

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

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

Присвячується 125-річчю НТУ "ХПІ"

1'2010

ВИСОКІ ТЕХНОЛОГІЇ
В МАШИНОБУДУВАННІ

HIGH TECHNOLOGIES
OF MACHINE-BUILDING

Збірник наукових праць

Printed scientific works

Харків НТУ «ХПІ» – 2010 – Kharkiv NTU «KhPI»

ББК 34.63

УДК 621.91

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

Друкується за рішенням Вченої Ради НТУ "ХПІ",
протокол №6 від 06.07.2010 р.

Редакційна колегія:

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

В збірнику представлені наукові праці, які присвячені вирішенню проблем в області високих технологій машинобудування. Розглянуті питання екологічно безпечного виробництва, сучасного інструментального забезпечення, використання 3D моделювання для конструювання інструментальних та робочих поверхонь, контролю поверхонь, які отримані за допомогою нанотехнологій, технологій мінімізації подання ЗОТС та ін.

Для фахівців в області машинобудування, науково-технічних працівників і студентів.

Високі технології в машинобудуванні: зб. наук. праць. – Харків, НТУ “ХПІ”, 2010. – Вип. 1 (20). – 190 с.

В сборнике представлены научные труды, которые посвящены решению проблем в области высоких технологий машиностроения. Рассматриваются вопросы экологически безопасного производства, современного инструментального оснащения, применения 3D моделирования для конструирования инструментальных и рабочих поверхностей, контроля поверхностей, полученных с помощью нанотехнологий, минимизации СОТС и др.

Для специалистов в области машиностроения, научно-технических работников и студентов.

ББК 34.63

Матеріали відтворено з авторських оригіналів

© НТУ «ХПІ», 2010

И. Д. Абдулкеримов, Симферополь, Украина

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ГЛУХИХ ОТВЕРСТИЙ В ЛИТЫХ ДЕТАЛЯХ ПНЕВМОАППАРАТУРЫ ИЗГОТОВЛЕННОЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Підвищення якості поверхні глухих отворів у литих деталях пневмоапаратура виготовленої з алюмінієвих сплавів, методами поверхнево пластичного деформування. Представлений деформуючий інструмент та режими обробки.

Повышение качества поверхности глухих отверстий в литых деталях пневмоаппаратуры изготовленной из алюминиевых сплавов, методами поверхностно пластического деформирования. Представлен деформирующий инструмент и режимы обработки.

Improving the quality of the surface of blind holes in cast parts pneumatic equipment made from aluminum alloys, methods of surface plastic deformation. Submitted by deforming tool and processing modes.

Постановка проблеми и ее связь с научно-практическими задачами. В современном машиностроении в качестве заготовок для различных деталей используют метод литья под давлением, так как он является прогрессивным и широко распространенным способом получения точных отливок с качественной поверхностью. Но так как этот метод не обеспечивает гарантированную герметичность литых деталей пневмоаппаратуры, работающих под давлением сжатого воздуха до 1МПа из-за повышенной газо-усадочной пористости отливок[1] то в промышленности применяют методы герметизации различными герметиками и пропитку в вакууме, но они не дают возможность получать герметичные разъемные соединения в следствии влияния линейных и объемных расширений на изделие в процессе эксплуатации. Вакуумирование при литье под давлением так же не устраняет полностью газо-усадочную пористость.[2]

Научная новизна. Определение закономерностей изменения качества поверхности глухих отверстий в деталях из алюминиевого литейного сплава АК12М1 в зависимости от вида и режимов работы при ППД.

Целью исследования является повышение качества поверхности резьбовых соединений в деталях полученных литьем под давлением из алюминиевых сплавов.

Задачи:

- 1)создать плотный поверхностный слой (ППС) в процессе поверхностно-пластического деформирования(ППД);
- 2)разработать конструкцию деформирующего инструмента для получения ППС в глухих отверстиях деталей из алюминиевых сплавов;

3) определить режимы и конечные параметры для обработки деформирующим инструментом;

4) исследовать качество поверхности и структуру ППС после ППД.

Металлографические исследования показали, что:

В процессе выдавливания происходит разрушение хрупкой литой корки с трещинами, выходящими на поверхность резьбы, что приводит к существенному снижению герметичности.

Пластическая деформация от профиля резьбы распространяется внутрь металла незначительно и не превышает 0,2 мм. Такой глубины поверхностно деформационного слоя недостаточно чтобы, «закрыть» (ликвидировать) пористость на глубину 1-2 мм. Анализ литературы показал, что наиболее эффективно и технологично данную задачу можно решать методом поверхностно пластического деформирования (ППД), который формирует в поверхностном слое сдвиговые деформации, к этим методам ППД относятся: выглаживание, деформирующее протягивание, раскатывание. [3]

В следствии для исследования закономерностей механики ППД литых алюминиевых сплавов предложена следующая методика: ППД осуществляется по наружной поверхности цилиндрической литой заготовки (рис. 1). Применили многоцикловое (ступенчатое) ППД с числом циклов 8-15. Для этого были нарезаны выступы (пазы). Конструкция и инструмент, моделирующий ППД разработаны в соответствии с рекомендациями работ [4, 5].

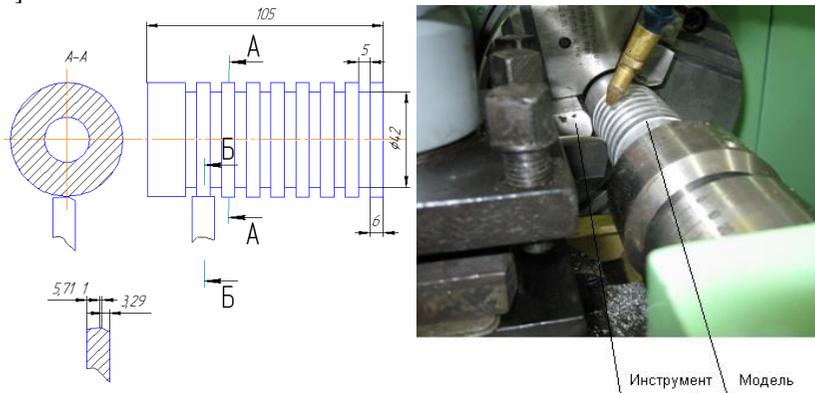


Рисунок 1 – Методика исследования закономерностей механики ППД, литых алюминиевых сплавов

Для обеспечения пористости такой же, как у обработанных изделий они отливались при тех же технологических условиях. Структурный анализ показал, что поверхности формируются аналогично, и предварительно корка удаляется обтачиванием. В работах [4,5] для формирования плотного

поверхностного слоя авторы указывают на необходимость больших сдвиговых деформации, при которых происходит «залечивание» пор (рис.2).

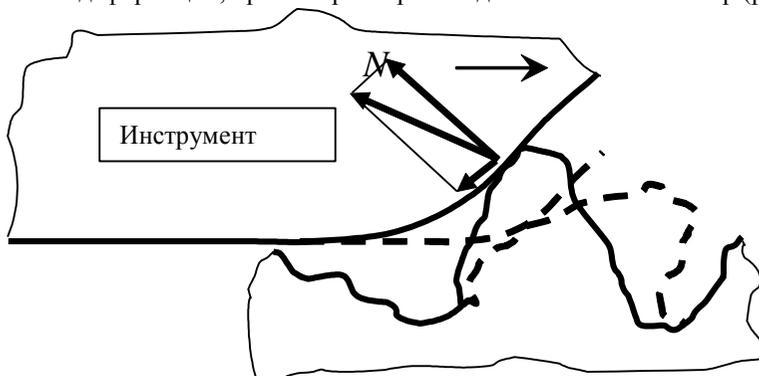


Рисунок 2 – Смятие микронеровности "заваливанием"

Для заготовки заготовок с плотностью $\rho=2.664 \text{ г/см}^3$, $\rho=2.685 \text{ г/см}^3$, $\rho=2.735 \text{ г/см}^3$ и инструментом с углом деформации $4^\circ, 5^\circ, 8^\circ$ при скоростях деформации $\xi=3,77 \text{ м/мин}$, $\xi=4,75 \text{ м/мин}$ и поперечной подаче $S_p=0,05 \text{ мм/об}$. Мы получили самую качественную поверхность ($Ra 0.65$) после 12-14 циклов деформации.

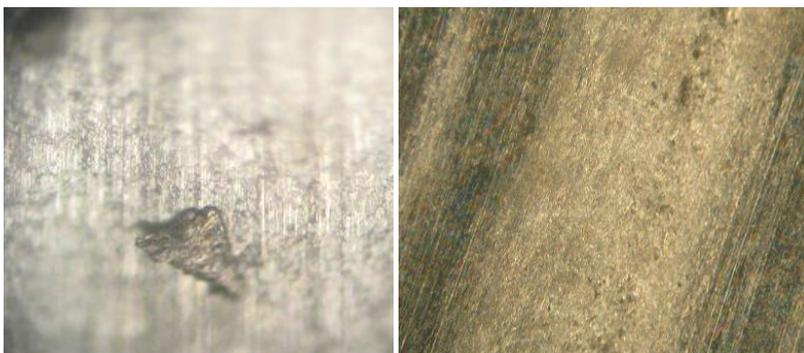


Рисунок 3 – Вскрытая пора до и после деформирования увел.х100

Это говорит о том, что скорость деформации при холодно пластическом деформировании (ХПД) влияет не так значительно на качество поверхности модели из алюминиевого сплава, как количество циклов и угол деформации.

На основании проведенных опытов и анализа их результатов был спроектирован деформирующий инструмент (рис.4) для глухих отверстий в отливках из алюминиевого сплава.

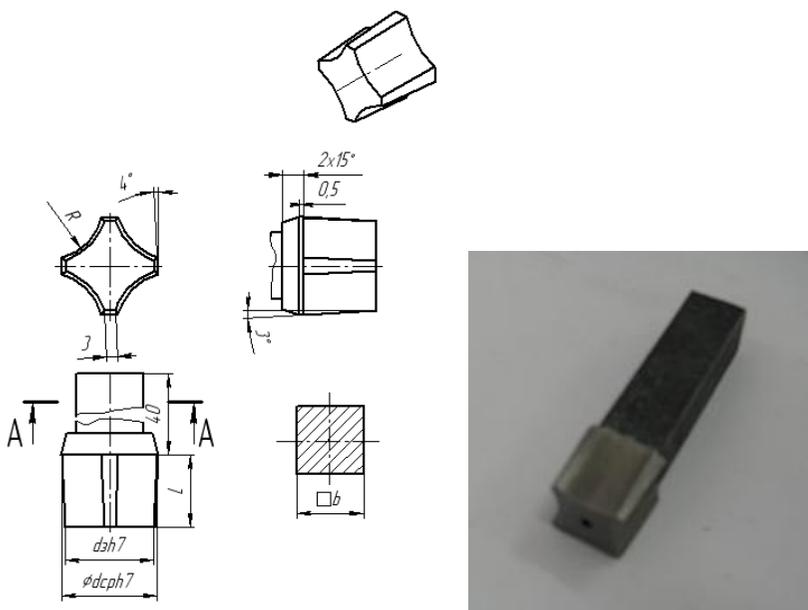


Рисунок 4 – Деформирующий инструмент для глухих отверстий

Созданный инструмент состоит из хвостовика и деформирующей части, которая в свою очередь имеет четыре деформирующих пера, угол наклона этих деформирующих частей составляет от 3 до 7 градусов у деформирующей части есть заборная (d_z), деформирующая (d_{cp}), калибрующая ($d_{cp,0.5}$) и для обратного выхода инструмента из детали обратный конус[6]. Инструмент, сделан из инструментальной стали P6M5K5. Твердость инструмента 55-60 HRC.

Определены параметры и режимы работы инструмента для обработки глухих отверстий а именно:

Ли – длина рабочей части инструмента рассчитывается в зависимости от подачи из соотношения:

$$L_u = N_{об} \cdot xS \quad (1)$$

Где
$$N_{об} = N_{цикл} / N_{пер} \quad (2)$$

$N_{пер}$ – число рабочих перьев инструмента

$N_{цикл}$ – число циклов, необходимых для получения качественной поверхности

$N_{об}$ – число оборотов инструмента, при котором будет обеспечено необходимое $N_{цикл}$ при заданных $N_{пер}$ (3-4)

Калибрующая d_{cp} определяется из схемы для расчета диаметра под резьбу d_n (рис.5.)

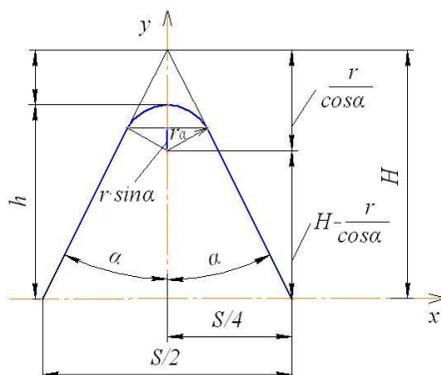


Рисунок 5 – Схема для расчета среднего диаметра отверстия под резьбу

$$D_{cp} = d_n \quad (3)$$

Где
$$d_n = 2r = \frac{S/4 \tan^{-1}(\alpha) - h}{\cos \alpha - 1} \quad (4)$$

При обработке глухих отверстий в корпусных деталях из алюминиевого сплава с применением СОТС после сверления мы получили шероховатость поверхности Ra5.7, после обработки деформирующим инструментом Ra5.1, а после удаления корки образующуюся после ППД зенкерованием мы получили поверхность Ra4,1.

Выводы:

1. Создан плотный поверхностный слой (ППС) в процессе поверхностно-пластического деформирования (ППД);
2. Разработана конструкция деформирующего инструмента для получения ППС в глухих отверстиях деталей из алюминиевых сплавов;
3. Определены режимы и конечные параметры для обработки деформирующим инструментом;
4. Исследованы качество поверхности и структуру ППС после ППД.

Список использованных источников: 1. *Абдулкеримов И.Д. Падерин В.Н.* Повышение герметичности литых деталей пневмоаппаратуры изготовленных из алюминиевых сплавов с помощью бесстружечных метчиков» Международный научно-технический сборник ВАК «Резание и инструмент в технологических системах», НТУ «ХПИ» (г. Харьков), выпуск 74, 2008, с.3-6. 2. *Абдулкеримов И.Д. Падерин В.Н.* Расчет предполагаемого объема пористости и неметаллических включений при проектировании отливок, получаемых литьем под давлением, и их влияние на негерметичность. Ученые записки Крымского инженерно – педагогического университета. Выпуск 16. Технические науки. – Симферополь: НИЦ КИПУ, 2008. С.54-57 3. *Меньшаков В.М., Урлапов Г.П., Серeda В.С.* Бесстружечные метчики. М., «Машиностроение», 1976. -167с. 4. *Розенберг О.А., Цеханов Ю.А., Шейкин С.Е.* Технологическая механика деформирующего протягивания. Воронежская гос. технолог. акад. – Воронеж, 2001.- 200с. 5. *Шейкин С.Е.* Научные основы технологического управления микрорельефом поверхности и упрочнение поверхностного слоя при деформирующем протягивании. Диссер. На получение научной степени д.т.н. Киев:-2008. 6. *Абдулкеримов И.Д.* Способ получения качественной поверхности глухих отверстий в деталях полученных литьем. Материалы международной научно-технической конференции «Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука- виробництво» ЗНТУ (г. Запорожье), 2010

Поступила в редколлегию 15.05.2010

Агу Коллинз, М. Д. Узунян, д-р техн. наук, Харьков, Украина

ОСОБЕННОСТИ АЛМАЗНО-ИСКРОВОГО ШЛИФОВАНИЯ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ С МИНИМАЛЬНЫМ ПРИМЕНЕНИЕМ СУХИХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ СМАЗОК

Представлено результати дослідження процесу алмазно-іскрового шліфування твердих сплавів із застосуванням технології мінімального змащення. Показано, що використання сухого углеводородного середовища спеціального складу замість рідини поливом забезпечує меншу напруженість процесу та більшу працездатність алмазних кругів.

Представлены результаты исследований процесса алмазно-искрового шлифования твердых сплавов с применением технологии минимальной смазки. Показано, что использование сухой углеводородной среды специального состава вместо жидкости поливом обеспечивает меньшую напряженность процесса и более высокую работоспособность алмазных кругов.

Results of investigations of diamond-spark grinding of hard alloys with application of technology of minimum quantity lubrication are presented. It is shown that use of dry hydrocarbon agents of special composition instead of jet flushing is provided less intensity of the process and higher working capacity of diamond wheels.

Смазочно-охлаждающие технологические средства (СОТС) в настоящее время применяются в металлообработке в основном в качестве жидких сред поливом. При этом можно отметить, что в технически развитых странах расходы при использовании таких СОТС часто даже превышают расходы по использованию металлорежущих инструментов. Это связано с неизбежными затратами на приготовление СОТС, транспортировку, их дальнейшую регенерацию и утилизацию; кроме того, особенно в последнее время, первостепенное значение приобретают экологические аспекты, связанные с использованием СОТС, они могут быть токсичны, вредны для здоровья.

С учетом изложенного, если позволяют условия обработки резанием, применяется так называемая техника минимальной смазки или сухая обработка, что является весьма перспективным направлением [1].

Следует отметить, что если на операциях точения, торцевого фрезерования, сверления и некоторых других, технология минимального применения смазки и охлаждения, также как и сухая обработка применяется с различными соотношениями эффективности, то при обработке шлифованием по имеющейся информации применение минимальной смазки и охлаждения не эффективно, а сухая обработка вообще не рассматривалась.

Поэтому минимизация применения сухой твердой смазки особенно в таком технологическом процессе как алмазно-искровое шлифование и исследование его особенностей представляется важной производственной задачей. Более того, учитывая, что рассматриваются вопросы шлифования

твердых сплавов алмазными кругами на износостойкой и склонной к засаливанию металлической связке, поставленная задача представляется весьма актуальной.

Как известно, шлифование твердых сплавов кругами на металлических связках целесообразно производить с введением дополнительной энергии в зону резания в виде электрических импульсов с помощью специальных генераторов; это процесс алмазно-искрового шлифования (АИШ) [2], в котором в качестве наиболее распространенной рабочей среды используются 0,5–3 % водные растворы соды струйным поливом.

В дополнение к изложенным ранее недостаткам использования СОТС поливом применительно конкретно к процессу шлифования к ним можно отнести и следующее: неудобства и трудности, связанные с применением многопозиционных приспособлений, шлифованием и заточкой многолезвийных инструментов, практически закрытой зоной обработки, разбрызгиванием СОТС при выводе изделий из зоны контакта и другое.

Поэтому в качестве альтернативного способа с использованием принципа подачи сухой смазки в необходимом количестве вместо полива предложено применение твердых экологически чистых углеводородов различной модификации (парафиноподобные). Используемая сухая смазка является диэлектрической средой, способствует иницированию электрических разрядов, обеспечению устойчивого режущего рельефа рабочей поверхности алмазных кругов и достижению стабильных условий его взаимодействия с обрабатываемым материалом. Столбик необходимого сечения из подобранной смеси определенного состава различных углеводородов с помощью простого устройства с небольшим усилием (3–5 гр) прижимается и постоянно контактирует с рабочей поверхностью алмазного круга.

Для выбора оптимального варианта смеси различных углеводородов с позиций каплепадения использовались парафин, стеариновая кислота (стеарин) и себациновая кислота, имеющая наибольшую из перечисленных средств температуру каплепадения $T = 134 \text{ }^\circ\text{C}$.

Эксперименты проводились с помощью установки, созданной на базе универсально-заточного станка ЗВ642. Для реализации процесса АИШ станок был модернизирован; обрабатывались пластины твердого сплава Т15126 формы 0227. Образцы шлифовались алмазным кругом 12А2-45АС6-100/80 М1-01-4. АИШ производились с обратной полярностью, энергия единичных разрядов составляла $11 \cdot 10^{-4}$ Дж (частота импульсов 88 кГц); нормальное давление $P_{\text{н}} = 1,2$ МПа, скорость резания $V = 25$ м/с.

Результаты анализа различных вариантов использования углеводородных смазок в сравнении с применяемыми традиционными СОТС поливом (3 % содовый раствор воды) представлены в таблице.

Таблица – Значения показателей работоспособности алмазных кругов при различных диэлектрических средах

Диэлектрическая среда	Производительность Q , мм ³ /мин	Относительный расход алмазов q , мг/гр	Удельная себестоимость C , коп/см ³
СОТС, струйный полив	549,8	1,76	6,92
Стеарин	567,4	1,63	6,41
Себациновая кислота	525,7	1,87	7,63
Смесь равных частей стеарина и себациновой кислоты	628,3	1,52	6,14

На основании анализа результатов экспериментов с различными диэлектрическими средами установлено, что АИШ с использованием смеси равных частей стеарина и себациновой кислоты можно считать наиболее целесообразным, так как при этом обеспечивается при большей производительности сравнительно меньшие значения удельной себестоимости и относительного расхода алмазов. Поэтому особенности взаимодействия алмазных кругов с обрабатываемым твердым сплавом при АИШ изучались с минимально подаваемой в зону резания сухой смазкой выявленного состава.

Удобным критерием, характеризующим особенности и напряженность процесса шлифования и отражающим состояние развитости режущего рельефа кругов, является коэффициент шлифования $K_{ш}$, который оценивается как отношение тангенциальной силы P_z к радиальной P_y [3, 4]. При постоянно задаваемой силе P_y (упругая схема шлифования), измерение силы P_z производилось с помощью специального динамометра.

Изучалось влияние различных факторов, а значит и различных условий контактного взаимодействия рабочей поверхности алмазного круга со шлифуемой поверхностью твердого тела.

Влияние нормального давления на $K_{ш}$ представлено на рис. 1.

Увеличение нормального давления вызывает рост коэффициентов шлифования для обоих способов шлифования. Активный режущий рельеф алмазного круга при АИШ обеспечивает хороший уровень внедряемости микрокромки алмазных зерен в обрабатываемую поверхность твердого сплава, что способствует опережающему росту тангенциальной силы; это можно считать главным фактором, определяющим характер зависимостей.

Кроме того из графиков следует, что для способа шлифования с сухой углеводородной смазкой значения коэффициентов шлифования меньше во

всем диапазоне увеличения нормальных давлений. Это объясняется меньшим вкладом доли коэффициента трения между металлической связкой алмазного круга и твердым сплавом в общее значение коэффициента шлифования.

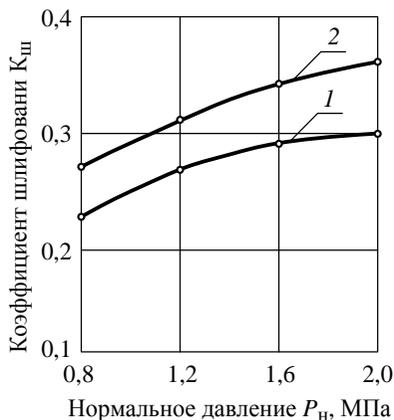


Рисунок 1 – Влияние нормального давления на коэффициент шлифования:

1 – сухая смазка; 2 – СОТС поливом.

Условия шлифования: $V = 25$ м/с; круг 12A2-45AC6-100/80 M1-01-4

Зависимость $K_{ш}$ от скорости шлифования для разных технологических сред в зоне резания характеризуется его практически незаметным изменением для СОТС поливом и увеличением для сухой углеводородной смазки (рис. 2).

Отмеченный характер изменения зависимости $K_{ш}$ (кривая 2) объясняется постоянством сил резания, что, по-видимому, обусловлено практически неизменным значением коэффициента трения в зоне контакта алмазных зерен с твердым сплавом в зоне высоких скоростей взаимодействия. Известно также, что, например, при тонком алмазном точении материалов, не вступающих в адгезионное взаимодействие с алмазом, силы резания с ростом скорости точения не изменяются [5].

Увеличение коэффициента шлифования (кривая 1) при изменении скорости резания можно объяснить ростом мгновенного сечения среза, которое зависит от количества одновременно контактирующих рабочих зерен; число этих зерен определяется реальной шероховатостью обрабатываемой поверхности. Как известно шероховатость поверхности с ростом скорости резания снижается, что способствует меньшей вероятности мгновенного проскальзывания алмазных зерен и их микрокромки вне контакта с микронеровностями обрабатываемой поверхности твердого сплава и более полному контакту зерен по ширине с выступами микронеровностей. Увеличение вероятности удаления материала и числа контактирующих с ним

зерен при повышении скорости было установлено также при обычном абразивном шлифовании [6,7].

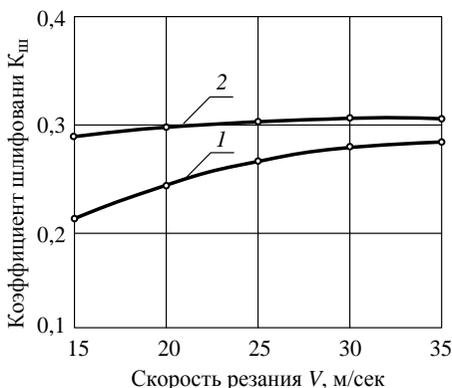


Рисунок 2 – Влияние скорости резания на коэффициент шлифования:
1 – сухая смазка; 2 – СОТС поливом.

Условия шлифования: $P_n = 1,2$ МПа; круг 12A2-45AC6-100/80 M1-01-4

Следовательно, изменяющиеся с увеличением скорости резания условия взаимодействия устойчиво развитого режущего рельефа алмазного круга с обрабатываемым материалом способствуют росту мгновенного сечения среза, а значит, и тангенциальной силы резания, что и вызывает повышение коэффициента шлифования. Кроме изложенных результатов экспериментов, объясняющих характер зависимостей, представленных на рис. 1 и 2, можно сделать общий вывод, что значения $K_{ш}$ при АИШ твердых сплавов с сухой углеводородной смазкой меньше, чем при обычном шлифовании с СОТС поливом, а значит меньше и напряженность процесса шлифования.

Список использованных источников: 1. Якубов Ч. Ф. Упрочняющее действие СОТС при обработке металлов резанием / Ч. Ф. Якубов. – Симферополь: ОАО «Симферопольская городская типография», 2008. – 156 с. 2. Беззубенко Н. К. Место нового процесса алмазно-абразивно-искрового шлифования в ряду комбинированных электрохимических и электротехнических методов обработки / Н. К. Беззубенко // Резание и инструмент. – 1974. – Вып. 9. – С. 133–139. 3. Муцянюк В. И. Коэффициент шлифования как критерий оценки процесса / В. И. Муцянюк, В. И. Островский // Тр. ВНИИАШ. – 1965. – № 1. – 340 с. 4. Попов С. А. Алмазно-абразивная обработка металлов и твердых сплавов / А. С. Попов, Н. П. Малевский, А. М. Терещенко. – М. : Машиностроение, 1977. – 263 с. 5. Зубарь В. П. Исследование особенностей трения синтетических поликристаллических алмазов с конструкционными материалами / В. П. Зубарь, В. К. Крюков, В. В. Алмосов // Резание и инструмент – 1975. – Вып 13. – С. 54–58. 6. Королев А. П. Исследование процесса образования поверхностей инструмента и детали при абразивной обработке / А. П. Королев. – Саратов, 1975. – 189 с. 7. Новоселов Ю. К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке / Ю. К. Новоселов. – Саратов, 1979. – 232 с.

Поступила в редколлегию 20.01.2010

А.А. Березовский, В.М. Тонконогий, д-р техн. наук,
Ю.М. Хомяк, канд. техн. наук, Одесса, Украина

ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ПОКРЫТИЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Важливим фактором надійності робочих елементів деталей апаратів є адгезійна міцність покриттів, які наносяться на ці деталі. Існуючі методи вимірювань цієї міцності методом штифтів не забезпечують необхідну при проектуванні точність. Результати дослідження показують, що традиційний спосіб розрахунків має деякий сенс лише для порівняльного аналізу механічних властивостей покриттів. Запропоновано метод, що дозволяє встановити дійсну величину опору відриву покриття, необхідну при проведенні проектних робіт.

Важным фактором надежности рабочих элементов деталей аппаратов является адгезионная прочность покрытий, наносимых на эти детали. Существующие методы измерений этой прочности методом штифтов не обеспечивают необходимую при проектировании точность. Результаты исследования показывают, что традиционный способ расчета имеет некоторый смысл лишь для сравнительного анализа механических свойств покрытий. Предложен метод, позволяющий установить истинную величину сопротивления отрыву покрытия, необходимую при проведении проектных работ.

The important factor of devices details working elements reliability is adhesive strength of the coverings put on these details. Existing methods of this strength measurements do not provide with a method of pins necessary accuracy at designing. Results of probe show that the traditional mode of calculation has some sense only for the comparative analysis of the coverings mechanical properties. The method, allowing to establish true size of resistance the covering separation, necessary at carrying out of design works is offered.

Надежность многих деталей машин, использующихся в переработке различных абразивных материалов, зависит, в основном, от надежности их рабочих элементов, непосредственно осуществляющих силовой контакт с обрабатываемым материалом. Для резкого увеличения стойкости этих элементов их защищают прочными износостойкими покрытиями. Такие композиционные детали работают до износа покрытия или его отрыва (скола). Последнее определяется, в основном, адгезионной прочностью покрытия – прочностью его связи с основой детали.

Адгезионная прочность покрытий зависит от множества факторов: конструкции и материала детали, материала покрытия и способа его нанесения, технологических режимов нанесения и культуры производства – уровня автоматизации, точности соблюдения режимов операций и составов веществ, чистоты рабочего места и внимательности персонала и многого другого. Единственным средством контроля эффективности оптимизации перечисленных факторов является непосредственное измерение адгезионной прочности таких покрытий. От быстроты и точности таких измерений во многом зависят как итоги проектирования оборудования, так и технико-экономические результаты его эксплуатации.

Адгезионная прочность системы «адгезив – субстрат» наиболее часто исследуется экспериментально методом отрыва штифтов [1]. По результатам эксперимента напряжения сцепления определяют как отношение силы, зафиксированной в момент начала отрыва штифта от покрытия, к площади торца штифта.

К сожалению, такой расчет устанавливает среднюю величину адгезионной прочности, т.к. напряжения по торцу штифта распределены существенно неравномерно. Учет этой неравномерности позволит в значительной степени приблизить модели, используемые при проектировании деталей с покрытиями, к реальным напряжениям и деформациям, возникающим в ней, а значит получить адекватные модели разрушения.

Целью настоящей работы является создание расчетно-экспериментального метода измерения напряжений, возникающих в системе «деталь – покрытие» при отрыве последнего, путем теоретических и экспериментальных исследований факторов, влияющих на эти напряжения.

Для исследования напряжений, возникающих в системе «деталь – покрытие» при отрыве последнего, была создана экспериментальная установка, схема которой представлена на рис. 1. Покрытие 4 нанесено на общую торцевую поверхность конического штифта 1 и матрицы 3, установленной в кольцевую опору 2. Поверхность покрытия при извлечении штифта силой P деформируется неравномерно и по его торцу возникают отрывающие напряжения, величина которых подлежит определению.

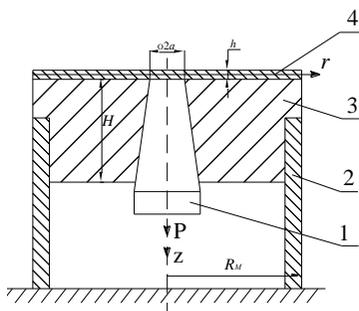


Рисунок 1 – Схема устройства для определения адгезионной прочности покрытия

Для построения математической модели экспериментального устройства будем считать штифт и матрицу упругим основанием, а покрытие – тонкой пластинкой, сцепленной с этим основанием. Под воздействием силы P покрытие изгибается симметрично относительно центральной оси, следовательно, его вертикальные перемещения – прогибы $w(r)$ – будут зависеть только от радиальной координаты r [2]:

$$L^2 \left[\left(\frac{q(r)}{D} \right) \right], \quad (1)$$

где $L = \frac{d^2}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{d}{dr}$ – дифференциальный оператор; $q(r)$ – внешняя нагрузка;

$p_1(r)$ – контактные напряжения; $D = \frac{1}{12} E h^3 / (1 - \mu^2)$ – цилиндрическая жесткость покрытия с толщиной h ; E , μ – соответственно модуль упругости и коэффициент Пуассона материала покрытия.

Покрытие нагружается штифтом контактными напряжениями $p_1(r)$ в круге $r < a$ (внутренняя область) и эта нагрузка вызывает реакцию поверхности матрицы, $p_2(r)$, во внешней области $r > a$. Следовательно, особенностью рассматриваемой задачи является отсутствие внешней (известной) нагрузки, т.е. в уравнении (1) функция $q(r) = 0$. Примем, что контактные напряжения пропорциональны прогибам (модель основания Винклера),

$$p_j(r) = k_j w_j(r), \quad j = 1, 2, \quad (2)$$

где k_j – коэффициент пропорциональности, называемый модулем основания.

Модуль основания можно найти по формуле [2]

$$k_i = E_i / H_i, \quad (3)$$

где E_i , H_i – модуль упругости штифта ($i = 1$) либо матрицы ($i = 2$) и их длина (толщина).

Учитывая описанные особенности предложенной модели и подставив (2) в (1), получим

$$L^2 w_j(r) - \frac{k_j w_j(r)}{D} = 0. \quad (4)$$

Для внутренней и внешней областей вводим безразмерные аргументы $x_i = r/l_i$ и прогибы $z_i = w_i/l_i$, в которых:

$$l_i = \sqrt[4]{k_i/D}, \quad (5)$$

в результате уравнение (4) получит вид (индексы $i = 1, 2$ опускаем)

$$L^2 z + z = 0. \quad (6)$$

Решение этого уравнения известно [3]:

$$z(x) = \sum_{n=1}^4 A_n \psi_n, \quad (7)$$

где ψ_n – выражается через функции Томсона:

$$\psi_1(x) = \operatorname{ber} x, \quad \psi_2(x) = -\operatorname{bei} x, \quad \psi_3(x) = -\frac{2}{\pi} \operatorname{kei} x, \quad \psi_4(x) = -\frac{2}{\pi} \operatorname{ker} x. \quad (8)$$

Для внутренней зоны должны удовлетворяться условия ограниченности прогибов z_1 и поперечной силы Q_1 при $r \rightarrow 0$. Поскольку функции $\operatorname{kei}(x)$ и

$\ker(x)$ неограниченно возрастают при $x \rightarrow 0$, данные условия будут выполнены при $A_3 = 0$ и $A_4 = 0$ [4]. Следовательно, решение для внутренней области имеет вид

$$z_1 \begin{pmatrix} \psi_1 \\ \psi_2 \end{pmatrix} = A_1 \psi_1 \begin{pmatrix} \psi_1 \\ \psi_2 \end{pmatrix} + A_2 \psi_2 \begin{pmatrix} \psi_1 \\ \psi_2 \end{pmatrix} \quad (9)$$

Радиус внешней области, т.е. матрицы, $R_M \gg a$, поэтому примем, что для этой зоны $a \leq r < \infty$. Здесь угол поворота $w_2'(r)$, изгибающий момент $M_2(r)$ и поперечная сила $Q_2(r)$ должны затухать при $r \rightarrow \infty$, что выполняется при $A_1 = 0$ и $A_2 = 0$, поэтому

$$z_2 \begin{pmatrix} \psi_3 \\ \psi_4 \end{pmatrix} = A_3 \psi_3 \begin{pmatrix} \psi_3 \\ \psi_4 \end{pmatrix} + A_4 \psi_4 \begin{pmatrix} \psi_3 \\ \psi_4 \end{pmatrix} \quad (10)$$

Константы A_n формул (9) и (10) определяются из условий непрерывности для покрытия на границе "штифт – матрица" $r = a$

$$M_1|_{r=a^-} = M_2|_{r=a^+}; \quad \left. \frac{dw_1}{dr} \right|_{r=a^-} = \left. \frac{dw_2}{dr} \right|_{r=a^+} \quad (11)$$

Здесь минус и плюс обозначают, что берутся выражения (9) или (10), соответственно.

Для формулировки второй пары уравнений используем условия равновесия, записанные через перемещения в соответствии с (2):

$$2\pi k_1 \int_0^a \psi_1(r) r dr = P; \quad 2\pi k_2 \int_a^\infty \psi_2(r) r dr = P \quad (12)$$

По условиям (11) и (12) определяются искомые постоянные A_1, A_2, A_3 и A_4 . В выражениях для c_1, c_2, \dots, c_6 функции ψ_1, ψ_2 и их производные в качестве аргумента имеют выражение $a/11$, а функции ψ_3, ψ_4 и их производные – выражение $a/12$. По результатам вычислений контактных напряжений построены графики соответствующих зависимостей (рис. 2), позволяющие судить о характере распределения этих напряжений вдоль радиальных координат защищенного покрытием торца штифта.

Окончательный результат носит характер расчетно-экспериментальной зависимости. Вычисления проводились при следующих значениях характеристик основания и покрытия: $k_1 = k_2 = 2500$ Н/мм³; $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа; $\mu = 0,28$; $h = 0,25$ мм. Величина внешней нагрузки $P = 500$ Н.

Неравномерность в распределении контактных напряжений увеличивается с ростом радиуса торца штифта a (рис. 2). Последнее обстоятельство может приводить к значительной погрешности при расчете адгезионной прочности покрытий (рис. 3) и должно быть обязательно учтено как при постановке эксперимента, так и на этапе расчета.

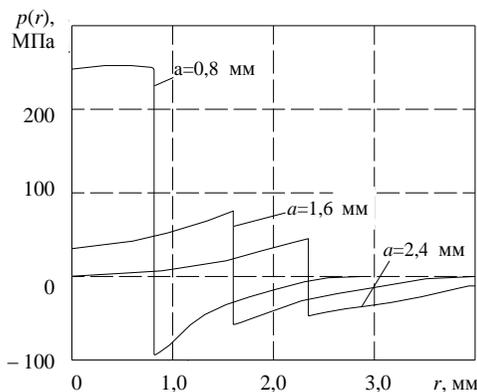


Рисунок 2 – Зависимость контактных напряжений от радиальной координаты

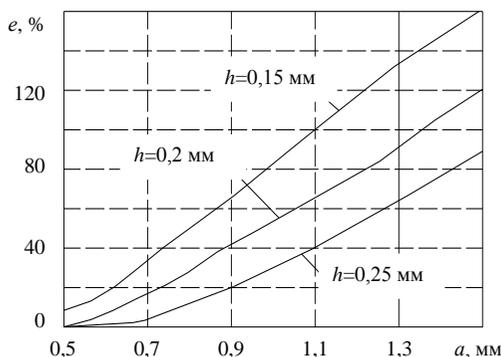


Рисунок 3 – Зависимость величины относительной погрешности расчета от радиуса торца штифта

Важным фактором надежности рабочих элементов деталей аппаратов является адгезионная прочность покрытий, наносимых на эти детали. Существующие методы измерений этой прочности методом штифтов не обеспечивают необходимую при проектировании точность.

Результаты исследования показывают, что традиционный способ расчета имеет некоторый смысл лишь для сравнительного анализа механических свойств покрытий, тогда как предложенный метод позволяет установить истинную величину сопротивления отрыву покрытия, необходимую при проведении проектных работ.

Список использованных источников: 1. Зимон А.Д. Адгезия пленок и покрытий. – М.: Химия, 1977. – 275 с. 2. Тимошенко С.П. Пластинки и оболочки / С.П. Тимошенко, С. Войновский-Кригер. – М.: Физматгиз, 1963. – 308 с. 3. Григолюк Э.И. Контактные задачи теории пластин и оболочек / Э.И. Григолюк, В.М. Толкачев. – М.: Машиностроение, 1980. – 264 с. 4. Двайт Г.Б. Таблицы интегралов и другие математические формулы. – М.; Наука, 1969. – 228 с.

Поступила в редколлегию 07.06.2010

Т.В. Бибик, Л.В. Бовнегра, Д.А. Пурич,
О.С. Савельева, канд. техн. наук, Одесса, Украина

ОЦЕНКА СЕТЕВОЙ НАДЕЖНОСТИ ПРИ СТРУКТУРНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Надійійність технічних систем визначається властивостями їх елементів і зв'язків між ними. При наявності декількох елементів у системі важливою проблемою оцінки надійності останньої є врахування значимості кожного елемента і його внеску в надійність системи в цілому. Розглянуті аспекти морфологічного представлення моделей при оцінці надійності мережі в структурному проектуванні складних технічних систем.

Надежность технических систем определяется свойствами их элементов и связей между ними. При наличии нескольких элементов в системе важной проблемой оценки надежности последней является учет значимости каждого элемента и его вклада в надежность системы в целом. Рассмотрены аспекты морфологического представления моделей при оценке надежности сети в структурном проектировании сложных технических систем.

The reliability of technical systems is defined by properties of their elements and communications between them. In the presence of several elements in system the important problem of an estimation in reliability of last is the account of the each element importance and its contribution to reliability of system as a whole. Aspects of morphological models application at an estimation of network reliability in structural designing of difficult technical systems are considered.

Многие современные технические системы имеют сетевую структуру, а надежность их функционирования зависит от факторов, моделирование которых невозможно без учета анализа такой структуры и требований, предъявляемых к системе пользователями. Проблема сетевой надежности исследуется достаточно давно. В настоящее время ясно, что точного решения даже для сетей ограниченного размера эта задача не имеет. Но можно уже сегодня, если требуется, произвести оценку надежности сверху и снизу. Следует, впрочем, иметь в виду, что даже это требует достаточно сложных расчетов.

Надежность технических систем определяется свойствами их элементов и связей между ними. При этом при наличии нескольких элементов в системе важной проблемой оценки надежности последней является учет значимости каждого элемента и его вклада в надежность системы в целом [1, 2]. В случае высоких требований, предъявляемых к надежности технических систем, например, при эксплуатации атомных станций, их элементы подвергаются классификации, определяющей как выбор элементов, так и все решения, связанные с их техническим обслуживанием [3].

При рассмотрении сетевой надежности информационных сетей последние обычно описываются графом, где ребра отображают сетевые

каналы, а в качестве узлов выступают рабочие станции, серверы, повторители, переключатели, маршрутизаторы или другие устройства [4].

Выход из строя рабочей станции (терминальный узел) создает проблемы ее пользователю, остальные пользователи, скорее всего, этого не заметят, но отказ сервера скажется на работе всех его клиентов, в том числе и удаленных. Выход же из строя маршрутизатора (если это транзитный узел) может оказать влияние на работу целого региона. Отсюда видно, что отдельные узлы могут по-разному влиять на работу сети в целом.

Таким образом, параметры надежности часто зависят от вектора загрузок (список значений загрузок каналов, влияющих на доступ и качество обслуживания). По этой причине при формулировке задачи оценки надежности определяют, какие из параметров важны: связность, пропускная способность, время восстановления связности или минимизация задержек обслуживания.

Рассмотрим в качестве примера полный граф с четырьмя узлами, размещенными в вершинах квадрата (6 ребер). Расчет связности такой сети будет включать комбинаторный перебор ребер и учет распределения вероятности обрыва каждой из связей и займет относительно немного времени. Если же попытаться проанализировать надежность структурированной локальной сети, содержащей сотни узлов, задача окажется на много порядков сложнее. Обычно множественность в таких задачах равна $N!$, где N – количество узлов в графе связей.

В качестве исходных данных используются значения надежности отдельных узлов и каналов, вычисленные или измеренные с учетом тех факторов, влияние которых необходимо учесть. Во многих случаях бывает необходимо сделать предположение относительно распределения вероятности отказа рассматриваемых сетевых элементов. Кроме того, необходимо решить, какая оценка нужна: для работы сети в среднем или для функционирования в экстремальных условиях.

Ради упрощения проблемы часто делается предположение об идентичности распределений и даже равенстве вероятности отказа для всех узлов. Однако такие предположения делают полученный результат весьма неточным.

На практике, даже используя самые производительные вычислительные системы, можно оценить надежность сети лишь с ограниченным количеством узлов. Из-за продолжительности прямых вычислений сложности алгоритмов многие исследователи ограничиваются лишь оценкой возможных границ надежности [5, 6].

Из-за отсутствия приемлемой модели механизма потерь в сети и сложности расчета сетевой надежности чаще всего используются упрощенные модели с дискретной вероятностью, в которых предполагается, что сетевые компоненты (узлы и ребра) могут принимать лишь два

состояния: работает или не работает. При этом состояние сетевого компонента описывается случайной величиной, не зависящая от состояния других компонентов.

Во многих приложениях могут отказывать как дуги, так и узлы. Следовательно, приходится изучать модели, способные реагировать и на отказы узлов, и на обрывы дуг [7]. Для случая ориентированных сетей с помощью топологического преобразования задачу с ненадежными ребрами и узлами можно свести к задаче с абсолютно надежными узлами и ненадежными ребрами. В каждом случае дуга, которая замещает узлы, наследует характеристики соответствующих узлов.

Таким образом, многие практические приложения требуют использования моделей, как с разной надежностью компонентов, так и с разным вкладом этих компонентов в надежность системы в целом.

Моделирование надежности компонентов сети. Жизненный цикл объектов – сложных технических систем (например, компьютерных сетей, транспортных средств, и т.п.) определяется значительным количеством внешних эксплуатационных факторов, часть из которых носит детерминированный, а часть – стохастический характер. К этим факторам относятся различные условия внешней среды, эксплуатационная нагрузка, сменность работы, подготовленность обслуживающего персонала, общая культура производства и т.п.

В результате, формируется текущее состояние жизненного цикла каждой системы, определяемое множеством внутренних факторов – исправностью или повреждением тех или иных связей или узлов, усталостью элементов конструкции и т.п. Особенностью как внешних, так и внутренних факторов является то, что их значения могут существенно отличаться у каждого элемента множества объектов, составляющих систему. Это связано как с объективными (например, климатом региона, где эксплуатируется система), так и с субъективными обстоятельствами.

Моделирование жизненного цикла множества сложных технических систем осуществляли с помощью модели гетероассоциативной памяти, построенной на многослойной нейронной сети. Нейронная сеть в процессе обучения приобретает способность строить ассоциации между входной и выходной информацией, т.е. прогнозировать развитие объекта. В качестве входной информации используются временные ряды, представляющие значения учитываемых факторов на заданном интервале времени. Количество входов у нейронов первого слоя определяется количеством учитываемых внешних факторов, а количество нейронов последнего слоя – количеством учитываемых мест повреждений системы. Поэтому, при построении архитектуры нейронной сети на первом этапе осуществляли отбор внешних учитываемых факторов и выделение внутренних факторов с помощью статистической обработки результатов стендовых и полигонных испытаний

одного из объектов – типичного представителя множества сложных технических систем.

Накапливающаяся при этом информация используется также и для обучения сети. В качестве элемента обучающей выборки (<текущий вход>, <желаемый выход>) используется пара (<условия полигона>, <реальное состояние объекта после полигонных испытаний>).

После настройки синаптических весов и смещений нейронов сеть может быть использована для кластеризации реальных текущих условий эксплуатации любого элемента множества технических систем по классам, отличающимся состоянием множества возможных мест повреждения (исправно, повреждено частично, повреждено полностью), т.е. для прогнозирования технического состояния системы на том или ином протяжении ее жизненного цикла.

В процессе эксплуатации на техническое состояние объектов подобного типа оказывает существенное влияние стохастическая составляющая внешних воздействий. Для ее учета на входе каждого нейрона первого слоя предусмотрен дополнительный синапс, сигнал на который поступает от генератора случайных чисел, а обучение сети продолжается на всем протяжении моделирования после поступления каждой новой обучающей выборки – информации о состоянии объектов в реальной эксплуатации.

Моделирование надежности сетей. В работе предложены также морфологические модели надежности сетевых структур, использующие нетривиальное применение нейронных сетей.

Модели позволяют с высокой точностью прогнозировать как надежность отдельных компонентов сетевых структур, так надежность сетей в целом. Результаты моделирования могут использоваться как для выбора условий эксплуатации сложных технических систем, так и для корректировки их конструкции на этапе проектирования, обеспечивающей исключение прогнозируемых повреждений или снижение убытков от их возникновения.

Список использованных источников: 1. *Оборский Г.А.* Построение эффективных систем управления надежностью сложных технических систем // Труды Одесского политехнического университета. – 2000. – Вып. 1. – С. 17 – 19. 2. *Рябинин Н.А.* Логико-вероятностные методы исследования надежности структурно-сложных систем / *Н.А. Рябинин, Г.Н. Черкесов.* – М.: Радио и связь, 1981. – 282 с. 3. *Ястребенецкий М.А.* Безопасность атомных станций: Информационные и управляющие системы / *М.А. Ястребенецкий, В.Н. Васильченко, С.В. Виноградская* и др. – К.: Техніка, 2004. – 472 с. 4. Сетевая надежность [электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.intuit.ru/department/network/algoprotnet/17/3.html>. 5. *Aho A.V.* Foundation of Computer Science / *A.V. Aho, J.D. Ullman.* – Computer Science Press, 1992. 6. *Leeuwen V.V.* Algorithms and Complexity. – The MIT Cambridge, Massachusetts: Elsevier Science Publishers, 1990. 7. *Становский А.Л.* Моделирование отказоустойчивости в САПР сложных технических систем / *А.Л. Становский В.М. Тонконогий, О.С. Савельева* и др. // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – 2007. – Вып. 73. – С. 133 – 138.

Поступила в редколлегию 07.06.2010

ВПЛИВ ПОПЕРЕДНЬОГО ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИСОКОШВИДКІСНОЇ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

В роботі теоретично розглянутий вплив попереднього пластичного деформування на перебіг високошвидкісної механічної обробки, проведені експериментальні дослідження підтвердили адекватність розробленої математичної моделі.

В работе теоретически рассмотрено влияние предварительного пластического деформирования на протекания высокоскоростной механической обработки, проведенные экспериментальные исследования подтвердили адекватность разработанной математической модели.

In this article: Influence preliminary plastic deformation on courses of the high-speed machining is considered, the spent experimental researches have confirmed adequacy of the developed mathematical model.

Актуальність проблеми. На сьогоднішній день найбільших успіхів в області високошвидкісної і високопродуктивної обробки переважна більшість фірм домоглося в області фрезерування і свердління. Дуже часто високошвидкісне різання ототожнюється з фрезеруванням або свердлінням при великих швидкостях обертання шпинделя. Це не завжди правильно, тому що при фрезеруванні частота обертання шпинделя визначається швидкістю різання (яка, у свою чергу, залежить від сполучення інструментального й оброблюваного матеріалу) і діаметром фрези. Чим більше діаметр, тим менше частота обертання при тій же швидкості різання і навпаки. Отже, інструмент великого діаметра, що обертається на малій швидкості, досягає такої ж швидкості різання, що і фреза малого діаметра на великій частоті обертання. Саме швидкість різання визначає, чи є фрезерування високошвидкісним. Немає чітких швидкісних границь, вище яких просте фрезерування стає високошвидкісним. Як і усе, що відноситься до руху, поняття «висока швидкість» є відносним. Високошвидкісне фрезерування дає ряд істотних технічних переваг у порівнянні з традиційним. У першу чергу, істотно збільшується питоме знімання матеріалу в одиницю часу і, отже, продуктивність і ефективність фрезерування. Високошвидкісній обробці властиве значне зменшення термосилових процесів в зоні різання, що особливо важливо при обробці не жорстко закріплених і тонкостінних деталей. При високошвидкісному фрезеруванні тепло швидко відводиться стружкой із зони різання, знижуючи інтенсивність зношування різального інструмента нагрів і деформацію деталі. Але існує паралельна виробнича проблема, яка притаманна сучасним машинобудівним підприємствам – застаріле обладнання, відносно низька потужність верстатів. Таким чином,

вирішення важливої виробничої проблеми: підвищення ефективності технології механічної обробки без застосування вагомих капіталовкладень є актуальною науково – технічною задачею.

Аналіз публікацій. За даними автора Маркелова П.А. [1] механічна обробка деталей на металорізальних верстатах є одним з найбільш трудомістких процесів у технології виготовлення машин.

Тому питанням підвищення ефективності механічної обробки слід приділяти винятково велика увага.

Такі вчені як Кузнецов В.Д., Кривоухов В. Л., Каширин Л. И., Ларін М.Н., Грудов П. П. і інші вперше у світовій практиці зробили найважливіші наукові дослідження в області швидкісних методів обробки металів різанням.

Крім того, сьогодні питаннями реалізації високошвидкісних методів обробки займаються провідні вчені Внуков Ю.М., Залога В.О., Криворучко Д.В., Ємельяненко С.С., Кирюшін Д.С., Виговський Г.М. та інші [1-9].

Швидкісні методи обробки металів різанням у нашій країні застосовуються в самих широких масштабах і є невід'ємною частиною існуючих на заводах технологічних процесів механічної обробки деталей.

Однак поява нових металокерамічних і мінералокерамічних інструментальних матеріалів з більш високими властивостями, що різуть, а також нових конструкції різальних інструментів і особливо фрез пред'являє всі зростаючі вимоги до твердості, вібробезпечності і потужності металорізальних верстатів.

Поряд зі створенням нових високопродуктивних конструкцій металорізальних верстатів на заводах проведені і продовжують вестися великі роботи з модернізації існуючого парку верстатів.

Іншим важливим засобом підвищення продуктивності праці є створення найбільш зроблених конструкцій пристосувань і допоміжного оснащення.

