированного фильтра низкой частоты).

Критерии выбора фазокорректированного фильтра следующие [7]:

1. Пространственные (вместо термина «временные») и частотные характеристики имеют одинаковое значение.
2. Фильтрованный профиль, даже в области отсечки шага фильтра профиля, не искажается из-за фазового сдвига. Коротковолновая составляющая профиля после прохождения фильтра подобна коротковолновой составляющей оригинального профиля.
3. Передаточные характеристики коротковолновой и длинноволновой составляющих профиля обладают свойствами коррекции фазы и 50%-ой передачи амплитуды на уровне отсечки шага фильтра.
4. Для цифровых систем фазокорректированный фильтр реализуется с использованием Гауссовой аппроксимации.

Экспериментальная проверка методики обработки данных на основе формулы (2) проводилась при анализе профилограммы поверхности фрезерованных образцов № 2.1 и № 5.1 (рис. 2). Фрезерование выполнено на станке мод. 500V/5 (обрабатывающий центр) с ЧПУ типа Siemens 840 D при следующих режимах обработки: глубина резания 0,5 мм, подача на зуб 0,15 мм, частота вращения фрезы 950 мин⁻¹ (образец № 2.1) и 3800 мин⁻¹ (образец № 5.1). Режущий инструмент: фреза концевая с четырьмя

зубьями из быстрорежущей стали Р6М5 диаметром 18 мм с цилиндрическим хвостовиком под цанговый зажим. Заготовка призматическая из стали марки Ст3 с габаритными размерами 65х50х30 мм [5].

В соответствии с международными стандартами выделяют длину трассирования lt , и длину оценивания ln , причём $lt = ln + l_1 + l_2$, где l_1 и l_2 – интервалы пути увеличения и уменьшения (переходного процесса изменения) скорости движения щупа по исследуемой поверхности (рис. 4, а).

Волнистость выделяют с помощью алгоритма сглаживания, заменяющего фазокорректированный «50% Гауссов фильтр». Для реализации подобного фильтра в программе MathCAD реализована встроенная функция $ksmooth(vx, vy, b)$, ядром которой является весовая функция, описываемая кривой Гаусса (кривая 3 на рис. 2, б). Сущность математической процедуры фильтрации с переменными весами видна на рис.4, б. Например, чтобы получить ординату точки А (рис. 2, б) необходимо произвести перемножение всех ординат кривой 2 на интервале шага отсечки $\lambda c = l_r$ на весовые коэффициенты, определяемые по кривой 3. Затем выполнить расчёт по формуле (2). Количество таких расчётов на базовой длине l_r равно числу дискретных ординат кривой 2 на этой длине. Аналогично получена ордината точки Б (рис. 2, б).

Для последующего сравнительного анализа использован участок профилограммы образца 5.1, полученный при длине трассирования 4,8 мм (рис. 3). Уменьшение длины трассирования от $lt = 15$ мм (рис.2, б) до $lt = 4,8$ мм (рис. 3) вызвано методическими соображениями: время, в течение которого сформирован участок профилограммы при фрезеровании, должно быть близким времени измерения сигнала виброперемещения (рис. 4) при фрезеровании этого же участка образца. В системе сбора данных NI-DAQmx с программным обеспечением NI-LabVIEW указанное время составляет 0,2 с [8]. Это время предопределяет текущий спектр сигналов виброускорения, виброскорости и виброперемещения при переходе от временного интервала к соответствующему частотному интервалу. Таким образом, для обеспечения сопоставимости приведенных данных на рис. 3 и рис. 4 соответствующие зависимости высоты профиля (рис. 3) и величины виброперемещения (рис. 4) от времени фрезерования взяты для одного и того же участка обработанной поверхности. Действительно, преобразование оси абсцисс профилограммы (длиной lt) во временную ось ($\Delta t(lt)$ в секундах) можно выполнить по известной формуле для определения машинного времени фрезерования $\Delta t(lt) = (60 \cdot lt) / (n \cdot S_z \cdot z)$, где n – частота вращения фрезы, мин^{-1} ; S_z – подача на зуб фрезы, мм/зуб ; z – число зубьев фрезы. Следовательно, при $n = 3800 \text{ мин}^{-1}$, $S_z = 0,15 \text{ мм/зуб}$ и $z = 4$ получаем $\Delta t(lt) = 0,1263 \text{ с}$, что сопоставимо с величиной указанного выше временного интервала 0,2 с.

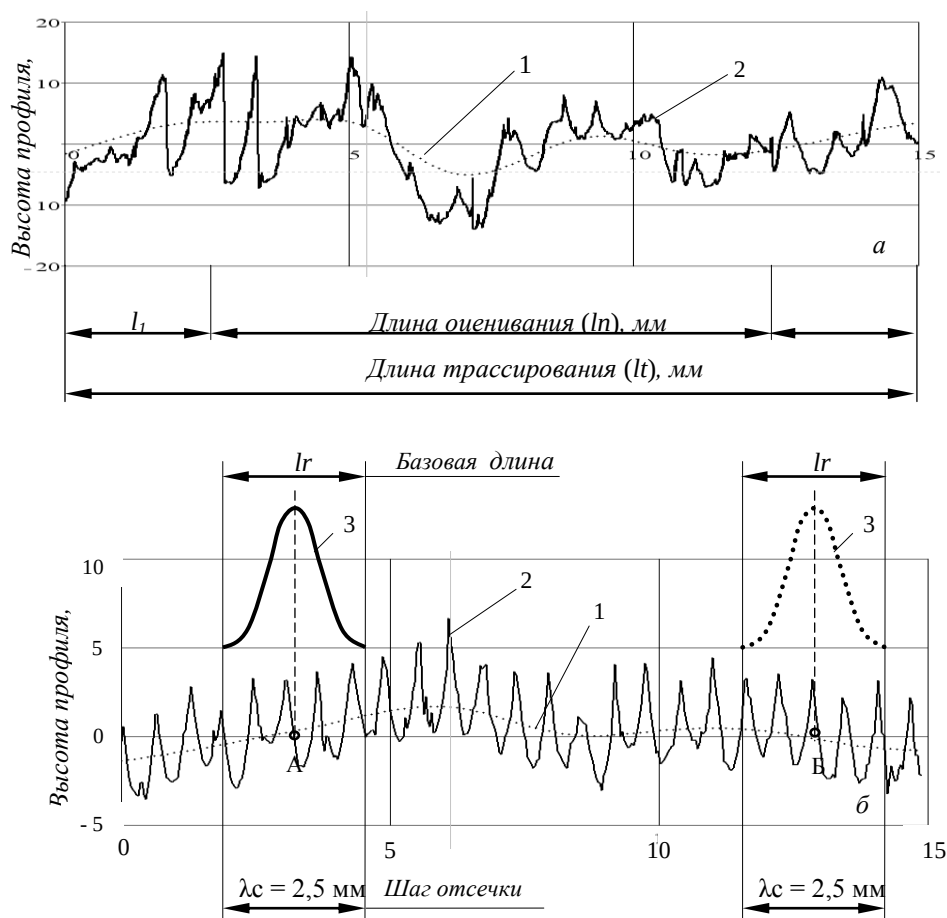


Рисунок 2 – Построение волнограмм поверхности (1)
на основе оцифровки первичной профилограммы (2)
с применением функции сглаживания Гаусса (3)
для образцов № 2.1 (а) и № 5.1 (б)

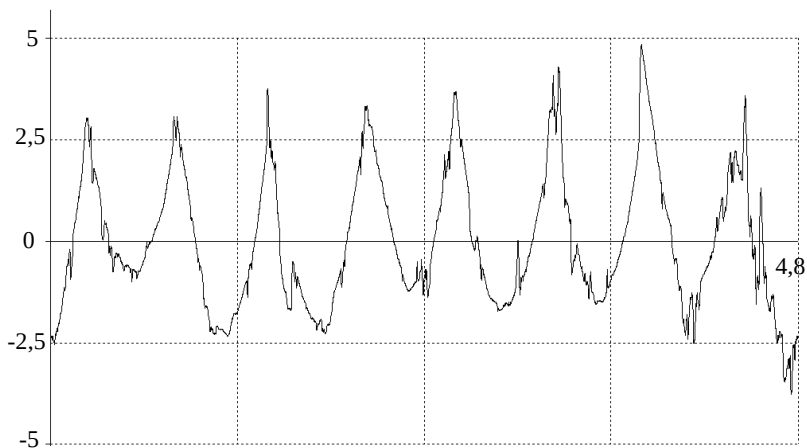


Рисунок 3 – Профиліограма поверхності зразка № 5.1
при $l_t = 4,8$ мм (станція T8000)

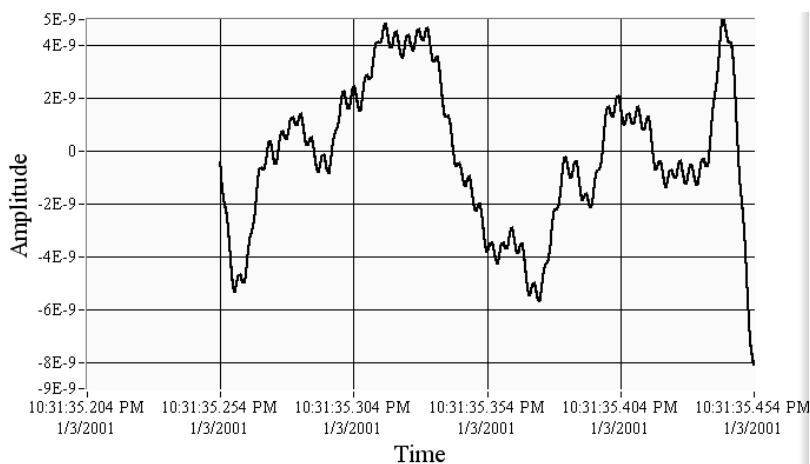


Рисунок 4 – Временной сигнал вібропереміщення
при плоском фрезеруванні зразка №5.1
(вібродатчик AP2019 розположен на заготовке
в напрямленні осі X станка мод. 500V/5)

Для сравнительного анализа профилограммы (рис. 3) и сигнала виброперемещения (рис. 4) необходимо выявить частотный состав этих временных сигналов. Для этого в программной среде NI-LabVIEW выходной сигнал профилограммы после её предварительной оцифровки подают на блок Spectral Measurements системы NI-LabVIEW, который осуществляет процедуру быстрого преобразования Фурье (БПФ).

Полученный после БПФ результат в виде спектрограммы выведен на переднюю панель виртуального прибора системы NI-DAQmx с помощью использования блоков индикации Waveform Graph (рис. 5).

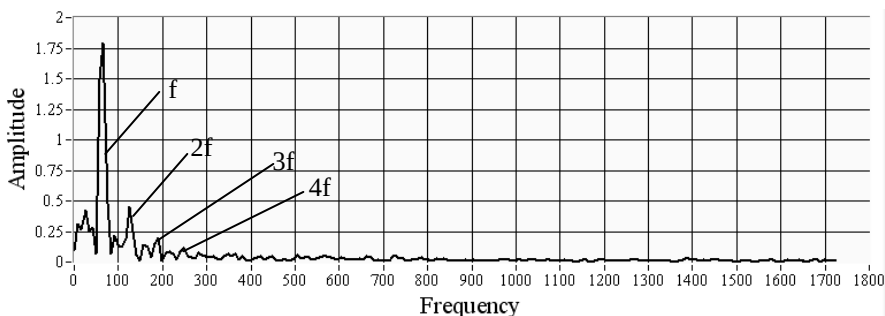


Рисунок 5 – Спектрограмма оцифрованной профилограммы поверхности образца № 5.1

Аналогичным образом, получена спектрограмма временного сигнала виброперемещения (рис. 6).

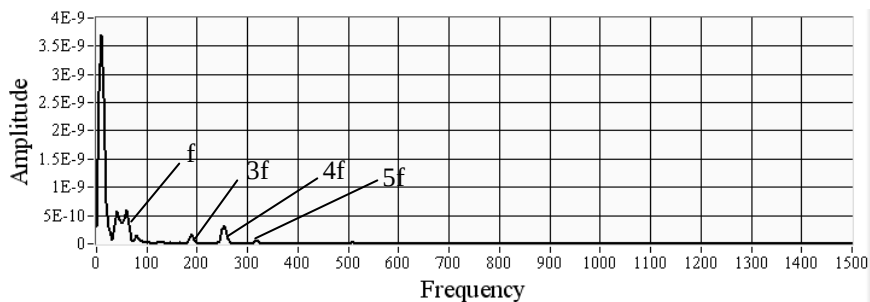


Рисунок 6 – Спектрограмма сигнала виброперемещения при обработке участка образца № 5.1

В среде LabVIEW существует возможность дифференцировать сигнал, изменяющийся во времени или по координате. Операция дифференцирования сигнала профилограммы выполнена средствами программы LabVIEW следующим образом: Functions → Mathematics → Integration & Differentiation → Time Domain Math → Derivative (dX/dt). На рис. 7 приведен спектр скоростной характеристики профилограммы.

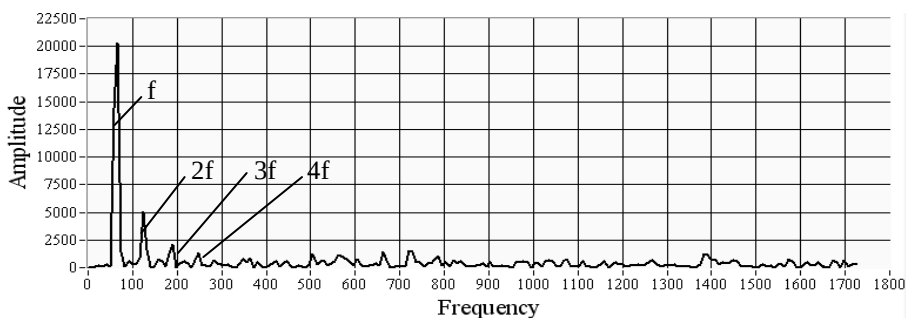


Рисунок 7 – Спектр скоростной характеристики профилограммы

Для получения спектра сигнала виброскорости выполнено математическое интегрирование исходного сигнала виброускорения, который поступает с акселерометра AP2019, установленного в подсистеме заготовки.

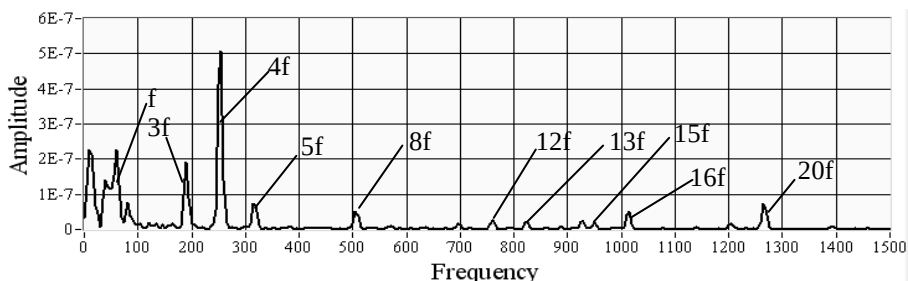


Рисунок 8 – Спектр сигнала виброскорости

Сравнение спектрограмм (рис. 5...рис. 8) позволяет заметить сходство, что можно использовать при разработке системы технологической диагностики для распознавания параметров качества поверхности на основе

анализа вибраций при фрезеровании (виброускорения, виброскорости и виброперемещения).

Выводы

1. Разработана методика оценивания профилограммы обработанной поверхности в соответствии с современными международными стандартами (DIN, ASME), заключающаяся в оцифровке профилограммы и её спектральном анализе, который позволяет разделить параметры шероховатости и волнистости обработанной поверхности.

2. На спектрах по рис.5 и рис.7 самую большую амплитуду имеет гармоника, соответствующая основной частоте вращения шпинделя, для образца № 5.1 данная частота имеет значение $f = 3800/60 = 63$ Гц.

3. На спектре виброскорости (рис.8) самую большую амплитуду имеет гармоника, соответствующая частоте $4f = 63 \cdot 4 = 252$ Гц.

4. На спектрах по рис.5 и рис.7 кроме гармоник с основной частотой вращения шпинделя наблюдаются гармоники на кратных ей частотах: $2f = 63 \cdot 2 = 126$ Гц; $3f = 63 \cdot 3 = 189$ Гц; $4f = 63 \cdot 4 = 252$ Гц.

5. На спектрах по рис.6 и рис.8 кроме гармоник с основной частотой вращения шпинделя имеют место гармоники с кратными ей частотами: $3f = 63 \cdot 3 = 189$ Гц; $4f = 63 \cdot 4 = 252$ Гц; $5f = 63 \cdot 5 = 315$ Гц и другие.

6. Исследования позволили с единых позиций проводить спектральный анализ профилограммы обработанной поверхности и сигнала виброперемещения в упругой системе металлорежущего станка с целью поиска корреляционных связей между динамическими явлениями в зоне резания и их следствием в виде профилограммы обработанной поверхности.

Список использованных источников: 1. Дунин-Барковский И.В. Измерения и анализ шероховатости, волнистости и некруглости поверхности / И.В. Дунин-Барковский, А.Н. Карташова. – М.: Машиностроение, 1978. – 232 с. 2. Табенкин А.Н. Шероховатость, волнистость, профиль. Международный опыт / А.Н. Табенкин, С.Б. Тарасов, С.Н. Степанов. Под ред. канд. техн. наук Н.А. Табачниковой. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. – 136 с. 3. Mahr Perthometer. Surface texture parameters. New Standards DIN EN ISO / ASME [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые данные (311Кб) / http://lab.fs.unilj.si/lat/uploads/metrologija/o_hrapavosti_Mahr_publikacija.pdf. 4. Hommel-Etamic T8000 (компания JENOPTIK) [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые данные (311Кб) / <http://www.metrologi.ru/production/item/1700-hommel-tester-t8000>. 5. Хемминг Р.В. Цифровые фильтры: Пер. с англ./ Под ред. А.М. Трахтмана. – М.: Сов. Радио, 1980. – 224 с. 6. Ричард Лайонс. Цифровая обработка сигналов: Второе издание. Пер. с англ. – М.: ООО «Бином-Пресс», 2009. – 656 с. 7. Приборы контактные (щуповые) для измерения шероховатости поверхности. Метрологические характеристики фазокорректированных фильтров: ГОСТ Р 8.652-2009. – М.: Стандартинформ, 2009. – 6 с. 8. Лищенко Н.В. Влияние вибраций на волнистость обрабатываемой поверхности при фрезеровании / Н.В. Лищенко, В.П. Ларшин // Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві: збірник наукових праць [Текст]. – Вип. 3(8). – О.: Наука і техніка, 2015. – С. 254-260.

Bibliography (transliterated): 1. Dunin-Barkovskiy I.V. Izmereniya i analiz sherokhovatosti, volnistosti i nekruglosti poverkhnosti / I.V. Dunin-Barkovskiy, A.N. Kartashova. – М.:

Mashinostroenie, 1978. – 232 s. **2.** Tabenkin A.N. Sherokhovatost', volnistost', profil'. Mezhdunarodnyy opyt / A.N. Tabenkin, S.B. Tarasov, S.N. Stepanov. Pod red. kand. tekhn. nauk N.A. Tabachnikovoy. – SPb.: Izd-vo Politekhn. un-ta, 2007. – 136 s. **3.** Mahr Perthometer. Surface texture parameters. New Standards DIN EN ISO / ASME [Elektronnyy resurs].– Elektron. tekstovye dannye (311Kb)/ [shhttp://lab.fs.unilj.si/lat/uploads/metrologija/o_hrapavosti_Mahr_publicacija.pdf](http://lab.fs.unilj.si/lat/uploads/metrologija/o_hrapavosti_Mahr_publicacija.pdf). **4.** Hommel-Etamic T8000 (kompaniya JENOPTIK) [Elektronnyy resurs]. – Elektron. tekstovye dannye (311Kb) / <http://www.metrologi.ru/production/item/1700-hommel-tester-t8000>. **5.** Khemming R.V. Tsifrovye fil'try: Per. s angl./ Pod red. A.M. Trakhtmana. – M.: Sov. Radio, 1980. – 224 s. **6.** Richard Layons. Tsifrovaya obrabotka signalov: Vtoroe izdanie. Per. s angl. – M.: OOO «Binom-Press», 2009. – 656 s. **7.** Pribory kontaknye (shchupovye) dlya izmereniya sherokhovatosti poverkhnosti. Metrologicheskie kharakteristiki fazokorrektirovannykh fil'trov: GOST R 8.652-2009. – M.: Standartinform, 2009. – 6 s. **8.** Lishchenko N.V. Vliyanie vibratsiy na volnistost' obrabatyvaemoy poverkhnosti pri frezerovanii / N.V. Lishchenko, V.P. Larshin // Informatsiyni tekhnologii v osviti, nautsi ta virobnitstvi: zbirnik naukovikh prats' [Tekst]. – Vip. 3(8) . – O.: Nauka i tekhnika, 2015. – S. 254-260.

УДК 004.942

С.А. Нестеренко, д-р техн. наук, Д.А. Пурич, канд. техн. наук,
Ан. А. Становский, Д.А. Монова, Одесса, Украина

САПР РЕИНЖИНИРИНГА МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

Експлуатація ремонтпригодних механічних систем призводить до накопичення пошкоджень в них і, як наслідок, до необхідності діагностики їхнього поточного стану і виконання ремонтних робіт. Якщо звичайний ремонт шляхом заміни вузлів і деталей, які вийшли з ладу, на аналогічні неможливий, то виникає проблема проектування деталей і технології реінжинірингу, – ремонту з використанням вузлів і деталей, не передбачених базовим проектом системи. Запропоновано САПР реінжинірингу складних технічних систем «REPRES». Випробування САПР «REPRES» пройшли на автомобільному підприємстві з позитивним техніко-економічним ефектом.

Эксплуатация ремонтпригодных механических систем приводит к накоплению повреждений в них и, как следствие, к необходимости диагностики их текущего состояния и выполнению ремонтных работ. Если «обычный» ремонт путем замены вышедших из строя узлов и деталей на аналогичные невозможен, то возникает проблема проектирования деталей и технологии для реинжиниринга, – ремонта с использованием узлов и деталей, не предусмотренных базовым проектом системы. Предложена САПР реинжиниринга сложных технических систем «REPRES». Испытания САПР «REPRES» прошли на автомобильном предприятии с положительным технико-экономическим эффектом.

The operation of maintainable mechanical systems leads to accumulation of damages to them and, as a result, to need of their current state diagnostics and performance of repair work. If "usual" repair by replacement of the failed knots and details by the similar is impossible, there is a problem of details and technology for reengineering design, – repair with use of the knots and details which aren't provided by the basic project of system. CAD of difficult technical reengineering «REPRES» systems is offered. The tests of SAPR «REPRES» were passed at the automobile enterprise with positive technical and economic effect.

Любые ремонтпригодные системы, которые находятся в эксплуатации, на определенном этапе их жизненного цикла требуют восстановления элементов и соединяющих их связей, утративших работоспособность. Для проектирования работ и оборудования, необходимых для такого восстановления, проектировщик, в свою очередь, нуждается в адекватной оценке текущего состояния объекта, работоспособности всех его узлов и связей между ними.

К сожалению, многие ответственные объекты современного производства, энергетики, транспорта и пр., которые могут быть представлены в виде сложной системы с нагруженным резервированием (ССНР), частично недоступны для их непосредственного мониторинга, а

значит, и для анализа в рамках проектирования, обязательно предшествующего восстановлению.

Примерами таких объектов могут служить недоступный по каким-либо причинам измерительный комплекс системы контроля параметров АЭС, расположенный в опасной радиоактивной зоне, часть гидравлической сети морского очистного комплекса, погруженная в воду, часть здания или сооружения, находящаяся в земле, недоступные части электрооборудования транспортного средства во время его движения и многое другое.

Задача еще больше усложняется, если объект содержит части, недоступные не только для мониторинга, но и для ремонта. В этом случае приходится производить ремонтные работы только на доступной части, стараясь сохранить при этом работоспособность объекта в целом. Если же дополнительным ограничением является необходимость выполнять такой ремонт без остановки, «на ходу», то проблема сводится к автоматизированному комбинированному проектированию технологии (САПР-Т) и оборудования (САПР-К) для реинжиниринга – деятельности по модернизации ранее реализованных технических решений на действующем объекте.

Для реинжиниринга нужны не только готовые запасные узлы, стандартный инструмент и приспособления (ЗИП), но и некоторые новые, раньше не проектированные, детали и узлы объекта. Для создания таких элементов и технологии реинжиниринга необходима новая комбинированная система их проектирования.

С учетом потребности в сокращении сроков простоя ремонтируемого «в движении» объекта для решения таких задач трудно обойтись без соответствующей САПР реинжиниринга, работающей в он-лайн режиме. В основе такой САПР лежит, прежде всего, моделирование и анализ текущего состояния объекта, которые бывают достаточно затрудненными, если по условиям работы последнего он частично недоступен для мониторинга, т.е. состояние, целостность и повреждения его структуры не могут быть определены непосредственно. Обработка же косвенных сигналов представляет собой сложную и нетривиальную задачу в САПР реинжиниринга.

Поэтому проблема разработки предназначенных для комбинированных САПР реинжиниринга частично недоступных для мониторинга и ремонта ССНР методов проектирования, а также поддержки принятия решений в САПР, основанные на моделях, позволяющие извлекать информацию о состоянии объекта при неполных данных о нем, является весьма **актуальной**.

Целью работы является снижение времени, затрачиваемого на отдельных этапах автоматизированного проектирования технологии и оборудования для реинжиниринга ССНР, и повышение эксплуатационной надежности объектов в период эксплуатации после реинжиниринга путем разработки и внедрения автоматизированной системы поддержки принятия решений, основанной на методе дистанционного моделирования и анализа

частично недоступных мониторингу и ремонту сложных систем.

Для достижения этой цели в работе были решены следующие **задачи**:

- предложен метод моделирования и анализа в САПР структуры частично недоступных для мониторинга ССНР с помощью информационных морфологических моделей (ИММ);
- создана комбинированная САПР реинжиниринга частично недоступных для мониторинга ССНР «REPRES»;
- выполнена практическая оценка метода при производственных испытаниях САПР «REPRES» на предприятии автомобильного транспорта с положительным технико-экономическим эффектом.

Методы и модели, предложенные в настоящей работе, позволили разработать и реализовать пакет прикладных программ, объединенных в САПР «REPRES» [1].

Общая схема системы автоматизированного проектирования реинжиниринга сложных технических систем САПР «REPRES» приведена на рис. 1. Она состоит из блоков исходного проекта объекта и технологии его изготовления, моделирования и анализа (блок, созданный в настоящей работе), принятия решения о текущем состоянии скрытой части объекта, блока подготовки данных, а также, собственно, САПР-К и САПР-Т реинжиниринга доступной части объекта [2-4].

В основе САПР – главная идея реинжиниринга систем, содержащих недоступные для простого ремонта части: восстановление работоспособного состояния объекта осуществляется не путем воссоздания его первоначальной, предусмотренной исходным проектом конфигурации, а за счет изменения конструкции (и, естественно, проекта!) доступной части [5, 6, 7, 8].

Между объектом и организацией, в которой размещается отдел САПР реинжиниринга должны существовать устройства телеметрии: линии связи (проводные, беспроводные или гетерогенные), которые сами по себе представляют собой сложную сетевую структуру с частично недоступной (например, примыкающей к отдаленному объекту) частью, и существенно влияющие на результаты работы всех блоков САПР.

Производственные испытания САПР «REPRES» на автомобильном предприятии

В техническом отделе ООО «КрАЗ-Сервис Корпорейшин» (г. Одесса) были проведены испытания разработанной в ОНПУ системы автоматизированного проектирования реинжиниринга сложных технических систем – САПР «REPRES».

В качестве объекта проектирования использовалось электрооборудование автомобиля КрАЗ-65055 (рис. 2). В качестве объекта проектирования использовалось электрооборудование автомобиля КрАЗ-65055. На стенде была смоделирована следующая ситуация.

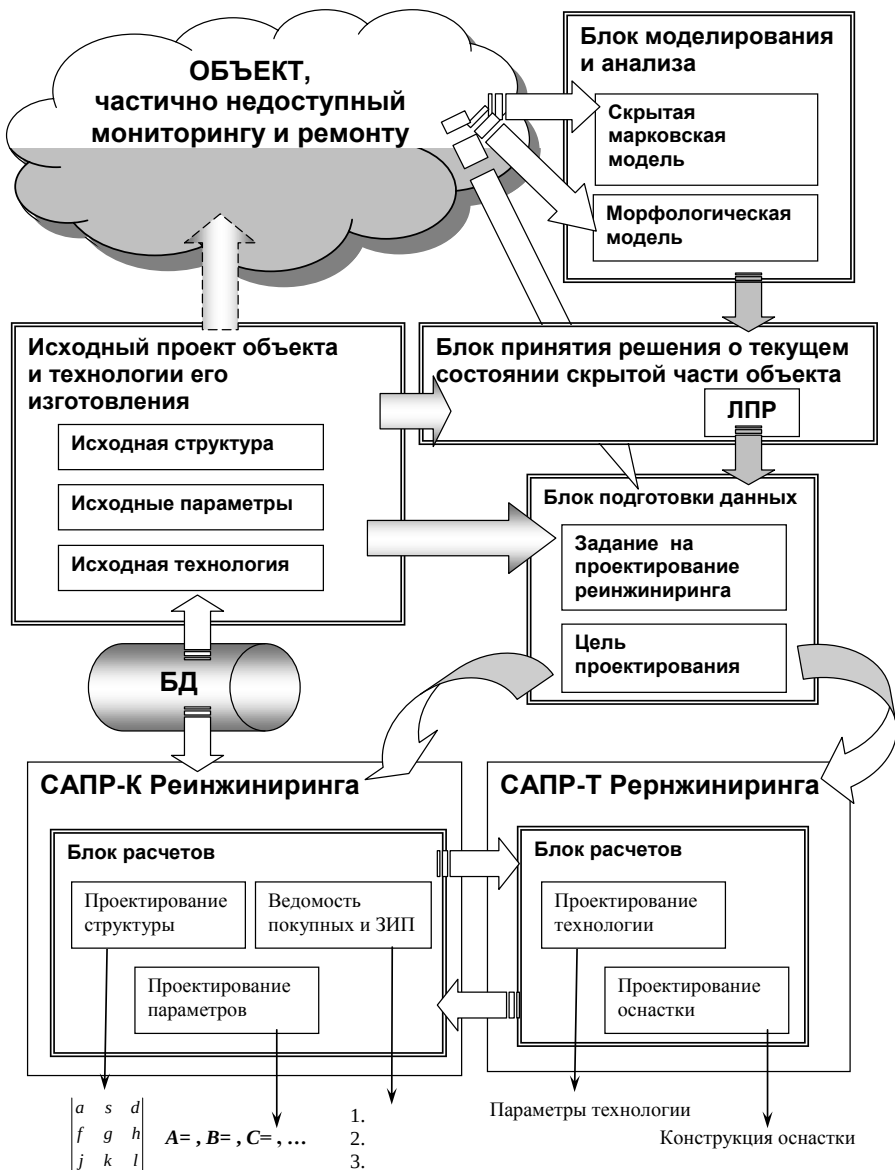


Рисунок 1 – Структура САПР реинжиниринга сложных технических систем «REPRES»

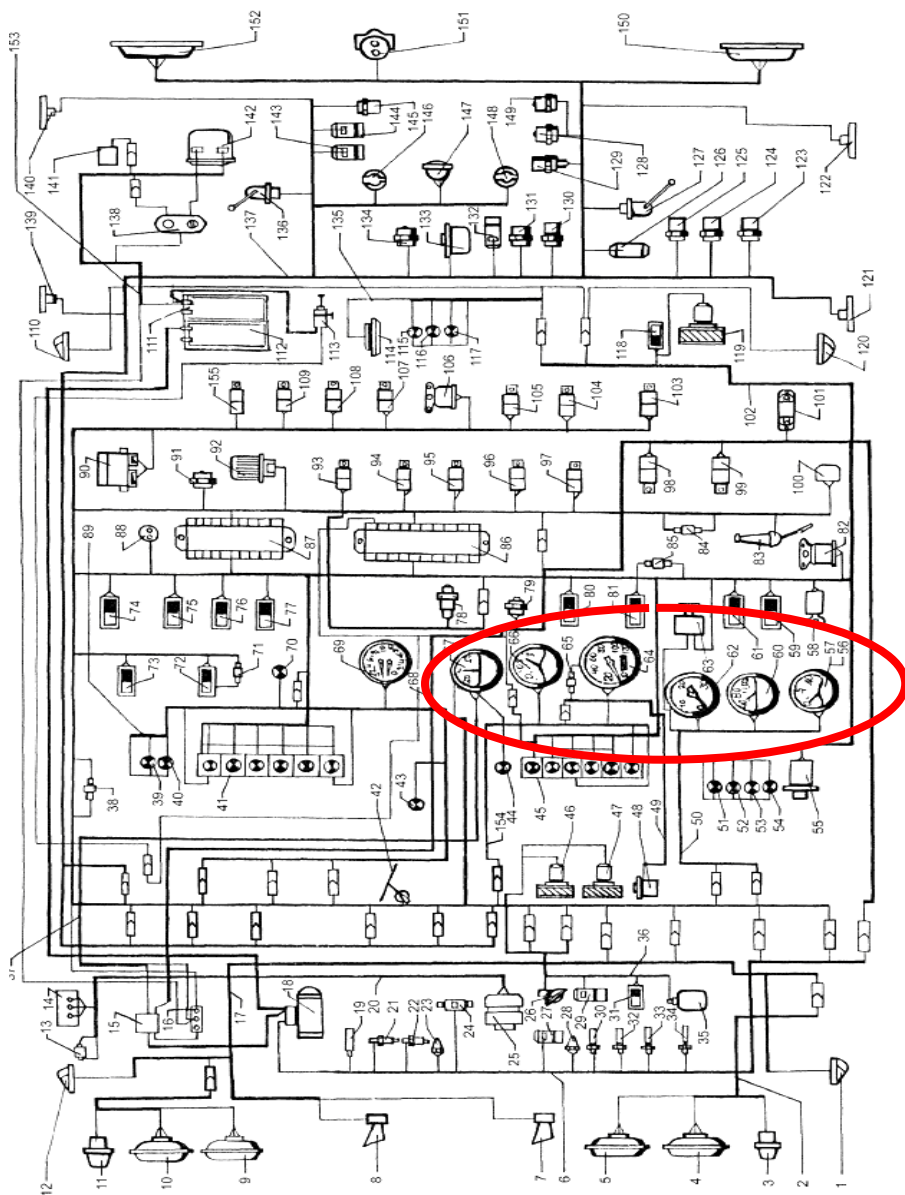


Рисунок 2 – Отказ пяти элементов «Реле электромуфты вентилятора»

Во время движения автомобиля КрАЗ-65055 в сложных погодных условиях (минус 25 °С) и вдали от ближайших населенных пунктов обнаружился перегрев системы охлаждения двигателя. С помощью системы телеметрии бортовой компьютер автомобиля связался с САПР реинжиниринга частично недоступных мониторингу систем, находящуюся у официального дилера в центре «КАМАЗ»).

Результат: выявлен предположительный отказ пяти элементов «Реле электромуфты вентилятора» (рис. 2) и рекомендован реинжиниринг в виде подключения параллельно этим элементам обычных выключателей, устроенных в кабине. Такие выключатели есть в ЗИПе машины и их установка в соответствии с новым проектом реинжиниринга оказалась доступной для экипажа в условиях поездки. После замены дальнейший путь был продолжен без происшествий.

В результате испытания установлено, что использование САПР «REPRES» позволило уменьшить срок проектирования технологии и оснастки для осуществления в эксплуатации реинжиниринга электрооборудования автомобиля КрАЗ-65055 на 28 % и увеличить пробег автомобиля до следующего реинжиниринга на 16 %.

Список использованных источников: 1. *Нестеренко С.А.* Структурная диагностика частично недоступных мониторингу нефтегазовых объектов / *С.А. Нестеренко, Д.А. Пурич, А.А. Становский* / Техніка і прогресивні технології у нафтогазовій інженерії – 2012: мат. міжнар. наук.-прак. конф. – Івано-Франківськ, (5-7 листопада). – 2012. – С. 181-183. 2. *Становский А.Л.* Модель процесса перевозки сыпучих продуктов с памятью / *А.Л. Становский, И.Н. Гурьев, Д.А. Пурич* // Моделирование в прикладных научных исследованиях: сб. матер. XVIII семинара. – Одесса: ОНПУ, (17-18 марта). – 2010. – С. 21-22. 3. *Тонконогий В.М.* Оптимизация параллельной обработки в САПР / *В.М. Тонконогий, А.А. Перпери, Д.А. Пурич* // Автоматизация: проблемы, идеи, решения: матер. междунар. научно-техн. конф. – Севастополь: СевНТУ, (5 – 9 вересня). – 2011. – С. 268-269. 4. *Бибик Т.В.* САПР систем защиты атомных электростанций «КАТАSTOP» / *Т.В. Бирик, Д.А. Пурич, И.Н. Гурьев* // Моделирование в прикладных научных исследованиях: сб. матер. XIX семинара. – Одесса: ОНПУ, (1-2 марта). – 2011. – С. 41-42. 5. *Савельева О.С.* Структурна оптимізація систем дистанційної автоматики / *О. С. Савельева, Д. О. Пурич, А.А. Коряченко* // Информационные технологии и автоматизация – 2009: сб. докладов Всеукр. научно-практ. конф. – Одеса: ОНАПТ, (15-16 октября). – 2009. – С. 82-83. 6. *Савельева О.С.* Автоматизированное проектирование структуры сложных объектов после восстановления / *О.С. Савельева, Д.А. Пурич, А.А. Становский* // Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві: зб. наук. праць. – Одеса: АО Бахва. – 2013 – Вип. 1 (2). – С. 161 – 167. 7. *Пурич Д.А.* Оценка сетевой надежности при структурном проектировании сложных технических систем / *Д.А. Пурич, О.С. Савельева, А.В. Малый* // Моделирование в прикладных научных исследованиях: сб. матер. XVIII семинара. – Одесса: ОНПУ, (17-18 марта). – 2010. – С. 9-12. 8. *Нестеренко С.А.* САПР ремонта и восстановления сетевых структур / *С.А. Нестеренко, Д.А. Пурич, А.А. Становский* // Моделирование в прикладных научных исследованиях: сб. матер. XXI семинара. – Одесса: ОНПУ, (22-23 января). – 2013. – С. 3-5.

Bibliography (transliterated): 1. Nesterenko S.A. Strukturnaja diagnostika chastichno nedostupnyh monitoringu neftegazovyh ob#ektov / *S.A. Nesterenko, D.A. Purich, A.A. Stanovskij* / Tehnika i progresivni tehnologii u naftogazovij inzhenerii – 2012: mat. mizhnar. nauk.-prak. konf. – Ivano-Frankivs'k, (5-7 listopada). – 2012. – S. 181-183. 2. Stanovskij A.L. Model' processa perevozki

sypuchih produktov s pamjat'ju / A.L. Stanovskij, I.N. Gur'ev, D.A. Purich / Modelirovanie v prikladnyh nauchnyh issledovanijah: sb. mater. HVIII seminar. – Odessa: ONPU, (17-18 marta). – 2010. – S. 21-22. 3. Tonkonogij V.M. Optimizacija parallel'noj obrabotki v SAPR / V.M. Tonkonogij, A.A. Perperi, D.A. Purich // Avtomatizacija: problemy, idei, reshenija: mater. mezhdunar. nauchno-tehn. konf. – Sevastopol': SevNTU, (5 – 9 veresnja). – 2011. – S. 268-269. 4. Bibik T.V. SAPR sistem zashhity atomnyh jelektrostantsij «KATASTOP» / T.V. Bibik, D.A. Purich, I.N. Gur'ev // Modelirovanie v prikladnyh nauchnyh issledovanijah: sb. mater. XIX seminar. – Odessa: ONPU, (1-2 marta). – 2011. – S. 41-42. 5. Savel'eva O.S. Strukturna optimizacija sistem distancijnoi avtomatiki / O. S. Savel'eva, D. O. Purich, A.A. Korjachenko // Informacionnye tehnologii i avtomatizacija – 2009: sb. dokladov Vseukr. nauchno-prakt. konf. – Odesa: ONAPT, (15-16 oktjabrja). – 2009. – S. 82-83. 6. Savel'eva O.S. Avtomatizirovanoe proektirovanie struktury slozhnyh ob#ektov posle vosstanovlenija / O.S. Savel'eva, D.A. Purich, A.A. Stanovskij // Informacijni tehnologii v osviti, nauci ta virobnictvi: zb. nauk. prac'. – Odesa: AO Bahva. – 2013 – Vip. 1 (2). – S. 161 – 167. 7. Purich D.A. Ocenka setevoy nadezhnosti pri strukturnom proektirovanii slozhnyh tehniceskikh sistem / D.A. Purich, O.S. Savel'eva, A.V. Malyj // Modelirovanie v prikladnyh nauchnyh issledovanijah: sb. mater. HVIII seminar. – Odessa: ONPU, (17-18 marta). – 2010. – S. 9-12. 8. Nesterenko S.A. SAPR remonta i vosstanovlenija setevykh struktur / S.A. Nesterenko, D.A. Purich, An.A. Stanovskij // Modelirovanie v prikladnyh nauchnyh issledovanijah: sb. mater. HHI seminar. – Odessa: ONPU, (22-23 janvarja). – 2013. – S. 3-5.

УДК 621.9

А.А. Оргиян, д-р техн. наук, Г.П. Кремнев, канд. техн. наук,
В.М. Колесник, Одесса, Украина

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УРОВНЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ И ПРАКТИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ БАКАЛАВРОВ И МАГИСТРОВ

Удосконалення рівня технологічної та практичної підготовки бакалаврів і магістрів. На підставі аналізу навчальних планів та робочих програм курсів технологічного профілю сформовано підхід до підвищення рівня практичної підготовки бакалаврів та магістрів.

Совершенствование уровня технологической и практической подготовки бакалавров и магистров. На основании анализа учебных планов и рабочих программ курсов технологического профиля сформирован подход для повышения уровня практической подготовки бакалавров и магистров.

Improving the level of technological and practical training of bachelors and masters. Based on the analysis of curricula and working programs of technological profile courses formed a campaign to raise the level of practical training of bachelors and masters.

Ранее [1] авторы сформулировали основные направления и принципы повышения уровня практической подготовки по специальности технология машиностроения. Одним, очень важным и ответственным направлением была разработка учебников и учебных пособий по базовым, профилирующим и специальным курсам. Были показаны структуры учебных пособий для проведения лабораторно-практических занятий по курсам ТОМ, ТОТД, ТМ о и ТТП, по мнению авторов, отвечающих требованиям времени и обеспечивающих далее качественную подготовку.

Учебное пособие по курсу «Технологические основы машиностроения» [2] «Технология обработки типовых деталей» [3] уже изданы и доступны студентам, а пособия «Технология машиностроения отраслевая» и «Типовые технологические процессы» находятся в издательствах и готовятся к изданию.

Развитие новых подходов к высшему образованию заложены в новом Законе об образовании, усиление роли СПС в общем объеме работ настоятельно требуются более глубокого и системного анализа той базы, которая уже имеется в ВУЗах и выводов о ее развитии на ближайшие годы. Не вдаваясь в общие вопросы нового Закона, мы видим некоторые реальные шаги по повышению уровня практической подготовки, особенно в условиях, когда производственные практики на предприятиях сократились, до минимума, и эти предприятия перевели те услуги, что еще оказывают

студентам, на сугубо финансовые «рельсы». Эти шаги направлены на развитие собственной учебно-методической базы и проведение занятий на этой базе. Так, на кафедре «Технологии машиностроения» ОНПУ разработаны два учебных пособия по курсу «Технологические основы конструирования» (по лекциям и практическим занятиям).

Ниже приведена их структура.

Технологические основы конструирования (курс лекций)

1. Подготовка производства машин.

1.1. Конструкторская подготовка производства.

1.2. Техническое задание и его анализ.

1.3. Проектные стадии разработки изделия.

1.4. Пути обеспечения качества разрабатываемых изделий.

1.5. Ошибки в разработках и борьба с ними.

1.6. Технологический контроль конструкторской документации.

1.7. Профессиональные способности необходимые для конструирования.

1.8. Этика конструкторского труда.

2. Технологическая подготовка производства машин.

2.1. Служебное назначение машин.

2.2. Основные понятия и положения в области технологичности.

2.3. Порядок обработки конструкции изделия на технологичность с учетом видов изделий и стадий разработки.

2.3.1. Требования к технологичности сборочных единиц.

2.3.2. Требования к технологичности деталей, обрабатываемых резанием.

2.3.2.1. Технологичность конструкции по материалам.

2.3.2.2. Технологичность конструкции исходной заготовки.

2.3.2.3. Технологичность конструкции по форме поверхности.

2.3.2.4. Технологичность конструкции по размерам.

2.3.2.5. Требования к технологичности конструкции детали по шероховатости поверхности.

2.3.2.6. Требования к технологичности конструкции с учетом условий обработки на высокопроизводительном оборудовании.

2.3.2.7. Технологические требования к конструкции типовых деталей.

2.4. Трудоемкость изделия.

2.5. Технологическая себестоимость изделия.

2.6. Энергоемкость изделия.

2.7. Автоматизация работ по технической подготовке производства изделий.

Технологические основы конструирования (практический цикл)

1. Охрана труда и техники безопасности при проведении работ.

2. Основные показатели объекта конструирования.

2.1. Производственный и технологический процессы.

2.2. Технологический анализ чертежа детали.

- 2.3. Отработка конструкции детали на технологичность.
- 2.4. Определение комплексного показателя технологичности детали.
3. Кодирование объектов проектирования и их оценка.
- 3.1. Кодирование объекта конструкторское.
- 3.2. Кодирование объекта технологическое.
- 3.3. Обоснование выбора станка или машины по их долговечности.
- 3.4. Разработка ТЗ на сборочную единицу.

Мы считаем, что их применение повысит уровень конструкторской подготовки, как базы любой специальности механического профиля.

Кроме этого, разработаны два учебных пособия по направлению «Ресурсо- и энерго сберегающие технологии в машиностроении». Структура этих пособий такова.

Ресурсо- и энерго сберегающие технологии в машиностроении (курс лекций)

1. Основные направления экономии ресурсов.
- 1.1. Конструктивные направления снижения расхода материалов.
- 1.1.1. Пути снижения материалоемкости машин.
- 1.1.2. Математическое моделирование и оптимизация.
- 1.1.3. Выбор материалов, обеспечивающих коррозионную стойкость изделия.
- 1.1.4. Металлы со специальными свойствами и их заменители.
- 1.1.5. Материалы для изготовления узлов трения.
- 1.1.6. Выбор и совершенствование профилей металлопроката.
- 1.1.7. Выбор рациональных допусков.
- 1.1.8. Обеспечение технологичности конструкции деталей.
- 1.2. Направления снижения материалоемкости машин на этапе изготовления.
- 1.2.1. Сокращение производственных потерь и отходов.
- 1.2.2. Обеспечение устойчивости и стабильности технологических процессов.
- 1.2.3. Повышение надежности машин при их производстве.
- 1.2.4. Способы производства заготовок.
- 1.2.5. Новые технологии и материалы для восстановления дефектных отливок.
- 1.2.6. Упрочнение химико-термическими и комбинированными способами обработки.
- 1.2.7. Изготовление деталей из спеченных материалов (порошковая металлургия)
- 1.2.8. Изготовление деталей из пластмасс и резины.
- 1.3. Повышение экономии ресурсов на этапе эксплуатации.
- 1.3.1. Влияние способов формообразования деталей на качество их рабочих поверхностей.

1.3.2. Влияние способов формообразования деталей на их эксплуатационные свойства.

1.3.3. Повышение надежности машин при эксплуатации.

1.3.4. Способы повышения долговечности.

1.3.5. Долговечность трущихся пар.

1.3.6. Стабилизация деталей и структур их материалов.

2. Восстановление изношенных деталей и реновация.

2.1. Реинжиниринг систем восстановления изношенных деталей и рециклинг запасных частей.

2.2. Технологии восстановления деталей.

2.3. Повышение износостойкости узлов трения.

2.4. Экономия металлов в инструментальном производстве.

2.5. Ресурсосбережение в производстве и эксплуатации прецизионных твердосплавных инструментов.

3. Экономия технологической энергии и некоторые проблемы в Украине с энергоносителями.

3.1. Энергозатраты на разные технологические процессы и операции.

3. 2. Новые технологии, приводящие к экономии энергии.

4. Нанотехнологии в машиностроении как ресурсосберегающие технологии.

Ресурсо- и энерго сберегающие технологии в машиностроении (лабораторно-практический цикл)

1. Общие вопросы по безопасности труда при проведении занятий.

2. Исследование материалоемкости, производительности и экономичности процессов.

2.1. Исследование производительности и экономичности методов отрезки проката (токарно-отрезные и фрезерно-отрезные).

2.2. Исследование производительности и экономичности методов отрезки проката (токарно-отрезные и абразивно-отрезные).

2.3. Исследование методов литья по деревянным и металлическим моделям.

2.4. Выбор рационального метода литья деталей типа тел вращения с отверстием.

2.5. Исследование влияния выбора метода получения заготовки на материалоемкость и трудоемкость изготовления изделия.

3. Исследование выбора целесообразного решения и энергозатрат в технологических процессах.

3.1. Обоснование целесообразности выбора механизированного приспособления.

3.2. Исследование износа инструментов и приспособлений и расчет их потребности.

3.3. Управление точностью и износом приспособлений.

3.4. Исследование процесса шлифования импрегнированными кругами.

3.5. Исследование энергозатрат при абразивной и лезвийной обработке плоскостей.

3.6. Производительность и экономичность развертывания и АР отверстий.

3.7. Обоснование целесообразности замены внутреннего шлифования на АРС.

3.8. Рациональные методы обработки зубчатого венца шестерен.

Любая технология, как известно, затратна, но, при определенном уровне затрат материалов, труда, энергии и денег мы ее принимаем, внедряем и работаем. В этих пособиях предпринята попытка дать студентам-магистрам инструменты по изменению уже имеющихся технологий с целью снижения расхода материалов, повышения производительности труда, т.е. снижению времени, и уменьшению расхода энергии.

В условиях, скажем так, более сложных отношений с заводами – базами практики и перенесении части практик на кафедры ВУЗов возникает потребность в методических материалах для проведения ознакомительных занятий по методам обработки на универсальных станках, наладке этих станков в условиях серийного производства и оценке вариантов обработки наиболее применяемых деталей общего машиностроения, таких как ступенчатые валы, втулки, крышки, зубчатые колеса.

Для этой цели разработано учебное пособие с методическими указаниями «Методы механической обработки на универсальных станках», содержание которого приведено ниже.

1 Охрана труда и техника безопасности при проведении работ.

2. Общие вопросы.

2.1. Методы достижения точности и шероховатости поверхности при обработке.

2.2. Анализ заводского технологического процесса механической обработки типовой детали.

2.3. Анализ заводской документации на технологическую операцию механической обработки.

2.4. Определение режимов резания.

2.5. Определение нормы времени.

2.6. Исследование операции сверления, зенкерования и развертывания отверстий.

3. Обработка лезвийными инструментами.

3.1. Токарные станки.

3.1.1. Элементы наладки токарного станка.

3.1.2. Определение настроечного размера при токарной обработке партии заготовок.

3.1.3. Настройка ТРС на обработку партии втулок.

3.1.4. Исследование операции токарной обработки наружных цилиндров.

3.1.5. Исследование операций обработки цилиндров на ТКС и ТРС.

- 3.1.6. Исследование операций обработки цилиндров на ТКС и МНТС.
 - 3.1.7. Исследование операций обработки цилиндров на ТРС и МНТС.
 - 3.2. Сверлильные и расточные станки.
 - 3.2.1. Выбор метода обработки точных отверстий типовых деталей.
 - 3.2.2. Настройка вертикально-сверлильного станка.
 - 3.2.3. Настройка ВС на обработку отверстия по кондуктору.
 - 3.2.4. Исследование точности малых отверстий при сверлении.
 - 3.2.5. Алмазное растачивание отверстий (АР).
 - 3.2.6. Расчет режимов и норм времени при алмазном растачивании.
 - 3.2.7. Развертывание отверстий.
 - 3.3. Фрезерные станки.
 - 3.3.1. Выбор метода обработки плоских и торцевых поверхностей типовых деталей.
 - 3.3.2. Исследование операции фрезерования плоскостей.
 - 3.3.3. Настройка фрезерного станка.
 - 3.4. Зубообрабатывающие станки.
 - 3.4.1. Исследование операции изготовления зубьев зубчатых колес.
 - 3.4.2. Настройка зубофрезерного станка для нарезания прямозубых колес.
 - 3.4.3. Настройка зубодолбежного станка для нарезания прямозубых колес.
 - 3.4.4. Настройка зубодолбежного станка на размер.
 - 3.4.5. Зубошевингование зубьев колес.
 - 3.4.6. Выбор метода черновой обработки зубьев эвольвентных зубчатых колес.
 - 3.4.7. Выбор метода чистовой обработки зубьев эвольвентных зубчатых колес.
 - 4. Обработка абразивными инструментами.
 - 4.1. Исследование основных показателей процесса шлифования.
 - 4.2. Исследование процесса шлифования и определение потребности кругов и приспособлений для его функционирования.
 - 4.3. Расчет режимов и нормы времени при внутреннем шлифовании.
 - 4.4. Исследование операции плоского шлифования.
 - 4.5. Исследование операции обработки отверстия хонингованием.
 - 4.6. Зубошлифование зубьев колес.
- Кафедра ведет технологические курсы для немеханических специальностей ВУЗа и для этих студентов разработано пособие авторов Г.П. Кремнева, В.М. Колесника, Ф.В. Новикова «Системы технологий», которое сдано в издательство и, возможно, в конце 2015 года будет издано. Его содержание приведено ниже.
- 1. Охрана-груда и техника безопасности при поведении работ
 - 2. Технологические процессы, технологические системы, современное состояние технологии на уровне предприятия

- 2.1 Производственный и технологический процесс
- 2.2 Определение-типа производства
- 2.3 Исследование систематических погрешностей обработки
- 2.4 Исследование точности операции при распределении значений параметров по закону нормального распределения
- 2.5 Исследование влияния геометрических факторов на шероховатость поверхности при механической обработке
- 2.6 Обоснование выбора станка (или машины) по их долговечности
3. Отраслевые особенности прогрессивных технологий и их технологическая оценка
- 3.1 Технологический анализ чертежа детали
- 3.2 Отработка конструкции детали на технологичность
- 3.3 Методы достижения точности и шероховатости поверхностей при механической обработке
- 3.4 Выбор-метода получения заготовки (прокат)
- 3.5 Исследование влияния выбора метода получения заготовки на материалоемкость и трудоемкость изготовления изделия
- 3.6 Определение режимов резания при сверлении
- 3.7 Определение режимов резания при -механической обработке
- 3.8 Определение нормы времени на операцию фрезерования
- 3.9 Экономический анализ варианта технологического процесса (операции,-метода обработки)
- 3.10 Выбор наиболее экономичного варианта технологического процесса (операции)

Авторы уверены, что данное направление повышения практической подготовки будет продолжено ими и готовы к расширению сотрудничества с другими ВУЗами и авторами.

Список использованных источников: 1. *Оргиян А.А., Кремнев Г.П., Колесник В.М.* Повышение уровня практической подготовки бакалавров и магистров по технологии машиностроения. Сб. «Сучасні технології в машинобудуванні» Зб. наук. праць, вип. 9, Харків, – 2014 с. 288-295. 2. *Кремнев Г.П. Бердичевский Е.Г.,* Технологические основы машиностроения. Уч. пос. НовГУ им. Я. Мудрого, Великий Новгород, 2014. – 216 с. 3. *Кремнев Г.П., Колесник В.М., Новиков Ф.В., Рябенков И.А.* Технология обработки типовых деталей. Уч. пос. – Харьков: Изд-во «С.А.М.», 2014. – 156с.

Bibliography (transliterated): 1. *Orgijan A.A., Kremnev G.P., Kolesnik V.M.* Povyshenie urovnja prakticheskoj podgotovki bakalavrov i magistrov po tehnologii mashinostroenija. Sb. «Suchasni tehnologii v mashinobuduvanni» Zb. nauk. prac', vip. 9, Harkiv, – 2014 s. 288-295. 2. *Kremnev G.P. Berdichevskij E.G.,* Tehnologicheskie osnovy mashinostroenija. Uch. pos. NovGU im. Ja. Mudrogo, Velikij Novgorod, 2014. – 216 s. 3. *Kremnev G.P., Kolesnik V.M., Novikov F.V., Rjabenkov I.A.* Tehnologija obrabotki tipovyh detalej. Uch. pos. – Har'kov: Izd-vo «S.A.M.», 2014. – 156s.

УДК 621.9

А.А.Пермяков, д-р техн. наук, Харьков, Украина

СОВРЕМЕННЫЕ СИЛОВЫЕ АГРЕГАТЫ КАК ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА СОЗДАНИЯ СТАНКОВ И СИСТЕМ АГРЕГАТНО-МОДУЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ

Виконано аналіз номенклатури і техніко-технологічних характеристик силових агрегатів для створення верстатів і систем агрегатно-модульної конструкції.

Выполнен анализ номенклатуры и технико-технологических характеристик силовых агрегатов для создания станков и систем агрегатно-модульной конструкции.

The analysis of the types and technological characteristics of power units for the construction of rotary transfer machines and transfer line machines.

Современные агрегатные технологические системы механической обработки (АТСМ) существенно отличаются от своих предшественников, хотя главные идеи этих станков и систем остались прежними:

- высокие показатели производительности и как следствие низкая технологическая себестоимость обработки деталей;
- высокий уровень автоматизации;
- агрегатно-модульный принцип построения;
- кратчайшие сроки проектирования и изготовления;
- невысокая стоимость оборудования и быстрая его окупаемость.

Главным отличием и преимуществом современных агрегатных технологических систем механической обработки от их предшественников (агрегатных станков) является технологическая гибкость, переналаживаемость и перекомпоновка. Принципиальное отличие состоит в том, что перекомпоновка в отличие от переналадки меняет структуру станка. Проблему повышения гибкости разрешила практически не использовавшаяся ранее идея принципа агрегатирования – обратимость унифицированной элементной базы.

Современные АТСМ применяются в разных отраслях промышленности: общего машиностроения, авиационной промышленности, в производстве различного электрооборудования, медицинской техники, в приборостроении, в оборонной промышленности и др. Поэтому к современным агрегатным технологическим системам предъявляются требования высокой производительности и точности в сочетании с широкой универсальностью и высокой мобильностью (гибкостью), позволяющих производить быстрый переход с изготовления одних деталей на изготовление других, часто в широком диапазоне их разновидностей.

Очевидно, что все эти условия требуют, чтобы технологические системы проектировались с учетом возможности их разной компоновки, конструкции, состава узлов и механизмов с целью получения требуемых заказчиком технических и технологических характеристик этих станков. Желательно также чтобы эти системы имели много единых комплектующих узлов и механизмов и по возможности аналогичных им с одинаковыми конструктивными решениями в виде отдельных модулей, что позволяло бы производить их централизованно как самими станкостроительными фирмами, так и специализированными. Это позволило бы сократить сроки разработки и стоимость разных типов и модификаций АТСМ с максимальным учетом требований заказчика, повысить их точность и надежность, облегчить их эксплуатацию и ремонт.

В прошлые годы сделать это было сложно, так как практически каждая станкостроительная фирма самостоятельно разрабатывала компоновку, а также конструкции разных узлов и механизмов, применяемых в этих системах. Производимые ранее АТСМ имели достаточно сложные и разнообразные кинематические структуры их построения, также по-разному часто индивидуально компоновались кинематические схемы и конструкции приводов подач, поворотных столов, револьверных головок, разнообразных направляющих, других узлов и механизмов.

Конечно, в этих АТСМ уже широко использовались многие покупные детали и узлы общемашиностроительного назначения: электродвигатели, подшипники, муфты общего назначения, элементы гидравлики, пневматики, электрооборудования, ременные, зубчатые, червячные передачи, различные крепежные элементы (болты, винты, гайки, шайбы) и др.

Позднее были разработаны и централизованно выпускались уже специально для АТСМ: регулируемые электродвигатели для силовых узлов, дополнительно новые типы подшипников для опор шпинделей и ходовых винтов приводов подач, различные типы измерительных преобразователей для систем обратной связи, муфты, зажимные устройства и др. В последние годы разработаны новые более совершенные типы приводных электродвигателей и особенно мехатронные узлы (мотор-шпиндель, линейные и встраиваемые поворотные электродвигатели). Были отработаны и предложены унифицированные конструкции типовых направляющих качения, передач ходовой винт-гайка с трением качения, револьверные головки и др. Многие унифицированные узлы и механизмы для АТСМ разрабатывают и изготавливают специализированные фирмы, что позволило начать активно применять модульный принцип построения различных АТСМ.

При всех имеющихся преимуществах данного принципа построения металлорежущих станков он получил широкое распространение только в проектировании и построении АТСМ, и только недавно его начали широко использовать также при построении практически всех групп металлорежущих станков. Агрегатно-модульный принцип разработки и производства

металлорежущих станков, применяемый в настоящее время, основан на использовании унифицированных или нормализованных функционально и конструктивно законченных узлов и механизмов (модулей), выпускаемых либо станкостроительными фирмами (ограничено для своих моделей станков), либо производимых специализированными фирмами, выпускающими достаточно широкий ряд различных узлов и механизмов для различных типоразмеров станков.

При применении агрегатно-модульного принципа конструктор, решая задачу разработки станка, выбирает нужные ему узлы и механизмы из каталогов и проектирует самостоятельно только, по сути, базовые узлы станка (станину, колонну, другие корпусные детали). Это похоже на детскую игру «Лего», когда из отдельных модулей собирается желаемая компоновка металлорежущего станка или системы.

Имея базовые узлы станка, станкостроительная фирма может, используя необходимые готовые покупные узлы и механизмы, изготавливать гамму различных технологических систем, каждый из которых в наибольшей степени приспособлен к требованиям заказчика. В качестве основных положений, характеризующих модульный принцип построения и изготовления АТСМ отмечают следующие [1]:

- ограниченная номенклатура модулей должна обеспечивать множество различных компоновок и конструкций станков путем многообразия типов, сочетаний и положений модулей;
- модульный принцип проектирования станков наиболее полно отвечает требованиям решения конкретной технологической задачи;
- сокращается время и трудоемкость проектирования станков, поскольку используются выполненные ранее разработки;
- увеличивается надежность работы станка за счет отработанности входящих в нее модулей и наибольшего соответствия данной конструкции модулей выполняемой задаче;
- уменьшается разнообразие конструкций модулей и составляющих их элементов, что улучшает условия эксплуатации и ремонтпригодность;
- возможность создания новых высокопроизводительных станков для выполнения наилучшим образом обработки заготовок, а не подгонка процесса под имеющееся станочное оборудование;
- возможность замены устаревших форм и методов проектирования новых конструкций станков и их систем.

На сегодняшний день можно выделить два способа реализации модульного принципа построения АТСМ:

- 1) Каждая станкостроительная фирма самостоятельно разрабатывает ограниченную номенклатуру модулей основных узлов выпускаемого типоразмера станка, используя которые затем разрабатываются конкретные модификации по заказу потребителя;

2) Станкостроительные фирмы проектируют необходимые модификации станков на основе применения широкой номенклатуры различных готовых узлов и механизмов (в виде модулей) разрабатываемых и изготавливаемых специализированными фирмами.

Первый способ модульного принципа построения станков может реализоваться в двух вариантах. При первом варианте модульного построения станкостроительная фирма разрабатывает базовую модель соответствующего оборудования с его полной возможной комплектацией и ограниченным комплектом основных модулей. Например, два или три варианта приводов главного движения, различные варианты силовых головок и инструментальных магазинов разной емкости, наличие и варианты поворотных столов и др. Тогда на основе базовой модели за счет дополнительной установки, снятия, замены или изменения взаимного расположения указанных модулей в зависимости от требований заказчика создаются необходимые модификации данного станка. При втором варианте модульного построения АТСМ (в частности средних и тяжелых) фирма разрабатывает номенклатуру ограниченного ряда модулей всех узлов и механизмов предлагаемого АТСМ, включая и их базовые узлы. Затем по желанию заказчика комплектуется соответствующая модификация станка с использованием имеющихся модулей.

По мере увеличения централизованной разработки и изготовления разнообразных унифицированных и нормализованных узлов и механизмов для различных технологических систем специализированными фирмами более перспективным, на мой взгляд, является второй способ реализации модульного принципа построения указанных технологических систем. В этом случае станкостроительная фирма практически разрабатывает только компоновки предлагаемых АТСМ и конструкции их базовых деталей и узлов (основания, станину, колонну корпуса отдельных узлов). Необходимые комплектующие узлы и механизмы, определяющие их технические и технологические характеристики, фирма покупает на рынке готовых модулей, исходя из пожеланий и требований заказчика.

В настоящее время существует очень большое количество специализированных фирм из разных стран, предлагающих необходимый ряд типоразмеров разнообразных модулей (устройств, узлов, механизмов) для применения в АТСМ [5-21]: мотор-шпинделя, силовые головки, линейные и встраиваемые поворотные электродвигатели приводов подач, направляющие, передачи ходовой винт-гайка в комплекте с опорами, разного типа поворотные столы, устройства ЧПУ, измерительные преобразователи систем обратной связи, гидростанции, инструментальные магазины, инструментальные системы (оправки, резцедержавки, режущие инструменты), устройства для автоматической смазки, теплообменники для электрошкафов станков с ЧПУ, масляные и водяные охладители, системы

подачі СОЖ с распылительными системами, транспортеры для удаления стружки, промышленные светильники и др.

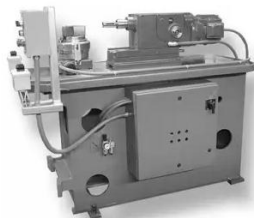
Анализ публикаций в зарубежных периодических изданиях, а также поиск информации в Интернет показал, что в промышленно развитых странах основу высокоорганизованных производств составляет технологическое оборудование, создаваемое по агрегатно-модульному принципу. Созданием высокопроизводительных многопозиционных агрегатных станков (rotary transfer machines) и автоматических линий (transfer line machines) занимаются ряд ведущих станкостроительных фирм.

Основоположителем агрегатного станкостроения США является Эдвард Кингсбурн (1893-1973). Возглавив в 1920 г. компанию Kingsbury Machine Tool, он в 1923 г. реализовал концепцию высокопроизводительной обработки путем синхронизации многопозиционного сверления, разместив сверлильные узлы вокруг поворотного стола, и, положив тем самым начало агрегатным станкам.

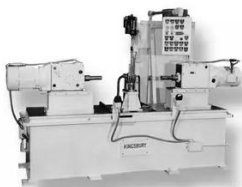
Корпорация Webco/Kingsbury в настоящее время остается одним из лидеров агрегатного станкостроения. На сайте фирмы [5] презентуются АС различных компоновок (рис.1-5).



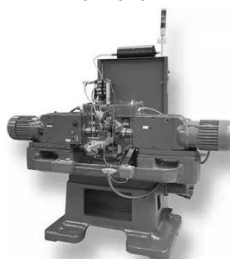
АС сверлильный вертикальной компоновки



АС сверлильно-фрезерный горизонтальной компоновки

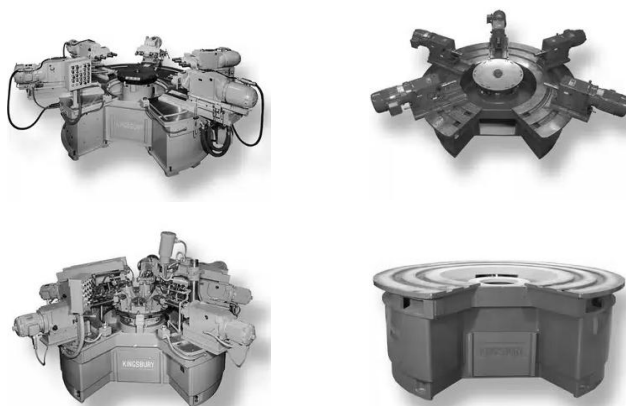


АС сверлильный горизонтальный двухсторонний



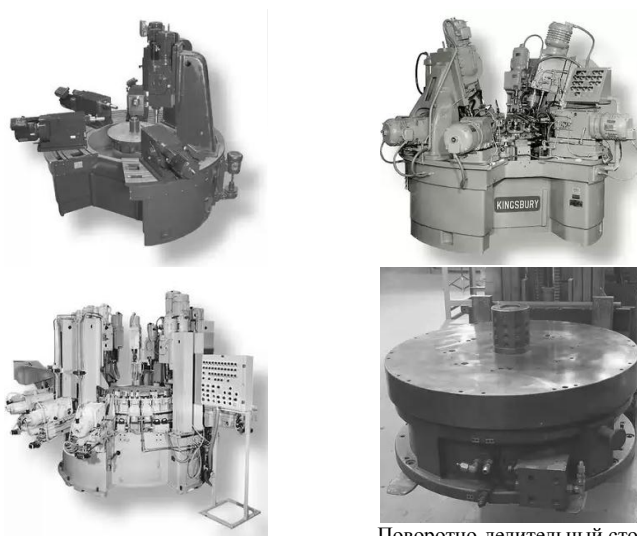
АС сверлильно-фрезерный двухсторонний

Рисунок 1 – Однопозиционные компоновки АС Webco/Kingsbury



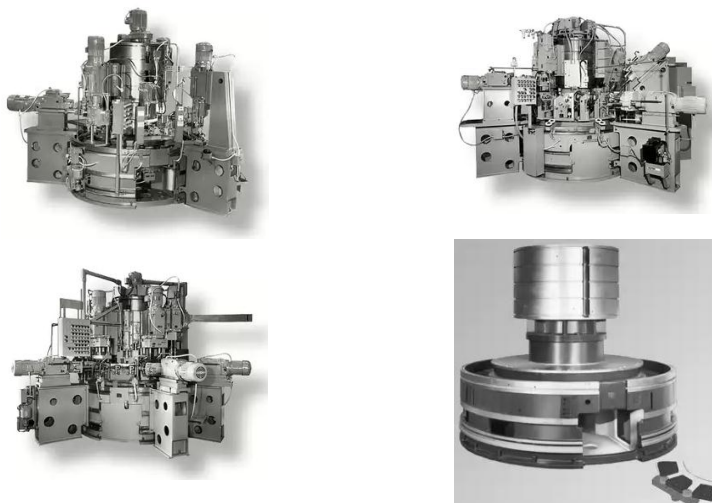
Круглая станина

Рисунок 2 – Многопозиционные AC Webco/Kingsbury горизонтальной компоновки с поворотным-делительным столом



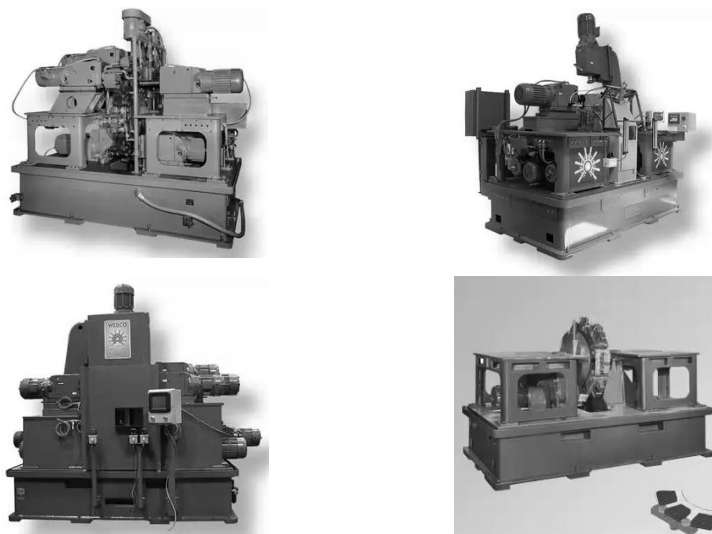
Поворотно-делительный стол

Рисунок 3 – Многопозиционные AC Webco/Kingsbury вертикальной компоновки с поворотным-делительным столом



Станина с центральной колонной

Рисунок 4 – Многопозиционные центроколонные АС Webco/Kingsbury

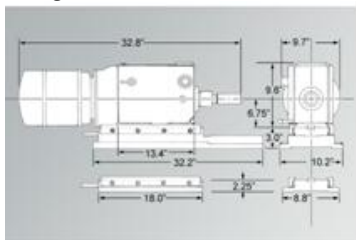


Станина с поворотным барабаном

Рисунок 5 – Многопозиционные АС Webco/Kingsbury барабанного типа

На сайте фирмы Webco/Kingsbury можно найти много образцов силовых агрегатов, ниже приведены некоторые из них (рис. 6).

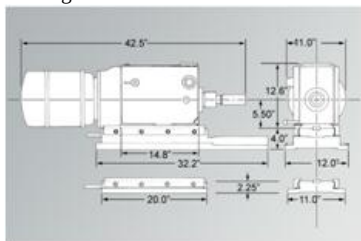
Сверлильная головка
электромеханическим приводом
Kingsbury 04-0500 Mechanical Feed
Drilling Unit



- 3/16 inch Drilling Capacity (Steel)
- 3/8 inch Drilling Capacity (Cast Iron)
- 4 inch Stroke (Max)
- 750 - 8200 RPM



Сверлильная головка с сервоприводом
Kingsbury 22-2500 Mechanical Feed
Drilling Unit



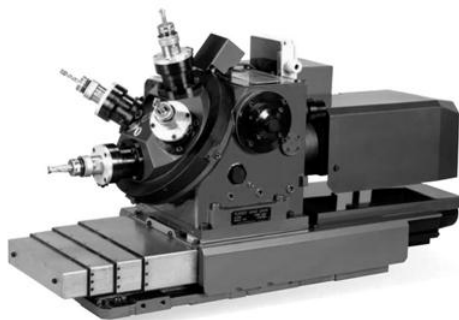
- 7/8 inch Drilling Capacity (Steel)
- 1 1/8 inch Drilling Capacity (Cast Iron)
- 3 1/2 inch Stroke (Max)
- 392 - 5720 RPM



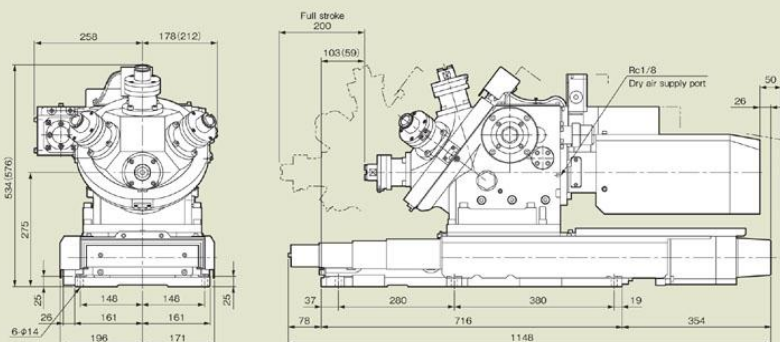
Рисунок 6 – Силовые узлы фирмы Webco/Kingsbury

На сайте фирмы SUGINO MACHINE LIMITED [7] приведен вариант револьверной силовой головки (рис. 7).

На сайте фирмы Fanji Industrial Co. [9] для оснащения многопозиционных агрегатных станков и систем предлагается гамма силовых головок гидравлического типа (рис. 8).



4TH5-1660



Note 1. For protecting the inside structure, please input dry air for air-purge from Rc1/8.
2. Parenthesized numbers are showing the dimensions of 4TH5-1612.

Model #	Spindle Speed (no load)	Chuck Type	Chuck Capacity	Aluminum Max. Drilling/Tapping Size (ADC)	Cast Iron Max. Drilling/Tapping Size (FC200)	Steel Max. Drilling/Tapping Size (S45C)
4TH5-1660	Max. 6000 min ⁻¹	Stub Holder (KH-25E NT tool)	3.6 ~ 16.0 mm	14 mm M10	11 mm M8	9.5 mm M8
4TH5-1612	Max. 1200 min ⁻¹	Stub Holder (KH-25E NT tool)	3.6 ~ 16.0 mm	20 mm M16	15 mm M12	13 mm M12

Рисунок 7 – Силовые узлы фирмы SUGINO MACHINE LIMITED

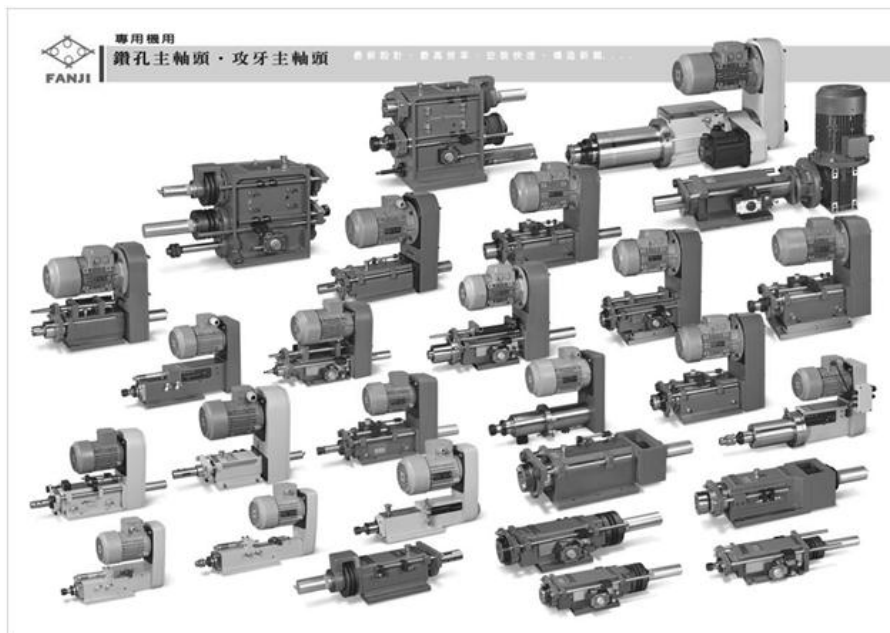


Рисунок 8 – Силовые узлы фирмы Fanji Industrial Co.

ВЫВОДЫ

В настоящее время мировой рынок металлорежущего оборудования предлагает достаточно разнообразную номенклатуру силовых узлов и агрегатов для оснащения станков, создаваемых по агрегатно-модульному принципу.

Созданием агрегатных станков и систем занимается ряд ведущих станкостроительных фирм, они же чаще всего являются и разработчиками-продавцами силовых узлов и агрегатов как элементной базы создания станков агрегатно-модульной конструкции. Анализ типажа и технико-технологических характеристик силовых агрегатов позволяет сделать вывод как о многообразии выбора унифицированной элементной базы для создания станков и систем агрегатно-модульной конструкции, так и о перспективности данного технологического оборудования.

Список использованных источников: 1. Аверьянов О.И. Модульный принцип построения станков с ЧПУ. – М: Машиностроение, 1987. – 232 с.; 2. Агрегатные станки средних и малых размеров /Ю.В.Тимофеев, В.Д. Хицан и др. // Под общ. ред. Ю.В.Тимофеева. - М.: Машиностроение, 1985. - 248 с.; 3. Врагов Ю.Д. Анализ компоновок металлорежущих станков: (Основы компонентики). – М.: Машиностроение, 1978. – 208 с.; 4. Гёбель Х. Компоновка агрегатных станков и автоматических

линий. //Пер. с нем. – М.: ГНТИМЛ, 1959. – 189 с.; 5. «Webco/Kingsbury» //http://www.webcoindustrial.com, 11.05.2015 г.; 6. «SOMEX» //http://www.somex.fr, 08.01.2015 г.; 7. «SUGINO MACHINE LIMITED» //www.sugino.com, 20.05.2015 г.; 8. «EUROMA» //http://www.euomagroup.com, 08.01.2015 г.; 9. «Fanji Industrial Co.» //http://www.drilling-tapping.com, 20.05.2015 г.; 10. «CTR NORTE GmbH & Co. KG» //http://www.ctr-norte.de, 01.06.2015 г.; 11. «Piffner» // http://www.piffner.com, 20.01.2014 г.; 12. «ALMAC SA» // www.almac.ch, 25.01.2014 г.; 13. «WE FUN INDUSTRIAL CO., LTD» // http://www.we-fun.com, 02.02.2014 г.; 14. «Italian Machine Tools Technologies» // http://www.imasgroup.it, 14.02.2014 г.; 15. «VARIOMATIC» // http://www.variomatic.de, 23.02.2014 г.; 16. «VIGNOTTO» // http://www.vignotto.it, 28.02.2014 г.; 17. «WINEMA» // www.winema.de, 04.03.2014 г.; 18. «Picchi» // http://www.picchimachines.it, 10.03.2014 г.; 19. «Porta Solutions» // http://www.porta-solutions.com, 15.03.2014 г.; 20. «BTB TRO» // ww2.btb.it, 20.03.2014 г.; 21. «TTM Makine San ve Tic.Ltd.Şti» // http://www.cnctransfer.com, 28.03.2014 г.

Bibliography (transliterated): 1. Aver'janov O.I. Modul'nyj princip postroenija stankov s ChPU. – М: Mashinostroenie, 1987. – 232 с.; 2. Agregatnye stanki srednih i malyh razmerov /Ju.V.Timofeev, V.D. Hican i dr. // Pod obshh. red. Ju.V.Timofeeva. – М.: Mashinostroenie, 1985. – 248 с.; 3. Vragov Ju.D. Analiz komponovok metallorezhushih stankov: (Osnovy komponetiki). – М.: Mashinostroenie, 1978. – 208 с.; 4. Gjobel' H. Komponovka agregatnyh stankov i avtomaticheskikh linij. //Per. s nem. – М.: GNTIML, 1959. – 189 с.; 5. «Webco/Kingsbury» //http://www.webcoindustrial.com, 11.05.2015 г.; 6. «SOMEX» //http://www.somex.fr, 08.01.2015 г.; 7. «SUGINO MACHINE LIMITED»//www.sugino.com, 20.05.2015 г.; 8. «EUROMA» //http://www.euomagroup.com, 08.01.2015 г.; 9. «Fanji Industrial Co.» //http://www.drilling-tapping.com, 20.05.2015 г.; 10. «CTR NORTE GmbH & Co. KG» //http://www.ctr-norte.de, 01.06.2015 г.; 11. «Piffner» // http://www.piffner.com, 20.01.2014 г.; 12. «ALMAC SA» // www.almac.ch, 25.01.2014 г.; 13. «WE FUN INDUSTRIAL CO., LTD» // http://www.we-fun.com, 02.02.2014 г.; 14. «Italian Machine Tools Technologies» // http://www.imasgroup.it, 14.02.2014 г.; 15. «VARIOMATIC» // http://www.variomatic.de, 23.02.2014 г.; 16. «VIGNOTTO» // http://www.vignotto.it, 28.02.2014 г.; 17. «WINEMA» // www.winema.de, 04.03.2014 г.; 18. «Picchi» // http://www.picchimachines.it, 10.03.2014 г.; 19. «Porta Solutions» // http://www.porta-solutions.com, 15.03.2014 г.; 20. «BTB TRO» // ww2.btb.it, 20.03.2014 г.; 21. «TTM Makine San ve Tic.Ltd.Şti» // http://www.cnctransfer.com, 28.03.2014 г.

УДК 621.7.044

Р.Г. Пузырь, канд. техн. наук, Кременчуг, Украина

РАСЧЕТ КОМПОНЕНТ ТЕНЗОРА НАПРЯЖЕНИЙ НА ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ УЧАСТКЕ ПРОФИЛЯ ОБОДА КОЛЕСА С УЧЕТОМ ПОВЕРХНОСТНОЙ НАГРУЗКИ

Розглядаються питання визначення поля напружень при формозміні ободів коліс із сталевих циліндричних заготовок на першому переході радіально-ротаційного профілювання. Результати теоретичного дослідження дозволяють аналізувати напруження, що виникають в процесі деформування, і визначати сукупність технологічних і конструкторських параметрів процесу профілювання, які значно впливають на величину і розподіл нормальних і дотичних напружень.