На передових машинобудівних заводах замість звичайних верстатних пристосувань з ручним затиском знаходять широке поширення одиночні і групові гідравлічні і пневматичні пристосування для кріплення деталей на верстатах, гідравлічні і пневматичні платформи (піднімальні столи) для підйому при установці па верстат і опускання при зніманні з верстата важких деталей і т.п. Значно поліпшується і конструкція допоміжних інструментів.

Усе це дозволяє в десятки разів скорочувати допоміжний час при механічній обробці деталей і тим самим ще вище піднімати ефективність швидкісного різання металів.

Однак ще не на всіх машинобудівних заводах приділяють належну увагу застосуванню швидкодіючих гідравлічних і пневматичних пристосувань. Маються ще заводи, де допоміжний час у нормі штучного часу займає неприпустимо велику питому вагу.

Пристаювання для кріплення деталей при швидкісному різанні металів повинні бути універсальними, багатомісними, мати достатню твердість, вібростійкість і швидкодіючі затиски.

Досить істотним заходом для поліпшення всіх якісних показників при різанні металів є створення високопродуктивних конструкцій інструмента.

Разом з тим, потенціал наукових досягнень всесвітньо відомих вчених Новікова М.В., Мельничука П.П., Розенберга О.О., Клименка С.А., [8] та інших в області технологічного забезпечення якості обробки поверхонь залізовуглецевих сплавів інструментом, оснащеним мінералокерамічними та надтвердими матеріалами, свідчить про пошук шляхів підвищення ефективності механічної обробки та прогресивних конструкцій інструментів для їх реалізації, а також про відхід від дискретних методів обробки і сполучення в одній операції різання та поверхневого пластичного деформування.

Мета досліджень. У зв'язку із збільшеною увагою до пошуку нових методів підвищення ефективності механічної обробки дослідити вплив технології різання з попереднім пластичним деформуванням на ефективність механічної обробки.

Виклад основної частини. В якості основного критерію оптимізації високошвидкісного різання оберемо знос різального інструмента, як показника ефективності механічної обробки. Особливо актуально розглядати оцінку зносу різального інструмента при умові використання прогресивних надтвердих матеріалів.

В якості оцінки зносу різального інструмента був прийнятий параметр інтенсивності накопичення залишкових напружень, який розраховується по залежності:

$$I = \frac{h_3}{\Delta t_p} = \left(\frac{K_i}{\Delta t_p} \right)^m \cdot K_M \cdot L \cdot S, \quad (1)$$

де I - інтенсивність накопичення залишкових напружень, м/хв; h_3 - знос різального інструмента по задній поверхні; K_i - коефіцієнт опору інструментального матеріалу; m - показник степені, який характеризує накопичення пошкоджень і є функцією процесу різання $m = f(V, S, t, P)$; L - довжина оброблюваної поверхні; S - подача інструмента; K_M - коефіцієнт, який відображає властивості оброблюваного матеріалу та розраховується по залежності:

$$K_M = \frac{\sigma_m}{\sigma_M}, \quad (2)$$

де σ_m, σ_M - відповідно межа текучості та міцності оброблюваного матеріалу.

Після попереднього пластичного деформування, як було розглянуто раніше [6], вдається збільшити межу міцності оброблюваного матеріалу на величину:

$$\sigma_m = 3 \cdot HB = \frac{3 \cdot \sum_1^{m_d} R_{di}}{0,013 \cdot R_d^2}, \quad (3)$$

де HB - твердість поверхневого шару після попереднього пластичного деформування; $\sum_1^{m_d} R_{di}$ - сумарне значення діючих сили попереднього пластичного деформування в залежності від кількості деформівних елементів m_d ; R_d - радіус деформівного елемента. Отже, з врахуванням залежностей (2-3) математична модель (1) може бути представлена у вигляді:

$$I = \frac{h_s}{\Delta t_p} = \left(\frac{K_i}{\Delta t_p} \right)^m \cdot \frac{\sigma_m}{0,039 \cdot R_d^2 \cdot \sum_1^{m_d} R_{di}} \cdot L \cdot S, \quad (4)$$

Таким чином, отримана феноменологічна модель інтенсивності накопичення залишкових напружень різального інструмента при реалізації технології різання з попереднім пластичним деформуванням. Математична модель (1-4) адекватна для розгляду технологічної операції точіння, розточування, фрезерування.

З математичної моделі (4) видно, що збільшення сили попереднього пластичного деформування призводить до зменшення інтенсивності накопичення залишкових напружень. Це дає підставити висунути гіпотезу про допустимість додаткового збільшення швидкості різання без втрати працездатності різального інструменту.

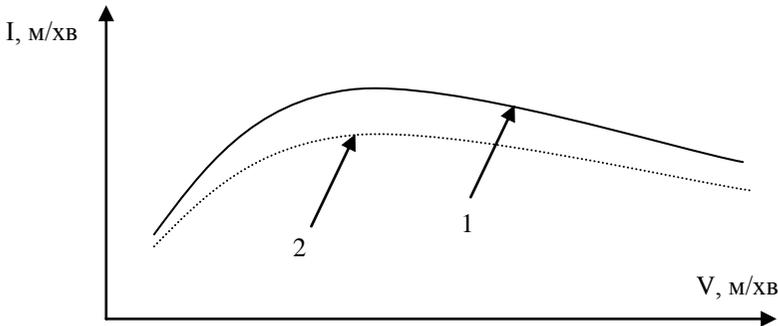


Рисунок 1 – Вплив технології різання з попереднім пластичним деформуванням на перебіг високошвидкісної механічної обробки (1 – високошвидкісне фрезерування; 2 – високошвидкісне різання з попереднім пластичним деформуванням)

Для підтвердження висунутої вище гіпотези, на підставі сформованої математичної моделі (1-4), були проведені виробничі дослідження по формуванню осьових вібрацій та сил різання комбінованого інструмента. Виробничі дослідження проводились на верстаті 6Д82ШФ20, згідно схеми представленої нижче.

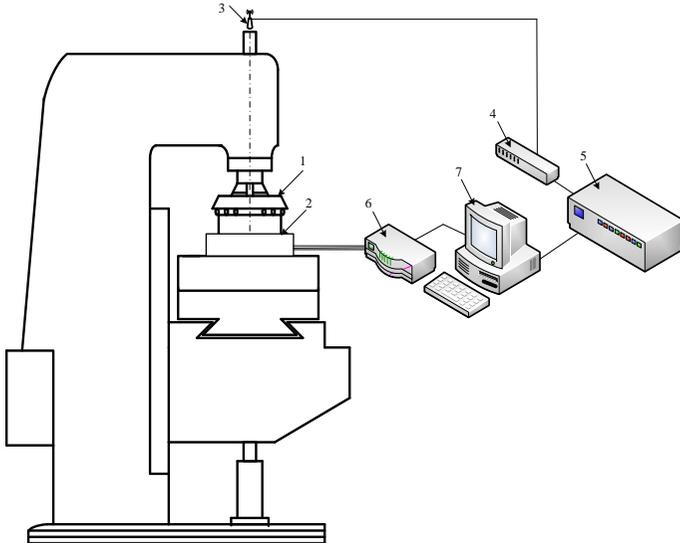


Рисунок 2 – Схема експериментальної установки по одночасному контролю сил різання та осьових вібрацій (1 – комбінована торцева фреза; 2 – деталь; 3 – п'єзоакселерометр ДН – 13; 4 – підсилювач заряду; 5 - крейт LTC; 6 - аналого-цифровий перетворювач (АЦП) "Крейт"; 7 – електронно-обчислювальна машина)

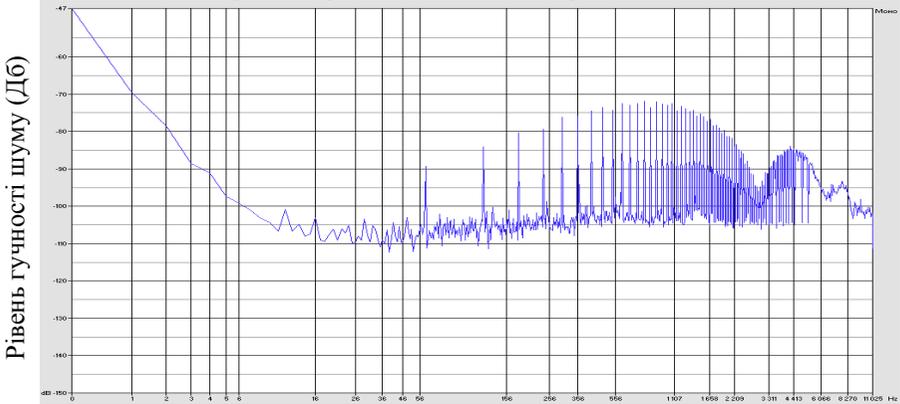
Для проведення експериментальних досліджень по визначенню сил різання використаний відомий по роботі [6] динамометр. Динамометр підключений до апаратного комплексу, який включає: АЦП "Крейт", систему управління сигналами; операційну плату сумісну з АЦП серії L-1250; ПЕОМ.

Для вимірювання осьових вібрацій шпинделя використовується стандартний п'єзоакселерометр, ДН – 13 який встановлюється на шпиндель верстату, так як показано на рис. 1. Стандартний п'єзоакселерометр, ДН – 13 під'єднується до підсилювача заряду, який підключений до крейта LTC, що з'єднаний з ПЕОМ через операційну плату сумісну з АЦП серії L-1250.

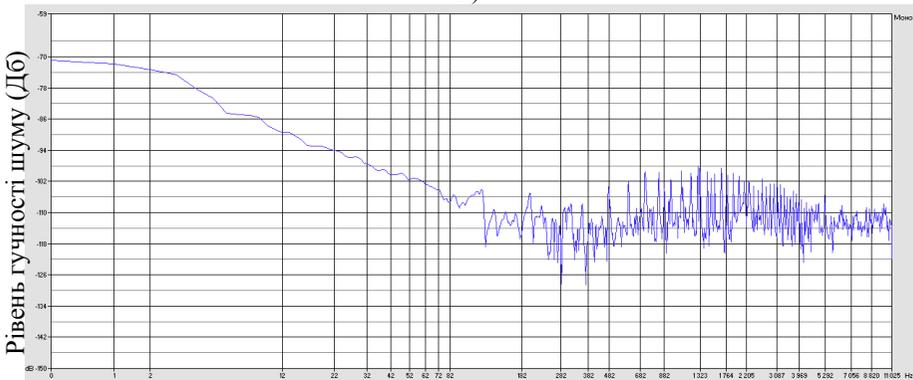
Принцип роботи фрезерного динамометра детально розглянутий в роботі [6] і заключається в наступному: під час фрезерування періодичні складові сили різання пружно деформують стійки динамометра, в якому встановлена заготовка. На стійках динамометра наклеєні фольговані тензодатчики. Під дією деформації змінюється їх опір. Тензодатчики підключені за мостовою схемою, що дозволяє використовувати їх на максимальну чутливість. Три тензомости

розташовані таким чином, що кожен з них змінює розбаланс по напрямленню дії сил – осям X, Y, Z . Значення розбалансу кожного із мостів збільшується за рахунок використання операційного підсилювача. Сигнали з операційних підсилювачів оцифровуються через АЦП крейтової системи обробки сигналів і у цифровому вигляді оброблюються пакетом ПОС. Отримані значення відображаються на екрані монітора ПЕОМ у вигляді графіків.

Тарування фрезерного динамометра проводили через навантаження стійки динамометра в трьох взаємно перпендикулярних напрямках за допомогою стандартного зразкового динамометра силою до 1000 Н.



а)



б)

Рисунок 3 – Спектри вертикальних осьових вібрацій шпинделя верстата 6Д82ШФ20 при обробці сталі 40Х (а – високошвидкісне торцеве фрезерування; б – торцеве фрезерування з попереднім пластичним деформуванням) ($V=680$ м/хв, $P=2000$ Н, $S=0,1$ мм/об, $t=0,1$ мм, $B=40$ мм, $e=0$ мм)

Висновки. Розроблена в роботі математична модель дала можливість отримати теоретичне підтвердження факту підвищення ефективності

високошвидкісної механічної обробки по критерію мінімізації зношування різального інструмента. Разом з тим, відомо, що технологія різання з попереднім пластичним деформування дає можливість знизити рівень активності термосилових процесів в зоні різання. З врахуванням такого факту можливо припустити що комбінування такої технології і високошвидкісної механічної обробки дозволить суттєво підвищити ефективність високошвидкісної обробки та забезпечити необхідні якісні показники поверхневого шару. Для подальшої теоретичної оцінки інтенсивності зносу мінералокераміки та надтвердих матеріалів в процесі високошвидкісного комбінованого торцевого фрезерування слід використати теорію удару. Проведені експериментальні дослідження підтвердили зниження амплітуди осьових вібрацій шпинделя в середньому на 72...78% в умовах високошвидкісної механічної обробки при реалізації комбінованого торцевого фрезерування, що свідчить про адекватність висунутої теоретичної гіпотези. В подальших дослідженнях слід провести теоретико-експериментальний аналіз сукупного впливу режимів попереднього пластичного деформування, різання на вібрації технологічної системи при реалізації високошвидкісної механічної обробки. А також визначити шляхи зменшення піддатливості рухомих елементів прогресивних комбінованих інструментів, висунуті гіпотези перевірити теоретично та експериментально.

Список використаних джерел: 1. *Вигovskyй Г.М., Громовий О.А.* Дослідження особливостей зношування різального інструменту при високошвидкісній обробці//Процеси механічної обробки в машинобудуванні,2009.-Випуск 7 .-С.38. 2. *Вигovskyй Г.М., Громовий О.А.* Особливості процесів стружкоутворення при високошвидкісній обробці//Вісник Житомирського державного технологічного університету,2009.-№3 (50) .-С.6. 3. *Вигovskyй Г.М., Громовий О.А., Білявський М.Л.* Розширення області використання торцевих фрез, оснащених НТМ. // Процеси механічної обробки в машинобудуванні. – Ж.: ЖДТУ., 2007. – Вип. 2. 4. *Г.М. Вигovskyй, О.А. Громовий, М.Л. Білявський.* Гіроскопічний ефект при високошвидкісному торцевому фрезеруванні // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – 2004. – № 4 (31). – Том 1. – С. 24 – 28. 5. *П.П. Мельничук, Г.М. Вигovskyй, О.А. Громовий, М.Л. Білявський.* Високошвидкісне торцеве фрезерування. Гіроскопічний ефект // Матеріали ІІ Україно – Польської конференції, м. Краків, – 2005. 6. *Білявський М.Л.* Технологічне забезпечення якості обробки сталевих деталей комбінованим торцевим фрезеруванням: автореф. дис. канд. техн. наук : 05.02.08 / Нац. ун-т "Львів. політехніка". — Л., 2010. — 20 с. : а-рис. 7. *Кирюшин Д.Е.* Повышение производительности торцевого фрезерования титановых сплавов за счет применения высокоскоростного резания: диссертация... кандидата технических наук: 05.03.01, 05.02.08 Саратов, 2007 - 204 с. 8. *Новиков М.В., Шепелес В.О., Клименко С.А., Лаврінченко В.І.* Технології механообробки інструментами з надтвердих матеріалів і твердих сплавів у ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України // Процеси механічної обробки в машинобудуванні . – 2005 . – Вип. 2 – с. 91 – 101. 9. *Внуков Ю.М., Папашев К.О.* Оцінка ефективності використання високошвидкісної обробки під час виготовлення формуютьорючих поверхонь прес-форм для виробів типу "решітка"//Вісник Житомирського державного технологічного університету,2003.-2.-№2 (26) .-С. 37.

Поступила в редколлегию 22.05.2010

А.А. Бондарь, Ю.М. Дудзинский, д-р физ.-мат. наук, А.А. Коряченко,
А.Л. Становский, д-р техн. наук, Одесса, Украина

МЕТОД ВИРТУАЛЬНОГО ОБЪЕКТА ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Запропоновано метод моделювання життєвого циклу динамічних систем за допомогою віртуального об'єкта, область існування якого не співпадає за часом із областю існування об'єкта моделювання. Метод розраховано на використання при автоматизованому проектуванні технологічних процесів, які забезпечують самосинхронізацію подій в своїх підсистемах.

Предложен метод моделирования жизненного цикла динамических систем с помощью виртуального объекта, область существования которого не совпадает по времени с областью существования объекта моделирования. Метод рассчитан на применение при автоматизированном проектировании технологических процессов, обеспечивающих самосинхронизацию событий в своих подсистемах.

The method of dynamic systems life cycle modeling by means of the virtual object which area of existence does not coincide on time with area of modeling object existence is offered. The method is calculated on application at the automated designing of the technological processes providing self-synchronization of events in the subsystems.

Вопросы самосинхронизации подсистем объектов проектирования и управления представляют значительный интерес при создании и эксплуатации нестабильных технических систем [1]. В этих условиях актуальной представляется проблема моделирования жизненного цикла таких объектов, в особенности, при создании моделей таких динамических систем, у которых жизненный цикл выходит за временные рамки области определения параметра состояния, определяющего траекторию его движения.

Для самосинхронизации, прежде всего, необходимо, чтобы объект представлял собой динамическую систему, порожденную дифференциальными

$$\frac{dy}{d\tau} = f(y); y \in \mathbf{R}^n \quad (1)$$

или разностными уравнениями:

$$y(t+1) = f(y(t)); t \in \mathbf{Z}, y \in \mathbf{R}^n \quad (2)$$

где τ – непрерывное время; t – дискретное время; y – множество учитываемых параметров объекта; \mathbf{R}^n – размерность пространства учитываемых состояний, в котором движется объект, \mathbf{Z} – множество целых чисел [2].

Условие 1. Уравнения (1) или (2) порождают динамическую систему, если по любому начальному состоянию $y_0 \in \mathbf{R}^n$ однозначно определяется траектория $y \in \mathbf{C}(\mathbf{y}_0)$ при $\tau \in \mathbf{J}, +\infty)$, где $y \in \mathbf{C}(\mathbf{y}_0) \Rightarrow y_0$.

Рассмотрим в качестве примера такого динамического объекта систему «отливка – песчаная литейная форма». Выбор этого объекта обоснован тем, что он естественно распределяется, по меньшей мере, на две подсистемы: отливка и форма; между подсистемами существует весьма тесная связь – все сдвиги и события, которые происходят в одной подсистеме, немедленно отражаются на другой; существует явным образом выраженная цель синхронизации событий в подсистемах – качество отливок.

Рассмотрим систему «отливка – форма» как динамическую, то есть такую, в которой по любому начальному состоянию $y_0 \in \mathbf{R}^n$ в соответствии с Условием 1 дальнейшая траектория ее движения $y(\tau, y_0)$ в n -мерном фазовом пространстве y определена однозначно [2].

Пусть в нашем примере в каждой из подсистем $n = 1$, т.е. фазовое пространство обеих подсистем одномерно, а именно: подсистема «отливка» характеризуется ее температурой T , а подсистема «песчаная форма» – давлением газов в ее рабочем слое P .

Пусть специалистами в предметной области (в данном случае – в литейном производстве) установлено что при литье в песчано-смоляные формы одновременное (с некоторым допуском ε) и безотносительное к конкретному значению времени достижение температурой отливки значения $T = 1743$ К и давлением газов в порах песчаной формы значения $P = 215$ Па обеспечивает получение стальных отливок с качественной поверхностью [3].

Тогда у системы «отливка – форма» $n = 2$, а вектор фазового состояния $y(\tau, y_0)$ состоит из двух компонентов: $T(\tau, T_0)$ и $P(\tau, P_0)$. Задаваясь начальными значениями: $\tau_0 = 0$ (момент окончания заливки), $T_0 = 1823$ К (температура заливки) и $P_0 = 0$ Па (давление окружающей среды), получим на интервале $0 \leq \tau \leq 35$ с траекторию движения $y(\tau, y_0)$ в виде двух кривых (рис. 1, а, б).

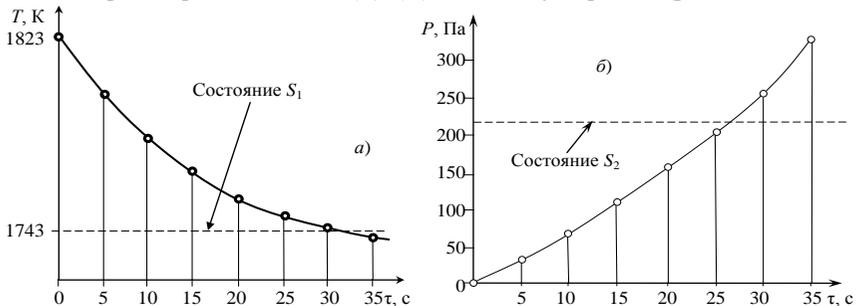


Рисунок 1 – Движение системы «отливка – форма» в фазовом пространстве:
а – температура отливки T ; б – давление в порах песчаной формы P .

Динамическая система, которая самопроизвольно движется во времени и пространстве своих состояний, может подвергаться действию аттракторов, «притягивающих» систему к некоторому конечному относительно стабильному состоянию. Как известно, аттрактор динамической системы – замкнутое, инвариантное множество в ее фазовом пространстве [4].

Условие 2. Множество K является локальным аттрактором динамической системы (1) или (2), если выполняется соотношение:

$$\lim_{\tau \rightarrow \infty} \rho[K, y, y_0] = 0, \quad \forall y_0 \in K \quad (3)$$

где K – множество точек x , для которых $\rho[K, y] \leq \varepsilon$; $\rho[K, y] = \inf_{z \in K} |z - y|$; $|\cdot|$ – евклидова норма в \mathbf{R}^n , $K(\varepsilon)$ – множество точек y , для которых $\rho[K, y] \leq \varepsilon$.

Так как в случае самосинхронизации аттрактор представляет собой некоторую зону шириной ε вдоль линии $y = 0$, примем $K = 0$, и (3) преобразуется к виду:

$$\lim_{\tau \rightarrow \infty} y(\tau, y_0) = 0, \quad \forall y_0 \in K \quad (4)$$

Найдем теперь вид зависимости $y(\tau, y_0)$. Пусть некоторый динамический объект состоит из двух подсистем состояние которых описывается зависимостями:

$$y_1 = f_1(\tau, y_2, y_{10}); \quad y_2 = f_2(\tau, y_1, y_{20}). \quad (5)$$

Подставляя в (5) $y_1 = S_1$; $y_2 = S_2$, получим систему

$$S_1 = f_1(\tau, y_2(\tau), y_{10}); \quad S_2 = f_2(\tau, y_1(\tau), y_{20}). \quad (6)$$

решая которую относительно времени самосинхронизации, получим:

$$\tau_{S_1} = \tilde{f}_1(S_1; y_2, y_{10}); \quad \tau_{S_2} = \tilde{f}_2(S_2; y_1, y_{20}). \quad (7)$$

В выражениях (7) $\tau_{S_1}, \tau_{S_2}, S_1, S_2, y_{10}, y_{20}$ – суть числа. Поэтому их можно записать так:

$$\tau_{S_1} = \tilde{f}_1(S_1, y_2, y_{10}); \quad \tau_{S_2} = \tilde{f}_2(S_2, y_1, y_{20}). \quad (8)$$

Теперь можно сформулировать цель самосинхронизации:

$$|\tau_{S_1} - \tau_{S_2}| = |\tilde{f}_1(S_1, y_2, y_{10}) - \tilde{f}_2(S_2, y_1, y_{20})| \leq \varepsilon. \quad (9)$$

Поскольку мы хотим, чтобы условия самосинхронизации были для литейного объекта аттрактором, примем:

$$y(\tau, y_0) = |\tilde{f}_1(S_2, y_2, y_{10}) - \tilde{f}_2(S_1, y_1, y_{20})|. \quad (10)$$

Соответственно, (8) приобретет конечный вид:

$$\lim_{\tau \rightarrow \infty} |\tilde{f}_1(S_2, y_2, y_{10}) - \tilde{f}_2(S_1, y_1, y_{20})| = 0, \quad \forall y_0 \in K \quad (11)$$

Выражение (11) является ключевым, поскольку выполнение этого условия – суть необходимое и достаточное условия самосинхронизации событий. Отметим также, что условие (11) есть прогнозно-расчетным, то есть речь идет уже не о движении динамической системы в течение времени в

пространстве множества (в нашем примере – двухмерного) своих параметров, а о движении расчетного (виртуального) времени синхронизации в пространстве множества фактических (реально измеренных) параметров динамической системы.

Схема жизненного цикла объекта проектирования представлена на рис. 2. На схеме на осях отложено время τ и параметр десинхронизации Δ , имеющий двойное значение:

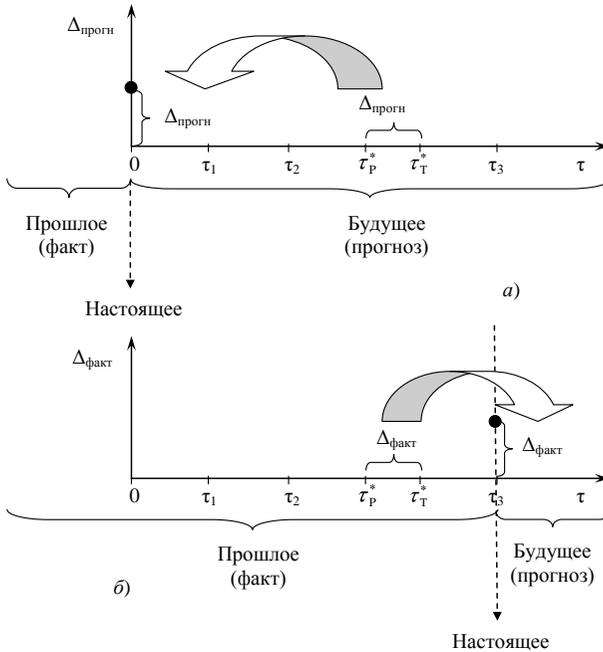


Рисунок 2 – Схема к описанию жизненного цикла объекта проектирования:

а – прогноз на период $\tau \rightarrow \tau_T^*$; б – факт на период $\tau_T^* \rightarrow \tau$

– если настоящее время $\tau_{наст}$ (на рис. 1, а $\tau_{наст} = 0$) меньше большего из значений τ_P^* и τ_T^* (рис. 1, а), то Δ – суть прогнозное значение модуля $|\tau_P^* - \tau_T^*|$, полученное, например, расчетом по моделям подпроцессов;

– если настоящее время $\tau_{наст}$ (на рис. 1, б $\tau_{наст} = \tau_3$) больше большего из значений τ_P^* и τ_T^* (рис. 1, б), то Δ – суть фактическое значение модуля $|\tau_P^* - \tau_T^*|$, полученное, например, измерением.

Движение объекта проектирования в одномерном пространстве состояний, где единственным измерением является функционал (10) в левой (по графику) части своего жизненного цикла является виртуальным, т.к. функционал не существует на этом интервале (события еще не произошли!).

Его отображением является дискретный ряд точек, полученных расчетом для каждого конкретного промежуточного состояния объекта в «реальных» координатах (рис. 3).

Поскольку при проектировании целью расчета является выполнение условия $|\tau_p^* - \tau_T^*| = 0$, начало виртуального состояния объекта всегда совпадает с началом координат (точка 1, рис. 3).

Заметим, что точка (0, 0) в процессе проектирования является заданием на проектирование, т.к. при этом реализуются методы решения *обратной* задачи: от следствия (задания) к причинам: свойствам объекта как динамической системы (1) или (2).

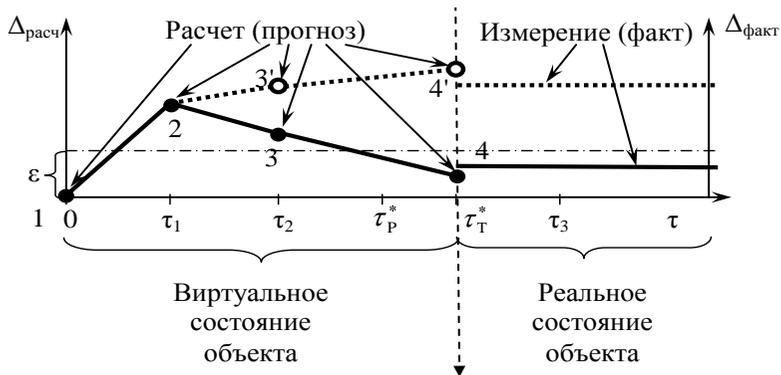


Рисунок 3 – График жизненного цикла объекта проектирования

Если в некоторый момент времени τ_1 измерить реальное состояние объекта, то расчет $|\tau_p^* - \tau_T^*|$ может быть выполнен для этого состояния как для начального.

Это будет уже *прямой* расчет, который с точностью, определяемой точностью расчетной модели, покажет, на сколько прогнозное значение $|\tau_p^* - \tau_T^*|$ отклонится в этом случае от нуля (точка 2, рис. 3).

В дальнейшем, отклонения неучтенных расчетом параметров могут привести к увеличению прогнозного значения $|\tau_p^* - \tau_T^*|$, которое может выйти за границы допустимого коридора шириной ε (точки 3' и 4', рис. 6), либо, наоборот, к его уменьшению, вплоть до возвращения к выполнению неравенства $|\tau_p^* - \tau_T^*| < \varepsilon$ (точки 3 и 4, рис. 3).

Условное соединение этих расчетных точек с помощью сплошных или пунктирных линий позволяет обозначить некоторый условный «путь» виртуальной (прогнозной) части жизненного цикла рассматриваемого

объекта, когда параметр, по которому он оценивается ($|\tau_p^* - \tau_T^*|$), еще не существует.

Так как прошлое (фактическое, измеренное) значение $|\tau_p^* - \tau_T^*|$ неизменно на интервале $\tau_T^* \rightarrow \infty$, (оба события уже произошли), соответствующая этому интервалу часть графика, отражающего реальный жизненный цикл исходного объекта, представляет собой реальную горизонтальную прямую линию на рис. 3. При этом сдвиг на границе между виртуальным и реальным состояниями объекта определяется погрешностью расчета на последнем виртуальном этапе.

Таким образом, все точки ломаной кривой на рис. 3 могут быть получены расчетом из начального состояния объекта. Это означает, что выполняются дискретное динамическое уравнение (2) и Условие 1, а значит система (5) может считаться математической моделью виртуального динамического объекта.

На основании сказанного можно построить уравнение ломаной на рис. 3, которое будет иметь следующий вид:

$$\Delta \tau = \begin{cases} \Delta \tau_{\text{прогноз}} = f_{\text{дискр}}(\mathbf{V}, \mathbf{Q}) \Big|_{0 \leq \tau \leq \tau_T^*}; \\ \Delta \tau_{\text{факт}} = |\tau_T^* - \tau_p^*| \Big|_{\tau_T^* \leq \tau \leq \infty}. \end{cases} \quad (12)$$

где $f_{\text{дискр}}(\mathbf{V}, \mathbf{Q})$ – дискретная функция, выражающая зависимость значения десинхронизации реальных событий в подсистемах объекта от вектора его внутренних параметров \mathbf{V} и вектора свойств окружающей объект среды \mathbf{Q} .

Примером множества компонент вектора \mathbf{V} может служить множество свойств материалов отливки и формы (химический состав, пористость, плотность, теплоемкость, теплопроводность и пр.), а вектора \mathbf{Q} – внешних по отношению к форме переменных процесса (скорость и температура заливки металла, температура окружающей среды, расход охлаждающего воздуха и пр.). В определенных пределах компоненты векторов \mathbf{V} и \mathbf{Q} доступны для выбора проектирующей системой. Последнее дает возможность положить выражение (12) в основу технологических расчетов в САПР-Т литейного производства.

Список использованных источников: 1. Бондарь А.А. Методы самосинхронизации динамических процессов в САПР литейного производства / А.А. Бондарь, Г.В. Кострова, Т.В. Лысенко // Труды Одес. нац. политехн. ун-та. – 2009. – Вып. 2(32). – С. 7 – 10. 2. Леонов Г.А. Странные аттракторы и классическая теория устойчивости движения // Успехи механики. – 2002. – № 3. – С. 3 – 43. 3. Лысенко Т.В. Управление процессами в литейной форме / Т.В. Лысенко, В.П. Малахов, А.Л. Становский. – Одесса: ВМВ, 2009. – 475 с. 4. Фрадков А.Л. Кибернетическая физика: принципы и примеры. – СПб: Наука, 2003. – 208 с.

Поступила в редколлегию 07.06.2010

В.М. Волкогон, д-р техн. наук, Д.А. Котляр, канд. техн. наук,
С.К. Аврамчук канд. техн. наук, А.В. Кравчук, канд. техн. наук,
В.С. Антонюк, д-р техн. наук, Київ, Україна

ВПЛИВ ПОПЕРЕДНЬОЇ ПІДГОТОВКИ ПОРОШКІВ VN_B ДО СПІКАННЯ НА ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ СТАЛІ ШХ15 В РЕЖИМІ БЕЗПЕРЕРВНОГО РІЗАННЯ

Приведені результати досліджень особливостей процесу безперервного точіння загартованої сталі ШХ15 твердістю HRC 62..63 інструментом з композиційного надтвердого матеріалу типу гексаніт-Р, виготовленого по різних технологіях. Показано, що характер процесу точіння визначається мікроструктурними і термічними властивостями композиту, а також режимами процесу обробки.

Приведены результаты исследований особенностей процесса непрерывного точения закаленной стали ШХ15 твердостью HRC 62..63 инструментом из композиционного сверхтвердого материала типа гексанит-Р, изготовленного по различным технологиям. Показано, что характер процесса точения определяется микроструктурными и термическими свойствами композита, а также режимами процесса обработки.

Researches results of process features of continuous cutting of tempered steel ШХ15 with hardness HRC 62..63 by the tool from a composite superhard material of heksanit-R type, manufactured on various technologies are resulted. It is shown, that character of cutting process is defined microstructural and thermal properties of a composite and also processing modes.

Вступ. Однією з актуальних проблем в машинобудуванні, інструментальних та інших галузях промисловості є підвищення ефективності обробки важкооброблюваних конструкційних та інструментальних сталей і сплавів на основі заліза. Для цього у виробництво все ширше впроваджуються сучасні лезові інструменти з нових надтвердих матеріалів на основі щільних модифікацій нітриду бору. Підвищений інтерес до щільних модифікацій нітриду бора з метою створення надтвердих матеріалів для обробки загартованих сталей і чавунів пояснюється унікальними властивостями цих модифікацій, таких як високі твердість і теплостійкість, відсутність хімічної спорідненості з залізом, підвищена теплопровідність та ряд інших властивостей дозволяють ефективно використовувати їх як лезовий інструмент [1-5].

На характеристики полікристалічних надтвердих матеріалів (ПНТМ), що одержують спіканням BN_v , впливає велика кількість факторів (p - T параметри, дисперсність та гранулометричний склад вихідних порошків, наявність і стан різноманітних домішок, вологість, стан пористої заготовки перед спіканням, степінь просторової однорідності баротермічних умов в робочому об'ємі апарату високого тиску (АВТ) та ін.), враховуючи які можна ефективно керувати формуванням необхідної структури матеріалу і, як наслідок, властивостями [6-11].

Метою роботи є визначення впливу попереднього деформування порошків BN_v перед спіканням на працездатності різальних пластин.

Основний матеріал. Зважаючи на ефективність застосування попередньої деформації порошків BN_v прокаткою перед спіканням на формування фізико-механічних властивостей спечених ПСТМ в роботі застосовано два способи прокатки – багаторазової прокатки з проміжною грануляцією продуктів прокату з орієнтованою укладкою часток порошку.

Ефективність застосування попереднього деформування вихідних порошків BN_v прокаткою перед спіканням різальних пластин в порівнянні з пресуванням високими статичними тисками виражається в більш високій однорідності полікристалічного матеріалу. Динаміка зносу в режимі перервного різання у полікристалів, спечених із порошків BN_v , попередньо деформованих прокаткою краща і період стійкості більший ніж у полікристалів на основі порошків BN_v , деформованих високими статичними тисками в 1,8÷2,5 рази (рис. 1) [2].

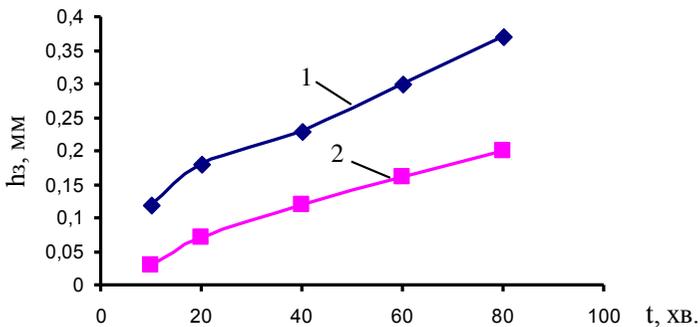
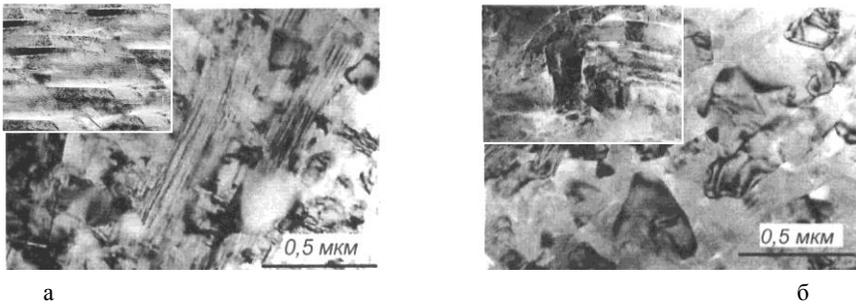


Рисунок 1 – Знос різців типу гексаніту-Р отриманого із порошків BN_v попередньо деформованих різними способами: 1 – високими статичними тисками; 2 – прокатка

Використання 4-х кратної прокатки порошків BN_B з гранулюванням після кожного проходу валків (партія 1) і з орієнтованою укладкою продуктів прокатки без гранулювання (партія 2) [3] для отримання гексаніту-Р дає помітну перевагу композитів на основі BN_B (партія 2) при перервному режимі обробки загартованої сталі ХВГ твердістю 58-62 HRC. Це пов'язано із збереженням перед спіканням текстури укладки частинок порошку базисними площинами, що впливає на ступінь фазового переходу $BN_B \rightarrow BN_{cf}$ і структурний стан полікристалічного матеріалу, синтезованого при однакових баротермічних умовах (рис. 2).



а – після багатократної направленої прокатки; б – після обробки прокаткою з гранулюванням (у верхньому куті наведено мікроструктури в розрізах порошкових зразків перед спіканням)

Рисунок 2 – Характерні мікроструктури зразків на основі порошку BN_B (зображення на просвіт), отриманих при температурі 1600°C, $p = 7,7$ ГПа

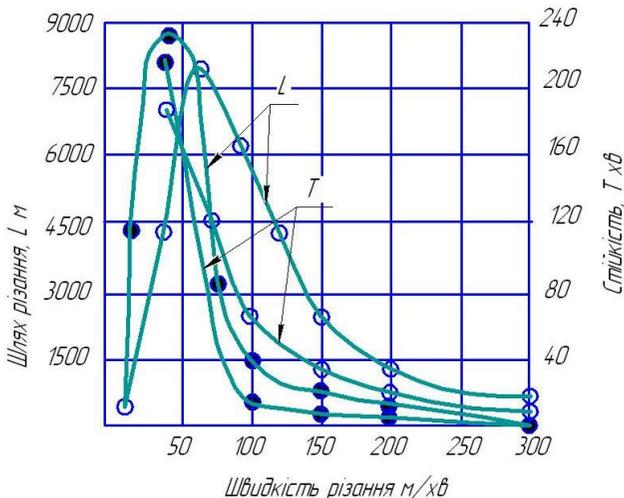
Для вивчення робочих характеристик різальних пластин ПНТМ з попереднього деформованих перед спіканням порошків BN_B було виготовлено дві партії зразків пластин і проведені експериментальні дослідження в режимі безперервного різання сталі ШХ15

Зразки пластин обох партій [3] заточували по площині і контуру на універсальному заточному верстаті мод. 3В642 за допомогою спеціального пристрою. Для цього використовували спеціальну конструкцію оправки, яка дозволяла встановити алмазні чашкові круги таким чином, щоб їх вісі співпадали що і забезпечувало підготовку необхідної поверхні з однієї установки. При цьому застосовували круги на органічній зв'язці з зернистістю абразиву 80/63 та 14/10 мкм відповідно, який забезпечував чорнову підготовку поверхні та її фінішну операцію. Доводка різальних

кромки пластин проводилася на чавунній шайбі, що була шаржована алмазним порошком зернистістю 5/3 мкм. Кінцеві розміри різальних пластин: діаметр 7 мкм, товщина 3,18 мм. На різальній кромці пластини формувалась зміцнююча фаска $0,2 \times 20^\circ$.

Експериментальні дослідження. Дослідження різальних властивостей пластин із щільних модифікацій нітриду бору проводили на універсальному токарному верстаті мод. 16К20. Оброблюваний матеріал – загартована сталь ШХ15, HRC 62...63, діаметром 88-95 мм, довжиною 300 мм. За критерій стійкості ПНТМ була прийнята величина зносу по задній поверхні $h_s = 0,4$ мм, яка визначалася шляхом усереднення результатів 3-х випробувань зразка. Режим обробки: швидкість різання $V = 20-300$ м/хв, подача $S = 0,05$ мм/об, глибина різання $t = 0,1$ мм. При випробуваннях використовувались державки прохідних різців в яких різальна пластина закріплювалася під кутом 6° .

Як показали експериментальні дослідження (рис. 3) при точінні сталі ШХ15 пластинами різних партій, залежність довжини шляху різання від швидкості має екстремальний характер, що узгоджується з даними роботи [4]. Максимум екстремуму знаходиться в області $V = 35-60$ м/хв для другої партії пластин (багаторазова орієнтована прокатка) та $V = 50-70$ м/хв для першої партії (прокатка з гранулюванням). До швидкості різання $V \sim 65$ м/хв шлях різання має більш високі значення для першої партії пластин.



о – партія 1 (прокатка з гранулюванням); ● – партія 2 (орієнтована прокатка)
Рисунок 3 – Екстремальний характер залежності довжини шляху від швидкості

Цю екстремальну характеристику можна пояснити основні конкуруючими процесами які відбуваються в зоні контакту різального інструмента з оброблюваним матеріалом [5]:

- налипання матеріалу обробки на задню поверхню інструменту;
- інтенсивне зношування кромки різця при критичній швидкості (температурі в зоні різання).

Якщо врахувати, що в пластинах першої партії кількість сфалеритного $BN_{сф}$ складала 100 %, а в другій – партії сфалеритний $BN_{сф}$ і вюрцитний $BN_{в}$ присутні як 50 % на 50 %, то більш високі теплофізичні властивості $BN_{сф}$ забезпечують більш низьку температуру в зоні різання (рис. 4), зміщуючи максимум довжини шляху в область більших швидкостей різання для партії 1.

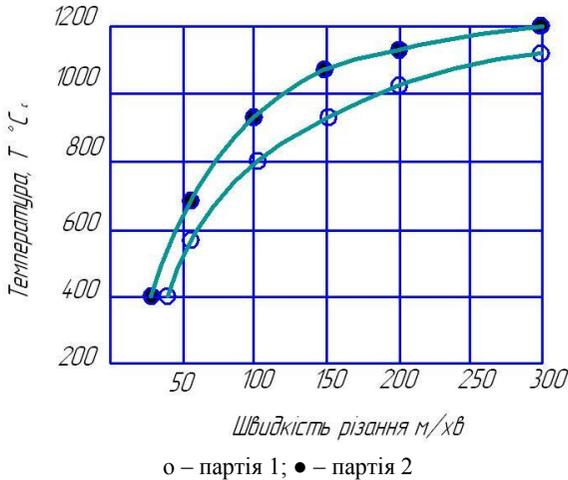


Рисунок 4 – Залежність температури від швидкості різання

Починаючи зі швидкості різання $V \sim 65$ м/хв до 300 м/хв переважає процес руйнування кромки різця в зв'язку з досягненням критичної температури переходу $BN_{сф} \rightarrow BN_{г}$, тобто утворенню вільного графітоподібного $BN_{гоб}$, сприяє руйнуванню різальної поверхні інструменту [6]. Явища взаємодії з оброблюваними металами пришвидшує перехід $BN_{сф} \rightarrow BN_{г}$ [7]. З іншого боку більш крупнозернистий матеріал (партія 1) буде руйнуватися на більш низьких швидкостях різання, так як матеріали, у яких відсутня стадія докритичного росту тріщини, навіть при однаковому опорі розповсюдженню тріщини, мають більшу крихкість [8].

Проведені дослідження при обробці сталі ХВГ в режимі безперервного різання інструментом із гексаніту–Р з вмістом сфалеритного BN_{cf} від 20 до 98% по об'єму показали більш високу стійкість інструменту з максимальним вмістом BN_{cf} , що відповідає результатам випробувань першої партії (максимум довжини шляху 7900 м) [9].

Падіння міцності для гексаніту–Р першої партії зразків спостерігається при $T = 880$ °С, а для другої партії – $T = 780$ °С [10, 11].

Зростання температури в зоні різання призводить до окислення робочої поверхні різця, при якому проходить безпосередньо хімічна взаємодія кисню з поверхнею різця, при якому вклад різноманітних кристалохімічних модифікацій нітриду бору нерівноцінний. Зі збільшенням вмісту BN_{cf} – температура початку окислення зростає [12].

Як показали проведені експерименти на екстремальний характер залежності довжини шляху від швидкості різання суттєво впливає вміст Сг [13] в оброблюваному матеріалі (Табл. 1).

Таблиця 1 – Максимальні значення довжини шляху різання від концентрації Сг

№ п/п	Матеріал	Сг, %	Різець	V_{max} , м/хв
1	ХВГ	0,9-1,2	Гексаніт–Р	65
2	ШХ15	1,3-1,65	Гексаніт, партія 1	45
3	ШХ15	1,3-1,65	Гексаніт, партія 2	60

Величини усадки стружки (K), довжини контакту (l), шорсткості (R_a) і складових сил різання на передній та задній поверхні при заданих швидкостях різання для сталі ШХ15 різцями із першої партії (П1) і другої – (П2) приведені в табл. 2.

Вимірювання проводились за методиками, описаними в [14, 15]. При малій глибині різання головний знос проходить по задній поверхні різця. Складові сили різання на задній поверхні (P_y , P_z) зростають в діапазоні 42...231 Н та 23...165 Н для першої і другої партії, відповідно, причому нормальна складова (P_y) перевищує значення дотичної (P_z) та зростає зі збільшенням швидкості різання, на відміну від складових сил різання (P_y , P_z) по передній поверхні, які зменшуються в діапазоні 116...28 Н та 49...9 Н для

першої і другої партії, відповідно, але в даному випадку значення складові сили різання P_z вищі P_y і зменшуються зі збільшенням швидкості різання в обох випадках. Оскільки зі збільшенням швидкості зростає знос на задній поверхні, то це призводить до зростання складових сил різання P_y в більшій мірі ніж P_z .

Таблиця 2 – Вплив швидкості на основні характеристики різання

№ п/п	Характеристики		Швидкість різання V , м/хв							
			10	50	100	150	200	250	300	
1	Усадка	<i>П1</i>	1,90	1,45	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	
	стружки, K	<i>П2</i>	1,70	1,25	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	
	Довжина	<i>П1</i>	0,103	0,089	0,082	0,080	0,079	0,079	0,079	
2	контакту, l , мм	<i>П2</i>	0,097	0,083	0,079	0,079	0,079	0,079	0,079	
3	Шорсткість	<i>П1</i>	1,18	0,75	0,61	0,55	0,50	0,49	0,47	
	R_a , мкм	<i>П2</i>	0,83	0,59	0,46	0,43	0,42	0,41	0,40	
4	Сили різання на передній поверхні	<i>П1</i>	P_y	65	53	39	34	30	29	28
			P_z	116	84	62	49	39	35	31
		<i>П2</i>	P_y	44	35	28	19	16	11	9
5	Сили різання на задній поверхні	<i>П1</i>	P_z	49	42	31	26	20	18	17
			P_y	50	75	111	142	168	202	231
		<i>П2</i>	P_z	42	58	82	103	128	151	175
			P_y	34	47	71	92	117	140	165
			P_z	23	31	49	67	83	101	120

При різанні для сталі ШХ15 спостерігається руйнування кромки, характерне для викришування. На рис. 5 показана кромка різця першої партії (4-х кратна прокатка порошків ВNз з гранулюванням після кожного проходу) після доводки (а) і після початку різання (б).

Експериментальні дослідження впливу різальних пластин різних партій на шорсткість обробленої поверхні показали, що шорсткість поверхні знижується при збільшенні швидкості різання до 100...120 м/хв, при цьому шорсткість поверхні обробленої різцями із композиту другої партії з розміром

зерна 0,1...0,3 мкм значно нижча шорсткості поверхні обробленої різцями першої партії, що мали розмір зерна 5...20 мкм.

Одержана при різанні сталі ХВГ стружка має елементний характер з радіусом закруглення ~ 200 мкм (рис. 6,а), а на поверхні стружки спостерігаються зони зсуву ~ 1 мкм (рис. 6,б).

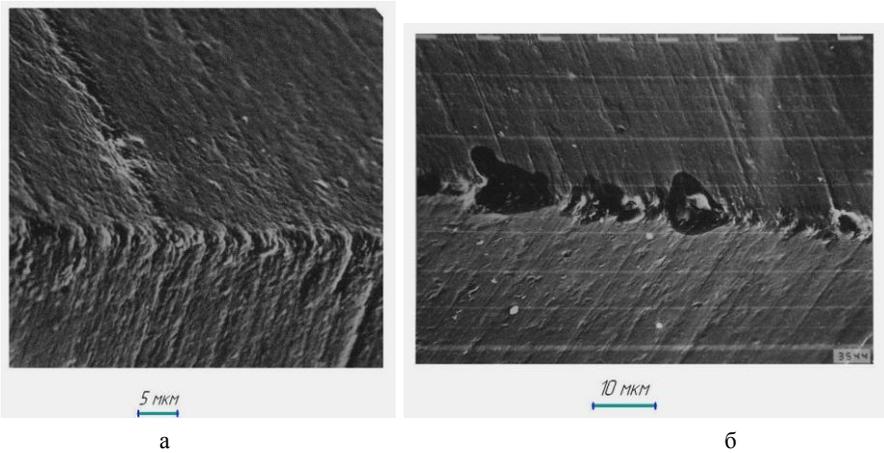


Рисунок 5 – Поверхня кромки різця після заточки (а) і після початку роботи (б)

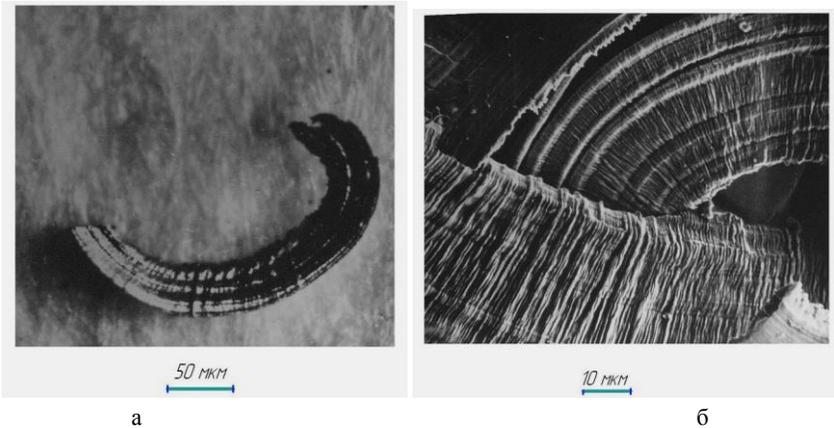


Рисунок 6 – Характерна стружка (а) і поверхня стружки (б)

Усадка стружки (К), довжина контакту (І) помітно знижуються зі збільшенням швидкості різання до 100-120 м/хв, а надалі змінюються в невеликих межах. Стружка має елементний характер з радіусом закруглення ~ 200 мкм (рис. 5,а). На поверхні стружки спостерігаються зони зсуву ~ 1 мкм (рис. 5,б).

Більш високі значення усадки стружки і довжина контакту для різців першої партії пов'язані з більш високою теплопровідністю, яка властива $BN_{сф}$, що призводить до більшого градієнта температури в зоні контакту стружки з поверхнею різця, і відповідно до її більшої деформації та усадці при виході із зони контакту.

Висновки. Таким чином, проведений аналіз залежності довжини шляху від швидкості різання показав багатофакторність процесів, що відбуваються в зоні контакту різального інструменту із ПНТМ з оброблюваним матеріалом. До моменту досягнення критичної швидкості різання ріст довжини шляху проходить за рахунок налипання сталі ШХ15 на задню поверхню різця, і є більш суттєвим для різальних пластин партії 2. При швидкості більше $V - 70$ м/хв переваги має інструмент з рівним вмістом сфалеритного $BN_{сф}$ та вюрцитного BN_v .

Характер залежностей складових сил різання на передній та задній поверхні різця, усадки стружки, довжини контакту і шорсткості від швидкості різання для інструменту виготовленого спіканням порошків BN_v після попередньої 4-х кратної прокатки з гранулюванням після кожного проходу валків (партії 1) та з орієнтованою укладкою продуктів прокатки без гранулювання (партії 2) має певні відмінності, які пов'язані з мікроструктурними, теплофізичними властивостями матеріалу різця, а також, параметрами режиму різання.