Рассматриваются вопросы определения поля напряжений при формоизменении ободьев колес из стальных цилиндрических заготовок на первом переходе радиально-ротационного профилирования. Результаты теоретического исследования позволяют анализировать возникающие в процессе деформирования напряжения и определять совокупность технологических и конструкторских параметров процесса профилирования, которые оказывают значительное влияние на величину и распределение нормальных и касательных напряжений.

Problems of evaluation of stress field at forming wheel rims from steel cylindrical workpieces at the first transition of radial rotary profiling are considered. The results of theoretical studies make it possible to analyze stresses occurring at deforming process and to determine a set of technological and design parameters of the profiling process, which have a significant impact on the value and distribution of normal and tangential stresses.

Конкурентоспособность продукции колесного производства зависит от уровня изученности технологии радиально-ротационного профилирования, что дает возможность направленного влияния на качество и себестоимость изделий. Для этого необходимо всесторонне теоретически и экспериментально исследовать распределение напряжений и деформаций в заготовке в процессе профилирования, дать научно обоснованные рекомендации производству, обосновать и выявить отдельные технологические параметры или их совокупности, которые оказывают наиболее значимое влияние на ход процесса и полуфабрикат. Такие исследования проводились ранее в работах [1, 2, 3].

Методика расчета компонент напряжений на цилиндрическом участке профиля, представленная в работе [6] достаточно сложна, так как необходимо определять относительные деформации и перемещения участков заготовки в процессе деформирования. Поэтому для упрощения решений воспользуемся уравнениями равновесия для цилиндрической заготовки и уравнением пластичности по гипотезе максимальных касательных напряжений, что

позволит получить решения в напряжениях или внутренних усилиях, как принято в классической теории листовой штамповки.

Переход профилирования и расчетная схема изображены на рис. 1, 2.

Исходим из уравнений равновесия для цилиндрической заготовки, с учетом действующей нагрузки будем иметь [4]

$$\begin{aligned}\frac{\partial N_x}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial s} &= 0, \\ \frac{\partial S}{\partial x} + \frac{\partial N_y}{\partial s} &= 0, \\ N_y &= R_0 q_z,\end{aligned}\tag{1}$$

где $q_z = \sum_m \sum_m q \cos \frac{m\pi x}{l} \sin n\varphi$, замечая что $s = R\varphi$, получим

$$\begin{aligned}\frac{\partial N_x}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{R_0 \partial \varphi} &= 0, \\ \frac{\partial S}{\partial x} + \frac{\partial N_y}{R_0 \partial \varphi} &= 0, \\ N_y &= R_0 q \cos \frac{m\pi x}{l} \sin n\varphi.\end{aligned}\tag{2}$$

Придадим уравнениям следующий вид

$$\begin{aligned}N_y &= R_0 q_z, \\ \frac{\partial S}{\partial x} &= -\frac{\partial N_y}{R_0 \partial \varphi}, \\ \frac{\partial N_x}{\partial x} &= -\frac{\partial S_x}{R_0 \partial \varphi}.\end{aligned}\tag{3}$$

Представим усилия N_x , N_y , S_{xy} так

$$\begin{aligned}N_x &= N_x' + N_x^0, \\ N_y &= N_y' + N_y^0, \\ S_{xy} &= S_{xy}' + S_{xy}^0,\end{aligned}$$

где N_x' , N_y' , S_{xy}' – частное решение системы (3);

N_x^0 , N_y^0 , S_{xy}^0 – общее решение соответственной однородной системы уравнений.

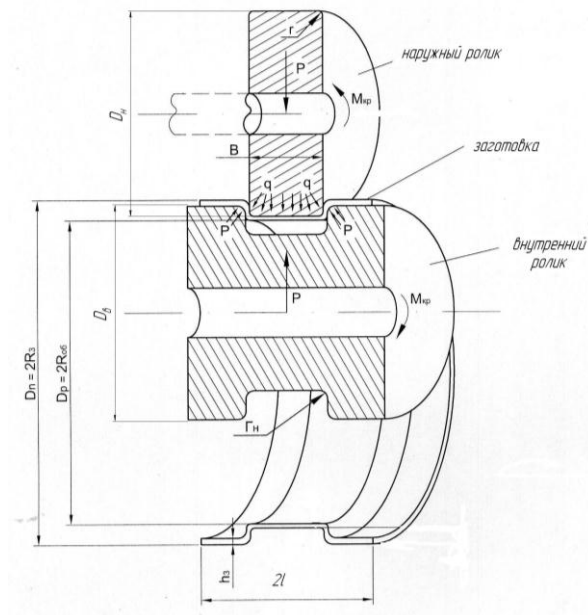


Рисунок 1 – Первый переход радиально ротационного профилирования обода колеса

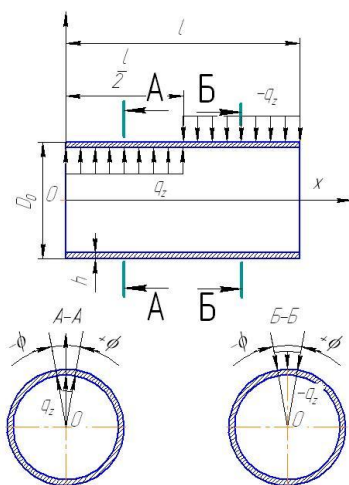


Рисунок 2 – Расчетная схема для определения компонент тензора напряжений

Частное решение системы находим непосредственно, интегрируя уравнения (3)

$$\begin{aligned} N_y' &= R_0 q_z, \\ S_{xy}' &= - \int_{x_0}^x \frac{\partial N_y}{R_0 \partial \varphi} dx = - \int_{x_0}^x \frac{\partial R_0 q_z}{R_0 \partial \varphi} dx, \\ N_x' &= - \int_{x_0}^x \frac{\partial S_{xy}}{R_0 \partial \varphi} dx = \int_{x_0}^x \left(\frac{\partial}{R_0 \partial \varphi} \int_{x_0}^x \frac{\partial R_0 q_z}{R_0 \partial \varphi} \right) dx. \end{aligned} \quad (4)$$

Нижний предел зависит от выбора сечения начала отсчета координаты x . Усилия N_x^0 , N_y^0 , S_{xy}^0 получим как общее решение системы (3)

$$\begin{aligned} N_y &= 0, \\ \frac{\partial S_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial N_y}{R_0 \partial \varphi} &= 0, \\ \frac{\partial N_x}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{R_0 \partial \varphi} &= 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Это решение имеет вид:

$$\begin{aligned} N_y^0 &= 0, \\ S_{xy}^0 &= f_1(\varphi), \\ N_x^0 &= - \int_{x_0}^x \frac{\partial f_1(\varphi)}{R_0 \partial \varphi} dx + f_2(\varphi). \end{aligned} \quad (6)$$

При $x=0$ на торце заготовки $S_{xy}^0 = 0$ и $N_x^0 = 0$.

Решаем систему (4)

$$S_{xy}' = - \int_{x_0}^x \frac{q_z \cos \frac{m\pi x}{l} \sin n\varphi}{\partial \varphi} dx = -q_z n \frac{l}{m\pi} \sin \frac{m\pi x}{l} \cos n\varphi \Big|_{x_0}^x. \quad (7)$$

При $x_0 = 0$; то $S_{xy}' = 0$, тогда:

$$S_{xy}' = \frac{nl}{m\pi} q_z \sin \frac{m\pi x}{l} \cos n\varphi. \quad (8)$$

$$N_x' = \int_{x_0}^x \left(\frac{n^2 l}{R_0 m \pi} q_z \sin \frac{m \pi x}{l} \cos n \varphi \right) dx = -q_z \frac{n^2 l^2}{R_0 m^2 \pi^2} \cos \frac{m \pi x}{l} \cos n \varphi \Big|_{x_0}^x. \quad (9)$$

При $x_0 = 0$ на торце заготовки

$$\begin{aligned} N_x' &= -q_z \frac{n^2 l^2}{R_0 m^2 \pi^2} \cos n \varphi + q_z \frac{n^2 l^2}{R_0 m^2 \pi^2} \cos \frac{m \pi x}{l} \cos n \varphi \longrightarrow \\ N_x' &= q_z \frac{n^2 l^2}{R_0 m^2 \pi^2} \cos n \varphi \cdot \left(\cos \frac{m \pi x}{l} - 1 \right) \end{aligned} \quad (10)$$

Полное усилие

$$N_x = N_x' + N_x^0 = q_z \frac{n^2 l^2}{R_0 m^2 \pi^2} \cos n \varphi \cdot \left(\cos \frac{m \pi x}{l} - 1 \right). \quad (11)$$

Полученная формула позволяет найти распределение усилий на участке заготовки, где производится раздача, в точке $\frac{l}{2}$ нагрузка изменяет знак на противоположный, поэтому уравнение равновесия для этой точки будет $N_{\frac{l}{2}} = N_{\text{раздачи}} + N_{\text{обжима}}$.

Зависимость для меридионального усилия на участке обжима находим из уравнений (4), изменяя знак поверхностного давления

$$N_x' = -q_z \frac{n^2 l^2}{R_0 m^2 \pi^2} \cos n \varphi \cdot \left(1 - \cos \frac{m \pi x}{l} \right). \quad (12)$$

Окончательно внутреннее усилие на участке обжима будет равно

$$N_x = q_z \frac{n^2 l^2}{R_0 m^2 \pi^2} \cos n \varphi \cdot \left[\left(\cos \frac{m \pi x}{l} - 1 \right) - \left(1 - \cos \frac{m \pi x}{l} \right) \right]. \quad (13)$$

Выразим поверхностную нагрузку q через усилие, действующее со стороны деформирующих роликов

$$q_z = \sum_m \sum_n \frac{P}{\Delta s \Delta x} C_{mn} \cos \frac{m \pi x}{l} \sin n \varphi,$$

где $\Delta s \Delta x$ – величина площадки контакта.

Так как ролик контактирует с заготовкой по всей длине, то $\Delta x = l$, а в окружном направлении только по дуге контакта – $\Delta s = R_0 \sin \varphi_0$, то

$$q = \frac{P}{lR_0 \sin \varphi_0}.$$

Для усилия P воспользуемся формулой Н.В. Потекушина [5] для участка раздачи $P_p = \frac{\pi \varphi_{0B}}{180} R_B h \sigma_s$, тогда $q = \frac{\pi \varphi_{0B}}{180} \cdot \frac{R_B h \sigma_s}{lR_0 \sin \varphi_{0B}}$; и окончательно для q_z будет иметь выражение

$$q_z = \frac{8\pi \varphi_{0B}}{180} \cdot \frac{R_B h \sigma_s}{lR_0 \pi (1 - \pi m)}. \quad (14)$$

где φ_{0B} – угол захвата заготовки внутренним роликом; R_B – радиус внутреннего ролика; h – толщина заготовки; $C_{mn} = \frac{8 \sin \varphi_{0B} n}{\pi n (1 - \pi m)}$ – [6].

Подставляем выражение (14) в (11) и (13), будем иметь:
для участка раздачи

$$N_x = \frac{\varphi_{0B}}{180} \cdot \frac{8\sigma_s R_B h l n^2}{R_0^2 m^2 \pi^2 (1 - \pi m)} \cos n\varphi \cdot \left(\cos \frac{m\pi x}{l} - 1 \right); \quad (15)$$

для участка обжима

$$N_x = \frac{\varphi_{0B}}{180} \cdot \frac{8\sigma_s R_B h l n^2}{R_0^2 m^2 \pi^2 (1 - \pi m)} \cos n\varphi \cdot \left[\left(\cos \frac{m\pi x}{l} - 1 \right) - \left(1 - \cos \frac{m\pi x}{l} \right) \right]. \quad (16)$$

Выводы. Таким образом, установлены зависимости для расчета величины меридиональных внутренних усилий, которые являются наиболее опасными с точки зрения локализации деформаций и выявлены технологические и конструкторские факторы, оказывающие влияние на распределение этих усилий по образующей профиля. Тангенциальные внутренние усилия можно найти из условия пластичности по гипотезе максимальных касательных напряжений для плоского напряженного состояния. Снижать величину растягивающих напряжений можно увеличивая диаметр заготовки и уменьшая диаметры деформирующего инструмента.

Список использованных источников: 1. *Потекушин Н.В.* Исследование напряжений при радиальном профилировании заготовок на первых переходах / *Н.В. Потекушин, Э.З. Сайфулин.* – В кн.: *Обработка металлов давлением.* Свердловск, УПИ.– 1974. – вып. 2. – С. 111-114. 2. *Коноваленко А.Д.* Исследование усилий при изготовлении широкопрофильных ободьев колес / *А.Д. Коноваленко* // Математичні проблеми технічної механіки: Тез. допов. другої Всеукраїн. наук. конф. – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2002. – С. 70. 3. *Чигиринский В.В.* Современное производство колес автотранспортных средств и сельскохозяйственной техники: [Монография] /

В.В. Чигиринский, В.Л. Мазур, С.В. Беликов и др. – Днепропетровск: РИА «Днепр-VAL», 2010. – 309 с. 4. *Филин А.П.* Элементы теории оболочек / *А.П. Филин.* – Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1975. – 256 с. 5. *Потекушин Н.В.* Оптимизация процесса профилирования ободьев / *Н.В. Потекушин, И.И. Чемерис* // Автомобильная промышленность. – 1978. – №5. – С. 33-36. 6. *Драгобецкий В.В.* Анализ методов интенсификации процессов вытяжки и профилирования листового материала с целью их применения в операциях радиально-ротационного профилирования замкнутых оболочек для совершенствования технологий колесного производства / *В.В. Драгобецкий, Р.Г. Пузырь, Т.В. Гайкова, Р.Г. Аргат* // Технологические системы. Научно-технический журнал. – Киев: ООО «Компания Индустриальные технологии». – 2014. – №3 (68). – С. 56-61.

Bibliography (transliterated): 1. Potekushin N.V. Issledovanie naprjazhenij pri radial'nom profilirovanii zagotovok na pervyh perehodah / N.V. Potekushin, Je.Z. Sajfulin. – V kn.: Obrabotka metallov davleniem. Sverdlovsk, UPI.– 1974. – vyp. 2. – S. 111-114. 2. Konovalenko A.D. Issledovanie usilij pri izgotovlenii shirokoprofil'nyh obod'ev koles / A.D. Konovalenko // Matematichni problemi tehnicnoi mehaniki: Tez. dopov. drugoi Vseukrain. nauk. konf. – Dniprodzerzhinsk: DDTU, 2002. – S. 70. 3. Chigirinskij V.V. Sovremennoe proizvodstvo koles avtotransportnyh sredstv i sel'skohozjajstvennoj tehniki: [Monografija] / V.V. Chigirinskij, V.L. Mazur, S.V. Belikov i dr. – Dnepropetrovsk: RIA «Dnepr-VAL», 2010. – 309 s. 4. Filin A.P. Jelementy teorii obolochek / A.P. Filin. – L.: Strojizdat, Leningr. otd-nie, 1975. – 256 s. 5. Potekushin N.V. Optimizacija processa profilirovanija obod'ev / N.V. Potekushin, I.I. Chemeris // Avtomobil'naja promyshlennost'. – 1978. – №5. – S. 33-36. 6. Dragobeckij V.V. Analiz metodov intensifikacii processov vytjazhki i profilirovanija listovogo materiala s cel'ju ih primenenija v operacijah radial'no-rotacionnogo profilirovanija zamknutyh obolochek dlja sovershenstvovaniya tehnologij kolesnogo proizvodstva / V.V. Dragobeckij, R.G. Puzyr', T.V. Gajkova, R.G. Argat // Tehnologicheskie sistemy. Nauchno-tehnicheskij zhurnal. – Kiev: ООО «Kompanija Industrial'nye tehnologii». – 2014. – №3 (68). – С. 56-61.

УДК 005.8 : 658

С.В. Руденко, д-р техн. наук, Ма Фен, канд. техн. наук;
С.М. Гловацька, К.В. Колеснікова, д-р техн. наук, Одеса, Україна

ВПРОВАДЖЕННЯ ПРОЕКТУ УПРАВЛІННЯ ІМІДЖЕМ НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ В РЕАЛІЯХ КИТАЮ

Процес управління персоналом, що працює в багатофакторних системах, організаціях часто може бути представлений тільки у вигляді якісних моделей. Пропонується використовувати побудову моделі діяльності менеджера в частині його посадових обов'язків з використанням ланцюгів Маркова, що дозволить дати кількісні оцінки діяльності менеджера.

Процесс управления персоналом, работающим в многофакторных системах, организациях часто может быть представлен только в виде качественных моделей. Предлагается использовать построение модели деятельности менеджера в части его должностных обязанностей с использованием цепей Маркова, что позволит дать количественные оценки деятельности менеджера.

Process management staff working in multi-factor systems, organizations often can be represented only in the form of high-quality models. Invited to serve as building a model of the manager as part of his duties with the use of a Markov chain that takes you to the quantitative estimates of the manager.

Вступ. При практичному впровадженні системи управління іміджем навчального закладу (на прикладі діяльності коледжу Цінь, Китай) були виявлені основні такі протиріччя:

– результат роботи по формуванню іміджу визначається у зовнішньому середовищі, а не є локалізованим у межах навчального закладу [1, 2];

– система, яку утворюють навчальний заклад і зовнішнє середовище є слабоструктурованою - в ній існує багато зв'язків, нормативів, конструкційних особливостей, громадських правил, звичаїв і традицій, врахувати які в повному обсязі досить складно [3];

– практично неможливо отримати зворотній зв'язок, для того щоб оцінити ефективність заходів, які націлені на формування іміджу навчального закладу [4];

– істотна невизначеність виникає через складність виділення цільового контингенту - на кого слід направляти комунікаційні та інформаційні заходи [5];

– необхідність подолання опору викладачів коледжу політиці керівництва коледжу з проведення іміджевих заходів, так як викладачі вважають, що ця діяльність йде в розріз з політикою Партії та Уряду - «не слід виділятися в загальній структурі коледжів, оскільки це створить перекис в наборі абітурієнтів в інших навчальних закладах, які не зможуть виконати план прийому» [1].

Постановка задачі дослідження. Зазначені об'єктивні і суб'єктивні чинники формують поле інтересів і протиріч, які необхідно врахувати при проведенні роботи з формування і управління іміджем навчального закладу. Принципова схема управління іміджем коледжу включає в себе: об'єкт іміджу (коледж Інформатики та комп'ютерних технологій, округ Цінь, ректор д-р, професор Чжао Лу); комплекс Керівних документів; громаду провінції; команду проекту та методики вироблення типу заходів для інформування населення провінції про коледж (рис. 1).

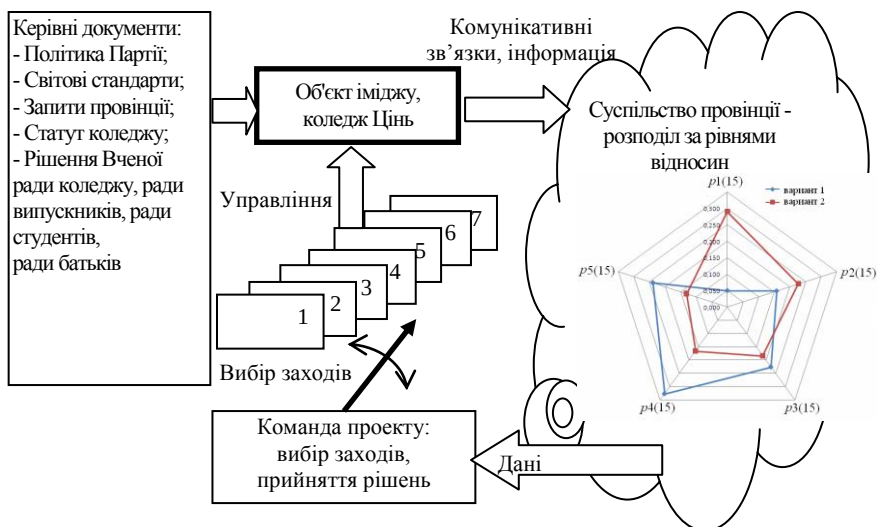


Рисунок 1 – Принципова схема управління іміджем

Коледж Інформатики та комп'ютерних технологій (округ Цінь) розташований в промисловому районі. Загальне число студентів - 7200 чол. Контингент викладачів — 420 чол. Випускники коледжу частково продовжують навчання в університетах Китаю і за кордоном (близько 10%). Основні місця роботи випускників коледжу: промисловість, банківський сектор, транспорт, сфера послуг, навчальні заклади.

Проектно-орієнтоване управління в різних предметних областях: управління іміджем ВНЗ [1-5], у промислових системах [6, 7], у сфері автоматизації навчання [8-10], управління університетом [11], управління проектами з охорони праці [12, 13], теорії проектного управління [14-16], екологічних проектів [17, 18], в оцінці публікаційної активності [19-21],

ІТ-проектів [22], породжує задачу удосконалення самих проектів і моделей, що їх відображають [23-28].

Мета дослідження. Дослідити практичні аспекти впровадження іміджевих проектів для навчальних закладів і розробити рекомендації щодо адаптації моделей, що використовуються в проекті, до умов взаємодії внутрішнього та зовнішнього оточення проекту.

Побудова моделі проекту. Існуючі підходи формування тактики і стратегії створення іміджу націлені на отримання певних вигод і цінності завдяки дослідженню зв'язків і закономірностей на рівні організаційного управління проектами [6]. Суперечності в управлінні проектами створення іміджу в організаційно-технічних і соціальних системах обумовлені низкою особливостей [7]:

- наявності множини факторів і їх взаємозалежністю, що не дозволяє виділити і детально досліджувати окремі елементи системи, тому всі явища, що відбуваються в них, повинні розглядатися в сукупності;
- відсутності достатньої інформації про динаміку процесів, що змушує переходити до якісного аналізу таких процесів;
- турбулентністю оточення і мінливістю характеру процесів у часі;
- корпоративністю інтересів організації та громадським значенням результатів щодо формування іміджу.

Подібні проекти через зазначені особливості можна віднести до класу слабо структурованих систем, в яких, як правило, реалізуються випадкові процеси [7]. Множина чинників системи утворює складну систему взаємних прямих і зворотних зв'язків, що змінюються в часі. Побачити і усвідомити логіку розвитку іміджу в такій багатофакторній системі досить складно [2]. У той же час у практичній діяльності постійно доводиться приймати рішення про те, що потрібно зробити для поліпшення іміджу, які з можливих дій будуть ефективніше сприяти досягненню поставленої мети та ін. [7]. Процедура прийняття рішень може ґрунтуватися на моделюванні складних процесів за допомогою марківських ланцюгів [8-13].

У марковських моделях існує залежність випадкового процесу зміни сукупності станів $S_k = \{s_1, s_2, \dots, s_i\}_k$ від часу $t[0, T]$, де k - номер кроку, а i - число станів. «Марковість» проектів іміджу підтверджується тим, що в них і в ланцюгах Маркова можливі зміни ймовірностей станів системи по кроках k , має місце подібність топологічної структури переходів [24]. Існують ймовірності переходів π_{ij} в інші стани, а сума перехідних ймовірностей з деякого стану дорівнює одиниці [26]: $\sum_{j=1}^m \pi_{ij} = 1; (i = 1, 2, \dots, m)$.

Сума ймовірностей всіх станів $p_i(k)$ на кожному кроці k також дорівнює одиниці [26]: $\sum_{i=1}^m p_i(k) = 1$, де m - число дискретних станів.

Під кроком розуміється деяке управління вплив, яке переводить систему в новий стан [27]. Ймовірності станів $p_1(k)$, $p_2(k)$, ... $p_m(k)$ однорідного ланцюга Маркова з дискретним часом характеризують феноменологічне відображення системи - те, чим об'єкт себе проявляє. Для будь-якого кроку k існують також "ймовірності затримки" π_{ii} системи в даному стані, які доповнюють до одиниці суму перехідних ймовірностей по всіх переходах з даного стану [27].

Для побудови ланцюга Маркова необхідно побудувати орієнтований граф $A = \{S, G\}$, що складається з упорядкованих пар вершин S і орієнтованих дуг G , які їх з'єднують. При цьому процеси відповідають певним вершин графа [25-28]. Ребра визначають переходи з даних станів, необхідні для управління проектом. Введені вище змінні дозволяють виконати математичний опис для ланцюга Маркова, який функціонує за певної структури зв'язків між дискретними станами (рис. 2).

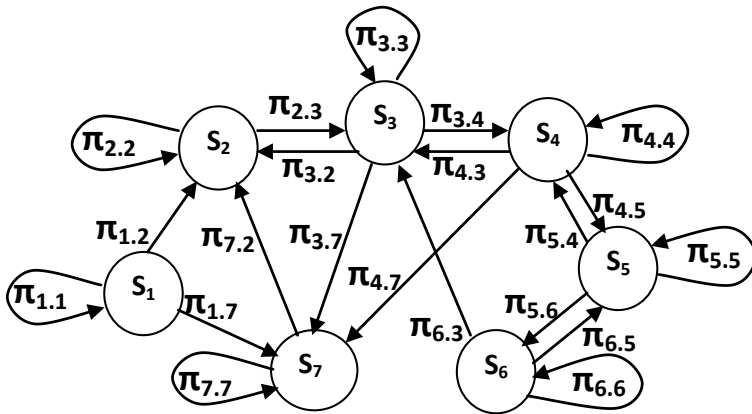


Рисунок 2 – Розмічений граф моделі формування і управління іміджем:
 S_1 - непоінформованість; S_2 - позитивне ставлення; S_3 - довіра; S_4 - високі оцінки;
 S_5 - впевнений вибір; S_6 - байдужість; S_7 - неприйняття

Експериментальне визначення параметрів марківської моделі.

Прийнята гіпотеза, що громада провінції розподілена за рівнями відносин до навчального закладу. Максимальна помилка знаходиться у відповідності з правилом трьох сигм із залежності $\max_{\text{ош}} = 3\sigma$. Результати оцінки марковської моделі з перехідними ймовірностями, які отримані на основі анкетного опитування 385 респондентів, наведені в табл. 1. Графічне представлення - на рис. 3.

Таблиця 1 – Статистична оцінка результатів (p1)

Параметр	Експеримент	Розрахункові дані			
	p1э	p1	p1 – p1э	(p1 – p1э) ²	Оцінка
0	0,5	0,5	0	0	
1	0,297	0,3	0,003	9E-06	
3	0,041	0,108	0,067	0,0045	
10	0,011	0,003	-0,008	6E-05	
30	0,013	0	-0,013	0,0002	
Дисперсія σ^2					0,0012
σ					0,0344
$max_{\text{ош}}$					0,1032

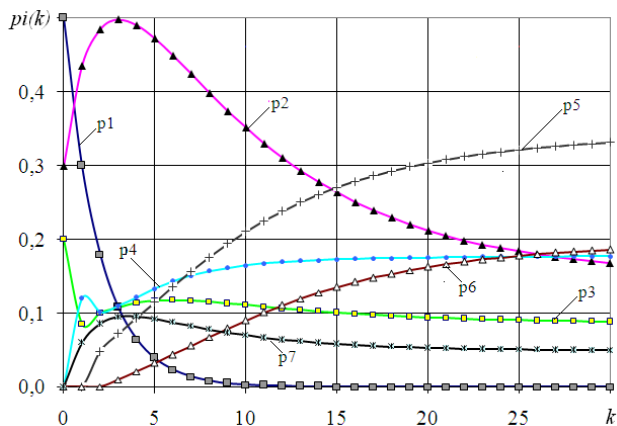


Рисунок 3 – Ймовірності станів існуючого становища діяльності по створенню іміджу:

S_1 – непоінформованість; S_2 – позитивне ставлення; S_3 – довіра; S_4 – високі оцінки;
 S_5 – впевнений вибір; S_6 – байдужість; S_7 – неприйняття

Як видно з наведених даних максимальна допустима помилка становить не більше $max_{\text{ош}} = 3\sigma = 0,1032$. Це значення більше величини відхилень в для стану S_1 – непоінформованість ($p1 - p1э$). Отже, дані розрахунку станів із застосуванням марківської моделі не містять грубу помилку. Результати оцінки похибки марківської моделі з перехідними ймовірностями, які отримані на основі анкетного опитування 385 респондентів, наведені в табл. 3, а графічне представлення - на рис. 4. Отримана марківська модель задовільно описує реальні дані.

Результати порівняння показують, що дані анкетування і розрахунки з використанням марківської моделі з новими значеннями перехідних ймовірностей практично не відрізняються. Розрахункові результати можна вважати достовірними, тому що вони досить добре збігаються з експериментальними даними.

Управління іміджевим проектом. Як відомо, існуючий початковий розподіл ймовірностей станів системи залежить від знайдених значень перехідних ймовірностей. Для розробки стратегічного плану в довгостроковій перспективі необхідно аналізувати зміни ймовірностей станів при достатньо великому числі кроків, наприклад, при $k = 30$, коли система близька до стаціонарного стану.

Сума величин становить $p_2 + p_3 + p_4 + p_5 = 0,765$, що відображає досить високу оцінку населенням діяльності коледжу Цінь (рис. 6). Однак, майже чверть населення провінції за відсутності необізнаних ($p_1 = 0$) проявляє байдужість ($p_6 = 0,162$ або 16,2 % населення провінції) або взагалі неприйняття інформації про коледж ($p_7 = 0,053$ або 5,3 % населення провінції)

У відповідності зі схемою (рис. 1) необхідно сформулювати заходи, які будуть спрямовані на поліпшення ставлення всіх категорій населення і особливо тих, хто висловлює байдужість та неприйняття іміджу коледжу.

Оскільки виділити цільову групу населення досить складно був прийнятий метод фронтальної інформаційної взаємодії з аудиторією. Властивостями фронтальних інформаційних контактів володіють такі засоби масової комунікації: телебачення, преса, участь в масових політичних заходах. Були заплановані подачі: 36-40 сюжетів на телебаченні, підготовка щомісяця 2-3 публікацій в кожній з 43 газет, а також активізація громадської діяльності із забезпеченням масовості та якості політичних заходів.

У перебігу одного року (2012) усі заплановані заходи за проектом формування позитивного іміджу коледжу Цінь були виконані. З урахуванням того, що очікувалась суттєва зміна показників іміджу, було проведено нове анкетування жителів провінції за методикою, що описана вище та визначено нові значення перехідних ймовірностей для системи:

$\ \pi_{ij}\ =$	0,47	0,5	0			0,03
		0,8	0,2			
		0,12	0,45	0,4		0,03
			0,25	0,50	0,23	0,02
				0,14	0,76	0,10
			0,30		0,50	0,20
		0,40				0,60

Результати були використані для аналізу нового розподілу станів системи з допомогою марківської моделі. В якості початкового розподілу було прийнято розподіл ймовірностей станів до початку проекту, що відповідає 30-му кроку на рис. 3. Відображення станів системи після одного року роботи по поліпшенню іміджу коледжу Цинь показано на рис. 4.

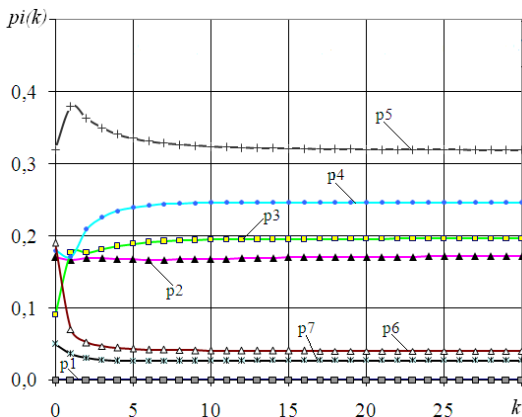


Рисунок 4 – Ймовірності станів після впровадження проекту створення нового іміджу коледжу Цинь: $S_1 - S_7$ – стани системи

Як видно, сума величин стала більшою $p_2 + p_3 + p_4 + p_5 = 0,932$, що відображає істотне поліпшення оцінки населенням діяльності коледжу Цинь. Це поліпшення відбулося за рахунок зменшення частки населення, яке проявляє байдужість (від 16,2 % до 4,2 %) і тих, хто виявляв неприйняття інформації про коледж (від 5,3 % до 2,6 %).

Висновки. З урахуванням цих даних виконаний проект можна вважати успішним. Однак це не означає, що більше нічого не треба робити. Як показують отримані результати моделювання за допомогою марківської моделі, соціальна система безперервно розвивається, що веде до безперервного зміни показників іміджу. Крім того, слід врахувати, що фактично даний проект виконувався в умовах, коли інші учасники нічого не робили, щоб поліпшити свій імідж і тим самим надати опору отриманню позитивних результатів проекту. Відсутність опору просуванню проекту підтверджують дані за результатами проекту (рис. 4). Після 10-ти кроків параметри розподілу населення за рівнями відношення до діяльності коледжу практично не змінюються.

Управління іміджем навчального закладу необхідно розглядати в якості безперервного процесу діяльності в умовах сучасних ринкових конкурентних

відносин в сфері освітніх послуг. Запропонована модель процесу формування та управління іміджем, заснована на проектному підході, дозволяє ефективно використовувати матеріальні ресурси, а також гнучко реагувати на зміни як всередині навчального закладу, так і в зовнішньому середовищі. Розглянутий метод адаптації марківського ланцюга може застосовуватися для уточнення моделі в ході виконання іміджевих проектів. Це дозволить надавати проектному менеджеру обґрунтовану інформацію щодо очікуваної ефективності проектів і шляхів вдосконалення їхньої стратегії.

Імідж навчальних закладів формується в процесі виконання конкретної діяльності, яка, як може іноді здаватися, і не пов'язана безпосередньо з іміджем. Хоча важко уявити собі, що в навчальних закладах є види діяльності, які не пов'язані з іміджем. Будь діяльність пов'язана з формуванням відносин з боку оточення до деякого коледжу або університету. При цьому носіями і виконавцями цієї діяльності є, насамперед, керівники навчальних закладів, викладачі та студенти.

- Список використаних джерел:**
1. 该机构的形象工程项目管理：专著 / 麻吹風機, 謝爾蓋·魯堅科, 葉卡捷琳娜科列斯尼科娃— 中國：濟南市, 2014年 - 84頁 = [Проектное управление имиджем учебного заведения : Монография / Фен Ма, Сергей Руденко, Екатерина Колесникова. – Китай : Цзинань, 2014. – 84 с.].
 2. Ма Фен. Марковская модель процесса формирования и управления имиджем учебного заведения / Фен Ма, С.Н. Гловацкая, Е.В. Колесникова // Проблемы техники. – Одесса : ОНМУ, 2013. - № 3. – С. 142 – 151.
 3. Колесникова, Е.В. Моделирование слабо структурированных систем проектного управления / Е.В. Колесникова // Тр. Одес. политехн. ун-та. – 2013. - № 3 (42). – С. 127 – 131.
 4. Вайсман, В. А. Методологические основы управления качеством: факторы, параметры, измерение, оценка / В. А. Вайсман, В. Д. Гогунский, В. М. Тонконогий // Сучасні технології в машинобудуванні. – 2012. – Вип. 7. - С. 160 – 165.
 5. Вайсман, В.О. Система стандартів підприємства для управління знаннями в проектно-керованій організації / В.О. Вайсман, С.О. Величко, В.Д. Гогунський // Тр. Одес. политехн. ун-та. – 2011. – Вип. 1(35). – С. 256-261.
 6. Вайсман, В.О. Сучасна концепція проектно-орієнтованого командного управління підприємством / В.О. Вайсман, К.В. Колеснікова, В.В. Натальчишин // Сучасні технології в машинобудуванні : зб. наук. пр. – № 8. – НТУ «ХПІ», 2013. – С. 246-253.
 7. Вайсман, В. Нова методологія створення інноваційного розвитку проектно-керованих організацій / В.О. Вайсман, В.Д. Гогунський // Економіст. – 2011. - № 8 (298). – С. 11-13.
 8. Колесникова, Е.В. Построение автоматизированной системы тренинга персонала дуговой сталеплавильной печи / Е.В. Колесникова, Вайсман В.А., Тонконогий В.М., Лопачов О.С. // Сучасні технології в машинобудуванні : зб. – Вип. 7. – НТУ «ХПІ», 2012. – С. 304 – 311.
 9. Тертышина, Т. И. Автоматизированная система контроля знаний / Т. И. Тертышина, Е. В. Колесникова, В. Д. Гогунский // Тр. Одес. политехн. ун-та. - 2001. - Вип. 1 (13). - С. 125-128.
 10. Колесникова, Е.В. Оценка компетентности персонала сталеплавильной печи в проекте компьютерного тренажера / Е.В. Колесникова // Восточно-Европейский журнал передовых технологий - № 5/1 (65). – 2013. - С. 45-48.
 11. Оборський, Г.О. Стандартизація і сертифікація процесів управління якістю освіти у вищому навчальному закладі / Г.О. Оборський, В.Д. Гогунський, О.С. Савельєва // Тр. Одес. политехн. ун-та. – 2011. - № 1(35). – С. 251 – 255.
 12. Гогунский, В.Д. Управління ризиками в проектах з охорони праці як метод усунення шкідливих і небезпечних умов праці / В.Д. Гогунський, Ю.С. Чернега // Вост.-Европ. журнал передових технологій. - 2013 – № 1/10 (61). – С. 83 – 85.
 13. Gogunsky, V.D. Markov model of risk in projects of safety / V.D. Gogunsky, Yu.S. Chernega, E.S. Rudenko // Тр. Одес. политехн. ун-та. – 2013. – № 2 (41). – С. 271-276.
 14. Колеснікова К.В. Розвиток теорії проектного управління: обґрунтування закону К.В. Кошкіна щодо завершення проектів // Управління розвитком

складних систем. - № 16. - 2013. - С. 38-45. **15. Колеснікова К.В.** Розвиток теорії проектного управління: обґрунтування закону ініціації проектів / *К.В. Колеснікова* // Управління розвитком складних систем. - № 17. - 2014. - С. 24 - 31. **16. Колеснікова, Е.В.** Развитие теории проектного управления: закон Ю.Л. Воробьева о влиянии риска на успешность портфеля проектов / *Е.В. Колесникова* // Управління розвитком складних систем. - № 18. - 2014. - С. 62-67. **17. Олех Т. М.** Методы оценки проектов и программ / *Т. М. Олех, А.Г. Оборская, Е. В. Колесникова* // Тр. Одес. политехн. ун-та. - 2012. - № 2 (39). - С. 213-220. **18. Руденко, С.В.** Анализ результатов реализации технико-экономической природоохранной региональной программы / *С. В. Руденко, Е.В. Колесникова, Т.М. Олех* // Проблеми техніки. - 2013. - № 2. - С. 161-169. **19. Буй, Д.Б.** Scopus та інші наукометричні бази: прості питання та нечіткі відповіді / *Д.Б. Буй, А.О. Білощійський, В.Д. Гогунський* // Вища школа. - 2014. - № 4. - С. 37-40. **20. Бушув, С.Д.** Наукометричні бази: характеристика, можливості і завдання / *С.Д. Бушув, А.О. Білощійський, В.Д. Гогунський* // Управління розвитком складних систем. - 2014. - № 18. - С. 145-152. **21. Білощійський, А.О.** Наукометричні бази та індикатори цитування наукових публікацій [Текст] / *А. О. Білощійський, В. Д. Гогунський* // Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві. - Вип. 4 (5). - О. : АО Бахва, 2013. - С. 198-203. **22. Колесников, А.Е.** [Формирование информационной среды университета для дистанционного обучения](#) / *А.Е. Колесников* // Управління розвитком складних систем. - 2014. - № 20. - С. 21-16. **23. Колесникова, Е. В.** Управление знаниями в IT-проектах / *Е. В. Колесникова, А. А. Негри* // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. - 2013. - № 1/10 (61). - С. 213-215. **24. Оборская, А.Г.** Модель эффектов коммуникаций для управления рекламными проектами / *А.Г. Оборская, В.Д. Гогунский* // Тр. Одес. политехн. ун-та. - Спецвыпуск. - 2005. - С.31-34. **25. Vaysman, V.A.** [The planar graphs closed cycles determination method](#) / *VA Vaysman, EV Kolesnikova, DV Lukianov* // Праці Одеського політехн. ун-ту. - 2012. - № 1 (38). - С. 222-226. **26. Колеснікова, К.В.** [Моделювання стратегічного управління міжнародною діяльністю університету](#) / *К.В. Колеснікова, С.Н. Гловацька, С.В. Руденко* // Проблеми техніки. - 2013. - № 1. - С. 95-101. **27. Власенко, О.В.** Марковські моделі комунікаційних процесів в міжнародних проектах / *О.В. Власенко, В.В.Лебідь, В.Д.Гогунський* // Управління розвитком складних систем. - 2012. - № 12. - С. 35-39. **28. Розробка марковської моделі зміни станів пацієнтів у проектах надання медичних послуг** / *С. В. Руденко, М. В. Романенко, О. Г. Катуніна, К. В. Колеснікова* // Управління розвитком складних систем. - 2012. - № 12. - С. 86-89.

УДК 621.92.01

А.П. Рыбалко, канд. техн. наук, Москва, Россия,
Н.В. Лищенко, канд. техн. наук,
В.П. Ларшин, д-р техн. наук, Одесса, Украина

СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ И АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ

Виконано аналіз шляхів оптимізації технологічних систем механічної обробки і показано місце діагностичних і адаптивних систем в оптимізації технологічних процесів механічної обробки на етапі виробництва. Запропоновано розглядати у взаємодії два одночасно виконуваних технічних процесів: основний технологічний процес і процес управління, який є узгоджувальним процесом. Наведено результати експериментального дослідження адаптивної системи управління на координатно-розточувальні верстати з ЧПУ.

Выполнен анализ путей оптимизации технологических систем механической обработки и показано место диагностических и адаптивных систем в оптимизации технологических процессов механической обработки на этапе производства. Предложено рассматривать во взаимодействии два одновременно выполняемых технических процесса: основной технологический процесс и процесс управления, который является согласующим. Приведены результаты экспериментального исследования адаптивной системы управления на координатно-расточном станке с ЧПУ.