Список використаних джерел: 1. Структурные особенности и режущие свойства сверхтвердых материалов на основе нитрида бора / Г.Г. Карюк, А.В. Бочко, В.М. Волкогон и др. // Порошковая металлургия. – 1979. - № 8. – С. 92-97. 2. Волкогон В.М. Физико-технические основы получения и управления формированием свойств инструментальных поликристаллических СТМ из BN_v . Дис. докт. техн. наук. – Киев, 2003. – С. 217-218. 3. Аврамчук С.К., Волкогон В.М., Кравчук А.В. Влияние условий предварительного деформирования порошков BN_v перед спеканием на формирование структуры и свойства ПСТМ // Породоразрушающий и металлообрабатывающий

инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – Вып. 12. – Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2009. – С. 102-107. **4.** *Волкогон В.М., Аврамчук С.К., Кравчук А.В.* Перспективы повышения работоспособности ПСТМ типа гексанит–Р путем специальной обработки порошков вюрцитного нитрида бора перед спеканием // Резание и инструмент в технологических системах: Межд. науч.-техн. сб. – Харьков, НТУУ «ХПИ», 2005 – Вып. 68.– С. 103-108. **5.** Исследование механизма износа двухслойных пластин К10Д при обработке закаленных хромистых сталей / *В.И. Бухитейн, А.М. Тихонцов и др.* // Сверхтвердые материалы. – 1989. - № 4. – С. 45-51. **6.** *Волкогон В.М.* Роль слоистых структур в изменении прочностных свойств поликристаллического материала на основе вюрцитного нитрида бора// Сверхтвердые материалы. – 2001. - № 5. – С. 52-55. **7.** Изучение взаимодействия эльбора с металлами / *М.С. Друй, А.А. Лавринович, Т.П. Никитина, Ю.Г. Саксонов* // Тр. ВНИИАШ. – 1974. - №15. – С. 21-23. **8.** Влияние структурных факторов на пластические и прочностные свойства сверхтвердых материалов на основе нитрида бора / *А.В. Бочко, О.Н. Григорьев, С.С. Джамаров и др.* // Порошковая металлургия. – 1980. - №5. – С. 96-103. **9.** *Карюк Г.Г., Бочко А.В., Ярош В.В., Джамаров С.С., Волкогон В.М., Аранович А.О.* Вюрцитный нитрид бора – основа новых прогрессивных сверхтвердых материалов // Сверхтвердые материалы. – 1988. - № 3. – С. 52-53. **10.** *Новиков Н.В., Андросов И.М.* Зависимость механических свойств поликристаллов сверхтвердых материалов на основе нитрида бора от температуры // Влияние высоких давлений на структуру и свойства материалов. – Киев: ИСМ АН УССР, 1983. – С. 94-98. **11.** *Андросов И.М.* Исследование температурной зависимости прочности поликристаллических сверхтвердых материалов на основе нитрида бора // Производство и применение сверхтвердых материалов. – Киев: ИСМ АН УССР, 1983. – С. 3-6. **12.** *Бочко А.В., Лавренко В.А., Примачук В.Л., Проценко Т.Г.* Окисление поликристаллов гексанита–Р различного фазового состава // Сверхтвердые материалы. – 1986. - № 1. – С. 16-18. **13.** Синтетические сверхтвердые материалы: в 3-х т. Т. 3. Применение синтетических сверхтвердых материалов / Ред. кол. *Н.В. Новиков* (отв. ред.) и др. – Киев: Наук. думка. – 1986. – 280 с. **14.** Резание металлов. *Филоненко С.Н.* «Техніка», 1975, 232 с. **15.** Технологические особенности механической обработки инструментом из поликристаллических сверхтвердых материалов / *Захаренко П.В., Волкогон В.М., Бочко А.В. и др.*: Отв. ред. Карюк Г.Г.; АН УССР. Ин-т проблем материаловедения им. И.Н. Францевича. – Киев: Наук. думка, 1991. – 288 с.

Поступила в редколлегию 15.04.2010

I. Gruneantu, Ph.D, N.Ilias, Ph.D, S. Radu, Ph.D .I. Andras, Ph.D
C. Jujan , Eng., Petroșani, Romania

CORRELATION OF THE STOCK PILE DIMMENSIONS WITH EQUIPMENT PARAMETERS

Вугільні склади, що утворилися в результаті експлуатації родовищ, є необхідними структурними елементами виробляючих відділень, що переробляють або споживають. У роботі представлена концепція виміру й реалізації складів, що характеризується простотою, максимальною ефективністю й мінімальним інвестиційним обсягом.

Угольные склады, образовавшиеся в результате эксплуатации месторождений, являются необходимыми структурными элементами производящих отделений, перерабатывающие или потребляющие. В работе представлена концепция измерения и реализации складов, характеризующаяся простотой, максимальной эффективностью и минимальным инвестиционным объемом.

The coal warehouses which have formed as a result of operation of deposits, are necessary structural elements of the making branches, processing or consuming. In work the concept of measurement and realization of the warehouses, described is presented by simplicity, peak efficiency and the minimal investment volume.

1. Introduction

At present, the main coal consumers of coal extracted in Romania are energy producing units. Due to the occasionally relative diversity and share of energy resources in energy production instability occurs on the coal market.

In future, coal mining and energy suppliers will have to follow the rules of market economy and to provide competition capacity in order to sell their products.

In these conditions, a deposit is necessary, as an intermediate structure, which would store for a certain period the extracted coal, between coal suppliers, represented by coal mines and the beneficiaries.

Deposits are intended to accumulate and keep for a certain period of time raw coal, sorted or washed, providing operation independence to preparation plants and mining companies. They offer the possibility of satisfying the demands on the coal market with a certain independence to the outputs of the mines.

In the relationship between the mines and the market, the deposit can assume various positions as in Fig. 1.

At least two essential aspects should be outlined in the design and creation of coal deposits, as intermediate locations between suppliers and beneficiaries:

- Establishing the location of the deposits;
- Sizing the deposit capacity.

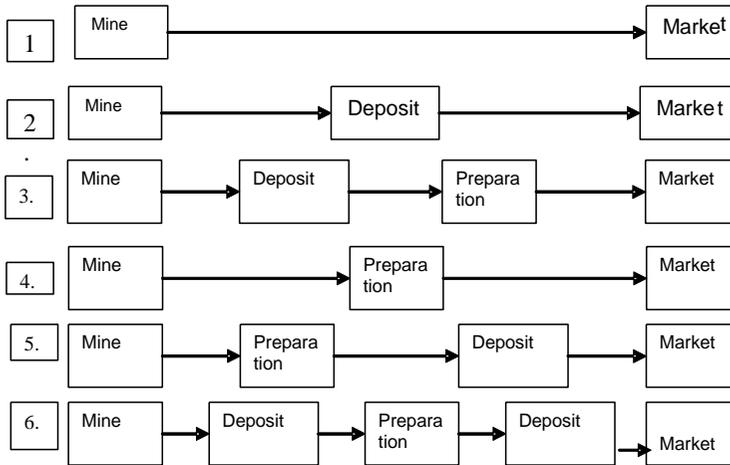


Figure 1 – Deposit location in the the mine - market relationship

Establishing the location of the deposits is a delicate and difficult issue, since in the present social-economical conjuncture a series of technical and legal constraints occur related to the conditions that should be met by the location.

2. Establishing the Capacity of the Deposit

To calculate the depositing capacity and for suggestions of building them, the following hypothesis are put forward:

- A situation where all the output should be stored;
- Possibility of planning deliveries , so that inputs in the deposit should be constant all along the day;
- Succession of depositing , and delivery operations, respectively.

Considering the maximum predicted annual output (Q_a) for 2006 – 2010, specific to the year 2010, it is found that daily production (Q_{zi}) of the National Bituminous Coal Company is:

$$Q_{zi} = \frac{Q_{an}}{n_{zla}} = \frac{2796000}{255} \cong 11000t / zi \quad (1)$$

where:

$$Q_{an} = 2796000 \text{ t/year} \quad (2)$$

$n_{zla} = 255$ - number of working days in a year.

The deposit capacity will be:

$$Q_d = 15 \times Q_{zi} = 165000t \quad (3)$$

Considering that all mine units deliver coal in railway wagons, in case there is no coal delivery to the beneficiary, the number of wagons (n_v) dumped in the deposit in a day will be:

$$n_v = \frac{Q_{zi}}{Q_v} = \frac{11000}{55} = 200 \text{ pieces} \quad (4)$$

where:

$$Q_v = 55t - \text{capacity of a wagon.}$$

The number of wagons thus calculated will be used for the sizing of capacity of coal dumping from wagons.

To chose the necessary machinery to deposit coal, the capacity per hour of depositing is calculated:

$$Q_h = \frac{Q_{zi}}{n_{hf}} = \frac{11000}{20} = 550t/h \quad (5)$$

where:

$$n_{hf} = 20 \text{ hours} - \text{hours of machinery operation per day.}$$

As a concept, the deposit arrangement assumes a plane concrete surface, in the center of which a concrete bridge is built where the railway required to empty the wagons is assembled.

Geometric Shape of Coal Stacks

Coal stacks are coal piles of the shape of a rectangular frustum of a pyramid.

Stacks are defined by the following dimensions:

H_s –stack height (no shape), m;

l_{is} –lower stack width , m;

l_{ss} –upper stack width, m;

L_s – stack length, m.

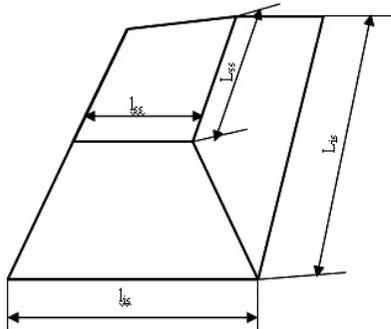


Figure 2 – Geometrical shape of the stack

Establishing Stack Dimension

Stack height

Stack height depends on the height (H_s) at which the discharge arm of the depositing machinery can be positioned.

Following coal leveling and settlement, the stack height decreases.

Thus:

$$H_s = (0,80 \div 0,85) H_d, \text{ m (6)}$$

Where:

H_d – height of the machinery discharging arm, m.

Stack width

Since in our proposal we considered that the same machinery, rotor excavator, will do both coal storage (Fig. 3) and its loading in the deposit (Fig. 4) to the wagons on the bridge, its lower width (l_{is}) is determined by the constructive – functional dimensions of the machinery.

Rotor excavators, due to their mobility could be thus positioned as to make the best use of the deposition surface.

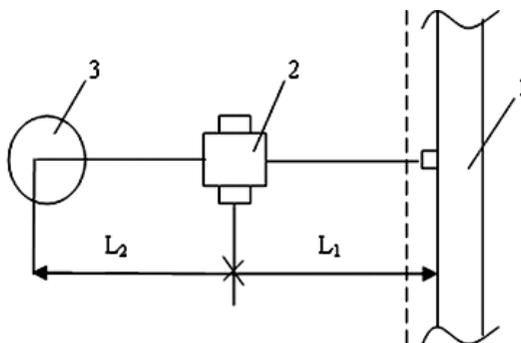


Figure 3 – Coal deposition in stacks

Due to technical – functional considerations of the system, the lower width of the stack (Fig. 1.3) is:

$$l_{is} = L_1 + L_2 - \left(l_c + l_u + l_p + \frac{l_{ie}}{2} \right), \text{ m (7)}$$

L_1 –rotor holder, m:

L_2 –excavator dumping arm length, m;

l_c – travel passage width, m;

l_u –machinery width, m;

l_p – width of coal prism dumped from wagons, m.

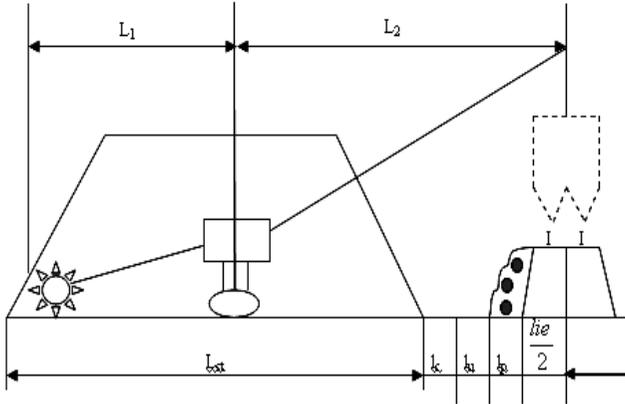


Figure 4 – Coal dumping in stacks

Upper width of the stack (Fig. 4) is a resultant of magnitudes determined above.

Fig. 4 – Calculation diagram of the upper stack width.

$$l_{ss} = l_{is} - 2 \cdot \frac{H_s}{\operatorname{tg} \alpha_2} \quad (8)$$

or

$$l_{ss} = l_{is} - 2 \cdot \frac{H_s}{\operatorname{tg} \alpha_2} \quad (9)$$

4.2.4.2.3. Stack length

Stack length (L_{st}) is determined by calculation, function of the coal amount to be deposited. In calculations the stack volume is used:

$$V_s = \frac{Q_s}{\gamma} m^3 \quad (10)$$

Where γ - volumetric mass of the coal in the deposit, t/m^3 .

The stack volume is calculated with the equation:

$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{1}{2} \left(L_{is} \cdot l_{is} + L_{ss} \cdot l_{ss} \right) \cdot H_s = \\
 &= \frac{1}{2} \left[L_{is} \cdot l_{is} + \left(L_{is} - \frac{2 \cdot H_s}{\operatorname{tg} \alpha_2} \right) \cdot \left(l_{is} - \frac{2 \cdot H_s}{\operatorname{tg} \alpha_2} \right) \right] \cdot H_s \quad (11) \\
 &= \frac{H_s}{2} \left(L_{is} \cdot l_{is} + L_{is} \cdot l_{is} - \frac{2 \cdot H_s \cdot l_{is}}{\operatorname{tg} \alpha_2} - \frac{2 \cdot H_s \cdot L_{is}}{\operatorname{tg} \alpha_2} + \frac{4 \cdot H_s^2}{\operatorname{tg}^2 \alpha_2} \right) \\
 &= \frac{H_s}{2} \left[L_{is} \left(2 \cdot l_{is} - \frac{2 \cdot H_s}{\operatorname{tg} \alpha_2} \right) - \frac{2 \cdot H_s \cdot l_{is}}{\operatorname{tg} \alpha_2} + \frac{4 \cdot H_s^2}{\operatorname{tg} \alpha_2} \right] \\
 &= L_{is} \cdot \frac{H_s}{2} \left(2 \cdot l_{is} - \frac{2 \cdot H_s}{\operatorname{tg} \alpha_2} \right) - \frac{H_s^2 \cdot l_{is}}{\operatorname{tg} \alpha_2} + \frac{2 \cdot H_s^3}{\operatorname{tg}^2 \alpha_2}, \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

This equation gives the stack length value, function of the value of required or calculated parameters according to the methodology shown.

$$L_{is} = \frac{\frac{Q_s}{\delta} + \frac{H_s^2 \cdot l_{is}}{\operatorname{tg} \alpha_2} - \frac{2 \cdot H_s^3}{\operatorname{tg}^2 \alpha_2}}{H_s \cdot l_{is} - \frac{H_s^2}{\operatorname{tg} \alpha_2}} \quad (12)$$

Conclusions

Calculation methodology provides the beneficiary with the possibility of estimating, for a type of machinery given, the dimensions of the deposit components, and thus of the necessary investment.

Referentes: 1. Fodor D., Iliș N., Tăștea D. – Mecanizarea în lucrările miniere la zi. Editura Tehnică, București, 1978. 2. Iliș L. – Stadiul actual al performanțelor sistemelor tehnologice miniere. Referat de doctorat, Petroșani, 2005. 3. Iliș N., Kovacs I., Gruneanțu I. – Mașini miniere. Cariere. Petroșani, 1989. 4. Timofeeva, N.P., Scerbakov, N.A. – Depozitul de cărbune – element necesar al schemei tehnologice a unei mine actuale. Lucrările institutului de mine, vol. 150, Sankt Peterburg, 2002. 5. Vaida V, Bereș F. – Pagini ale istoriei energiei românești. Editura Mirton, Timișoara, 2003. 6. Gruneanțu I., Contract de cercetare : Studiu privind oportunitatea realizării unor depozite de cărbune pentru preluarea fluctuațiilor producției și a cererii de cărbune, Executant: Universitatea din Petroșani, Beneficiar: Compania Națională a Huilei, Nr. contract: 113/2005.

Поступила в редколлегию 15.04.2010

А.Г. Деревянченко, д-р техн. наук, Д.А. Криницын, Одесса, Украина

РАСПОЗНАВАНИЕ КОНТУРОВ ЗОН ИЗНОСА РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ЭТАЛОНОВ

Викладений підхід до автоматичного розпізнавання форм контурів зон зносу ріжущих інструментів (РІ) з використанням методу еталонів. Отримані результати свідчать про можливість застосування методу еталонних контурів для якісного автоматичного розпізнавання класів контурів зон зносу РІ в різних станах. Це забезпечить підвищення точності ідентифікації моделей відмов РІ вже в початковий період їх експлуатації.

Изложен подход к автоматическому распознаванию форм контуров зон износа режущих инструментов (РИ) с использованием метода эталонов. Полученные результаты свидетельствуют о возможности применения метода эталонных контуров для качественного автоматического распознавания классов контуров зон износа РИ в различных состояниях. Это обеспечит повышение точности идентификации моделей отказов РИ уже в начальный период их эксплуатации.

An approach to automatic cutting tool (CT) wear zones contours recognition with method of etalons using is considered. The results about possibility method of standard contours application for high-quality automatic recognition of CT wear areas contours classes in the different CT states are obtained. It will provide increasing of exactness of CT failures models authentication already in an initial period of CT exploitation.

При решении задач автоматического контроля состояний режущих инструментов (РИ) для прецизионной обработки все более широкое применение находят системы технического зрения (СТЗ) [1]. Они позволяют формировать 2D- и 3D- образы (геометрические модели) исходного, текущих и предельного состояний режущей части РИ. В процессах формирования образов зон износа РИ важная роль принадлежит операция выделения их контуров, по которым определяется ряд признаков состояния инструмента.

Целью настоящей статьи является изложение подхода к распознаванию классов формы контуров макродефектов зон износа с использованием набора эталонов.

Тематике распознавания контуров цифровых изображений посвящена обширная литература, среди которой наиболее близкими к тематике статьи являются работы [2 - 5]. Среди множества известных методов распознавания контуров особый интерес представляет метод, основанный на использовании эталонов (эталонных контуров)[3]. Поскольку режущая часть РИ для прецизионной обработки (в частности – резцов для тонкого точения)

характерна, как правило, сложной формой и нагружается неравномерно, имеет место множество классов форм зон износа (макродефектов) и их текстурных элементов (дефектов). Покажем возможность распознавания классов формы контуров макродефектов (зон износа задних поверхностей) резцов, отображающих те или иные модели отказов РИ, с использованием набора эталонных контуров.

После регистрации цифрового изображения РИ в контрольной позиции ГПМ выполняется его первичная обработка и выделение контура зоны износа. Далее производится формирование так называемого радиус – векторного представления контуров для распознаваемого (R^P) и эталонного ($R^Э$) контуров:

$$R^P = r_1^P, r_2^P, \dots, r_i^P, \dots, r_n^P, \\ R^Э = r_1^Э, r_2^Э, \dots, r_i^Э, \dots, r_m^Э,$$

где: $r_i^P, r_i^Э$ - радиус-векторы текущих точек распознаваемого и эталонного контуров зон износа.

Эталонные и исследуемый (распознаваемый) контуры зоны износа в общем случае имеют разные размеры и нуждаются в нормировании.

Радиус-векторное представление (или “развертка”) контура $R (R = r_1, r_2, \dots, r_i, \dots, r_n)$ в общем случае формируется следующим образом:

1. определяется положение центра масс контура;
2. определяется радиус – вектор каждой точки контура для набора $i = 1 \dots n$:

$$r_i = \sqrt{[x_i - x_c]^2 + [y_i - y_c]^2},$$

где: x_i, y_i – координаты текущей точки контура зоны износа РИ в системе координат изображения, размещенной в его левой верхней точке; x_c, y_c – координаты центра масс контура; n - число точек распознаваемого контура; m - число точек эталонного контура.

3. выполняется формирование развертки контура в прямоугольной системе координат, где по оси абсцисс откладываются номера точек контура, а по оси ординат – значения соответствующих радиус – векторов.

Далее производится нормализация радиус – векторного представления эталонных и исследуемого контуров. Эта операция необходима для корректного вычисления уровня корреляции между формой эталонных

контуров и формой исследуемого контура. Производится нормализация по амплитуде (т.е. приведение к общему уровню значения динамического диапазона всех радиус – векторных представлений – эталонных и исследуемого контуров). Выполняется определение максимального и минимального значения амплитуды среди всех эталонных и исследуемого контуров.

Вводятся понятия абсолютного и относительного поправочных коэффициентов по амплитуде. Данные характеристики вычисляются для каждого из контуров. Далее выполняется нормализация по амплитуде каждой точки радиус – векторного представления каждого контура.

Производится нормализация по длине последовательности (приведение к общему, максимальному значению длин последовательностей всех радиус-векторных представлений эталонного и исследуемого контуров). Выполнение восстановления недостающих значений для каждой радиус–векторной последовательности (вследствие увеличении длины) происходит при помощи линейной интерполяции. Производится ”прореживание” каждой (увеличенной по длине на предыдущем шаге) радиус – векторной последовательности при помощи безусловной выборки.

Далее выполняется определение коэффициента подобия исследуемых радиус-векторных представлений распознаваемого контура зоны износа РЧ и каждого эталонного с исследованием взаимно – корреляционной функции.

Взаимо-корреляционная функция двух сигналов (здесь – нормированных радиус – векторных представлений контуров) определяется известным выражением [6]:

$$r_{\tau} = \int f(t) \varphi(t-\tau) dt.$$

Циклическая свертка – частный случай получения взаимно-корреляционной функции нормированных радиус – векторных представлений контуров определяется выражением [7]:

$$r_{xy}(k) = \frac{n \sum x_i(k)y_i - \sum x_i(k) \sum y_i}{\sqrt{n \sum x_i^2(k) - \sum x_i(k)^2} \sqrt{n \sum y_i^2 - \sum y_i^2}},$$

где k – значение взаимного смещения двух функций.

Важным элементом метода распознавания контуров (в первую очередь - контуров макродефектов РЧ) является формирование эталонных контуров. К ним предъявляются следующие требования:

1. Эталонный контур должен быть представительным, т.е. отражать все особенности формы границ зоны износа, обусловленные характером распределения интенсивности изнашивания контактной поверхности РИ

вследствие особенностей ее нагружения и физико – механических условий контакта;

2. Эталонный контур должен быть инвариантным к абсолютным значениям габаритных размеров зон износа, т.к. с его использованием выполняется оценка класса формы изношенной поверхности, а не ее абсолютные размеры.

На рис. 1 приведено условное представление разброса положений изношенной режущей кромки (РК) инструмента и форм соответствующих контуров, которые изношенная РК последовательно образует с участком исходной РК. В вершине нового РИ задана инструментальная система координат – XYZ.

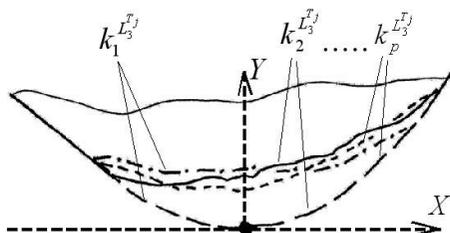


Рисунок 1 – Условное изображение разброса положений РК для набора резцов, изношенных в одинаковых условиях резания в течении одного и того же периода времени

Здесь $k_1^{L_j^j}$, $k_2^{L_j^j}$, ..., $k_p^{L_j^j}$ - контуры РК для набора резцов, изношенных на момент времени t_j периода стойкости, а $k^{L_j^j} = k_1^{L_j^j}, k_2^{L_j^j}, \dots, k_p^{L_j^j}$ - набор совмещенных контуров, в результате обработки которого может быть сформирован эталонный контур – представитель данного класса формы зоны смещения РК вследствие износа, p – количество РИ в исследуемом наборе.

Возможны следующие подходы к формированию эталонного контура $k_3^{A_2^T}$ формы зоны износа задней поверхности РИ:

1. построение внешнего и внутреннего огибающих контуров по набору $k_2^{A_2^j}$, их обработка и формирование $k_3^{A_2^T}$;
2. построение совмещенных радиус – векторных представлений (разверток) для набора $k_2^{A_2^j}$, построение их граничных огибающих, обработка и усреднение огибающих, формирование $k_3^{A_2^T}$ путем выполнения обратного преобразования: от радиус-векторного представления – к эталонному контуру.

Алгоритм распознавания классов форм зон износа режущей части инструмента представлен на рис. 2.

Фрагменты рабочих панелей программного комплекса с результатами сопоставления распознаваемого и трех эталонного контуров форм зон износа РИ по задней поверхности представлены на рис. 3.

Приняты следующие обозначения: 1 – контур распознаваемого изображения зоны износа задней поверхности РИ; 2,3,4 – эталонные контуры (соответственно - износ с образованием проточин, равномерный износ, износ при вершине); 5, 6, 7 – совмещенные нормированные радиус – векторные представления контуров; 8, 9, 10 – взаимокорреляционные функции; 11 – результаты распознавания в рабочей форме.

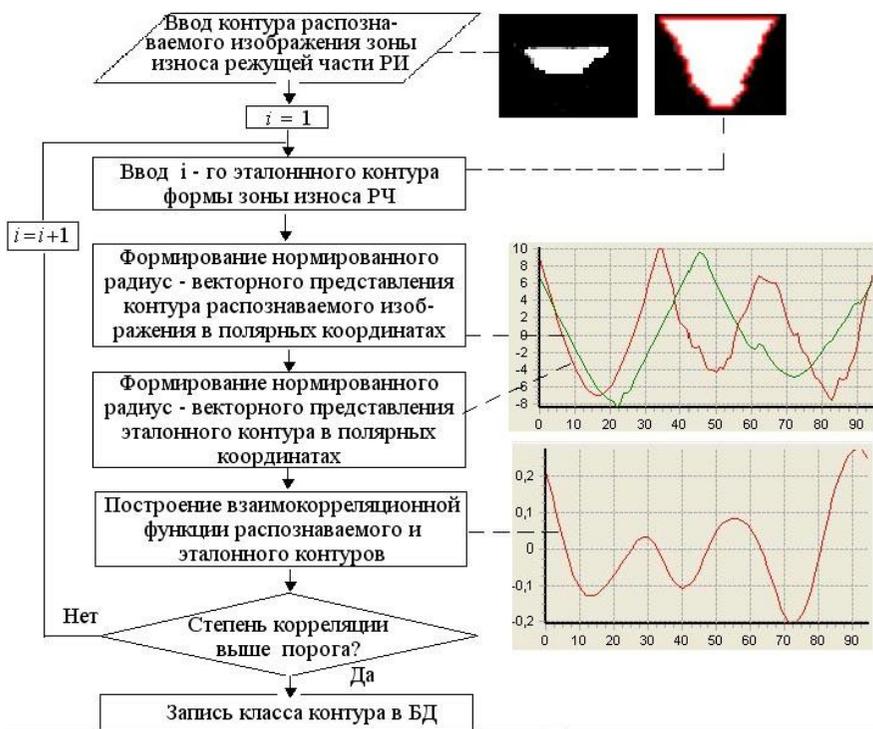
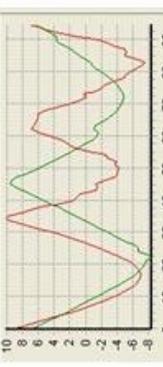


Рисунок 2 – Алгоритм распознавания классов контуров зон износа РИ.

В таблице 1 приведены окончательные результаты распознавания с указанием степени корреляции распознаваемого и текущего эталонного контура (K_{R/E_i}) и типа распознанного контура зоны износа.

Таблица 1 – Обобщенные результаты распознавания класса формы зоны износа задней поверхности резцов для тонкого точения

Эталонные контуры	Совмещенные радиус-векторные представления распознаваемого и эталонного контуров	Взаимокорреляционная функция распознаваемого и эталонного контуров	Оценка степени корреляции контуров
Эталонный контур 1 			$K_{R/E_1} = 27,425$
Эталонный контур 2 			$K_{R/E_2} = 92,574$
Эталонный контур 3 			$K_{R/E_3} = 74,418$

Результат распознавания: в контролируемом состоянии резца имеет место равномерный износ задней поверхности РЧ, параметры которого не превышают допустимых. ОБРАБОТКУ МОЖНО ПРОДОЛЖАТЬ

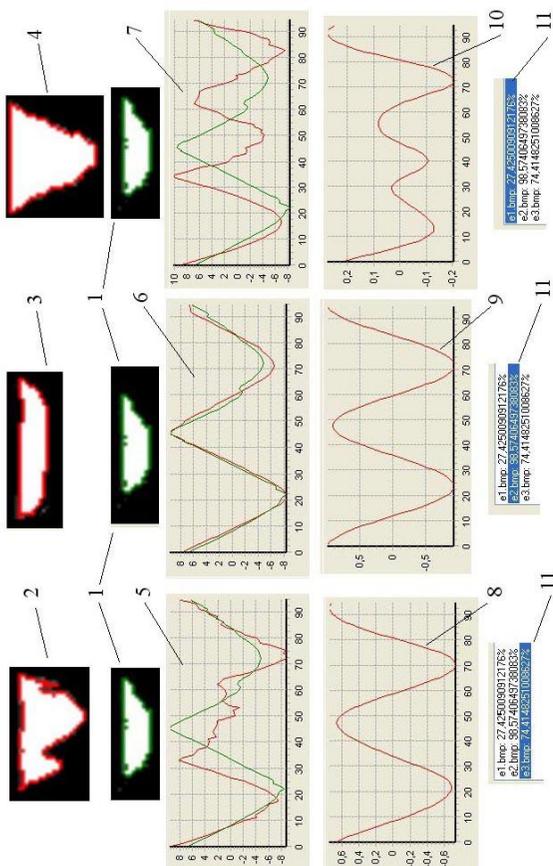


Рисунок 3 – Фрагменты изображений рабочих панелей программного комплекса с результатами сопоставления распознаваемого и трех эталонного контуров форм зон износа РИ по задней поверхности

Полученные результаты свидетельствуют, по мнению авторов, о возможности применения метода эталонных контуров для качественного автоматического распознавания классов контуров зон износа РИ в различных состояниях. Это обеспечит повышение точности идентификации моделей отказов РИ уже в начальный период их эксплуатации.

Список использованных источников: 1. Деревянченко А.Г., Павленко В.Д., Андреев А.В. Диагностирование состояний режущих инструментов при прецизионной обработке.- Одесса: Астропринт, 1999. – 184 с. 2. Прэнтт У. Цифровая обработка изображений. – Т 2. – М.: Мир, 1982. 3. Анисимов Б.В., Курганов В.Д., Злобин В.К. Распознавание и цифровая обработка изображений. - М.: Высшая школа. 1983. -295 с. 4. Методы компьютерной обработки изображений / Под ред. В.А. Сойфера – 2-е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003.– 784 с. 5. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. - М.: Техносфера, 2005. – 1072 с. 6. Елисеева И.И., Рукавишников В.О. Группировка, корреляция, распознавание образов (Статистические методы классификации и измерения связей). — М.: Статистика. — 1977. -144 с. 7. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. - М.: Наука. Главная редакция физ.-мат. лит. - 1974. -831 с.

Поступила в редколлегию 25.05.2010

А. Г. Деревянченко, д-р техн. наук, О. В. Фомина, Одесса, Украина

ПОДДЕРЖАНИЕ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ

Розглянуто концепції створення інтелектуальних систем для підтримки і відновлення працездатності різальних інструментів. Викладено підхід до використання засобів штучного інтелекту при створенні цих систем. Розглянуто структуру інформаційного забезпечення системи підтримки працездатності різучих інструментів. Розглянуто структуру одного з розроблених системних модулів – нечіткого нейромережевого класифікатора станів інструментів.

Rассмотрены концепции создания интеллектуальных систем для поддержания и восстановления работоспособности режущих инструментов. Изложен подход к использованию средств искусственного интеллекта при создании этих систем. Рассмотрена структура информационного обеспечения системы поддержания работоспособности режущих инструментов. Рассмотрена структура одного из разработанных системных модулей – нечеткого нейросетевого классификатора состояний инструментов.

The conceptions to maintenance and renewal of cutting tools capacity with the intellectual systems using are considered. An approach to artificial intelligence elements using at this systems creation is discussed. The structure of the informative providing of availability maintenance system of cutting tools is investigated. The structure of neuro – fuzzy classifier of tools states as one of the developed system modules is considered.

Стремительное увеличение информационных потоков, которые перерабатываются в современных интегрированных производства уровня СИМ, обуславливает необходимость автоматизации и интеллектуализации соответствующего оборудования – станков с ЧПУ и ГПМ [1]. Одной из важных задач в этой области является задача сокращения расходов на дорогостоящие режущие инструменты (РИ). Неполное использование рабочего ресурса РИ, их непредвиденные отказы приводят к необходимости создания значительных запасов инструментов. Следовательно, возникает потребность разработки интеллектуальных систем - системы поддержания работоспособности (СПР) РИ в процессе эксплуатации и системы восстановления работоспособности (СВР) РИ после его отказа и снятия со станка.

Целью статьи является изложение подходов к созданию взаимодействующих интеллектуальных систем поддержания и восстановления работоспособности РИ.

Необходимость создания систем поддержания работоспособности ответственных элементов и подсистем ГПМ (в том числе – СПР РИ) отмечалась в ряде работ [2, 3 и др.]. В качестве основных направлений создания СПР РИ в современных условиях целесообразно отметить следующие: 1. разработка структуры СПР РИ, основанной на комплексном использовании различных средств искусственного интеллекта; 2. анализ связи работоспособности РИ с состоянием системы элементов его режущей части (РЧ); 3. разработка подхода к повышению глубины диагностирования состояний РЧ инструментов; 4. разработка новых классификаторов состояний РЧ, обеспечивающих повышение качества распознавания РИ; 5. повышение количества распознаваемых классов состояний РЧ на основе распознавания состояний элементов ее структуры; 6. формирование моделей элементов и процессов СПР РИ, и др.

В ОНПУ разработана концепция повышения качества СПР РИ, основанная на комплексном использовании в ее составе взаимодействующих средств искусственного интеллекта. К числу создаваемых средств и элементов СПР относятся: система технического зрения (СТЗ) для контроля состояний РИ; система интеллектуальной обработки информации от датчиков прямого и косвенного контроля, которые формируют соответствующие образы режущей части РИ; нейросетевой нечеткий классификатор и двухуровневый гибридный алгоритм, который работает с использованием системы новых признаков состояний РИ; система поддержки принятия решения о степени работоспособности РИ; экспертная система; соответствующие базы данных; база знаний, которая содержит решающие правила для классификации состояний РИ, модели отказов и модели прогнозирования остаточного ресурса РИ и др.

Структура одного из вариантов СПР РИ представлена на рис. 1.

Эта структура сформирована для некоторого условного ГПМ, в структуре которого имеется инструментальный магазин (ИМ) с набором РИ ($PI_{\Sigma} = (PI_1, PI_2, \dots, PI_i, \dots, PI_k)$), перемещение которых в револьверную головку или шпиндель станка производится системой смены инструментов (ССИ).

В структуре ГПМ выделены система числового программного управления (СЧПУ), система приводов станка (СПС) – привода главного движения (ПГД) и привода подач (ПП). Эти приводы обеспечивают реализацию определенной схемы резания, обусловленной типом станка и его кинематикой.

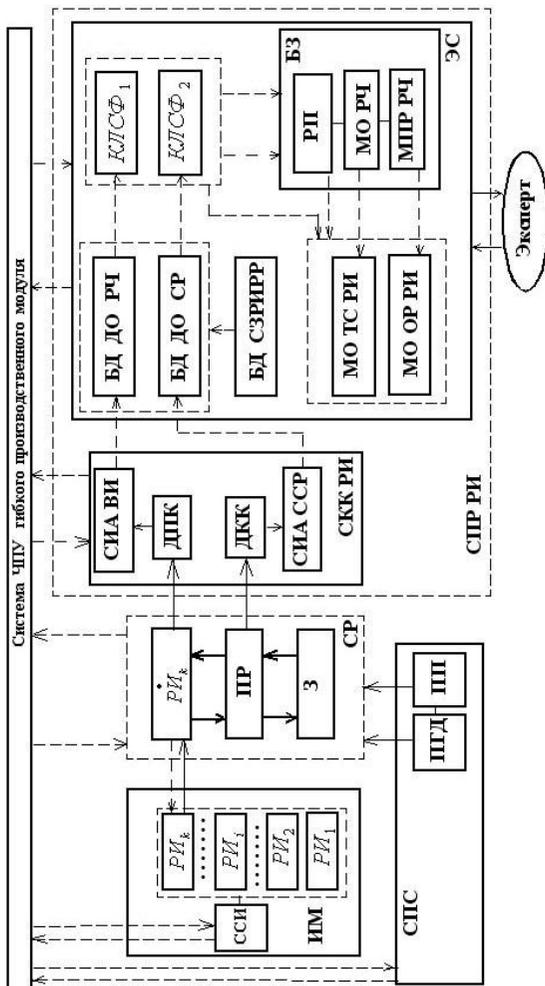


Рисунок 1 – Структура интеллектуальной системы поддержания работоспособности РИ

По команде от СЧПУ с использованием ССИ некоторый РИ (здесь – $РИ_k$) устанавливается в револьверную головку или шпиндель станка (его новое положение в структуре ГПМ обозначаем как $\dot{РИ}_k$). После включения приводов $\dot{РИ}_k$ вступает в контакт с заготовкой (3) и реализуется процесс резания (ПР), т.е. создается система резания (СР).

Состояние процесса резания, в значительной степени обусловленное состоянием изношенного инструмента, непрерывно или периодически контролируется датчиком косвенного контроля (ДКК) и распознается системой интеллектуального анализа сигнала (сигналов) системы резания (СИА ССР).

В период прерывания обработки при смене заготовки РИ по команде от СЧПУ перемещается в контрольную позицию, где состояние его рабочей части (РЧ) анализируется датчиком (датчиками) прямого контроля (ДПК). В качестве ДПК может быть использована СТЗ, формирующая изображения (первичные образы зоны износа РЧ) и передающая их для последующей обработки в систему интеллектуального анализа видеoinформации (СИА ВИ). Система может быть снабжена блоком привода для ориентации телекамеры относительно инструмента.

Прямая и косвенная оценка состояния РИ в комплексе выполняется системой комбинированного контроля – СКК (при необходимости задействуется один или оба варианта контроля).

Данные от СИА ВА поступают в базу данных динамических образов режущей части РИ (БД ДО РЧ), где накапливаются и сортируются. Эта база является подструктурой экспертной системы.

Данные от СИА ССР поступают в базу данных динамических образов – сигналов системы резания (БД ДО СР). Она является подструктурой экспертной системы (ЭС), создается и обучается экспертом.

Параллельно поступает информация о типе ГПМ, типе заготовки, форме и размерах детали, ее материале, требованиям к точности и качеству обработки, данные о РИ (геометрии РЧ, инструментальном материале и др.), данные о режимах резания. Она хранится в соответствующей БД (БД СЗРИРР).

Распознавание состояний РЧ и СР выполняется соответствующими классификаторами ($КЛСФ_1, КЛСФ_2$). Структура нечеткого нейросетевого классификатора состояний режущей части РИ ($КЛСФ_1$), реализующего гибридный двухуровневый алгоритм распознавания, приведена на рис. 2. На его вход подается вектор признаков, формируемых на основе обработки изображений РЧ, формируемых СТЗ. Для распознавания состояний РИ могут строиться нейронные сети (НС) различной сложности: однослойные, двухслойные, с различным количеством нейронов. С ростом сложности структуры сети растет время ее обучения. Для обучения НС с учетом особенностей решаемой задачи принят алгоритм обратного распространения ошибки распознавания [4], позволяющий заранее задавать требуемую точность классификации. Для формирования сети выбран набор средств NEURAL NETWORKS TOOLBOX в системе MATLAB.

Для обучения НС эксперту необходимо сформировать обучающую выборку $U_{\Sigma\Omega}^L$, включающую наборы векторов по каждому классу состояний

РИ ($\Omega_I^L, \Omega_{II}^L, \dots, \Omega_N^L$), где N – число классов состояний РИ (рис. 2). В состав $U_{\Sigma\Omega}^L$ входят признаки формы зоны износа. Классификатор работает по следующему гибриднему двухуровневому алгоритму. На первом уровне экспертом подается на вход сети обучающая выборка $U_{\Sigma\Omega}^L$. На выходе НС формируются результат классификации - номер класса (y) по каждому состоянию (вектору признаков), а для всей выборки $U_{\Sigma\Omega}^L$ - совокупность результатов (y_{Σ}^L).

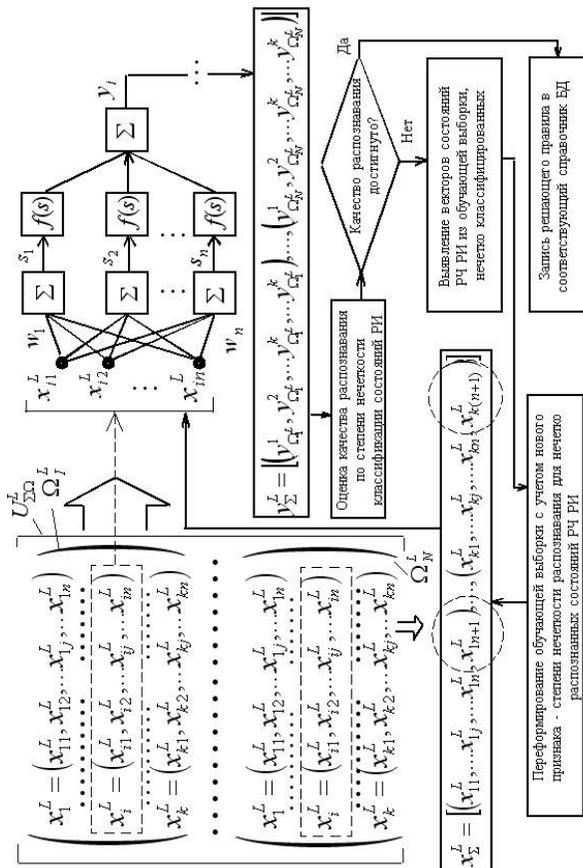


Рисунок 2 – Структура нечеткого нейросетевого классификатора состояний РЧ ($КЛСФ$), реализующего гибридный двухуровневый алгоритм распознавания

Определяются параметры качества – процент или вероятность правильного распознавания (ППР, ВПР), значения ошибок первого и второго рода. Если заданное качество не получено, выполняется поиск векторов состояний, неверно классифицированных. Дальше начальная обучающая выборка переформируется с добавлением нового признака – степени нечеткости классификации ($x_{(n+1)}^L$), т.е. создается новая обучающая

выборку $\tilde{U}_{\Sigma\Omega}^L$. Затем повторяется процесс обучения НС (реализуется второй уровень гибридного алгоритма). После получения требуемого качества выполняется запись результатов в соответствующую базу знаний (БЗ). Она содержит также модели отказа режущей части РИ (МО РЧ), идентифицируемые в начальный период работы РИ и модели прогнозирования остаточного ресурса режущей части (МПР РЧ).

Вся названная информация поступает в модули (программные комплексы) оценки текущего состояния (МО ТС РИ), прогнозирования остаточного ресурса (МО ОР РИ) инструмента. Принятые решения о стратегии дальнейшей эксплуатации РИ, соответствующих управляющих воздействиях на технологическую систему ГПМ передаются в СЧПУ.

Перейдем к рассмотрению концепции создания СВР РИ. До настоящего времени одним из основных методов восстановления режущей части отказавших РИ для целого ряда инструментов является их перетачивание. Однако при этом имеют место значительные затраты времени на восстановление и значительные потери дорогостоящего инструментального материала, что вызвано необходимостью гарантированного удаления следов износа или разрушения и формирования новой, восстановленной РЧ.

Указанные проблемы обусловлены отсутствием достоверной информации о предотказном состоянии РЧ или ее состоянии после отказа в форме высокоточной 3D (или 2D) – модели. Она может быть построена с использованием интеллектуальной СВР РИ, включающей заточной станок с ЧПУ, систему датчиков для точного позиционирования восстанавливаемого РИ. Очевидна необходимость информационного взаимодействия СВР и СПР РИ. Здесь появляется возможность формирования комбинированной модели, которая совмещает 3D – модель отказавшего РИ, и согласованную с ней (“вписанную”) 3D – модель нового РИ. Вписывание выполняется таким образом, чтобы поверхности образа нового РИ были отделены от поверхностей изношенного (отказавшего) РИ на минимальные расстояния (припуски), которое необходимы и достаточны для снятия при восстановлении дефектных слоев инструментального материала.

Соответствующая информации (по каждой из рабочих поверхностей РЧ) передается системе ЧПУ заточного станка.

Для принятия решения о целесообразности восстановления инструмента (альтернатива – замена РИ новым аналогом) будет формироваться модель остаточной зоны режущей части и проводиться ее конечноэлементный анализ (с учетом нагружений, обусловленных параметрами системы резания). Восстановление РЧ должно обеспечить полное удаление изношенных поверхностей и локальных дефектов. Поэтому на стадии диагностирования возникает потребность выполнения поиска и локализации дефектов (элементов структурно – параметрической модели режущей части отказавшего РИ). Диагностическая стратегия локализации дефектов основывается в первую очередь на определении их пространственного положения относительно базовых функциональных элементов РЧ. Разрабатываются основы выполнения итерационных расчетов прочности РЧ и ее элементов (для постепенно изнашиваемого и периодически контролируемого РИ). Такие расчеты проводятся с использованием метода конечных элементов на основе 2D- и 3D - моделей РЧ, которые периодически формируются по результатам контроля СТЗ.

В заключение отметим, что исследования разработанных к настоящему времени модулей СПР и СВР РИ показали их хорошую работоспособность, что свидетельствует, по мнению авторов, о правомочности изложенных подходов и перспективности проводимых работ.

Список использованных источников: 1. *Грабченко А.И., Верезуб М.В., Соболев О.В.* Три рівні генеративних інтегрованих технологій// Високі технології в машинобудуванні. Збірник наукових праць. - Вип. 1 –Харків: ХДПУ, 2003. - С. 34-42. 2. *Старков В.К.* Обработка резанием. Управление стабильностью и качеством в автоматизированном производстве. - М.: Машиностроение. 1989.-296 с. 3. *Соломенцев Ю.М., Сосонкин В.Л.* Управление гибкими производственными системами. – М.: Машиностроение, 1988. -352 с. 4. *Уоссермен Ф.* Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика -М.: Мир, 1992. –186 с.

Поступила в редколлегию 25.06.2010

Е.А. Джур, д-р техн. наук, А.Е. Проволоцкий, д-р техн. наук,
А.Г. Фесенко, канд. техн. наук, И.И. Бондаренко, канд. техн. наук,
О.В. Бондаренко, канд. техн. наук, Днепропетровск, Украина

КОМПЛЕКСНЫЕ, КОМБИНИРОВАННЫЕ, ИНТЕГРИРОВАННЫЕ И СИНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

У статті наведені визначення комплексних, комбінованих, інтегрованих і синергетичних технологій. Визначено розробників та сфери їх переважного застосування.

В статье приведенные определения комплексных, комбинированных, интегрированных и синергетических технологий. Определены разработчики и сферы их преобладающего применения.

Determinations for complex, combine, integrated and sinergic technologies are represented in this article. Spheres of best using for complex, combine, integrated and sinergic technologies are looked.

Актуальность проблемы.

Интенсивное развитие техники на протяжении XX и в начале XXI столетия привело к тому, что технологии, новые и достаточно эффективные для одного поколения производителей и потребителей продукции, становились для последующих традиционными и не всегда удовлетворяли возросшим потребностям времени и рынка. В конце 70-х – в начале 80-х годов XX столетия появился и получил широкое распространение термин «высокие технологии», обозначающий принципиально новые, передовые, наукоемкие технологии, обеспечивающие использующим их предприятиям лидирующие позиции на рынке. Использование высоких технологий показало, что дело не только в технической стороне производства, но и в его организации, мотивации людей к деятельности и множестве других факторов[1]. Уже в 90-е годы XX столетия оказалось, что ряд высоких технологий утратили передовые позиции и заменены другими. Следует отметить, что машиностроение характеризуется широкой номенклатурой выпускаемой продукции, отличающейся по конструктивным и технологическим признакам, таким как размеры, масса, точность формы и размеров, предъявляемым к ней техническим, экономическим и другим требованиям, условиям эксплуатации и производства, серийности выпуска. Соответственно различаются и технологии производства продукции. Кроме того, имеет место заимствование технологий из одной отрасли

машиностроения в другие. Все это обусловило потребность не столько в разработке новых технологий, сколько в выработке новых подходов к их разработке.

Такие подходы были выработаны. Некоторые из них получили название комплексных, комбинированных, интегрированных и синергетических технологий. Как правило, эти подходы применялись и применяются при разработке технологий изготовления наиболее сложной и наукоемкой машиностроительной продукции.

Анализ последних научных достижений.

В настоящее время в технической литературе приводится большое количество определений таких понятий как комплексные, комбинированные, интегрированные и синергетические технологии. Эти определения постоянно дополняются, уточняются и совершенствуются, так как появляются новые технологии, учитывающие и использующие взаимодействие все большего количества факторов. Иногда эти понятия используются как синонимы, что указывает на наличие у них общих признаков.

Комплексные технологии предусматривают увязку основных и вспомогательных технологических процессов в единый технологический процесс [2,3]. В данном случае превалирует организационный аспект. Данная группа технологий может не влиять непосредственно на качество выпускаемой продукции, но влияет на величину затрат времени и средств на ее производство, а следовательно, на экономическую эффективность деятельности предприятия.

Комбинированные технологии предполагают использование сочетания различных физических и химических эффектов, а также способов обработки для изготовления продукции [4]. Данная группа технологий непосредственно предназначена для обеспечения необходимых технических характеристик продукции, производительности труда и принципиальной возможности изготовить изделие, которое невозможно обработать с использованием какого-либо одного эффекта или процесса обработки.

Синергетические технологии – основаны на инициировании и использовании самоорганизационных явлений при осуществлении технологического процесса. Характер этих явлений, а также механизмы самоорганизации могут быть различными. Само слово «самоорганизация» предполагает наличие двух и более явлений или эффектов, имеющих место при осуществлении технологического процесса. Выделены также характеристики технических систем, процессов, протекающих в этих

системах и условий их протекания, способствующие возникновению синергетических эффектов [5].

К определению понятия *интегрированные технологии* имеется несколько подходов. В работе [6] выделяются следующие направления создания интегрированных технологий: генеративные методы изготовления; усовершенствованные традиционные методы изготовления; комбинированные методы. Кроме того, понятие интегрированные технологии трактуется следующим образом:

- использование CAD-CAM-CAE – систем для поддержки разработки всего жизненного цикла изделия или как минимум всего цикла его разработки и производства [7];

- «интеграция технологий это наука о решении задачи или разработке проекта в контексте всего предприятия и повышении эффективности путем реализации полезной взаимосвязи полезных его компонентов» [8].

Авторами данной статьи интегрированные технологии понимаются как технологии, разрешающие противоречия между факторами, влияющими на принятие управленческих, конструкторских, технологических и организационных решений. Понятие «интегрированные технологии» объединяет в себе: комбинированные технологии, комплексные технологии, генеративные технологии и технологии одновременного изготовления материала и изделия из него, технологии, непосредственно влияющие на эксплуатационные характеристики изделия, усовершенствованные традиционные технологии [9, 10]. Таким образом, по мнению авторов, термин «интегрированные технологии» включает в себя комплексные и комбинированные технологии.

Проведенный анализ показывает, что общими признаками комплексных, комбинированных, интегрированных и синергетических технологий является их ориентация не просто на изготовление продукции, а на обеспечение ее работоспособности в предельно жестких условиях эксплуатации и конкурентоспособности на рынке за счет всестороннего подхода к обеспечению необходимого уровня ее потребительских и эксплуатационных свойств. Различия состоят в области применения, используемой терминологии и толковании терминов, имеющемся, доступном и применяемом разработчиками математическом аппарате, а также процедуре разработки. Процессы разработки и внедрения таких технологий до настоящего времени не стандартизированы именно в силу необходимости учета большого числа разнообразных факторов, на первый взгляд мало связанных между собой. Кроме того, не определено, кто должен

разрабатывать такие технологии, на основании чего следует принимать решение об их внедрении, и кто имеет право санкционировать их внедрение. В результате эффект от разработки технологий снижается, так как их разработчики не всегда в состоянии определить все источники повышения эффективности деятельности предприятия и, соответственно, конкурентоспособности продукции.

Таким образом, необходимо конкретизировать являющиеся важными общие признаки и различия между ними, а также оптимальные сферы их применения. Также необходимо разработать методологические основы разработки и применения комплексных, комбинированных, интегрированных, синергетических технологий и обучения этому специалистов различных отраслей машиностроения и различных служб машиностроительных предприятий.