An analysis of the ways to optimize the cutting process systems is given and the place of diagnostic and adaptive systems shown to optimize technological processes of machining at the production stage. It is proposed to consider in conjunction two concurrently running technical processes: the main cutting process and control one, which is the matching process. The results of an experimental study of adaptive control system for CNC coordinate boring machine are given.

Введение. Технология машиностроения сформировалась как наука о производстве машин требуемого качества, в заданном производственной программой количестве, в заданные сроки при минимальной трудоемкости и себестоимости изготовления машин. Это определение по сути своей является постановкой задачи оптимизации исходя из условия минимума таких целевых функций как трудоёмкость и себестоимость. Задача оптимизации является многоуровневой и сопровождает все этапы жизненного цикла изделия, в том числе технологическую подготовку производства и собственно производство. Однако на этапе производства имеют место непредсказуемые факторы, которые невозможно учесть на предыдущем этапе производства. Важное место для эффективного решения этой задачи отводится диагностическим и адаптивным системам, позволяющим реализовать корректировку ранее принятых решений с учётом фактически возникающей при обработке ситуации. Идея адаптивного управления станками, начиная с известных работ

научной школы профессора Балакшина Б.С., стала частью стратегии и тактики развития станкостроения за истёкший с тех пор период. Однако опыт эксплуатации таких систем показал неоднозначные результаты, что отмечается многими исследователями. Основной причиной недостаточной эффективности таких систем является их динамическая сложность, приводящая к ухудшению качества автоматического регулирования [1]. Современный этап развития станкостроения отличается всесторонним применением на станках числового программного управления (ЧПУ), позволяющего по новому строить эффективные управляющие системы, за счёт применения гибких алгоритмов управления, с коррекцией динамических моделей управляющих систем, включая самонастройку параметров пропорционально-интегрально-дифференциальных регуляторов на основе цифровой обработки данных. Однако в технической литературе отсутствует анализ современных подходов к решению задач оптимизации машиностроительного производства на различных этапах жизненного цикла изделия, включая этап обработки заготовок на станках. Не описаны новые идеи управления динамически сложными объектами, не приводятся результаты экспериментального исследования диагностических и адаптивных систем на станках с ЧПУ.

Целью работы является анализ технологических резервов оптимизации элементов технологической системы (ТС), включая их взаимодействие на этапе обработки в условиях непредсказуемого изменения параметров ТС, и анализ результатов экспериментального исследования адаптивной системы при плоском фрезеровании на станке с ЧПУ.

Изложение основного материала. ТС механической обработки это конструкция, которую создаёт технолог из известных элементов СПИД: станок, приспособление, инструмент, обрабатываемая деталь (далее заготовка). При взаимодействии этих элементов в соответствии с управляющей программой системы ЧПУ реализуется технологический процесс или его часть – технологическая операция (далее – процесс). В соответствии теорией технических систем техническая система – конструкция (т.е. ТС) реализует техническую систему – технологический процесс. Всякое изменение параметров, характеризующих эксплуатационные свойства ТС (уменьшение погрешности позиционирования, упругих отжатий, вибраций и т.п.), влечет за собой соответствующие изменения параметров, характеризующих свойства технологического процесса.

С этих позиций рассмотрим основные элементы ТС.

Металлорежущий станок прошел многолетний этап совершенствования и отработки конструкции, позволяет получить предельно достижимую точность позиционирования, точность скоростей рабочих органов и их ускорений. Например, в настоящее время удовлетворительная точность позиционирования на станках типа «обрабатывающий центр» характеризуется погрешностью

порядка 30 мкм. Уменьшение этой погрешности до 4-5 мкм сопровождается резким удорожанием конструкции станка, поэтому традиционные конструкторские и технологические методы повышения точности металлорежущих станков в настоящее время исчерпали свои возможности. Возникла задача оптимизации затрат на конструкторско-технологическое обеспечение необходимой точности при одновременном использовании средств автоматического управления движениями станка (перемещение, скорость, ускорение), основанных на использовании систем обратной связи с прецизионными датчиками положения, скорости, ускорения. В настоящее время это направление известно как мехатроника станочных систем.

Станочное приспособление (СП) – две тенденции. Первая – повышение точности положения установочных элементов, их перемещений за счет датчиков обратной связи [2]. Вторая – устранение традиционных функций СП, которые расширяли технологические возможности станка. Современные СП чаще всего являются фиксирующими (крепежными) и не выполняют кинематические перемещения, поскольку последние обеспечиваются рабочими органами станка. Пример тому – конструкция стола станка мод. 500V/5 [2].

Инструмент прошел следующие этапы своего развития: инструмент, изготовленный из быстрорежущей стали, твердого сплава, нанесением многослойных износостойких покрытий (плакирование, ионизация и т.д.).

Заготовки: приближение формы заготовки к форме детали по чертежу (уменьшение припусков на обработку) и резкое ухудшение обрабатываемости материалов резанием в связи с использованием современных труднообрабатываемых материалов: титан, титановые сплавы, полимерные композиционные материалы (углепластик, стеклопластик), жаропрочные и нержавеющие стали и сплавы, слоёные материалы (углепластик – титан) и т.д. Первая тенденция способствует уменьшению затрат на обработку и является одной из причин развития современного направления в технологии машиностроения – высокоскоростной обработки (High Speed Machining). Особенно это проявляется при обработке деталей из алюминия и алюминиевых сплавов. Вторая тенденция приводит к увеличению трудоемкости и себестоимости обработки. Причем как в первом (уменьшение припуска), так и во втором (труднообрабатываемые материалы) случае увеличиваются колебания сил резания за счет увеличенных скоростей рабочих движений станка (в первом случае), и за счёт ухудшения обрабатываемости (во втором случае).

Из этого анализа видно, что указанные выше элементы ТС исчерпали свои технологические возможности с точки зрения повышения эффективности обработки. Поэтому становится актуальной задача оптимизации ТС лезвийной и абразивной обработки за счет выбора оптимальных параметров элементов ТС, исходя из условия наименьшей

трудоемкости и себестоимости для каждого рассматриваемого случая, т.е. возникают задачи оптимального управления технологическим процессом.

Задачи оптимального управления технологическим процессом следующие: выбор параметров, характеризующих свойства элементов ТС с учетом их возможного взаимодействия при работе; выбор режимов функционирования ТС; выбор СОТС и способа подачи СОТС и другие.

Реализуемый в технологической системе (ТС) процесс обработки детали будем называть основным процессом. Для реализации основного процесса собственно и создавалась ТС. Однако для успешного выполнения этого процесса одновременно с ним непрерывно осуществляется вспомогательный технический процесс – процесс управления. Этот процесс распространяется не только на выбор параметров указанных элементов ТС (структурная оптимизация), но также на приведение их в целесообразное взаимодействие путем выбора режимов обработки, поддержание стабильности выполнения основного технологического процесса (параметрическая оптимизация). Для этого применяют диагностику и адаптивное управление, а также производят периодическую замену или обновления компонентов ТС по мере работы, например, путем замены инструмента или восстановления его режущих свойств. Таким образом, при работе ТС процесс управления происходит одновременно с основным технологическим процессом и направлен на эффективное выполнение этого основного процесса, т.е. процесс управления является как бы согласующим процессом. Согласованию в данном случае подлежит приведение в соответствие фактических параметров и показателей основного технологического процесса с их заданными значениями.

Оптимизацию как способ принятия решения можно рассматривать как способ управления обработкой. Для оптимизации технологического процесса при его выполнении на станках с ЧПУ применяют разомкнутые и замкнутые системы автоматического управления. С точки зрения технологии механической обработки можно отметить системы двух видов: системы технологической диагностики (разомкнутые) и адаптивные системы (замкнутые). Особенностью станков с открытой архитектурой ЧПУ является возможность включения в состав программного обеспечения системы ЧПУ соответствующих диагностических и адаптивных функций, которые «прописываются» отдельными строчками в управляющей программе (показано ниже). Примером диагностической системы является встроенная виброакустическая диагностика на станках фирмы OKUMA, которая реализуется при помощи двух функций: M Navi M-g и M Navi M-i. Первая функция (M Navi M-g) анализирует вибрацию по записанным звукам обработки, вторая (M Navi M-i) – по данным вибродатчика [3]. Переход от диагностики к автоматическому регулированию может быть осуществлён путём введения обратных связей в контур управления. Например, при обнаружении вибраций на станке (из-за затупления режущего инструмента,

изменения динамической жёсткости в упругой системе станка или при изменении режимов резания) возможно введение обратной связи, направленной на регулирование частоты вращения шпинделя и/или изменение подачи. Алгоритм такого управления, как правило, является скрытым и доступ к нему является опцией, приобретаемой при покупке станка или его модернизации. Другим примером устранения вибраций является регулирование периодически изменяющейся скорости шпинделя. Наложение на постоянную скорость шпинделя её дополнительной периодической составляющей позволяет сдерживать вибрацию, например, при точении [4].

Что касается адаптивной системы, позволяющей регулировать, например, силовой параметр резания, за счёт изменения какого-либо кинематического параметра, то здесь решающее значение имеет способ взаимодействия информационной части адаптивной системы с системой ЧПУ станка и её исполнительная часть – электроприводом подачи.

Электропривод металлорежущих станков прошёл следующие этапы своего развития: система генератор-двигатель, привод на основе электромашиного усилителя, регулируемый вентильный электропривод постоянного тока (на основе управляемого выпрямителя), асинхронный частотный электропривод со скалярным регулированием частоты и напряжения, асинхронный частотный электропривод с векторным управлением и диапазоном регулирования 10...50 тысяч и более. При этом достижения на предыдущих этапах развития не терялись, а воспроизводились на новом более высоком уровне. Так произошло, например, с асинхронным электроприводом, который вначале использовался как нерегулируемый, в технологических приложениях типа «включить-выключить» (релейно-контакторное управление), затем наступил этап частотного управления асинхронным электродвигателем. Различные фирмы (Siemens, Schneider Electric, ООО «Станкоцентр» и другие) производят преобразователи частоты различной мощности, которые можно применять совместно с датчиками обратной связи по скорости (замкнутая система) и без этих датчиков (разомкнутая система). Однако для станков с ЧПУ требуется обеспечить не только прецизионную скорость перемещения рабочего органа, но также его точное пространственное положение. Поэтому система векторного управления АД строится по принципу вложенных замкнутых контуров с подчинённым регулированием координат, т.е. аналогично соответствующему электроприводу постоянного тока. Особенностью этих систем является иерархический принцип их построения по соответствующим регулируемым координатам: ток (нижний уровень иерархии), скорость (средний уровень), положение (верхний уровень).

Асинхронный электродвигатель относится к числу сложных объектов управления и только в последние годы высококачественный асинхронный

векторный электропривод нашёл повсеместное применение в станках с ЧПУ. Это стало возможным благодаря развитию быстродействующей микроэлектроники, способной реализовать сложные алгоритмы управления, а также благодаря развитию силовой электроники. Например, полностью управляемые транзисторы IGBT пришли на смену частично управляемым тиристорам (для закрытия тиристора требуется некоторое время, связанное с необходимостью изменить направление тока), и нашли самое широкое применение в качестве ключей в преобразователях частоты.

Сущность предлагаемого нового подхода к управлению станком заключается в том, что структуре «система (ЧПУ) – подсистема (адаптивная система)» ставится в соответствие структура «программа – подпрограмма». Т.е. устанавливается соответствие между технической системой – конструкцией и технической системой – процессом управления. В этом случае адаптивная система работает в штатных условиях, которые обеспечиваются системой ЧПУ.

Указанный подход реализован фирмой ООО «Станкоцентр» в системе ЧПУ “Flex NC”, которая имеет следующую структуру. Основой системы ЧПУ является управляющее устройство, выполненное на базе DSP (Digital Signal Processor) процессора, т.к. только сигнальный процессор может наиболее быстро выполнять функции управления в реальном времени. Это устройство включает в себя: 1) система ЧПУ, 2) контроллер электроавтоматики, 3) управляющая часть привода. Совмещение на одном процессоре трёх различных функций приводит к тому, что указанные устройства (контроллер движения) могут взаимодействовать друг с другом не только через ЧПУ, а непосредственно между собой на большой скорости. Появляется возможность уменьшить аппаратную часть (повышается надёжность всей системы), использовать другие алгоритмы управления, адаптировать весь комплекс под технологический процесс, контролировать многие параметры (например, силовой параметр резания), которые ранее были недоступны. Информация о силовых и температурных параметрах может быть использована для улучшения качества технологического процесса, диагностики технологической системы, повышения производительности обработки.

Экспериментальные исследования проводились на координатно-расточном станке мод. 24К40СФ4, оснащённом системой ЧПУ “Flex NC” при фрезеровании стальной заготовки с габаритными размерами 300x150x60 мм. В качестве сигнала крутящего момента использовали параметры электропривода с векторным управлением асинхронным электродвигателем. Адаптивную функцию прописывали в управляющей программе ЧПУ с целью реализации замкнутой системы адаптивного управления при фрезеровании плоскости концевой фрезой (рис. 1).

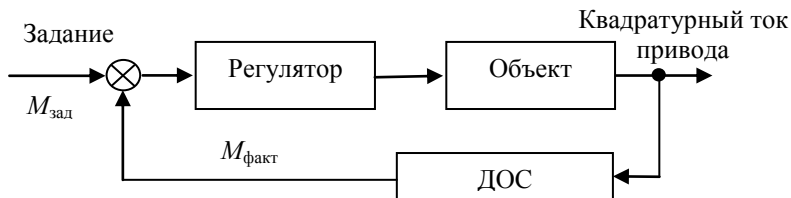


Рисунок 1 – Структурная схема замкнутой системы автоматического регулирования крутящего момента на шпинделе:

$M_{\text{зад}}$, $M_{\text{факт}}$ – заданный и фактический крутящие моменты;

ДОС – датчик обратной связи

Стабилизируя величину квадратурного тока, можно автоматически выбирать величину продольной подачи (рис. 2).

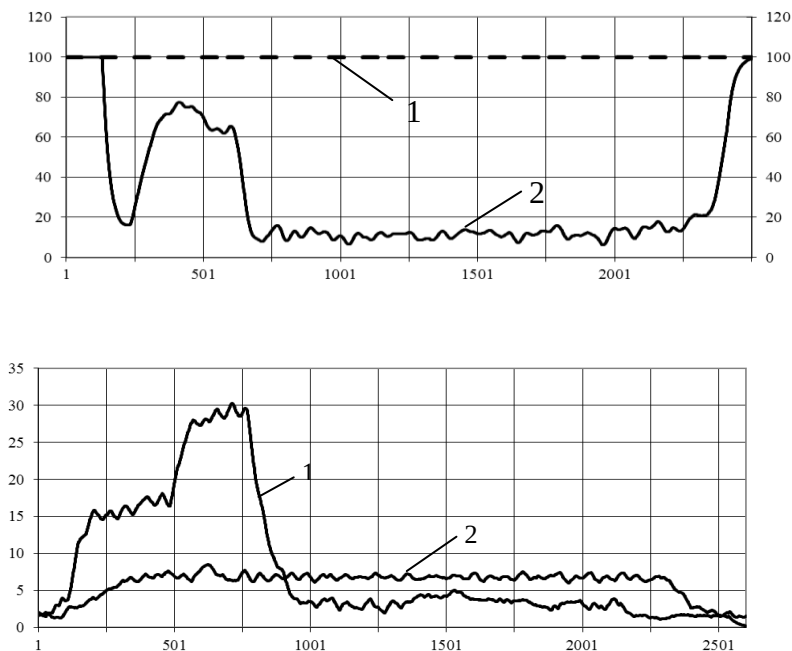


Рисунок 2 – Временные диаграммы нерегулируемого (1) и регулируемого (2) сигналов, характеризующих изменение подачи (сверху) и крутящего момента в процентах (снизу)

На рис. 2, а (линия 1) величина подачи 100% при фрезеровании и не регулируется. В результате имеем ступенчатое изменение крутящего момента на шпинделе (кривая 1 на рис. 2, б), вызванное ступенчатым изменением величины снимаемого припуска. При этом на первой ступени момент был 16.5 %, на второй – в среднем 28% (кривая 1 на рис. 2, б).

При включении адаптивной функции, в результате которой поддерживается момент 8 % от номинального момента (кривая 2 на рис. 2, б), при фрезеровании ступенчатой детали подача автоматически изменяется (кривая 2 на рис. 2, а): на первой ступени 70% от номинальной, на второй ступени – 10 %.

Таким образом, при автоматическом регулировании момента на шпинделе нагрузка на фрезу выравнивается, что приводит к стабилизации отжатый в технологической системе и способствует повышению точности обработки.

В качестве примера рассмотрим следующую строчку управляющей программы, которая определяет адаптивную функцию при обработке в других условиях (рис. 3): m32S15T2F100A100I2C8. Эта строка расшифровывается следующим образом:

m32 – включить функцию адаптивного поддержания (стабилизации) определенного момента на шпинделе инструмента;

S15 – номинальная величина (уставка) стабилизируемого момента на шпинделе составляет 15 % от максимального момента (поддерживается во время фрезерования за счёт регулирования подачи);

T2 – допуск (в процентах) на изменение стабилизируемого момента составляет ± 2 %;

F100 – подача в процентах от номинальной подачи 3000 мм/мин составляет 100 %, т.е. $F = 3000 \times 100 / 100 = 3000$ мм/мин;

A100 – максимальная подача в процентах составляет 100 %, т.е. составляет $3000 \times 100 / 100 = 3000$ мм/мин;

I2 – минимальная подача в процентах составляет $3000 \times 2 / 100 = 60$ мм/мин.

Переключение с рабочей подачи на ускоренную и обратно в автоматическом режиме позволяет сократить время непроизводительных перебегов инструмента за пределами детали и упростить управляющую программу (рис. 2, рис. 3). Кроме того, задание в ЧПУ необходимого уровня момента (нагрузка на электродвигателе привода) позволяет автоматически найти величину подачи, которая обеспечивает этот уровень, и, следовательно, нет необходимости программировать подачу. Это позволяет автоматизировать выбор режимов резания (в данном случае подачи). Настройка параметров регулятора (рис. 1) производится таким образом, чтобы устранить перерегулирование при врезании и обеспечить требуемое качество автоматического регулирования (рис. 2, рис. 3).

Подпрограмма адаптивной системы работает следующим образом (рис. 3).

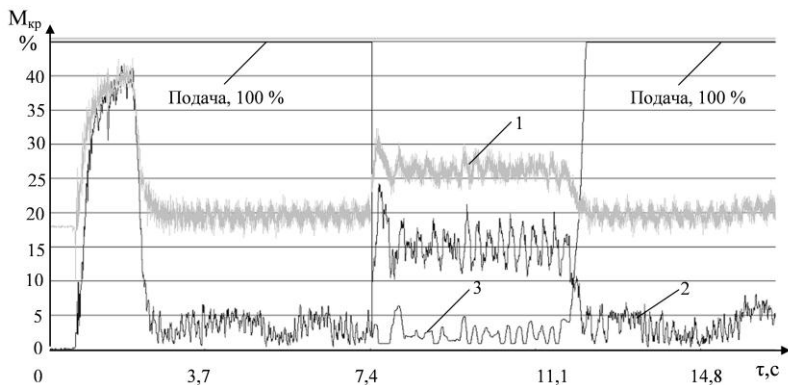


Рисунок 3 – Временные диаграммы регулируемого (кривые 1 и 2) и регулирующего (кривая 3) сигналов:

1, 2 – крутящий момент на шпинделе (%) до и после фильтрации, соответственно;
3 – продольная подача

Началом резания считается момент равный 8 % от максимального значения. При этом моменте начинается регулирование, т.е. поддержание постоянного момента главного двигателя на уровне 15 % (рис. 2). При врезании подача падает (от 3000 мм/мин до 65...70 мм/мин), обеспечивая поддержание момента на уровне 15% (100 % крутящего момента соответствует 28 Н·м). Все изменения момента выше 15 % + 2 % = 17 % приводят к уменьшению подачи, а ниже 15 % – 2 % = 13 % приводят к увеличению подачи. Диапазон изменения подачи составляет от 60 мм/мин до 3000 мм/мин (подача может меняться в 50 раз).

Шаг по времени на рис. 3 определяется следующим образом. Максимальная частота считывания данных составляет 2250 Гц. Эту величину можно задавать программным путем через коэффициент К. Т.е. фактическая частота измерений составляет 2250/К. Например, при К = 10 получаем 2250/10 = 225 Гц.

Для определения влияния времени работы фрезы на характер изменения сигнала крутящего момента проводились экспериментальные исследования на том же станке при фрезеровании заготовки с переменной твердостью по длине обработки (рис. 4).

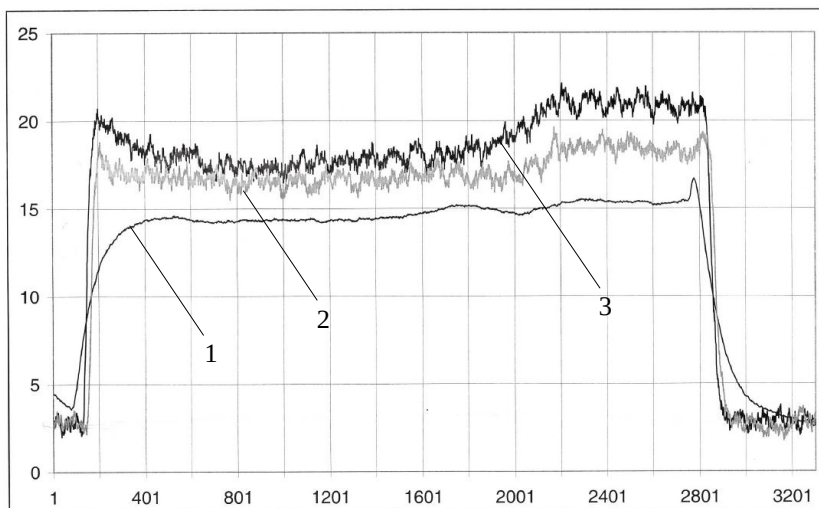


Рисунок 4 – Появление вибраций в сигнале крутящего момента по мере износа фрезы:

1, 2, 3 – в начале работы, после 15 рабочих ходов, после 25 рабочих ходов

График на рис. 4 показывает отфильтрованное, а не мгновенное значение крутящего момента. Необходимость фильтрации вызвана тем, что характер изменения момента на высокой частоте обусловлен выполняемым сервоциклом поддержания постоянной скорости шпинделя. Шпиндель работает как сервокоордината: небольшое отклонение от изменения скорости вращения приводит к изменению момента. За счёт этого происходит поддержание скорости на высокой частоте, эту частоту необходимо убрать из спектра, т.е. оставить только низкочастотные составляющие.

На рис. 4 очень хорошо видно как меняется момент при износе фрезы и как появляется высокочастотная составляющая. Момент изменялся в связи с переменной твёрдостью заготовки по длине обработки, т.к. деталь с торца была подкалена и твердость была разная по длине детали. Но это не значит, что эти вибрации перейдут на деталь, т.к. это колебания вращения или крутящего момента и как они перейдут на деталь по осям X и Y неизвестно, т.к. для этого необходимо измерить шероховатость и волнистость обработанной поверхности. Качество обработанной поверхности важно на этапе чистового фрезерования, для черновых операций ограничение по качеству поверхности вызвано влиянием технологической наследственности. Волнистость обработанной поверхности можно определять не только по

профилограмме обработанной поверхности, но также по виброакустическим колебаниям [5].

На рис. 4 приведены три графика. На нижнем графике (кривая 1) высокочастотная составляющая колебаний момента отсутствует. На двух других графиках (кривые 2 и 3) появляются высокочастотные колебания крутящего момента. Уровень колебаний составляет 2...10% от номинального момента, это очень много и может появиться волнистость на обрабатываемой поверхности.

Рост момента (рис. 4) связан с износом инструмента, а неравномерность момента связана с разной твердостью детали. На графиках (рис. 4) чётко видно, что общий уровень момента растёт при износе. Видно также, что при изношенном инструменте момент более чувствительный к изменению твердости детали. Увеличение момента приводит к появлению вибраций, причиной может явиться неравномерность износа зубьев фрезы, её биение или её вибрации. Видно, что крутящий момент при обработке изношенной фрезой по отношению к первоначальному крутящему моменту (когда фреза не изношена) составляет: $(2/15)100\% = 13,3\%$.

Исследования показали, что чем больше нагрузки при резании, тем больше вероятность, что система будет возбуждаться при той же её жесткости. Поэтому при износе фрезы вся картина меняется и без адаптивной системы не обойтись. Все очень нестабильно, поэтому по ходу процесса обработки много параметров необходимо измерять и изменять режимы резания. Если еще учесть влияние СОЖ, твердости детали, скорости резания, диаметра инструмента, материала, припуска и много других параметров, то задача предсказания крутящего момента получается очень сложная. Фактический контроль крутящего момента на станке с ЧПУ "Flex NC" не имеет этого недостатка.

Таким образом, крутящий момент чувствителен к износу фрезы и показывает степень её износа. Это можно использовать для диагностики состояния режущего инструмента. Важность обнаруженной закономерности обусловлена большим количеством факторов, влияющих на износ инструмента (материал инструмента и заготовки, СОЖ, режимы резания, припуск и т.д.).

Выводы

1. Для успешного функционирования ТС необходимо одновременное выполнение двух технических процессов: основного технологического и вспомогательного согласующего процесса управления.
2. Технологические резервы совершенствования лезвийной и абразивной обработки за счёт улучшения эксплуатационных свойств элементов ТС практически исчерпаны (это показал анализ) и дальнейшее повышение эффективности механической обработки возможно за счёт оптимизации

взаимодействия элементов ТС с учётом их взаимного влияния, в том числе при учёте СОТС в формировании оптимального взаимодействия элементов ТС.

3. Оптимизация взаимодействия элементов ТС является в методологическом смысле способом эффективного управления для обеспечения эффективного технологического процесса.

4. Результаты экспериментального исследования адаптивной системы на координатно-расточном станке с ЧПУ показывают работоспособность этой системы, обусловленную правильным выбором алгоритма коррекции параметров динамической модели объекта.

Список использованных: 1. Ковалев В.Д. Управление режимами обработки на тяжелом токарном станке посредством PLC модулей / В.Д. Ковалев, Я.В. Васильченко, М.С. Мельник // Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб. – Харьков, НТУ «ХПИ», 2014. – Вып. 84. – с. 115-123. 2. Стерлитамакский станкостроительный завод: приспособления, инструменты, технологии, станки. Каталог оборудования. – Стерлитамак: ССЗ, 2012. – 132 с. 3. OKUMA. Technical Sheet. M Navi. Помощник в достижении наивысшего уровня выполнения обработки резанием. – Екатеринбург: ООО «Пумори-инжиниринг инвест», 2012. – 28 с. 4. OKUMA. GENOS series. Токарные станки с ЧПУ с 1 суппортом. – Екатеринбург: ООО «Пумори-инжиниринг инвест», 2012. – 2 с. 5. Лищенко Н.В. Влияние вибраций на волнистость обрабатываемой поверхности при фрезеровании / Н.В. Лищенко, В.П. Ларшин // Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві: збірник наукових праць [Текст]. – Вип. 3(8) . – О.: Наука і техніка, 2015. – С. 254-260.

Bibliography (transliterated): 1. Kovalev V.D. Upravlenie rezhimami obrabotki na tyazhelom tokarnom stanke posredstvom PLC moduley / V.D. Kovalev, Ya.V. Vasil'chenko, M.S. Mel'nik // Rezanie i instrument v tekhnologicheskikh sistemakh: Mezhdunar. nauch.-tekhn. sb. – Khar'kov, NTU «KhPI», 2014. – Vyp. 84. – s. 115-123. 2. Sterlitamakskiy stankostroitel'nyy zavod: prispособleniya, instrumenty, tekhnologii, stanki. Katalog oborudovaniya. – Sterlitamak: SSZ, 2012. – 132 s. 3. OKUMA. Technical Sheet. M Navi. Pomoshchnik v dostizhenii naivyssshego urovnya vypolneniya obrabotki rezaniem. – Ekaterinburg: ООО «Pumori-inzhiniring invest», 2012. – 28 s. 4. OKUMA. GENOS series. Tokarnye stanki s ChPU s 1 supportom. – Ekaterinburg: ООО «Pumori-inzhiniring invest», 2012. – 2 s. 5. Lishchenko N.V. Vliyanie vibratsiy na volnistost' obrabatyvaemoy poverkhnosti pri frezerovanii / N.V. Lishchenko, V.P. Larshin // Informatsiyni tekhnologii v osviti, nautsi ta virobnitstvi: zbimik naukovikh prats' [Tekst]. – Vip. 3(8) . – O.: Nauka i tekhnika, 2015. – S. 254-260.

УДК 621.921

С.В. Рябченко, Киев, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ТАРЕЛЬЧАТЫМИ КРУГАМИ ИЗ КНБ

Розглядаються проблеми підвищення ефективності шліфування високоточних зубчастих коліс 3-4 ступеня точності з використанням інструментів з cBN. Досліджується ефективність тарельчастих кругів з кубічного нітриду бору на різних зв'язках.

Рассматриваются проблемы повышения эффективности шлифования высокоточных зубчатых колес 3-4 степени точности с использованием инструментов из cBN. Исследуется эффективность тарельчатых кругов из кубического нитрида бора на различных связках.

The problems of increasing the efficiency of grinding highly precision gearwheels of the 3-4 degree of precision using cBN tools are discussed. The efficiency of cubic boron nitride dish grinding wheels in various bonds has been studied.

Одним из главных направлений совершенствования процессов современной механической обработки является повышение эффективности изготовления деталей машин. Эффективность механической обработки определяется повышением производительности обработки, обеспечением качества и точности обработанных деталей, способностью инструмента сохранять свою износостойкость в период обработки детали. Обеспечение качества и производительности обработки высокоточных (3-4 степень) зубчатых колес связано с разработкой новых технологий и инструментов для шлифования. Главной проблемой шлифования зубчатых колес является повышение производительности обработки при сохранении качественных параметров и точности их зубьев.

Перспективным путем дальнейшего развития методов шлифования высокоточных зубчатых колес в значительной мере связано с применением инструмента из кубического нитрида бора (КНБ) [1]. Шлифование кругами из КНБ по сравнению с обработкой обычными абразивами имеет свои особенности: – шлифовальные круги из КНБ имеют существенно более высокая износостойкость; – их использование обеспечивает повышение качества поверхностного слоя обработанных изделий; – создается возможность шлифования без правки кругов или при минимальном его использовании [2].

Исследование процесса шлифования осуществляли на специальном стенде, созданном на базе зубошлифовального станка модели 5891 [3]. Станок был модернизирован для шлифования зубчатых колес с охлаждением и правкой кругов электроэрозионным методом. Зубошлифовальный станок

настраивали на нулевой метод шлифования зубчатых колес. Скорость шлифовального круга – $v_k = 27$ м/с, глубина шлифования – $t = 0,01\text{--}0,1$ мм, время обката на одном зубе – $\tau = 3\text{--}10$ с.

Работоспособность тарельчатых кругов оценивали следующими показателями: эффективной мощностью шлифования ($N_{\text{эф}}$), шероховатостью обработанной поверхности (Ra), точностью эвольвентного профиля зуба (f_p), величиной съема обрабатываемого материала и износом круга. Износ тарельчатого круга оценивали по изменению профиля слепка, оставленного на тонкой металлической пластине режущей частью вращающегося круга. Износ круга определяли по двум параметрам: износом по торцу – h и по диаметру – l .

Предварительно испытывались на работоспособность круги из кубического нитрида бора на органической связке 12A2 225×3×1,5×40 КРС 125/100 100 % В2-08, электрокорунда 24А 16 СМ2 6К5 и хромистого электрокорунда марки А89 16 СМ2 6К5. В качестве охлаждающей жидкости использовалось масло "Индустриальное 12". Результаты испытаний показаны в табл. 1.

Таблица 1 – Мощность $N_{\text{эф}}$ зубошлифования с охлаждением

Шлифовальный круг	Время τ , с	Глубина шлифования t , мм			
		0,01	0,03	0,05	0,1
Круг из КНБ	3	50	80	150	
	5	55	90	160	
	8	60	100	180	250
Круг из электрокорунда белого	3	100	190	290	
	5	110	200	320	
	8	120	210	380	650
Круг из электрокорунда хромистого	3	80	150	220	
	5	90	170	250	
	8	110	190	300	450

Анализ результатов шлифования показал, что эффективная мощность шлифования зубчатых колес в процессе обработки кругами из кубического нитрида бора в 2 раза меньше, чем при обработке кругами из электрокорунда белого и 1,5 раза меньше, чем при обработке кругами из электрокорунда хромистого. Процесс шлифования кругами из электрокорунда сопровождался интенсивным износом круга и потерей их режущей способности, что вызывало необходимость правки круга через каждые 3-5 зубьев. Правка кругов из КНБ осуществлялась после полного оборота колеса.

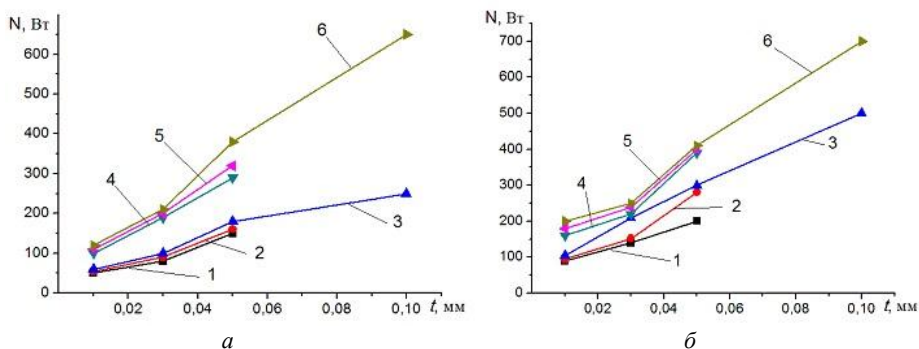


Рисунок 1 – Мощность зубошлифования с охлаждением (а) и без охлаждения (б)

(1, 4 при $\tau = 3$ с; 2, 5 – $\tau = 5$ с; 3, 6 – $\tau = 8$ с)

1, 2, 3 – круг из КНБ; 4, 5, 6 – круг из электрокорунда

Обработка результатов исследования эффективной мощности, позволила получить зависимость мощности зубошлифования от глубины резания и времени обката. Графики зависимости мощности шлифования зубчатого колеса кругами из электрокорунда и кубического нитрида бора с охлаждением (рис. 1, а) и без него (рис. 1, б) приведены на рисунках. Анализ результатов показывает, что интенсивное охлаждение снижает мощность шлифования при использовании шлифовальных кругов из КНБ в 1,5-2 раза. При использовании кругов из электрокорунда охлаждение уменьшает мощность шлифования на 20-50 %. На всех исследуемых режимах обработки мощность шлифования при использовании кругов из КНБ меньше, чем при использовании кругов из электрокорунда в 1,5-2 раза. Причем эта разница имеет тенденцию к увеличению с использованием охлаждения и повышению глубины резания.

Параллельно с исследованием кругов на работоспособность по критерию мощности шлифования, проводилась оценка шероховатости (Ra) эвольвентной поверхности зубчатых колес. Приведены графики изменения шероховатости поверхности зубчатых колес после обработки без охлаждения (рис. 2, а) и с охлаждением (рис. 2, б).

Анализируя результаты исследований шероховатости, заметна высокая шероховатость эвольвентной поверхности зубьев $Ra 1,0$ при шлифовании кругами из КНБ. Большая шероховатость микронеровностей при шлифовании зубчатых колес кругами из КНБ объясняется присутствием агрегированных зерен кубического нитрида бора с покрытием стеклом размером до 0,5-1 мм. На всех исследуемых режимах обработки характерно увеличение шероховатости поверхности при уменьшении времени обката зубчатого

колеса, причем при работе без охлаждения эта тенденция более выражена. Заметна также более высокая разница в шероховатости при работе с охлаждением между электрокорундом и кубическим нитридом бора. Так при работе без охлаждения разница в среднем составляет 20 %, а при работе с охлаждением до 45 %. Глубина резания на всех исследуемых диапазонах не оказывала существенного влияния на шероховатость поверхности, хотя тенденция к возрастанию шероховатости наблюдалась, причем для кругов из электрокорунда более характерно.

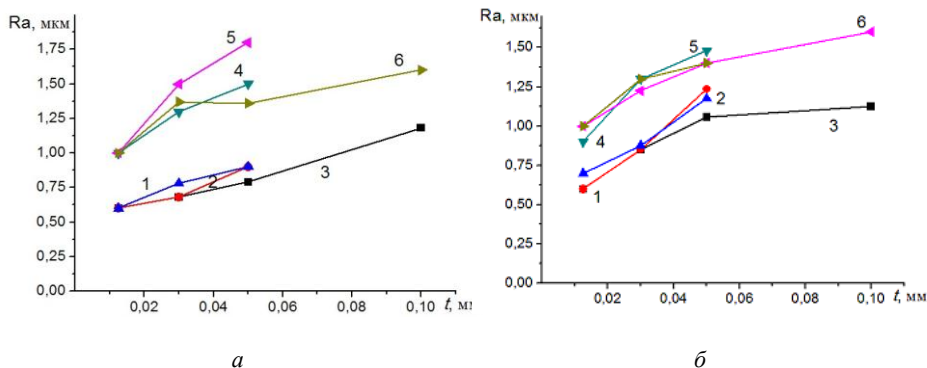


Рисунок 2 – Шероховатость поверхности зуба после обработки с охлаждением (а) и без охлаждения (б)
(1, 4 при $\tau = 3$ с; 2, 5 – $\tau = 5$ с; 3, 6 – $\tau = 8$ с)
1, 2, 3 – круг из КНБ; 4, 5, 6 – круг из электрокорунда

Испытание кругов из КНБ с металлопокрытием зерен (12A2 225×3×3×40 КРМ 125/100 100 % В2-08) показало, что шероховатость зуба уменьшалась в 2 раза по сравнению с кругами из КНБ с покрытием стеклом и составляла R_a 0,65. Мощность шлифования возрастает на 10–20 %, а износ кругов находится на одном уровне с кругами из КНБ с покрытием стеклом.

Исследования работоспособности при зубошлифовании тарельчатых кругов на керамических и металлических связках производился только при интенсивном охлаждении зоны шлифования. Предварительные испытания показали, что при работе без охлаждения на поверхности зубчатого колеса мгновенно образуются прижоги, а круги теряют режущую способность. Показатели мощности шлифования кругами из КНБ приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Мощность $N_{эф.}$ шлифования круг из КНБ на керамической связке С10

Движение шлифования	Время τ , с	Глубина шлифования t , мм			
		0,01	0,03	0,05	0,1
Прямой ход	3	60	100	180	
	5	65	115	190	
	8	75	120	210	300
Обратный ход	3	50	85	110	
	5	55	90	120	
	8	60	100	130	200

Зависимость мощности шлифования при прямом и обратном ходе каретки станка от глубины резания и времени обката при шлифовании кругами из КНБ на керамической связке С10 (12А2 225×3×40 КР 125/100 100 % С10), показано на рис. 3.

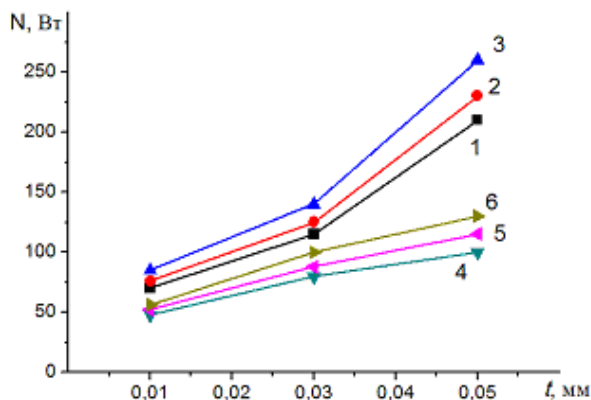


Рисунок 3 – Мощность зубошлифования с охлаждением круг КНБ на керамической связке С10
(1, 4 при $\tau = 3$ с; 2, 5 – $\tau = 5$ с; 3, 6 – $\tau = 8$ с)
1, 2, 3 – прямой ход; 4, 5, 6 – обратный ход

Отношение мощности шлифования на обратном ходе к мощности на прямом ходе каретки характеризует коэффициент режущей способности круга, чем он меньше, тем режущая способность круга выше.

Анализ результатов, показал, что мощность шлифования кругами из КНБ на керамической связке на 15-20 % выше по сравнению со шлифованием кругами

из КНБ на органических связках. Мощность шлифования практически не зависит от времени обката зубчатого колеса, хотя тенденция роста мощности заметна при уменьшении времени обката. Эта тенденция сохраняется, как на прямом, так и на обратном ходе каретки. Глубина резания существенно влияет на мощность шлифования и составляет $N_{эф} = 65 \pm 1,0$ Вт при $t = 0,01$ мм до $N_{эф} = 210 \pm 1,0$ Вт при $t = 0,05$ мм. Отношение мощности обратного хода к прямому составляет от 0,55 до 0,45, причем большее значение приходится на меньшую глубину шлифования, а меньшее – на большую. Шероховатость поверхности зубчатого колеса на всех исследуемых режимах находилась в пределах Ra 0,63-0,68. При этом большее значение определялось меньшим значением времени обката ($t = 3$ с), глубина резания на шероховатость не оказывала существенного влияния. Шлифование зубчатых колес кругами из КНБ на керамической связке обеспечивает высокую точность эвольвентного профиля зуба $f_f = 4,0 \pm 0,5$ мкм (зубья 1, 2, 5, 6, 9, 18, 21) по сравнению с исходным профилем $f_f = 8,0 \pm 0,5$ мкм (зубья 3, 4, 7, 8, 10–15) (рис. 4).