Основной материал исследований.

Основной особенностью комплексных, комбинированных, интегрированных, синергетических технологий и их общей чертой является поиск, создание и использование *синергетического взаимодействия (синергии)* между факторами, в общем случае влияющими на принятие и выполнение управленческих, конструкторских, технологических, организационных решений и действующими на всех этапах жизненного цикла изделия. Под синергией понимается взаимное усиление или ослабление эффектов, а также проявление новых эффектов от взаимодействия таких факторов. Выявляется такое взаимодействие на этапе проведения научно-исследовательских работ, а также на этапах проектирования и подготовки производства и собственно изготовления конкретного изделия. Различие между комплексными, комбинированными, интегрированными, синергетическими технологиями состоит в том, между какими факторами обнаруживается или создается синергия и что является целевой функцией разработки технологии, иными словами, на непосредственное получение какого эффекта рассчитана та или иная технология.

Для обеспечения конкурентоспособности продукции высокие технологии должны сопровождать весь ее жизненный цикл от научно-исследовательской работы до утилизации. Следует отметить, что процесс утилизации одного изделия машиностроения в свою очередь представляет собой этап изготовления другого с использованием высоких технологий, ориентированных на его создание, например, конструкционных материалов и полуфабрикатов из них, химических продуктов, изделий машиностроения различного назначения [11]. Поэтому технологии утилизации каждого изделия должны разрабатываться одновременно с технологиями его создания

и использования, и рассматривать их необходимо не только и не столько как «нагрузку» на создание этого изделия, а как этап в изготовлении другой продукции. На примере двух условных изделий «А» и «Б» это показано на рисунке 1.

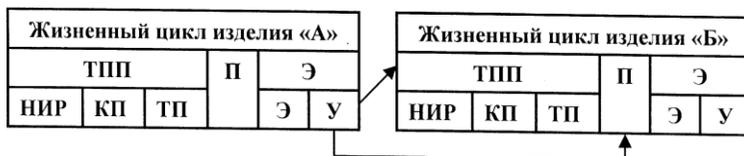


Рисунок 1 – Жизненный цикл изделия:

ТПП – техническая подготовка производства, НИР – научно-исследовательская работа, КП – конструкторская подготовка, ТП – технологическая подготовка, П – производство, Э – эксплуатация, У – утилизация

Оптимальными сферами применения *комбинированных и синергетических* технологий является в первую очередь производство продукции, а целью их разработки является обеспечение максимально высоких технических характеристик изделия, то есть технический эффект, достижение которого призвано повысить конкурентоспособность изделий. Естественно, что наличие либо отсутствие, а также необходимость разработки и возможность использования таких технологий учитывается на стадии проектирования изделий и технологической подготовки их производства. Следовательно, рассматривается синергия только технических эффектов. Причем термин «синергетические технологии» предполагает разработку единого технологического процесса, в ходе которого проявляются несколько усиливающих либо ослабляющих друг друга эффектов, а комбинированные технологии – двух и более отдельных технологических процессов, каждый из которых может применяться и самостоятельно, но по отдельности не обеспечивает необходимого качества изделия либо требует неприемлемых затрат времени и средств на изготовление продукции. Для синергетических технологий характерно взаимодействие факторов, выявляемых и действующих не только на стадиях конструкторского и технологического решений, но и на стадии научно-исследовательской работы. Комбинированные технологии, как правило, учитывают

взаимодействие факторов на стадии реализации технологического решения, иногда в его взаимосвязи с конструкторским. Как правило, синергетические технологии разрабатываются на стадии проектирования изделия либо проведения научно-исследовательских работ, комбинированные – на стадии освоения изделия в производстве.

Разработка *комплексных* технологий направлена в первую очередь на обеспечение экономической эффективности деятельности предприятия, не затрагивая напрямую технические характеристики выпускаемой продукции, то есть целью их внедрения является получение непосредственного экономического эффекта. При этом имеет место синергетическое взаимодействие факторов на стадии разработки и выполнения технологического и организационного решений. Комплексные технологии, как правило, разрабатываются на стадии производства либо подготовки производства изделия.

Интегрированные технологии основаны на выявлении синергетического взаимодействия между факторами, действующими на стадиях принятия управленческих, конструкторских, технологических и организационных решений, то есть может достигаться технический, экономический, экологический и социальный эффекты. Проявляется такое взаимодействие на всех стадиях жизненного цикла изделия. Характерной для создания интегрированных технологий является ориентация на потребности рынка и работа в условиях одновременного проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, а также разработки изобретательских решений. Зачастую разработка интегрированных технологий может происходить в условиях неполной изученности применяемых эффектов, как это показано на рисунке 2. В этом случае выдвигается гипотеза, которая при подтверждении в ходе научно-исследовательских и опытно-конструкторских (технологических) работ становится научным фактом и воплощается в изобретательские, а следом и в инженерные решения. Возможна и ситуация, когда в начале принимается изобретательское или инженерное решение, а для проверки их правильности проводятся научно-исследовательские работы. Следовательно, имеет место одновременное, параллельное использование методов научной, изобретательской и инженерной деятельности на всех стадиях создания продукции.

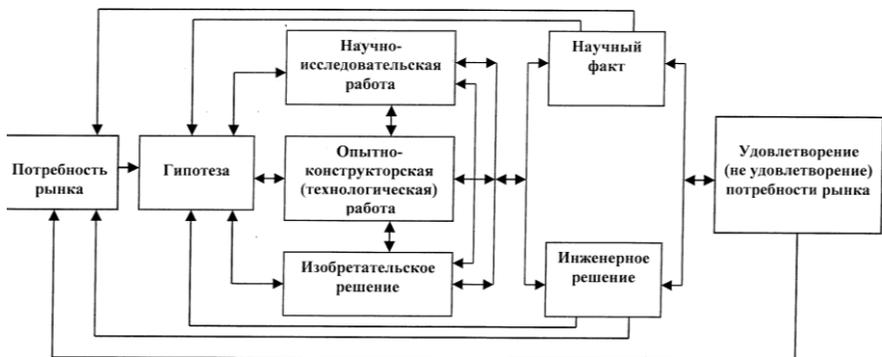


Рисунок 2 – Работа в условиях неполной изученности применяемых эффектов

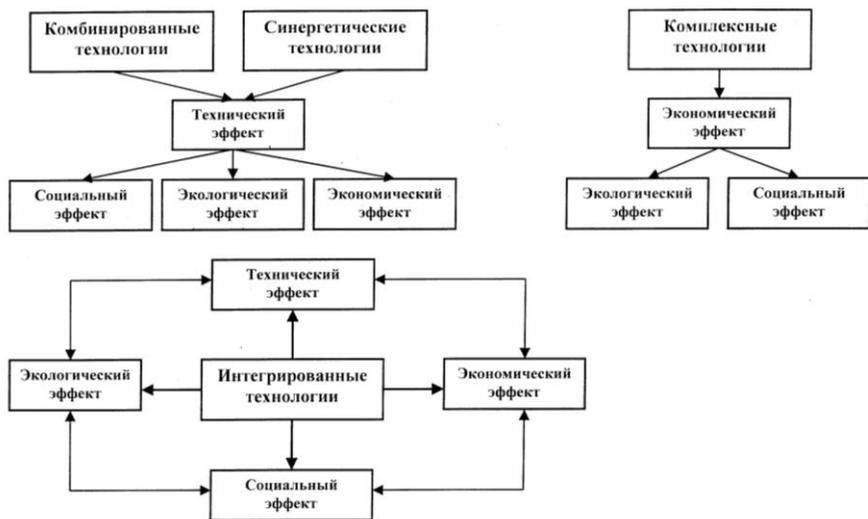


Рисунок 3 – Эффекты и технологии

Естественно, что целью деятельности любого предприятия является получение прибыли, то есть экономический эффект. При использовании комплексных технологий экономический эффект достигается непосредственно. Внедрение комбинированных и синергетических

технологий обеспечивает получение экономического эффекта посредством достижения технического. В ряде случаев, особенно для государств с развитым природоохранным законодательством и социальными гарантиями, экономический эффект может достигаться путем обеспечения экологического и социального эффектов. Таким образом, непосредственным фактором обеспечения конкурентоспособности продукции может служить любой из перечисленных эффектов, а остальные обеспечиваются через его достижение, что характерно для интегрированных технологий. Взаимосвязь между технологиями и ожидаемыми эффектами от их разработки и внедрения показана на рисунке 3.

Таким образом, четко разделить сферы применения комплексных, комбинированных, интегрированных и синергетических технологий не представляется возможным – они перекрываются. В самом общем виде можно сделать вывод, что основа комбинированной технологии – инженерное решение, как правило, технологическое, комплексной – управленческое и организационное, интегрированной – как правило, научно-исследовательская работа, изобретательское и инженерное решения, синергетической – научно-исследовательская работа, как это показано на рисунке 4.

Преимущественное использование методов научной, изобретательской и инженерной деятельности для разработки и собственно разработка комплексных, комбинированных, интегрированных и синергетических технологий зависит от того, каким способом предполагается повышать или обеспечивать конкурентоспособность продукции. Кроме того, значительное влияние на выбор комплексных, комбинированных, интегрированных и синергетических технологий оказывает соответствующая потребностям рынка стадия совершенствования продукции, для создания которой они предназначены: оптимизация по принципу действия, по конструкции или по параметрам (рисунок 5).



Рисунок 4 – Этапы и стадии жизненного цикла изделия и технологии его создания



Рисунок 5 – Стадии совершенствования продукции, технологии и цели их разработки

При совершенствовании продукции путем оптимизации принципа действия фактически речь идет не о конкретном изделии, а о способах удовлетворения потребностей рынка. При создании продукции на новых принципах действия, как правило, приходится разрабатывать новый комплекс материалов и технологий, а также кардинально обновлять парк оборудования для ее изготовления. При этом подразумевается, что технические характеристики продукции обеспечивают наиболее эффективное удовлетворение потребности рынка. Вопрос об уменьшении затрат средств в большинстве случаев не является главным, основное внимание уделяется сокращению затрат времени, так как считается, что лидерство в выводе на рынок новой продукции априорно обеспечит ее конкурентоспособность и, соответственно, высокую прибыль предприятию. В этом случае затраты на создание продукции весьма значительны, так как велика доля научно-исследовательских и опытно-конструкторских (технологических) работ. Изобретательские решения, как правило, направлены на разработку принципов функционирования продукции и ее принципиальных схем. Одни из разработанных схем отбраковываются, другие принимаются в дальнейшую разработку. Как правило, проблема выбора среди нескольких примерно равноценных технологий на данном этапе не стоит, так как имеется необходимость разработать хотя бы одну технологию, обеспечивающую работоспособность продукции. В данном случае следует ожидать разработки и внедрения синергетических, комбинированных и интегрированных технологий. Противоречия, возникающие между факторами, влияющими на принятие управленческих, конструкторских, технологических и организационных решений, как правило, обусловлены инертностью мышления, необходимостью отказаться от привычных стереотипов, форм и методов деятельности, нехваткой финансовых, материальных и других ресурсов, в том числе и времени. Для разработки комплексных технологий на данном этапе еще не разработана структура основных технологических процессов.

При оптимизации по конструкции и по параметрам речь идет уже о совершенствовании продукции, принцип действия которой известен. В зависимости от ее конструкции и параметров начинают применяться различные комплексы материалов и технологий. Разрабатывается перечень и структура основных технологических процессов. Изобретательские решения направлены на разработку и совершенствование отдельных элементов продукции, а также технологий ее изготовления с необходимым качеством. Возникает проблема выбора одного из нескольких соизмеримых по технической эффективности комплексов материалов и технологий и соответствующего им оборудования. Решающим фактором выбора здесь уже

может стать наличие комплексной технологии, которая позволяет при одинаковых технических характеристиках изделия значительно снизить затраты времени и средств на его изготовление. Вопрос о сокращении затрат на создание продукции зачастую становится решающим, причем требования заказчика к ее техническим характеристикам и срокам создания остаются столь же жесткими. Фактически речь может идти уже не столько об исключительно высоких технических характеристиках продукции, сколько о ее доступности для потребителя и максимально полном удовлетворении его запросов. В какой-то момент конструктивные схемы, основанные на первоначально используемых комплексах материалов и технологий, исчерпывают возможности своего совершенствования. В то же время ограниченность ресурсов заказчиков, производителей и разработчиков продукции не позволяют производить научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы с целью разработки принципиально новых способов удовлетворения имеющейся потребности. Противоречие между факторами, влияющими на принятие управленческих, конструкторских, технологических и организационных решений как раз и выражаются в том, что заказчик стремится к улучшению технических характеристик продукции при минимальных затратах времени и средств. Частные улучшения, постепенное совершенствование могут помочь далеко не всегда, так как внесение любых, даже небольших, изменений в сложные изделия требует проведения их комплексных испытаний, что может свести на нет весь экономический эффект от нововведения. Для достаточно радикальной модернизации существующей или разработки новой продукции, основанной на тех же принципах и имеющей схожую конструкцию, возникает необходимость в разработке новых комплексов материалов и технологий. Это позволяет на какое-то время обеспечить ее соответствие потребностям рынка. Для выявления всех ранее скрытых резервов совершенствования продукции наибольшее применение, по-видимому, должны найти синергетические и интегрированные технологии.

Особый интерес вызывают технологии, непосредственно влияющие на технические характеристики продукции. Не имеет существенного значения как они называются – комбинированные, интегрированные или синергетические. Так как все названные технологии могут в той или иной мере применяться на всех стадиях создания продукции, то их разработчиками могут быть и научные работники и конструкторы и технологи, особенно если предлагаемое решение является изобретательским. Задачей разработчика такой технологии вне зависимости от основной сферы его занятий является определение в первом приближении технического и экономического эффекта

от ее внедрения и внесения обусловленных ею изменений в конструкцию продукции. Окончательное решение о целесообразности или нецелесообразности внедрения технологии и обусловленных ею конструктивных изменений может принять только конструктор, так как только он владеет полной информацией о требованиях к продукции и размере допустимых затрат времени и средств на ее создание. Серьезное расхождение в величине эффекта, определенного разработчиком технологии и конструктором, от внедрения новой разработки часто свидетельствует либо о грубой ошибке, как правило, разработчика либо о не учете каких-либо серьезных факторов, как правило, конструктором. Во многих случаях, особенно при реализации международных проектов, решение о внедрении тех или иных технологий и соответствующем им изменении конструкции продукции, принимает заказчик.

По мнению авторов на вопрос о том, кому надлежит разрабатывать комплексные, комбинированные, интегрированные и синергетические технологии, можно ответить следующим образом:

- разработка и внедрение комплексных технологий находятся в компетенции руководителей и технологов (управленческих и технологических подразделений предприятий);

- разработка и внедрение интегрированных, комбинированных и синергетических технологий в случаях, когда в конструкторской документации не указан способ получения продукции – в компетенции технологов или технологических подразделений;

- разработка технологий, влияющих на технические характеристики продукции может производиться научными работниками, конструкторами, технологами (или соответствующими подразделениями предприятий), а принятие решения об их внедрении находится в компетенции конструкторов (конструкторских подразделений) либо заказчика.

Разработка комплексных, комбинированных, интегрированных и синергетических технологий является проявлением инновационного мышления на разных стадиях создания продукции. В настоящее время речь идет о необходимости формировании инновационного мышления у каждого специалиста-машиностроителя.

Перечисленные выше особенности рассмотренных технологий требуют, по мнению авторов, усиления некоторых аспектов подготовки инженеров и выработки у них следующих навыков, в первую очередь таких как:

- умение выявлять цели, для достижения которых предназначена выпускаемая продукция, а также альтернативные пути достижения этих целей;

- умение обосновать техническую, экономическую, экологическую, социальную, эстетическую значимость предлагаемых решений;
- умение использовать одновременно методы научной, изобретательской и инженерной деятельности, причем в условиях неполной информации о природе эффектов, действующих при реализации предлагаемых решений;
- готовность к поиску, анализу, исследованию и обоснованию внедрения всего нового для достижения поставленных целей.

Эти аспекты относятся не только к специальной, но и к психологической подготовке будущих специалистов. Используемая формулировка «требуют усиления» означает, что все перечисленные аспекты подготовки специалистов не являются чем-то принципиально новым. Такие же качества проявлялись и проявляются, подчас неосознанно, учеными, изобретателями, инженерами в периоды наиболее интенсивного развития тех или иных отраслей науки, техники, технологии. С течением времени опыт накапливался, обобщался, систематизировался, в определенной мере формализовался.

Для разработки и внедрения комплексных, комбинированных, интегрированных и синергетических технологий каждый специалист вне зависимости от уровня и сферы деятельности должен быть в достаточной мере информирован о целях, стоящих перед предприятием, и разделять эти цели. Кроме того, он должен быть разносторонне подготовлен как в своей узкой области, так и в смежных областях, а также обладать необходимыми экономическими знаниями. Разумеется, необходима система экспертной оценки предлагаемых инноваций, материально и морально стимулирующая к творческой работе. Таким образом, социальный аспект разработки комплексных, комбинированных, интегрированных и синергетических технологий является столь же значимым, как технический и экономический.

Результаты исследований.

На основании изложенного выше можно сделать следующие выводы.

Комплексные, комбинированные, интегрированные и синергетические технологии являются высокими на момент их разработки и остаются таковыми в течение некоторого периода времени. Термин «высокие технологии» обозначает их уровень, а термины «комплексные», «комбинированные», «интегрированные», «синергетические» технологии – способ достижения этого уровня.

Преимущественное использование комплексных, комбинированных, интегрированных и синергетических технологий зависит от обусловленной потребностями рынка стадии совершенствования продукции.

Разработка и внедрение указанных технологий требуют участия специалистов всех уровней и профессий, представленных на предприятии и участвующих в создании продукции.

Разработка и внедрение комплексных, комбинированных, интегрированных и синергетических технологий является практическим проявлением элементов инновационного мышления и требует усиления соответствующих аспектов подготовки инженеров.

Список использованных источников: **1.** Бадковский Д. Общество инноваторов. Известия. № 33/517. 26.02.2008. – с. 7. **2.** Бондаренко И.И., Калмыкова И.Ю., Момот Н.С. Совершенствование организации транспортного обслуживания – важный резерв повышения эффективности производства в машиностроении. Республиканская научно-техническая конференция «Обеспечение технологичности и экономической эффективности изделий машино- и приборостроения» Тез. докл. – Днепропетровск: ДГУ. 1983 – 161 с. **3.** Бондаренко И.И., Малкович А.Р., Момот Н.С. Интенсификация транспортного обслуживания машиностроительного производства. – Л.: ЛДНТП, 1988. **4.** Проволоцкий А.Е. Развитие комбинированных методов обработки как база интегрированных технологий. Високі технології в машинобудуванні. Збірник наукових праць. Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, 1’2003 м. Харків – 2003. **5.** Переверзев Е.С. Модели накопления повреждений в задачах долговечности. – К.: Наукова думка, 1995. - 358 с. **6.** Интегрированные технологии ускоренного прототипирования и изготовления. Под общей редакцией Товажнянского Л.Л., Грабченко А.И.– Харьков, 2002 – 140с. **7.** Морозов Ю.Д., Момот В.Е. Путь к организации производства мирового уровня. – Днепропетровск, “Наука і освіта”, 1999. – 144 с. **8.** Ретсина Т., Розиноу С. Примеры практического применения интеграции технологических процессов на целлюлозно-бумажных предприятиях // Интегровані технології та енергозбереження // Щоквартальний науково-практичний журнал. – Харків: НТУ “ХПР”, 2003. – №3. **9.** Джур Е.А. Проволоцкий А.Е., Фесенко А.Г. и др. Поиск и разрешение технических противоречий как методологическая основа разработки интегрированных технологий. // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – . – Дніпропетровськ, 2006. Випуск 1(42)– с. 39-50. **10.** Бондаренко О.В., Бондаренко И.И. Комплексные, комбинированные, интегрированные технологии и подготовка специалистов для ракетно-космической промышленности. Наукові читання “Дніпровська орбіта-2009”. – Дніпропетровськ: НЦАОМ, 2009. – С. 107-111. **11.** Кузнецов Н.П., Кургузкин М.Г., Николаев В.А. Утилизация ракет с ЖРД (на примере ракеты 8К14). Москва – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2004, 288 с.: ил.

Поступила в редколлегию 26.01.2010.

В.Л. Доброскок, д-р техн. наук, Я.Н. Гаращенко, канд. техн. наук,
С.И. Чернышов, канд. техн. наук, Н.В. Зубкова, канд. техн. наук,
Харьков, Украина

ВОЗМОЖНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ CAD СИСТЕМ ПРИ ПЕРЕХОДЕ К ТРИАНГУЛИРОВАННЫМ МОДЕЛЯМ

У статті розглянуті особливості триангуляції моделей в CAD-системах при їхній підготовці для матеріалізації технологіями Rapid Prototyping. Представлено результати аналізу, для декількох найбільш поширених CAD систем, параметрів триангуляції моделей й їхнього впливу на кількість триангульованих елементів і на величину погрешності формування моделі.

В статье рассмотрены особенности триангуляции моделей в CAD-системах при их подготовке для материализации технологиями Rapid Prototyping. Представлены результаты анализа, для нескольких наиболее распространенных CAD систем, параметров триангуляции моделей и их влияния на количество триангулированных элементов и на величину погрешности формирования модели.

In paper features of a triangulation of models in CAD-systems are considered by their preparation for materialization by Rapid Prototyping. Results of analyses, for several the most widespread CAD-systems, parameters of a triangulation of models and their influence on quantity of triangulated elements and on size of an error value of model are presented.

Введение

Точность изготовления изделий с использованием технологий Rapid Prototyping определяют аналитические и технологические погрешности процесса. Аналитические погрешности складываются из погрешностей послыонного формообразования и погрешностей триангуляционной CAD модели. Технологические погрешности связаны с изменением линейных и объемных характеристик фотомономера в процессе его полимеризации и погрешностями, вносимыми работой оборудования [1].

Составляющая аналитической погрешности возникающей на этапе перехода от CAD-модели изделия к триангулированной модели является первичной, влияющей на формирование последующих составляющих погрешности, в том числе и технологических, поэтому требует особенного внимания для изучения.

В данной статье рассмотрены возможности CAD-систем по созданию триангулированных моделей, что является необходимым для поиска подходов по снижению погрешности триангуляции.

Переход от CAD-модели изделия к триангулированной модели осуществляется в современных CAD/CAM-системах посредством экспорта в STL-формат. STL-файлы являются исходными данными для систем материализации трехмерных моделей по технологии Rapid Prototyping, анализа конструкции изделия, моделирования аэродинамических испытаний и т. п.

STL-формат (STereoLithography, Surface Tessellation Language или Standard Triangulation Language) на данный момент лидирует среди форматов описания 3D данных [2]. В нем для представления формы и размеров изделия используется триангулированная модель. Геометрическая точность такой модели зависит от параметров аппроксимации исходной модели. Уменьшение размеров триангуляционных элементов модели (треугольников) приводит к уменьшению погрешности описания компьютерной 3D модели STL-файлом. При этом увеличивается количество треугольников, что приводит соответственно к большим размерам файла (увеличению необходимой вычислительной мощности и количества возможных ошибок при обработке STL-файла).

Рассмотрим возможности нескольких CAD систем по созданию STL-файлов для обеспечения сравнительного анализа.

Возможности CAD-систем по экспорту моделей в STL-формат

Autodesk Inventor. Поддерживает экспорт STL-файлов, но в сравнении с другими системами доступные инструменты выглядят недостаточно гибкими. Возможность предварительного просмотра сетки отсутствует. Выводить можно только отдельные детали, но не сборки. Погрешность триангуляции $\Delta_{тр}$ определяется тремя базовыми предварительными установками – *Low*, *Medium* и *High*.

CATIA. Предлагает экспорт в STL только для формата ASCII. Имеется возможность экспорта отдельных деталей, а также поддерживаются оба режима экспорта сборок (как в отдельные файлы для каждой детали, так и в один файл всех деталей сборки). В системе отсутствуют предварительно установленные параметры определяющие $\Delta_{тр}$, но предоставляются два параметра: *Sag Value* (задает величину прогиба, которая соответствует $\Delta_{тр}$ и может составлять менее 0,1 мкм) и *Step* (задает максимальную длину ребра треугольника).

В системе **CATIA** предусмотрены дополнительные модули для работы с триангулированными моделями – TL1 и STL. Модуль TL1 предлагает возможность вывода в двоичном STL-формате и содержит некоторые возможности редактирования сетки. Модуль STL – более высокого уровня, в нем добавлены инструменты для ремонта и оптимизации сетки [3].

I-deas. Поддерживает экспорт в STL-формат в базовой конфигурации, но только для отдельных деталей. Предусмотрен предварительный просмотр триангуляционной сетки. Параметр *Facet Deviation* определяет погрешность $\Delta_{тр}$. Значения параметра можно выбрать из набора предварительно заданных параметров в зависимости от оборудования Rapid Prototyping.

Система NX. Система позволяет экспортировать в STL-формат модели деталей и сборок, а также выбранные поверхности (применимость такой возможности для Rapid Prototyping ограничена). Не предлагается набора предварительных установок, как это делается в большинстве других системах, но имеется ряд параметров триангуляции. Базовая переменная *Triangle Tolerance* непосредственно определяет погрешность $\Delta_{тр}$. Имеется возможность предварительного просмотра триангулированной модели, созданной для экспорта в STL-формат. Опция *Local Coordinate System* позволяет автоматически разместить все элементы модели в область положительных чисел. Другие параметры связаны с экспортом поверхностных моделей. Параметр *Adjacency Tolerance*, позволяет задавать точность сопряжения поверхностей. Если вычисляемое расстояние между границами двух поверхностей меньше заданной величины *Adjacency Tolerance*, тогда две границы рассматриваются как совпадающие, а две поверхности – сопряженными по этой границе. Имеются инструменты для проверки правильной ориентации нормалей треугольников в STL-файле.

PowerShape. Поддерживается экспорт в STL-формат (ASCII или двоичный формат) для деталей и сборок (в один STL-файл или по деталям). Обеспечивается экспорт в STL-файлы с информацией о цвете, возможность просмотра и редактирования триангулированной модели, а также автоматического перевода детали в пространство положительных значений координат. Погрешность триангуляции $\Delta_{тр}$ определяется двумя параметрами: *Точность триангуляции* (может составлять менее 0,1 мкм) и *Максимальная длина ребра треугольников*.

Pro/ENGINEER. Экспорт в STL-формат для моделей деталей и сборок в пакете *Pro/ENGINEER* присутствует для всех конфигураций. Возможен экспорт, как отдельных деталей, так и сборок. Предусмотрена возможность выбора системы координат, вида STL-файла (ASCII или Binary), предварительного просмотра, а также задания на использование отрицательных значений координат (в соответствии с требованием расположения модели в октанте положительных значений координат). Погрешность $\Delta_{тр}$ определяется тремя параметрами (имеющие значения по умолчанию): *Chord Height* (высота хорды, глобальная переменная), *Angle*

Control (контроль предельного значения угла отклонения смежных ребер треугольников) и *Step Size* (дополнительный параметр, определяющий максимальный шаг триангуляции). При триангуляции поверхности модели *Chord Height* является глобальной переменной. Чем меньше выбранное значение высоты хорды, тем меньше отклонение от фактически существующей поверхности детали. Параметр *Angle Control* дополнительно управляет триангуляцией вдоль поверхностей с малыми радиусами – чем меньше значение радиуса, тем большее число треугольников используется при аппроксимации.

Rhino. Пакет поддерживает широкий спектр функций экспорта в STL-формат. Параметры определяющие погрешность триангуляции $\Delta_{тр}$; предельное значение отклонения угла и максимальная длина ребер треугольников.

В отличие от других систем *Rhino* обеспечивает поддержку данных для Rapid Prototyping и вне рамок стандарта STL. Предусмотрен экспорт в STL-файлы с информацией о цвете, данные в послойном формате SLC (SLiCe), а также есть возможность непосредственно передавать данные в программное обеспечение следующих RP-машин: InVision (3D Systems), DeskProto (Delft Spline Systems), Catalyst (Dimension), Studio (Objet), Modela Player (Roland), ModelWorks (Solidscape), Insight (Stratasys) и ZPrint (Z Corporation).

Solid Edge. Все конфигурации пакета *Solid Edge* обеспечивают экспорт в STL-формат (ASCII или двоичный формат). Модели в формат STL могут быть сгенерированы для деталей и сборок (только в один STL-файл). Визуализация или предварительный просмотр сетки перед экспортом не предусмотрена.

Инструменты для STL-экспорта имеют следующие параметры: *Conversion Tolerance* - непосредственно определяет погрешность триангуляции $\Delta_{тр}$; *Tolerance Unit* - задает единицы изменения для *Conversion Tolerance*; *Surface Plane Angle* - определяет допустимое отклонение угла между нормальными поверхности и триангуляционными элементами.

SolidWorks. Пакет *SolidWorks* во всех конфигурациях поддерживает экспорт в STL-формат (ASCII или двоичный формат) для деталей и сборок (в один STL-файл или по деталям). Обеспечивается предварительный просмотр сетки и возможность автоматического перевода (или передвижения) детали в пространство положительных значений координат. Погрешность триангуляции $\Delta_{тр}$ определяется тремя предварительными установками: *Грубо*, *Точно* и *Настройка*. В режиме *Настройка* предусмотрено задание двух параметров: *Deviation* (допуск на размер) и *Angle Tolerance* (допуск на отклонения угла между смежными ребрами).

StudioTools. Экспорт в STL-файл поддерживается для ASCII и двоичного формата. *StudioTools* является системой поверхностного моделирования, и поэтому разделения на детали и сборки не предусмотрено. Основным параметр триангуляции - *Resolution*. Дополнительные параметры определяют максимальное расстояние между сеткой и поверхностью, а также точностью стыковки вершин треугольников. Обеспечивается предварительный просмотр сетки перед экспортом для проверки корректности триангулированной модели. В некоторых конфигурациях *StudioTools* (*Studio*, *Surface Studio* и *AutoStudio*) применяется программа Spider (компания Alias) для редактирования ("ремонта") STL-моделей.

Компас 3D. Система поддерживает экспорт в STL-формат (ASCII или двоичный формат) для деталей и сборок (в один STL-файл). Параметров триангуляции в системе не предусмотрено.

Сравнительный анализ CAD-систем по возможностям создания триангулированных моделей

Представляется целесообразным ввести такие критерии оценки возможностей CAD-систем по созданию триангулированных моделей:

- поддержка конвертирования модели в STL-формат;
- обеспечение конвертирования сборок и отдельных деталей;
- наличие возможности управления триангуляцией (параметры определяющие погрешность $\Delta_{тр}$);
- предусмотрено дополнительные инструменты для ускорения процесса подготовки модели для Rapid Prototyping.

Результаты анализа возможностей CAD-систем в соответствии с перечисленными критериями обобщены и приведены в табл. 1.

Предусмотренные в различных CAD-системах параметры экспорта в STL-формат, определяющие погрешность триангулированной модели $\Delta_{тр}$, приведены в табл. 2. Рассмотренные CAD-системы имеют существенные различия по заданию параметров экспорта.

Несмотря на это для поверхности постоянной кривизны погрешность триангуляции соответствует высоте хорды определяемой известной зависимостью:

$$\Delta_{тр} = \rho - \frac{\sqrt{4\rho^2 - l^2}}{2} = \rho \left(1 - \cos \frac{\varphi}{2} \right),$$

где: ρ – радиус кривизны поверхности;

$\Delta_{тр}$ – погрешность триангуляции (высота хорды);

l – максимальный размер ребра (длина хорды);

φ – предельное значение угла отклонения смежных ребер.

Таблица 1 – Возможности CAD-систем по созданию триангуляционных моделей [3]

CAD-система	Разработчик	Экспорт детали в STL-формат	Экспорт сборки в один файл	Экспорт сборки по деталям	Предварительный просмотр
<i>CATIA</i>	Dassault Systems	+	+	+	+
<i>I-deas</i>	UGS	+	–	–	+
<i>Inventor Pro</i>	Autodesk	+	–	–	–
<i>NX</i>	UGS	+	+	–	+
<i>PowerShape</i>	Delcam	+	+	+	+
<i>Pro/ENGINEER</i>	PTC	+	+	+	+
<i>Rhino</i>	McNeel & Associates	+	н/д	н/д	+
<i>Solid Edge</i>	UGS	+	+	+	–
<i>SolidWorks</i>	Dassault Systems	+	+	+	+
<i>StudioTools</i>	Alias	+	н/д	н/д	+
<i>Компас 3D</i>	Аскон	+	+	–	–

Поэтому можно считать, что достаточным является наличие одного параметра $\Delta_{тр}$ для определения погрешности триангуляции. Но наличие дополнительно параметра l или ϕ обеспечивает не только гибкость в настройке, но и позволяет уменьшить количество возможных дефектов модели (особенно при высокой точности модели и соответственно большом количестве треугольников).

Таблица 2 – Параметры экспорта в STL-формат

CAD система	Параметры триангуляции		
	Погрешность триангуляции (высота хорды), Δ	Максимальный размер ребра (длина хорды), l	Предельное значение угла отклонения смежных ребер, ϕ
<i>ADEM</i>	–	–	–
<i>AutoCAD</i>	–	–	–
<i>CATIA</i>	+	+	–
<i>Cimatron E</i>	–	–	–
<i>PowerSHAPE</i>	+	+	–
<i>ProENGINEER</i>	+	+	+
<i>SolidWorks</i>	+	–	+
<i>Компас 3D</i>	–	–	–

Сравнительный анализ по принятым критериям (табл. 1, 2) позволил выявить несколько CAD-систем, которые предлагают наибольшие

возможности по триангуляции моделей: *CATIA*, *PowerSHAPE*, *ProENGINEER*, *SolidWorks*.

Одной из наиболее важных характеристик определяющих качество триангуляции является количество треугольников. Поэтому для CAD-систем, наиболее распространенных на рынке Украины, была выполнена оценка их интервальных возможностей задания точности триангуляции (определяющее количество треугольников). В качестве тестовых моделей для оценки были выбраны базовые геометрические тела, наиболее часто используемые в машиностроении: конус, куб, сфера, цилиндр. Результаты моделирования приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Количество треугольников при описании тестовых моделей в различных CAD системах

Тестовая модель (размеры)	CAD-система	Количество треугольников		
		минимальное	максимальное	по умолчанию
Конус ($R = 100\text{мм}$, $H = 200\text{мм}$)	<i>ADEM</i>	–	–	74
	<i>AutoCAD</i>	–	–	92
	<i>Cimatron E</i>	–	–	114
	<i>PowerSHAPE</i>	4	39046	446
	<i>ProENGINEER</i>	6	2876	382
	<i>SolidWorks</i>	68	1438	110
	<i>Компас 3D</i>	–	–	94
Куб ($a = 200\text{мм}$)	<i>ADEM</i>	–	–	12
	<i>AutoCAD</i>	–	–	12
	<i>Cimatron E</i>	–	–	12
	<i>PowerSHAPE</i>	12	12	12
	<i>ProENGINEER</i>	12	483752	12
	<i>SolidWorks</i>	12	12	12
	<i>Компас 3D</i>	–	–	12
Сфера ($R = 100\text{мм}$)	<i>ADEM</i>	–	–	2024
	<i>AutoCAD</i>	–	–	3358
	<i>Cimatron E</i>	–	–	2024
	<i>PowerSHAPE</i>	8	1016560	101592
	<i>ProENGINEER</i>	12	85682	2186
	<i>SolidWorks</i>	1680	42848	4692
	<i>Компас 3D</i>	–	–	930
Цилиндр ($R = 100\text{мм}$, $H = 200\text{мм}$)	<i>ADEM</i>	–	–	148
	<i>AutoCAD</i>	–	–	184
	<i>Cimatron E</i>	–	–	124
	<i>PowerSHAPE</i>	12	12564	888
	<i>ProENGINEER</i>	12	5664	84
	<i>SolidWorks</i>	136	2876	220
	<i>Компас 3D</i>	–	–	124

Для анализа полученных результатов (табл. 3) возьмем в качестве критерия гибкости CAD-систем – диапазон возможного количества триангуляционных элементов, которые могут быть задействованы для описания тестовых моделей. С учетом данного критерия рассмотренные системы предлагается разбить на две группы: с гибкими настройками триангуляции (*PowerSHAPE, ProENGINEER, SolidWorks*) и с ограниченными возможностями (*ADEM, AutoCAD, Cimatron E, Компас 3D*).

Выводы

Анализ CAD-систем по созданию триангулированных моделей позволил определить их технологические возможности (особенности, параметры триангуляции и гибкость по управлению триангуляцией).

Для изучения характеристик триангулированных моделей предпочтительно использовать CAD-системы с гибкими настройками триангуляции: *PowerSHAPE, ProENGINEER* и *SolidWorks*.

Результаты исследования создают методологическую основу для последующего изучения геометрических и морфометрических характеристик триангулированных моделей. Это послужит базой для оптимизации характеристик и возможности автоматического устранения дефектов поверхности триангулированных моделей.

Список использованных источников: 1. *Витязев Ю.Б.* Расширение технологических возможностей ускоренного формообразования способом стереолитографии: Дис... канд. техн. наук: 05.03.01. - Харьков, 2004. - 228 с. 2. *Bohn H.* File Format Requirements for the Rapid Prototyping Technologies of Tomorrow // International Conference on Manufacturing Automation Proceedings. - Hong Kong. - 1997. 3. STL - формат для быстрого прототипирования // Информационно-аналитический PLM-журнал: CAD/CAM/CAE Observer. - №5 (23) / 2005. - WEB: http://www.cadcamcae.lv/hot/STL_n23_p64.pdf.

Поступила в редколлегию 30.05.2010

А.И. Долматов, М.Н. Багмет, В.Н. Павленко,
В.И. Рядинский, Харьков, Украина

ВЛИЯНИЕ ОПЕРАЦИЙ ТРАВЛЕНИЯ НА ЦИКЛИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

У статті приведено результати дослідження впливу операцій травлення на циклічну міцність титанових сплавів.

В статье приведены результаты исследования влияния операций травления на циклическую прочность титановых сплавов.

In article results of research of influence of operations of etching on cyclic durability of titanic alloys are resulted.

Введение

При изготовлении компрессорных лопаток ГТД около 40 % трудоемкости занимают финишные операции, причем многие из них (зачистка заусенцев, формирование прикомлевого участка, скругление кромок) зачастую выполняются вручную. Развитие авиационной техники выдвигает все более высокие требования к форме, точности и качеству обработанной поверхности деталей. Наблюдается тенденция к дальнейшему ужесточению допусков на толщину сечений лопаток ГТД, усложнению пространственной формы профиля пера, утонению кромок пера, повышению требований к качеству поверхностного слоя. Для формирования правильной формы входной и выходной кромок компрессорных лопаток, наряду с использованием ручного труда, применяют шлифование абразивными лепестковыми кругами, ленточное шлифование, полирование.

1. Постановка задачи и цель исследования

После операции шлифования абразивными кругами и полирования войлочным кругом рабочие лопатки компрессоров ГТД, многие из которых изготавливаются из титановых сплавов, подвергаются обезжириванию, промывке в проточной воде и травлению в растворе по заводской технологии с целью выявления прижогов после ручных операций.

В настоящее время не изучен вопрос влияния операций травления на циклическую прочность титановых сплавов. Изучению этого вопроса посвящена данная статья.

2. Испытания на усталость образцов из титановых сплавов после травления

Плоские образцы, изготовленные на ОАО «Мотор Сич» по данной технологии и имеющие 3 тип структуры, были испытаны на усталость.

Для получения 3 типа структуры был применен следующий режим термомеханической обработки сплава ВТЗ-1 [1]:

1. Закалка в воду от 1323 К после выдержки 0,5 ч;
2. Прокатка при 1173 К с обжатием 50 %;
3. Рекристаллизационный отжиг при 1073 К, выдержка 5 ч.

Результаты испытаний образцов после травления и удаления поврежденного слоя сиделетканевым кругом приведены на рис. 1 и в таблицах 1, 2 и 3.



Рисунок 1 – Кривые усталости образцов из сплава ВТЗ-1

На рис. 1 для сравнения приведена кривая усталости образцов той же структуры, но подвергнутых травлению состава: 3% (объемных) HF; 7% HSeO₄, 90% H₂O. Травление в этом реактиве длительностью 1,5-2 мин обеспечивает возможность наблюдения как микро-, так и макроструктуры

сплава ВТЗ-1. Особенностью этого реактива было то, что он не приводит к насыщению титановых сплавов водородом, для этого потенциал травления должен быть отрицательным (не менее - 0,7 В). При этом растворение титанового сплава будет сопровождаться выделением кислорода, а не водорода.

Таблица 1 – Результаты испытаний на усталость образцов из титанового сплава ВТЗ-1 со структурой 1 типа

№ п/п	σ_a , МПа	$N \cdot 10^{-6}$, циклов	Примечание
1	800	0,211	293 К, $\square \rightarrow$ - образец не разрушился, h = 5,0 мм. Структура 1 типа: исходный пруток (материал в состоянии поставки без термомеханической обработки)
2	830	0,130	
3	800	0,415	
4	790	1,080	
5	755	0,834	
6	755	3,081	
7	740	4,201	
8	750	7,140	
9	730	20,0	
10	730	20,0	
11	730	20,0	

Таблица 2 – Результаты испытаний на усталость образцов из титанового сплава ВТЗ-1 со структурой 3 типа после травления новым травителем

№ п/п	σ_a , МПа	$N \cdot 10^{-6}$, циклов	Примечание
1	810	0,207	293 К, $\circ \rightarrow$ - образец не разрушился, h = 5,0 мм
2	780	0,285	
3	780	1,605	
4	770	0,412	
5	770	4,370	
6	760	1,820	
7	760	4,440	
8	765	13,20	
9	750	20,0	
10	750	20,0	
11	730	20,0	

Полученные результаты привлекли большое внимание. Наряду с низким сопротивлением усталости образцов, подвергнутых операции травления, образцы, не прошедшие операцию травления, имели высокий предел выносливости. Вероятно, операцией травления в образцы внесли существенный повреждающий фактор, который не удалось устранить механическим путем (удалением тонкого поверхностного слоя).

Таблица 3 – Результаты испытаний на усталость образцов из титанового сплава BT3-1 со структурой 3 типа после травления традиционным травителем

№ п/п	σ_a , МПа	$N \cdot 10^{-6}$, циклов	Примечание
1	700	0,115	293 К, $\Delta \rightarrow$ - образец не разрушился, $h = 5,0$ мм
2	700	0,221	
3	615	0,223	
4	615	0,611	
5	540	0,523	
6	455	0,747	
7	455	1,630	
8	455	3,780	
9	455	20,0	
10	420	20,0	
11	420	20,0	
12	380	20,0	

Наиболее вероятная причина понижения циклической прочности титанового сплава - это насыщение его водородом при травлении. А надо отметить, что процедуру травления вентиляторных лопаток повторяют многократно, что значительно снижает циклическую прочность лопаток.

Заключение. Сравнение кривых усталости, приведенных на рисунке 1, показывает, что кривые усталости образцов, не подвергавшихся травлению, и образцов, протравленных новым травителем, практически одинаковы.

В то же время образцы, подвергнутые травлению традиционным травителем, но прошедшие вакуумный отжиг, практически восстановили.

Результаты проведенных исследований говорят о необходимости применения для операций травления нового травителя, не снижающего прочностные характеристики титановых сплавов.

Список использованных источников: 1. *Войтенко В.С.* Влияние ультразвукового упрочнения и термомеханической обработки на прочность деталей из титановых сплавов //Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: Сборник научных трудов. – Харьков, НАКУ «ХАИ». – Выпуск 23(6). – 2000.– 171 с. - с. 17-27.

Поступила в редколлегию 15.05.2010

F. Kovács, Dr., prof., Ordinary Member of the Hungarian
Academy of Sciences, Miskolc, Hungary

TECHNOLOGICAL AND ECONOMIC PARAMETERS OF CO₂ CAPTURE FROM POWER PLANT FLUE GASES

Стаття відноситься до технологічних й економічних (вартість) параметрам випуску, захвату й зберігання вуглекислого газу в газах викопного палива (вугілля, природний газ) запущених електростанцій. Містить порівняння й узагальнення обробки широкого діапазону даних зазначених у літературі.

Статья относится к технологическим и экономическим (стоимость) параметрам выпуска, захвата и хранения углекислого газа в газах ископаемого топлива (уголь, природный газ) запущенных электростанций. Содержит сравнения и обобщения обработки широкого диапазона данных указанных в литературе.

The paper deals with the technological and economic (cost) parameters of the release, capture and storage of the carbon dioxide in the flue gases of fossil fuel (coal, natural gas) fired power plants. It makes comparisons and generalisations through processing a wide range of data quoted from the literature.

As the first step, the topicality of the issue is justified by illustrating the role of fossil fuels in the energy supply of the more remote future with forecast data. During the technological development of power plants in the last 50 years, block capacity has increased considerably, 5-8 times, with thermal capacity increasing by 50-60%, as a result of which specific carbon dioxide release has decreased by 30-40%. The paper briefly refers to the theoretical possibility of the sequestration of the carbon dioxide captured from flue gases in geological formations.

The enhancing effects of the implementation of CO₂ capture on investment costs and its reducing effect on net power plant output and utilization (thermal) efficiency are also analysed in the paper. The efficiency of CO₂ capture and the parameters of atmospheric carbon dioxide emission are also given attached to fuel types and technological solutions.

As a parameter of the technological solutions, it is indicated what specific cost (USD/t_{CO2}) is demanded for CO₂ capture or avoidance, and to what extent it raises the costs of electricity production.

Introduction: Financing CCS (Carbon Capture and Storage) Projects

The 2006 reference scenario of World Economy Outlook (WEO) of the International Energy Agency (IEA) forecasts an average annual 1.6% increase in primary energy demands by 2030, and parallel with this, considers coal as the second most important fuel. Taking into account a 70% increase in greenhouse gases between 1970 and 2004 parallel with an increase in energy demand, there is considerable CO₂ emission. In order to decrease the emission of greenhouse gases including CO₂, a widespread implementation of CCS (Carbon Capture and Storage) technology is necessary. In addition to CCS, an important role may also be played

by CCT (Clean Coal Technology). Therefore, the research and implementation of these technologies is a current task in our age.

Like every revolutionarily new technological procedure, and in particular, the research and development of high capacity energy systems integrating a wide range of technologies, its actual industrial implementation requires very considerable financial resources. The complex technological problems of a high capacity energy system (production, processing and combustion of fuels, the conversion of heat into electrical energy, the treatment and storage of combustion products – in this case, the CO₂ content of flue gases), the very high investment costs and the long lifecycle raise special problems. The risks of the technological solutions and the financial (economic) resources needed may deserve special consideration.

The budgets of research projects alone may amount to billions (e.g. in Australia, the research budget of the ongoing CCS projects is 5-6 billion A \$, in Canada, 86 projects are under elaboration with the participation of 95 organisations, with international involvement in 20 projects and with the participation of state agencies or authorities in 15 projects. The total R&D cost is 92 million C \$).

The demands of energy production with CCS technology and its investments costs, which amounts to $1.75 \cdot 10^6$ EUR/MW with lignite combustion according to current estimates, and will be $17.5 \cdot 10^9$ (billion) EUR when the Rhine power plants will be replaced with the same capacity are also a problem [1].

With regard to the financing of research and particularly investment costs, there are different solutions in the different countries. Experts indicate public-private partnership as the precondition of the successful design and actual industrial introduction of CCS technology or other technologies yielding the same result.

So far, two countries, the Netherlands and Norway have an established political (state) framework for the research and implementation of the new technologies (primarily CCS) [2].

The situation in Germany, where RWE Power AG operates two CCS projects, bearing the total risk and financial burden of research and demonstration plant, is almost unique. [1] The two projects involve the development of a coal-fired power plant with zero CO₂ emission and 450 MW output, based on IGCC technology (Integrated Gasification Combined Cycle), and the implementation of a lignite-fired power plant with 1,000 MW output and CO₂ scrubbing.

In the United Kingdom, the introduction of CCS technology is a priority issue on the agenda. [4] In the British treatment of the issue, special significance is given to the CO₂ storage potential in the North Sea. The capacity makes it possible to serve a coal-fired power plant of 100 GW output for its whole lifecycle. There are plans for the build-out of 15 GW electric capacity in the next decade.

The condition of development financing is state subsidy without which reasonable economic considerations prefer power plants without capture. According to expert opinion, the first specific risks of construction and capture should also be borne by the state. It is expected that these risks can only be eliminated in the long run. In all probability, it will be indispensable to compensate both first users and initial stakeholders.

Development of coal-fired power plant technologies in the direction of a decrease in CO₂ emission (capture and storage)

If you have only a brief overview of coal-fired (coal, brown coal, lignite) power plant technologies in the last 50 years (from 1950) and the expected developments in the next 15-20 years (up to 2020), you can say that there is almost a 'paved' way to the minimisation of carbon dioxide emission, and the solution of CO₂ capture from flue gases and, related to the latter, its storage. In the last 50 years, an essential feature of developments has been an increase in the capacity of power plant units (furnaces, turbines) as well as in technological parameters (gas pressure and temperature), and, as a result, an improvement in thermal efficiency.

In the period between 1950 and 1970, block capacities of 50, 130 and 300 MW operated with 25-31% thermal efficiency. In the 1970-1990 period, unit capacity was increased to 300-600 MW with thermal efficiency increasing by about 30% to 31-36%. Coal combustion operated with AFBC (Atmospheric Fluidised Bed Combustion) and with PFBC (Pressurised Fluidised Bed Combustion) technologies while power plants fired with brown coal used BoA (Best Optimised Plant). **Present** (1990-2010) technologies yield 1,000 – 1,100 MW block outputs increasing the 31-36% thermal capacities of the previous period by another 30%, yielding a 40-45% capacity.

As a result of general development, power plants having BoA-Plus (flue gas scrubbing) technologies achieve 38-41% efficiency while those with CGCC (Coal Gasification Combined Cycle), IGCC (Integrated Coal Gasification Combined Cycle) and gas and steam plants (GuD) 38-43%. With an improvement in technological parameters (250-270 atm pressure, 500-700° temperature) and flue gas scrubbing, BoA-Plus provides 41-43% efficiency. In this field, any further increase in technological parameters (p, T) is limited by material quality problems. The technologies of **tomorrow** (2010-2020) intend to achieve a 45-50% efficiency even with CO₂ capture although it may cause an actual 8-12% decrease in efficiency. Technologies prognosticated after 2020 represent **the day after tomorrow**, promising 55-60% efficiency with certain technologies (Hybrid-KW 58-63%, SOFC – Solid Oxide Fuel Cell: 50-57%) [9].

Another fundamental development trend aiming at the reduction of adverse environmental impacts is the already widely introduced desulphurising flue gas

scrubbing. The development trend of nowadays and the near future is the minimisation of carbon dioxide emission. A basic, evident solution to the reduction of specific carbon dioxide release (t_{CO_2}/MWh , g_{CO_2}/kWh) is the increase in thermal efficiency and it may remain so in the future, as well. An increase in efficiency results in a proportionate reduction in specific CO_2 release or emission. With 150 MW blocks, CO_2 release is $1.3 t_{CO_2}/MWh$ while with 600 MW units, this parameter is $1.15-1.20 t_{CO_2}/MWh$. With BoA-Plus technology, specific CO_2 is only $0.8-0.9 t_{CO_2}/MWh$ while with BoA-Plus + $700^\circ C$, IGCC or CGCC technologies, even a $0.7-0.8 t_{CO_2}/MWh$ release may be achieved. With the technologies of the near (2010-2020) or more remote (after 2020) future, an essential objective is the implementation of CO_2 capture (minimisation of emission) or zero emission (ZEC – Zero Emission Coal, ZECA – Zero Emission Coal Alliance) with the ‘eternal’ sealing and storage of CO_2 . [10]

These latter technologies of the future (Oxyfuel, Hybrid-kW, SOFC) take into account a decreasing, 600-700 g/kWh specific CO_2 release even without capture.

Naturally, the ‘perfect’ nature of the latter technologies as well as the costs and ‘eternal’ (long-term) reliability of capture, transportation to storage place and disposal (sequestration) remain open questions.

Natural (geographic, sea) formations theoretically suitable for carbon dioxide storage and estimated storage capacities

The different sources consider it theoretically possible to store carbon dioxide in mostly the same natural formations. In this respect, they only deviate from each other in details [11, 12, 13, 14].

As far as land disposal is concerned,

- sequestration into exploited oil and gas fields (driving out of oil and gas, Enhanced Oil Recovery)
 - sequestration into non-exploitable coal beds with high methane content (disposal in exploited coal or salt mines)
 - deep-lying porous (sandstone) rocks, saltwater storing rocks
- Theoretical storage options in seas (deep seas) include
- in solution form at smaller depths (1,500-3,000 m)
 - in the form of a carbon dioxide ‘pool’ at greater depths ($>3,000$ m)

The geological (underground) environment most suitable for CO_2 storage is indicated to be the formations of depleted oil and gas fields, particularly at a depth of over 1,000 m, where carbon dioxide can be kept in a supercritical condition ($31^\circ C$, 7.4 MPa), and above the storage layer, there are impermeable rock beds. Above oil and gas fields, it was this type of cap rock that sealed oil and gas in the storage layer for millions of years. Oil and gas fields which are currently being

exploited or are already exploited are most suitable for the start and first implementation of CO₂ storage.

Porous (sandstone) layers holding saltwater are similarly considered as natural storage places. Such formations (aquifers) seem to have a high CO₂ storage capacity although less is known about their structure or parameters than about hydrocarbon fields. Similar formations are the ones storing natural carbonated waters. Sandstone is typically a kind of rock which may be suitable for geological CO₂ storage if it has proper porosity (>0.15-0.20) and permeability (>50 mD).

CO₂ sequestration into coal beds with high methane content, unexploitable for technological and economic reasons, also depends on special conditions. Methane (CH₄) ‘driving out’ is only possible with proper permeability while the sealing capacity of the cap rock beds may be questioned for tectonic reasons.

Key issues in underground disposal are the choice and assessment of storage place, the verification of the homogeneity of the sealing layers limiting CO₂ seepage, the long-term forecast of fluid flow (CO₂) conditions, and the tracking of sequestration and flow routes with appropriate methods.

In the estimation of **storage capacities**, sources publish relatively divergent data. In the estimation of oceanic (sea) capacities, there are even order differences. Sources underlie that these are only potentials and in general, consideration is restricted to 20 USD/t_{CO₂} storage costs. In the assessment of realistic options, the geographical locations of both the release and disposal points should likewise be taken into account as transportation distance determines both the method and costs of transportation.

The cited sources give the potential forecast values in Table 1 for CO₂ storage capacities.

Table 1 – Prognosticated values of potential CO₂ storage capacities

	Reference	IEA	Parson-Keith	IPCC
Depleted oil and gas storage places	Capacity [10 ⁹ t CO ₂]	920	740-1,850	810
	% of expected emission before 2050	<45		<40
Non-exploitable coal bed rich in CH ₄	Capacity [10 ⁹ t CO ₂]	40	370-1,100	40
	% of expected emission before 2050	<2		<2
Porous sandstone, saltwater aquifer	Capacity [10 ⁹ t CO ₂]	400-10,000	370-3,700	400-10,000
	% of expected emission before 2050	20-500		20-500

Variation in power plant investment costs for different fuel types and technologies with or without CO₂ capture

At the turn of the millennium, fossil fuels accounted for over 84% of the world's energy demands. These fuels contributed considerably to the high living standards enjoyed by the industrialised world through electricity production. On the basis of the analysis of coal and hydrocarbon supplies and the forecast of the changes in energy demands, several experts are of the opinion that until the middle of the 21st century, the rate of fossil fuels will certainly **vary between 50% and 80%**. [15, 16, 17, 18, 19] The use and (planned) role in energy supply of fossil fuels may be motivated (adversely affected) by the subjective and often overrated issues of the greenhouse effect and global climate change (global warming) in public opinion. If one wants to consider these issues realistically, it is indispensable to analyse the technological potentials of the different combustion (utilisation) technologies and the factors of their economic suitability including the analysis of the investment costs, the efficiency, CO₂ release, capture efficiency and cost demands of the production plants – as regards this paper, those of electric power plants.

In the investigation of this field, the comparison of the parameters of the 'use' of the different fuel types, i.e. coal and hydrocarbons, is often of primary importance, as well. First, the investment costs of some basic technologies (without CO₂ capture) will be quoted. Considering the fact that the different sources refer to different periods, in addition to the absolute values of specific costs, the assessment of the rates will probably be more meaningful.

The technological solution (and naturally, the energy demand) of CO₂ capture will significantly increase power plant investment costs. With the application of different fuels (gas, coal) and different combustion technologies, different capture technologies and naturally, different cost enhancing factors have to be taken into consideration.

According to 2004 data, in the case of the gasification combustion of bituminous coal, there are specific investment costs of 1,410 USD/kW without capture and 1,917 USD/kW with capture. The extra cost is 507 USD/kW, 36%. With the gasification combustion of sub-bituminous coal, specific investment costs are 1,502 USD/kW and 2,190 USD/kW respectively, with an increment of 688 USD/kW, 46%. With the combustion of lower heat content lignite, the values are 1,644/2,828 USD/kW with gasification or amine flue gas scrubbing with an increment of 1,184 USD/kW, 72%. With oxyfuel combustion technology, the values are 1,644/3,974 USD/kW with an increment of 2,330 USD/kW, 142%. The latter technology requires more than twice as much for the solution of capture due to the use of oxygen and carbon dioxide 'recycling' [21].

In the analysis of power plant investment costs, parameters were determined for the years 2000 and 2012 (in the latter case, taking into account expected general technological advancement for both technologies) for both the reference plant without capture and technologies involving capture (Table 2).

Compared to coal, the obvious favourable parameters of natural gas are an advantage for specific investment costs, too, although the effect of CO₂ capture enhancing investment costs exceeds the parameters of traditional coal powder combustion. As a result of the ‘generally’ more modern facility technologies prognosticated for 2012, specific investment costs are likely to be lower for every option, to a lower extent (~10%) in the case of natural gas and to a higher extent (10-15%) for coal.

In the case of gas combustion, flue gas CO₂ concentration is only about 3% with a 0.354 kWh/kg_{CO2} while with pulverised coal combustion, concentration is approximately 13% and the specific energy demand of capture is 0.317 kWh/kg_{CO2}. In IGCC plants, carbon dioxide has a relatively high pressure and is in concentrated flow therefore these plants have the lowest specific energy demand for capture with 0.194 kWh/kg_{CO2} (2000). The values of specific energy demand for 2010 are 0.297 – 0.136 – 0.135 kWh/kg_{CO2}, respectively.

With the data in the abovementioned paper [22], where according to 2000 figures, capture represented 37-87% extra investment costs and the forecast estimate for 2012 was 27-70%.

Table 2 – Investment costs related to CO₂ capture

Type of plant		PC		IGCC		NGCC	
Date (year)		2000	2012	2000	2012	2000	2012
Investment costs [USD/kW]	Without capture (reference plant)	1,150	1,095	1,401	1,145	542	525
	With CO ₂ capture	2,090	1,718	1,909	1,459	1,013	894
	Cost enhancing effect of CO ₂ capture	+81	+57	+36	+27	+87	+70
	Additional investment cost per unit of capture capacity [USD/(kg/h)]	529	476	305	275	921	829

Variation of the efficiency of electricity production and heat use for different fuels and technologies

One of the basic parameters in the technological and economic assessment of the individual technologies and in the rate of flue gas release is thermal efficiency. With an approximate assessment, it can be said that any increase in the thermal efficiency of fuel transformation (use) practically proportionately reduces the extent of specific CO₂ release. The energy demand of CO₂ capture reduces

efficiency parameters (gross and net efficiency) so it may be used as one of the assessment parameters of the technological and economic description of capture.

Also dependent on fuel type as well as on combustion and capture solution, the technological solution of CO₂ capture and the energy demand of capture cause a considerable decrease in nominal (gross) power plant capacity/output. According to the figures in paper [21], the parameters attainable with CO₂ capture are the following [21, 23] (Table 3).

Table 3 – Parameters of capacity use and thermal efficiency with CO₂ capture

Fuel and technology	Efficiency of capacity use, net/gross [%]	Thermal (net) efficiency [%]	Reduction in thermal efficiency [%]
Bituminous coal gasification	75	31.6	9.97
Sub-bituminous coal gasification	69	38.4	14.66
Lignite gasification	65	36.8	13.43
Lignite flue gas scrubbing (amine)	69	34.8	11.63
Lignite oxyfuel procedure	59	41.3	16.74

Paper [21] provides data for the use of natural gas and coal as fuels in different technologies, also taking into account the effect (cost) of capture and storage (Table 4).

Table 4 – Thermal efficiency values with CO₂ avoidance

Fuel and technology	Gross thermal efficiency [%] without CO ₂ capture	Net thermal efficiency [%] with CO ₂ capture	Reduction in efficiency due to CO ₂ capture and storage [%]
Natural gas, NGCC	53.6	43.3	19.2
Coal, ultracritical steam technology (UGS)	42.7	31.0	27.4
Coal, CGCC	43.1	37.0	14.2

Paper [24] provides institutional project data for the use of natural gas and coal as fuels in different technologies with regard to the variation of thermal efficiency values (Table 5).

Table 5 – Thermal efficiency values according to different project data

Fuel and technology	Project, institute	Thermal efficiency [%] without CO ₂ capture (gross)	Thermal efficiency [%] with CO ₂ capture (net)	Reduction in efficiency due to capture [%]
Natural gas with amine scrubbing	IEA GHG	54	46	8.4
	EPRI turbine	54	42	12.0
	EPRI H turbine	58	47	11.1
	MHI	53	49	4.3
Natural gas combustion	IEA GHG	54	46	7.7
	IEA GHG	45	33	12.5
Coal with amine scrubbing	EPRI	42	30	12.0
	Alstrom	38	25	15.0
	MHI MEA	42	32	9.7
	MHI KS1	42	34	7.5
Coal with oxygen injection	Alstrom	38	25	13.0
	Chalmers	42	34	8.1
	IEA GHG	46	38	8.0
Coal, IGCC	EPRI	45	39	6.2
	RWE (Essen)	46	40	6.0

From the data presented, it can be concluded that depending on fuel type and the chosen technology, the reducing effect on thermal efficiency of CO₂ capture is generally **10-15%**, in the case of some planned projects, it is **6-12%** while according to the 2007 paper, it is **8%** with more up-to-date lignite combustion. According to paper [12], the combined reducing effect on thermal efficiency of **capture + storage** (transportation included?) may amount to **14-28%**.

Amount of CO₂ released during combustion and the efficiency of CO₂ capture with different technological solutions

The amount of CO₂ released during the combustion of fuels substantially depends on the type (natural gas or coal) and quality (coal, brown coal or lignite) of the fuel and the type, output and state-of-the-art quality and thermal efficiency of the combustion system (power plant). Emission into the atmosphere depends on the flue gas scrubbing technology implemented, itself depending on the CO₂ concentration of the flue gases, and the technological solution and efficiency of CO₂ capture.

In the special literature, actual plant data referring to running power plants can be found in several publications while they give estimated, prognosticated data for the capture technologies in the experimental or design phase.

The data in paper [20] give an opportunity to compare the parameters of different fuels and combustion technologies. Due to ‘material quality’, there is considerably much lower specific CO₂ release with natural gas combustion than with coal combustion. The first figure presented refers to natural gas, the second one to coal.

With traditional steam turbine technology, specific CO₂ release is 510/920 g/kWh with a rate of 180% (+80%) while with a combined steam-gas cycle, it is 370/730 g/kWh with a rate of 197% (+97%). With a gas injection gas turbine, the same value is 440/880 g/kWh with a rate of 200% (+100%) while with a steam injection gas turbine with intermediary cooling, it is 370/730 g/kWh with a rate of 197%. With a state-of-the art fuel cell solution, the expected value is 330-370/620-700 g/kWh for CO₂ release with a prognosticated rate of 188-189%.

Data for the different coal types, and attached to them, for the different combustion-capture technologies can be found in papers [21] and [23]. Probably, the authors of both publications relied on the same base data. (Table 6)

Table 6 – Specific CO₂ release for different fuel types and technologies

Fuel and technology		Bituminous coal, gasification	Sub-bituminous coal, gasification	Lignite, gasification	Lignite, amine scrubbing	Lignite, oxyfuel
CO ₂ release [g/kWh]	[21]	771	852	883	883	883
	[23]	766	851	892	880	885
Capture [g/kWh]	[21]	641	750	701	823	738
	[23]	650	740	710	820	740
Efficiency of capture [%]	[21]	87	92	85.7	95	90
	[23]	85	87	80	93	84
Emission [g/kWh]	[21]	130	102	182	60	145
	[23]	116	111	182	60	145

With the different varieties, there is no significant difference in CO₂ release and capture values. With the values of capture efficiency and emission, flue gas scrubbing seems to be the better solution.

Paper [22] compares the CO₂ release and emission values after capture of PC, IGCC and NGCC technologies. As regards the comparison of the efficiency of capture, the same 90% efficiency can be found in relation to both years in all the three cases. (Table 7)

Table 7 – Carbon dioxide release and emission data for different technologies

Technology, year	PC		IGCC		NGCC	
Release, emission	2000	2012	2000	2012	2000	2012
CO ₂ release [g/kWh]	789	766	752	664	368	337
Emission after capture [g/kWh]	105	90	88	73	42	37

On the basis of the data presented and quoted from different publications, it can be concluded that with the running coal (coal, lignite) combustion technologies or those under design in the present period, CO₂ release is generally **800-900 g/kWh** (0.8-0.9 t/MWh) amount of CO₂. With natural gas (gas) combustion, specific CO₂ release is **300-500 g/kWh, exactly half** of the values for coal combustion. (Naturally, it is another question that with gas combustion, flue gas CO₂ concentration is significantly lower (one third or one fourth) than with coal combustion, which increases the technological and cost parameters of capture/concentration).

The efficiency of CO₂ capture from flue gases is (80) **85-90** (95)% while emission into the atmosphere is **80-190 g/kWh** with coal combustion, 60 g/kWh with flue gas scrubbing and **40-50 g/kWh** with gas combustion (with 90% efficiency).

Costs of capture and avoidance

With regard to the technological parameters of energy production and the related capture, the published data are approximately identical irrespective of the source although there are significant differences in cost elements and the costs of capture. The factors taken into consideration in cost calculation, the effects of inflation on the costs in the different periods as well as the conversion rates for the different currencies may be different. A significant difference in the comparison of costs may also be caused by whether in addition to the costs of capture, the costs of transportation and storage are taken into account in the costs of ‘avoidance’ or not.

The differences in the data from the different sources are characterised by the presentation of the cost factors in papers [21] and [23] for the same fuel and technology in Table 8.

From the comparison of the cost data of the ‘same’ type from the two sources, it can be concluded that while paper [21] ‘only’ takes capture costs into account, in paper [23], specific electricity costs (USD c/kWh) also include the costs of avoidance (capture + storage). The cost in USD/t_{CO2} can be regarded in a similar way. In the first case, the cost of capture gives the cost of avoidance while in the second case, the cost of avoidance is the sum of capture (transportation?) + storage costs.

Table 8 – Specific costs of CO₂ capture and avoidance

Fuel Technology		Bituminous coal, gasification	Sub-bituminous coal, gasification	Lignite, gasification	Lignite, amine scrubbing	Lignite, oxyfuel
[21]	Electricity costs without capture [USD c/kWh]	4.87	3.73	4.45	4.45	4.45
	Cost of CO ₂ capture [USD c/kWh]	1.97	2.48	3.94	2.98	5.29
	Electricity costs with CO ₂ capture [USD c/kWh]	6.84	6.21	8.39	7.43	9.74
	Cost enhancing effect of capture [%]	40	66	91	67	119
	Cost of CO ₂ capture [USD c/kWh]	31	33	56	36	72
[23]	Cost of CO ₂ capture (avoidance) in electricity costs [USD c/kWh]	3.1	3.8	6.2	4.7	8.3
	Total production cost of electricity [USD c/kWh]	10.7	9.7	13.1	11.6	15.2
	Rate of CO ₂ capture costs within total production cost [%]	29	39	47	41	55
	Cost of CO ₂ capture (avoidance) [USD/t _{CO2}]	47	52	88	57	112

From the data presented above, conclusions can be drawn concerning the effects of fuels, technologies and technological development.

With the use of gas as fuel, lower electricity production costs can be achieved than with coal with both traditional technologies (without capture) and with technologies involving capture in spite of the 2.3 times higher specific fuel costs. The 2.3 rate of ‘material costs’ decreases to a rate of 1.3 in the case of ‘electricity costs’. As has been mentioned, the decreasing rate of the ‘favourable character’ of gas is due to the fact that with gas combustion, the CO₂ concentration of flue gas amounts to one third or one fourth of the 8-13 % CO₂ concentration with coal combustion, as a result of which with the former, the specific cost of CO₂ capture is 40-50 USD/t_{CO2} in contrast to the capture cost of 20-30 USD/t_{CO2} with coal combustion (ICCC) of the CO₂ present at high pressure in a concentrated flow.

On the basis of the assessment of the data highlighted above, related to CO₂ capture or avoidance (capture, transportation to storage place, storage), which are

mostly factual data identical with those quoted from other sources, it can be concluded that with the application of the present power plant technologies or those that can be foreseen for decades, the specific cost of CO₂ **capture** is between 30-80 USD/t_{CO2} while the costs of **avoidance** (capture + storage) amount to 50-100 (120) USD/t_{CO2}. The capture of CO₂ from flue gases increases the production cost of electricity by **40-80** (100-120% in the case of oxyfuel procedure).

In his paper [7] concerned with the general investigation of the subject, Preston Chiaro states in agreement with the opinion of several other authors that for economic reasons, the application of CCS technologies may only be a suitable solution above a 25-30 USD/t_{CO2} ‘price’.

Several authors investigate the issue of the costs of CCS technology implementation. According to Mark Trexler’s data [8], for example, the specific costs of CO₂ **capture** (avoidance?) are the following:

With PC (pulverised coal combustion)	30-70 USD/tCO2
With IGCC	15-55 USD/tCO2
With NGCC	40-90 USD/tCO2

With respect to transportation + storage costs, paper [1] gives 14 USD/t_{CO2}, which considerably exceeds the (1-8) + (0.5-8) = 1.5-16 USD/t_{CO2} specific costs in paper [7], referred to above.

During our research, we have made calculations for the Hungarian conditions, which show that the cost of CO₂ avoidance **in itself exceeds** the production cost of electricity generated in nuclear power plants.

Summary and conclusions

According to the forecasts about the fulfilment of energy demands in the future, fossil fuels, i.e. hydrocarbons and coal, will continue to play a decisive role in the long run, even within 30-50 years. In view of this fact, it is useful to analyse the technological development options of power stations and to consider the expectable variation of technological and economic parameters. The assessment of expected environmental impacts, and particularly, the determination of the extent of carbon dioxide release together with the prognostication of the technological and economic parameters of capture technologies, the description of their efficiency as well as the assessment of the chance of CO₂ release minimisation and its cost effects are current tasks.

1. With the exception of RWE, the R&D organisations and production enterprises involved substantially intend and expect to finance the research, development and the establishment of pilot plants in relation to the release, capture from flue gases and especially the storage (underground or under the sea) of CO₂ **from central, state sources.**

2. The technological development in the last 50 years of power plants using fossil fuels (oil, natural gas, coal or lignite) has been moving in the direction of modernisation and the increasing of unit output. In the last decade, the capture of flue gas components having adverse environmental impacts (CO₂, SO₂) as well as the minimisation of their impacts have been in the forefront of developments. As a result of power plant technological development, thermal efficiency has increased from 30-32% to 42-50(55)%, which has ‘directly and proportionately’ resulted in a decrease in specific carbon dioxide release (g/kWh).

3. The potential underground (geological) storage possibilities of CO₂ captured from flue gases primarily include exploited oil and gas fields and deep-lying porous sandstone (saltwater aquifer) formations – (given suitable permeability) while debated options are the utilisation for this purpose of non-exploitable coal beds with high methane content and the practical implementation of sea (under sea) storage.

4. The technological implementation of capture from flue gases **considerably enhances power plant system investment costs.** According to sources, with the currently running systems, the extra investment cost of capture is 40-90 % while with the new developments, this amounts to 30-70 %.

5. Depending on the fuel type used and the capture technology implemented, the implementation of CO₂ capture generally **reduces system thermal efficiency by 10-15 %.** With some project designs, a 6-12 % efficiency reduction is taken into account, or 8 % with state-of-the-art coal-lignite combustion according to a more recent publication.

6. The combined efficiency reducing effect of **capture and storage** (transportation, sequestration) **may be between 14-28 %.**

7. A wide range of the publications consulted take into account **800-900 g/kWh** (0.8-0.9 t/MWh) CO₂ release with coal (coal, lignite) combustion) and **300-500 g/kWh** CO₂ release with gas combustion.

The efficiency of CO₂ capture from flue gases is (80) 85-90 (95) % while emission into the atmosphere is **80-180 g/kWh** with coal combustion, **60 g/kWh**

with flue gas scrubbing and 40-50 g/kWh with 90% efficiency in the case of gas combustion.

8. The enhancing effect of capture (avoidance) on specific electricity costs may also considerably depend on the fuel types and the capture technologies implemented.

According to paper [21], the cost enhancing effect of capture on production costs is 40-90 % (120 in the case of oxyfuel) while according to source [23], the cost enhancing effect of capture (avoidance?) is 50-90 (110) %.

On the basis of cost model calculations, paper [22] indicates a 50-80 % increase in production costs with coal powder combustion, 25-35 % with IGCC technology and 40-50 % with NGCC as a consequence of CO₂ capture.

As in flue gases, CO₂ concentration with gas combustion is ‘only’ one third or one fourth of the 8-12% found with coal combustion, the costs of CO₂ capture (USD/t_{CO2}) considerably exceed the costs with coal combustion while capture from flue gases increases electricity production costs by 40-80 % (100-120 % with oxyfuel procedure).

9. On the basis of the specific capture costs (USD/t_{CO2}, USDc/kWh) quoted from special literature and the technological cost data of CO₂ sequestration in Hungary, approximate values have been determined for CO₂ ‘avoidance’, attached to the different receiving geological formations. In an average case, 9(10) – 14(16) HUF/kWh cost may be estimated for coal (lignite) combustion, which is practically identical with the production cost of the current technology (without CO₂ capture), which means that the costs of avoidance would enhance present production costs by around 80-100 %, higher in itself than the total production cost of electricity generated in nuclear power plants.

References: 1. Dr. Hans-Wilhelm Schiffer, RWE Power AG, The Financial Aspect of Implementing an IGCC Project in Germany. London, 2007. május 31. 2. Helen Groenberg (ECN, Environmental Change Network, Hollandia). Expert Workshop on Financing Carbon Capture and Storage: Barriers and Solutions. July 2007. 9. old. 3. Michel Myhre-Nielsen (Statoil New Energy): A Norwegian Perspective on Ongoing CCS Projects. London, 2007. május 31. 4. Brian Count (Progressive Energy in the United Kingdom). Expert Workshop on Financing Carbon Capture and Storage: Barriers and Solutions. July 2007. 20. old. 5. Dr. Peter Cook (CO₂ Cooperative Research Centre for Greenhouse Gas Technologies), Demonstrating CCS in Australia – The Otway Project, London, 2007. május 31. 6. Malcolm Wilson (Centre for Studies in Energy and Environment at the University of Regina in Canada): Results of Recent Innovation Forum on the Clean Carbon Economy Concerning CCS. Expert Workshop on Financing Carbon Capture and Storage: Barriers and Solutions. July 2007. 11. old. 7. Preston Chiaro (World Coal Institute and Rio Tinto): Carbon Capture and Storage Projects and Financing. London,

2007. május 31. **8.** Mark Trexler (Ecosecurities Global Consulting Services) Expert Workshop on Financing Carbon Capture and Storage: Barriers and Solutions. July 2007. 14. old. **9.** Continuous Modernisation and Increased Efficiency Pave the Way to CCS. Source DEBRIV. **10.** Effizienzsteigerung und CO₂ Abtrennung. RWE. **11.** International Energy Agency (IEA): CO₂ Abtrennung und Speicherung in Deutschland, IEA Greenhouse Gas Programme). **12.** R. Duckat, M. Treber, C. Bals, G. Kier: CO₂ – Abscheidung und Lagerung als Beitrag zum Klimaschutz? Ergebnisse des „IPCC Workshop on Carbon Dioxide Capture and Storage“ von November 2002 und Bewertung durch Germanwatch. **13.** World Coal Institute (IEA Greenhouse Gas R+D Programme 2007, July 2007): Storing CO₂ Underground. **14.** Parson – Keith (Science 282/1988. 1053-1054). **15.** Vajda György: Energiapolitika. Magyarország az ezredfordulón. Stratégiai kutatások a Magyar Tudományos Akadémián. Budapest, 2001. Magyar Tudományos Akadémia. **16.** Vajda, Gy.: “Energiellátás ma és holnap. Magyarország az ezredfordulón”, Stratégiai kutatások a Magyar Tudományos Akadémián, Budapest (2004). **17.** Büki, G.: “A jövő és az energia”, Mérnök Újság, XIII(11), 12 (2006). **18.** Pápay, J.: Kőolaj- és földgáztermelés a XXI. században, Bányászati és Kohászati Lapok Kőolaj és Földgáz, 139 (2006) évf. 3. szám, 1-12. old. **19.** Kumar, S.: “Global Coal Vision – 2030”, Mining in the 21st Century – Quo Vadis? Proceedings pp. 137-148, 19th World Mining Congress, New Delhi (2003). **20.** Fulkerson, W.- Judkins, R. R. – Sanghvi, M. K.: Fosszilis energiahordozók. Tudomány (Scientific American magyar kiadása). 1990 november. 83-89. old. **21.** Morrison, G. F.: Summary of Canadian Clean Power Coalition Work on CO₂ Capture and Storage. (IEA Clean Coal Centre) August 2004. **22.** David, J., Herzog, H.: The Cost of Carbon Capture. Massachusetts Institute of Technology (MIT), Cambridge, MA, USA, [http://sequestration.mit.edu/pdf.David and Herzog.pdf](http://sequestration.mit.edu/pdf.David%20and%20Herzog.pdf). **23.** Canadian Clean Power Coalition: CCPC Phase Executive Summary (Summary Report on the Phase I Feasibility Study Conducted by the Canadian Clean Power Coalition) May 2004. **24.** Thambimuthu, K. (CAN MET Energy Technology Centre Natural Resources Canada): CO₂ Capture and Reuse. (www.iegreen.org.uk).

List of abbreviations used in the paper

<i>Abbreviation</i>	<i>English</i>
BoA or BOA	Best Optimised Plant
GuD	Gas and Dampf Process
MEA	Mono-ethanol amine
CCS	Carbon (dioxide) Capture and Storage
CLC	Chemical Looping Combustion
NGCC	Natural Gas Fired Combustion/Combined Cycle
PC	Pulverised Coal Fired Simple Cycles
CGCC	Coal Gasification Combined Cycle
AFBC	Atmospheric Fluidised Bed Combustion
PFBC	Pressurised Fluidised Bed Combustion
SOFC	Solid Oxide Fuel Cell
ZEC	Zero Omission Coal
ZECA	Zero Omission Coal Alliance

Г. К. Крыжний, канд. техн. наук, Харьков, Украина

КАЧЕСТВО И ДВА ЦИКЛА ЖИЗНИ ПРОДУКЦИИ

В статті аналізуються проблеми забезпечення якості продукції на різних етапах життєвого циклу продукції. Пропонується розглядати два цикли життя – цикл життя товарної продукції та цикл життя виробу. Для циклу життя продукції характерно прийняття стратегічних рішень, в тім числі і розробка політики підприємства в сфері якості, а для циклу життя виробу – виконавча дисципліни та дотримання вимог технологічної документації.

В статье анализируются проблемы обеспечения качества продукции на разных этапах жизненного цикла продукции. Предлагается рассматривать два цикла жизни – цикл жизни товарной продукции и цикл жизни изделия. Для цикла жизни продукции характерно принятие стратегических решений, в том числе и разработка политики предприятия в сфере качества, а для цикла жизни изделия – исполнительская дисциплина и соблюдение требований технологической документации.

In the article the problems of providing of quality of products at different stages of their life cycle are analyzed. It is suggested to examine two life cycles – life cycle of commodity products and life cycle of manufactured articles. Strategic decisions, including development of entrepreneurial policy concerning products' quality are characteristic of a life cycle of products. Executive discipline and observance of requirements of technological documents are typical of a life cycle of manufactured articles.

Известно, что есть два направления развития качества продукции: генеральный и отдельный. Если взять, например, автомобильную промышленность, то качество автомобилей в целом повышается, а отдельно взятого конкретного автомобиля – понижается. Качество продукции изменяется во времени, а, следовательно, является функцией времени. Но в этом случае правомерно сказать, что качество является и функцией этапов жизненного цикла продукции. В то же время возникает вопрос, – а о каком цикле жизни идет речь? Какие этапы он включает? Какое влияние они оказывают на качество продукции?

Традиционно в системе постановки продукции на производство в жизненный цикл изделия включают весь период его существования – от зарождения идеи до утилизации. В жизненном цикле изделия выделяют также его стадии: исследование и проектирование, изготовление, обращение и реализация, эксплуатация или потребление. Затем производится еще более детальное деление на этапы. Но если посмотреть внимательно на эти этапы, то возникает впечатление, что на этих этапах речь идет о разных объектах, не вписывающихся в единый жизненный цикл. Например, моральное и физическое старение, могут ли они относиться к одному циклу жизни?

Физическое старение приводит к утилизации. Утилизация – это конец жизненного цикла? Несомненно. Моральное старение ведет к прекращению производства. Прекращение производства – это конец жизненного цикла? Конечно! Но прекращение производства является краткосрочным действием, а утилизация растягивается на длительный срок – раньше утилизируется продукция, выпущенная ранее, а годы спустя после прекращения выпуска – последние образцы продукции. Вполне возможно, что утилизация будет иметь место и до снятия продукции с производства и, естественно, после прекращения производства.

По моему мнению, смешаны два цикла жизни: цикл жизни товарной продукции и цикл жизни конкретного изделия.

Цикл жизни продукции предприятия может рассматриваться в двух аспектах (рис. 1).

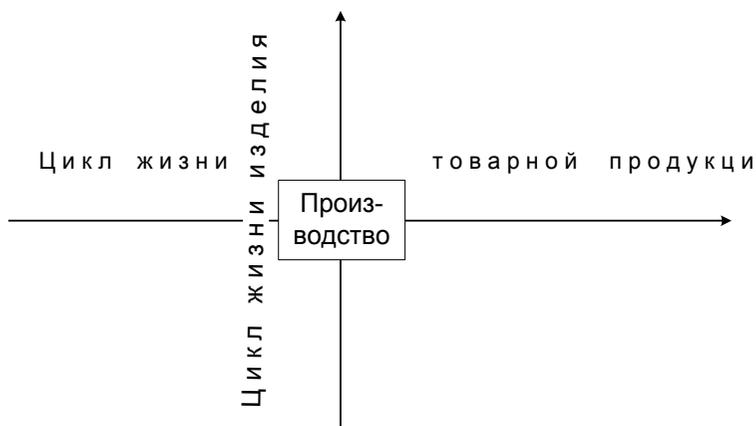


Рисунок 1 – Два цикла жизни продукта

С одной стороны, это цикл жизни товарной продукции, то есть период времени от появления новой идеи и воплощения в новом продукте до морального старения этого продукта и снятия его с производства. В этот цикл жизни входит изучение рынка, разработка изделия, подготовка производства, организация производства, коммерциализация продукта. В нем нет движения материальных ресурсов, но, образно говоря, для него выстлается дорога. Для него характерны стратегические решения, политика: маркетинговая, продуктовая, научно-техническая, организационная, сбытовая. В нем большую долю составляет интеллектуальный труд, здесь преобладают "белые воротнички".

С другой стороны, это цикл жизни конкретного изделия, изготовленного на предприятии – автомобиля, теплового, самолета и т.д., имеющего определенный заводской номер. В этом цикле жизни имеет место движение материальных ресурсов, которые по мере перемещения по производственным подразделениям предприятия претерпевают трансформацию и превращаются из сырья в готовое изделие, которое затем продается, транспортируется, эксплуатируется, физически изнашивается и отправляется в утиль. Здесь преобладает физический труд рабочих или машин, затрачивается большое количество энергии. Это сфера деятельности "синих воротничков".

Более подробно указанные два цикла жизни представлены на рис. 2.

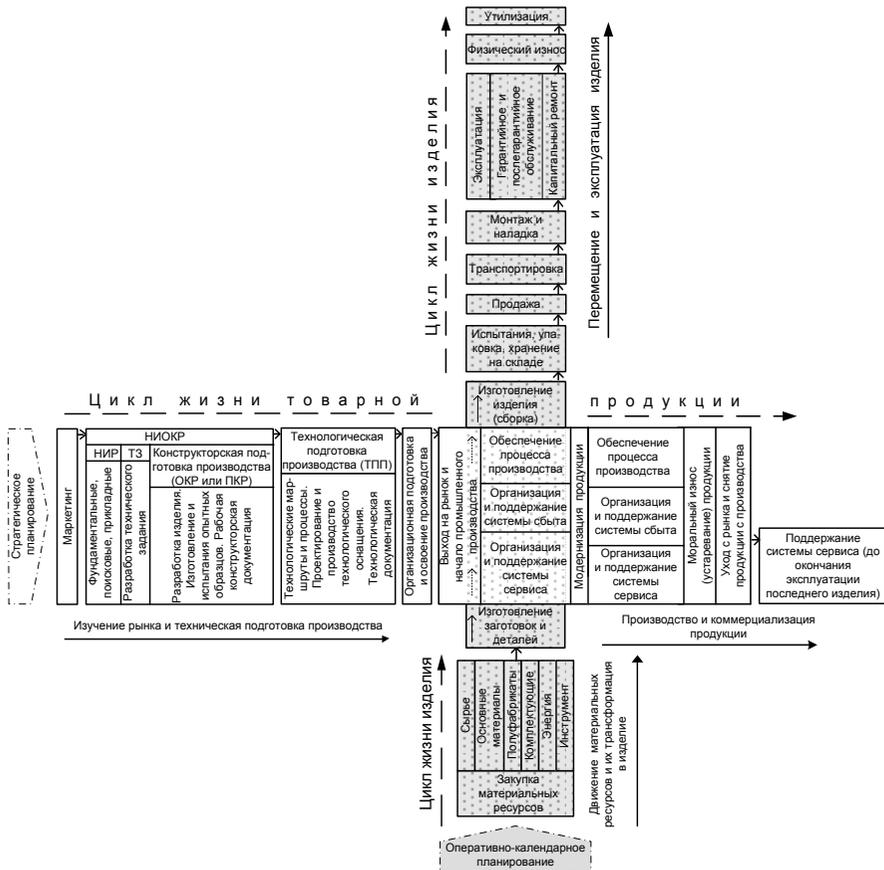


Рисунок 2. – Детализированные циклы жизни продукции

Пересечение двух циклов жизни происходит на этапах "производство". При этом в цикле жизни изделия рассматривается собственно производство,

связанное с трансформацией материальных ресурсов, а в цикле жизни товарной продукции – организация производства. Таким образом, и на этом общем этапе разделены функции деятельности нацеленной на изготовление конкретного изделия и деятельности направленной на обеспечение производства продукции в целом.

Бегло рассмотрим этапы жизненного цикла товарного продукта и их влияние на качество этого продукта.

Цикл жизни каждого товарного продукта начинается с продуктовой инновации. Товарная политика предприятия разрабатывается в соответствии со стратегическими планами развития предприятия, в частности, стратегиями конкуренции. В стратегии конкуренции закладывается и отношение предприятия к качеству своей продукции.

Прежде чем начать выпуск товара предприятие должно ответить себе на вопрос – для кого он предназначен и каковы требования к нему выдвигаются потенциальным покупателем? Продукция должна быть конкурентоспособной, а потому она должна отвечать требованиям. Служба маркетинга, проведя анализ рынка, выбирает сегмент этого рынка и составляет для него концепцию изделия. Закладываемые в нее показатели качества должны соответствовать потребностям выбранной совокупности потребителей. Занижение и завышение качественных показателей уводит на другой сегмент рынка. Каждому сегменту рынка соответствует свой уровень характеристик изделия и свой уровень качества.

Вслед за этим производятся НИР – это работы научного характера, связанные с научным поиском, проведением исследований, экспериментов в целях расширения имеющихся и получения новых знаний. Эти знания потребуются для разработки новой продуктовой или процессной технологии, для возможности повышения характеристик нового изделия, в том числе и повышения его качества до уровня, выбранного на предыдущем этапе. Без проведения НИР нельзя стать лидером, в том числе и в области качества.

На основе концепции новой продукции, разработанной маркетологами, результатов НИР, возможностей производства разрабатывается техническое задание. Техническое задание – это основной документ для разработки продукции. Здесь концепция товара приобретает конкретные характеристики, потребительские свойства, эффективность применения. Разработка технического задания рассматривается как заключительная стадия формирования концепции изделия и как первый этап процесса проектирования. В нем закладываются и будущие производственные затраты, и качественные характеристики продукции. Все последующие этапы должны обеспечить достижение этих показателей качества.

Правильно сформулированное техническое задание позволяет быстро и качественно выполнить проектно-конструкторские работы и создать современную и эффективную конструкцию. Проведение опытно-

конструкторских работ называют также конструкторской подготовкой производства. На этом этапе разработка принимает совершенно конкретные формы – не только разрабатываются чертежи, но и испытываются опытные образцы. Конструкция должна быть доведена до уровня, соответствующего техническому заданию, в том числе и в области качества. При этом задается и уровень качества каждой детали, при достижении которого на производстве будет достигнут уровень качества изделия в целом.

Следующий этап – технологическая подготовка производства – совокупность мероприятий, обеспечивающих технологическую готовность производства. Ее основными задачами являются создание предпосылок для обеспечения высокого качества изделия, повышения производительности труда, эффективного использования технологического оборудования, оснащения, производственных площадей и различного вида ресурсов. Технологи не находятся в цепи команд, не имеют права распорядительства на производстве. Но они готовят технологическую документацию, в которой подробно (в зависимости от типа производства) указывается, как обрабатывать поверхности деталей, какой инструмент и на каком оборудовании применить, как это оборудование разместить в цеху и т.д. Производственный персонал должен неукоснительно следовать предписаниям этой документации. Только при соблюдении технологической документации достигается заданное качество продукции и при минимально возможной себестоимости. Следовательно, на этом этапе определяется, каким оптимальным образом можно превратить виртуальное изделие в виде конструкторской документации в реальное изделие с заданными характеристиками качества.

Параллельно-последовательно с технологической подготовкой проводится организационная подготовка производства. Определяются методы и процессы перехода на выпуск новой продукции, рассчитываются потребности в материалах и комплектующих изделиях, разрабатываются системы оперативно-производственного планирования процесса производства, выбираются формы и методы оплаты труда. Этот этап плавно переходит в освоение производства – начальный период промышленного производства новой продукции, в течение которого происходит отработка технологических процессов, организации и планирования производства продукции, достигаются запланированные проектные технико-экономические показатели, и достигается заданный уровень качества продукции. Здесь качество продукции из нематериальной субстанции переходит в материальную, осязаемую реальность.

Вслед за этим наступает длительный этап, который продолжается вплоть до снятия продукции с производства после её устаревания – организация текущей производственной деятельности. Здесь можно выделить следующие направления: организация текущего функционирования производственной

системы, организация деятельности производственной инфраструктуры предприятия и развитие технико-технологической базы производства. В том, что касается качества продукции, то на этом этапе основная задача состоит в поддержании потенциала производства на уровне, достаточном для поддержания необходимого качества продукции, и в его готовности обеспечить выпуск более качественной модернизированной продукции.

Известно, что предприятие выступает на рынке то как покупатель при закупках материалов и других ресурсов, то как продавец при реализации своей продукции. Поэтому ему необходимо организовать процесс снабжения и сформировать систему распределения продукции. Поиск и выбор поставщиков начинается с самого начала разработки изделия. Создание системы распределения тоже начинается задолго до начала промышленного производства продукции. С началом разработки нового изделия начинается его продвижение на рынок. От выбора партнеров зависит качество поставляемого сырья, полуфабрикатов и комплектующих изделий, которые самым непосредственным образом сказываются на качестве готовой продукции.

От состава системы распределения зависит сохранность качества продукции и качество сопроводительных услуг. Вещественные продукты, в особенности сложные технические товары, всегда продаются в комбинации с услугами, качество которых является составной частью качества продукции. Для оказания услуг организуется система сервисного обслуживания.

При длительном периоде производства изделия предприятие может провести модернизацию и модификацию изделия. Как правило, это сопровождается повышением качества продукции, что вызвано появлением острой конкуренции и повышением технических возможностей производства.

Со временем продукция морально устаревает. Если это промышленное оборудование, то оно не отвечает современным требованиям по производительности, по качеству производимой продукции и т.д.; если это транспортные средства, то они могут не отвечать скоростным требованиям, комфорту, дизайну и т.д.; если это продукция легкой промышленности, то она, скорее всего, выйдет из моды. Это все показатели уровня качества. В этом случае предприятие уходит с рынка с данной продукцией и снимает её с производства.

Со снятием продукции с производства её сервисное обслуживание не заканчивается. Оно продолжается до окончания эксплуатации последнего изделия. Покупатель, купивший последнее изготовленное изделие, должен иметь возможность воспользоваться в полной мере сервисным обслуживанием, предусмотренным для этих изделий. Это тоже свидетельство высокого качества продукции в её комплексном понимании: материальная составляющая плюс услуги.

Таким образом, цикл жизни товарного продукта состоит из ряда этапов, которые можно разделить на два периода. Это период создания и освоения новой продукции, который определяется как инновационная деятельность. Второй период представляет собой жизненный цикл промышленного производства продукции и ее реализации. С экономической точки зрения необходимо стремиться сократить продолжительность первого периода и увеличить продолжительность второго периода. В целом, цикл жизни товарного продукта практически представляет собой цикл жизни инвестиционного проекта.

На протяжении этого цикла жизни качество продукции возрастает, а уровень качества, как величина относительная, неуклонно снижается, с замедлением этого снижения на стадии модернизации продукции. Для радикального повышения уровня качества необходимо переходить на новое поколение продукции.

Теперь рассмотрим цикл жизни изделия. На рис. 2 можно заметить, что первая половина цикла связана с предприятием изготовителем, а вторая половина – с нахождением изделия у пользователя. В соответствии с этим этапы жизненного цикла продукта можно сгруппировать в два периода:

- движение материальных ресурсов и их трансформация в готовое изделие, то есть изготовление на предприятии и хранение до передачи в собственность покупателю (период изготовления);

- подготовка к эксплуатации и эксплуатация изделия, то есть часть цикла жизни изделия за пределами предприятия у пользователя (период эксплуатации).

В последнее время производство все чаще рассматривают как поток материальных ресурсов, которые, протекая через цеха, производственные участки и рабочие места претерпевают трансформацию и превращаются в готовую продукцию. Статистика показывает, что материальные ресурсы при движении через цеха находятся в непосредственной обработке всего 3% времени пребывания в этих цехах. Повышение указанного процента повысило бы эффективность использования оборотных средств.

«Полноводность» потока материалов, то есть объем производства, зависит от количества поступивших заказов на продукцию. Объем заказов зависит от соответствия изделия потребностям рынка, в том числе его соответствия требованиям к качеству, а также от эффективности работы системы сбыта.

Задачей объемно-календарного планирования является обеспечение быстреего движения ресурсов через производственные участки, адаптация производства к изменениям внешней среды, выполнение поступивших заказов в срок, качественно и с приемлемыми затратами.

Функция закупки обеспечивает нужды производства. Отдел закупок выступает как посредник между всеми подразделениями-пользователями и поставщиками.

Основные направления деятельности отдела закупок – это определение возможных источников поставок, переговоры о ценах, заключение контрактов на поставку, обеспечение необходимых поставок в соответствии с графиком производства, ускорение прохождения заказов, своевременный возврат бракованных или несоответствующих изделий.

Основные закупаемые ресурсы: основные материалы, составляющие материальную основу изделия; комплектующие; вспомогательные материалы; энергия; инструмент.

Перечень закупаемых ресурсов определяется конструкцией изделия и технологией его изготовления. Качество закупаемых ресурсов в значительной степени предопределяет качество всего изделия.

Основные материалы подвергаются ряду трансформаций, прежде чем из них получится готовый продукт.

Если говорить о машиностроении, то вначале имеет место трансформация основных материалов в заготовки – прокат, поковки, отливки, заготовки, спеченные из порошка. Затем заготовки подвергаются обработке, при которой изменяется их форма, точность размеров и чистота поверхности и в результате которой они превращаются в детали. К методам такой трансформации относятся процессы механической, электрофизической и электрохимической обработок. При трансформации металлов кроме геометрических изменений производится также изменение их свойств – термическая и химикотермическая обработка. Завершается процесс изготовления изделия его сборкой. Каждый из методов трансформации может обеспечить определенный уровень качества полуфабриката, детали, механизма или изделия в целом. В процессе технологической подготовки при разработке технологических процессов и исходят из возможностей методов обработки. А теперь уже производственники должны обеспечить заданный в документации уровень качества продукции. На каждом этапе трансформации формируется качество продукции. В соответствии с системным подходом качество продукции на выходе равно самому низкому уровню качества из всех этапов трансформации.

Для успешного функционирования производства должна существовать его эффективная организация.

На протяжении всего процесса изготовления изделия производится контроль качества производственных процессов и продукции на всех стадиях её изготовления. Для этого на предприятии создается система обеспечения качества продукции.

Для работы производства без сбоев имеется также система оперативного управления. Она должна обеспечивать производство продукции в

соответствии с календарным планом. Эта система называется диспетчированием производства.

Произведенная продукция подвергается испытаниям. Испытания – это проверка качества изделия в целом. В зависимости от вида продукции она проходит определенную проверку соответствия техническим требованиям. В одних случаях это может быть визуальный осмотр, в других – холостая прокрутка механизма, в третьих – длительная работа на стенде на всех допустимых режимах, в четвертых – испытания транспортного средства в движении, в пятых – длительные ходовые или летные испытания таких сложных систем как корабль и самолет. Испытания проводятся по соответствующей технологии.

Изделия признанные годными, то есть качественными, должны быть подготовлены к передаче покупателю – упакованными или законсервированными, приведенными в транспортабельное состояние. Товар, приведенный в соответствие с установленными нормативами и стандартами как по своим характеристикам, так и по упаковке, называется кондиционным.

На этих этапах изделие шаг за шагом рождается, возникая из набора основных материалов в соответствии с разработанной в цикле жизни продукции технологией. Каждая производственная операция привносит в изделие свою толику того, что называется потребительской ценностью. В том, что касается качества, задача состоит в точном следовании технологии, что обеспечивает соответствие изготовленного изделия конструкторской документации. Таким образом, если в цикле жизни продукции разрабатывается политика в области качества и разрабатываются пути достижения заданного качества, то в цикле жизни изделия, в период, задача сужается до исполнительской дисциплины.

Передача права собственности

на продукцию от производителя к потребителю происходит при продаже. Продажами занимается отдел сбыта (отдел продаж). При заключении контракта о продаже товара всегда оговаривается место передачи права собственности на товар.

Предприятие-производитель, в соответствии с контрактом, может передать право собственности на продукцию в своей экспедиции, но может быть обязано сделать это при погрузке товара в вагон, на борт судна или при доставке заказчику. В этом случае предприятие занимается и транспортировкой своей продукции. Логистические операции предприятие может выполнять своим транспортом, но в общем случае этим занимаются специализированные организации. Во время транспортирования товар подвергается значительному риску потери качества.

После прибытия товара к потребителю начинается период эксплуатации изделия.

В период эксплуатации изделие используется по назначению. Ради этого этапа собственно и выполнялись все предыдущие этапы, ради использования изделия оно и производилось. В процессе эксплуатации изделие изнашивается и теряет качественные характеристики. Эксплуатация изделия включает в себя кроме использования по назначению также хранение, ожидание использования, транспортирование, что тоже сопровождается снижением качества изделия.

Для поддержания показателей качества изделий или замедления их снижения производится техническое обслуживание, технологическое обслуживание и текущий ремонт. Отдельные виды ремонта не входят в состав эксплуатации.

В гарантийный период сервисное обслуживание машин и оборудования включает в себя планово-предупредительные осмотры и ремонты. То есть, в этот период работники службы сервиса регулярно, без специального вызова посещают покупателя, осматривают проданную технику, контролируют правильность ее эксплуатации и повседневного ухода. При этом проводят все положенные регламентные работы, включая регулировку узлов, замену масла и изношенных деталей.

Цель сервисного обслуживания, проводимого в послегарантийный период, – поддерживать проданные машины и оборудование в технически исправном состоянии в течение всего амортизационного срока эксплуатации за плату на основе контракта. В этот период фирма-продавец ведет планово-предупредительные ремонты и капитальный ремонт, снабжает запасными частями, при желании покупателя проводится модернизация изделия и дополнительное обучение персонала.

Ремонт основных фондов предназначен для частичного восстановления объектов основных фондов, поддержания их рабочих характеристик. Различают планово-предупредительный, текущий, средний, капитальный ремонт основных средств.

Каждый ремонт позволяет только частично уменьшить износ изделия и восстановить его характеристики. Даже после капитального ремонта изделие не достигает первоначальных характеристик качества, а срок сохранения восстановленных показателей постоянно сокращается. То есть, износ постепенно накапливается и наступает момент, когда экономически целесообразнее не производить следующий капитальный ремонт изделия, а заменить его новым.

Наступает последний этап жизненного цикла изделия – утилизация, то есть, употребление с пользой отходов, в которые превратилось изделие.

Таким образом, цикл жизни изделия состоит из двух сильно отличающихся периодов.

Первый период цикла жизни изделия, то есть, его изготовления, важен тем, что в нем создается потребительская ценность изделия, создается его уровень качества. Место его протекания – предприятие-изготовитель.

Во втором периоде изделия распределяются по потребителям. Теперь уже эти изделия выполняют определенные функции в процессе эксплуатации. Чем выше потребительская ценность изделия, тем эффективнее может быть его эксплуатация. Качественные характеристики изделия, заложенные еще в период его разработки, играют большую роль в процессе эксплуатации, но ответственность за них несет не только предприятие-изготовитель, но и потребители, поскольку, исходя из их требований, определялся потребный уровень качества изделий.

Соотношение длительностей этих периодов тоже может быть очень разным. Например, изготовление ракеты-носителя космического корабля может длиться несколько месяцев, а в непосредственной эксплуатации ракета служит несколько минут. В то же время ювелирные украшения могут иметь меньший срок изготовления, а уж срок их эксплуатации измеряется десятками, сотнями и тысячами лет. Несмотря на значительные различия, эти периоды составляют единое целое – цикл жизни изделия.

Обобщая все вышесказанное, можно отметить, что в цикле жизни продукции решаются стратегические вопросы товарной политики, технической политики, маркетинговой политики распределения, включая и сервисную поддержку продукции, и политику в области качества. В цикле жизни изделия преобладают задачи исполнительского плана по претворению в жизнь разработок, выполненных на этапах цикла жизни продукции предприятия.

Список литературы: 1. *Крыжний Г.К.* Стратегический технологический менеджмент: Учеб. пособие. – Х.: НТУ «ХПИ», 2003, 448 с. 2. *Шаповал М.І.* Менеджмент якості: Підручник. – К.: Знання, 2006. – 471 с. 3. *Організація виробництва:* Навч. посіб. / *В.О. Онищенко, О.В. Редкін, А.С. Старовірець, В.Я. Чевганова.* – К.: Лібра, 2005. – 336 с. 4. ГОСТ 15.000-82. Система разработки и постановки продукции на производство. Общие положения. – Введ. 01.09.85. – М.: Изд-во стандартов. 1982. – 50 с. 5. *Перерва П.Г.* Управление маркетингом на машиностроительном предприятии. Харьков, «Основа», 1993. 288 с. 6. *Gaillard Jean-Michel.* Marketing et gestion de la recherché et développement. – Paris: Economica, 1997. 336 с. 7. *Michel Daniel, Salle Robert, Valla Jean-Paul.* Marketing industriel. – Paris: Economica, 1996. 588 с. 8. *Millier Paul.* Stratégie et marketing de l'innovation technologique. – Paris: Dunod, 1997. 212 с.

Поступила в редколлегию 01.06.2010

В.К. Лобанов, д-р техн. наук,
Г.И. Пашкова, канд. техн. наук, Харьков, Украина

О ВЫБОРЕ ПАРАМЕТРОВ ИСПЫТАНИЙ НА УСТАЛОСТЬ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ МОЩНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ДИЗЕЛЕЙ

Розроблені методика та параметри натурних відсіків колінчастих валів транспортних дизелів для випробувань на втому у лабораторних умовах. Показано, що запропонована структура відсіків є оптимальною та відображує реальні умови навантаження колінчастих валів в процесі експлуатації.

Разработаны методика и параметры натурных отсеков коленчатых валов транспортных дизелей для испытаний на усталость в лабораторных условиях. Показано, что предложенная структура отсеков является оптимальной, и отображает реальные условия нагрузки коленчатых валов в процессе эксплуатации.

The method and parameters of compartments of model crankshafts of transport diesel engines was developed for tests on a fatigue in laboratory terms. Was shown that the offered structure of compartments is optimum and reflects the real terms of lading of crankshafts in the process of exploitation.

Повышение эксплуатационной надежности и ресурса работы двигателей внутреннего сгорания, в том числе мощных транспортных дизелей, тесно связано с работоспособностью коленчатых валов, которые являются наиболее ответственными и дорогостоящими деталями двигателей [1, 2].

Выявленные в процессе эксплуатации транспортных дизелей овальность и радиальный износ шеек определяют знакопеременный изгиб коленчатого вала при работе, ведущий к возникновению и развитию на галтелях сопряжения шеек со щеками усталостных трещин, пересекающих в дальнейшем все сечение щеки и приводящих к разрушению валов. Напряжения, создаваемые кручением, имеют для таких валов второстепенное значение, если нет заметных резонансов крутильных колебаний от действующих усилий в диапазоне рабочих частот вращения двигателя [3]. Поэтому при проведении испытаний валов схема нагружения должна предусматривать создание циклических изгибающих нагрузок.