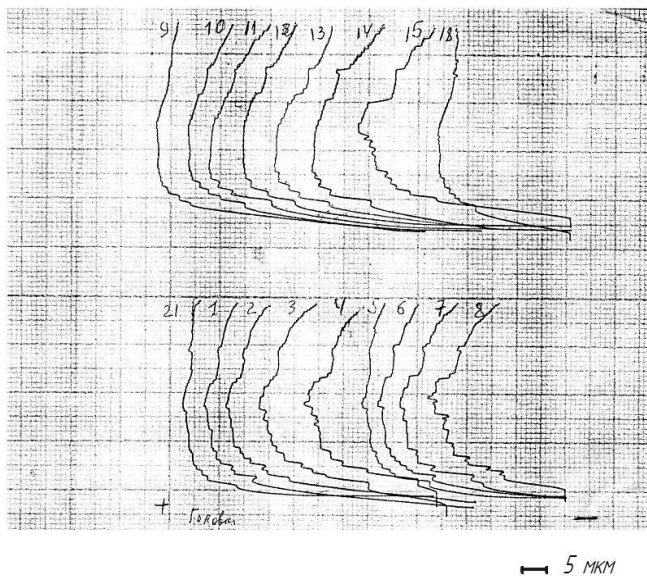


Рисунок 4 – Эвольвентограмма зубчатого колеса после шлифования кругом КНБ на керамической связке С10

Исследование работоспособности тарельчатых кругов из КНБ на металлической связке (12A2 225×3×3×40 КР 125/100 100 % М2-09) производилось с использованием правки круга электроэрозионным методом. Показатели мощности шлифования кругами из КНБ приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Мощность $N_{эф}$ шлифования круг из КНБ на металлической связке М2-09

Движение шлифования	Время τ , с	Глубина шлифования t , мм			
		0,01	0,03	0,05	0,1
Прямой ход	3	65	110	195	260
	5	70	120	200	280
	8	80	130	230	320
Обратный ход	3	50	70	100	210
	5	50	70	95	205
	8	55	75	100	200

Зависимость мощности шлифования при прямом и обратном ходе каретки станка от глубины резания и времени обката, показана на рис. 5.

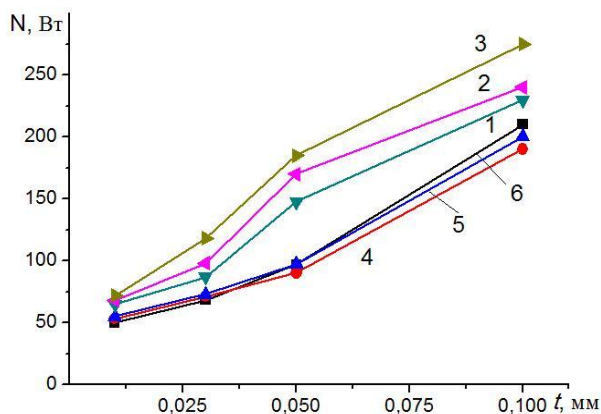


Рисунок 5 – Мощность зубошлифования с охлаждением круг КНБ на металлической связке М2-09
(1, 4 – при $\tau = 3$ с; 2, 5 – $\tau = 5$ с; 3, 6 – $\tau = 8$ с)
1, 2, 3 – прямой ход; 4, 5, 6 – обратный ход

Анализ результатов показал, что мощность шлифования кругами из КНБ на металлической связке на 20-30 % выше по сравнению со шлифованием кругами из КНБ на органических связках. Мощность шлифования практически не зависит от времени обката зубчатого колеса, хотя тенденция роста заметна при его уменьшении. Глубина резания существенно влияет на мощность шлифования и составляет от $N_{эф} = 70 \pm 1,0$ Вт при $t = 0,01$ мм до $N_{эф} = 260 \pm 1,0$ Вт при $t = 0,1$ мм. Отношение мощности обратного хода к прямому составляет от 0,7 до 0,65, причем большее

значение приходится на меньшую глубину шлифования, а меньшее – на большую. Шероховатость поверхности зубчатого колеса на всех исследуемых режимах находилась в пределах $Ra\ 0,7\text{--}0,75$. При этом большее значение определялось меньшим значением времени обката ($t = 3\text{ с}$), глубина резания на шероховатость не оказывала существенного влияния. Шлифование зубчатых колес кругами из КНБ на металлической связке обеспечивает высокую точность эвольвентного профиля зуба $f_f = 5,0 \pm 0,5\text{ мкм}$ (зубья 1, 9, 13, 18) по сравнению с исходным профилем зуба $f_f = 8,0 \pm 0,5\text{ мкм}$ (зубья 12, 16, 21) (рис. 6).

Выхаживание не дает заметного улучшения точности эвольвентного профиля зубчатого колеса после одного чернового прохода (зуб 20). Для получения высокой точности эвольвентного профиля необходимо проведение 2-3 чистовых проходов (зуб 17) и последующее выхаживание (зуб 18). Шлифование зубчатых колес кругами из КНБ на металлических связках обеспечивает разность соседних шагов зубчатого колеса 2-4 мкм, что также является показателем высокой точности.

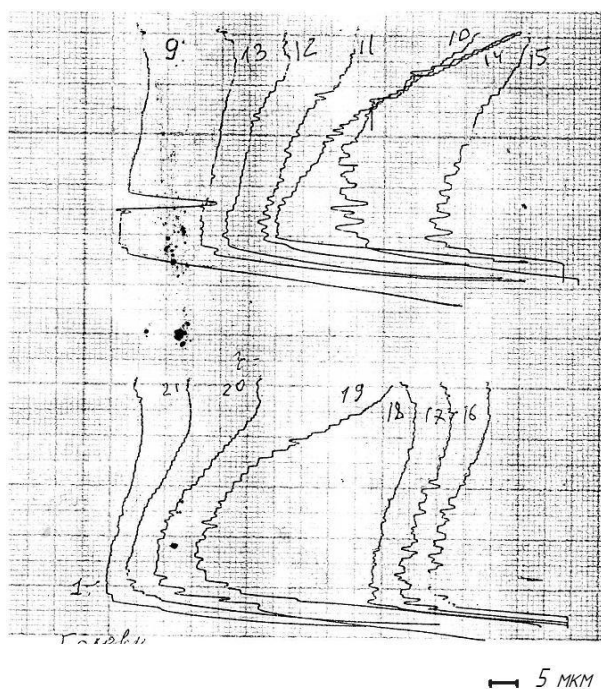


Рисунок 6 – Эвольвентограмма зубчатого колеса после шлифования кругом КНБ на металлической связке М2-09

Дальнейшие исследования процесса шлифования были направлены на определение износа тарельчатых кругов из КНБ. Исследовалась общая закономерность износа тарельчатого шлифовального круга из КНБ и точность обработки эвольвентного профиля зубчатого колеса.

На рис. 7 приведен график изменения погрешности профиля f_f в зависимости от количества обработанных зубьев. Возрастание погрешности профиля до $f_f = 14 \pm 0,1$ мкм после шлифования первых 2-3 зубьев объясняется деформацией технологической системы от усилий резания. При дальнейшем шлифовании зубчатого колеса на первом проходе погрешность профиля составляет $f_f = 10,0 \pm 0,5$ мкм.

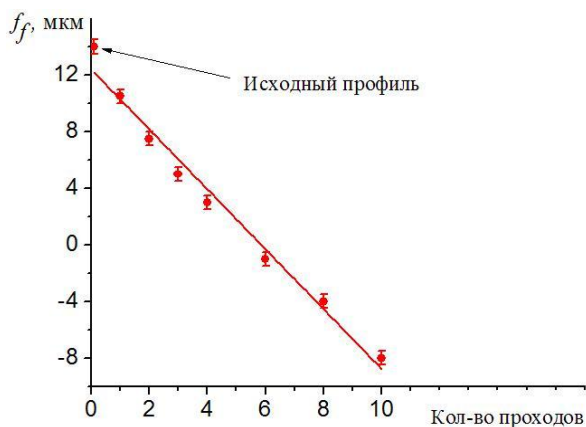


Рисунок 7 – Изменение погрешности профиля f_f от количества проходов

Плавное снижение погрешности на последующих проходах можно объяснить компенсацией этих деформаций износом круга, что подтверждается резким отрицательным отклонением профиля, полученным в результате выхаживающих проходов после 10-ти циклов с глубиной резания $t = 0,05$ мм.

Характер изменения мощности по проходам (рис. 8) показывает уменьшение мощности на первом проходе с $150 \pm 1,0$ Вт до $130 \pm 1,0$ Вт и затем снижение до $120 \pm 1,0$ Вт и стабилизацию мощности шлифования после четырех проходов на уровне $105 \pm 1,0$ Вт.

Анализ графиков погрешности профиля зуба и мощности резания говорит о том, что при обработке зубчатого колеса режущая способность круга не снижается. Происходит размерный износ круга, о чем говорит изменение величин $l = 2,2$ мм и $h = 0,13$ мм соответственно, а также

изменение фактического съема после каждого прохода (коэффициент съема припуска в среднем изменился с 0,5 до 0,7).

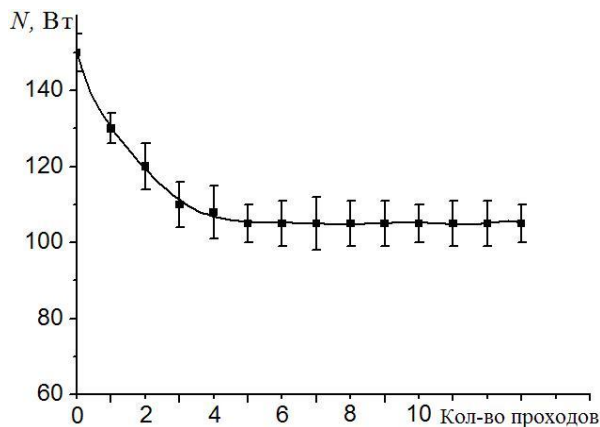


Рисунок 8 – Зависимость изменения мощности от количества проходо

В результате исследований установлено, что при черновом шлифовании после первого прохода на режущей кромке круга формируется площадка износа размером $h = 30\text{--}50$ мкм, который соответствует величине прирабочного износа. Аналогичный результат получен при финишном шлифовании зубчатых колес: на режущей кромке круга формируется площадка износа, однако, гораздо меньшего размера до $h = 30$ мкм.

Анализ результатов изменения мощности шлифования показал, что в течение всей обработки мощность резания практически остается на одном уровне. Не изменяется и фактический съем материала, который находится в пределах 0,61–0,5. Это обстоятельство говорит о том, что в процессе шлифования зубчатых колес тарельчатый круг из КНБ работает в режиме самозатачивания. Изменяются только геометрические параметры шлифовального круга за счет его износа. Для уменьшения периода приработки шлифовального круга из КНБ на режущей кромке необходимо предварительно, за счет осуществления соответствующей правки, сформировать фаску размером $h = 0,03\text{--}0,05$ мм.

Список использованных источников: 1. Рябченко С.В. Повышение эффективности шлифования высокоточных зубчатых колес кругами из КНБ / С.В. Рябченко // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць. – Краматорськ : ДДМА, 2008. – Вип. 23. – С. 95–102. 2. Новиков Н.В. Сверхтвердые материалы. Получение и применение. В 6 т. / под общ.

ред. *Н.В. Новикова*. – К. : ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины; ИПЦ «АЛКОН» НАН Украины, 2003. – Т. 6: Алмазно-абразивный инструмент в технологиях механообработки / отв. ред. *А.А. Шепелев*. – 2007. – 340с. 3. *Рябченко С.В.* Износ кругов из СТМ при зубошлифовании / *С.В. Рябченко* // Резание и инструмент в технологических системах : междунар. науч.-техн. сб. – Харьков : НТУ "ХПИ", 2008. – Вып.75. – С. 343-348.

Bibliography (transliterated): 1. Rjabchenko S.V. Povyshenie jeffektivnosti shlifovanija vysokotochnyh zubchatyh koles krugami iz KNB / S.V. Rjabchenko // Nadijnist' instrumentu ta optimizacija tehnologichnih sistem : zb. nauk. prac'. – Kramators'k : DDMA, 2008. – Vip. 23. – S. 95-102. 2. Novikov N.V. Sverhtverdye materialy. Poluchenie i primenenie. V 6 t. / pod obshh. red. N.V. Novikova. – K. : ISM im. V.N. Bakulja NAN Ukrainy; IPC «ALKON» NAN Ukrainy, 2003. – Т. 6: Алмазно-абразивный инструмент в технологиях механообработки / отв. ред. *А.А. Шепелев*. – 2007. – 340с. 3. Rjabchenko S.V. Izнос кругов из СТМ при зубошлифовании / *С.В. Рябченко* // Резание и инструмент в технологических системах : mezhdunar. nauch.-tehn. sb. – Har'kov : NTU "HPI", 2008. – Вып.75. – С. 343-348.

УДК 621.787.4

Н.В. Рязанова-Хитровская, И.Н. Пыжов, д-р техн. наук, Н.В. Крюкова,
Харьков, Украина

НЕКОТОРЫЕ ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА АЛМАЗНОГО ВЫГЛАЖИВАНИЯ

Наводиться аналіз стану питання в області алмазного вигладжування. Особливу увагу приділено питанням можливості теоретичного розрахунку сил і температури при обробці. Висунута ідея про можливість підвищення ефективності процесу шляхом управління контактними напруженнями в зоні вигладжування на базі досліджень напружено-деформованого стану системи шляхом 3D моделювання методом скінчених елементів.

Приводится анализ состояния вопроса в области алмазного выглаживания. Особое внимание уделено вопросам возможности теоретического расчета сил и температуры при обработке. Выдвинута идея о возможности повышения эффективности процесса путем управления контактными напряжениями в зоне выглаживания на базе исследований напряженно-деформированного состояния системы путем 3D моделирования методом конечных элементов.

The analysis of the prior art in the field of diamond smoothing is carried out. Special attention is paid to the possibility of theoretical computation of the forces and temperatures during processing. The idea that it is possible to increase the efficiency of the process by means of controlling the contact stresses in the smoothing zone on the basis of investigations of deflected mode of the system by means of 3D simulation using finite element method is proposed.

1. Постановка проблемы. Одним из методов отделочной обработки, обеспечивающих существенное улучшение эксплуатационных свойств деталей машин, является алмазное выглаживание. Алмазное выглаживание сопоставимо с такими методами обработки, как суперфиниш, хонингование, полирование, тонкое шлифование, тонкое точение, обработка роликами и шариками. Вопрос о целесообразности применения выглаживания вместо других методов отделочной обработки необходимо решать в каждом конкретном случае с учетом как технических требований к обрабатываемой поверхности и необходимой производительности, так и надежности обработанных деталей.

2. Анализ последних исследований и публикаций. При подготовке данного раздела за основу был принят источник [1]. Процесс алмазного выглаживания, впервые предложенный фирмой «Дженерал электрик» (США) в 1962 г., является сравнительно новым и эффективным методом отделочно-упрочняющей обработки, применяемым для выглаживания наружных и внутренних поверхностей вращения с цилиндрическим, коническим или фасонным профилем, а также для обработки торцовых и плоских

поверхностей. Его сущность заключается в пластическом деформировании обрабатываемой поверхности заготовки в результате воздействия на неё алмазного выглаживающего инструмента, упруго или жестки закрепленного в специальной державке. Если говорить в целом, то метод позволяет существенно снизить шероховатость поверхности ($R_a \leq 0,3$ мкм); обеспечить степень упрочнения поверхностного слоя деталей на 10...30% при глубине слоя 0,01...0,3 мм; создать в поверхностном слое сжимающие остаточные напряжения величиной до 500-700 МПа и обеспечить более однородную структуру материала. При этом точность формы остается практически исходной или незначительно улучшается, а изменение размеров (Δd) происходит в пределах исходной высоты микронеровностей $R_{Z\text{исх.}}$ и может быть определено по зависимости: $\Delta d = 1,1 \div 1,5 \cdot R_{Z\text{исх.}}$.

Благодаря тому, что процесс выглаживания обеспечивает увеличение предела выносливости и сопротивления усталости деталей и, как следствие, повышает их надежность и долговечность, он нашел применение в автомобильной, авиационной, машиностроительной и др. отраслях промышленности. Он может быть использован для обработки даже металлов, подвергнутых покрытиям.

Основными параметрами процесса выглаживания, влияющими на качество поверхности и производительность обработки, являются: напряженное состояние в зоне контакта инструмента с обрабатываемой поверхностью, скорость деформирования и кратность приложения нагрузки к каждой точке обрабатываемой поверхности. Напряженное состояние в зоне контакта может быть охарактеризовано средним давлением на площади контакта и определяется механическими свойствами обрабатываемого материала, размером рабочей части инструмента и глубиной его внедрения в обрабатываемую поверхность (или приложенной к нему силой).

Обрабатываемые материалы и детали. Алмазным выглаживанием можно обработать почти все применяющиеся в промышленности металлы и сплавы, поддающиеся пластической деформации в холодном состоянии. Это закаленные и незакаленные стали, цветные металлы, хромированные, никелированные и другие детали. Исключением являются такие материалы как титан, цирконий [2] и ниобий [3], которые при выглаживании интенсивно налипают на рабочую часть выглаживателя.

Выглаживанием можно обрабатывать наружные и внутренние цилиндрические поверхности, плоские и некоторые виды профильных поверхностей – цилиндрические шейки валов, детали топливной аппаратуры, штоки, цилиндры, поршневые пальцы, втулки, направляющие станков, кольца подшипников и другие детали, к рабочим поверхностям которых предъявляются высокие требования, а также тонкостенные и маложесткие детали.

Однако не во всех случаях можно применить этот метод. Алмазное выглаживание чувствительно к неравномерной твердости, которая является следствием некачественной термической обработки. Основные параметры процесса – радиус выглаживателя и сила выглаживания выбираются в зависимости от твердости обрабатываемой поверхности. Поэтому на участках с повышенной твердостью эффективность обработки снижается, а на участках с пониженной, по сравнению с расчетной, твердостью вследствие чрезмерного внедрения выглаживателя происходит ухудшение качества поверхности и возможно появление вибраций. Твердость выглаживаемой поверхности должна строго выдерживаться в заданных пределах. Например, для закаленных сталей разброс твердости обрабатываемой поверхности не должен превышать 2-3 единицы твердости по Роквеллу.

Вследствие хрупкости алмаза затруднительна обработка прерывистых поверхностей – со шпоночными канавками, шлицами, поперечными отверстиями, так как при этом возникают сильные ударные нагрузки, которые могут вызвать сколы на рабочей поверхности алмаза. Выглаживание поверхностей, имеющих поперечные канавки, затруднений не представляет. При отсутствии фаски со стороны входа и выхода выглаживателя образуется заусенец, поэтому в таких местах необходимо предусматривать фаску или удалять после выглаживания заусенец. Затруднительно выглаживание цилиндрических поверхностей с упором в торец. В этом случае необходимо предусматривать канавки или допускать невыглаженный участок шириной 2 - 3 мм, прилегающий к торцу.

Выглаживание можно производить на обычных универсальных и специальных станках: токарных, токарно-винторезных, расточных, алмазно-расточных, строгальных, вертикально-фрезерных и агрегатных с нормальной и повышенной точностью. Вследствие малых сил при выглаживании станки мало изнашиваются. Наиболее распространенным является выглаживание па токарных станках. При этом особое внимание следует обращать на величину радиального биения шпинделя (не более 0,01 - 0,02 мм) и жесткость суппорта. При выглаживании с жестким закреплением выглаживателя к станку предъявляются повышенные требования точности. Подача при выглаживании должна быть равной 0,02 - 0,08 мм/об если на станке такие подачи не предусмотрены, необходима соответствующая перенастройка механизма подачи [4].

При выглаживании обычно применяются скорости до 150 м/мин, поэтому привод станка должен обеспечить возможность работы на таких скоростях. Станок должен быть также оснащен устройством для подачи СОТС.

Шероховатость обработанной поверхности. Минимальная величина шероховатости, достижимая при алмазном выглаживании, определяется

размером рабочей части алмаза значением подачи, шероховатостью рабочей части алмаза, величиной пластических искажений [1].

Так, например, относительно влияния подачи S на шероховатость справедлива классическая зависимость (для конкретного радиуса выглаживателя r без учета упругого восстановления и пластических искажений профиля) [5]:

$$R_z = r - \frac{\sqrt{4 \cdot r^2 - S^2}}{2}.$$

Основное влияние на наименьшую достижимую величину шероховатости оказывает величина пластического искажения неровностей. Величина пластических искажений микропрофиля тем меньше, чем менее пластичен обрабатываемый материал. Для малопластичных материалов (цементированные и закаленные стали) величина пластических искажений профиля гораздо меньше, поэтому наименьшая достижимая величина шероховатости для закаленных сталей меньше. Так, например, шероховатость при выглаживании закаленной стали ШХ15 составляет $R_a \approx 0,012$ мкм при исходной шероховатости $R_a = 0,1-0,05$ мкм. При выглаживании мягкой стали 45 с исходной шероховатостью $R_a = 0,1-0,05$ мкм получена шероховатость не выше $R_a = 0,025$ мкм. Такие же результаты получены и другими исследователями [3]. Было проведено сравнение обработанных поверхностей ($R_a = 0,1$ мкм), полученных различными способами (при прочих равных условиях) по такому критерию как относительная опорная длина профиля η . Оно показало, что для уровня сечения профиля равного 20 % ее величина для выглаженной поверхности равна 35%, для суперфинишированной – 17 %, для полированной – 12 %, и для шлифованной – 4 %.

Исходная шероховатость не всегда может быть полностью сглажена. Это зависит от ее высоты, а также от пластичности обрабатываемого материала. При малой пластичности обрабатываемого материала и большой высоте исходных неровностей они сглаживаются лишь частично. Как при полном, так и при частичном сглаживании исходной шероховатости профиль вновь образующихся неровностей имеет округлую форму, отличную от формы неровностей, полученных при обработке резанием.

Сила выглаживания. Величина сил выглаживания зависит от радиуса и формы рабочей части выглаживателя, пластичности и шероховатости обрабатываемой поверхности, от глубины внедрения выглаживателя в обрабатываемую поверхность, подачи и некоторых других факторов.

Основной силой, создающей необходимое давление в зоне контакта инструмента с обрабатываемой деталью, является нормальная составляющая P_y . Составляющие P_x и P_z в 10-20 раз меньше нормальной

силы [1, 6-8]. Поэтому в качестве силы выглаживания P можно принимать ее нормальную составляющую P_y (ошибка не превышает 1-1,5%).

На основании приближенного решения задачи о скольжении жесткого радиусного выглаживателя по пластической поверхности зависимости P_y можно представить следующими уравнениями:

$$P = P_y = C_y \cdot R \cdot h \cdot \sigma_\tau; \quad (1)$$

где C_y – коэффициенты, учитывающие конкретные условия обработки; R – радиус рабочей части выглаживателя, мм; h – глубина внедрения выглаживателя, мм; σ_τ – предел текучести обрабатываемого материала, Н/м².

Для расчета силы выглаживания можно пользоваться формулой (1) заменив абсолютную глубину внедрения выглаживателя h относительной глубиной:

$$P = C \cdot \varepsilon \cdot \sigma_\tau \cdot R^2,$$

где C – коэффициент, равный π .

Нормальное протекание процесса выглаживания происходит при определенных значениях относительной глубины внедрения ε инструмента в обрабатываемую поверхность. При относительной глубине внедрения, меньшей определенной величины ε_1 , инструмент с обрабатываемой поверхностью имеет упругую связь и выглаживания не происходит. При относительной глубине внедрения, большей определенной величины ε_2 , пластическое течение материала прекращается и начинается разрушение поверхностного слоя детали. Нормальное протекание процесса обеспечивается при $\varepsilon_2 > \varepsilon > \varepsilon_1$.

Условие перехода от упругой деформации к пластической, т. е. условие начала процесса выглаживания по данным И.В. Крагельского [9]:

$$\varepsilon_1 = \frac{h}{R} = 240 \frac{\sigma_\tau^2}{E^2}.$$

где E – модуль упругости, МПа.

Однако, большинство расчетов проводятся только по отношению глубины внедрения к радиусу инструмента.

Расчеты показывают, что практические значения ε_1 , при которых начинается процесс выглаживания, равны 0,002 - 0,004 для закаленных сталей и 0,0002 - 0,0007 для мягких материалов. Максимальная величина относительной глубины внедрения ε_2 , при которой пластическое течение материала начинает сопровождаться отделением части металла, равна

0,2 - 0,3 (по данным И.В. Крагельского и др.). Однако допустимое внедрение алмаза ограничивается глубиной, при которой вид обрабатываемой поверхности ухудшается, возникает ее перенаклеп и появляются вибрации. Относительную глубину внедрения $\varepsilon_2=0,01 - 0,02$ можно считать предельной.

Максимальная и минимальная допустимые величины силы выглаживания задаются исходя из необходимости обеспечения стабильности качества выглаженной поверхности. Задав величины максимального и минимального пределов силы выглаживания, можно определить допустимые значения скорости выглаживания.

Тепловые явления. Затрачиваемая в процессе выглаживания энергия почти вся переходит в тепло, нагревающее деталь и инструмент. Нагрев тонких поверхностных слоев детали в процессе обработки влияет на качество обработанной поверхности, на величину и знак остаточных напряжений, структурное и фазовое состояние металла.

В работе [] на основании аналитического расчета тепловых потоков рекомендуется формула, позволяющая рассчитать максимальную температуру на площадке контакта выглаживателя с деталью (единицы измерения приводятся согласно оригиналу):

$$\Theta_{\max} = \frac{4 \cdot P_z \cdot a_{\partial} \cdot \tau_m + L}{I \cdot l \cdot \Delta \lambda_{\partial} \cdot \left[\frac{4\sqrt{2} \cdot a_{\partial} \cdot \lambda_u}{\Delta V \cdot \lambda_{\partial}} \cdot \tau_0 + L + I \right]}, \quad (2)$$

где P_z – тангенциальная сила при выглаживании в Н; a_{∂} – коэффициент температуропроводности материала детали в $\text{м}^2/\text{с}$; λ_{∂} и λ_u – соответственно коэффициенты теплопроводности материалов детали и инструмента в $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; I – термический эквивалент работы в $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; l – радиус пятна контакта выглаживателя с деталью в м; Δ – глубина проникновения пластических деформаций в центре площадки контакта и м; V – скорость алмазного выглаживания в м/с; L – безразмерная величина, учитывающая повышение температуры на площадке контакта от тепла, полученного деталью на предыдущих оборотах; τ_0 и τ_m – безразмерные критерии.

Анализ формулы (2) показывает, что при увеличении скорости выглаживания температура на площадке контакта возрастает, причем наиболее нагретые участки, расположенные за центром теплового источника, смещаются к концу площадки контакта. Экспериментальную проверку температур в зоне контакта выглаживателя с деталью проводили с помощью полупроводниковой термопары, сигнал которой регистрировался электронным осциллографом [3]. На рис. 1 показаны сравнительные данные расчетных и экспериментальных значений максимальной температуры на площадке контакта от скорости выглаживания закаленной стали ШХ15 (HRC 62-64).

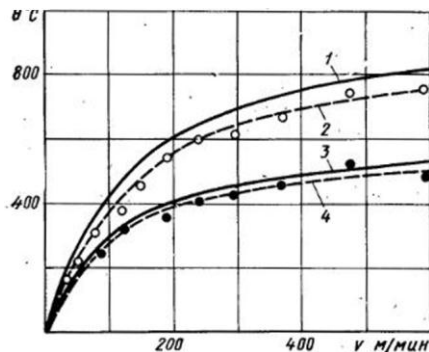


Рисунок 1 – Зависимость максимальной температуры на площадке контакта Θ выглаживателя с деталью от скорости V [1]
Условия обработки: $R_{сф}=2$ мм; 1, 3 – расчетные значения, 2, 4 – экспериментальные значения температуры

Наибольшая скорость выглаживания, ограничиваемая теплостойкостью алмаза, равна 400–600 м/мин. При обычно применяемых скоростях выглаживания (менее 100 м/мин) максимальные температуры на площадке контакта не превышают 200–400 °С. Можно полагать, что такие сравнительно невысокие и кратковременно действующие температуры не вызывают существенных изменений в структурном состоянии металла; однако они оказывают влияние на его напряженное состояние.

Остаточные напряжения. При механической обработке в поверхностных слоях деталей возникают остаточные напряжения, которые влияют на эксплуатационные качества обработанной поверхности. Появление остаточных напряжений вызывается пластической деформацией и нагревом поверхностного слоя в процессе обработки. В результате действия пластической деформации возникают сжимающие остаточные напряжения, а действие температурного фактора приводит к возникновению растягивающих остаточных напряжений. Кроме того, в поверхностных слоях при механической обработке возможны фазовые превращения и связанные с этим объемные изменения, что также вызывает появление остаточных напряжений.

При алмазном выглаживании поверхностный слой обрабатываемой детали испытывает интенсивную пластическую деформацию, нагрев же его невелик. Все это должно обуславливать появление в поверхностном слое сжимающих остаточных напряжений.

Установлено, что напряженное состояние поверхностного слоя существенно зависит от формы рабочей части выглаживателя. Если при выглаживании инструментами сферической формы максимальные тангенциальные напряжения находятся на некоторой глубине, то при

выглаживании инструментами цилиндрической формы они находятся на поверхности детали. Глубина распространения их значительно меньше (0,15 - 0,20 мм), чем при выглаживании инструментами сферической формы [7-8].

В поверхностном слое после алмазного выглаживания создаются значительные по величине сжимающие остаточные напряжения, плавно изменяющиеся по глубине поверхностного слоя. Общая глубина залегания сжимающих напряжений может составлять до 0,45 мм. Максимум тангенциальных остаточных напряжений располагается на глубине 0,03-0,10 мм. Основным фактором процесса выглаживания, влияющим на напряженное состояние, является сила нормального давления. Изменяя величину силы, можно регулировать величину и глубину распространения остаточных напряжений в широких пределах.

3. Цель исследования. Целью настоящей работы является установление возможных путей повышения эффективности процесса алмазного выглаживания.

4. Материалы исследований.

На основании анализа источников информации нами была выдвинута идея о возможности повышения эффективности процесса выглаживания путем управления контактными напряжениями в зоне обработки на базе исследований напряженно-деформированного состояния (НДС) системы путем 3D моделирования методом конечных элементов [10, 11].

Компьютерное моделирование. В настоящее время в мировой практике наблюдается тенденция перехода от двухмерного к трехмерному моделированию, что связано с необходимостью повышения адекватности и информационной достаточности моделей. Предпосылкой такого перехода является развитие метода конечных элементов (МКЭ) аппаратных возможностей вычислительной техники и программного обеспечения. Новые возможности моделирования процесса поверхностного пластического деформирования открылись с появлением пакетов программ по МКЭ типа SolidWork, Nostran, Ansys, LS-Dyna и др. Отметим, что существующие теоретические модели, основанные на аналитическом описании, и численные модели в рамках статической постановки задачи, не дают возможности в полной мере воспроизвести реальную картину развития процессов, протекающих в тонком поверхностном слое в условиях выглаживания.

Задачу повышения эффективности процесса выглаживания можно разделить на два направления. Первое связано с изготовлением самого выглаживателя, а второе – с его эксплуатацией.

Использование компьютерных технологий на стадии изготовления алмазного выглаживателя дает возможность уменьшить время на проектирование и в дальнейшем избежать различного рода неполадок в работе инструмента [11].

Моделирование процесса изготовления алмазного выглаживателя проходило в следующем порядке:

- создание модели выглаживателя (державка – припой – покрытие – алмаз);
- создание процесса термосилового нагружения.

На рис. 2 показан результат исследования НДС при запайке алмаза в корпус.

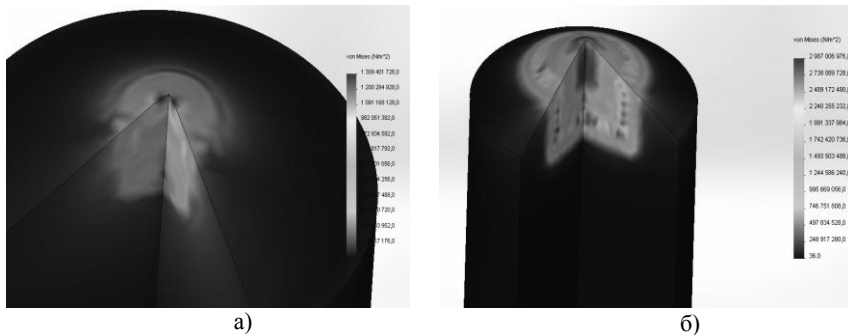


Рисунок 2 – Результаты расчета НДС при изготовлении алмазного выглаживателя:
а) – алмаз без покрытия; б) – алмаз с никелевым покрытием

Установлено, что при одинаковых температурных и силовых факторах наличие на алмазе металлического покрытия способствует сохранению целостности алмаза что, несомненно, положительным образом скажется как на проценте брака при изготовлении инструментов, так и на их работоспособности. Это доказывает необходимость использования покрытия при изготовлении инструмента.

5. Выводы и перспективы развития. Таким образом, уже на стадии изготовления алмазных выглаживателей можно повысить эффективность процесса выглаживания в целом. Применение металлического покрытия на алмазе позволяет, во-первых, увеличить удержание алмаза в державке инструмента, а во-вторых, избежать растрескивания алмаза при изготовлении. В целом это способствует повышению общего срока службы алмазного выглаживания и улучшению качества обработки.

В дальнейшем представляет значительный интерес вопрос углубления представлений о физических явления, протекающих в контактной зоне. Это можно сделать на основе использования компьютерного программного пакета CosmosWorks, являющегося приложением к SOLIDWORKS. Это позволит при существенном снижении затрат на проведение исследований изучить НДС в системе «Алмаз – металлическое покрытие – припой – ОМ»,

что в свою очередь даст возможность уточнить рациональные условия реализации процесса алмазного выглаживания и в конечном итоге позволит в целом повысить его эффективность путем управления контактными напряжениями.

Список использованных источников: 1. Торбило В.М. Алмазное выглаживание. «Машиностроение». 1972, – 105 с. 2. Хворостухин Л.А., Пleshивцев Н.В., Бибaeв В.Н. Отделочно-упрочняющая обработка алмазным выглаживанием. «Вестник машиностроения». 1969. № 8. 3. Чекин Г.И. О процессе алмазного выглаживания. «Вестник машиностроения», 1964, № 8. 4. Hull E.H. Diamond burnishing «Machinery (N.Y.)». 1962. v. 68. N5. 5. Исаев А.И. Микрогеометрия поверхности при токарной обработке / А.И. Исаев. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1950. -108с. 6. Гурин Ф.В., Смелянский В.М. Натяг и сила при алмазном выглаживании с жестким закреплением инструмента. Сб. «Новые процессы обработки резанием». М., «Машиностроение», 1968. 7. Резников А.Н., Барац Я.И. Применение алмазного выглаживания для отделочно-упрочняющей обработки. «Вестник машиностроения», 1970, № 1. 8. Чекин Г.И. Алмазное выглаживание закаленных сталей. «Вестник машиностроения», 1965. № 6. 9. Крагельский И.В. Трение и износ. М., «Машиностроение», 1968. 10. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике – М.: Мир, 1975. 11. Грабченко А.И., Доброскок В.Л., Федорович В.А. 3D моделирование алмазно-абразивных инструментов и процессов шлифования. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. – 364с.

Bibliography (transliterated): 1. Torbilo V.M. Almaznoe vyglazhivanie. «Mashinostroenie». 1972, – 105 s. 2. Hvorostuhin L.A., Pleshivcev H.V., Bibaev V.N. Otdelочно-uprochnjajushhaja obrabotka almaznym vyglazhivaniem. «Vestnik mashinostroenija». 1969. № 8. 3. Chekin G.I. O processe almaznogo vyglazhivaniya. «Vestnik mashinostroenija», 1964, № 8. 4. Hull E.H. Diamond burnishing «Machinery (N.Y.)». 1962. v. 68. N5. 5. Isaev A.I. Mikrogeometrija poverhnosti pri tokarnoj obrabotke / A.I. Isaev. – M.-L.: Izd-vo AN SSSR, 1950. -108s. 6. Gurin F.V., Smeljanskij V.M. Natjag i sila pri almaznom vyglazhivanii s zhestkim zakrepleniem instrumenta. Sb. «Novye processy obrabotki rezaniem». M., «Mashinostroenie», 1968. 7. Reznikov A.N., Barac Ja.I. Primenenie almaznogo vyglazhivaniya dlja otdelочно-uprochnjajushhej obrabotki. «Vestnik mashinostroenija», 1970, № 1. 8. Chekin G.I. Almaznoe vyglazhivanie zakalennyh stalej. «Vestnik mashinostroenija», 1965. № 6. 9. Kragel'skij I.V. Trenie i iznos. M., «Mashinostroenie», 1968. 10. Zenkevich O. Metod konechnyh jelementov v tehnike – M.: Mir, 1975. 11. Grabchenko A.I., Dobroskok V.L., Fedorovich V.A. 3D modelirovanie almazno-abrazivnyh instrumentov i processov shlifovanija. – Har'kov: NTU «HPI», 2006. – 364s.

Е.К. Севидова, канд. техн. наук, Харьков, Украина

ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ИМПУЛЬСНОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ КОРРОЗИОННО-ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УПРОЧНЯЮЩИХ НАНОСТРУКТУРНЫХ ПОКРЫТИЙ

Проведено дослідження корозійно-електрохімічних властивостей нанокристалічних покриттів TiN з розміром кристалітів 15 ... 25 нм, які осаджували РІІІ&D методом на підкладку з нержавіючої сталі 12Х18Н10Т. Встановлено, що збільшення амплітуди імпульсної напруги відємного зміщення щодо підкладки від 0,5 до 2,5 кВ призводить до активізації анодних процесів системи підкладка-покриття в розчині 3% NaCl. Показано, що корозійно-електрохімічна активність падає з ростом товщини покриття в діапазоні 1,6...9 мкм.

Проведены исследования коррозионно-электрохимических свойств нанокристаллических покрытий TiN с размером кристаллитов 15...25 нм, осажденных РІІІ&D методом на подложку из нержавеющей стали 12Х18Н10Т. Установлено, что увеличение амплитуды импульсного напряжения отрицательного смещения на подложке от 0,5 до 2,5 кВ приводит к активизации анодных процессов системы подложка-покрытие в растворе 3 % NaCl. Показано, что коррозионно-электрохимическая активность падает с ростом толщины покрытия в диапазоне 1,6...9 мкм.

Investigations of corrosion-electrochemical properties of nanocrystalline coatings TiN with crystallite size 15 ... 25 nm deposited by РІІІ&D on a stainless steel substrate 12Х18Н10Т are done. It has been established that the increase of the amplitude of the pulse voltage with negative bias on the substrate of from 0.5 to 2.5 kV leads to activation of anode processes of the substrate-coating system in a solution of 3% NaCl. It is shown that corrosion electrochemical activity decreases with film thickness increasing in the range of 1.6...9 μ m.

Введение

Многочисленные исследования в области разработки наноструктурных покрытий, в т.ч. нанокристаллических, показали, что их уникальные физико-механические свойства и функционально-эксплуатационные характеристики существенно зависят от способа и режимных параметров формирования защитных слоёв [1-5].

Применительно к методу плазменной иммерсионной ионной имплантации и осаждения (РІІІ&D) из фильтрованной вакуумно-дуговой плазмы [2, 6] было установлено, что к таким параметрам относятся: давление реакционного газа, скорость напыления, плотность плазменного потока, вид и величина отрицательного смещения на подложке, в частности амплитуда импульсного потенциала. Оптимальное сочетание этих факторов должно обеспечивать функциональную долговечность покрытий, зависящую не только от высоких значений микротвёрдости и модуля упругости, но также от

уровня остаточных напряжений в них, толщины, адгезионной и когезионной прочности, дефектности и т.п.

В случае использования наноструктурных покрытий на изделиях и инструментах, эксплуатируемых в агрессивных средах, необходимо учитывать их коррозионно-защитные свойства, которые будут определяться коррозионной стойкостью материала самого покрытия и его сплошностью, зависящей, в свою очередь, от толщины и внутренних напряжений. Изменение режимных параметров зачастую по-разному влияет на физико-механические и коррозионно-химические свойства.

Целью настоящей работы являлась оценка влияния величины амплитуды импульсного потенциала отрицательного смещения на коррозионно-электрохимические свойства износостойких наноструктурных покрытий нитрида титана.

Методика экспериментов

Осаждение покрытий производили вакуумно-дуговым методом на установке «Прогресс» с использованием прямолинейного источника катодной плазмы, разработанным в ННЦ ХФТИ [7].

Покрытия напыляли на полированные подложки размером 17x20x0,6 мм, изготовленные из нержавеющей стали 12Х18Н10Т.

Перед размещением в вакуумной камере подложки очищали ацетоном и спиртом в ультразвуковой ванне в течение 15 минут.

В камере поверхность образцов последовательно подвергалась очистке ионной бомбардировкой в тлеющем импульсном разряде в среде аргона при давлении 4 Па и импульсах отрицательного смещения 2,5 кВ, а затем распылением ионами катодной плазмы при том же импульсном потенциале смещения и давлении аргона 0,01 Па. Время обработки соответственно составляло 5 и 3 минуты.

Формирование покрытий TiN проводили с током дуги 100 А, давлением азота 0,13 Па и аргона 0,013 Па. Значения амплитуды импульсного потенциала $U_{\text{амп}}$, прикладываемого к подложке, изменялось и было равно – 0,5; –1,0 и –2,5 кВ.

Частота и длительность высоковольтных импульсов составляли 24 кГц и 5 мкс соответственно. В интервалах между импульсами подложка находилась под самосогласованным “плавающим” потенциалом порядка 13 В.

Величину кристаллитов сформированных покрытий ($d \sim 15...25$ нм) оценивали рентгенографическим методом по области когерентного рассеивания (ОКР). Толщину покрытий определяли на микроинтерферометре МИИ-4.

Коррозионно-электрохимические свойства покрытий оценивали путём снятия анодных кривых (АПК) и измерения потенциалов коррозии ($E_{\text{кор}}$). В качестве коррозионной среды использовали 3%-ный раствор хлорида натрия.

Значения потенциалов в таблице приведены относительно хлорсеребряного электрода.