Надежность изделия зависит от большого количества факторов: материала, технологии изготовления, видов упрочняющей обработки, условий эксплуатации и т. д. Повышение эксплуатационной надежности коленчатых валов предполагает применение конструктивных мероприятий и упрочняющих обработок, влияние которых оценивается путем испытаний валов на усталость. Проведение подобных испытаний связано чаще всего с использованием специализированных испытательных стендов. Учитывая сложность создания такого оборудования, а также высокую стоимость

коленчатых валов мощных транспортных дизелей (от 20 до 40 тыс. грн./шт.), оценку влияния конструктивно-технологических мероприятий на эксплуатационную надежность валов целесообразно производить путем испытаний отсеков валов в лабораторных условиях на универсальных испытательных машинах с гидропульсаторами.

В этой связи большой научный и практический интерес представляет определение параметров испытаний на усталость, обеспечивающих максимальное приближение к условиям работы коленчатого вала в эксплуатации.

Необходимо отметить, что действительные нагрузки на деталь, обусловленные спецификой эксплуатации, особенно при аварийных и нештатных режимах, могут существенно отличаться от априорно принятых при проектировании. Кроме того, в ряде случаев при сложной конфигурации деталей и узлов и различных сочетаниях воздействующих нагрузок численные методы могут оказаться неэффективными для расчета напряженно-деформированного состояния из-за существенных и часто необоснованных упрощений. Поэтому для определения реальной нагруженности деталей машин большое значение приобретают методы экспериментальной механики и, в частности, тензометрия. Натурная тензометрия позволяет определить действительные значения напряжений и деформаций в машинах и конструкциях, а также их изменения в рабочих условиях, т. е. получить надежные данные для оценки прочностных и ресурсных характеристик [4, 5].

Целью настоящей работы являлось определение оптимальных параметров нагружения при испытаниях на усталость при изгибе коленчатых валов с различными вариантами изготовления.

В качестве объектов исследования выбрали чугунные коленчатые валы транспортных дизелей типов Д100 и Д80, основные параметры которых приведены в таблице 1.

Для проведения исследований использовали универсальную испытательную машину типа МУП-100, позволяющую создавать максимальную статическую нагрузку 1000 кН и максимальную циклическую нагрузку 500 кН с точностью $\pm 1\%$. Испытания проводили при знакопостоянном цикле нагружения. База испытаний составляла $5 \cdot 10^6$ циклов.

Проведение специальной работы [6] позволило установить, что параметры отсека, включающего одну шатунную и две коренных шейки (рис.1,а) не отражают в процессе испытания реальные условия нагружения коленчатого вала. Поэтому для испытаний были использованы другие типы отсеков: включающие три коренных и две шатунных шейки (1 тип – рис.1,б) и состоящие из 4-х коренных и 3-х шатунных шеек (2 тип – рис.1,в).

Таблица 1 – Основные параметры коленчатых валов дизелей типов Д100 и Д80

Тип двигателя	Длина вала, мм	Масса вала, кг	Диаметр коренной шейки, мм	Длина коренной шейки, мм	Диаметр шатунной шейки, мм	Длина шатунной шейки, мм	Радиусы переходной галтели, мм
10Д100	3862	1200	203,88	89	171,88	108	R8, R2,5
1Д80Б	3995	1683	250	125 – широкие, 95 – узкие	200	140	R10, R3

При проведении испытаний были использованы специально спроектированные и изготовленные приспособления. Отсек 1-го типа устанавливали на две цилиндрические опоры таким образом, что одна из шатунных шеек располагается в вертикальной плоскости. Нагрузка прикладывается к центральной коренной шейке с помощью пуансона с цилиндрической контактной поверхностью. Таким образом, отсек коленчатого вала испытывается на изгиб в плоскости одного из кривошипов. Частота испытаний составляла 7,5 и 9,8 Гц. Коэффициент асимметрии цикла принят равным 0,25.

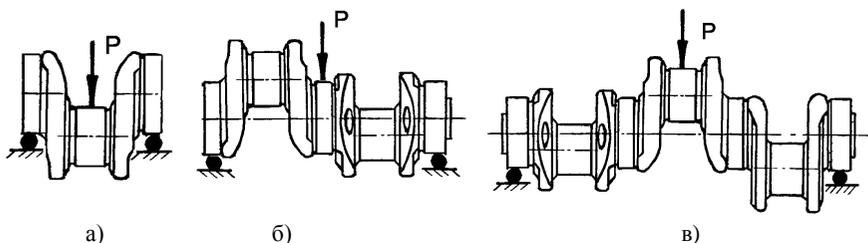


Рисунок 1 – Схемы испытаний на усталость и параметры отсеков коленчатых валов различной жесткости

При испытании таких отсеков очаг усталостного разрушения располагается, как правило, на галтели коренной шейки, а разрушение проходит по щеке и заканчивается в зоне галтели шатунной шейки, расположенной в плоскости изгиба. Таким образом, испытания на усталость отсеков коленчатых валов, содержащих две шатунные шейки, путем воздействия на коренную не отражают в полной мере режим их нагружения в процессе работы двигателя, так как не позволяют получить разрушения валов, аналогичные наблюдаемым в процессе эксплуатации дизелей.

Использование при проведении испытаний отсеков 2-го типа позволило существенно уменьшить жесткость испытываемой системы. При этом на цилиндрические опоры приспособления устанавливаются крайние

коренные шейки, а отсек располагается так, чтобы нагрузка была приложена к центральной шатунной шейке, расположенной в вертикальной плоскости. Испытания проводили при частоте 7,5 Гц и коэффициенте асимметрии цикла равном 0,3.

Применение таких отсеков позволяет проводить испытания при большем значении максимальной циклической нагрузки, а, следовательно, при более высоком уровне напряжений. Получаемый вид усталостного разрушения аналогичен наиболее распространенному в эксплуатации – от галтели шатунной шейки через щеку.

Из каждого коленчатого вала можно вырезать три отсека 1-го типа и два отсека 2-го типа. Форма отсеков даже одного типа несколько отличается из-за разного взаимного расположения кривошипов, следовательно, различна и их жесткость, а значит, и абсолютные значения максимальных напряжений в нагруженной шейке. Кроме того, допускаемые отклонения линейных размеров также могут приводить к некоторым отличиям в величине напряжений.

Поэтому каждый отсек перед испытаниями на усталость подвергали тензометрированию с целью выбора нагрузки для создания заданного уровня напряжений. Определение деформаций для расчета значений напряжений производили методом электротензометрии при ступенчатом статическом нагружении отсека в интервале от 100 до 400 кН с шагом 50 кН.

Для этого на максимально нагруженной шейке в плоскости изгиба в зоне растяжения зачищали площадку и наклеивали тензорезисторы типа КФ5П1-10-100-Б12 с коэффициентом тензочувствительности равным 2,0...2,02. Наклейку производили клеем циакрин ЭО согласно инструкции АЖВ2.782.001 ТО. Термокомпенсационные тензорезисторы наклеивали аналогично рабочим на пластины из того же материала, что и коленчатые валы. Для определения деформаций были использованы полумостовые измерительные схемы подключения тензорезисторов. Выходные сигналы тензорезисторов в ненагруженном состоянии и при нагружении отсека фиксировались с помощью измерительной тензометрической системы СИИТ-3. Сбор и обработка информации, получаемой от тензорезисторов, осуществлялись с использованием специально сформированного информационно-измерительного комплекса, структура которого приведена на рис. 2. Использование такого комплекса позволяет производить накопление и хранение данных и статистически их обрабатывать.

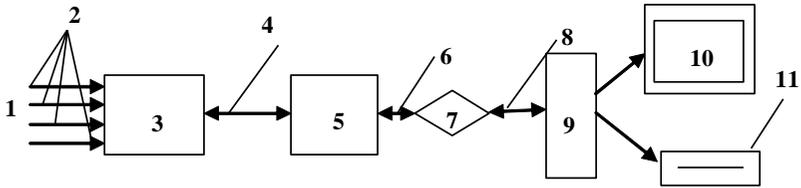


Рисунок 2 – Схема информационно-измерительного комплекса:

- 1 – тензорезисторы, наклеенные на шейку; 2 – монтажные кабели длиной 5 м;
- 3 – блок дистанционного релейного переключения (БДРП) системы СИИТ-3;
- 4 – соединительный кабель между БДРП и БИ; 5 – блок измерений (БИ) системы СИИТ-3; 6 – кабель С-А (длиной 1 м); 7 – адаптерное устройство АУС-СП;
- 8 – кабель А-ПК; 9 – системный блок персонального компьютера (ПК);
- 10 – монитор ПК; 11 – принтер

Расчет напряжений производился по формуле:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon, \quad (1)$$

где σ – значение максимального напряжения;

ε – деформация тензорезистора, имеющая наибольшую величину;

E – модуль упругости материала вала;

Деформации тензорезисторов представляют собой разницу численных показаний системы СИИТ-3 при нагружении (П2) и в ненагруженном (П1) состоянии:

$$\varepsilon = k(П2 - П1), \quad (2)$$

где ε – деформация тензорезистора; k – коэффициент чувствительности системы СИИТ-3, равный $1,98 \cdot 10^{-6}$ единиц относительной деформации.

Проведение большого количества экспериментальных исследований (на 40 отсеках 1 типа и 18 отсеках 2 типа) позволило установить, что значения деформаций при одинаковом режиме нагружения существенно отличались как для отсеков, вырезанных из одного вала, так и для однотипных отсеков различных валов. Это подтвердило необходимость тензометрирования перед испытаниями каждого отсека коленчатого вала. В качестве определяющей рассматривалась деформация тензорезистора, имеющая наибольшее значение.

Статистическая обработка полученных результатов показала, что зависимость средних значений деформаций от величины статической нагрузки имеет линейный характер, однако с повышением величины нагрузки увеличивается разброс значений деформаций для отсеков с различным расположением кривошипов.

Это подтверждается данными, приведенными в таблице 2.

Таблица 2 – зависимость средних значений деформаций (для отсеков 1-го типа с различным расположением кривошипов) от величины статической нагрузки

Величина статической нагрузки, кН	Значения деформации $\varepsilon \cdot 10^{-5}$, относит. ед.		Рассеяние значений деформаций, %
	наименьшая	наибольшая	
100	21	26	23,8
150	32	39	21,9
200	42	53	26,1
250	53	67	26,4
300	62	80	29,0
350	74	94	27,0
400	85	118	38,8

Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что рассеяние значений деформаций в зависимости от величины статической нагрузки составляет от 23,8 до 38,8 %.

Абсолютные значения максимальных напряжений в нагруженной шейке для отсеков обоих вариантов также существенно отличаются между собой. Полученные результаты приведены в таблице 3.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что рассеяние значений напряжений для отсеков 1-го типа с различным расположением кривошипов при одинаковой величине статической нагрузки достигает 30,2 %. Для отсеков 2-го типа это значение несколько ниже и составляет 3,1...17,4 % для отсеков, вырезанных из валов двигателей 10Д100, и 13...14,4 % для отсеков, изготовленных из валов двигателей 1Д80Б. Из полученных данных следует также, что отсеки 2-го типа являются более податливыми, поскольку создание достаточно высокого уровня напряжений обеспечивается статической нагрузкой меньшей величины.

Разработанная методика с использованием предварительного тензометрирования применена при проведении испытаний на усталость при изгибе различных вариантов отсеков коленчатых валов. Была подтверждена необходимость проведения тензометрирования, поскольку, например, для отсеков 2-го типа одинаковый уровень напряжений в нагружаемой шейке (230 МПа) обеспечивался величиной нагрузки от 319 до 419 кН в зависимости от расположения кривошипов.

Таблица 3 – Значения напряжений в нагруженной шейке для отсеков с различным расположением кривошипов

№ п/п	Тип отсека	Тип двигателя	Номер и тип нагружаемой шейки	Номера кривошипов	Величина максимальной нагрузки при тензометрировании, кН	Значения напряжений, МПа			Рассеяние значений напряжений, %
						наименьшее	наибольшее	среднее	
1	1	10Д100	2 коренная	1, 2	400	151,5	159	154,5	5,0
2	1	10Д100	4 коренная	3, 4	400	130,5	167	149,3	28,0
3	1	10Д100	5 коренная	4, 5	400	127,5	165	151,5	29,4
4	1	10Д100	7 коренная	6, 7	400	146	166	156	13,7
5	1	10Д100	8 коренная	7, 8	400	147	177	163	20,4
6	1	10Д100	10 коренная	9, 10	400	129	168	151	30,2
7	2	10Д100	5 шатунная	4, 5, 6	300	197	203	201	3,1
8	2	10Д100	9 шатунная	8, 9, 10	300	184	216	204	17,4
9	2	10Д100	6 шатунная	5, 6, 7	300	191	206	200	7,9
10	2	10Д100	2 шатунная	1, 2, 3	300	189	212	205	12,2
11	2	1Д80Б	3 шатунная	2, 3, 4	350	184,5	211	199	14,4
12	2	1Д80Б	7 шатунная	6, 7, 8	350	192	217	208	13,0

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что разработанная методика и параметры отсеков, состоящих из четырех коренных и трех шатунных шеек, являются оптимальными для осуществления испытаний на усталость при изгибе отсеков натуральных коленчатых валов транспортных дизелей в лабораторных условиях.

Список использованных источников: 1. Кудрявцев И.В., Наумченков Н.Е., Саввина Н.М. Усталость крупных деталей машин. – М.: Машиностроение, 1981. – 237 с. 2. Повышение надежности и долговечности коленчатых валов транспортных дизелей / Е.Т. Стеценко, Л.М. Школьник, Т.В. Ларин, В.И. Шахов и др. – М.: Транспорт, 1965. – 139 с. 3. Салтыков М.А., Горбунов М.Н., Гинзбург М.А. Развитие методов и средств исследования прочности основных несущих деталей и узлов // Развитие комбинированных двигателей внутреннего сгорания. – М.: Машиностроение, 1974. – С. 103-170. 4. Дайчик М.Л., Пригоровский Н.И., Хуришудов Г.Х. Методы и средства натурной тензометрии. – М.: Машиностроение, 1989. – 240 с. 5. Шушкевич В.А. Основы электротензометрии. – Минск: Вышэйшая школа, 1975. – 352 с. 6. Лобанов В.К., Пашкова Г.И. Оптимизация испытаний на усталость коленчатых валов транспортных дизелей // Механiка та машiнобудуваннiя. – 2004. – № 1. – С. 32-35.

Поступила в редакцию 15.05.2010

А.Н. Михайлов, д-р техн. наук, Е.А. Михайлова, Донецк, Украина

ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЛИРОВКИ ИЗДЕЛИЙ С ТОНКИМИ НИТРИД ТИТАНОВЫМИ ПОКРЫТИЯМИ

У даній роботі розглянуті особливості формування поверхневого шару вакуумних іонно-плазмових покриттів для виробів машинобудування. Установлено зв'язки між товщиною покриття й параметрами шорсткості поверхонь основи й покриття. Це дає можливість проектувати необхідну структуру операцій технологічного процесу до й після нанесення покриття на поверхні виробу, а також забезпечувати необхідні параметри якості поверхонь залежно від видів зв'язків.

В данной работе рассмотрены особенности формирования поверхностного слоя вакуумных ионно-плазменных покрытий для изделий машиностроения. Установлены связи между толщиной покрытия и параметрами шероховатости поверхностей основы и покрытия. Это дает возможность проектировать необходимую структуру операций технологического процесса до и после нанесения покрытия на поверхности изделия, а также обеспечивать необходимые параметры качества поверхностей в зависимости от видов связей.

In given work are considered particularities of the shaping surface layer physical vapor deposition coating for product of machine building. The installed relationship between thickness of the coating and parameter to roughness of the surfaces of the base and coating. This enables to design the necessary structure an operation technological process before and after the fixing of the coating on surfaces of the product, as well as provide the necessary parameters a quality surfaces depending on type of the relationships.

1. Введение

В настоящее время для повышения качества изделий машиностроения широко применяются вакуумные ионно-плазменные покрытия различного назначения [1, 2]. Эти покрытия позволяют существенно повысить эксплуатационные свойства различных изделий машиностроения. Вместе с тем для обеспечения заданных свойств изделий с вакуумными ионно-плазменными покрытиями необходима технологическая подготовка изделия к нанесению покрытия, выполнение покрытия и дальнейшая отделочная обработка поверхностного слоя изделия с покрытием. Эти вопросы не достаточно освещены в современной литературе [1, 2, 3], а также требуют уточнения и дальнейшей разработки.

Целью данной работы является повышения качества и производительности комбинированной обработки изделий с вакуумными ионно-плазменными покрытиями на основе установления связей между толщиной покрытия и параметрами шероховатости поверхностного слоя основы и покрытия, разработки прогрессивного метода полировки поверхностного слоя покрытия, а также установления рациональных припусков обработки покрытия.

В соответствии с поставленной целью в работе предполагается решить следующие задачи: определить связи между толщиной покрытия и параметрами шероховатости поверхностного слоя основы и покрытия; разработать прогрессивный метод полировки поверхностного слоя покрытия; предложить рациональный метод определения припусков при полировке поверхностного слоя изделия с тонкими покрытиями, например, на основе нитрид титана.

2. Связь между толщиной покрытия и параметрами шероховатости поверхностного слоя основы и тонких покрытий

Проведенные исследования показывают [1, 2], что возможны варианты образования структуры покрытия. На параметры структуры вакуумных ионно-плазменных покрытий влияют следующие факторы:

- температура поверхности основы поверхности изделия,
- давление реакционного газа,
- ток дуги.

В целом структуру покрытия можно представить тремя вариантами (рис. 1) [3]:

- I зона, низкотемпературная, формируется при температуре поверхности основы до температуры $T_1 = 0,35 T_{пл}$, где $T_{пл}$ - температура плавления конденсированного вещества;
- II зона, промежуточная, формируется при температуре поверхности основы от T_1 до T_2 , где $T_2 = (0,45 \dots 0,5) T_{пл}$;
- III зона, высокотемпературная, формируется при температуре поверхности основы выше T_2 .

В I зоне, покрытие состоит из конусоподобных кристаллов, а его поверхность имеет куполоподобное строение. При этом во внутренних объемах кристаллов и особенно в их прилегающих зонах имеются микропоры.

Около II зоны происходит поступательный переход до второй зоны с ровной матовой поверхностью, при этом образующееся покрытие имеет столбчатую структуру. Особенностью структуры этого покрытия является наличие межкристаллических границ. Микропористость покрытия в этой зоне практически не наблюдается, и ширина столбчатых кристаллов растет с увеличением температуры основы изделия.

В III зоне формируется равновесная структура покрытия. Если материал покрытия склонен к полиморфному превращению, то он может дополнительно изменять структуру при этой температуре.

На рис. 1 представлены гипотетические модели вариантов особенностей параметров шероховатости поверхности основы и покрытия: рис. 1,а – до механической обработки, рис. 1,б - после механической обработки.

Можно отметить, что возможны и другие структурные варианты покрытия поверхности изделия, однако для практики целесообразно использовать три рассмотренных варианта.

Также заметим, что наиболее целесообразно наносить покрытия на поверхность изделия со структурой I и II зон. Это обусловлено тем, что структура покрытия III зоны может иметь измененную кристаллическую решетку.

Выполненные исследования позволили установить, что между толщиной покрытия, параметрами шероховатости основы поверхности изделия и параметрами шероховатости покрытия существует связь. Эта связь может быть трех видов (рис. 2).

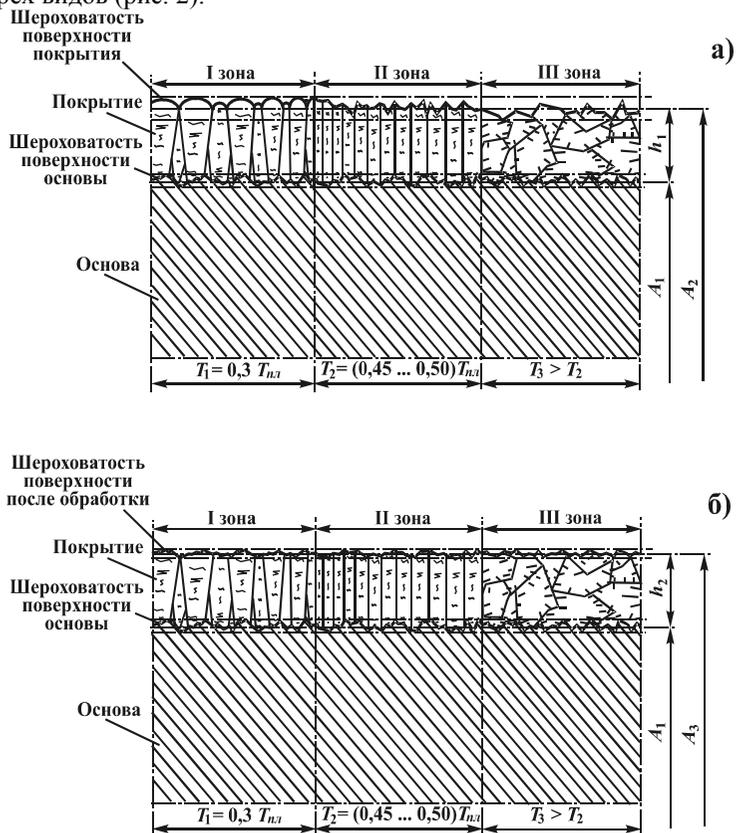


Рисунок 1 – Гипотетические модели вариантов параметров шероховатости поверхности основы и покрытия:
 а – до механической обработки, б – после механической обработки

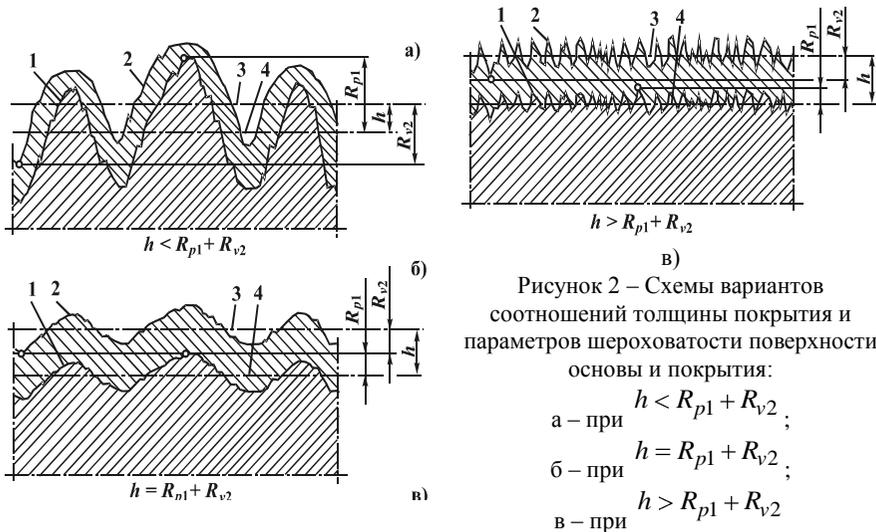


Рисунок 2 – Схемы вариантов соотношений толщины покрытия и параметров шероховатости поверхности основы и покрытия:

- а – при $h < R_{p1} + R_{v2}$;
- б – при $h = R_{p1} + R_{v2}$;
- в – при $h > R_{p1} + R_{v2}$

Первый вид связей (рис. 2,а) возникает тогда, когда толщина покрытия h меньше, чем сумма высоты сглаживания профиля шероховатости R_{p1} основы и глубины сглаживания профиля шероховатости R_{v1} покрытия. Данная связь может быть представлена следующим выражением:

$$h < R_{p1} + R_{v2} ; \quad (1)$$

где h – толщина покрытия; R_{p1} – высота сглаживания профиля шероховатости основы поверхности изделия; R_{v2} – глубина сглаживания профиля шероховатости покрытия поверхности изделия.

Можно отметить, что параметры высоты сглаживания профиля шероховатости R_{p1} основы и глубины сглаживания профиля шероховатости R_{v1} покрытия определяются на основании следующих выражений:

$$R_{\max 1} = R_{p1} + R_{v1} ,$$

$$R_{\max 2} = R_{p2} + R_{v2} ;$$

где $R_{\max 1}$ и $R_{\max 2}$ - наибольшие высоты профилей шероховатости основы и покрытия, соответственно; R_{p1} и R_{p2} - высоты сглаживания профиля шероховатости покрытия основы и покрытия, соответственно; R_{v1} и R_{v2} - глубины сглаживания профиля шероховатости покрытия основы и покрытия, соответственно.

Можно отметить, что покрытия с данным видом связи можно рекомендовать, для следующих случаев:

- для нанесения покрытия, на поверхность изделия имеющего большие параметры шероховатости, для защиты от коррозии;
- для нанесения супер тонких покрытий на поверхность изделия.

В этом случае, толщина покрытия меньше параметров шероховатости и покрытие повторяет геометрию покрытия основы.

Второй вид связей (рис. 2,б) возникает тогда, когда толщина покрытия h равна сумме высоты сглаживания профиля шероховатости основы R_{p1} и глубины сглаживания профиля шероховатости покрытия R_{v1} . Эта связь может быть представлена следующим выражением

$$h = R_{p1} + R_{v2} . \quad (2)$$

В этом случае толщина покрытия соизмерима с параметрами шероховатости поверхностей. Это переходные покрытия, они могут применяться как для решения вопросов коррозионной стойкости, так и для износостойкости.

Третий вид связей (рис. 2,в) образуется тогда, когда толщина покрытия h больше суммы высоты сглаживания профиля шероховатости основы R_{p1} и глубины сглаживания профиля шероховатости покрытия R_{v1} . Эта связь может быть представлена следующим выражением

$$h > R_{p1} + R_{v2} . \quad (3)$$

В этом случае толщина покрытия больше параметров шероховатости поверхностей. Эти покрытия могут применяться для решения вопросов повышения износостойкости.

Выполненные исследования позволили установить связи между толщиной покрытия и параметрами шероховатости поверхностей основы и покрытия.

3. Особенности специальной полировки изделий с тонкими покрытиями. Назначение притусков

Полирование – обработка (отделка) материалов до получения зеркального блеска поверхности [4]. Полировка металлов производится на полировальных станках быстровращающимися мягкими кругами из фетра, сукна или войлока либо быстродвижущимися лентами, на поверхность которых нанесены шлифпорошок или полировальная паста микрошлифпорошков.

Полированием эластичными кругами получают шероховатость поверхности, находящуюся в пределах $R_a = 0,16 \dots 0,010$ мкм. При этом предварительно обработанная поверхность должна иметь шероховатость не ниже следующих параметров $R_a = 0,32 \dots 0,16$ мкм [5]. Количество снимаемого в процессе полирования металла составляет 0,01 ... 0,03 мм,

скорость вращения полировального круга – 10 ... 40 м/с. Зернистость абразивного материала применяемого для полирования, выбирают в зависимости от вида полирования:

- для черногого полирования зернистость шлифпорошка 10 ... 6 (размер зерен 100 ... 60 мкм);

- для чистового полирования зернистость шлифпорошка от 6 ... 4 (размер зерен 60 ... 40 мкм) микрошлифпорошка до М40 ... М10 (размер зерен 40 ... 10 мкм).

Для полирования изделий из труднообрабатываемых материалов - твердых сплавов, керамики, ситалла, кремния, кварца и других материалов – применяют алмазные пасты с зернистостью алмазного порошка 60/40 ... 1/0 с нормальной (Н), повышенной (П) и высокой (В) массовыми долями алмазов (ГОСТ 25593 -83).

Можно отметить, что нитрид титановые покрытия, наносимые вакуумным ионно-плазменным напылением, имеют микротвердость порядка 20 ГПа и выше, при этом толщина покрытия может находиться в следующих пределах 2 ... 15 мкм.

Выполненный анализ особенностей *полировки поверхности до нанесения* вакуумного ионно-плазменного покрытия (в основном нитрид титановых покрытий) позволил установить следующее:

- до нанесения ионно-плазменного покрытия, для улучшения процесса нанесения покрытия, необходимо выполнить полировку поверхности;

- перед полировкой поверхности изделия необходимо обеспечить параметры шероховатости поверхности в следующих пределах $R_a = 0,32 \dots 0,16$ мкм [5];

- полировка поверхности может быть выполнена традиционными методами.

Вместе с тем, проведенный анализ особенностей *полировки поверхности после нанесения покрытия* также позволил установить следующее:

- процесс полировки имеет определенные специфические особенности, связанные с тем, что при традиционных методах полирования припуск на обработку составляет 0,01 ... 0,03 мм [5], а толщина нитрид титанового покрытия составляет 2 ... 15 мкм, поэтому здесь традиционные методы не подходят из-за возможности повреждения или полного удаления покрытия;

- вследствие того, что нитрид титановое покрытие имеет толщину, находящуюся в пределах 2 ... 15 мкм, процесс полировки должен быть направлен не на сьем материала покрытия, а только на уменьшение параметров шероховатости в пределах шероховатости;

- расчет и назначение припусков на обработку покрытия поверхности изделия должен иметь новый подход, отличный от рекомендуемых в работах [5, 6, 7] для специальных или обычных материалов изделий;

– вследствие того, что микротвердость нитрид титанового покрытия составляет 20 ГПа и выше, а его толщина составляет 2 ... 15 мкм, полировка должна выполняться тонкими микрошлифпорошками с размерами зерен меньше толщины покрытия (M5 ... M10) и имеющих более низкую твердость, чем нитрид титановое покрытие (электрокорунд нормальный и белый, формокорунд и другие материалы);

– данный вид полирования называется высотным сглаживающим полированием или глянецованием покрытия поверхности изделия.

Проведенные исследования позволили установить, что перед нанесением покрытия для улучшения его параметров связи с основой необходимо поверхность полировать. В этом случае можно использовать традиционные методы и режимы полировки.

Для выполнения полировки поверхности с вакуумным нитрид титановым покрытием необходимо выполнение высотного сглаживающего полирования, базирующегося на следующем:

– в качестве абразивных материалов необходимо использовать тонкие микрошлифпорошки с размерами зерен меньше толщины покрытия зернистостью M5 ... M10;

– применяемые абразивные материалы должны иметь более низкую твердость, чем нитрид титановое покрытие (электрокорунд нормальный и белый, формокорунд и другие материалы), это исключит возможность повреждения покрытия, здесь будут удаляться только вершины профиля шероховатости и реализовываться процесс их сглаживания;

– на новых методах расчета припусков высотного сглаживающего полирования.

Последовательно назначая припуски по всем операциям и переходам из условия неполного удаления высоты шероховатости, полученной на этапе напыления покрытия, при механической обработке на этапе технологического процесса после нанесения вакуумного ионно-плазменного покрытия обеспечивается эффективность отделочной обработки поверхности изделия близкая к предельному значению. При этом суммарное значение всех припусков на этом этапе обработки не должно превышать величины параметров высоты шероховатости поверхности, образующейся на этапе нанесения покрытия.

Для расчета и назначения припусков при высотном сглаживающем полировании покрытия может быть использован метод деления параметров (шероховатости) поверхностного слоя по операциям технологического процесса и последовательного уменьшения их на последующих операциях.

Для поверхности изделий с покрытием минимальный припуск (двусторонний припуск) на обработку может определяться следующим образом:

$$2z_{\min i} = 2 \frac{R_{\max(i-1)}}{n}; \quad (4)$$

где $z_{\min i}$ - минимальны припуск на обработку i -го поверхностного слоя; $R_{\max(i-1)}$ - наибольшая высота профиля $(i-1)$ -го поверхностного слоя, здесь $R_{\max(i-1)} = R_{p(i-1)} + R_{v(i-1)}$; n - коэффициент уточнения припуска (для высотного сглаживающего полирования покрытий $n = 1,3 \dots 2,0$).

Можно отметить, что при $n = 2$ полностью выполняется сглаживание высоты профиля $R_{p(i-1)}$ до центральной линии сглаживания, а при $n = 1,3$ происходит уменьшение $R_{\max(i-1)}$ на 30%.



Рисунок 3 – Полировальный станок для специальной обработки изделий с покрытиями

В табл. 1 представлены результаты экспериментальных исследований процесса высотного сглаживающего полирования покрытия поверхностного слоя изделия. Здесь результаты представлены в зависимости от коэффициента уточнения припуска. Скорость полировального круга $v = 20$ м/с, покрытие на основе нитрид титана (катоды – ВТ 5-1), исходные параметры шероховатости поверхности изделия $R_a = 0,08$ мкм, обрабатываемый материал - сталь 18Х2Н4МА, алмазная паста (ГОСТ 25593-83) АСМ, шлифовальный круг – войлок. В качестве обрабатывающего устройства использован станок для полировки поверхности (рис. 3).

Таблица 1 – Результаты экспериментальных исследований процесса высотного сглаживающего полирования покрытий поверхностного слоя изделия

№ п/п	Операция полиро- вания	Коэф. уточн. припуска, <i>n</i>	Время полиро- вания, <i>T</i> , с	Характер. пасты, зернис- тость	Параметр шероховатости, R_a , мкм (не более)	
					до обработки	после обработки
1	Предва- рительная	1,26	185	АСМ 10/7	0,080	0,063
2	Чистовое	1,26	185	АСМ 7/5	0,063	0,050
3	Глянце- вание	1,25	190	АСМ 5/3	0,050	0,040

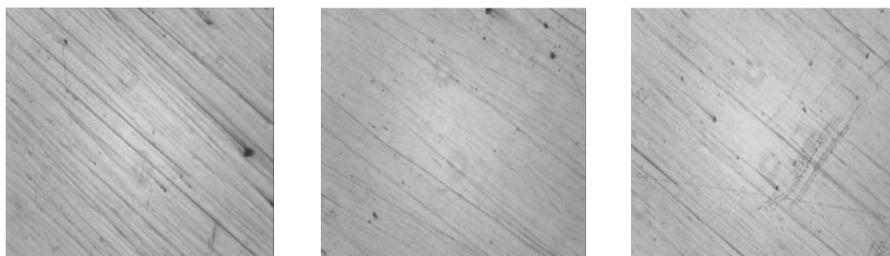


Рисунок 4 – Общий вид поверхности изделия из стали 18Х2Н4МА (увеличение $\times 100$ раз): **а** - предварительное полирование, **б** – чистовое полирование, **в** - глянцевание

На рис. 4 представлен общий вид поверхности изделия из стали 18Х2Н4МА (увеличение $\times 100$ раз), обработка выполнена в соответствии с параметрами, представленными в табл. 1. На рис. 4,а показана поверхность после предварительного полирования; на рис.4,б - поверхность после чистового полирования; на рис. 4,в – поверхность после глянцеования.

Выполненные в работе исследования позволили установить следующее:

- перед нанесением ионно-плазменного покрытия, для улучшения процесса нанесения покрытия, необходимо выполнить полировку поверхности, при этом можно применять традиционные методы и режимы полировки;

- для выполнения полировки поверхности с вакуумным нитрид титановым покрытием необходимо использовать нетрадиционные методы полировки поверхности, базирующиеся на выполнении высотного сглаживающего полирования;

- расчет и назначение припусков на обработку покрытия поверхности изделия должен иметь новый подход, базирующийся на расчете и назначении припусков при высотном сглаживающем полировании покрытия, основанный на методе деления параметров шероховатости поверхностного слоя по

операциям технологического процесса и последовательном уменьшении их на последующих операциях.

4. Заключение.

Выполненные исследования позволили установить связи между толщиной покрытия и параметрами шероховатости поверхностей основы и покрытия. Это дает возможность технологу проектировать необходимую структуру операций технологического процесса до и после нанесения покрытия на поверхности изделия, а также обеспечивать необходимые параметры качества поверхностей в зависимости от видов связей.

В работе разработан прогрессивный метод полировки поверхностного слоя покрытия базирующемся на новом подходе в обработке. Этот метод получил название высотное сглаживающее полирование тонких покрытия.

Для реализации высотного сглаживающего полирования в данной работе разработан рациональный метод определения припусков при полировке поверхностного слоя изделия с тонкими покрытиями, например, на основе нитрид титана.

На базе полученных результатов можно выполнять разработку технологических процессов комбинированной отделочной обработки изделий с тонкими покрытиями и обеспечивать повышение их качества и производительности изготовления.

Список литературы: 1. Машиностроение. Энциклопедия. / Ред. совет: К.В. Фролов (пред.) и др. // Технология, оборудование и системы управления в электронном машиностроении. Т. III – 8. / Ю.В. Панфилов, Л.К. Ковалев, В.А. Блохин и др. – М.: Машиностроение, 2000. – 744 с. 2. Михайлов А.Н., Михайлова Е.А.. Общая классификация вакуумных ионно-плазменных покрытий на внутренних цилиндрических поверхностях изделий машиностроения. // Упрочняющие технологии и покрытия. – М.: Машиностроение, №7. 2006. С. 3 – 6. 3. Ющенко К.А., Борисов Ю.С., Кузнецов В.Д., Корж В.М. Інженерія поверхні: Підручник. – К.: Наукова думка, 2007. – 558 с. 4. Политехнический словарь / Редкол.: А.Ю. Ишлинский (гл. ред.) и др. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Советская энциклопедия, 1989. – 656 с. 5. Краткий справочник металлста / Под общ. ред. П.Н. Орлова, Е.А. Скороходова. – М.: Машиностроение, 1986. – 960 с. 6. Боровский Г.В., Григорьев С.Н., Маслов А.Р. Справочник инструментальщика / Под общ. ред. А.Р. Маслова. – М.: Машиностроение, 2005. – 464 с. 7. Михайлов А.Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий. – Донецк: ДонНТУ, 2009. – 346 с.

Поступила в редколлегию 15.05.2010

А.И. Момот, д-р экон. наук, С.А. Момот, А.Н. Шелудешова, Донецк, Украина

ОСОБЕННОСТИ ВНЕДРЕНИЯ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ УПРАВЛЕНИЯ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ УКРАИНЫ

Стаття присвячена проблемам запровадження на українських підприємствах технології керування 5S, яка була розроблена більш ніж півстоліття тому в Японії, де дуже добре себе зарекомендувала. Адапована версія цієї системи під назвою "Впорядкування" рекомендується до впровадження українськими підприємствами. Але менеджери вітчизняних підприємств відносяться до неї з недовірою. Для запровадження системи, що розглядається, необхідно розробити систему мотивації працівників підприємства, яка б відповідала нашому менталітету.

Статья посвящена проблемам внедрения на украинских предприятиях технологии управления 5S, которая была разработана более полувека назад в Японии и очень хорошо себя там зарекомендовала. Адаптированная версия этой системы под названием «Упорядочение» рекомендуется для внедрения на украинских предприятиях. Однако менеджеры отечественных предприятий с недоверием относятся к ней. Для внедрения рассматриваемой системы необходимо разработать соответствующую нашему менталитету систему мотивации работников предприятия.

The article covers the problems of introduction of management technology 5S at Ukrainian enterprises, which was developed more than fifty years ago in Japan and was proved to be an effective program. The adapted version of the system under the name «Streamlining» is recommended for introduction at Ukrainian enterprises. However many managers of domestic enterprises treat it with distrust. For introduction of the examined system it is necessary to develop a system of workers motivation at the enterprise, corresponding to our mentality.

Совершенствование деятельности любого предприятия, как правило, осуществляется поэтапно. Поэтому внедрение новых технологий управления деятельностью целесообразно осуществлять также постепенно, используя уже оправдавший себя опыт успешных предприятий ведущих стран мира. Одной из первоначальных систем, направленных на комплексное улучшение работы и результатов всего предприятия, независимо от отраслевой принадлежности, является система 5S (или адаптированная к отечественным условиям методика «Упорядочение»). Эта система, разработанная после Второй мировой войны в Японии, стала основой для дальнейшего внедрения более сложных и дорогостоящих управленческих решений, поскольку ее высокая эффективность обеспечивается в первую очередь за счет

радикальных перемен в отношении персонала к своей работе. Система 5S не требует капитальных затрат, но в результате ее применения возможно добиться повышения производительности и безопасности труда, уменьшения количества брака, сокращения потерь.

Японские консультанты по управлению считают, что по степени реализации системы 5S можно судить о качестве работы менеджеров. То есть, если менеджерами предприятия успешно внедрена система, это означает, что они в состоянии освоить и другие более сложные управленческие методики. Если же менеджеры не в силах реализовать 5S, то они не способны эффективно управлять. Это объясняется тем, что система 5S может быть внедрена собственными силами компании, без привлечения какого-либо особого штата менеджеров. Кроме того, эффективность системы обеспечивается обязательным вовлечением всего персонала, который должен быть заинтересован в успехе ее внедрения. Но если система 5S уже внедрена, то можно с уверенностью сказать, что и другие системы будут освоены намного легче и быстрее, поскольку достигнут высокий уровень дисциплинированности персонала и его подготовленности к осуществлению изменений.

Некоторые японские исследователи пришли к выводу, что первым шагом на пути к всеобщему управлению качеством должна стать именно система 5S, которая делает акцент на чистом, хорошо организованном, безопасном рабочем месте. Без упорядочения и организации становится невозможным понять, в чем заключаются проблемы качества. Без точного определения основных процессов производства и тщательного следования им невозможно установить, какие действия выполняются правильно, а какие – неправильно. По мнению японских менеджеров, никакие другие методики и инновации, призванные повысить качество продукции и улучшить условия труда, не принесут ожидаемого результата, если на предприятии не действует система 5S.

О внедрении этой системы уже достаточно много было описано в статьях российских авторов. Например, сотрудники Всероссийского центра охраны труда (г. Москва) В.Е. Растимешин и Т.М. Куприянова приводят описание этой системы и основных ее элементов, методологии ее внедрения, результативности применения [6]. В других статьях приведена практика применения системы на конкретных предприятиях. П.М. Дерябин рассматривает опыт Группы компаний «Статус» [2]. Освоению системы в ОАО «Большевик» (г. Москва, Россия) и связанными с этим трудностями

посвящены статьи Р.А. Искандаряна [3] и М.В. Пшенниковой [5]. Карл Ватт дает практические советы по внедрению 5S, указывая на наиболее проблемные места российских предприятий [1].

В Украине опыт внедрения этой системы ограничивается лишь несколькими предприятиями. Так, Т.М. Куприянова и В.Е. Растимешин рассказывают о путях создания системы в фирме «Панда» (г. Винница, Украина) [7]. Имеется опыт внедрения этой системы в ЗАО «Донецксталь»-металлургический завод». Однако, не смотря на очевидные преимущества, на подавляющем большинстве украинских предприятий о ней знают очень мало и не заинтересованы в применении.

Целью статьи является установление причин ограниченного распространения хорошо зарекомендовавшей себя в зарубежных странах системы 5 S («Упорядочение») на предприятиях Украины.

Возможность внедрения системы рассматривалась на примере некоторых предприятий металлургического и машиностроительного комплексов, расположенных в Донецком регионе. Результаты анализа опубликованных в этой области исследований, а также внедрения на вышеупомянутых предприятиях позволяют сделать следующие выводы:

- систему можно эффективно применять на отечественных предприятиях любой формы собственности и рода деятельности;

- успех внедрения напрямую зависит от социально-экономических условий труда на предприятии (уровня заработной платы сотрудников и регулярности ее выплаты, систематической и полноценной загруженности производства, соблюдения основных требований безопасности труда со стороны администрации);

- развертывание системы на предприятиях постсоветского пространства требует адаптации основных ее принципов и технологии внедрения к существующим условиям: следует учитывать особенности данного этапа отечественной рыночной экономики, организации производства и менталитета работников.

Эффективность системы «Упорядочение» особенно четко прослеживается во время кризиса, в экстремальных условиях производства, а также при частых изменениях производственного процесса. В зависимости от особенностей предприятия, на котором действует система, ее эффективность может проявляться по-разному. Это в некоторой степени вводит в замешательство менеджеров, вызывает у них недоверие к результатам ее применения. На фоне других управленческих технологий данная система

выглядит слишком упрощенной и поэтому кажется малоэффективной. Но следует заметить, что простота и легкость системы обманчивы, а ее пользу можно оценить лишь при внедрении.

Результаты использования системы «Упорядочение» сложно оценить количественно. Тем не менее, они, несомненно, важны для предприятия. Применение системы позволяет добиться:

- повышения дисциплины в коллективе и уровня ответственности работников за счет приобретения персоналом навыков организации труда, постоянного соблюдения стандартов и должностных обязанностей;

- снижения уровня травматизма на предприятии благодаря поддержанию порядка, чистоты и четкого следования инструкциям и предписаниям;

- повышения надежности оборудования в результате надлежащего обслуживания;

- обеспечения работоспособности предприятия в условиях кризиса, что обеспечивается высоким уровнем организованности кадров;

- повышения квалификации менеджеров, которые получили опыт введения системы в действие, вовлечения всего персонала в процесс внедрения;

- повышения конкурентоспособности компании в глазах клиентов;

- готовности предприятия к дальнейшим действиям по усовершенствованию качества продукции, производственных процессов и внедрению нововведений в области качества.

Однако, в процессе исследования стало очевидным основополагающее значение человеческого фактора, который оказал решающее влияние на внедрение этой системы. На первое место выдвинулись такие проблемы как нежелание и неспособность работников осознать важность, эффективность и обоснованность внедрения элементов системы. Рабочие, занятые производственными вопросами, не желали принимать предложения и воспринимали систему как дополнительную работу, требующую к тому же финансовых вложений. Сам процесс изучения и постепенного внедрения системы «Упорядочение» показался работникам слишком хлопотным и сложным, в связи с чем даже перспектива получения преимуществ не вызвала энтузиазма.

Проведенный на предприятии опрос работников, а также изучение аналитического материала, позволили выявить основные причины такого отношения:

Во-первых, работники завода были убеждены, что внедрение системы произойдет только на документальном уровне и не распространится на производственную среду. Это объясняется тем, что персоналом не выполняются в полной мере существующие предписания руководства и должностные инструкции. Такой неправильный подход работников к своим обязанностям во многом ухудшает показатели деятельности предприятия и качества продукции.

Во-вторых, использование системы люди считают необязательным, не видя в ней пользы, так как их устраивает тот уровень организованности, который имеет место на предприятии в данный момент.

В-третьих, многие работники не желают детально вникать в суть системы, пытаться оценить преимущества, которые она позволяет получить. Нет заинтересованности и вовлеченности всего персонала. Системой интересуются лишь некоторые работники, у основной же массы не сформировано серьезное отношение к нововведениям. Поэтому руководство, используя свой авторитет, должно принимать непосредственное участие в разъяснении персоналу важности и необходимости внедряемой технологии.

В-четвертых, на государственном предприятии уровень заработной платы все еще остается невысоким, в связи с чем люди не желают выполнять дополнительную работу без дополнительного вознаграждения.

В-пятых, персонал вяло воспринимает идею рационального размещения необходимых предметов: действуют старые привычки, нет желания искать новые варианты, прилагать усилия по переустройству рабочих мест. Для улучшения такой ситуации следует разработать систему мотивации для работников.

Список использованных источников: 1. *Ватт К.* Практическое внедрение принципа 5S. Американский взгляд на российские возможности // *Методы менеджмента качества.* – 2003, №12. – С. 11-15. 2. *Дерябин П.М.* Почему нужно внедрять систему «Упорядочение» // *Методы менеджмента качества.* – 2004, №2. – С.13-16. 3. *Искандарян Р.А.* Система 5S в контексте TQM // *Методы менеджмента качества.* – 2003, №11. – С. 4-8. 4. *Канне М. М., Иванов Б. В., Корешков В.Н., Схиртладзе А. Г.* Системы, методы и инструменты менеджмента качества. Издательство: "ПИТЕР", – 2008. 5. *Пшеничкова М.В.* Внедрение системы «Упорядочение» в технических службах // *Методы менеджмента качества.* – 2004, №7. – С. 22-26. 6. *Растимешин В.Е., Куприянова Т.М.* Как приступить к внедрению системы «Упорядочение» // *Методы менеджмента качества.* – 2003, №8. – С. 17-22. 7. *Растимешин В.Е., Куприянова Т.М.* Как «выращивается» бережливое производство // *Методы менеджмента качества.* – 2007, №8. – С. 4-8, №9. – С. 7-13.

Поступила в редколлегию 15.03.2010

О.І. Момот, д-р екон. наук, П.І. Самойлов, Донецьк, Україна

РЕІНЖІНІРИНГ – ОДИН З ШЛЯХІВ ПО ВИХОДУ УКРАЇНСЬКИХ ПІДПРИЄМСТВ ІЗ СВІТОВОЇ КРИЗИ

Стаття присвячена переосмисленню і радикальному перепроєктуванню бізнес-процесів (реінжинірингу). Запропоновано етапи використання реінжинірингу для українських підприємств. Приведено розроблений алгоритм проведення реінжинірингу. Приведенні рекомендації для проведення реінжинірингу на українських підприємствах.

Ключові слова: реінжиніринг, бізнес-процес, радикальне перетворення, поліпшення, якість, криза, економічний ефект, перепроєктування

Статья посвящена переосмыслению и радикальному перепроектированию бизнес-процессов (реинжиниринг). Предложены этапы использования реинжиниринга для украинских предприятий. Приведен разработанный алгоритм проведения реинжиниринга. Приведены рекомендации для проведения реинжиниринга на украинских предприятиях.

Ключевые слова: реинжиниринг, бизнес-процесс, радикальное превращение, улучшение, качество, кризис, экономический эффект, перепроектирования

Paper is devoted to rethinking and radical redesign of business processes (reengineering). Proposed phases of reengineering for Ukrainian enterprises. An algorithm is developed for reengineering presents recommendations for reengineering at Ukrainian enterprises.

Keywords: reengineering, biznes-process, radical transformation, improvement, quality, crises, economic effect, pereproektuvannya

Постановка проблеми

В умовах сучасної економічної кризи дуже багато питань постає перед суб'єктами господарювання з приводу мобілізації внутрішнього економічного потенціалу для подолання фінансових проблем, а також труднощів, що пов'язані з оптимізацією власного капіталу, скороченням персоналу, переходом на скорочений робочий день, нестачею власних обігових коштів, збільшенням кредиторської заборгованості, неможливістю своєчасно сплачувати заробітну плату працівникам. Необхідно відзначити, що дуже багато бізнес-процесів у виробничій системі підприємства є неефективними, що спонукає топ-менеджмент переглядати функціональні складові виробництва, вести пошук альтернативних варіантів виходу з кризи. Треба зазначити, що не завжди саме удосконалення бізнес-процесів може привести до суттєвих позитивних результатів. Усе це, зрозуміло, визначається в індивідуальних випадках, але треба зауважити, що дуже велика необхідність

виникає в підприємств у сучасних умовах саме до використання реінжинірингових заходів, завдяки яким можна здійснити перепроєктування бізнес-процесів під потреби сучасного ринкового середовища з урахуванням впливу на нього кризових явищ в економіці.

Реінжиніринг бізнес-процесів (Business Process Reengineering – BPR) – це такий підхід до управління, який дозволяє зробити «прорив», дає різке підвищення продуктивності й ефективності діяльності підприємства, на відміну від постійного щоденного поліпшення бізнес-процесів. BPR – це фундаментальне переосмислення і радикальне перепроєктування бізнес-процесів з метою досягнення істотного поліпшення якості функціонування.

Оскільки кожне поліпшення якості викликає економію за багатьох статтями витрат, які зв'язані з переробками браку, виробничими відходами, проведенням перевірок, поверненням продукції покупцям і так далі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питання реінжинірингу бізнес-процесів не є новим у сучасній науковій літературі. Сучасні підходи щодо обґрунтування ефективності реалізації реінжинірингу та практичного втілення реінжинірингу бізнес-процесів досліджені і розроблені відомими зарубіжними вченими. Серед зарубіжних варто назвати Зіндера Е., Оболенскі Н., Хамера М., Робсона М., Чампі Д., Фезе Е., Улаха Ф. та інших. Значний внесок у дослідження питання реінжинірингу зробили також вітчизняні вчені: Абдікеев Н., Данько Т., Железко Б., Ільдеменов С, Ільїн В., Кисельов А., Мединський В., Тельнов Ю., Черемних О.С., Черемних С.В.

Метод реінжинірингу взятий на озброєння провідними компаніями світу. Але для України реінжиніринг бізнес-процесів – відносно новий підхід до управління. Його поява пов'язана з розвитком інтересу до реструктуризації бізнесу в нових умовах. У роботах українських дослідників цьому підходу приділяється все ж не достатньо уваги. Реінжиніринг поки що мало застосовується у вітчизняному бізнесі. Тому необхідно розібратися в суті реінжинірингу як одного з напрямів запобігання кризовим явищам на підприємствах України.

Формулювання мети:

Метою даної статті є опис однієї з можливих шляхів виходу українських підприємств з світової кризи.

Виклад основного матеріалу:

Родоначалником терміну «реінжиніринг» вважається Майкл Хаммер. За його визначенням, *реінжиніринг* — це фундаментальне переосмислення і

радикальне перепроєктування бізнес-процесів з метою досягнення істотного поліпшення якості функціонування. Реінжиніринг бізнес-процесів (РБП) - це сукупність методів і засобів, призначених для кардинального поліпшення основних показників діяльності підприємства шляхом моделювання, аналізу і перепроєктування існуючих бізнес-процесів. РБП застосовується за необхідності радикальних змін, що передбачає створення цілком нових, ефективніших бізнес-процесів на підприємстві без урахування їх старої організації.