Обсуждение результатов исследования

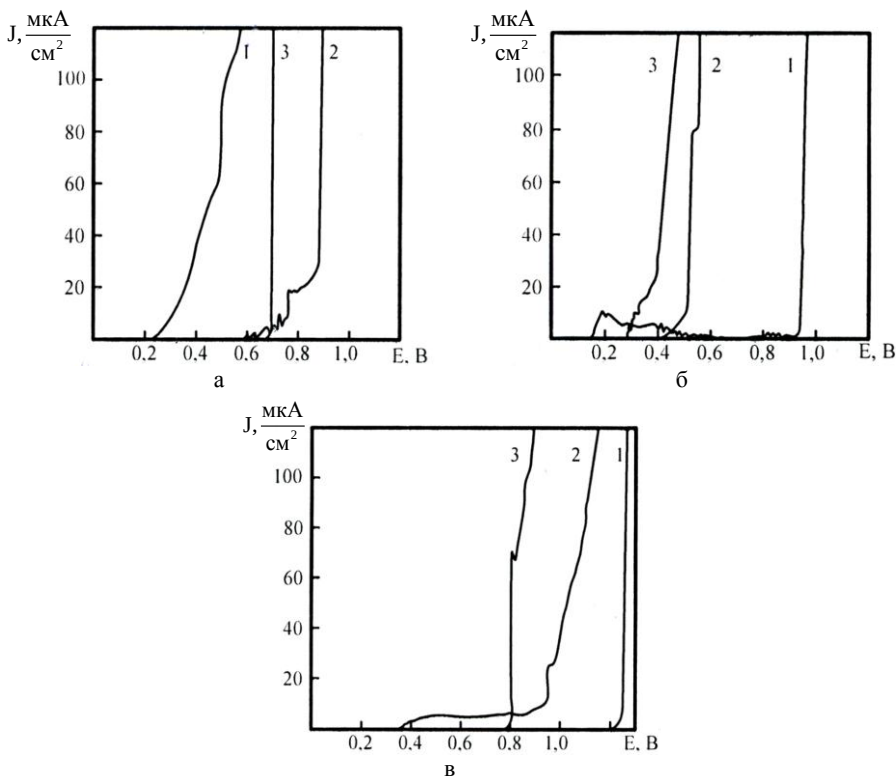
Анализ представленных в таблице значений $E_{кор}$ не позволяет сделать однозначный вывод о характере влияния амплитуды импульсного напряжения на коррозионно-электрохимическую активность исследуемых покрытий. Их изменение во времени для всех групп образцов носит нерегулярный характер, связанный с «облагораживанием» (сдвигом в область положительных значений) или «разоблагораживанием», что косвенно свидетельствует о затихании или активации коррозионно-электрохимических процессов, происходящих в системе: подложка (12X18H10T) – покрытие (нанокристаллический TiN). Различные значения $E_{кор}$ для образцов с покрытиями, напылёнными при идентичном давлении азота и импульсном потенциале, но с различными толщинами, свидетельствуют также о пористости (дефектности) напылённых слоёв в диапазоне толщин $h=1,8...9$ мкм (см. табл.) и влиянии материала подложки – стали 12X18H10T – на формирование интегральной величины потенциала коррозии.

Таблица – Влияние амплитуды импульсного напряжения на потенциалы коррозии

$U_{амп},$ кВ	$h,$ мкм	$E_{кор}$ В через $\tau,$ час		
		0,5	1,0	120
2,5	8	0,08	0,17	0,03
	4,8	-0,28	-0,09	-0,15
	1,9	-0,05	-0,30	-0,04
1,0	8	-0,22	-0,18	-0,16
	3,6	-0,21	-0,15	-
	1,6	-0,16	-0,08	-0,17
0,5	9	0,05	0,03	-0,05
	5,2	-0,12	0,08	-0,12
	1,8	-0,02	0,03	0,08

Подтверждением вышеприведенному служат характеристики АПК (см. рис.). Их анализ показывает, что на исследуемых образцах происходят различные по природе окислительные процессы. С учётом пористости внешних слоёв и термодинамических характеристик, входящих в систему субстанций 12X18H10T и TiN, рост анодного тока может быть связан как с образованием оксидов различного состава на стали и TiN, так и активным растворением в виде хлоридов (питтинговым пробоем). При потенциалах $>0,82$ В по отношению к н.в.э. (нормальному водородному электроду) в

растворе NaCl термодинамически возможна также параллельная реакция выделения кислорода.



Диапазоны толщин покрытия, мкм:

а – 1,6...1,8;

б – 3,6...5,2;

в – 8,0...9,0

Амплитуда импульсного напряжения, кВ:

1 – 0,5;

2 – 1,0;

3 – 2,5

Рисунок – Анодные поляризационные кривые образцов с покрытиями TiN различной толщины, сформированными при различной амплитуде импульсного напряжения отрицательного смещения под давлением азота 0,13 Па

Поляризационные зависимости позволяют выявить определённую закономерность влияния амплитуды импульсного потенциала на электрохимическую активность образцов с покрытием TiN – она растёт при увеличении $U_{\text{амп}}$ от 0,5 до 2,5 кВ. Однозначно этот эффект проявляется на покрытиях средней (рис., б) и большей толщины (рис., в).

Полученные результаты не вписываются в концепцию объяснения их с точки зрения взаимосвязи с ростом остаточных напряжений сжатия в покрытии и, соответственно, растяжения в подложке, что вызывало бы активацию анодных процессов на ней в местах дефектов защитного слоя. В работе [8] было установлено, что внутренние напряжения падают с ростом $U_{амп}$. Следовательно, можно предположить, что преобладающее влияние на электрохимическое поведение образцов с покрытием в данном случае оказывает структура покрытий и связанная с ней ориентация главных плоскостей нанокристаллов относительно нормали к поверхности покрытий. В работе [8] было также установлено, что с увеличением амплитуды импульсного потенциала текстура [111] перестраивается на [220], столбчатая структура становится более ярко выраженной. При этом растёт как область когерентного рассеивания, так и поперечный размер зёрен. При столбчатой структуре возможно увеличение толщины межзёренных границ, что в свою очередь может привести к коррозионно-электрохимической активации образцов с такими покрытиями. Изменение порядка положения анодных кривых образцов с диапазоном минимальных толщин защитных слоёв (рис., а) вызвано, скорее всего, сменой приоритетного влияния относительно наибольших значений внутренних напряжений в покрытии, возникающих при $U_{амп}=0,5$ кВ.

Сопоставление АПК для образцов с покрытиями различной толщины и одинаковыми значениями $U_{амп}$ (рис., а-в) позволяет констатировать, что минимальную электрохимическую активность при всех вариантах значений $U_{амп}$ проявляют образцы с максимальной толщиной (рис., в). Именно этот фактор (толщина слоя) можно считать одним из определяющих в формировании коррозионно-защитных свойств нанокристаллических покрытий, поскольку от него зависит укрывная сплошность защитного слоя, количество и размер сквозных дефектов (пор), оголяющих подложку.

Заключение

1. На основе анализа результатов электрохимических исследований установлено, что увеличение амплитуды высоковольтного импульсного напряжения отрицательного смещения от 0,5 до 2,5 кВ активизирует анодные процессы на образцах с нанокристаллическими покрытиями TiN. С учётом ранее установленного факта падения внутренних напряжений в покрытии с ростом $U_{амп}$ данный эффект можно объяснить изменением структуры покрытий, столбчатый характер которой становится более выраженным.

2. Выявлено, что при одинаковых значениях $U_{амп}$ электрохимическая активность образцов с покрытием падает с ростом толщины последнего, что свидетельствует об уменьшении в нем сквозных дефектов.

Автор благодарит В. В. Васильева, А. А. Лучанинова и В. Е. Стрельниченко за предоставленные образцы, советы и комментарии.

Список литературы: 1. Погребняк, А. Д. Влияние параметров осаждения нитридов высокоэнтропийных сплавов (TiZrHfVNb)N на их структуру, состав, механические и трибологические свойства / А. Д. Погребняк, И. В. Якущенко, G. Abadias и др. // Сверхтвёрдые материалы. – 2013. – № 6. – С. 36-51. 2. Белоус, В. А. Структура и механические свойства защитных покрытий Ti-Al-Si-N, осаждённых из сепарированной плазмы вакуумной дуги / В. А. Белоус, А. С. Куприн, С. Н. Дуб и др. // Сверхтвёрдые материалы. – 2013. – № 1. – С. 27-39. 3. Решетняк, В. Н. Синтез упрочняющих наноструктурных покрытий / В. Н. Решетняк, В. Е. Стрельницкий // Вопросы атомной науки и техники. – 2008. – № 2. – С. 119-130. 4. Veprek, S. Industrial applications of superhard nanocomposite coatings / S. Veprek, M. J. G. Veprek-Heijman // Surface and Coatings Technology. – 2008. – Vol. 202. – PP. 5063-5073. 5. Погребняк, А. Д. Триботехнические, физико-механические свойства и термическая стабильность нано- и микрокомпозитных покрытий на основе Ti-Al-N / А. Д. Погребняк, А. А. Дробышевская, М. В. Ильяшенко и др. // Физическая инженерия поверхности. – 2010. – Т. 8. – № 1. – С. 20-27. 6. Васильев В. В. Коррозионная стойкость наноструктурных TiAlYN покрытий, синтезированных PIII&D методом из фильтрованной вакуумно-дуговой катодной плазмы / В. В. Васильев, А. А. Лучанинов, Е. К. Севидова, В. Е. Стрельницкий // Вопросы атомной науки и техники. – 2015. – № 2. – С. 100-104. 7. Васильев В. В. Способ транспортировки с фильтрованием от макрочастиц вакуумно-дуговой катодной плазмы и устройство для его осуществления / В. В. Васильев, В. Е. Стрельницкий // Патент России № 2507305, 20.02.2014, приоритет 01.09.2011. 8. Васильев В. В. Влияние импульсного потенциала смещения на структуру и твердость покрытий, осажденных из фильтрованной вакуумно-дуговой плазмы / В. В. Васильев, А. А. Лучанинов, В. Н. Решетняк и др. // Сб. тр. 4-й междунар. науч. конф. «Физико-химические основы формирования и модификации микро- и наноструктур» (ФММН-2010, 6-8 окт. 2010, Харьков). – Т. 1. – С. 85-89.

Bibliography (transliterated): 1. Pogrebnyak, A. D. Vliyanie parametrov osazhdeniya nitridov vysokoentropijnyh spлавov (TiZrHfVNb)N na ih strukturu, sostav, mehanicheskie i tribologicheskie svojstva / A. D. Pogrebnyak, I. V. Yakushhenko, G. Abadias i dr. // Sverhtvjordye materialy. – 2013. – № 6. – S. 36-51. 2. Belous, V. A. Struktura i mehanicheskie svojstva zashhitnyh pokrytij Ti-Al-Si-N, osazhdjonnyh iz separirovannoj plazmy vakuumnoj dugi / V. A. Belous, A. S. Kuprin, S. N. Dub i dr. // Sverhtvjordye materialy. – 2013. – № 1. – S. 27-39. 3. Reshetnjak, V. N. Sintez uprochnijajushhih nanostrukturnykh pokrytij / V. N. Reshetnjak, V. E. Strel'nickij // Voprosy atomnoj nauki i tehniki. – 2008. – № 2. – S. 119-130. 4. Veprek, S. Industrial applications of superhard nanocomposite coatings / S. Veprek, M. J. G. Veprek-Heijman // Surface and Coatings Technology. – 2008. – Vol. 202. – PP. 5063-5073. 5. Pogrebnyak, A. D. Tribotekhnicheskie, fiziko-mekhanicheskie svojstva i termicheskaja stabil'nost' nano- i mikrokompozitnyh pokrytij na osnove Ti-Al-N / A. D. Pogrebnyak, A. A. Drobyshevskaja, M. V. Il'jashenko i dr. // Fizicheskaja inzhenerija poverhnosti. – 2010. – T. 8. – № 1. – S. 20-27. 6. Vasil'ev V. V. Korrozionnaja stojkost' nanostrukturnykh TiAlYN pokrytij, sintezirovannyh PIII&D metodom iz fil'trovannoj vakuumno-dugovoj katodnoj plazmy / V. V. Vasil'ev, A. A. Luchaninov, E. K. Sevidova, V. E. Strel'nickij // Voprosy atomnoj nauki i tehniki. – 2015. – № 2. – S. 100-104. 7. Vasil'ev V. V. Sposob transportirovki s fil'trovaniem ot makrochastich vakuumno-dugovoj katodnoj plazmy i ustrojstvo dlja ego osushhestvlenija / V. V. Vasil'ev, V. E. Strel'nickij // Patent Rossii № 2507305, 20.02.2014, prioritet 01.09.2011. 8. Vasil'ev V. V. Vlijanie impul'snogo potentsiala smeshhenija na strukturu i tverdst' pokrytij, osazhdennyh iz fil'trovannoj vakuumno-dugovoj plazmy / V. V. Vasil'ev, A. A. Luchaninov, V. N. Reshetnjak i dr. // Sb. tr. 4-j mezhdunar. nauch. konf. «Fiziko-himicheskie osnovy formirovanija i modifikacii mikro- i nanostruktur» (FMMN-2010, 6-8 okt. 2010, Har'kov). – T. 1. – S. 85-89.

УДК 621.923

Р.М. Стрельчук, канд. техн. наук, Харьков, Украина

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЯ В КОНТАКТНОЙ ЗОНЕ ЗАГОТОВКИ И ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА С УЧЕТОМ ЕГО ИЗНАШИВАНИЯ

Представлено математичне моделювання тепловиділення при шліфуванні конструкційних матеріалів з урахуванням зміни стану робочої поверхні абразивного інструменту в процесі його експлуатації.

Представлено математическое моделирование тепловыделения при шлифовании конструкционных материалов с учетом изменения состояния рабочей поверхности абразивного инструмента в процессе его эксплуатации.

The mathematical modeling of heat during grinding of construction materials taking into account changes in the state of the working surface of the abrasive tool during its operation.

Как известно, качество поверхностных слоев деталей, подвергаемых шлифованию, в значительной степени определяется температурным фактором абразивной обработки.

Рассматриваемому вопросу посвящено большое количество исследований, анализ которых выявил следующие недостатки:

- известные математические модели тепловыделения при абразивной обработке не позволяют учитывать изменения числа и интенсивности температурных импульсов от вершин зерен шлифовального круга в процессе его эксплуатации;

- не учитывается влияние изменения формы рабочей поверхности абразивного инструмента вследствие изнашивания на распределение температур в поверхностном слое заготовки;

- остается невыясненным влияние на тепловыделение динамики съема металла при многократном взаимодействии абразивного инструмента с рассматриваемым участком обрабатываемой поверхности заготовки;

- применение в моделях прогнозирования тепловыделения силы резания, расчет точного значения которой в течение всего периода стойкости инструмента представляет известные трудности, приводит к значительному снижению эффективности таких моделей.

В этой связи приведенные ниже результаты исследований являются актуальными и представляют интерес как с научной, так и с практической точки зрения.

В основу построения температурного поля поверхностного слоя заготовки может быть положена зависимость [4]

$$T = \frac{q\sqrt{a}}{2\lambda\sqrt{\pi}} \frac{\rho}{z} \int_0^{\tau} \left[\frac{e^{-\frac{(z-\rho)^2}{4a(t-t')}}}{\sqrt{t-t'}} - \frac{e^{-\frac{(z-\rho)^2+2za_z}{4a(t-t')}}}{\sqrt{t-t'}} \right] dt', \quad (1)$$

где q – мощность (интенсивность) теплового источника; λ , a – соответственно теплопроводность и температуропроводность обрабатываемого материала; ρ – радиус вершины зерна; a_z – глубина внедрения зерна в металл; τ – время действия теплового источника; z – координата точки, в которой нужно определить температуру; t – время; t' – переменная интегрирования.

Время действия теплового источника определяется следующим образом:

$$\tau = \frac{\rho \arccos\left(1 - \frac{a_z}{\rho}\right)}{\sqrt{(V_k \pm V_z)^2 + V_s^2}}, \quad (2)$$

где V_k – скорость вращения круга; V_z – скорость вращения заготовки; V_s – скорость продольной подачи; знак «+» принимается при встречном шлифовании, когда векторы скоростей заготовки и шлифовального круга направлены в противоположные стороны, знак «–» – при попутном шлифовании, когда направления этих векторов совпадают.

Для успешного применения зависимости (1) необходимо решить две задачи: во-первых, определить интенсивность тепловых источников от вершин зерен круга q ; во-вторых, определить количество тепловых импульсов (зерен круга) i , действующих в пределах контактной зоны абразивного инструмента и заготовки за время их контакта.

При решении первой задачи следует принять во внимание, что источником теплоты при шлифовании является пластическая деформация обрабатываемого материала и трение вершин зерен о заготовку. Поэтому интенсивность теплового источника (абразивного зерна) можно определить путем анализа работы деформирования и трения в срезаемом слое. Интенсивность q теплового источника имеет вид:

$$q = q_{\text{деф}} + q_{\text{тр}}, \quad (3)$$

где $q_{\text{деф}}$ – интенсивность теплового источника от деформации; $q_{\text{тр}}$ – интенсивность теплового источника от трения.

Для определения $q_{\text{деф}}$ выделим элементарный объем поверхностного слоя. Вершина абразивного зерна при перемещении вызывает его упругую и пластическую деформацию, и появление на его гранях напряжений (рис. 1).

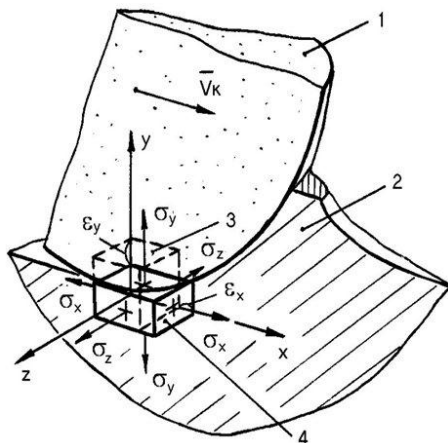


Рисунок 1 – Схема взаимодействия вершины абразивного зерна (1) с металлом (2):
3,4 – элементарный объем поверхностного слоя
соответственно до и после взаимодействия с вершиной зерна

Работа этих напряжений $A_{\text{деф}}$ определяется следующим образом [2]:

$$A_{\text{деф}} = \int_0^{\varepsilon_i} \sigma_i d\varepsilon_i, \quad (4)$$

где σ_i , ε_i – обобщенные напряжения и деформация рассматриваемого объема.

Для упрочняющихся металлов удобна линейно-степенная аппроксимация диаграммы $\sigma_i - \varepsilon_i$, которая в упругой зоне является линейной, т.е.

$\sigma_i = E\varepsilon_i$ (где E – модуль упругости), а в пластичной зоне – степенной, т.е.

$\sigma_i = k\varepsilon_i^n$, где k и n – некоторые константы. Учитывая это, уравнение для $A_{\text{деф}}$ можно преобразовать к виду:

$$A_{\text{деф}} = E \frac{\varepsilon_{\tau}^2}{2} + k \frac{\varepsilon_i^{n+1} - \varepsilon_{\tau}^{n+1}}{n+1}, \quad (5)$$

где ε_{τ} – обобщенная деформация металла, соответствующая напряжению $\sigma_i = \sigma_{\tau}$ (σ_{τ} – предел текучести материала поверхностного слоя). В большинстве случаев $\varepsilon_{\tau} \ll \varepsilon_i$, поэтому

$$A_{\text{деф}} = k \frac{\varepsilon_i^{n+1}}{n+1} = \frac{\sigma_i \varepsilon_i}{n+1}. \quad (6)$$

Теперь, располагая величиной $A_{\text{деф}}$, можно определить интенсивность

теплого источника от деформации:

$$q_{\text{деф}} = \frac{\sigma_i \varepsilon_i}{n+1} V_k, \quad (7)$$

Для определения $q_{\text{тр}}$ воспользуемся зависимостью [3]:

$$q_{\text{тр}} = 0,5 \mu t_s V_k, \quad (8)$$

где μ – коэффициент трения вершины зерна о металл; $t_s = \frac{\sigma_i}{\sqrt{3}}$.

Таким образом, интенсивность теплового источника (абразивного зерна)

$$q = \frac{\sigma_i \varepsilon_i}{n+1} V_k + 0,5 \mu t_s V_k. \quad (9)$$

По этой формуле можно определить q , если известны обобщенные напряжения σ_i и деформация ε_i . Они находятся решением задачи о напряженно-деформированном состоянии обрабатываемого материала и в значительной степени зависят от износа шлифовального круга, поскольку он приводит к изменению формы вершин активных зерен [1].

При решении второй задачи (о количестве тепловых импульсов i) необходимо определить число n тепловых импульсов, действующих на единице длины обрабатываемой поверхности. С учетом распределения по высоте вершин зерен величина n определяется по формуле:

$$n \approx \frac{L V_k F_c(z)}{V_3 d^2}, \quad (10)$$

где L – длина дуги контакта круга и заготовки (определяется по известным формулам Е.Н. Маслова); V_3 – скорость вращения заготовки; d – средний размер абразивного зерна; $F_c(z)$ – функция распределения по высоте z вершин зерен (значения функции $F_c(z)$ находятся в пределах от 0 до 1, т.е., задавшись величиной z , можно определить долю вершин зерен рабочей поверхности инструмента, находящихся в поверхностном слое шлифовального круга толщиной z) [1].

Следует отметить, что в процессе шлифования значения функции $F_c(z)$ будут претерпевать изменения, обусловленные уменьшением сформированной в ходе правки шлифовального круга разновысотности вершин зерен вследствие их истирания. Это приведет к тому, что на наружной поверхности шлифовального круга по мере его износа будет концентрироваться значительное число вершин зерен. Иными словами, число наиболее выступающих вершин зерен, формирующих тепловые импульсы,

будет минимальным после правки и затем будет увеличиваться пропорционально линейному износу u_d шлифовального круга. Теперь, располагая величинами n и L , можно построить идеализированную масштабную схему-модель взаимодействия зерен круга с деталью для определения искомого количества тепловых импульсов i для конкретных условий шлифования. На обрабатываемой поверхности детали условно выделяем участок площади контакта шириной 1 мм и длиной L . На этом участке должно разместиться n рисок от вершин зерен. В то же время участок поверхности шириной $1/n$ при прохождении пути, равного длине L дуги контакта, должен испытать действие i тепловых импульсов. Условно располагаем риски в шахматном порядке правильными горизонтальными рядами, сдвинутыми на определенный шаг по длине дуги контакта. Реально риски могут быть сдвинуты по ширине и длине относительно друг друга в каждый момент времени на произвольные расстояния, но за некоторый период времени можно ожидать их среднего расположения и перекрытия по длине и ширине рассматриваемого участка. Если представить прохождение участка поверхности шириной $1/n$ через зону контакта, то на своем пути до выхода из зоны контакта этот участок i раз может испытать тепловое воздействие зерен, риски от которых перекрываются.

Итак, когда рассматриваемый участок поверхности находится в контакте, он испытывает воздействие i импульсов. Температуру от каждого импульса считаем по формуле (1), а охлаждение в промежутках между импульсами рассматриваем как адиабатическое (только за счет теплопроводности). За время охлаждения температура снижается значительно, но не до исходной величины, поэтому при расчете температуры от второго температурного импульса добавляем к ней «остаток» температуры от первого импульса, при расчете температуры от третьего импульса – «остаток» от второго и т.д., т.е. происходит постепенное накопление тепла от каждого импульса.

Далее, когда рассматриваемый участок поверхности заготовки выходит из контакта, тепло отводится от него окружающей средой: смазочно-охлаждающим технологическим средством (СОТС) и воздухом. За один рабочий ход рассматриваемый участок поверхности заготовки испытывает N контактов с кругом. В промежутках между этими контактами осуществляется охлаждение СОТС и воздухом. При использовании жидкой СОТС поверхность значительно охлаждается (температура в конце указанного промежутка времени составляет всего лишь несколько процентов от начальной). Однако температура не снижается до исходной, поэтому при расчетах следующего цикла нагрева учитываем «остаток» от предыдущего цикла, т.е. добавляем температуру, до которой успевает охладиться поверхность в промежутке между контактами. Таким образом, после каждого контакта накапливается тепло.

При многопроходном шлифовании рассматриваемый участок поверхности, испытыв N контактов с кругом за один рабочий ход, выходит из

последнего контакта и охлаждается воздухом в течение определенного промежутка времени (до тех пор, пока не вступит в контакт с кругом на следующем рабочем ходе). В течение этого промежутка времени температура снижается до определенной величины, поэтому при расчетах следующего цикла нагрева учитываем эту величину. Таким образом, после каждого рабочего хода также происходит постепенное накопление тепла.

Решение задачи об изменении температуры в процессе охлаждения выглядит следующим образом [5, 6]:

$$\frac{T(z,t)-T_c}{T_0-T_c} = e^{u^2}, \text{ где } u = \frac{z}{2\sqrt{at}} + \frac{\alpha}{\lambda} \sqrt{at}.$$

Для вычисления целесообразно воспользоваться разложением [5, 6]:

$$e^{u^2} \approx \frac{1}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{1}{u} - \frac{1}{2u^3} + \frac{3}{4u^5} - \dots \right). \quad (11)$$

Здесь z – расстояние от поверхности заготовки до точки, в которой нужно определить температуру; T_c – температура охлаждающей среды; T_0 – начальное значение температуры; α – коэффициент теплоотдачи (при охлаждении жидкой СОТС выражается через критерий Нуссельта [5], при охлаждении воздухом определяется по известной формуле Ньюкомба). Некоторые результаты расчетов, выполненных по предложенной методике с помощью Mathcad 2014 Professional, представлены на рис. 2. Показана динамика изменения температуры поверхности заготовки из стали 30ХГСА в ходе 25 контактов рассматриваемого участка поверхности заготовки с электрокорундовым шлифовальным кругом.

Представленные графики температур относятся к шлифованию указанной стали на чистовых режимах с охлаждением эмульсией. При обработке «острым» кругом, т.е. при $u_n = 0$ мкм (рис. 2а), каждая точка поверхности заготовки нагревается до 420...450 °С в основном от трех температурных импульсов, создаваемых вершинами абразивных зерен при двадцать пятом (последнем) контакте (температурные импульсы на рисунке показаны резкими скачками температуры). Далее вследствие износа круга число и мощность температурных импульсов возрастают, приводя к повышению температуры на 20...40 % (рис. 2б, в). При значительном линейном износе шлифовального круга ($u_n = 20$ мкм) (рис. 2г) температура в каждой точке поверхности при каждом контакте формируется под действием семи тепловых импульсов и достигает 850...900°С, что может привести к значительным структурно-фазовым изменениям (прижогам) в поверхностном слое заготовки. Таким образом, износ рабочей поверхности абразивного инструмента в значительной степени определяет тепловыделение в контактной зоне.

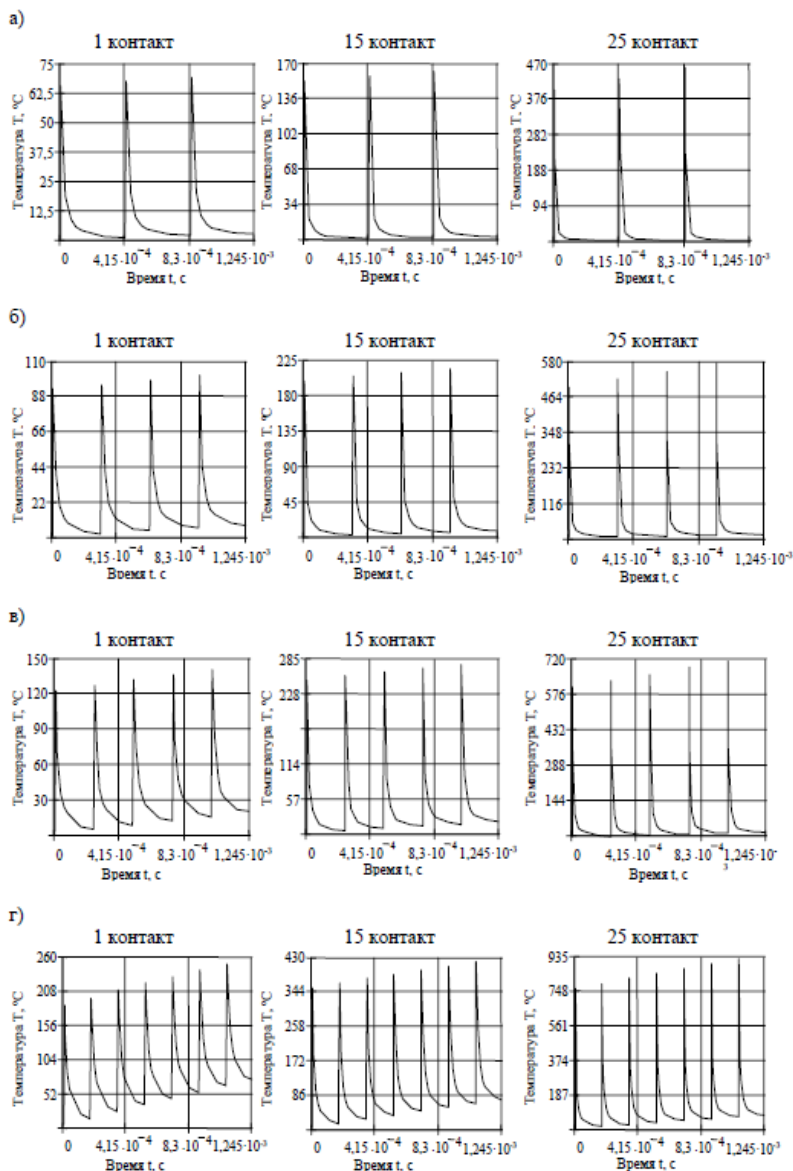


Рисунок 2 – Влияние линейного износа u_L шлифовального круга
1 – 300×40×127 24A40CM26K5 на температуру
в контактной зоне с заготовкой из стали 30ХГСА:
а – $u_L = 0$ мкм; б – $u_L = 5$ мкм; в – $u_L = 10$ мкм; г – $u_L = 20$ мкм

Проведенные исследования позволяют: прогнозировать тепловыделение при шлифовании с учетом всех основных факторов этого процесса в течение всего периода стойкости абразивного инструмента; достоверно определять момент восстановления режущей способности шлифовального круга с целью обеспечения требуемого качества обрабатываемых деталей для подавляющего большинства конструкционных материалов; проводить многокритериальную оптимизацию технологических операций шлифования с учетом изменения тепловыделения в контактной зоне заготовки и абразивного инструмента вследствие его изнашивания.

Список использованных источников литературы: 1. Бишутин С.Г. Обеспечение требуемой совокупности параметров качества поверхностных слоев деталей при шлифовании / С.Г. Бишутин. – М.: Машиностроение, 2004. – 144 с. 2. Катаев Ю.П. Пластичность и резание металлов / Ю.П. Катаев, А.Ф. Павлов, В.М. Белоног. – М.: Машиностроение, 1994. – 144 с. 3. Корчак С.Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей / С.Н. Корчак. – М.: Машиностроение, 1974. – 280 с. 4. Редько С.Г. Процессы теплообразования при шлифовании металлов / С.Г. Редько. – Саратов: Изд-во СГУ, 1962. – 231 с. 5. Сипайлов В.А. Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности / В.А. Сипайлов. – М.: Машиностроение, 1978. – 167 с. 6. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования / А.В. Якимов. – М.: Машиностроение, 1975. – 176 с.

Bibliography (transliterated): 1. Bishutin S.G. Obespechenie trebuemoy sovokupnosti parametrov kachestva poverkhnostnykh sloev detaley pri shlifovanii / S.G. Bishutin. – M.: Mashinostroenie, 2004. – 144 s. 2. Kataev Yu.P. Plastichnost' i rezanie metallov / Yu.P. Kataev, A.F. Pavlov, V.M. Belonog. – M.: Mashinostroenie, 1994. – 144 s. 3. Korchak S.N. Proizvoditel'nost' protsessa shlifovaniya stal'nykh detaley / S.N. Korchak. – M.: Mashi-nostroenie, 1974. – 280 s. 4. Red'ko S.G. Protsessy teploobrazovaniya pri shlifovanii metallov / S.G. Red'ko. – Saratov: Izd-vo SGU, 1962. – 231 s. 5. Sipaylov V.A. Teplovyie protsessy pri shlifovanii i upravlenie kachestvom poverkhnosti / V.A. Sipaylov. – M.: Mashinostroenie, 1978. – 167 s. 6. Yakimov A.V. Optimizatsiya protsessa shlifovaniya / A.V. Yakimov. – M.: Mashinostroenie, 1975. – 176 s.

УДК 62-272.325

В.М. Тонконогий, д-р техн. наук,
Е.Ю. Лебедева, М.А. Духанина, Абу Шена Осама, Одесса, Украина

ИСПЫТАНИЕ РЕЗИНОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ АМОРТИЗАТОРОВ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ НА ДЕФОРМАЦИЮ

Головним призначенням амортизаторів в металорізальних верстатах є гасіння небажаних вібрацій з метою підвищення надійності верстатів та якості продукції, яка на них виробляється. Але при виробництві амортизаторів, зокрема резинометалевих, оцінювання їхньої придатності до виконання цих функцій, тобто первинне відсіювання, починається із випробувань таких виробів на статичну деформацію. Розроблені стенди та оснастка для таких випробувань. Наведені результати таких випробувань.

Главным предназначением амортизаторов в металлорежущих станках является гашения нежелательных вибраций с целью повышения надежности станков и качества продукции, которая на них производится. Но при производстве амортизаторов, в частности, резинометаллических, оценки их пригодности к выполнению этих функций, то есть первичное отсеивание, начинается с испытаний таких изделий на статическую деформацию. Разработаны стенды и оснастка для таких испытаний. Приведены результаты таких испытаний.

The main mission of shock-absorbers in metal-cutting machines is clearing of undesirable vibrations for the purpose of of machines reliability and quality of production which on them is made increasing. But by production of shock-absorbers, in particular, rubber-metal, estimates of their suitability to performance of these functions, that is primary elimination, begins with tests such products on static deformation. Stands and equipment are developed for such tests. Results of such tests are given.

В условиях современного производства большое внимание уделяется оптимизации изделий и производственных процессов. Существенное развитие получили технологии виртуального моделирования, дающие возможность с минимальными затратами и в короткие сроки выполнять оптимизацию, используя натурный эксперимент лишь в качестве проверочного.

Проектирование при помощи компьютерной трехмерной модели позволяет:

- изменять отдельные геометрические параметры моделей без необходимости изменения модели в целом;
- визуализировать размещение моделей в сборках;
- выполнять моделирование всевозможных характеристик, при наличии дополнительных программных модулей: проверять прочность деталей и сборок при нагрузках, рассчитывать кинематические и динамические параметры, измерять деформации и многое другое.

В настоящее время лидирующее положение среди численных методов анализа напряженно-деформированного состояния конструкций различных классов и назначения занимает метод конечных элементов.

Особый интерес вызывает моделирование деталей, у которых свойства материала по объему изменяются, то есть деталь по своему составу не является однородной.

Рассмотрим резино-металлический амортизатор, он предназначен для защиты от вибрации и ударных нагрузок не только станочного оборудования, но и оборудования на судах, двигателей в коробках сельхозмашин, танков, БТР, вентиляционных установок, установок кондиционирования и др. Его общий вид представлен на рис. 1.



Рисунок 1 – Общий вид амортизатора АКСС

Сущность метода заключается в сжатии амортизаторов типа АКСС по оси Z усилием, равным максимальной рабочей нагрузке и измерении их деформации под этой нагрузкой.

Целью испытаний является установление соответствия определяемой деформации с заданной нормой, указанной в ГОСТ 17053.1-80 (табл. 1).

Для проведения испытаний используют испытательную машину, представленную на рис. 2, оборудованную приспособлением для сжатия образца. При этом погрешность измерения нагрузки не должна превышать 1 %. Измеряемая нагрузка должна находиться в пределах 20-90 % от наибольшего предельного значения каждого диапазона измерения. Скорость нагружения должна быть не более 15 мм/мин.

Таблица 1 – Нормативы механических статических испытаний

Обозначение амортизатора	Максимальная рабочая нагрузка Н, (кгс)	Деформация, мм (Предельное отклонение $\pm 0,25$)
AKCC-10M	98 (10)	0,6
AKCC-15M	147 (15)	0,6
AKCC-25M	245 (25)	0,7
AKCC-40M	392 (40)	0,7
AKCC-60M	589 (60)	0,7
AKCC-85M	834 (85)	0,6
AKCC-120M	1177 (120)	0,9
AKCC-160M	1570 (160)	0,6
AKCC-220M	2158 (220)	0,6
AKCC-300M	2943 (300)	0,6



Рисунок 2 – Машина испытательная

Образцы испытывают не ранее, чем через 24 ч после их изготовления или через 3 ч после предыдущего испытания, но не позднее, чем через 3 месяца после их изготовления. Схема сборки для испытания образца показана на рис. 3.

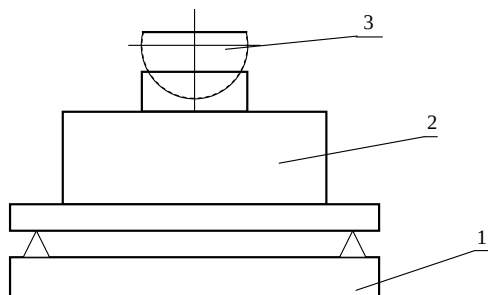


Рисунок 3 – Схема сборки для испытания образца:
1 – плита опорная; 2 – образец; 3 – вкладыш сферический

Образцы перед испытанием выдерживают при температуре испытания не менее 3-х часов.

Таким образом, согласно ГОСТ 17053.1-80, испытаниям подвергают 2 % от партии, но не менее трех штук. При выпуске амортизаторов по ГОСТ ВД 17053.1-80 испытаниям на деформацию подвергают каждый амортизатор.

Результаты испытаний по определению деформации при статическом сжатии под воздействием максимальной рабочей нагрузки амортизаторов АКСС-25МХ приведены в табл. 2. Количество испытанных изделий: 52 шт., дата изготовления изделий: январь 2015 г., дата проведения испытаний: 27.01.2015 г., температура при проведении испытаний: 23 °С.

Таблица 2 – Результаты испытаний

№ образца	Нагрузка, Н (кгс)	Деформация, мм	Примечания
1	2	3	4
1	245 (25)	0,75	Годен
2	245 (25)	0,6	Годен
3	245 (25)	0,65	Годен
4	245 (25)	0,7	Годен
5	245 (25)	0,8	Годен
6	245 (25)	0,8	Годен

Продолжение табл. 2

7	245 (25)	0,65	Годен
8	245 (25)	0,7	Годен
9	245 (25)	0,8	Годен
10	245 (25)	0,75	Годен
11	245 (25)	0,7	Годен
12	245 (25)	0,75	Годен
13	245 (25)	0,65	Годен
14	245 (25)	0,9	Годен
15	245 (25)	0,8	Годен
16	245 (25)	0,7	Годен
17	245 (25)	0,7	Годен
18	245 (25)	0,8	Годен
19	245 (25)	0,75	Годен
20	245 (25)	0,7	Годен
21	245 (25)	1,0	Не годен
22	245 (25)	0,65	Годен
23	245 (25)	0,7	Годен
24	245 (25)	0,6	Годен
25	245 (25)	0,6	Годен
26	245 (25)	0,75	Годен
27	245 (25)	0,5	Годен
28	245 (25)	0,6	Годен
29	245 (25)	0,65	Годен
30	245 (25)	0,7	Годен
31	245 (25)	0,7	Годен
32	245 (25)	0,8	Годен
33	245 (25)	1,0	Не годен
34	245 (25)	0,9	Годен
35	245 (25)	0,9	Годен
36	245 (25)	0,75	Годен
37	245 (25)	0,8	Годен
38	245 (25)	0,6	Годен
39	245 (25)	0,65	Годен

1	2	3	4
40	245 (25)	0,7	Годен
41	245 (25)	0,7	Годен
42	245 (25)	0,7	Годен
43	245 (25)	0,8	Годен
44	245 (25)	0,75	Годен
45	245 (25)	0,5	Годен
46	245 (25)	0,7	Годен
47	245 (25)	0,6	Годен
48	245 (25)	0,4	Не годен
49	245 (25)	0,7	Годен
50	245 (25)	0,65	Годен
51	245 (25)	0,7	Годен
52	245 (25)	0,7	Годен

Таким образом, количество изделий отбракованных в результате испытаний составляет 3 шт.

Список использованных источников: 1. Духанина М. А. Эволюционная оптимизация слабосвязанных систем / М.А. Духанина, Е.Ю. Лебедева, П.С. Швеи, Л.А. и др. // Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.С. Пухова, Київ, 2013. – № 67 – С. 74-81. 2. Становский А. Л. Проблема распознавания изоморфизма графов и обратная задача структурной надежности / А.Л. Становский, О.С. Савельева, М.Л. Герганов и др. // Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві: збірник наукових праць. – Херсон, 2012. – Вип. 1(1). – С. 56-59. 3. Панова Т. Н. Компьютерное моделирование процесса формирования композиционных изделий «металл – литая резина» / Т.Н. Панова, А.В. Торопенко, Е.Ю. Лебедева // Материалы Международной научно-практической конференции-выставки «Литейное производство: технологии, материалы, оборудование, экономика и экология». – Киев: ФТИМС НАН Украины, 12-14 декабря 2011. – С. 215-218. 4. Савельева О.С. Стенды для измерения характеристик армированных резиновых амортизаторов / О.С. Савельева, Е.Ю. Лебедева, Д.А. Монова // Материалы XXI семинара «Моделирование в прикладных научных исследованиях». – Одесса: ОНПУ, 22-23 января 2013. – С. 103-107. 5. Лебедева Е.Ю. Автоматизированное проектирование конструкций, армированных резиновых амортизаторов // Е.Ю. Лебедева, А.Н. Красножон, С.В. Кошулян // Материалы XXI семинара «Моделирование в прикладных научных исследованиях». – Одесса: ОНПУ, 22-23 января 2013. – С. 107-109. 6. Лебедева Е.Ю. Метод контроля качества резино-металлических амортизаторов / Е.Ю. Лебедева, С.В. Кошулян, Абу Шена Усама // Материалы XXII семинара «Моделирование в прикладных научных исследованиях». – Одесса: ОНПУ, 4-5 марта 2014. – С. 54 – 56. 7. Лебедева Е.Ю. Метод проектирования систем с существенно различными свойствами материалов элементов / Е.Ю. Лебедева, А.Н. Красножон, А.А. Становский // Материалы XXII семинара «Моделирование в прикладных научных исследованиях». – Одесса: ОНПУ, 4-5 марта 2014. – С. 57-58. 8. Становский А.Л. Методы измерения потребительских свойств резино-металлических амортизаторов / А.Л. Становский, Е.Ю. Лебедева, Абу Шена Усама // Материалы XXIII семинара «Моделирование в прикладных научных исследованиях». – Одесса: ОНПУ, 10-12 марта 2015. – С. 22-24. 9. Становский А.Л. Приборы для измерения параметров качества резино-металлических

амортизаторов / А.Л. Становский, Е.Ю. Лебедева, Абу Шена Усама // Материалы XXIII семинара «Моделирование в прикладных научных исследованиях». – Одесса: ОНПУ, 10-12 марта 2015. – С. 25-27.

Bibliography (transliterated): 1. Duhanina M. A. Jevoljucionnaja optimizacija slabosvjazannyh sistem / M.A. Duhanina, E.Ju. Lebedeva, P.S. Shvec, L.A. i dr. // Zbirnik naukovih prac' Institutu problem modeljuvannja v energetici im. G.S. Puhova, Kiïv, 2013. – № 67 – S. 74-81. 2. Stanovskij A. L. Problema raspoznavanija izomorfizma grafov i obratnaja zadacha strukturnoj nadezhnosti / A.L. Stanovskij, O.S. Savel'eva, M.L. Gerganov i dr. // Informacijni tehnologii v osviti, nauci ta virobnictvi: zbirnik naukovih prac'. – Herson, 2012. – Vip. 1(1). – S. 56-59. 3. Panova T. N. Komp'juternoe modelirovanie processa formirovanija kompozicionnyh izdelij «metall – litaja rezina» / T.N. Panova, A.V. Toropenko, E.Ju. Lebedeva // Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii-vystavki «Litejnoe proizvodstvo: tehnologii, materialy, oborudovanie, jekonomika i jekologija». – Kiev: FTIMS NAN Ukrainy, 12-14 dekabnja 2011. – S. 215-218. 4. Savel'eva O.S. Stendy dlja izmerenija harakteristik armirovannyh rezinovyh amortizatorov / O.S. Savel'eva, E.Ju. Lebedeva, D.A. Monova // Materialy HHI seminaru «Modelirovanie v prikladnyh nauchnyh issledovanijah». – Odessa: ONPU, 22-23 janvarja 2013. – S. 103-107. 5. Lebedeva E.Ju. Avtomatizirovanoe proektirovanie konstrukcij, armirovannyh rezinovyh amortizatorov // E.Ju. Lebedeva, A.N. Krasnozhen, S.V. Koshuljan // Materialy HHI seminaru «Modelirovanie v prikladnyh nauchnyh issledovanijah». – Odessa: ONPU, 22-23 janvarja 2013. – S. 107-109. 6. Lebedeva E.Ju. Metod kontrolja kachestva rezino-metallicheskih amortizatorov / E.Ju. Lebedeva, S.V. Koshuljan, Abu Shena Usama // Materialy HHII seminaru «Modelirovanie v prikladnyh nauchnyh issledovanijah». – Odessa: ONPU, 4-5 marta 2014. – S. 54 – 56. 7. Lebedeva E.Ju. Metod proektirovanija sistem s sushhestvenno razlichnymi svojstvami materialov jelementov / E.Ju. Lebedeva, A.N. Krasnozhen, An.A. Stanovskij // Materialy HHII seminaru «Modelirovanie v prikladnyh nauchnyh issledovanijah». – Odessa: ONPU, 4-5 marta 2014. – S. 57-58. 8. Stanovskij A.L. Metody izmerenija potrebitel'skih svojstv rezino-metallicheskih amortizatorov / A.L. Stanovskij, E.Ju. Lebedeva, Abu Shena Usama // Materialy HHIII seminaru «Modelirovanie v prikladnyh nauchnyh issledovanijah». – Odessa: ONPU, 10-12 marta 2015. – S. 22-24. 9. Stanovskij A.L. Pribory dlja izmerenija parametrov kachestva rezino-metallicheskih amortizatorov / A.L. Stanovskij, E.Ju. Lebedeva, Abu Shena Usama // Materialy HHIII seminaru «Modelirovanie v prikladnyh nauchnyh issledovanijah». – Odessa: ONPU, 10-12 marta 2015. – S. 25-27.

Надійшла до редколегії

В.М. Тонконогий, д-р техн. наук, И.С. Синько, канд. техн. наук,
И.Т. Корнешук, Одесса, Украина

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОМЕЩЕНИЙ СО СПЕЦИАЛЬНЫМИ АКУСТИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

У статті розглядається створення класифікації акустичних матеріалів для розробки бази даних. База даних акустичних матеріалів необхідна для проектування приміщень з акустичними властивостями. Розроблені класифікація та база даних акустичних матеріалів дозволяють полегшити розрахунок і проектування промислових приміщень та будівель багатопільового призначення.

В статье рассматривается создание классификации акустических материалов для разработки базы данных. База данных акустических материалов необходима для проектирования помещений с акустическими свойствами. Разработанные классификация и база данных акустических материалов позволяют облегчить расчет и проектирование промышленных помещений и зданий многоцелевого назначения.

In the article creation of classification of acoustic materials is examined for development of database. The base of these acoustic materials is needed for planning of apartments with acoustic properties. The developed classification and base of these acoustic materials allow to facilitate a calculation and planning industrial apartments and building for many aims of setting.

При проектировании зданий с акустическими свойствами архитекторам приходится учитывать множество дополнительных моментов, не свойственных обычным зданиям. В процессе проектирования таких помещений необходимо учитывать такие моменты, как возникновение эффекта эха, которое может значительно повлиять на качество звука в помещении. Кроме возникновения эффекта эха также нужно учитывать уровень звукового давления в точках приема звука (например, расположенных зрителей в зале). Эти факторы являются очень важными для определения качества звука в помещении, что влияет на особенности проведения проектных работ зданий с акустическими свойствами. Автоматизация проектирования зданий со специальными акустическими свойствами, несомненно, повысит производительность этого процесса.

Качество звука в помещениях зависит не только от его геометрических параметров, но и от свойств материалов, участвующих при строительстве и отделке. В процессе разработки программного продукта проектирования помещений с акустическими свойствами, возникла необходимость в создании базы данных акустических материалов. Для повышения уровня эффективности работы базы данных и достижения максимальной ее

информативности при проектировании помещений свойства акустических материалов должны быть описаны достаточно детально, а сама база данных обязана отвечать на вопрос, какие из материалов наиболее применимы и в какой части помещения [1]. Исходя из этого, необходимо разработать подробную классификацию материалов, подходящих для проектирования помещений с акустическими свойствами. Для разработки классификации был выбран иерархический метод, при котором заданное множество последовательно делится на подчиненные подмножества, постепенно конкретизируя объект классификации. При этом основанием деления служит некоторый выбранный признак. Совокупность получившихся группировок при этом образует иерархическую древовидную структуру в виде ветвящегося графа, узлами которого являются группировки. Основными преимуществами иерархического метода является большая информационная емкость, традиционность и привычность применения, возможность создания для объектов классификации мнемонических кодов, несущих смысловую нагрузку.

Цель работы заключается в разработке классификации акустических материалов, позволяющей создать базу данных этих материалов для проектирования помещений с акустическими параметрами.

Классификация акустических материалов построена на принципе функционального назначения этих материалов. Акустические материалы подразделяют на [2, 3]:

а) звукопоглощающие, предназначенные для применения в конструкциях звукопоглощающих облицовок внутренних помещений и для отдельных звукопоглотителей для снижения звукового давления в помещениях производственных и общественных зданий;

б) звукоизолирующие, применяющиеся как прокладки в многослойных защищающих конструкциях для улучшения изоляции ограждений от ударного и воздушного звуков;

в) вибропоглощающие, предназначенные для ослабления колебаний, которые распространяются по жестким конструкциям (преимущественно тонким) для снижения излучаемого ими звука.

Звукопоглощающие материалы, в соответствии с действующим стандартом, классифицируются по следующим основным признакам: эффективности, форме, жесткости (величине относительного сжатия), структуре и воспламеняемости.

Формой звукопоглощающие материалы и изделия подразделяют на штучные (блоки, плиты); рулонные (маты, полосовые прокладки, холсты); рыхлые и сыпучие (вата минеральная и стеклянная, керамзит, вспученный перлит и другие пористые зернистые материалы).

По жесткости эти материалы и изделия подразделяют на мягкие, полужесткие, жесткие и твердые.

По структурным признакам звукопоглощающие материалы и изделия подразделяют на пористо-волокнистые, пористо-ячеистые (из ячеистого бетона и перлита) и пористо-губчатые (пенопласты, резины).

По воспламеняемости, как и все строительные материалы, акустические материалы и изделия, подразделяют на три группы: негорючие, трудногорючие и горючие.

Сравнивая классификационные признаки звукопоглощающих материалов и изделий, можно видеть их общность, что лишний раз подчеркивает идентичность задачи при производстве этих материалов. Однако следует отметить, что для придания высоких показателей функциональных свойств данным материалам и изделиям необходимо применять разные технологические приемы, которые позволяют образовывать нужную для того или другого случая пористую структуру.

По эффективности звукопоглощающие материалы и изделия подразделяют на три класса: 1-й класс – свыше 0,8; 2-й класс – от 0,8 до 0,4; 3-й класс – от 0,4 до 0,2 (табл. 1). В основу такого деления положена величина среднеарифметического реверберационного коэффициента, которым характеризуется материал в каждом из диапазонов частот, указанных в табл. 2.

Таблица 1

Звукопоглощающие материалы				
эффективность	форма	жесткость	структура	воспламеняемость
1-й класс свыше 0,8	штучные	мягкие	пористо- волокнистые	негорючие
2-й класс от 0,8 до 0,4	рулонные	полужесткие	пористо- ячеистые	трудногорючие
3-й класс от 0,4 до 0,2	рыхлые	жесткие	пористо- губчатые	горючие
	сыпучие	твердые		

Таблица 2 – Классификация частоты октавных полос

Наименование диапазона частот	Обозначение диапазона частот	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц
Низкочастотный	Н	100, 125, 160, 200, 250, 315
Среднечастотный	С	400, 500, 630, 800, 1000, 1250
Высокочастотный	В	1600, 2000, 2500 3150, 4000, 5000

Звукоизоляционные материалы различают по структуре, форме и жесткости. По форме звукоизоляционные материалы подразделяют на

штучные (ленточные, полосовые и штучные прокладки, маты, плиты) и сыпучие (керамзит, доменный шлак, песок) [4, 5].

По структуре звукоизоляционные изделия (материалы) подразделяют на: пористо-волокнистые, которые изготавливаются из минеральной и стеклянной ваты в виде мягких, полужестких и жестких изделий прокладок со средней плотностью от 75 до 175 кг/м³ и динамическим модулем упругости не больше 0,5 Мпа при нагрузке 0,002 Мпа; пористо-губчатые, которые изготавливаются из пенопластов и пористой резины и характеризуются от 1,0 до 5,0 Мпа. Динамический модуль упругости зернистых засыпок не должен превышать 15 Мпа (табл. 3).

Таблица 3

Звукоизоляционные материалы		
форма	жесткость	структура
штучные	мягкие	пористо-волокнистые
сыпучие	полужесткие	пористо-губчатые
	жесткие	

Таким образом, звукопоглощающие и звукоизоляционные материалы должны обладать повышенной способностью поглощать и рассеивать звуковые волны. Кроме того, звукопоглощающие и звукоизоляционные материалы и изделия должны обладать стабильными физико-механическими и акустическими свойствами на протяжении всего периода эксплуатации; быть био- и влагостойкими; не выделять в окружающую среду вредных веществ. Звукопоглощающие изделия, как правило, должны обладать высокими декоративными свойствами, поскольку их одновременно используют и для обработки внутренних поверхностей ограждений зданий.

К вибропоглощающим покрытиям относятся вязкоупругие материалы. Например, пористая резина, а также базальтоволокнистые плиты, которые легко сжимаются по толщине. В этом случае при классификации вибропоглощающих покрытий относительно вида деформации, которая определяет механизм поглощения вибрации, преимущество отдается [6]:

— покрытиям, в которых колебательная энергия поглощается в результате деформации растягивания и сжатия вдоль демпфирующей прослойки;

— покрытиям, в которых энергия поглощается в основном в результате колебаний направленных перпендикулярно прослойке;

— комбинированным покрытиям (табл. 4).

Таблица 4

Вибропоглощающие материалы		
Вид деформации		
колебательная энергия поглощается в результате деформации растягивания и сжатия вдоль демпфирующей прослойки	энергия поглощается в основном в результате колебаний направленных перпендикулярно прослойке	комбинированный вид поглощения энергии

Рассмотрим свойства акустических материалов. По механизму звукопоглощения все звукопоглощающие материалы делят на пористые и резонансные поглотители. Механизм звукопоглощения этих разновидностей различный. В пористых поглотителях звук гасится за счет вязкого трения воздуха о стены пор и преобразования части звуковой энергии вследствие этого в теплоту. Потери звуковой энергии происходят также благодаря формации скелета материала и его активного сопротивления вынужденным колебаниям, которые возникают под давлением звуковых волн. Поэтому пористые поглотители с жестким скелетом (фибролит, пеностекло, ячеистые бетоны, акустические штукатурки и др.), гасящие звук только за счет вязкого трения воздуха о стены пор, менее эффективные, чем пористые поглотители с гибким скелетом (минераловатные, стекловолоконистые изделия, древесно-волоконистые материалы и др.). Резонансные поглотители имеют воздушную полость, соединенную отверстием с окружающей средой. Воздух в резонаторе выполняет роль механической колебательной системы, состоящей из элементов массы, упругости и демпфирования.

Звуковая энергия, падающая на плотный материал, поглощается тем меньше, чем выше плотность материала. Это происходит из-за отражения звуковой энергии от поверхности материала. Отражение звуковых волн уменьшается, когда сопротивление материала падающей звуковой волне приближается к удельному сопротивлению воздуха, то есть когда увеличивается содержание воздуха в материале (его пористость).

Выводы: В статье впервые выполнена подробная классификация акустических материалов по их функциональному значению, которая позволяет создать базу данных этого вида материалов. База данных акустических материалов планируется использоваться при проектировании закрытых и открытых помещений с акустическими свойствами [7, 8].

Список использованных источников: 1. *Малыхина М.П.* Базы данных: основы проектирование использование, изд. БХВ – Петербург, 2007г. – 230 с. 2. Руководство по акустическому проектированию залов многоцелевого значения средней вместимости.: – М.: Стройиздат, 1981. – 47 с. 3. *Ковригин С. Д.* Архитектурно-строительная акустика – Москва: «Высшая школа», 1980. – 124 с. 4. *Макриненко Л. И.* Акустика помещений общественных зданий – Москва: Стройиздат,

1986. – 280 с. **5.** *Рейхардт В.* Акустика общественных зданий – Москва: Стройиздат, 1984. – 130 с. **6.** *Хриптунов Ю.Д., Гнедовский Ю. П. i in.* Архитектура советского театра – Москва: Стройиздат, 1986г. – 358 с. **7.** *Синько И.С., Молчан Е.Г.* Акустические свойства промышленных помещений и зданий многоцелевого назначения. Проблемы техники. Наук.-ви́роб. журн. / Одес. нац. мор. ун-т, Хмельн. нац. ун-т. – Одеса, 2014. – №2. – С. 90-96. **8.** *Б.В. Лебедев, И.С. Синько.* Автоматизированный расчет освещения помещений. Проблемы техники. Наук.-ви́роб. журн. / Одес. нац. мор. ун-т, Хмельн. нац. ун-т. – Одеса, 2011. – №2. – С. 64-69.

Bibliography (transliterated): 1. Malyhina M.P. Bazy dannyh: osnovy proektirovanie ispol'zovanie, izd. BHV – Peterburg, 2007g. – 230 s. 2. Rukovodstvo po akusticheskomu proektirovaniyu zalov mnogocелеvogo znachenija srednej vmestimosti.: – M.: Strojizdat, 1981. – 47 s. 3. Kovrigin S. D. Arhitekturno-stroitel'naja akustika – Moskva: «Vysshaja shkola», 1980. – 124 s. 4. Makrinenko L. I. Akustika pomeshhenij obshhestvennyh zdaniy – Moskva: Strojizdat, 1986. – 280 s. 5. Rejhardt V. Akustika obshhestvennyh zdaniy – Moskva: Strojizdat, 1984. – 130 s. 6. Hriptunov Ju.D., Gnedovskij Ju. P. i in. Arhitektura sovetskogo teatra – Moskva: Strojizdat, 1986g. – 358 s. 7. Sin'ko I.S., Molchan E.G. Akusticheskie svoystva promyshlennyh pomeshhenij i zdaniy mnogocелеvogo naznachenija. Problemi tehniki. Nauk.-virob. zhurn. / Odes. nac. mor. un-t, Hmel'n. nac. un-t. – Odesa, 2014. – №2. – S. 90-96. 8. B.V. Lebedev, I.S. Sin'ko. Avtomatizirovannyj raschet osveshhenija pomeshhenij. Problemi tehniki. Nauk.-virob. zhurn. / Odes. nac. mor. un-t, Hmel'n. nac. un-t. – Odesa, 2011. – №2. – S. 64-69.

УДК 629.7.03.035.5

Р.С. Турманидзе д-р техн. наук, Е.Г. Цикаришвили, Г.З. Попхадзе
Тбилиси, Грузия

СРЕДСТВА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ ЭНЕРГИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЕЕ АККУМУЛЯЦИИ

Представлені нові конструкції роторів з можливістю зміни геометричних параметрів у динаміці для підвищення ефективності вітрових станцій. Показані методи підвищення ефективності використання сонячних панелей за рахунок вибору відповідних схем складання над різними плантаціями і універсальних механізмів в залежності від кліматичних умов. Запропоновано один із шляхів вирішення дуже актуальної світової проблеми – накопичення енергії вітру і сонця з мінімальними втратами і капітальними вкладеннями.

Представлены новые конструкции роторов с возможностью изменения геометрических параметров в динамике для повышения эффективности ветровых станций. Показаны методы повышения эффективности использования солнечных панелей за счет выбора соответствующих схем сборки над различным плантациями и универсальных механизмов в зависимости от климатических условий. Предложен один из путей решения очень актуальной мировой проблемы – накопления энергии ветра и солнца с минимальными потерями и капитальными вложениями.

New designs of rotors with a possibility of change of geometry parameters in dynamics for the increase of effectiveness of wind stations will be presented in the report. Methods of increase of the effectiveness of use of the solar panels at the expense of selection of corresponding sites of assembling over various plantations and universal mechanisms depending on the climatic conditions will be shown. One of the ways of solution to the very topical world problem – Accumulation of the wind and solar energy with minimal losses and capital investments will be suggested.

В последние годы, в период существенного роста темпов глобального потепления и значительного ухудшения экологического состояния, получение энергии традиционными методами создает серьезную опасность для всего человечества. С этой точки зрения в особенно тяжёлую ситуацию попадают развитые страны, где с каждым годом, интенсивно растет объем производства и, соответственно, количество потребляемой энергии.

В этом плане особенно надо отметить те факторы риска, которыми характеризуются атомные электростанции и то недовольство населения, который достиг своего пика в период катастрофы Фукусими, случившийся в Японии в 2011 г.

Всемирно известно, что эти процессы стали основой решений, которое вынуждает руководства всех стран осуществить оперативные мероприятия в направлении замены доли атомной энергии в общем энергетическом балансе страны каким-нибудь менее опасным видом энергии.

Этими процессами обусловлено то, что в последние 10-15 лет почти во всех странах Мира особенное внимание уделяется совершенствованию существующих и созданию новых нетрадиционных методов получения энергии, а также максимальному использованию существующего в стране потенциала.

Более того, руководящими органами международного сообщества разрабатываются специальные поощрительные мероприятия для тех стран и фирм, которые эффективно работают на развитие экологически чистых и неопасных методов получения энергии.

К таким видам энергии в первую очередь относятся ветровая и солнечная энергетика. Поэтому интенсивно совершенствуются конструкции ветровых станций и технология получения солнечных панелей.

По обоим направлениям интенсивные работы ведутся в Грузинском техническом университете.

Для повышения эффективности ветровых станций были созданы несколько вариантов конструкций воздушных винтов с возможностью изменения основных геометрических параметров в динамике (ВИГ). Такими параметрами являются диаметр ротора, т.е. длина лопастей, угол установки каждой лопасти и закон их крутки.

Предварительные аэродинамические и экономические расчеты доказывают, что в результате использования таких конструкций можно увеличить годовой объем выработки каждой ветростанции минимум на 100%-ов.

Несмотря на множество работ известных фирм, и ученых разных стран, проблема ВИГ еще не решена. Существуют патенты, не нашедшие реального воплощения, главным образом из-за сложности и недостаточной надежности технических решений.

Следует учесть, что все эти фирмы занимались изменением, какого-либо одного параметра, например, фирма «Сикорский» занималась изменением только диаметра винта, а корпорация «Боинг» – изменением только крутки лопастей.

Грузинский технический университет (ГТУ) предложил сочетание изменения диаметра и крутки одновременно в динамике.

Первоначально на этапе анализа, на основе расчленения объекта исследования был спроектирован и изготовлен макет винта с изменяемым диаметром, потом макет винта с изменяемой круткой лопастей. После лабораторных испытаний их основных узлов на этапе синтеза был создан винт с одновременно изменяемыми диаметром и круткой лопастей (рис. 1), а также стенд для его испытания [1].

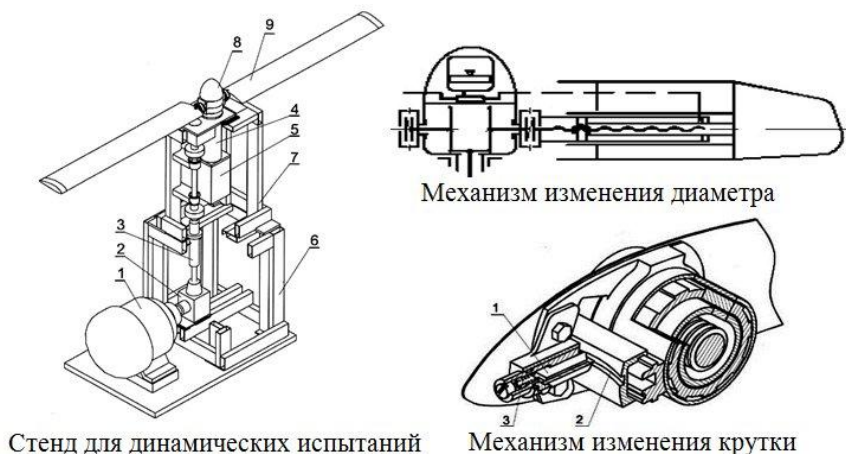


Рисунок 1 – Механизмы для управления параметрами ВИГ-а и стенд для их испытания

Проведённые стендовые испытания модели ВИГ показали, что при высоких числах оборотов возникают значительные центробежные силы, действующие на ходовой винт. Ходовой винт – самый нагруженный элемент конструкции несущего винта и является слабым звеном. Снижение вредного воздействия этих сил и стало весьма актуальной проблемой.

Поэтому была разработана система компенсации центробежных сил. Технический подход состоял в проведении модельного эксперимента, в котором стенд стационарно закреплён на месте. При вращении винта в режиме вентилятора были осуществлены измерения тяги в зависимости от изменения частоты вращения и диаметра винта. Из возможных принципов компенсации (механического, электрического, гидравлического) был выбран гидравлический (рис. 2), как наиболее гибкий в управлении [1, 2, 3].

На конструкцию этого варианта ВИГ-а получен Европатент Application No/Patent No 08737551.5 – 2422 РСТ/IB2008001041. В настоящее время патентуется в США. Все финансовые расходы патентования взял на себя Евросоюз.

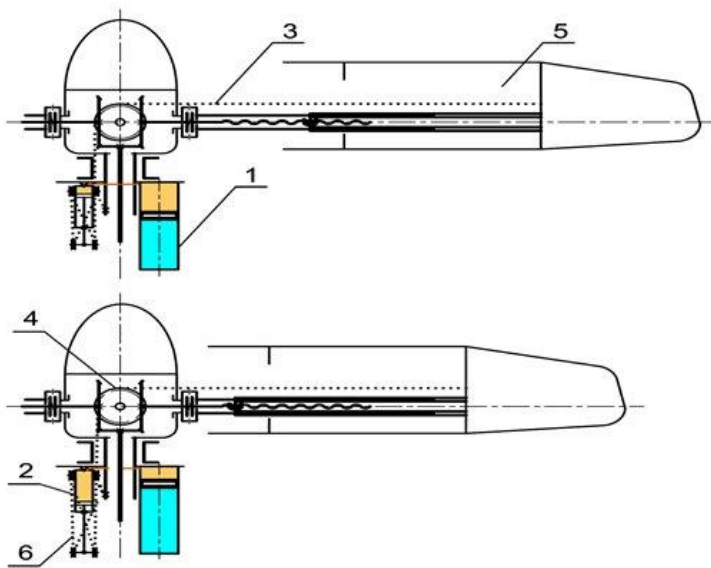


Рисунок 2 – Схема ВИГ с расположением гидропневматического аккумулятора и гидроцилиндра ниже втулки винта
 1 - гидропневматический аккумулятор, 2 - гидроцилиндр,
 3 - трос, 4 - ролик, 5 - лопасть, 6 - полиспаст

Безопасность динамических испытаний ВИГ-а была обеспечена безотказностью узлов ВИГ с системой компенсации. Для оценки безотказности был сконструирован и изготовлен стенд статических испытаний (рис. 3), на котором были экспериментально имитированы нагрузки, действующие при различных частотах вращения винта.

Были определены линии упругости лопасти в зависимости от имитируемых частот вращения при сдвинутой и раздвинутой лопасти, а также зависимости усилий на рычаге управления стендом от имитируемых частот вращения.

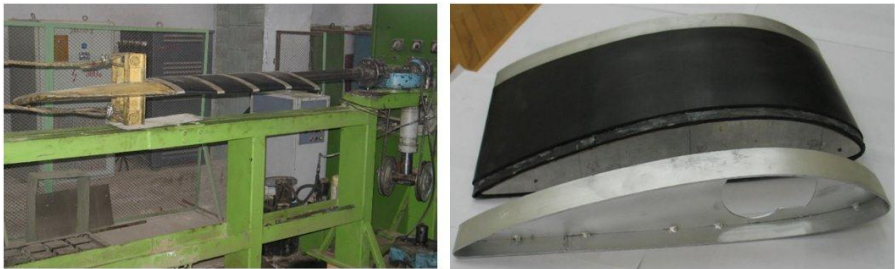


Рисунок 3 – Стенд для статических испытаний и лопасть с гибкими элементами и нервюрами

Эксперименты, на стенде динамических испытаний (рис. 4), были проведены методом замера скорости воздушного потока крыльчатым анемометром, который для данной задачи характеризовался достаточной повторяемостью результатов измерений.

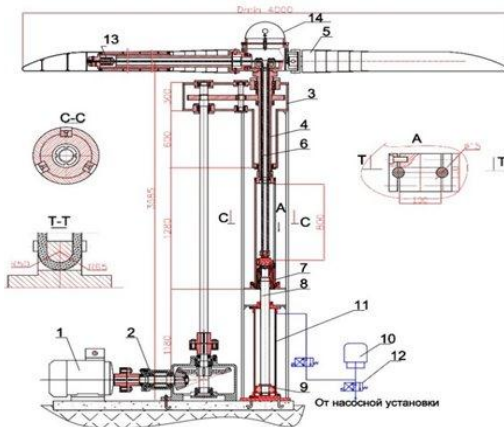


Рис. 4. Стенд динамических испытаний и фото стенда
 1-электродвигатель постоянного тока, 2-конический редуктор,
 3-цилиндрический редуктор, 4-шпиндель цилиндрического редуктора,
 5-лопасть с гибкими элементами, 6-трос, 7-узел подшипников с корпусом,
 8-шток, 9-поршень, 10-гидропневмоаккумулятор, 11-гидроцилиндр,
 12-гидрораспределитель, 13-узел крепления троса, 14-штулка

Установлено, что в случае увеличения диаметра винта в 1,4 раза и изменения крутки лопасти в пределах $16 \div 18^\circ$ обеспечивается повышение силы тяги примерно, в 1,6 раз.

Эффективность системы компенсации доказана многократным безотказным сдвижением-раздвижением лопасти винта во всем диапазоне изменения частот вращения. Это обусловило синхронность функционирования ВИГ-а.

В результате изготовления и испытания демонстрационной модели винта с изменяемыми геометрическими параметрами в динамике, нами было доказано, что для ветроэнергетических установок, особенно с большими мощностями, использование ВИГ-а даст возможность расширить диапазон максимальных значений КПД установки при изменении скорости ветра в большом диапазоне от 3 до $20 \div 22$ м/сек, а также обеспечить работоспособность установки при тех высоких скоростях ветра ($22 \div 35$ м/сек) (Рис. 5), при которых существующие установки не в состоянии работать [4].

Были накоплены результаты многократного и всестороннего исследования действующей модели воздушных винтов с изменяемыми геометрическими параметрами в динамике, проведен анализ разных предлагаемых конструкций и на этой основе предложены рекомендации подбора той или иной конструкции для разных условий эксплуатации ветроустановок в широком диапазоне изменения скорости ветра [5].

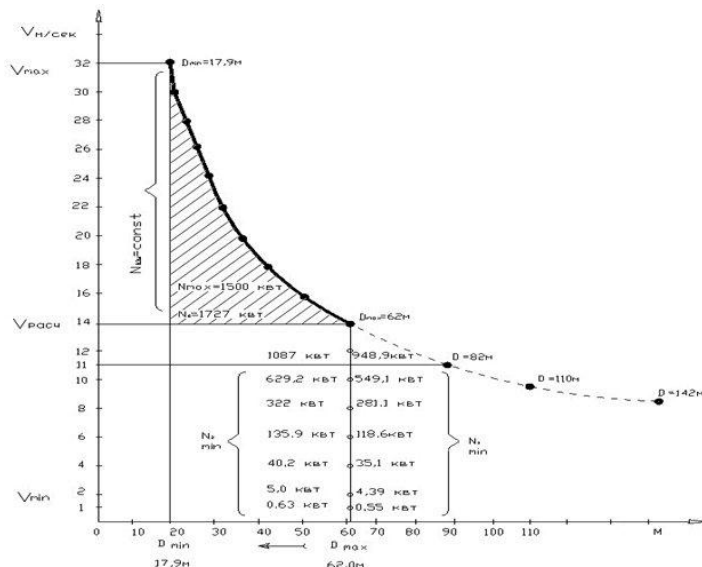


Рисунок 5 – Необходимое сочетание диаметра ротора и скорости ветра для получения запланированной мощности ветростанции

В настоящее время ведутся переговоры с известной Германской фирмой «Энеркон» для создания совместного предприятия или филиала на территории Грузии и производства новых конструкций.

Также ведутся переговоры с фирмой «Шмид» о производстве солнечных панелей.

Осуществление данного проекта целесообразно, так как в Грузии функционировали несколько крупных предприятий по микроэлектронике, поэтому грузинские учёные имеют весьма интересные предложения по отдельным ответственным операциям производства пластин из монокристалла силиция, а также по принципам подбора мест для монтажа готовых солнечных модулей и создания конструкций соответствующих механизмов, внедрение которых ещё больше повысит эффективность солнечных модулей.

В частности, установка этих панелей, например над виноградниками по заранее рассчитанным параметрам, с использованием специальных механизмов, позволяющих менять угловое положение панелей в большом диапазоне, даст возможность наряду с получением электрической энергии, защитить плантации от града, а также от высыхания кисточек винограда и почвы, когда температура воздуха постоянно несколько недель держится в пределах $35\div 40^{\circ}\text{C}$ и выше. Следует отметить, что такая ситуация в Грузии очень частая и если это случается перед процессом уборки винограда, оно сильно влияет на объем урожая, особенно на процент выхода виноградного сока.

Как защита плантаций от града, так и регулирование процесса высыхания винограда перед уборкой урожая является острой проблемой не только для Грузии, но и для всех других стран тоже, где имеются подобные плантации.

Поэтому мы интенсивно работаем над разработкой методов оптимизации схем монтажа солнечных панелей над виноградниками.

На рис. 6 показан один из вариантов схем монтажа таких панелей.



Рисунок 6 – Солнечные панели над виноградниками

В данный момент ведётся поиск оптимальных размеров панелей, схемы их расположения и совершенствование механизмов для регулирования их углового положения в широком диапазоне для разного периода времени. Разрабатываются также разные варианты механизации и автоматизации этих процессов.

На основе консультаций с опытными крестьянами установлено, что использование таких схем монтажа существенно повысит объем и качество урожая, что в конечном итоге даст ощутимый экономический эффект.

Представленная идея содержит и научную новизну, что совместно с немецкими специалистами уже оформляется и в ближайшем будущем будет оформлен Европатент.

В настоящее время достигнуто согласие наших партнеров для безвозмездной передачи примерно 200 м² солнечных панелей с целью организации в Грузии опытного участка, где будут установлены опытные образцы солнечных панелей и проведены все необходимые исследования.

Существует ещё одна весьма актуальная проблема, над которой долгое время работают ведущие ученые многих известных научных центров всего мира, однако, к сожалению эффективного пути решения этой проблемы до сегодняшнего дня не существует. Вопрос касается метода аккумуляции полученной солнечной и ветровой энергий, для решения которого ежегодно тратятся несколько сотен миллионов долларов США.

Мы имеем на наш взгляд интересное предложение для решения этой проблемы в тех странах, где имеются гидроэлектростанции со средней и с большой мощностями, т.е. где имеются высокие плотины и водохранилища.

Известно, что все такие электростанции имеют большой дефицит воды и тот объем, который, набирается в основном весной, потом постепенно, очень экономично расходуется целый год по специальному графику.

Суть нашего предложения заключается в том, что можно вокруг водохранилища монтировать максимально возможное количество ветровых станций и солнечных панелей. Когда будет заказ на электрическую энергию они будут работать на её выработку, а когда заказов нет, работать на перекачку воды обратно от нижнего водохранилища в верхнюю его часть. Это даст возможность, чтобы все источники энергии работали постоянно на прибыль, днем и ночью, ежедневно и круглый год.

На рис. 7 показана примерная схема компоновки таких сооружений, где видна монтированная одна маленькая группа ветряков и солнечных модулей. Также видна, что вокруг водохранилища можно разместить еще таких несколько групп.



Рисунок 7 – Примерный вариант компоновки агрегатов и системы их управления для аккумуляции полученной ветровой и солнечной энергий

Консультации с ведущими специалистами энергетики показывают, что после создания такого опытного объекта и совершенствования его отдельных узлов и системы их управления объект будет широко, успешно и эффективно использоваться во многих странах мира.

Список литературы: 1. R.Turmanidze, L.Dadone. „Variable Geometry Rotor“. Monograph, Publishing House of University of Petrosani. 2003, Romania, 164 p. 2. R.Turmanidze, L.Dadone, G.Sanadze. Increase of Flight and Technical Characteristics of Flying Vehicles By Means of Application of the Variable Geometry Rotor. Materials of the 5th Forum of the Russian Helicopter Society. Moscow, 2002. p. VI39-VI48. 3. R.Turmanidze, L.Dadone, J.-J.Philippe, B.Demaret, Investigation, Development and Tests Results of the Variable Geometry Rotor. 33rd European Rotorcraft Forum. Kazan, 10–14 September 2007, Pages 11. 4. R.Turmanidze, O.Rukhadze, R.Bidzinashvili, E.Rukhadze, Designing Fundamentals of Investigation Equipment of Rotors with the Parameters of Variable Geometry. International Scientific Journal «Problems of Mechanics». №1 (42)/2011. Georgia, Tbilisi. 2011. 8 p. 5. R.Turmanidze, O.Rukhadze, R.Bidzinashvili, E.Rukhadze, Investigation of the Variable Geometry Rotor in Dynamics. International Scientific Journal «Problems of Mechanics». №2 (43)/2011. Georgia, Tbilisi. 2011. 8 p.

А.А. Якимов, д-р техн. наук, А.Ю. Браилов, д-р техн. наук,
Одесса, Украина

ИЗЫСКАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ УВЕЛИЧЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОБРАБОТКИ НА ЗУБОШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКАХ, РАБОТАЮЩИХ ДВУМЯ ТАРЕЛЬЧАТЫМИ КРУГАМИ

Виявлена можливість збільшення продуктивності обробки на зубошліфувальних верстатах, що працюють тарельчастими кругами. Из всего різноманіття зубошліфувальних верстатів найменш продуктивними є верстати МААГ (Швейцарія), 5А851 (Росія), 5851 (Росія) з 15-градусною робочою рейкою. У статті виявлена й теоретично обґрунтована можливість підвищення продуктивності обробки на цих верстатах без зниження точності обробки за рахунок оптимізації кута установки шліфувальних кругів. Приведені формули для розрахунку довжини поперечного ходу столу і кута развороту тарельчастих кругів і їх розміщенні в одній впадині і в суміжних западинах оброблюваного колеса.

Виявлена возможность увеличения производительности обработки на зубошлифовальных станках, работающих тарельчатые кругами. Из всего многообразия зубошлифовальных станков наименее производительными являются станки МААГ (Швейцария), 5А851 (Россия), 5851 (Россия) с 15-градусной производящей рейкой. В статье выявлена и теоретически обоснована возможность повышения производительности обработки на этих станках без снижения точности обработки за счет оптимизации угла установки шлифовальных кругов. Приведены формулы для расчета длины поперечного хода стола и угла разворота тарельчатых кругов при их размещении в одной впадине и в смежных впадинах обрабатываемого колеса.

Possibility of increase of the productivity of treatment is exposed on zubo-polishing machine-tools, workings tarel'chatye circles. From everything mnogo-obraziya zuboshlifoval'nykh machine-tools the least productive are machine-tools of Maag (Switzerland), 5A851 (Russia), 5851 (Russia) with a 15-degree productive lath. In the article exposed and in theory grounded voz-mozhnost' increases of the productivity of treatment on these machine-tools without the decline of exactness of treatment due to optimization of corner of setting of shlifo-power circles. Formulas are resulted for the calculation of length of transversal motion of table and corner of once-collar of tarel'chatikh circles at their placing in one cavity and in the contiguous cavities of the processed wheel.

Постановка проблеми. Для устраниння короблення зубчатого венця, що виникає при хіміко-термічній обробці, застосовують зубошліфування. Серед існуючих схем зубошліфування найбільш точність забезпечують станки, що працюють двома тарельчастими кругами по методу обката. Існує два методи обробки тарельчастими кругами: нуль-градусний і 15-градусний (або 20-градусний). Обробку цими методами здійснюють на станках типу МААГ (Швейцарія), 5А851 (Росія), 5851 (Росія).

Из этих двух методов наиболее теплонапряженным является нуль-градусный метод. Это объясняется тем, что при обработке этим методом каждая точка боковой поверхности зуба подвергается многократным тепловым воздействиям.

Несмотря на то, что 15-градусный (или 20-градусный) метод менее теплонапряженный, его редко используют в связи с его низкой производительностью. Проблеме повышения производительности зубошлифования тарельчатыми кругами посвящены работы [1-15] и др. В большинстве из этих работ проблема повышения производительности решается применением тарельчатых шлифовальных кругов из кубического нитрида бора.

В настоящей статье обоснована возможность повышения производительности зубошлифования на станках, работающих двумя тарельчатыми абразивными кругами по методу огибания по 15-20-градусной схеме без снижения точности обработки путем увеличения числа качаний стола и разворота шлифовальных кругов на расчетный угол, при котором уменьшается сила инерции качающихся частей станка и, как следствие, уменьшается величина деформации линии механизма обката.