Визначення РБП містять в собі три ключові характеристики: «істотне поліпшення», «радикальне перепроєктування» та «бізнес-процес». Саме розкриття змісту ключових слів приводить до розуміння суті реінжинірингу.

Істотне поліпшення – це не просто підвищення певного параметру підприємства або покращення роботи окремої ланки організації на визначений відсоток. Це якісний перехід до нового рівня ефективності бізнесу, здійснення прориву. Критерій реінжинірингу – разючий прорив в ефективності функціонування.

Радикальне перетворення означає звернення до першопричин речей. Тобто реінжиніринг – не поліпшення існуючого положення речей, не проведення косметичних заходів та часткових змін, не перетасування вже існуючих систем функціонування організації. Це відмова від того, що було раніше, новий винахід того, як робота повинна бути виконана [1].

Третє ключове слово у визначенні – «бізнес-процес» слід розглянути окремо та більш детально.

За сучасних умов мінливого бізнес-середовища головним завданням підприємства стає швидке реагування на зміни і відповідне впровадження адекватних заходів в організації і веденні власної підприємницької діяльності. Більшість організацій сьогодні побудовано за функціями і рівнями ієрархії. Широко використовується функціональне управління, що породжує значні труднощі. Зокрема, різні функціональні підрозділи підприємства часто мають дуже вузький погляд на його діяльність і не зацікавлені в тому, що їх безпосередньо не стосується. Обмін інформацією також часто значною мірою гальмується через надмірну схильність до бюрократичних звичок передавати повідомлення нагору по ланцюжку.

З огляду на це сьогодні дедалі популярнішим стає визначення взаємозв'язків всередині підприємства на виокремленні в організації не певних підрозділів, виконуючих визначені функції, а так званих бізнес-

процесів, тобто процесів, що наскрізно проходять через усі рівні організації і відповідають за будь-яку певну дію від початку і до кінця.

Процеси завжди були і є в будь-якій організації. Але об'єктами управління вони стали відносно недавно і лише в окремих підприємствах. Під *бізнес-процесом* у широкому значенні розуміється структурована послідовність дій з виконання певного виду діяльності на всіх етапах життєвого циклу предмета діяльності — від створення концептуальної ідеї через проектування до реалізації і результату (здача в експлуатацію об'єкта, постачання продукції, надання послуг, закінчення певної фази діяльності), тобто певний системно-замкнений процес.

Бізнес-процес можна подати як об'єкт, що характеризується поняттями, наведеними на рис. 1.

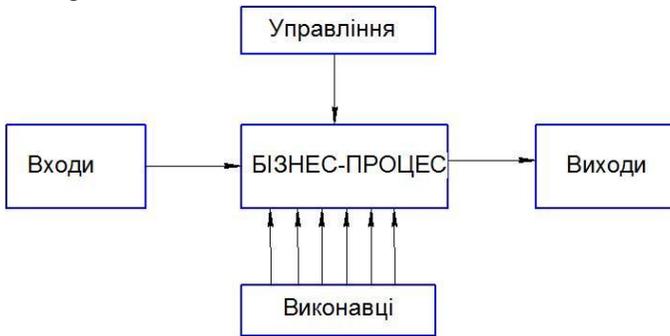


Рисунок 1 – Визначення бізнес-процесів організації

Об'єктом реінжинірингу є не організації, а процеси. Компанії піддають реінжинірингу не свої відділи продажів або виробництва, а роботу, що виконується персоналом цих відділів [2].

Реінжиніринг базується на використанні *сучасних інформаційних технологій* для досягнення нових ділових цілей. Сучасні інформаційні технології, з одного боку, прискорюють зв'язки учасників бізнес-процесів, а, з другого боку, підвищують якість прийнятих рішень в ході виконання бізнес-процесів.

Реінжиніринг володіє наступними властивостями:

- відмова від застарілих правил і підходів і початок ділового процесу як би з «чистого аркуша». Це дозволяє здолати негативну дію господарських догм, що склалися;

- зневага системами, що діють, структурами і процедурами компанії і радикальна зміна способів господарської діяльності;

- якщо неможливо переробити своє ділове середовище, то можна переробити свій бізнес;

- приведення до значних змін показників діяльності (на порядок тих, що відрізняються від попередніх) [3].

Перш за все, треба зазначити, що впровадження РБП в Україні має специфічні особливості, пов'язані зі спадщиною, що дісталася вітчизняним підприємствам від командно-адміністративної системи управління економікою.

Організаційна структура більшості українських підприємств незалежно від їхньої галузевої приналежності і юридичного статусу була спрямована на виробництво; створена ієрархічна, авторитарна система управління, непрозора і найчастіше неадекватна система контролю, що зводить нанівець мотивацію персоналу. Недоліки такої структури полягають у:

- невідповідності планів реаліям,
- складності адаптації до змін навколишнього середовища,
- складності підтримки якості, необхідної споживачу,
- дублюванні функцій різноманітними підрозділами підприємства, що призводить до збільшення накладних витрат і затягнутого прийняття рішень.

Так, реінжиніринг припускає такі зміни в організації бізнесу вітчизняних компаній:

- скасування менталітету "плановиків"; трансформація бюрократичної системи управління підприємства, орієнтація на потреби споживача, а не на виробництво;
- оптимізація організаційної структури підприємства, тобто підпорядкування її ринку.

Для ефективного впровадження реінжинірингу необхідно абстрагуватися від існуючої функціональної організації бізнесу, піддавши сумніву прийняті методи управління компанією. Природно, що керівництву підприємств необхідно мати рішучість піти на зміни і намагатися сприймати ситуацію на підприємстві нібито "збоку" [4].

На думку Буценко І.Н. у вітчизняній практиці реінжиніринг доцільно застосовувати в наступних трьох основних ситуаціях.

По-перше, в умовах, коли підприємство знаходиться в стані глибокої кризи. Ця криза може виражатися в явно неконкурентному (дуже високому) рівні витрат, масовій відмові споживачів від продукту підприємства і тому

подібне. У сучасній українській економіці така ситуація характерна для державних і приватизованих підприємств традиційних галузей - машинобудівної, текстильної, аграрної сфери. Ситуація кризи посилюється такими чинниками, як скорочення традиційних ринків сировини, відсутність сталих структур і процедур, що мінімально відповідають вимогам ринкового середовища, фінансова криза і низький рівень фінансового управління і т. д.

По-друге, в умовах, коли поточне положення підприємства може бути визнане задовільним, проте прогнози його діяльності є несприятливими. Підприємство стикається з небажаними для себе тенденціями в частині конкурентоспроможності, прибутковості, рівня попиту і т. д. Така ситуація характерна для багатьох українських банків, фінансових компаній, комерційних організацій.

По-третє, реалізацією можливостей реінжинірингу займаються благополучні, швидкокорослі і агресивні організації і підприємства. Їх завдання полягає в прискореному нарощуванні відриву від найближчих конкурентів і створенні унікальних конкурентних переваг. Застосування реінжинірингу в цій ситуації є кращим варіантом ведення бізнесу. Багато підприємств вважають, що знайшли якнайкращу модель бізнесу, в якій не варто що-небудь істотно змінювати. З часом подібний підхід приводить до того, що конкуренти наздоганяють і випереджають такі підприємства, а самі підприємства все гірше адаптуються до попиту і ринкової кон'юнктури в цілому. Тому реінжиніринг виступає як засіб виживання в сучасних умовах [5].

Для більшості українських підприємств найбільш актуальний у наш час є кризовий реінжиніринг, потенціал якого служить основним чинником успішного і стабільного розвитку. Ода з найбільш істотних переваг реінжинірингу - здатність сприяння швидким змінам в бізнесі, що забезпечують можливість не тільки зберегти місце на ринку, але і добитися у відносно короткі терміни крутого перелому, міцного фінансового положення, високого суспільного іміджу.

Проаналізувавши світовий практичний досвід реінжинірингу, можна запропонувати наступні етапи використання реінжинірингу для українських підприємств:

1. Цільовий етап

Постановка кінцевої мети проекту. На цьому етапі треба визначитися з вимірювальними масштабами проекту (внутрішньофункціональний, міжфункціональний, міжорганізаційний). Внутрішньофункціональний – напрямком проекту є окремі завдання, дії, функції. Міжфункціональний –

напрямом проекту є міжфункціональні бізнес-процеси в організації. Міжорганізаційний - проект поєднує не одну конкретну організацію, а декілька, які входять в ділові відношення одна з однією («компанія та її клієнти» або «постачальників та компаній»). Для всього цього використовуються методи та засоби моделювання та аналізу.

2. Вибірний етап

Обрання шляхів та напрямку розвитку підприємства. Треба обрати конкретні задачі та цілі підприємства; визначитися з споживачами свого товару, з їх потребами та вимогами; обрати «ринок» свого товару. На цьому етапі можливо проводити свої дослідження або орієнтуватися на досвід інших компаній, навіть на досвід конкурентів, додавши свою «родзинку».

3. Проектний етап

Планування процесу. На цьому етапі треба дотримуватися певних вимог:

- проведення здійснюється фахівцями;
- оптимізація цільової функції;
- збільшення продуктивності (за рахунок скорочення тривалості виробничого циклу);
- складання критеріїв ефективності та результативності процесів;
- систематизування контролю процесу.

4. Реструктуризація підприємства

Складання нової структури підприємства та вироблення певної кадрової політики. На даному етапі треба забезпечити ефективну роботу функціонування нових процесів. Для цього потрібно проаналізувати наслідки запропонованого рішення, сформулювати модель нової структури підприємства, не забуваючи про вкладення принципів корпоративної культури в нову структуру. Це допоможе розподілити взаємини та повноваження в новому підприємстві, дасть можливість визначити кількість та види потрібних посад, необхідні вимоги до їх зайняття: кваліфікацію та її рівень, потрібність навчання.

5. Технологічний етап

На даному етапі треба сформулювати вимоги до експлуатаційних, функціональних, технічних характеристик нових концепцій та технологій. Проводиться оцінювання їх дії на роботу підприємства. Виходячи з оцінювання обираються технології, які будуть ефективними для даного підприємства.

6. Технічний етап

Визначення сукупності споруд, будівель, систем і служб, необхідних для функціонування галузей матеріального виробництва та забезпечення умов діяльності підприємства. На цьому етапі визначаються характеристики приміщень, узгоджуються плани та проекти приміщень та необхідні для забезпечення умов діяльності підприємства системи (енергетична система, система водопостачання, вентиляція і т.д.).

7. Виконавчий етап

Виконання політики підприємства. На цьому етапі визначається які зміни треба провести у внутрішній політики для досягнення поставлених задач та цілей. Тут треба визначити чи треба змінювати політики підприємства чи будувати нові процеси на основі вже існуючої політики.

8. Активізуючий етап

Активізування доступних ресурсів для здійснення проекту. Цей етап проводиться для забезпечення максимально швидкої та ефективної віддачі від нового проекту. Складається бюджет витрат, оцінюються переваги та ризики кожного рішення. Складається план роботи по кожному напрямку, який включає мету, проблеми, ресурси та відповідальних осіб. Впроваджується стратегія управління процесом для збільшення успішності реалізації проекту.

9. Реалізаційний етап

Для перевірки дієвості розроблених підходів та рекомендацій необхідне здійснення «пілотних проектів», які продемонструють їх ефективність та результативність. Для досягнення швидкого успіху потрібно швидко їх реалізувати. В процесі утілення реінжинірингу можливо отримати швидкий ефект при мінімальному залученні ресурсів.

10. Аналіз результатів

Проведення аналізу результатів та порівняння з поставленою метою. Якщо мета не досягнути потрібно виявити причини недосягнення та їх усунути.

Розроблений алгоритм проведення реінжинірингу приведено на рис. 2

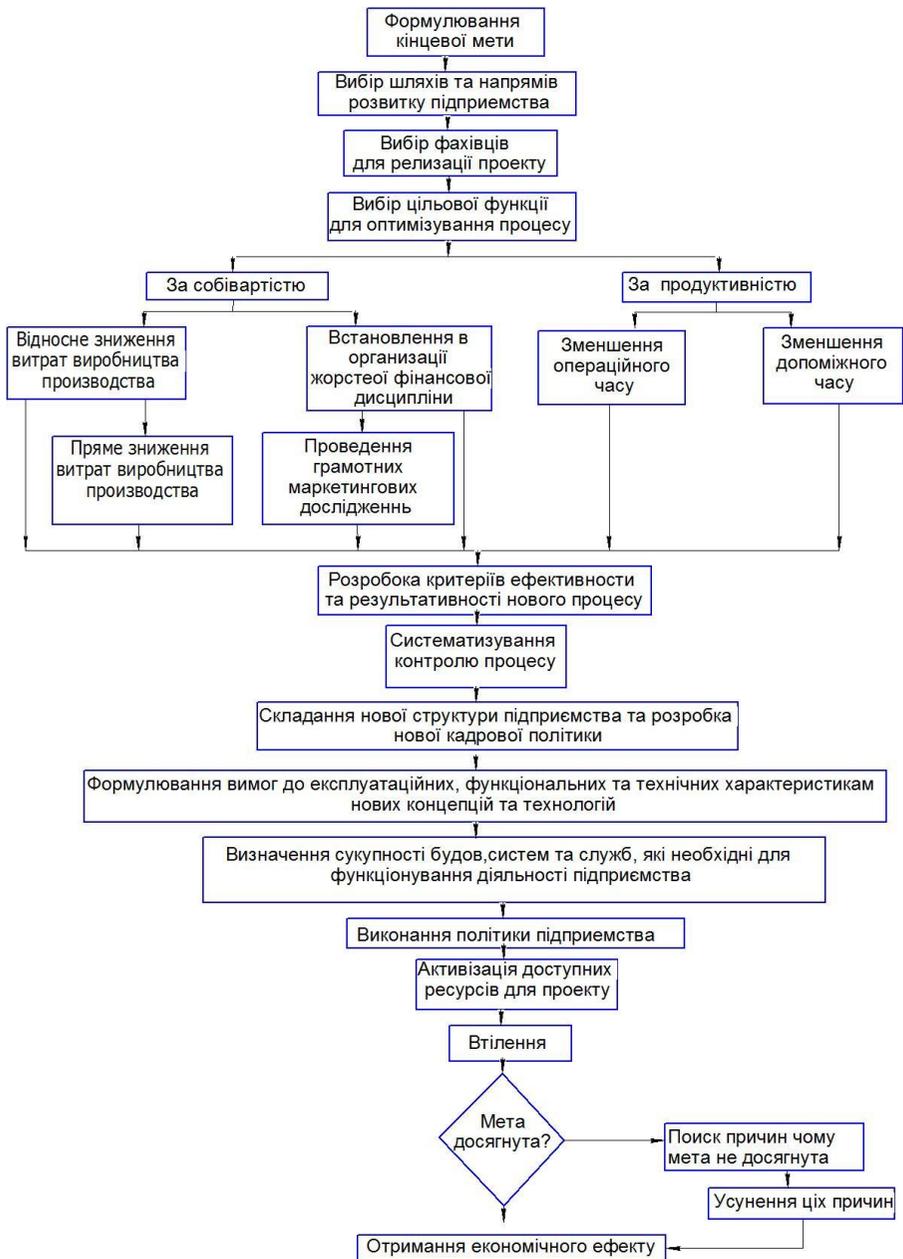


Рисунок 2 – Розроблений алгоритм проведення реінжинірингу

Виводи з даного дослідження і перспективи:

1. Реінжиніринг – є актуальним способом оптимізації діяльності підприємства в Україні, бо більшість підприємств працюють за старими процесами та організаційним структурам, які віджили своє.

2. В час світової кризи українські підприємства мають потребу у кризисному реінжинірингу. Це дасть спромогу вітчизняним підприємствам не тільки зберегти своє місце на світовій арені, але й відносно у короткий час покращити своє фінансове становище, що у даний час буде сприяти поліпшенню громадського іміджу.

3. Для більш успішнішого реінжинірингу потрібно в першу чергу мотивація, керівництво, комунікації, співробітники.

4. Реінжиніринг дасть спромогу переоцінити процеси підприємства, провести перерозподіл ресурсів, що забезпечить більшу продуктивність. Це різко, стрибкоподібно покращить показники діяльності підприємства.

5. Реінжиніринг потрібно розглядати як впровадження сучасних технологій та концепцій для випередження конкурентів, виведення цілей підприємства на новий, більш високий рівень.

Список використаних джерел: 1. *Хаммер М., Чампи Дж.* Реінжиніринг корпорації: Манифест революції в бізнесі. Пер. с англ. –СПб.: Издательство С.-Петербургского университета, 1997. 332с. 2. *Анна Быкова* Реінжиніринг корпорації «Економические стратегии», 2000, №3, с. 107-117. 3. *Буценко И.Н.* Реінжиніринг – зарубіжний підхід к обновлению бизнеса в Украине // Экономика и управление. - 2005 - № 6., с 11-16. 4. *Оксана Щегельська* Реінжиніринг бізнес-процесів — необхідність в умовах динамічного ринку [«Рынок капитала»](#) 1999 р. №1-2. 5. *Момот А.И.* Экономический механизм управления качеством // Министерство образования и науки Украины. ДонНТУ. – Донецк: Норд-Пресс, 2005. – 383 с.

Поступила в редколлегию 15.02.2010

С.А. Назаренко, канд. техн. наук,
В.Н. Бурлаенко, канд. техн. наук, Харьков, Украина

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДЕФЕКТОВ ИЗДЕЛИЙ

В статті розглянуто деякі проблеми, які виникають при розробці математичних моделей ідентифікації дефектів машин на основі метода скінченних елементів та аналізу чутливості. Розглянуті задачі розрахунку на власні коливання тришарової пластини, яка має дефект, та аналізу чутливості власних частот робочого колеса компресору.

Рассмотрены некоторые проблемы, возникающие при разработке математических моделей идентификации дефектов изделий на основе метода конечных элементов и анализа чувствительности, обладающих высоким уровнем адекватности реальным физико-механическим процессам различной природы. Решены задачи расчета на свободные колебания поврежденной трехслойной пластины и анализа чувствительности собственных частот закрытого рабочего колеса компрессора газоперекачивающего агрегата.

Problems arising to develop mathematical models based on the FEM and the sensitivity analysis for detection and identification of defects are considered. The free vibration analysis of a damaged tree layer composite plate and sensitivity analysis of natural frequencies of a compressor wheel are solved. Computational stages to obtain gradients of constructional functional are investigated. Application domain for developed mathematical apparatus is discussed.

На смену этапу применения локальных технологий приходит период внедрения сквозной интегральной автоматизации процессов оптимального проектирования, инженерных расчетов, технологической подготовки, изготовления, управления новыми разработками и сопровождения изделия в течение всего его жизненного цикла класса CAD/CAM/CAE/CAPP/PLM/ERP/PDM/MES [1-5]. Диагностика является основой управления техническим состоянием на различных стадиях жизненного цикла изделия, представляет собой логически последовательный процесс действий с целью получения достаточной информации о месте неисправности и прогноз поврежденной конструкции. Сохранение проектного качества до требований нормативных показателей на стадии изготовления обеспечивается технологической подготовкой производства [3], при эксплуатации и ремонте обеспечивается контролем функционалов состояния (виброакустических, термогазодинамических и других) на соответствие требованиям эксплуатационных норм. Для создания эффективных средств диагностирования и технологий контроля технического состояния необходимо развитие методического, программного, математического, информационного, технического и другого обеспечения.

Прогресс современной вычислительной техники способствовал интеграции соответствующих CAE-технологий для так называемой

симуляции и инженерного анализа моделирования виртуальных испытаний (Simulation & Analysis – S&A) [1-5]. Математический аппарат обратных задач для систем с распределенными параметрами позволяет решать задачи диагностики состояния различных изделий по результатам наблюдений за ними [6]. Получение обратного оператора для краевой задачи при численной реализации приводит к значительным трудностям (например, плохой обусловленности). Аналитические методы, используемые для решения обратных задач, базируются, как правило, на построении функции Грина в сочетании с методами оптимизации и ограничены классическими постановками.

При моделировании дефектов изделий более мощным и универсальным представляется метод конечных элементов [7,8]. При диагностировании требуется формальное отображение дефектов при функционировании изделий. Исходной информацией для этого служит математическая модель изделия при его нормальном функционировании. Появление дефекта приводит к изменению параметров модели, при этом обычно ее структура подобна исходному изделию и отличается от него отдельными компонентами. На первом этапе диагностирования достаточно зафиксировать возникновение дефекта, затем необходимо «локализовать» его. В число таких явлений входят поломки, трещины, повышенный износ и многое другое.

Целью данной работы была разработка моделей идентификации дефектов изделий на основе метода конечных элементов и анализа чувствительности, обладающих высоким уровнем адекватности реальным физико-механическим процессам различной природы; решение на их основе ряда практических задач.

Первым этапом комплексного моделирования сложных составных конструкций является создание конструкторами в САД-системе достоверной объемной электронной (цифровой) модели прототипов (Digital Prototyping). Модель геометрии изделия в компьютерном виде является базовым, содержащим эталонные координаты точек поверхности детали в принятой системе координат. При базовом состоянии изделия его структура свойства (техническое состояние) находятся в соответствии с нормативной документацией и соответствуют его работоспособному состоянию. Параметрическая диагностика базируется на том, что отклонения в работе изделия определяются путем сопоставления анализируемого функционала состояния, полученного с помощью измерений, с базовым значением.

Математизация структурной диагностической модели позволяет установить определенные связи между варьируемыми параметрами (распределение толщины; физико-механических свойств материалов и другое) и функциональными характеристиками. В зависимости от условий решаемой задачи объект может описываться как линейными, так и нелинейными уравнениями. Если это возможно, то имеет смысл решать хотя

бы в первом приближении линейное (линеаризованное) уравнение. Применительно к задачам контроля и диагностирования линейные зависимости пригодны для моделирования неисправностей, если процесс их развития не сопровождается значительными отклонениями параметров, характеризующих состояние объекта.

В качестве диагностической модели рассматривается формальное описание объекта, представленное в аналитической форме уравнениями метод конечных элементов (КЭ). При этом можно получить соотношения, характеризующие изделие при изменении его состояния. Например, решение задачи анализа чувствительности конструкций в резонансном и окологрезонансном состоянии сводится к исследованию функционалов, зависящих от резонирующей собственной частоты и формы колебаний $J(\bar{u}, \bar{y})$

$$[K - \lambda M]\bar{y} = \bar{0}, \quad \lambda = \omega^2, \quad (1)$$

где \bar{y} – собственный вектор узловых перемещений (для метода перемещений); λ – собственное значение; ω – собственная частота; $M(\bar{u})$ – матрица масс системы; $K(\bar{u})$ – матрица жесткости системы; \bar{u} – вектор варьируемых конструктивных параметров системы.

Анализ чувствительности изделий представляет информацию о характере изменения состояния конструкций при изменении варьируемых параметров [5]. Математическая постановка этой задачи заключается в определении производных от функционала качества по варьируемым параметрам. Эти функциональные производные характеризуют направление и скорость изменения функционала при изменении варьируемых параметров. Предварительный анализ распределения производных позволяет выделить зоны наиболее и наименее существенного влияния на механические показатели переменных проектирования, вследствие чего появляется возможность выбрать минимальный набор варьируемых параметров и за счет этого повысить эффективность и быстродействие вычислительного процесса.

Продифференцируем соотношение (1) по варьируемому переменным, умножим полученное выражение скалярно на \bar{y} , отбросим слагаемые, которые в силу симметричности матрицы динамической жесткости и в силу (1) обращаются в нуль; получим соотношение для градиента собственного значения

$$\lambda'_{u_i} = \bar{y}^T [K' - \lambda M'] \bar{y} / \bar{y}^T M \bar{y} \quad (2)$$

Принципиальной проблемой анализа чувствительности является характер введения варьируемых параметров. При выборе того или иного варианта введения варьируемых параметров необходимо учитывать: требование взаимной независимости, преимущества аддитивного и локального характера зависимости гамильтониана от варьируемых

переменных; согласование КЭ-дискретизации конструкции со схемой варьирования ее формы при анализе чувствительности; сохранение в пространстве допустимых конструктивных форм справедливости принятых математических моделей; технологическую реализуемость допустимых вариантов и др. Переменные проектирования можно разделить на глобальные параметры, описывающие конструкцию в целом (например, характерные размеры в плане, радиусы главных кривизн и т.д.), и локальные, описывающие геометрические и физические параметры части конструкции (например, распределение толщины). Как видно из соотношений (2) в первом случае нужно брать производные от характерных матриц всей конструкции, а во втором – от матриц гораздо меньшей размерности

$$K = \sum_i k_i \quad K'_u = k'_u,$$

где k – матрица жесткости отдельного конечного элемента.

При определении функциональных производных возникает проблема дифференцирования характерных матриц, которая вызывает затруднения при неявном задании матриц конечных элементов. В этом случае могут быть применены конечноразностные схемы или неявные процедуры, повторяющие алгоритм построения характерных матриц КЭ. При этом, как видно из соотношений (2), производные локальных матриц по проектным переменным рационально использовать в «связке» с соответствующими компонентами векторов сопряженных переменных и переменных состояния. Такой подход решает многие из перечисленных проблем, а главное, позволяет унифицировать математический аппарат анализа чувствительности

Картины производных можно использовать при разработке рациональной системы технологического контроля наиболее ответственных геометрических размеров при изготовлении, а также дефектности после некоторого периода эксплуатации. При этом коэффициенты чувствительностей используются совместно с анализом общих закономерностей формирования и тенденций изменения спектра собственных частот при варьировании геометрическими и физическими параметрами. Зная спектры собственных частот идеальной (или базовой) и исследуемой конструкции, можно из решения системы линейных уравнений определить величины отклонений конструктивно-технологических параметров вследствие погрешностей изготовления или дефектов эксплуатации.

Для обеспечения оценки работоспособности изделия в нормативной документации необходимо нормировать допускаемые отклонения параметров. Для приближенной оценки характеристик конструкций с малыми изменениями $\Delta \vec{u}$ от базового варианта \vec{u}_0 , может использоваться оперативный пересчет

$$J \approx J_0 + \vec{\nabla}_u^T J_0 \Delta \vec{u}.$$

В качестве практического приложения выше рассмотренной методики рассмотрим расчет на свободные колебания свободно опертой трехслойной прямоугольной пластины 180×135 мм общей толщины - 7 мм, поврежденной в центре. Верхний и нижний слои пластины толщиной 1 мм сделаны из упрочненного пластика, средний слой толщиной 5 мм - из легкого пористого алюминиевого материала. Данные для материалов пластины указаны в таблице. Под повреждением в пластине понимается круглая область отслоения ее верхнего слоя от среднего, подобный дефект является одним из наиболее распространенных в слоистых структурах. Для описания планарного размера дефекта вводится параметр $D\%$, определяющий в процентном содержании часть площади области отслоения к общей площади плана пластины.

Таблица – Физико-механические характеристики.

Упрочненный пластик	$E_x=140$ ГПа, $E_y= E_z=10$ ГПа, $G_{xy}= G_{xz}= 4.6$ ГПа, $G_{yz}= 3.8$ ГПа, $\nu=0.25$, $\rho= 1650$ кгм ⁻³
Алюминиевые слой	$E_x=0.461$ МПа, $E_y= 0.461$ МПа, $E_z=1.494$ ГПа, $G_{xy}=0.194$ МПа, $G_{xz}=341.7$ МПа, $G_{yz}= 192.1$ МПа, $\rho=57.17$ кгм ⁻³

Конечноэлементная модель исследуемой пластины, созданная с использованием пакета прикладных программ ABAQUS [9] приведена на рис. 1(а). Отметим, что конечноэлементная сетка разделена на три области: I - зона отслоения с мелким разбиением, II – зона вокруг области отслоения с постепенно уменьшающей плотностью разбиения, III – зона без отслоения с грубой разбивкой на конечные элементы. Частичное нарушение связи между слоями пластины в области отслоения моделировалось созданием пустоты между ними толщиной равной 1% от толщины верхней пластины. Для этого использовались двойные узлы, имеющие одинаковые координаты в плане и различные по толщине пластины, рис.1(б). С целью не допустить физически невозможное перекрывание отслоенных участков были введены трехмерные пружинные элементы между двойными узлами, рис.1(б). Более детальное описание конечноэлементной модели можно найти в работе [10].

Задача об определении собственных частот и форм колебаний решена с использованием процедур Ланцоша и метода вращений Якоби. Влияние присутствия области отслоения, как индикатора чувствительности, показано сравнением значений собственных частот и форм колебаний поврежденной пластины и пластины без повреждения. Результаты расчетов показывают, что, в общем, поврежденная пластина имеет собственные частоты ниже, чем неповрежденная. Причем такой сдвиг в частотах увеличивается с повышением моды колебаний. На рис. 2 показано сдвиг собственных частот поврежденной пластины по отношению к соответствующим частотам неповрежденной для разных мод колебаний.

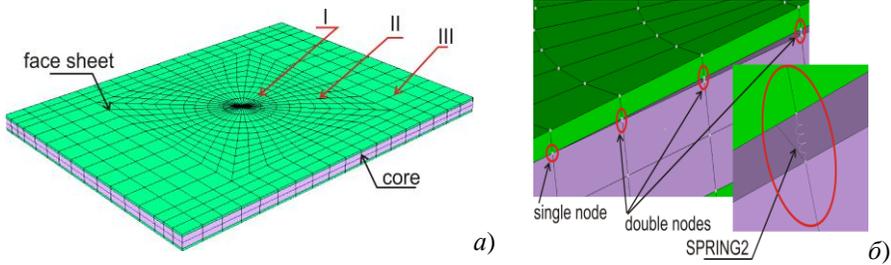


Рисунок 1 – Конечноэлементная модель трехслойной пластины с дефектом в центре

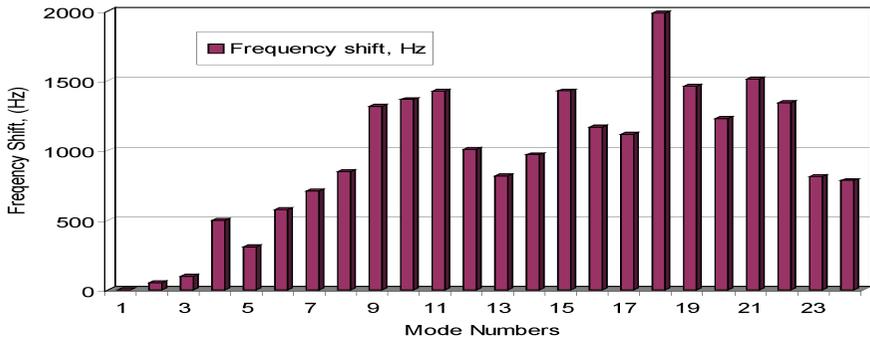


Рисунок 2 – Сдвиг собственных частот поврежденной пластины

На рис. 3. показаны первые шесть собственных частот и форм колебаний поврежденной пластины. Собственные формы колебаний поврежденной пластины обладают не только глобальными, но и локальными деформациями в области отслоения, относительная величина которых зависит от симметрии или асимметрии собственной формы.

С целью демонстрации дополнительных возможностей предлагаемого подхода рассмотрим центробежное колесо турбокомпрессорного агрегата, имеющее сложную пространственную форму, обусловленную требованиями обеспечения газодинамических характеристик потока с минимальными потерями (рис. 4). Конструкция закрытого колеса включает в себя ступицу, переходящую в основной (несущий) диск; покрывающий (покрывной, наружный) диск, который может переходить в уплотнительное кольцо; рабочие лопатки, соединяющие диски. Основной и покрывающий диски, уплотнительное кольцо и ступица представляют собой осесимметричные тела вращения. В идеальном случае рабочее колесо компрессора обладает поворотной циклической симметрией (является циклически симметричной конструкцией - ЦСК), т.е. будучи повернутым относительно оси вращения на любой угол, кратный $360/N$, где N -число лопаток, сохранит инвариантность

своих геометрических и физических свойств, определяемых в неподвижной системе координат.

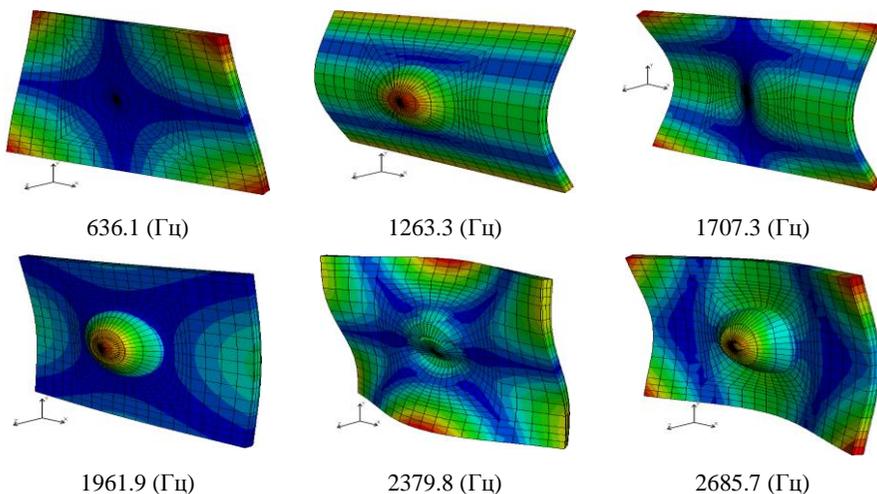


Рисунок 3 – Собственные формы колебаний пластины с дефектом в центре

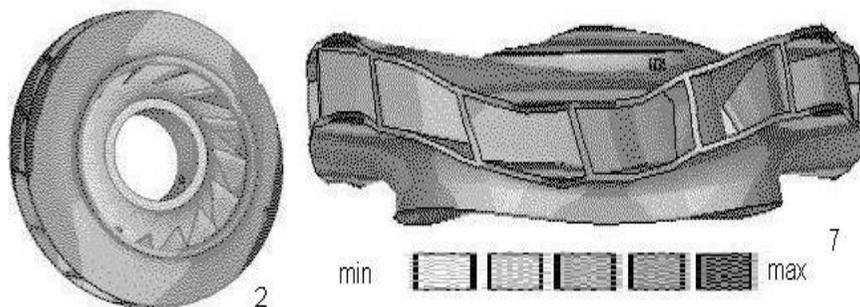


Рисунок 4 – Картины производных 2, 7 собственных частот рабочего колеса первой ступени газоперекачивающего турбокомпрессора к изменению распределения приведенного модуля упругости (жесткостным характеристикам)

Рабочие колеса компрессоров считаются связанными ЦСК, так как основные рабочие подструктуры которых (лопатки) из соображений прочности и функционального назначения объединены замкнутыми конструктивными элементами, представляющими деформируемые участки дисков, направляющих газовый поток. Наложение распределения толщин на срединную поверхность образует поверхности корытца и спинки, а

пересечение их с коническими поверхностями меридиональных обводов прочной части полностью определяет лопатку колеса. Внутренний меридиональный обвод лопатки формирует границу осесимметричной ступицы, которая может иметь конусную или более сложную подрезку, сохраняющую циклическую симметрию колеса. При разработке конечноэлементной модели учитывались: тонкостенность лопаток при относительной массивности конструкции, ее технологическое членение, высокие требования к точности расчета, экспертная оценка влияния на расчетные характеристики элементов колеса.

Для анализа чувствительности собственных частот закрытого рабочего колеса компрессора газоперекачивающего агрегата для газлифтной добычи нефти, имеющего 15 секций, использовалась конечноэлементная модель на основе 20-узловых трехмерных изопараметрических конечных элементов (рис. 4). Светлыми тонами показана зона близких к нулю коэффициентов чувствительности, темными - экстремальных.

В статье рассмотрены некоторые проблемы, возникающие при разработке на единой научно-методологической основе математических моделей идентификации дефектов изделий на основе метода конечных элементов и анализа чувствительности, обладающих высоким уровнем адекватности реальным физико-механическим процессам различной природы. С целью демонстрации предлагаемых подходов решены задачи расчета на свободные колебания поврежденной трехслойной пластины и анализа чувствительности собственных частот закрытого рабочего колеса компрессора газоперекачивающего агрегата для газлифтной добычи нефти. С помощью цифрового прототипа изделия можно уменьшить число опытных образцов, ускорить выпуск конструкций на рынок.

Список литературы: 1. *Piegl L.A.* Ten challenges in computer-aided design. // Computer-aided design. -2005. - №37. - P. 461-470. 2. <http://www.cimdata.com/> 3. *Грабченко А.И., Доброскок В.Л., Чернишов С.И.* Система моделирования рабочих процессов интегрированных технологий. // Сучасні технології у машинобудуванні: Збірник наукових статей – Харків: НТУ «ХПІ», 2007. С. 236-268. 4. *F Flager, B Welle, P Bansal, G Soremekun* [Multidisciplinary process integration and design optimization of a classroom building](#) // Journal of Information Technology in Construction(ITcon). – 2009. - Vol. 14. - P. 595-612. 5. *Назаренко С.А* Анализ чувствительности конструкций при воздействии физических полей различной природы // Вестник НТУ «ХПИ». - 2006. - № 32. - С. 119-122. 6. *Ободан Н. И., Шульга А. С.* Идентификация дефектов в деформируемых телах // Проблемы машиностроения. – 2005. - №1 – С. 33-37. 7. *Z. Li, S. Xia, J. Wang, X. Su* Damage detection of cracked beams based on wavelet transform // International Journal of Impact Engineering. - 2006 - №32 (7). - P. 1190–1200. 8. *W. Xiang, X.F. Chen, Z.J. He, B. Li, Y.M. He* Identification of a crack in a beam based on the finite element method of a B-spline wavelet on the interval // Journal of Sound and Vibration. – 2006 - №296 (4,5). - P. 1046–1052. 9. ABAQUS User Manual: Version 6.6 / ABAQUS Inc. Pawtucket, Rhode Island, USA, 2006. 10. *Burlayenko V.N., Sadowski T.* Influence of skin/core debonding on free vibration behavior of foam and honeycomb cored sandwich plates // International Journal of Non-linear Mechanics. – 2009. - doi:10.1016/j.ijnonlinmec. 2009.07.02.

Поступила в редколлегию 27.04.2010

S. M. Radu, A. P. Petrar, C.Jujan, M. Hoara, C. Hanumolo, Petrosani, Romania

PERFORMANCES OBTAINED USING A FULL MECHANIZED COMPLEX AT LUPENI COLLIERY - ROMANIA

У статті розглядаються результати дослідження операції механізованого комплексу на шахті Лупень. Після короткої презентації гірничо-геологічних і операційних умов, а також конструктивно-експлуатаційних параметрів комплексу, у співвідношенні з отриманими результатами, приводиться ряд висновків, які сприяють поліпшенню експлуатаційних характеристик даного комплексу.

В статье рассматриваются результаты исследования операции механизированного комплекса на шахте Лупень. После краткой презентации горно-геологических и операционных условий, а также конструктивно-эксплуатационных параметров комплекса, в соотношении с полученными результатами, приводится ряд выводов, которые способствуют улучшению эксплуатационных характеристик данного комплекса.

In article results of research of operation of the mechanized complex on mine Lupen are considered. After brief presentation of mountain-geological and operational conditions, and also design data-operational of a complex, in the ratio with the received results, a number of conclusions which promote improvement of operational characteristics of the given complex is resulted.

Jiu Valley is the largest coal basin in Romania, where energetic bituminous coal is mined. Lupeni Mine is a subunit of CNH-SA Petrosani, its object being exploitation of Jiu Valley's bituminous coal reserves, the exploitation perimeter being in the western part of the valley, mining out seam 3, which in the area of blocks IV and IV west is 25 m thick as an average, 10° gradient, with no complicated tectonics, thus the mine can be mechanically mined out.

Considering the programme of modernization and restructuring of CNH-SA Petrosani the main direction is continuous development of technologies, exploitation methods and high productivity equipment in order to improve coal extraction in long powered faces. In the year 2007 a Polish Tabor type powered complex was purchased, which was mounted in block IV, panel 1C and panel 2C(Fig. 1) to mine seam 3 by inclined slicing method.

Tagor type powered complex is made up of TAGOR-18/37-Poz type powered sections, KSW-460NE type continuous miner and TAGOR 260/750 type conveyer.

The elements of the face support(Fig. 2), related to its portent capacity, are: beam as part of the support, individual or compound, that takes over the pressure of the rock in the roof to the section, the foot one of the main subassemblies of the support, transmitting the pressure of the roof to the floor, by hydraulic props

The powered section is provided with a series of accessories. By accessories we mean all support elements that do not take over and do not transmit support forces, but are required for the good functioning of the powered support in the face. Among those we mention the shifting system, which is a tool mounted in the foot of the support, used to move the support sections and of the face conveyer, in the direction of face advance, correcting assembly for section, which is a machine mounted in the section foot, used to correct its position, assembly of lifting the shoes is mounted in the support foot, used to move support sections and face conveyer, in the direction of face advance, lateral beam shields, posterior framing shields are machines used to protect the section's work space against ingress of relaxed rock mass, from the collapsed roof, catching shield is a mechanism linked to the support beam, which supports the face and hydraulic control system is made up of hydraulic control system elements, allowing execution of all the support functions of powered face support.

In the powered face support is envisaged to be working with a machine of 0,8 m undercut, a 750 mm wide trough face conveyer and TAGOR-18/37-POz/S and TAGOR-18/37-POz/P type face sections.

KSW-460NE type machine, Fig.3 with electric advance drive, with two booms working on the face conveyer in the Eicotrack type system without traction bar.

It is a two-way extraction with loading the material extracted in the stop of 25° transversal inclination upwards and up to 20° downwards with an up to 35° longitudinal inclination. For the entire inclination range the machine meets the stability requirements both stalled and during operation.

Due to high technical parameters the machine is intended to operate in high efficiency complexes. It is a self-portent machine of a compact design.

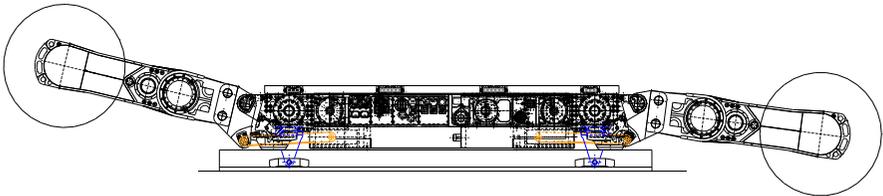


Figure 3 – KSW-460NE type coal cutting machine

The advance of the machine is actuated by two assemblies, each being driven by an asynchronous tri-phase motor. The motors are supplied from the frequency converter in the machine. The frequency converter provides the possibility of fluent regulation of the machine's advance speed, in the range of 0 and 50 Hz, the constant value of the motor couple being maintained (nominal moment of the motor), as well as in the range 50-120Hz of the constant propulsion power.

The double system of the advance drive wheel, used by the machine, protects the tool against uncontrolled movement in the case of losing the gear of one of the toothed wheels and dividing rule. The un-graded regulation of the height of the extraction facilitates the extraction of wrinkled seam with the variable thickness of the seam.

The machine is equipped with control and diagnosis of functioning, with local control from control panels and from the drive-control assembly or by remote guiding(radio).

The machine can operate in faces prone to methane and coal dust explosion.

After a suitable adjustment of the machine parts, they can operate from up downwards, from down upwards or mixed mining method due to suitable boom design.

The machine is equipped with shoes adjusted to the cam profiles(trough with cams), shoes that support it and which glides on the cam of the face conveyer.

The machine is equipped with upper shield with hydraulic control. The supply conductors of the machine are fixed to a suspension device by shoes. During the machine's normal operation the position of the suspension device is established by a safety wedge.

The Tagor type face conveyer is an iron-cased conveyer with 1 x 65 / 200 KW installed power at the dump point and 1 x 65 / 200 KW at the return point, the supply voltage is 1000V, with lateral(right, left) or front dumping version, $\pm 35^{\circ}$ maximum longitudinal inclination, $\pm 25^{\circ}$ maximum transversal work inclination, forged-welded troughs, 1000 t/h conveyer discharge.

Four hydraulic units with T-125/32 type pump situated in PTS Cpx transformation post provide hydraulic agent(high pressure) for powered support.

The machine, chain conveyer and belt conveyer are supplied with 1000 V electricity from EH 1250/6/1/3 transformers situated in PTS Cpx.

The powered unit is equipped with a monitoring-dispatching system providing monitoring and displaying the position of the face machine and its working parameters, monitoring and displaying operating parameters for the sections, the hydraulic agent's pressure, the water spraying pressure, the state of the tools.

This paper endeavors to show the developments of Tagor powered complex in the exploitation of panels 1C first and second slice and panel 2C, first slice, block IV Lupeni Mine.

In the autumn of the year 2007, Tagor powered complex was commissioned in panel 2 of block IV of Lupeni Mine, seam 3, length of the face line 100 m, maximum 10° seam inclination, length of direction of the stope field 250 m. Movement of the complex to the next face panel 2 first slice was made transporting the sections without being dismantled in subassemblies with the help of a monorail and of a device including entire sections. Thus the time required for commissioning the face was reduced by 30 % compared to the classical mounting-dismounting

method with special rooms of mounting-dismounting, shortening by 20 days the movement meaning an additional 24000 tons.

The geometrical elements of panel 1C first slice are 100 m face line, 250 m on the advance direction with 10° inclination descending. After the extraction of the first slice, at the stop line, the advance sense was reversed by reversing the powered sections one by one and their depressing in the second slice. At the level of the second slice the face line reached 94 m to achieve at the face end the advance direction being 450 m, with 10° ascending.

The developments will be presented in the following and analysis of indicators obtained at the exploitation of the three previously mentioned faces, that is:

- Advance in the direction expressed in meters done on direction per month;
- Production achieved per month, tons;
- Efficiency or productivity showing the relationship between productivity obtained and number of posts, tons per post;
- Number of posts per month.

Analysis of the four above mentioned indicators are results obtained in the exploitation of the Tagor powered complex in the exploitation of the abovementioned faces for 24 months.

For a comparative analysis of the behavior of the Tagor powered complex in the exploitation of the three faces, considering that for each of them the exploitation conditions are different, a diagram will be presented for each and every indicator with the note that in the fifth and the sixth month the complex was stopped.

- diagram 1 represents the advance in meters each month;
- diagram 2 represents the production in a month in tons;
- diagram 3 represents the number of posts with which the production was achieved each month;
- diagram 4 is efficiency this month this being the ratio between production achieved in a month and the posts executed that month.
- Amount of bituminous coal mined out in the two years of use of Tagor powered complex was 164296 tons for panel 2C first slice, 147984 ton bituminous coal for panel 1 first slice, 158910 ton bituminous coal for panel 1C second slice, that is a total of 471190 ton bituminous coal.

The analysis of diagram 1 advance on direction of powered complex shows an average advance of 37,91m in the extraction of slice 1 panel 1 and 26,06m for the extraction of slice two of the same panel. This significant difference in advance is largely due to the artificial roof from two layered wire gauze plus a third one at the second slice. Production is directly proportional to the advance per direction, diagram 2 showing that as an average, production obtained in the face of the second slice is lower than that obtained in the faces of the first slice. Diagram 3 shows the number of posts per month and it is seen that the average is decreasing, thus in the

first face panel 2C first slice , the average achieved is 1872 posts per month and in panel 1 first slice the average of posts per month 1637 posts and in panel 1 second slice the average of posts is 1325 posts. The decrease in the number of posts is directly influenced by retirements.

Diagram 4 shows that productivities obtained in the exploitation of the three faces re lose to each other, panel 2C first slice 13,61 ton/post, panel 1C first slice 14,37 ton/post, panel 1 second slice 13,39 ton/post, these being less that productivities from EU due to seam conditions, namely short face line, exploitation on reduced direction(less than 450 m),slice height maximum 3,5 m, high labor consumption in execution of face joints as well as artificial floors.

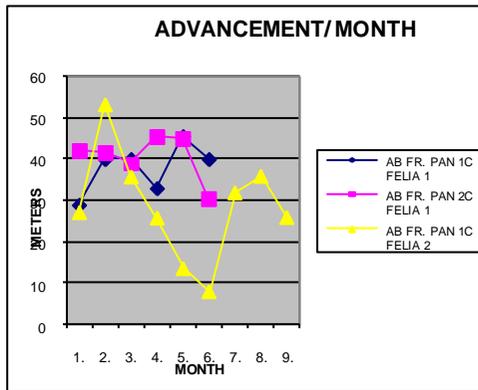


Diagram 1 – Advance per month in meters

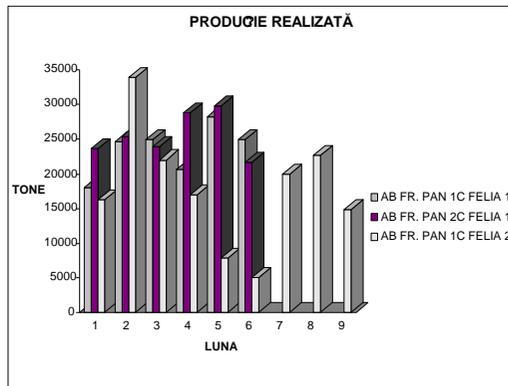


Diagram 2 – Production achieved per month in tonnes

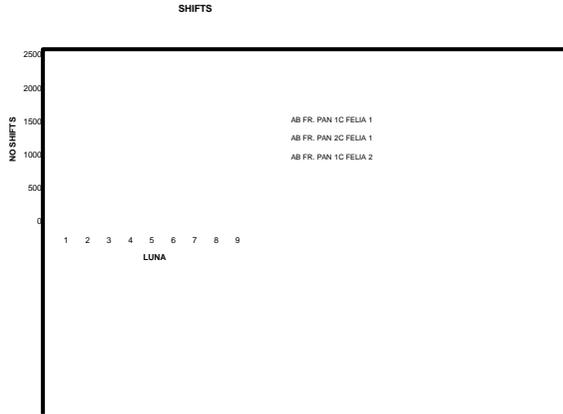


Diagram 3 – Shifts achieved per month

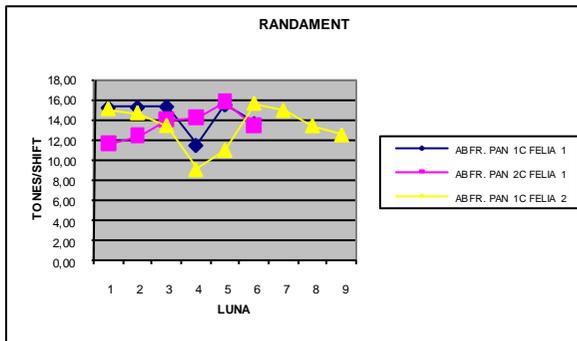


Diagram 4 – Efficiency per month

In conclusion, in order to increase performances for Tagor powered complex in Lupeni Mine a number of minimum posts are required to cover the labor consumption to execute the intersection of the face and the artificial floor or finding solutions to mechanized intersections of faces and finding solutions to replace wire gauze with synthetic resins which should provide compact covering rocks as well as a resilience required for the exploitation of the following slices.

References: 1. Șt. Covaci, G.Oncioiu ș.a. – Exploatări miniere subterane, vol. II, Editura Corvin , Deva 1999 2. N. Iliăș , I. Andraș , I. Gruneanțu ș.a. – Noutăți în susținerea abatajelor, Editura Universitas , Petroșani 2001 3. N. Iliăș, I. Kovacs , I. Gruneanțu – Mașini miniere, curs subteran, Litografia IMP, Petroșani 1989 4. I. Marian - Mecanizarea în minerit, Editura tehnică, București 1969 5. D. Surulescu C. Popescu –Restructurarea mineritului carbonifer din România 6. Strategia de dezvoltare a industriei miniere în perioada 2007-2020, Ministerul Economiei și Finanțelor 7.N. Iliăș, I. Andraș , I. Gruneanțu, S. Radu –Noutăți în susținerea abatajelor, Editura Eniverstias 2001.

Поступила в редколлегию 12.02.2010

Р.М. Стрельчук, М.Д. Узунян, д-р техн. наук, Харьков, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ИНЖИНИРИНГА КАЧЕСТВА ШЛИФОВАНИЯ НАНОСТРУКТУРНЫХ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ

Представлено результати досліджень і аналіз інжинірингу якості наноструктурних твердих сплавів після алмазно-іскрового шліфування. Показано, що вартісна оцінка якості поза сумнівом є важливим фактором при порівняльній оцінці різних технологій і способів виготовлення виробів.

Представлены результаты исследований и анализ инжиниринга качества наноструктурных твердых сплавов после алмазно-искрового шлифования. Показано, что стоимостная оценка качества несомненно является важным фактором при сравнительной оценке различных технологий и способов изготовления изделий.

The results of researches and analysis engineering quality nanostructure hard alloys are presented after a diamond-spark polishing. It is shown that a cost estimation of quality undoubtedly is an important factor at the comparative estimation of different technologies and methods of making of wares.