Материалы и результаты исследований. На рис. 1 и рис. 2 видно, что угол установки шлифовальных кругов α_n равен сумме углов:

$$\alpha_n = \alpha_1 + \beta. \quad (1)$$

Угол α_1 определяется по формуле

$$\alpha_1 = \frac{\alpha_{\max} + \operatorname{inv} \alpha_{\max}}{2} - \operatorname{inv} \frac{\operatorname{arctg} \alpha_{\max}}{2}; \quad (2)$$

$$\alpha_{\max} = \arccos \frac{R_{\partial.o} \cdot \cos \alpha}{R_{\partial.o} + 1,2 \cdot m + 2}. \quad (3)$$

Угол β зависит от метода шлифования и определяется по разному:

– при расположении шлифовальных кругов в одной впадине зубчатого колеса (рис. 2) по формуле

$$\beta = \frac{\pi}{2 \cdot z} - (\operatorname{inv} 20^\circ - \operatorname{inv} \alpha_1); \quad (4)$$

– при расположении шлифовальных кругов в соседних впадинах зубчатого колеса (рис. 1) по формуле

$$\beta = \frac{3 \cdot \pi}{2 \cdot z} - (\operatorname{inv} 20^\circ - \operatorname{inv} \alpha_1). \quad (5)$$

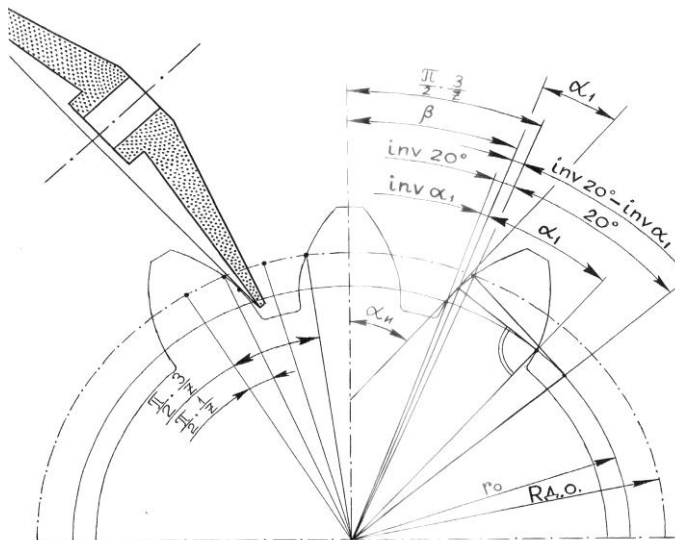


Рисунок 1 – Схема шлифования при расположении кругов в соседних впадинах зубчатого колеса

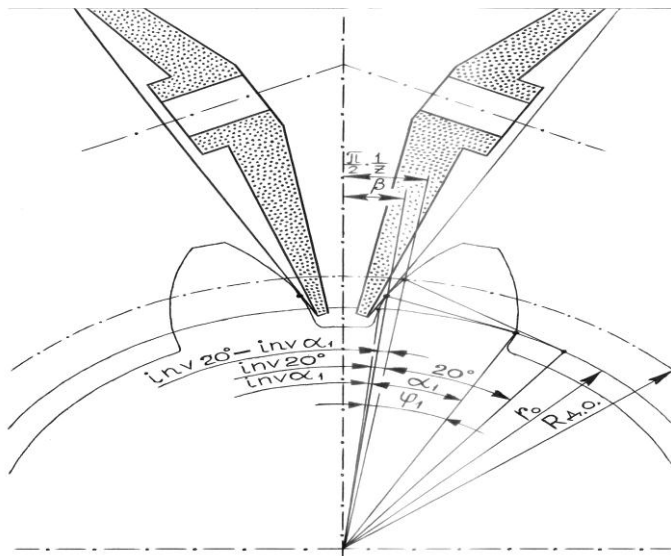


Рисунок 2 – Схема шлифования при расположении кругов в одной впадине зубчатого колеса

От угла установки кругов зависит длина поперечного хода стола $l_{x.c.}$, а от длины поперечного ходастола – машинное время. Предложены аналитические зависимости для расчета длины поперечного хода стола и угла установки шлифовальных кругов при размещении их в одной впадине (6) – (8) и в смежных впадинах обрабатываемого зубчатого колеса (9) – (11).

$$l_{x.c.расч} = 2 \cdot \left(\alpha_{и.расч.} - \frac{\pi}{2 \cdot z} + inv20^\circ \right) \cdot R_{д.о.} \cdot \frac{\cos 20^\circ}{\cos \alpha_{и.расч}}; \quad (6)$$

$$l_{x.c.(15)} = 2 \cdot \left[\frac{\sqrt{\left(\frac{m \cdot z}{2} + 1,2 \cdot m + 2 \right)^2 - r_o^2}}{r_o} - \left(\frac{15^\circ}{57,32} - \frac{\pi}{2 \cdot z} + inv20^\circ \right) \right] \cdot R_{д.о.} \cdot \frac{\cos 20^\circ}{\cos 15^\circ}; \quad (7)$$

$$\alpha_{и.расч.} = \frac{\sqrt{\left(\frac{m \cdot z}{2} + 1,2 \cdot m + 2 \right)^2 - r_o^2}}{2 \cdot r_o} + \frac{\pi}{2 \cdot z} - inv20^\circ; \quad (8)$$

$$l_{x.c.расч} = 2 \cdot \left(\alpha_{и.расч.} - \frac{3 \cdot \pi}{2 \cdot z} + inv20^\circ \right) \cdot R_{д.о.} \cdot \frac{\cos 20^\circ}{\cos \alpha_{и.расч}}; \quad (9)$$

$$l_{x.c.(15)} = 2 \cdot \left[\frac{\sqrt{\left(\frac{m \cdot z}{2} + 1,2 \cdot m + 2 \right)^2 - r_o^2}}{r_o} - \left(\frac{15^\circ}{57,32} - \frac{3 \cdot \pi}{2 \cdot z} + inv20^\circ \right) \right] \cdot R_{д.о.} \cdot \frac{\cos 20^\circ}{\cos 15^\circ}; \quad (10)$$

$$\alpha_{и.расч.} = \frac{\sqrt{\left(\frac{m \cdot z}{2} + 1,2 \cdot m + 2 \right)^2 - r_o^2}}{2 \cdot r_o} + \frac{3 \cdot \pi}{2 \cdot z} - inv20^\circ. \quad (11)$$

Анализ приведенных зависимостей показывает, что длина поперечного хода стола зависит от характеристики обрабатываемого зубчатого колеса: модуля, числа зубьев, радиуса делительной окружности. С уменьшением длины поперечного хода стола уменьшается сила инерции качающихся частей станка, уменьшается величина деформации линий механизма обката и, как следствие, повышается точность обработки зубчатого колеса.

Предложена аналитическая формула для расчета числа двойных поперечных ходов стола в минуту

$$n_{\text{расч.}} = \sqrt{\frac{l_{\text{х.с.}(15^\circ)} \cdot n_{(15^\circ)}^2 \cdot R_{\text{р.расч.}}^2 \cdot J_{(15^\circ)}}{l_{\text{х.с.расч.}} \cdot R_{\text{р.}(15^\circ)}^2 \cdot J_{\text{расч.}}}}. \quad (12)$$

С уменьшением длины поперечного хода стола увеличивается число ходов в минуту, а это приводит к уменьшению машинного времени

$$T_{\text{м}} = \frac{L_{\text{х}}}{n \cdot S} \cdot Z \cdot K \cdot M, \quad (13)$$

где $L_{\text{х}}$ – длина продольного хода стола, м; S – продольная подача, мм/мин; M – число проходов; $K=1$ (при двухстороннем разделении); $K=2$ (при одностороннем разделении).

Получена формула для расчета силы инерции P_j качающихся частей станка, анализ которой показывает, что за счет уменьшения длины поперечного хода стола можно увеличить число его качаний n , сохраняя при этом постоянной силу инерции P_j качающихся частей станка и точность обработки

$$P_j = \frac{l_{\text{х.с.}} \cdot J}{R_p^2} \cdot \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \right)^2, \quad (14)$$

где J – момент инерции качающихся частей станка, Н·м·сек²; n – число двойных поперечных ходов стола в минуту; $R_p = \frac{m \cdot Z \cdot \cos 20^\circ}{\cos \alpha_u}$ – радиус ролика обкатки.

На рис. 3 представлены зависимости длины поперечного хода стола (а) и машинного времени (б) от числа зубьев и модулей обрабатываемых колес.

Анализ этих зависимостей показывает, что длина поперечного хода стола и машинное время на станках с 15-градусной настройкой кругов больше чем на станках настроенных на расчетный угол производящей рейки. В среднем оптимизация угла установки кругов уменьшает машинное время на 20 %. Если учесть, что общее время обработки равно 6-7 часов, то уменьшение машинного времени на 20 % достигает 40 минут.

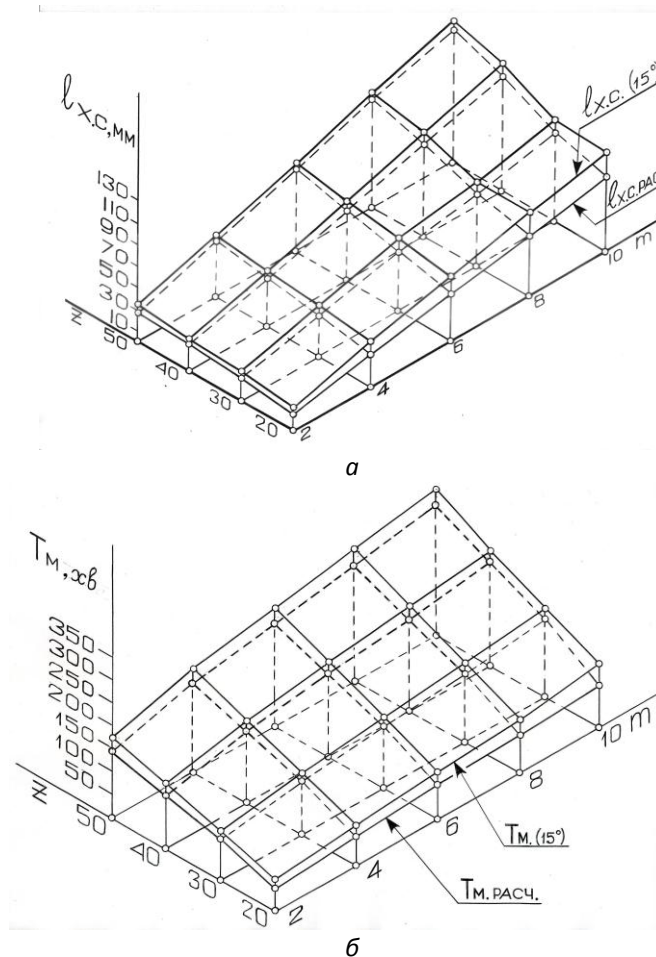


Рисунок 3 – Зависимость длины поперечного хода стола $l_{x.c.}$ на станке МААГ и машинного времени T_M от числа зубьев Z и от модулей m обрабатываемых колес

На рис. 4 показано, что установлено, в случае, если зубчатые колеса отличаются разной комбинацией чисел зубьев и модулей, то для каждого из них существует свой оптимальный угол установки кругов, соответствующий минимальной длине поперечного хода стола. Разработана номограмма, с помощью которой можно для любого колеса выбрать оптимальный угол настройки тарельчатых кругов, при котором машинное время операции зубошлифования будет минимальным.

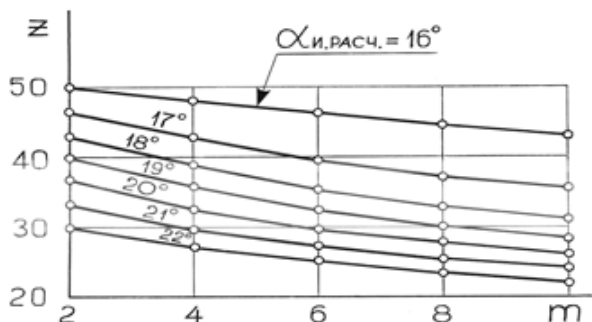


Рисунок 4 – Номограмма для выбора угла установки тарельчатых кругов $\alpha_{и.расч.}$ на станке МААГ (круги размещены в одной впадине), при котором машинное время операции будет минимальным

Выводы. 1. Предложен метод расчета угла разворота тарельчатого шлифовального круга относительно вертикальной плоскости, при котором обеспечивается равенство длин траекторий обкатных движений абразивного инструмента в направлении впадины и в направлении вершины зуба, начинающиеся от линии касания плоскости вращения круга с боковой поверхностью обрабатываемого зуба при настройке станка. При равенстве длин указанных траекторий уменьшается сила инерции качающихся частей станка, что позволяет уменьшить машинное время без снижения точности обработки за счет увеличения числа качаний стола.

2. Разработана номограмма, с помощью которой можно для любого колеса выбрать оптимальный угол настройки тарельчатых кругов, при котором машинное время операции зубошлифования будет минимальным .

Список использованных источников: 1. Рябченко, С.В. Разработка технологии шлифования зубчатых колес тарельчатыми кругами из СТМ. – С.161-168 //Сучасні процеси механічної обробки інструментами з НТМ та якість поверхні деталей машин: зб. наук. Прац (Серія Г «Процеси механічної обробки, верстати та інструменти»). – К.: ІНМ ім. Бакуля НАН України, 2006. – 240с. 2. Рябченко В.С. Повышение эффективности шлифования высокоточных зубчатых колес кругами из КНБ //Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем, 2008.Вип.23. – С. 95-101. 3. Мишинаевский, Л.Л. Высокопроизводительное зубошлифование кругами из кубического нитрида бора /Л.Л. Мишинаевский, А.А. Сагарда, В.М. Емельянов и др. //Синтетические алмазы. – 1970. – №5. – С.40-42. 4. Делеви, В.Г. Состояние поверхностного слоя зубчатых колес при шлифовании кругами из КНБ /В.Г. Делеви, Н.Я. Корж, Л.Л. Мишинаевский, Р.К. Ткаченко // Сверхтвердые материалы, – №5. – С.44-48. 5. Гильмутдинов, А.Г. Зубошлифование кругами из кубонита / А.Г. Гильмутдинов, С.И. Белостоцкий, Б.К. Руденко и др. // Синтетические алмазы. – ключ к техническому прогрессу: Сб. трудов – К.: Наукова думка, 1977. – Часть 1. – С.244-248. 6. Байкова, В.Н. Исследование технологических возможностей зубошлифовальных станков, работающих нульградусным методом: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Горький, 1971. 7. Корж, Н.Я. Зубошлифование кругами из кубонита / Н.Я. Корж, Н.П. Дудник // Машиностроитель, 1984. – №7. – С.31. 8. Корж, Н.Я. Опыт зубошлифования

кругами из КНБ на металлической связке / Н.Я. Корж, Н.П. Дудник, М.И. Соляник // Сверхтвердые материалы, 1984. – №3. – С. 56-59. 9. Мишнаевский, Л.Л. Высокоэффективное зубошлифование кругами из КНБ / Л.Л. Мишнаевский, А.Е. Шило // Синтетические сверхтвердые материалы и твердые сплавы, Киев, 1973. – С. 116-120. 10. Чекалина, Н.М. Производительность процесса электрохимического зубошлифования / Н.М. Чекалина // Станки и инструменты. – 1979. – №12. – С.32-36. 11. Рубин, А.Б. Повышение производительности зубошлифования кругами из кубического нитрида бора / А.Б. Рубин, Г.В. Голдин // Алмазно-абразивная обработка: Сб. трудов. – Пермь: ППИ, 1974. – №149. – С. 94-97. 12. Руденко, Б.К. Шлифование зубчатых колес кругами из кубического нитрида бора / Б.К. Руденко, Н.Я. Корж // Сверхтвердые материалы. – 1980. – №3. – С. 68-71. 13. Фатеев, Г.М. Изыскание путей повышения точности и производительности зубошлифовальных станков, работающих тарельчатыми кругами: Автореф. Дис. канд. техн. наук. – М. 1977. 14. Nakao Hiroshi, Osita Hidzo. Zastosuvannja shlifuvannykh krugiv z nadtverdykh abraziviv // Kikaj to kogu (Tool Eng.). – 1987. – 31, №10. – С.25-32. 15. Kagivada Tadao. Doslidzhennja temperaturi pri shlifuvanni // Kikaj-no kenkyu Sci. Mach. – 1987. – 39, №3. – С. 364-368.

Bibliography (transliterated): 1. Rjabchenko, S.V. Razrabotka tehnologii shlifovaniya zubchatykh koles tarel'chatymi krugami iz STM. – S.161-168 // Suchasni procesi mehanichnoi obrobki instrumentami z NTM ta jakist' poverhni detalej mashin: zb. nauk. Prac (Serija G «Procesi mehanichnoi obrobki, verstaty ta instrumenty»). – K.: INM im. Bakulja NAN Ukraïni, 2006. – 240s. 2. Rjabchenko V.S. Povyschenie jeffektivnosti shlifovaniya vysokotochnykh zubchatykh koles krugami iz KNB // Nadijnist' instrumentu ta optimizacija tehnologichnih sistem, 2008.Vyp.23. – S. 95-101. 3. Mishnaevskij, L.L. Vysokoproizvoditel'noe zuboshlifovanie krugami iz kubicheskogo nitrida bora / L.L. Mishnaevskij, A.A. Sagarda, V.M. Emel'janov i dr. // Sinteticheskie almazy. – 1970. – №5. – S.40-42. 4. Delevi, V.G. Sostojanie poverhnostnogo sloja zubchatykh koles pri shlifovanii krugami iz KNB / V.G. Delevi, N.Ja. Korzh, L.L. Mishnaevskij, R.K. Tkachenko // Sverhtverdye materialy, – №5. – S.44-48. 5. Gil'mutdinov, A.G. Zuboshlifovanie krugami iz kubonita / A.G. Gil'mutdinov, S.I. Belostockij, B.K. Rudenko i dr. // Sinteticheskie almazy – kljuch k tehničeskomu progressu: Sb. trudov – K.: Naukova dumka, 1977. – Chast' 1. – S.244-248. 6. Bajkova, V.N. Issledovanie tehnologicheskikh vozmozhnostej zuboshlifoval'nykh stankov, rabotajushchih nul'gradusnym metodom: Avtoref. dis. kand. tehn. nauk. – Gor'kij, 1971. 7. Korzh, N.Ja. Zuboshlifovanie krugami iz kubonita / N.Ja. Korzh, N.P. Dudnik // Mashinostroitel', 1984. – №7. – S.31. 8. Korzh, N.Ja. Opyt zuboshlifovaniya krugami iz KNB na metallicheskoj svjazke / N.Ja. Korzh, N.P. Dudnik, M.I. Soljanik // Sverhtverdye materialy, 1984. – №3. – S. 56-59. 9. Mishnaevskij, L.L. Vysokoeffektivnoe zuboshlifovanie krugami iz KNB / L.L. Mishnaevskij, A.E. Shilo // Sinteticheskie sverhtverdye materialy i tverdye splavy, Kiev, 1973. – S. 116-120. 10. Chekalina, N.M. Proizvoditel'nost' processa jelektrohimicheskogo zuboshlifovaniya / N.M. Chekalina // Stanki i instrumenty. – 1979. – №12. – S.32-36. 11. Rubin, A.B. Povyschenie proizvoditel'nosti zuboshlifovaniya krugami iz kubicheskogo nitrida bora / A.B. Rubin, G.V. Goldin // Almazno-abrazivnaja obrabotka: Sb. trudov. – Perm': PPI, 1974. – №149. – S. 94-97. 12. Rudenko, B.K. Shlifovanie zubchatykh koles krugami iz kubicheskogo nitrida bora / B.K. Rudenko, N.Ja. Korzh // Sverhtverdye materialy. – 1980. – №3. – S. 68-71. 13. Fateev, G.M. Izyskanie putej povyschenija tochnosti i proizvoditel'nosti zuboshlifoval'nykh stankov, rabotajushchih tarel'chatymi krugami: Avtoref. Dis. kand. tehn. nauk. – M. 1977. 14. Nakao Hiroshi, Osita Hidzo. Zastosuvannja shlifuvannykh krugiv z nadtverdykh abraziviv // Kikaj to kogu (Tool Eng.). – 1987. – 31, №10. – S.25-32. 15. Kagivada Tadao. Doslidzhennja temperaturi pri shlifuvanni // Kikaj-no kenkyu Sci. Mach. – 1987. – 39, №3. – С. 364-368.

О.О. Якимов, д-р техн. наук, Одеса, Україна

РОЗРАХУНОК ІНТЕНСИВНОСТІ ТЕПЛОВОГО ПОТОКУ ПРИ ЗУБОШЛІФУВАННІ ДВОМА ТАРІЛЧАСТИМИ АБРАЗИВНИМИ КРУГАМИ ПО НУЛЬОВІЙ СХЕМІ

У статті наведена методика розрахунку інтенсивності теплового потоку при зубошліфуванні тарілчастими по методу огинання за нульовою схемою. Розрахунки показали, що з режимних параметрів найбільший вплив на інтенсивність теплового потоку надає подовжня подача. З цього випливає, що при розробці систем автоматичного і адаптивного управління шліфуванням на верстатах, які працюють тарілчастими кругами, за параметр, який керує теплонапруженістю процесу, необхідно вибирати подовжню подачу.

В статье приводится методика расчета интенсивности теплового потока при зубошлифовании тарельчатыми кругами по методу огибания по нулевой схеме. Расчеты показали, что из режимных параметров наибольшее влияние на интенсивность теплового потока оказывает продольная подача. Из этого вытекает, что при разработке систем автоматического и адаптивного управления шлифованием на станках, работающих тарельчатыми кругами, в качестве параметра, управляющего теплонапряженностью процесса, необходимо выбирать продольную подачу.

The article provides a method of calculating the intensity of the heat flux in the gear grinding mop disc by the method of rounding zero scheme. Calculations showed that the regime parameters of the greatest influence on the intensity of the heat flux has a longitudinal feed. This implies that the development of automatic and adaptive control for grinding machines working mop disc, as a parameter controlling thermal stress process, you must vibiraem traverse.

Виявлення проблеми. Явища, що супроводжують процес зубошліфування, пред-ставляють собою комплекс механічних і теплових впливів на поверхневий шар оброблюваного виробу. В результаті цих впливів змінюється фізико-механічний стан поверхневого шару, що може знизити довговічність роботи зубчастих коліс. Тепловий ефект при шліфуванні досить значний і особливість його полягає в короткочасному впливу. Однак, незважаючи на короткочасність нагріву, високі температури, що розвиваються при зубошліфуванні, призводять до виникнення структурних змін. Для свідомого управління якістю поверхневого шару зубів необхідно знати допустиму безпечну величину тимператури в зоні різання і мати розрахункові формули, що відображають зв'язок цієї температури із змінними параметрами процесу зубошліфування (режимами різання, характеристикою абразивного круга і т.п.). Для розрахунку температур необхідно знати інтенсивність теплового потоку.

Для розрахунку інтенсивності теплового потоку необхідно знати площу плями контакту інструмента з деталлю Φ й тангенціальну складову сили

$$\text{різання } P_z, q = \frac{P_z \cdot V_{kp}}{\Phi}.$$

Аналіз останніх досліджень і літератури. Питання забезпечення якості поверхневого шару зубів при зубошліфуванні за нульовою схемою тарілчастими кругами з надтвердих матеріалів розглянуті в роботах [1-4]. Але в цих роботах не розглядається зубошліфування тарілчастими абразивними кругами.

Виклад основного матеріалу. Робоча поверхня тарілчастого круга складається з торообразної і конічної частин. При обкатному русі інструмента в напрямку западини знімання оброблюваного матеріалу здійснюється ріжучими зернами, розташованими на торообразній поверхні (на закругленій кромці круга), а при обкатному русі у зворотному напрямку працюють зерна, розташовані на конічній ділянці робочої поверхні круга. На рис.1 показана лінія перетину АСБЕ конічної ділянки круга із циліндром, що імітує фрагмент бічної поверхні зуба, розташований поблизу лінії перетину цієї поверхні з ділільним циліндром оброблюваного колеса. З урахуванням руху інструмента уздовж зуба границя плями контакту набуває форму криволінійного чотирикутника БКМЕ. На рис. 2 показані плями контакту зуба з конічною і торообразною ділянками тарілчастого круга. Розрахунки площ плям контакту визначали за формулами

$$\theta = \sqrt{2 \cdot \rho \cdot t - t^2}, \quad (1)$$

$$\rho = r_o \cdot \operatorname{tg} 20^\circ$$

$$X = \sqrt{2 \cdot (R_{kp} - r) \cdot \theta - \theta^2}, \quad (2)$$

$$\theta_i = \frac{2 \cdot (R_{kp} - r) - \sqrt{[2 \cdot (R_{kp} - r)]^2 - 4 \cdot (X - i \cdot S)^2}}{2}, \text{ для } 1 \leq i \leq n \quad (3)$$

$$\Delta_i = \sqrt{(\rho - t + r)^2 + \theta^2}, \quad 1 \leq i \leq n \quad (4)$$

$$t_1 = (\rho + r) - \Delta_1, \quad (5)$$

$$t_i = (\rho_{i-1} + r) - \Delta_i, \text{ для } 2 \leq i \leq n \quad (6)$$

$$\rho_k = \rho - \sum_{i=1}^k t_i, \text{ для } 1 \leq k \leq n \quad (7)$$

$$L_i = \sqrt{2 \cdot r \cdot t_i - t_i^2}, \text{ для } 1 \leq i \leq n \quad (8)$$

$$\Phi = \sum_{i=1}^n \frac{(L_i + L_{i-1}) \cdot S}{2}, \quad (9)$$

$$n = \frac{X - S}{S}. \quad (10)$$

де r – радіус закруглення кромки круга $r=0,4 \cdot m$; m – модуль оброблюваного колеса; $R_{кр}$ – радіус круга; r_o – радіус основного круга; ρ – радіус кривизни евольвенти в точці перетину з ділільним кругом; X – довжина зони контакту круга із зубом; t – глибина різання; t_i – глибини проникнення шліфувального зерна в оброблюваний матеріал у різних поперечних перерізах зони контакту, вилучених друг від друга на відстані, рівній величині поздовжньої подачі S ; L_i – ширини зони контакту в різних поперечних перерізах; Φ – площа плями контакту круга із зубом шестірни; n – число обкатних рухів, здійснюваних у межах довжини зони контакту.

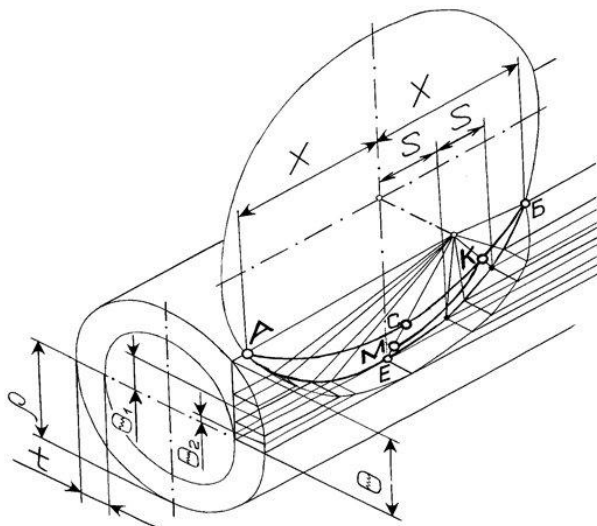


Рисунок 1 – Лінія перетину конічної частини тарілчастого круга із циліндром, ділянка якого імітує фрагмент бічної поверхні зуба в зоні ділільного круга

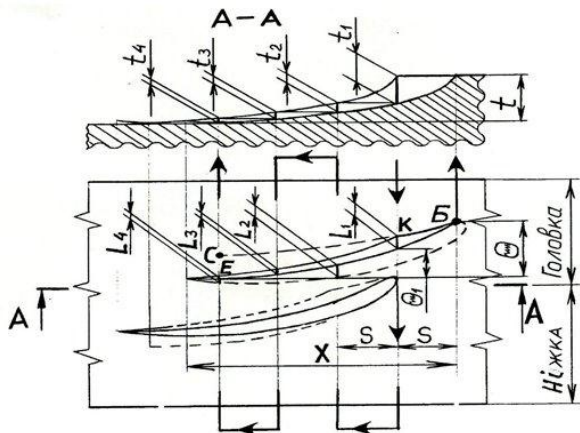


Рисунок 2 – Обкатні рухи, здійснювані в межах довжини зони контакту

На рис. 3 зображена пляма контакту торообразної частини тарілчастого круга із зубом колеса.

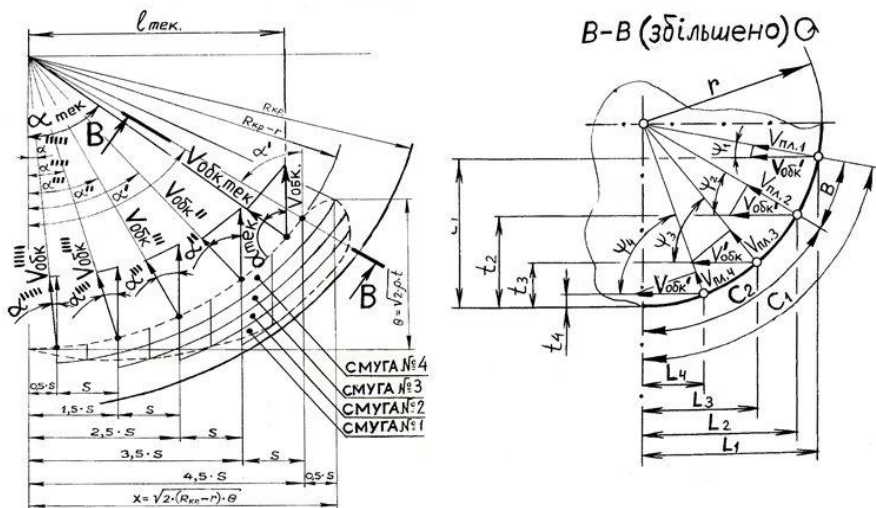


Рисунок 3 – Розбіжність швидкостей і кутів впровадження

нормальних складових елементарних шарів оброблюваного матеріалу по довжині й по ширині зони контакту

Торообразна частина робочої поверхні абразивного інструмента розбита на кільцеві смуги однакової ширини. Кількість смуг n , що уміщуються в межах найбільшої ширини зони контакту, було прийнято рівним числу обкатних рухів, у межах довжини плями контакту інструмента із заготівкою. Припуск, що знімається, представлений декількома пакетами нескінченно тонких елементарних шарів матеріалу, що обробляється. Кількість пакетів дорівнює числу смуг n .

З рис.3 видно, що нормальні складові швидкості обкатування $V'_{обк}$, $V''_{обк}$, $V'''_{обк}$, $V''''_{обк}$, $V'''''_{обк}$ у межах довжини зони контакту не однакові й залежать від кутів входу елементарних шарів оброблюваного матеріалу α' , α'' , α''' , α'''' , α''''' у робочу поверхню шліфувального круга

$$V_{обк.mek} = V_{обк} \cdot \sin(90^\circ - \alpha_{mek}) = V_{обк} \cdot \frac{l_{mek}}{(R_{kp} - r)}, \quad (11)$$

де l_{mek} – координата входу поточного елементарного шару оброблюваного матеріалу в робочу поверхню абразивного інструмента.

Швидкості $V_{нл.1}$, $V_{нл.2}$, $V_{нл.3}$, $V_{нл.4}$ проникнення нормальних складових елементарних шарів оброблюваного матеріалу в робочу поверхню круга неоднакові в межах ширини зони контакту й залежать від кутів $\psi_1, \psi_2, \psi_3, \psi_4$

$$V_{нл.mek_i} = V_{обк.mek} \cdot \cos \psi_i = V_{обк.mek} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot t_i}{r}}. \quad (12)$$

Підставляючи (11) в (12), одержимо:

$$V_{нл.mek_i} = V_{обк} \cdot \frac{l_{mek}}{(R_{kp} - r)} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot t_i}{r}}. \quad (13)$$

Розбіжність кутів α_{mek} і ψ_i проникнення елементарних шарів у робочу поверхню абразивного інструмента обумовлює розбіжність умов знімання матеріалу. Розподіл знімання матеріалу й завантаженість ріжучих зерен на різних ділянках зони контакту неоднакові. Запропоновано розрахунок тангенціальної складової P_z сили різання, що виникає від впровадження нормального складового елементарного шару матеріалу в робочу поверхню круга, визначати за формулою

$$P_{z.mek.i} = \frac{0,44 \cdot A \cdot B}{2,25} \cdot \left[\frac{tg\gamma \cdot k'}{b} \right]^{0,25} \cdot \left(\frac{6,75 \cdot V_{обк} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot t_i}{r}} \cdot \frac{l_{mek}}{(R_{kp} - r)}}{V_{kp}} \right)^{0,75} dl_{mek}, \quad (14)$$

де k' – поверхнева концентрація зерен на робочій поверхні круга, шт/м².

Тангенціальні складові $P_{z.mek.i}$ сил різання відрізняються між собою через різні умови знімання оброблюваного матеріалу на різних ділянках зони контакту. Отримано формулу для розрахунку тангенціальної складової $P_{z.i}$ сили різання, що виникає від одночасного проникнення в одну зі смуг круга всіх нормальних складових елементарних шарів матеріалу

$$P_{z.i} = 0,469 \cdot A \cdot \left[\frac{tg\gamma \cdot k'}{b} \right]^{0,25} \cdot \left(\frac{\frac{V_{обк}}{(R_{kp} - r)} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot t_i}{r}}}{V_{kp}} \right)^{0,75} \cdot B \cdot \left[(X - 0,5 \cdot S)^{1,75} - [(X - 0,5 \cdot S) - i \cdot S]^{1,75} \right] \quad (15)$$

де γ – половина кута при вершині зерна; b – максимальна висота виступання ріжучих зерен над рівнем зв'язування круга $b = (1 - \varepsilon) \cdot \bar{x}$; $\bar{x}$ – зернистість круга; $(1 - \varepsilon)$ – коефіцієнт, що враховує висоту виступання зерен над зв'язуванням; $k' = \frac{3 \cdot m' \cdot (1 - \varepsilon)}{200 \cdot \pi \cdot \bar{x}^2}$; m' – об'ємна концентрація зерен круга, %; $m' = (60 - 2 \cdot N)$; N – номер структури шліфувального круга; B – ширина смуги

$$B = \frac{C_1}{n} = C_1 \cdot \frac{S}{(X - S)}; C_1 = r \cdot \left(\frac{\pi}{2} - \psi_1 \right);$$

$$t_i = \frac{r}{2} \cdot \sin^2 \left[\left(\frac{\pi}{2} - \psi_1 \right) \cdot \left(1 - (i - 1) \cdot \frac{S}{(X - S)} \right) \right], \text{ де } 1 < i \leq n \quad (16)$$

$$\psi_1 = \arccos \sqrt{\frac{2 \cdot t_1}{r}}, \text{ (} t_1 \text{ визначається за формулою (5)).}$$

Залежність (15) дозволяє описати функціональний зв'язок тангенціальної складової сили різання з параметрами режиму шліфування (швидкістю обкатування $V_{обк}$, швидкістю круга V_{kp} , поздовжньою подачею S), характеристиками шліфувального круга (половиною кута при вершинах ріжучих зерен γ , поверхневою концентрацією зерен на робочій поверхні

круга k' , радіусом круга R_{kp} , радіусом закруглення ріжучої кромки круга r) і параметром A , що характеризує міцнісні характеристики оброблюваного матеріалу. Тангенціальна складова P_z результуючої сили, що виникає від одночасного проникнення оброблюваного матеріалу в усі смуги робочої поверхні абразивного інструмента, дорівнює сумі $P_{z,i}$

$$P_z = \sum_{i=1}^n P_{z,i} . \quad (17)$$

Використовуючи формули (9) і (17), були зроблені розрахунки інтенсивностей теплових потоків $q = \frac{P_z \cdot V_{kp}}{\Phi}$, при шліфуванні різних зубчастих коліс на різних режимах шліфування. Результати розрахунків представлені на рис. 4. Із даних видно, що з режимних параметрів найбільший вплив на інтенсивність теплового потоку q має поздовжня подача S .

Висновок. При розробці систем автоматичного й адаптивного керування шліфуванням на верстатах, що працюють тарілчастими кругами, в якості параметра, що управляє теплонапруженістю процесу, треба вибирати поздовжню подачу.

Список використаних джерел : 1. *Рябченко С.В.* Гл. 5.5. Процессы шлифования зубчатых колес тарельчатыми кругами из СТМ, оптимизация режимов // Сверхтвердые материалы, получение и применение: Монография в 6 т. /под общ. ред. *Н.В. Новикова*. – Т.6 Алмазно-абразивный инструмент в технологиях мех. обработки / под ред. *А.А. Шепелева*. – К.: ИСМ им. В.М. Бакуля НАН Украины, 2007. – С. 287-299. 2. *Рябченко С.В.* Обеспечение качества обработки зубчатых колес при зубошлифовании кругами из КНБ // Сучасні процеси механічної обробки інструментами з НТМ та якість поверхні деталей машин: 36. наук. праць. – К.: ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України, 2009. – С. 80-87. 3. *Рябченко С.В.* Состояние поверхностного слоя стали при прецизионном зубошлифовании кругами из КНБ //Инженерия поверхности и реновация изделий: мат. 7-ой Международ. науч.-техн. конф., 29-31 мая 2007г., г. Ялта. – К.: АТМ України, 2007. – С.162-164. 4. *Рябченко С.В.* Качество обработки зубчатых колес после шлифования из КНБ //Качество, стандартизация, контроль: теория и практика: мат. 9-ой Международ. науч.-техн. конф., 2009г., г. Ялта. – К.: АТМ України, 2009. – С. 228.

Bibliography (transliterated): 1. Rjabchenko S.V. Gl. 5.5. Processy shlifovaniya zubchatykh koles tarel'chatymi krugami iz STM, optimizaciya rezhimov // Sverhtverdye materialy, poluchenie i primenenie: Monografiya v 6 t. /pod obshh. red. N.V. Novikova. – T.6 Almazno-abrazivnyy instrument v tehnologiyah mekh. obrabotki / pod red. A.A. Shepeleva. – K.: ISM im. V.M. Bakulja NAN Ukrainy, 2007. – S. 287-299. 2. Rjabchenko S.V. Obespechenie kachestva obrabotki zubchatykh koles pri zuboshlifovanii krugami iz KNB // Suchasni procesi mehanichnoi obrobki instrumentami z NTM ta yakist' poverhni detalej mashhin: Zb. nauk. prac'. – K.: INM im. V.M. Bakulja NAN Ukraini, 2009. – S. 80-87. 3. Rjabchenko S.V. Sostoyanie poverhnostnogo sloja stali pri precizionnom zuboshlifovanii krugami iz KNB //Inzheneriya poverhnosti i renovaciya izdelij: mat. 7-oj Mezhdunarod. nauch.-tehn. konf., 29-31 maja 2007g., g. Jalta. – K.: ATM Ukrainy, 2007. – S.162-164. 4. Rjabchenko S.V. Kachestvo obrabotki zubchatykh koles posle shlifovaniya iz KNB //Kachestvo, standartizaciya, kontrol': teorija i praktika: mat. 9-oj Mezhdunarod. nauch.-tehn. konf., 2009g., g. Jalta. – K.: ATM Ukrainy, 2009. – S. 228.

СОДЕРЖАНИЕ

Ищенко Г.И., Ищенко М.Г. Технологические возможности ПАО «Турбоатом»	3
Беликов С.Б., Волчок И.П., Нетребко В.В. Оптимизация состава и свойств износостойких высокохромистых чугунов	18
Борисенко И.И. Оценка возмущения контейнера при его стегапреобразовании	27
Вайсман В.А., Колесникова Е.В., Лопачев А.С., Борчанова Ю.С. Стандартизация модели технологий инициации проектов	33
Гапонова О.П., Дядюра К.О., Супрун О.В., Сорока О.В. Дослідження впливу режимів термічної обробки на мікроструктуру і властивості сталі аустенітно-мартенситного класу	40
Гуцаленко Ю.Г. Особенности и возможности формирования микрогеометрии обработанной поверхности алмазно-искровым шлифованием	50
Гуцаленко Ю.Г., Ивкин В.В., Руднев А.В., Севидова Е.К., Степанова И.И. Станкоинструментальные электроизоляционные покрытия поддержки алмазно-искрового шлифования	59
Дерев'янченко О.Г., Криницин Д.О., Стасюк К.В. Визначення параметрів поточних станів формуютьуючої ділянки різальних кромek різців з використанням СТЗ	64
Колесников А.Е., Ткачук С.В., Отрадская Т.В., Васильева В.Ю. Управление проектом создания информационной среды университета	72
Кучугуров М.В., Гермашев А.И., Дядя С.И., Пирожок А.В. Особенности реализации возможностей управления приводами станков на базе стойки ЧПУ SIEMENS	80
Ламнауер Н.Ю. Управління точністю технологічних процесів обробки та складання деталей за параметром лінійного розміру	88
Лищенко Н.В. Частотные характеристики профилограммы поверхности и вибраций при её обработке	94
Нестеренко С.А., Пурич Д.А., Становский Ан.А., Монова Д.А. САПР реинжиниринга механических систем в эксплуатации	109

Оргиян А.А., Кремнев Г.П., Колесник В.М. Совершенствование уровня технологической и практической подготовки бакалавров и магистров.....	116
Пермяков А.А. Современные силовые агрегаты как элементная база создания станков и систем агрегатно-модульной конструкции.....	123
Пузырь Р.Г. Расчет компонент тензора напряжений на цилиндрическом участке профиля обода колеса с учетом поверхностной нагрузки.....	134
Руденко С.В., Ма Фен, Гловацька С.М., Колеснікова К.В. Впровадження проекту управління іміджем навчального закладу в реаліях Китаю	141
Рыбалко А.П., Лищенко Н.В., Ларишин В.П. Системы технологической диагностики и адаптивного управления для станков с ЧПУ	150
Рябченко С.В. Исследование процесса шлифования зубчатых колес тарельчатыми кругами из КНБ	162
Рязанова-Хитровская Н.В., Пыжов И.Н., Крюкова Н.В. Некоторые пути повышения эффективности процесса алмазного выглаживания	173
Севидова Е.К. Особенности влияния импульсного напряжения на формирование коррозионно-электрохимических свойств упрочняющих наноструктурных покрытий.....	183
Стрельчук Р.М. Математическое моделирование тепловыделения в контактной зоне заготовки и шлифовального круга с учетом его изнашивания	189
Тонконогий В.М., Лебедева Е.Ю., Духанина М.А., Абу Шена Осама Испытание резинометаллических амортизаторов металлорежущих станков на деформацию	197
Тонконогий В.М., Синько И.С., Корнещук И.Т. Автоматизированное проектирование помещений со специальными акустическими свойствами.....	204
Турманидзе Р.С., Цикаришвили Е.Г., Попхадзе Г.З. Средства повышения эффективности методов получения энергии с использованием возобновляемых источников и ее аккумуляции.....	210

Якимов А.А., Браилов А.Ю. Изыскание возможности увеличения производительности обработки на зубошлифовальных станках, работающих двумя тарельчатыми кругами	219
Якимов О.О. Розрахунок інтенсивності теплового потоку при зубошліфуванні двома тарілчастими абразивними кругами по нульовій схемі	227

Наукове видання

Високі технології в машинобудуванні

Збірник наукових праць

Упорядник *проф. Грабченко А. І.*

Оригінал-макет *Крюкова Н.В.*

В авторській редакції

Підп. до друку 28.08.2015. Формат 60х84 1/16. Папір Сору Рарер.
Друк - ризографія. Гарнитура Таймс. Умов.друк.арк. 10,0.
Облік.вид.арк. 11,0. Наклад 300 прим. 1-й завод 1-100. Зам. № 1149
Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ «ХП»
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 116 від 10.07.2000 р.
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

Друкарня ДП ХМЗ "ФЕД", 61023, Харків, вул. Сумська, 132