Оценка, сравнение и анализ качественных характеристик изделий и инструмента в стоимостном выражении является перспективным направлением. Потребителя интересует надежность приобретенной продукции, экономическая целесообразность ее применения. Он считает, что качество стоит денег и качество приносит деньги, поэтому готов платить больше [1]. Таким образом, можно сделать вывод, что проблему качественного результата следует рассматривать не только и даже не столько при изготовлении изделий и инструмента, сколько в процессе их эксплуатации; понятно, что такие изделия найдут спрос на рынке.

Особенно важно оценивать надежность, например, инструмента в стоимостном выражении при создании и появлении новых инструментальных материалов, которые должны обеспечивать по своим физико–механическим свойствам и химическому составу потребности соответствующего технологического уклада. Если под технологическим укладом понимать совокупность технологий, определяющих признаки экономики, то создание новых инструментальных материалов является одним из факторов, который может обеспечить высокоэффективную обработку современных и новых труднообрабатываемых конструкционных материалов.

Как известно во всем мире в последнее время резко увеличивается производство тонкодисперсных и нанофазных материалов. В связи с этим представляет интерес разработанный новый наноструктурный твердый сплав «ВолКар» [2]. Особенностью данного инструментального материала является то, что в его составе только зерна WC и нет связующих, таких как кобальт,

никель и других дорогостоящих материалов. Исходный материал до прессования по специальной технологии представляет собой порошок WC с размерами 40-70нм, а в полученном твердом сплаве размеры зерен WC увеличиваются до 100нм. Высокие физико–механические свойства материала по сравнению с известными твердыми сплавами обеспечиваются высокодисперсными зёрнами и прочными граничными связями между ними, что объясняется малым временем и сравнительно невысокой температурой спекания. Применение режущих пластин из сплава «ВолКар» позволяет значительно повысить производительность обработки резанием.

С целью изучения возможностей рационального шлифования и применения шлифованных инструментов при их использовании представляет интерес проведение соответствующих исследований. Эксперименты проводились на универсально–заточном станке модели 3Д642Е, модернизированном для обработки методом алмазно–искрового шлифования (АИШ). Шлифование осуществлялось торцом круга 12А2-45⁰ АС6 на металлической связке М1-01 с обратной полярностью подсоединением положительного полюса источника питания к алмазному кругу, а отрицательного – к обрабатываемому материалу. Источником питания являлся специальный генератор импульсов. Электрические режимы составляли: величина технологического тока $I_{cp} = 5A$, частота электроимпульсов $f = 22кГц$, скважность $n_{ске} = 2$. Изучалось влияние режимов резания – поперечной подачи ($S_{поп}$), скорости резания (V) и характеристик алмазного круга – зернистости (Z), концентрации (K) при этом оценивалась удельная себестоимость шлифования ($C_{уд}$, коп/см³). Отметим, что удельная себестоимость шлифования также как и относительный расход алмазов (q , мг/г) далеко не всегда отражает лучший вариант шлифования. Невысокая удельная себестоимость связана с низким относительным расходом алмазов (большой съём материала); при этом совершенно не гарантировано высокое качество шлифованных инструментов. Названные критерии являются косвенными и не отражают однозначно качественное состояние изделий и инструмента в реальных условиях эксплуатации. При определении оптимальных условий алмазно–искрового шлифования наноструктурного твердого сплава «ВолКар» применен подход, соответствующий инжинирингу качества. Для оценки реального состояния инструмента после шлифования в условиях эксплуатации, что важно для потребителя, применяются критерий, который оценивает интегральный показатель качества. Этот критерий учитывает стойкость инструмента, характеризуемую длиной пути резания в метрах (L , м) и соответственно себестоимость механической обработки резанием, а также удельную себестоимость шлифования и представляет собой суммарную технологическую себестоимость (C_m , коп/мин). Таким образом, фактически оценивается надежность инструмента в стоимостном выражении.

Технологическая себестоимость рассчитывалась по известной методике [3]. Формула для технологической себестоимости (C_m , коп/мин) имеет вид:

$$C_m = 37,2 + \frac{466,05 + 0,16C_{ш} V}{4L}, \quad (1)$$

где $C_{ш}$ – удельная себестоимость шлифования (заточки), коп/см³; L – длина пути резания, м.

Длина пути резания L при точении рассчитывалась по формуле:

$$L = \frac{\pi dl}{1000S}, \quad (2)$$

где d – диаметр заготовки, мм; l – длина заготовки, мм; S – подача, мм/об.

Таким образом, изменение технологической себестоимости определяется влиянием двух факторов – себестоимостью шлифования и стойкостью инструмента.

Для оценки влияния варианта шлифования на стойкость инструмента необходимо установить оптимальные режимы резания, при которых следует производить испытания. Известно, что для каждой пары контактирующих инструментального и обрабатываемого материалов существует свое значение оптимальной температуры и скорости, при которой работоспособность режущего инструмента реализуется наиболее полно [4, 5]. Эксперименты проводились на токарно–винторезном станке 16К20 при точении без охлаждения закаленной стали ХВГ (HRC, 55...58), размеры заготовки $d = 45$ мм, $l = 200$ мм при следующих режимах: $V = 110$ м/мин, $S = 0,075$ мм/об, $t = 0,2$ мм. Резцы имели следующие геометрические параметры: $\gamma = -5^\circ$; $\alpha = 8^\circ$; $\lambda = 0^\circ$; $\varphi = 45^\circ$; $\varphi_1 = 15^\circ$. За критерий затупления был принят износ по задней поверхности $h_z = 0,4$ мм, который измерялся непосредственно на станке с помощью микроскопа «Мир – 2».

На рис. 1 представлена зависимость длины пути резания от скорости резания, значение которой можно считать оптимальной при проведении соответствующих системных испытаний инструментов; отметим, что подача и глубина резания несущественно влияет на значение оптимальной скорости резания. Выявленная скорость резания при точении наноструктурным твердым сплавом «ВолКар» ($V = 110$ м/мин) была принята в качестве базовой при оценке оптимального варианта шлифования пластин по стойкостным показателям инструмента (длина пути резания L , м).

На рис. 2 представлены зависимости себестоимости шлифования ($C_{ш}$) и суммарной технологической себестоимости (C_m) от поперечной подачи ($S_{поп}$, мм/дв.ход). Как видно наименьшее значение $C_{ш}$ обеспечивается при шлифовании с поперечной подачей $S_{поп} = 0,15$ мм/дв.ход. Но при этом (табл. 1) стойкость инструмента при испытании оказывается наименьшей ($L = 1100$ м). Наибольшая стойкость ($L = 1350$ м) обнаруживается при шлифовании с $S_{поп} = 0,05$ мм/дв.ход. Таким образом длину пути резания (L , м) можно считать определяющим фактором суммарной технологической

себестоимости, наименьшее значение которой обеспечивается при шлифовании инструментов с минимальной поперечной подачей.

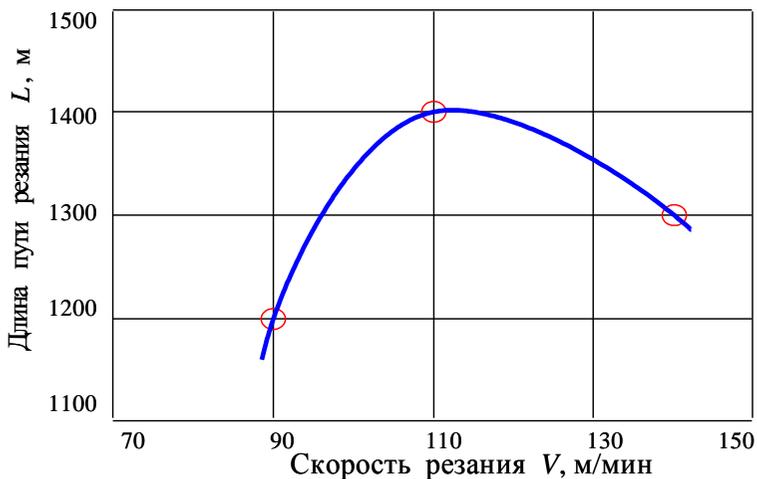


Рисунок 1 – Зависимость длины пути резания от скорости резания:
 $S = 0,075$ мм/об, $t = 0,2$ мм.

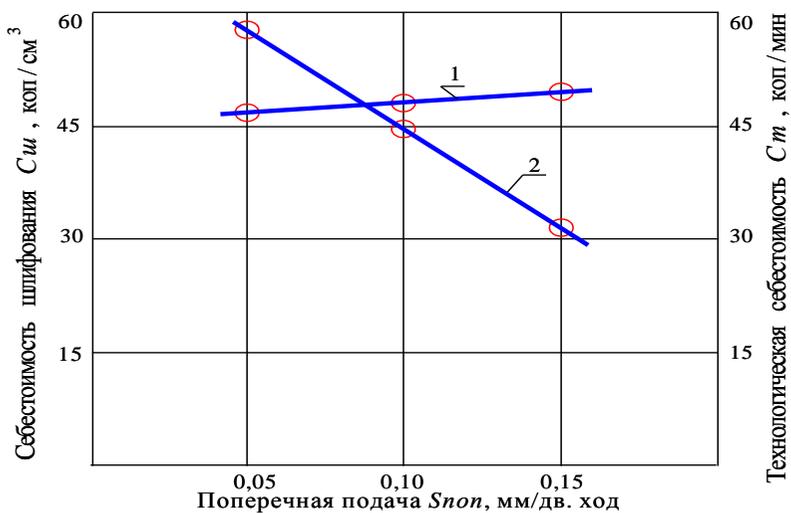


Рисунок 2 – Влияние поперечной подачи на себестоимость шлифования и технологическую себестоимость: 1–Технологическая себестоимость (C_t), 2 – Себестоимость шлифования ($C_{ш}$)

$V=25$ м/с; круг 12A2-45° AC6 100/80 M1-01-4.

Таблица 1 – Влияние поперечной подачи ($S_{поп}$, мм/дв.ход) на длину пути резания (L , м)

Поперечная подачи $S_{поп}$, мм/дв.ход	0,05	0,10	0,15
Длина пути резания L , м	1350	1250	1000

Подобный характер соотношений, но менее контрастный обнаруживается и при анализе влияния скорости (V , м/с) на себестоимость шлифования и суммарную технологическую себестоимость (рис. 3). С ростом скорости до 35 м/с себестоимость шлифования снижается, что объясняется главным образом повышением производительности обработки. Но при испытании инструментов заточенных с этой скоростью стойкость их снижается (табл. 2), что естественно приводит к увеличению суммарной технологической себестоимости. Как видно из приведенных данных наименьшее значение C_m обеспечивается при скорости $V = 15$ м/с, то есть оптимальное значение ее смещается в сторону меньших значений. Следовательно, можно констатировать, что на шадящих режимах шлифования сплава «ВолКар», несмотря на заметно более высокие значения себестоимости шлифования, что объясняется и большей энергоемкостью процесса, основной вклад в суммарную технологическую себестоимость, ее снижение, вносят качественные показатели, обеспечивающие более высокую стойкость шлифованных инструментов (длина пути резания L , м).

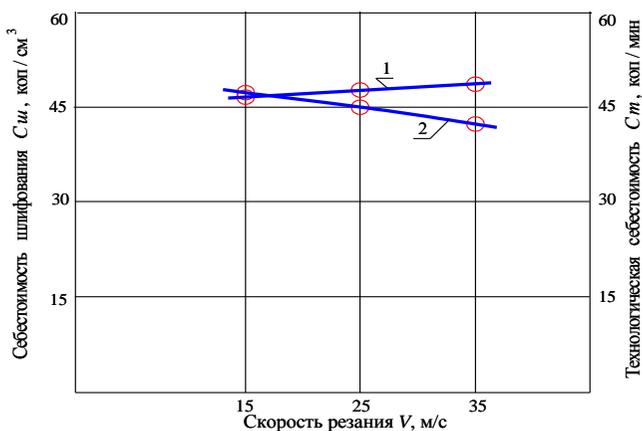


Рисунок 3 – Влияние скорости резания на себестоимость шлифования и технологическую себестоимость: 1–Технологическая себестоимость (C_m), 2 – Себестоимость шлифования ($C_{ш}$)

$S_{поп} = 0,10$ мм/дв.ход; круг 12A2-45° AC6 100/80 M1-01-4.

Таблица 2 – Влияние скорости резания (V , м/с) на длину пути резания (L , м)

Скорость резания V , м/с	15	25	35
Длина пути резания L , м	1300	1250	1100

При анализе влияния зернистости (Z , мкм) и концентрации алмазных кругов (K) на рассматриваемые показатели процессов шлифования и точения заметное различие не обнаруживается. Рассчитанные значения Cm , коп/мин получаются за счет соответствующих вкладов указанных ранее критериев (табл. 3, 4).

Таблица 3 – Влияние зернистости кругов (Z , мкм) на себестоимость шлифования и технологическую себестоимость

Зернистость кругов Z , мкм	50/40	100/80	160/125	200/160
Себестоимость шлифования $C_{ш}$, коп/см ³	48	45	38	36
Технологическая себестоимость Cm , коп/мин	49	50	50	51

Таблица 4 – Влияние концентрации кругов (K) на себестоимость шлифования и технологическую себестоимость

Концентрация кругов K	2	4	6	8
Себестоимость шлифования $C_{ш}$, коп/см ³	53	45	36	32
Технологическая себестоимость Cm , коп/мин	51	50	52	52

На основании изложенного можно утверждать, что качественные характеристики процессов обработки можно определять в стоимостном выражении, и следовательно стоимостная оценка качества несомненно является важным фактором при сравнительной оценке различных технологий и способов изготовления изделий.

Список литературы: 1. Харрингтон Дж. Х. Управление качеством в американских корпорациях. М. Экономика. – 1990. – 271 с. 2. Геворкян Э.С. Плотные и пористые конструкционные материалы из нано и субмикронных порошков WC, Al₂O₃ и SiC полифункционального назначения. Дисс. докт. техн. наук – Харьков, 2007 – 276 с. 3. Крючков В.Я., Узунян М. Д. Технологическая себестоимость обработки инструментами из безвольфрамовых твердых сплавов //Сб. докл. всесоюз. науч.-техн. конф.: Перспективы развития резания конструкционных материалов. – М., 1980. – с. 226–232. 4. Макаров А. Д. Оптимизация процессов резания. – М.: Машиностроение, 1976. – 178 с. 5. В.П. Зубарь Особенности применения лезвийного инструмента из сверхтвердых материалов // Современные технологии в машиностроении. – 2006. – Т 1. – С. 99–116.

Поступила в редколлегию 15.02.2010

Д.В. Тимофеев, канд. экон. наук, Н.И. Белявцев, канд. техн. наук,
Д.М. Узунян, Харьков, Украина

ОСОБЕННОСТИ РЕКЛАМНОЙ СТРАТЕГИИ НАУКОЕМКОЙ ПРОДУКЦИИ НА ПРЕДПРИЯТИИ «УКРОРГСТАНКИНПРОМ»

Представлено результати аналізу рекламної стратегії продукції інституту «Укроргстанкинпром». Оскільки вироби, що випускаються, – млин, крупозаводи, верстати плазмового різання, газові котли – є наукоємкою продукцією, то показані характерні особливості рекламних заходів, що проводяться інститутом.

Представлены результаты анализа рекламной стратегии продукции института «Укроргстанкинпром». Поскольку выпускаемые изделия – мельница, крупозаводы, станки плазменной резки, газовые котлы – являются наукоёмкой продукцией, то показаны характерные особенности рекламных мероприятий, проводимых институтом.

Results of advertising strategy analysis of «Ukrorgstankinprom» institute production are presented. Since output goods – grinding mills, groats mills, plasma-arc cutting machines, gas-fired boilers – are the products of high technology, so relevant features of promotional activity conducted by the institute are shown.

В последнее время сформировалась особая категория технологий, изделий и даже отраслей промышленности, которые получили название наукоёмких.

Дать характеристику наукоёмкой продукции можно, опираясь на Закон Украины «Про загальнодержавну комплексну програму розвитку високих наукоёмних технологій»:

- Высокие наукоёмкие технологии – это технологии, создаваемые на основе результатов научных исследований и научно-технических разработок, которые, в свою очередь, обеспечивают создание высокотехнологической продукции, способствуют внедрению высокотехнологического производства на предприятиях базовых отраслей промышленности.

- Высокотехнологическая продукция, изготовленная отечественными производителями с использованием наукоёмких технологий зачастую успешно конкурирует с лучшими образцами аналогичной продукции зарубежного производства.

- Высокотехнологическое производство – это производство, в котором используются наукоёмкие технологии.

- Проекты по разработке наукоемких технологий – это проекты по выполнению научных исследований и/или научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, направленных на создание новых наукоемких технологий [1].

Как известно, развитие любой отрасли напрямую зависит от объемов производства и продаж, поэтому между основными производителями наукоемкой продукции возникает острая конкурентная борьба за рынки сбыта. В связи с этим рекламная стратегия, ее разработка и зависящее от этого продвижение товарной продукции приобретает весьма важное значение. Изготавливаемые в институте «Укроргстанкинпром» крупные мельницы для производства муки, несомненно, относятся к наукоемкой продукции.

Прежде всего, можно отметить, что эта продукция является товаром промышленного назначения, а по рекламе таких товаров и маркетингу известны лишь несколько работ. Прежде всего, это работы Ф. Котлера и П.Г. Перервы [2, 3]. В их работах рынок товаров промышленного назначения определяется как совокупность лиц и организаций, закупающих товары и услуги, которые используются при производстве других товаров или услуг, которые могут продаваться, сдаваться в аренду или поставляться другим потребителям. В этом смысле рассматриваемые крупные мельницы являются товаром для производства других товаров, например, муки как товара потребления и ее следует отнести к отрасли обрабатывающей промышленности.

Как известно по размерам стоимости и денежного оборота рынок товаров промышленного назначения превосходит показатели рынка товаров широкого потребления, хотя они дороже и менее востребованы по количеству. Можно отметить некоторые характерные особенности такого рынка. Прежде всего на рынке товаров промышленного назначения меньше покупателей, чем на рынке товаров широкого потребления, эти покупатели значительно крупнее, включая и правительственные организации. Кроме того, покупателями товаров промышленного назначения являются профессионалы, зачастую специальные агенты, которые, несомненно, умеют и обязаны совершать выходные сделки. Можно также отметить, что спрос на товары промышленного назначения определяется спросом на товары широкого потребления, который можно назвать вторичным характером спроса. Например, мука, конечно является товаром широкого потребления и от увеличения спроса на муку (а это хлебобудучки) естественно увеличится спрос и на мукомольное оборудование, т.е. крупные промышленные мельницы.

Отмеченные особенности рынка товаров промышленного назначения определяют и особенности рекламной стратегии наукоемкой продукции. Кратко поясним, на некоторых конкретных примерах, почему мельница относится к наукоемкой продукции.

При производстве мельниц применяются детали, изготавливаемые из труднообрабатываемых материалов, таких, как, например, высокопрочный отбеленный чугун. Из отбеленного чугуна делают валки мельниц, которые обтачиваются, затем шлифуются (при этом валку придается бочкообразная форма) и нарезаются рифли – специальные канавки для помола зерна. Стойкость твердосплавных пластин при токарной наружной обработке валков мала и не обеспечивает потребности производства. Кроме того, при строгании рифлей износ строгального резца настолько значителен, что даже без измерительных приборов видно уменьшение глубины рифлей при обработке по всей поверхности валка. Для повышения стойкости инструмента необходимо было провести комплекс научных разработок.

Для токарной обработки вместо твердого сплава предложена инструментальная керамика марки Бихромит-Р.

Бихромит-Р – новый режущий материал, созданный на основе оксида хрома. Он обладает высокими механическими и режущими свойствами, которые показаны в таблице.

Таблица – Сравнительные характеристики режущих свойств при обработке стали 45

Марка	Изготовитель	V, м/мин	S, мм/об	t, мм	T, мин
СМ1	«Walter», ФРГ	300	0,075	0,5	35
СС620	«Coromat», Швеция	350	0,075	0,5	40
Бихромит-Р	«Cermet-U», Украина	350	0,075	0,5	38

В связи с этим возникла необходимость исследования комплекса задач, связанных с оценкой обрабатываемости этого материала, что потребовало проведения специальных экспериментов по шлифованию.

Процесс алмазно-искрового шлифования, протекающий с введением в зону резания дополнительной энергии в виде электрических импульсов, позволяет поддерживать стабильные условия взаимодействия рабочей поверхности алмазного круга с обрабатываемым материалом в течение продолжительного периода работы.

Изучение силовых зависимостей, характеризующих напряженность процесса шлифования, позволяет оценить обрабатываемость материалов. Одним из наиболее распространенных критериев оценки является коэффициент шлифования. Коэффициент шлифования отражает процесс резания в динамике, влияние температурно-скоростного фактора, характеризует свойства обрабатываемого материала, состояние рабочей поверхности круга. Рассматриваемый критерий меньше единицы и при определенных условиях обработки может приближаться даже к коэффициенту трения пары – шлифовальный круг – обрабатываемый материал. При больших значениях коэффициента шлифования взаимодействие абразивного инструмента с материалом более эффективно. Следует также отметить, что в условиях упругого шлифования большему значению силы P_z соответствует лучшая обрабатываемость материала, так как тангенциальное усилие определяется суммарным мгновенным сечением среза.

Коэффициент шлифования определяется из соотношения: $K_{ш} = P_z/P_y$, где P_z – тангенциальная сила, P_y – радиальная сила.

Измерение сил резания при шлифовании проводилось при алмазном (АШ) и алмазно-искровом шлифовании (АИШ) по упругой схеме на модернизированном универсально-заточном станке мод. 3Д642Е. Шлифование осуществлялось кругом 12А2-45° АС6 100/80 М1-01 150%. Источником питания при АИШ являлся генератор униполярных импульсов ШГИ-40-440 при следующем режиме работы: среднее значение величины технологического тока 5 А, частота электроимпульсов 44кГц, скважность 2. Осуществлялось измерение составляющей P_z силы резания при изменении составляющей P_y в диапазоне от 10 до 50 Н и скорости круга от 15 до 35 м/с.

Измерение силы P_z при постоянной задаваемой силе P_y осуществлялось с помощью специального динамометра, устанавливаемого на приспособление для упругого шлифования.

Изучение коэффициентов шлифования позволило оценить влияние различных факторов и условий взаимодействия рабочей поверхности шлифовального круга с обрабатываемым материалом на силы резания.

Можно привести и другие примеры, характеризующие наукоемкость рассматриваемой продукции. Например, нанесение на валки специальных покрытий из нитрида титана, которые обеспечивают высокую экологическую чистоту и повышают износостойкость валков (такие покрытия применяются в стоматологии при протезировании).

Следовательно, можно утверждать, что мельница является продукцией, для качественного изготовления которой необходимо проведение и

дальнейшее совершенствование комплекса научно-исследовательских работ. Это вызывает необходимость расширения подходов, связанных с рекламной стратегией.

Не останавливаясь подробно на описании соответствующих мероприятий, отметим кратко основные особенности рекламной стратегии, которая применяется в институте:

1. Организация и участие в специализированных выставках промышленной продукции в различных городах.
2. Публикация рекламных материалов в соответствующих журналах.
3. Участие и организация тематических конференций.
4. Изготовление и рассылки специальных рекламных проспектов и буклетов.
5. Опубликование научных статей в соответствующих сборниках.
6. Реклама на телевидении по распространению опыта с привлечением потребителей и пользователей мельницами.
7. Презентация выпускаемой наукоемкой продукции – мукомольные агрегаты (мельницы) с приглашением возможных покупателей и демонстрацией продукции в работе.

В заключение отметим, что в институте Укроргстанкинпром практически вся продукция является наукоемкой. В настоящее время институт работает по следующим важнейшим направлениям:

1. Создание продукции для переработки сельхозпродукции: это мельницы мукомольные, крупозаводы, зерносушилки.
2. Производство станков плазменной резки металла «Харьков-П» и станков плазменно-автогенной резки металла «Харьков-ПА».
3. Производство установок для приготовления бетонных смесей и строительных растворов. Эта продукция заняла одно из ведущих мест на рынке строительного оборудования Украины.
4. Разработка и производство современных бытовых и промышленных газовых котлов под торговыми марками «Рубин» и «Топаз».

Таким образом, логично утверждать, что применяемые особенности рекламной стратегии наукоемкой продукции института будут способствовать успешной ее реализации.

Список использованных источников: 1. Закон України «Про загальнодержавну комплексну програму розвитку високих наукоємних технологій». 2. *Котлер Ф.* Основы маркетинга. – М.: Прогресс, 1992. – 730 с. 3. *Перерва П.Г.* Управление маркетингом на машиностроительном предприятии. – Харьков: Основа, 1993. – 282 с.

Поступила в редколлегию 27.05.2010

В.А. Федорович, д-р техн. наук, Д.В. Ромашов, А.М. Малиняк,
Д.О. Федоренко, Е.О. Бабенко, Харьков Украина

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА

У статті проведені дослідження процесів виготовлення та використання алмазного інструмента. Дослідженні елементи системи "оброблюваний матеріал - зерно - металофаза - зв'язка". Аналіз здійснювався шляхом 3D моделювання напружено-деформованого стану зони шліфування. За результатами дослідження встановлено, що алмазні шліфувальні круги на різних зв'язках мають початкову дефектність у вигляді зруйнованих в процесі спікання алмазних зерен. Розроблені 3D-моделі процесу спікання та шліфування алмазними кругами, що враховують анізотропію властивостей алмазних зерен та їх форму.

В статье проведены исследования процессов изготовления и использования алмазного инструмента. Исследованы элементы системы "обрабатываемый материал - зерно - металлофаза - связка". Анализ осуществлялся путем 3D моделирования напряженно-деформированного состояния зоны шлифования. По результатам исследования установлено, что алмазные шлифовальные круги на различных связках имеют исходную дефектность в виде разрушенных в процессе спекания алмазных зерен. Разработаны 3D-модели процесса спекания и шлифования алмазными кругами, учитывающие анизотропию свойств алмазных зерен и их форму.

In this paper described researches of process of manufacture and grinding by diamond tools. Researched elements of system "work material - grain - metalphase - sheaf". The analysis was carried out by 3D modeling tensely-deformed conditions sintering and grinding area. By results of research it is established, that diamond grinding circles on different bands have initial deficiency as the diamond grains destroyed during sintering. The 3D-models of sintering of diamond tools were developed, taking into account the anisotropy of diamond properties and the shape of grains.

Создание методологических основ и системы 3D-CAD моделирования алмазно-композиционных материалов (АКМ) на этапах их изготовления и эксплуатации позволит существенно повысить эффективность их обработки и применения. Предлагаемая 3D методология исследования процессов изготовления и эксплуатации АКМ охватывает все основные этапы жизненного цикла изделия.

Как установлено научной школой академика Н.В. Новикова [1], в условиях высокой силовой и тепловой напряженности в зоне спекания алмазные зерна могут разрушаться, изменяя исходную зернистость. Это приводит к изменению исходной характеристики алмазного круга. Основной причиной такого явления следует считать наличие металлических включений в алмазных зернах, что приводит к снижению их прочности и особенно термостойкости при нагреве синтетических алмазов до температуры $\geq 850^\circ\text{C}$. Существенное различие в значениях коэффициентов линейного расширения металлофазы и алмазного зерна при нагреве вызывают появление в последних растягивающих напряжений, величина которых может превысить

предел прочности алмаза. В результате этого алмазное зерно разрывается. Чем выше коэффициент термического расширения металлофазы, тем больше напряжения в алмажном зерне и тем больше вероятность его разрушения в процессе спекания алмазного круга.

Алмазные композиции, из которых состоит рабочий слой шлифовальных кругов являются разновидностью композиционных материалов, представляющих собой сочетание разнородных компонентов с четкой границей раздела. Факторами, влияющими на целостность алмазных зерен, являются, прежде всего, технологические особенности изготовления кругов, а также состав спекаемой композиции.

Алмазные зерна определенной марки, зернистости и концентрации, связка определенного типа и марки, в комплексе обуславливают работоспособность инструмента.

Марка связки круга в большой степени определяет технологические режимы спекания алмазоносного слоя. Поэтому влияние ее свойств и режимов спекания на 3D напряженно-деформированное состояние алмазоносного слоя является взаимосвязанным.

Для изучения влияния концентрации алмазных зерен в круге на их НДС в процессе спекания алмазные зерна моделировались в форме октаэдров, а величина концентрации задавалась расстоянием между зернами.

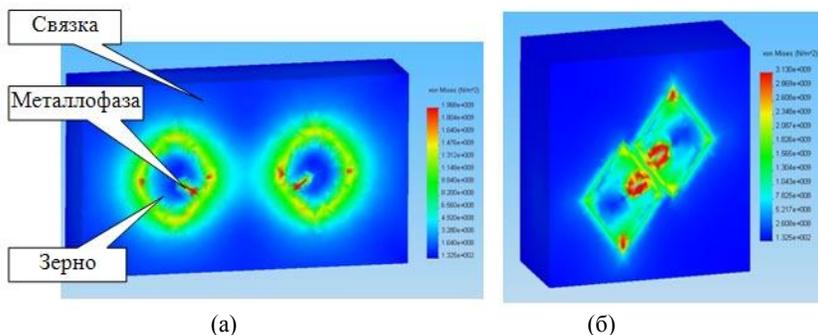


Рисунок 1 — Поля напряжений в системе «алмазное зерно- металлофаза- связка» при 100% (а) и 200% (б) концентрации алмазов в круге.

Концентрация алмазных зерен в спекаемом алмазоносном слое влияет на напряженно-деформированное состояние его составляющих путем изменения контактных напряжений в системе (рисунок 1). С увеличением концентрации зерен возрастает вероятность наложения полей напряжений соседних зерен, что может привести к появлению критической величины напряжений и разрушению зерен (рисунок 1).

Проведенные теоретические исследования показали, что температура спекания алмазоносного слоя оказывает наибольшее влияние на НДС

алмазное зерно-связка. Увеличение напряжений в зёрнах наблюдается по контуру сферы, вписанной в октаэдр, и в местах сосредоточения металлофазы в зерне. Наличие большого количества металлических включений в кристаллах приводит к снижению их прочности и особенно термостойкости.

Ранее, при исследовании 3D НДС системы «зерно-металлофаза-связка» расчетная модель строилась на основании допущения относительно изотропности свойств всех материалов системы [7]. Однако известно, что кристалл алмаза, как и поликристаллическое образование, обладает существенной анизотропией свойств. В литературе [3] приведены результаты испытаний с целью выявления свойств алмаза при различных ориентациях. В наших расчетах принят вариант, при котором модуль упругости при воздействии на одну из трех плоскостей сдвига $\{110\}/\{111\}/\{101\}$ равняется соответственно 900/750/700 МПа. Результаты расчетов, представленные на рисунок 2 (а, б, в) отображают НДС системы «зерно-металлофаза-связка» при ориентировании фронтальной плоскости в качестве плоскости кристалла $\{110\}$, $\{111\}$ и $\{101\}$ соответственно.

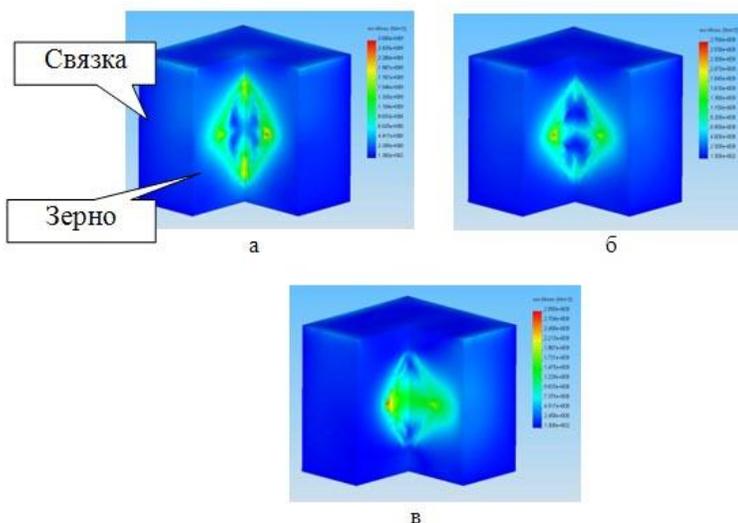


Рисунок 2 — Распределения напряжений в 3D модели «зерно-металлофаза-связка» с учетом анизотропии свойств алмаза при ориентировании фронтальной плоскости в качестве плоскости кристалла $\{110\}$ (а), $\{111\}$ (б) или $\{101\}$ (в)

Таким образом установлено, что анизотропия свойств алмазных зерен может оказывать существенное влияние на их технологические свойства.

После моделирования процесса спекания кругов и определения рационального сочетания марки алмазных зерен их зернистости и

концентрации с соответствующей маркой связки приступили к моделированию процесса шлифования этими кругами.

Эффективность процесса алмазного шлифования кругами на различных связках в большой степени определяется стабильностью параметров их рабочей поверхности. Принципиальной особенностью процесса шлифования СТМ является равенство по твердости инструментального и обрабатываемого материалов (ОМ) [5]. Известно, что обработка сверхтвердых поликристаллических материалов сопровождается высокими значениями удельного расхода алмазных кругов [4]. Для изучения НДС в зоне шлифования при заточке инструмента из СТМ были использованы расчетные комплексы ANSYS, LS-DYNA, Cosmos, Third Wave AdvantEdge. При построении 3D-моделей, имитирующих процесс резания применялась система автоматизации проектных работ (САПР) SolidWorks. Была построена 3D-модель «связка – зерно – металлофаза – обрабатываемый материал». В исходной модели была использована керамическая связка, кобальтовая металлофаза, алмазное зерно и заготовка из медного сплава. Заготовка и фрагмент связки представлялись в виде пластин, а алмазное зерно в форме октаэдра. В ходе расчетного эксперимента, модель нагружалась нормальной силой от 0,5 до 4 Н, что моделировало усилие прижима алмазного шлифовального круга во время абразивной обработки (рисунок 3).

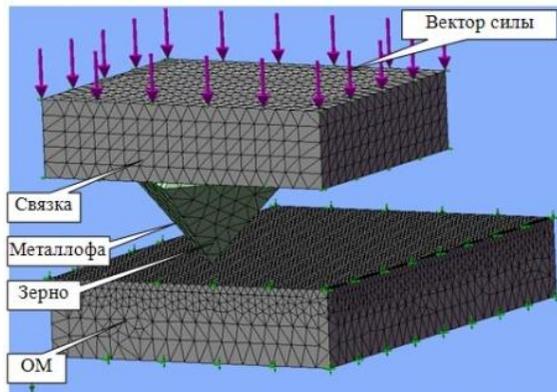


Рисунок 3 — 3D-модель «связка – зерно – металлофаза – ОМ» с конечно-элементной сеткой

Задачей исследования было определение влияния температуры в зоне резания на целостность алмазного зерна, путем определения его НДС. В исходной модели рассматривалось алмазное зерно марки АС100 (200/160), максимальное растягивающее напряжение для которого $\sigma_{\text{раст}}=2,18$ ГПа. Согласно данным Н.В. Новикова [1], прочность кристалла природного алмаза

при сжатии составляет 12,9 ГПа. Кроме того, прочность кристаллов существенно зависит от их размеров и совершенства строения. В первой части расчетов моделировалось лишь усилие прижима алмазного зерна от 1 до 4 Н, во второй части расчетов к усилию прижима добавлялась температурная нагрузка на алмазное зерно величиной 500 и 800°С.

Распределение напряжений в алмажном зерне в зависимости от усилия прижима отображено на рисунке 4.

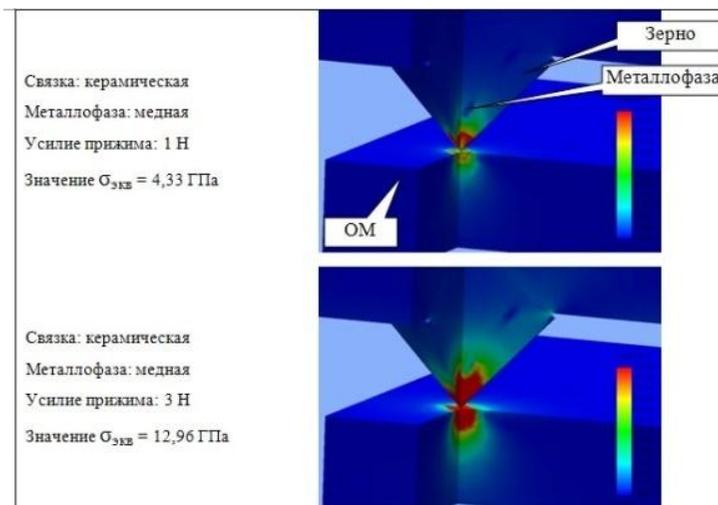


Рисунок 4 — Распределение эквивалентных напряжений при различных усилиях прижима алмазного зерна

Результаты расчета показали, что с увеличением усилия прижима круга к заготовке от 1Н до 3Н приведенные напряжения в зерне возрастают примерно в 3 раза.

Как установлено ранее [7], существенно влияние на эффективность шлифования СТМ оказывает концентрация алмазных зерен в круге. Для моделирования влияния концентрации созданы 3D модели системы «СТМ – зерно-металлофаза-связка-ОМ», в которых концентрация задавалась изменением расстояния между алмазными зернами. Установлено, что увеличение концентрации от 100% до 200% приводит к росту напряжений в местах соприкосновения алмазных зерен и небольших мостиках связки между ними (рисунок 5). Это приводит к разрушению удерживающего объема связки и выпадению еще целых алмазных зерен. Поэтому для снижения вероятности наложения полей напряжений следует уменьшать концентрацию зерен в куге, как видно из рисунка 5 (б).

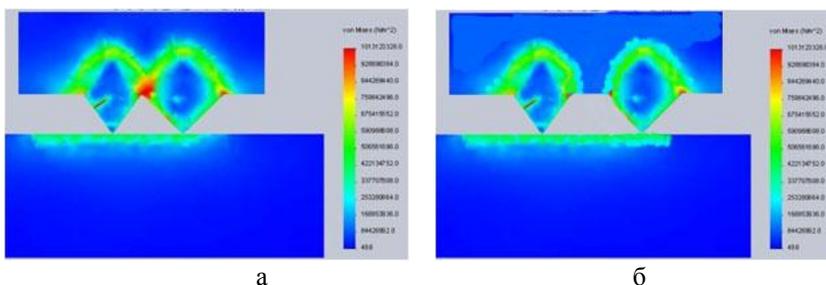


Рисунок 5 – Результаты расчета 3D НДС в системе «зерно-связка-металлофаза-ОМ» при 100% (а) и 75% (б) концентрации алмазных зерен в круге

Для изучения НДС системы «зерно-связка-металлофаза-ОМ» при динамических нагрузках были проведены исследования при помощи вычислительного комплекса ANSYS. Ранее динамические исследования проводились на 2D моделях для единичного зерна без заделки его в связке и при отсутствии металлических включений [7].

Влияние скорости соударения элементов системы «зерно-связка-металлофаза-ОМ» представлены на рисунке 6 (а, б).

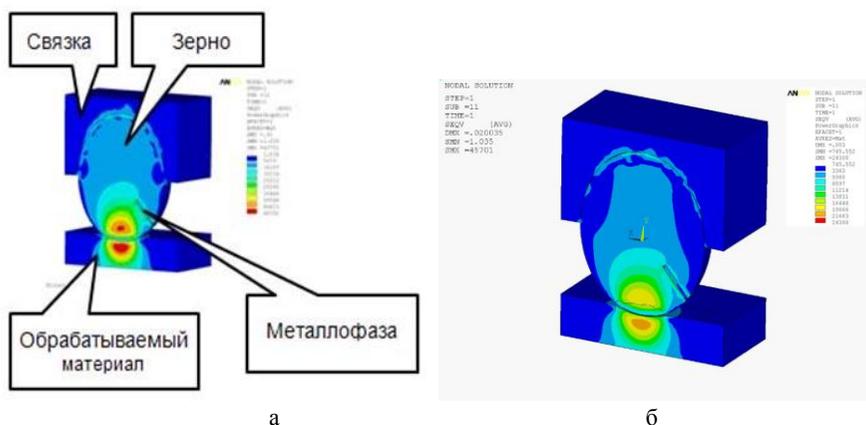


Рисунок 6 – Результаты расчета 3D НДС в системе “зерно-связка-металлофаза-ОМ” при скорости соударения 20 м/с (а) и 40 м/с (б)

Анализ полученных результатов показал, что максимальные напряжения при динамическом моделировании возросли на 20% по сравнению со статическими расчетами, что говорит о необходимости совершенствования моделей с переходом к динамическим модельным экспериментам [6].

Выводы: Впервые при моделировании процесса спекания алмазных кругов учтена анизотропия алмазных зерен, что позволило установить ее существенное влияние на технологические свойства алмазно-абразивных инструментов.

Модельные эксперименты в специализированном пакете программ CosmosWorks по исследованию влияния концентрации алмазных зерен на 3D НДС в зоне шлифования показали, что уже при температурах от 500°C в алмазоносном слое инструмента возникают разрушающие напряжения, прогрессирующие с повышением температур.

Проведенные модельные эксперименты в специализированном пакете программ ANSYS при динамических нагрузках показали, что 3D НДС в системе “зерно-связка-металлофаза-ОМ” существенно зависит от скорости шлифования, марки и количества металлофазы в алмазных зернах. Результаты динамических исследований имеют существенные преимущества по сравнению со статическим моделированием.

Список использованных источников: 1. Сверхтвердые материалы. Получение и применение. Монография в 6 томах. Том 3: Композиционные инструментальные материалы / Под общей ред. Н.В. Новикова. – Киев: ИСМ им. В. Н. Бакуля, ИПЦ "Алкон" НАНУ, 2005. 2. Методы определения показателей качества никелевого покрытия / Гринь Г.И., Козуб П.А., Мухина Л.В., Дробног И.Н. // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПИ». – 2006. – № 12. – С. 90 – 94. 3. Yuan Z.J., Yao Y.X. Lapping of Single Crystal Diamond Tools//CIRP Annals - Manufacturing Technology.-2003.-№1.-С.285-288 4. Федорович В.А., Грабченко А.И., Аносов В.И., Малиняк А.М. Теоретический анализ процесса самозатачивания алмазных кругов на органических и керамических связках // Современные технологии в машиностроении: Сборник научных статей/Под ред. А.И.Грабченко.-Харьков: НТУ «ХПИ», 2007.-С.232-247. 5. Frydryšek, K.: Aplikace pravděpodobnostni metody SBRA ve vědeckotechnické praxi(Application of Probabilistic SBRA Method in the Scientific and Technical Practice), written in Czech language, inaugural dissertation in the branch of Applied Mechanics, Department of Mechanics of Materials, FME VŠB-TU Ostrava, Ostrava, CZ, pp.144, 2009. 6. Dmytro Romashov, Jirí Hauptvogel 3D modelling methodology of grinding process by finite element simulation// Computer aided Industrial design Training for Ukrainian Engineers International Conference / – Kyiv/– 25-27 June 2009. –Section Computer Technologies Application; 7. Федорович В.А., Грабченко А.И. Методологія визначення оптимальних характеристик алмазних кругів на етапах виготовлення та експлуатації // Вісник Житомирського державного технологічного університету, вип.2(26), т.2. 2003.- С.46-50.

Поступила в редколлегию 15.05.2010

Ю.И. Чарун, Днепропетровск, Украина, Р.О. Якименко,
С.Н. Лавриненко, канд. техн. наук, Г.В. Кулинич, Харьков, Украина

ПРЕИМУЩЕСТВА НАДЕЖНЫХ САМОТОРМОЗЯЩИХ КОНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В БИОИНЖЕНЕРНЫХ ИЗДЕЛИЯХ

Використання конічних з'єднань для забезпечення надійного та міцного кріплення двох елементів конструкції без зазору і з передачею значних навантажень у загальному машинобудуванні є широко поширеною реальністю. Проте перенесення цього позитивного досвіду у сферу біоінженіринга, наприклад, для створення нероз'ємного з'єднання двох частин імплантату, у неспеціалістів викликає деякі сумніви, головним чином через мініатюризацію таких з'єднань і уявну простоту. У даній статті розглядаються переваги самозам'явних конічних з'єднань на прикладі стоматологічних імплантатів.

Использование конических соединений для обеспечения надежного и прочного крепления двух элементов конструкции без зазора и с передачей значительных нагрузок в общем машиностроении является широко распространенной реальностью. Однако перенос этого положительного опыта в сферу биоинжиниринга, например, для создания неразъемного соединения двух частей имплантата, у неспециалистов вызывает некоторые сомнения, главным образом из-за миниатюризации таких соединений и кажущейся простоты. В данной статье рассматриваются преимущества самотормозящих конических соединений на примере стоматологических имплантатов.

The use of conical connections with reliable and securely fasten of two elements without a gap and with transmission of the significant loads in the general engineering is widespread reality. However, the transfer of positive experience in the sphere of the bioengineering and, for example, to create piece joint of two parts of the implant, a no specialist raises some doubts, mainly because of the miniaturization these compounds and the seeming simplicity. In this article discusses the advantages of locking tapers on the example of dental implants.

Детали с коническими поверхностями имеют довольно широкое применение в различных отраслях машиностроения, особенно в качестве элементов крепления и хвостовиков режущих инструментов. Примерами могут служить конусы центров станков, хвостовики сверл, зенкеров, разверток, фрез и т.п. Для надежного крепления таких инструментов посадочные отверстия, являющиеся ответной частью соединения в шпинделе или пиноле станка, также имеют аналогичную коническую форму со строго регламентированным качеством поверхностного слоя. При этом наибольшее распространение получили инструментальные конусы Морзе и метрические или так называемые нормальные конусы, то есть конусы, основные размеры которых стандартизованы.

Однако область использования конусов не ограничивается режущими инструментами. Конические соединения имеют широкое применение из-за целого ряда их преимуществ, а именно:

1. Конические соединения обеспечивают высокую точность

центрирования деталей.

2. При плотном соприкосновении конусов с малыми углами наклона получается неподвижное соединение, способное передавать значительные крутящие моменты относительно оси соединения.

3. Изменяя осевое положение деталей конического соединения, можно регулировать величину зазора между ними или взаимное расположение сопрягаемых частей относительно друг друга.

Расчетная схема сил, действующих в коническом соединении, представлена на рис. 1.

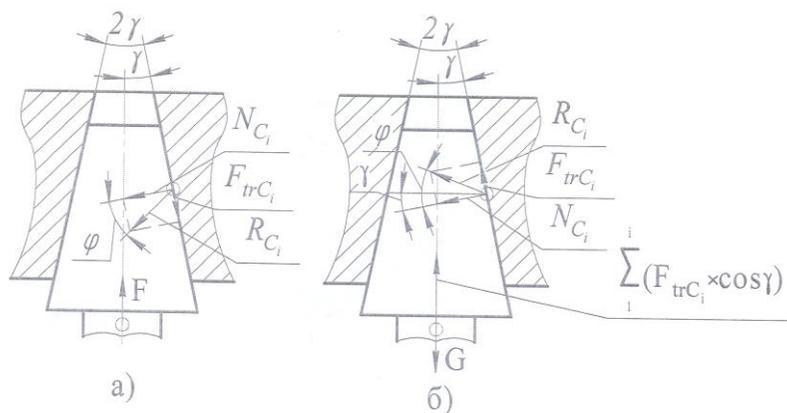


Рисунок 1 – Расчетная схема сил, возникающих в коническом соединении:

а) изображение схемы вставки конического пальца в отверстие;

б) изображение работы конического соединения.

На рис.1а изображена схема вставки конического пальца (абатмента) в конусное отверстие корпуса имплантата. Для закрепления пальца в отверстии к нему прикладывают моментно-действующую динамическую силу F , в стоматологии такой силой может выступать сила сжатия промежуточного материала зубами пациента. Деформированные поверхностные слои под действием сил упругого восстановления пытаются вернуться в свое исходное положение, усиливая при этом возникшие в соединении силы трения сцепления. После прекращения действия силы F , деформационные напряжения и возникшие силы сцепления остаются в материалах имплантата и абатмента.

При угле уклона конуса меньше или равным углу трения сопрягаемых поверхностей, результирующая сила трения сцепления будет направлена вверх, как показано на рис. 1б, что и создает эффект самоторможения механической системы. В противном случае, при направлении

результатирующей сил трения вниз, это будет способствовать раскреплению.

Надежность закрепления конического пальца в отверстии зависит от величины конусности, чистоты сопрягаемых поверхностей и физико-механических свойств материалов пальца и конической втулки.

Конический хвостовик должен воспринимать максимальные жевательные нагрузки, причем проскальзывание в соединении недопустимо. Определим максимальный крутящий момент, который может передать конус, т. е. тот предельный момент, по достижении которого будет наблюдаться проскальзывание. Осевое усилие, действующее на конический хвостовик, будем считать равным осевому усилию окклюзивной нагрузки P_o . При сжатии силой P_o двух конических поверхностей между ними возникает трение, момент которого может быть выражен формулой:

$$M = f_{mp} \cdot p \cdot F \cdot r_{прив} , \quad (1)$$

где: f_{mp} - коэффициент трения между трущимися поверхностями;

p - среднее удельное давление;

F - площадь соприкасающихся поверхностей;

$r_{прив}$ - приведенный радиус сил трения соприкасающихся поверхностей, который можно принять равным среднему радиусу:

$$r_{прив} = r_{cp} = \frac{r_1 + r_2}{2} = \frac{d_1 + d_2}{4} , \quad (2)$$

где: r_1, r_2 - максимальный и минимальный радиусы;

d_1, d_2 - соответствующие диаметры рабочей части конуса.

Величина $r_{прив}$ зависит от закона распределения элементарных сил трения трущихся поверхностей, т. е. от точности изготовления сопрягаемых конических поверхностей. Принимая приведенный радиус равным среднему, считаем, что при установке обеспечивается полное прилегание конической поверхности хвостовика и сопряженной поверхности конической втулки имплантата.

Расчетный крутящий момент M_p определяют исходя из максимального крутящего момента $M_{кр}$ возникающего при движении нижней челюсти:

$$M_p = \beta \cdot M_{кр} , \quad (3)$$

где: β коэффициент запаса сцепления, который должен гарантировать работу соединения без проскальзывания при уменьшении коэффициента трения или приведенного радиуса сил трения $r_{прив} = r_{cp}$ против расчетных. Коэффициент β при расчете, например, конических хвостовиков инструментов берется в пределах 1,25 - 1,5. Чтобы не было проскальзывания, расчетный крутящий момент должен быть больше или равен крутящему моменту трения:

$$\beta \cdot M_{кр} = f \cdot p \cdot F \cdot r_{cp} . \quad (4)$$

Среднее удельное давление p для конических сопряженных поверхностей связано с осевым усилием P_o соотношением:

$$p = \frac{P_0}{F \cdot \sin \gamma}, \quad (5)$$

где γ - угол уклона конуса, равный половине угла при вершине конуса (2γ).

Следует отметить, что большинство имплантационных систем состоят из нескольких компонентов, которые связаны между собой винтами, что создает условия для проникновения бактерий из-за неплотного прилегания частей конструкции в местах резьбового соединения. Коронка часто крепится к имплантату при помощи крепежного винта. При этом винты имеют свойство ослабляться и ломаться. В противоположность таким системам, система, разработанная фирмой Bicon состоит лишь из двух составляющих с бактериально-герметичным коническим соединением с углом уклона конуса $\gamma=1,5^\circ$. То есть, одна составляющая - это имплантат с глухим коническим отверстием, который помещается в кость, и абатмент с коническим хвостовиком, который вставляется в имплантат и обеспечивает прочную базу для искусственной коронки или съемного протеза. Благодаря специфическому дизайну имплантата, площадь его поверхности значительно больше, что позволяет уменьшить габаритные размеры, то есть применять более короткие имплантаты, которые требуют меньшего объема кости для установки и устойчивого функционирования. Дизайн абатмента без винтового соединения предполагает универсальное позиционирование с возможностью поворота вокруг оси на 360° . Благодаря этому возможно использование как цементируемых вне полости рта коронок, так и коронок, моделируемых непосредственно на абатменте и фиксируемых без использования винтов и цемента (Bicon Integrated Abutment Crown™).

Выводы:

Основными преимуществами применения конусного соединения имплантата и абатмента являются:

1. Отсутствие критического элемента в виде внутреннего винта.
2. Полное отсутствие микродвижений.
3. Отличная антибактериальная защита.
4. Оптимальное распределение жевательных нагрузок на имплантат.

Список использованных источников: 1. Самохвалов Я.А., Григораш М.Я. Справочник техника-конструктора, изд. 3-е, перераб. и доп., К.: Техніка, 1978.-592 с. 2. Таймингс Р. Машиностроение. Разъемные и неразъемные соединения, режущий инструмент. Карманный справочник./пер. с англ. – 2-е изд. – М.: Додэка-XXI, 2008. – 336 с.

Поступила в редколлегию 15.04.2010

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Абдулкеримов И.Д.</i> Повышение качества поверхности глухих отверстий в литых деталях пневмоаппаратуры изготовленной из алюминиевых сплавов	3
<i>Агу Коллинз, Узунян М. Д.</i> Особенности алмазно-искрового шлифования твердых сплавов с минимальным применением сухих углеводородных смазок	8
<i>Березовский А.А., Тонконогий В.М., Хомяк Ю.М.</i> Диагностика состояния покрытий деталей машин	13
<i>Бибик Т.В., Бовнегра Л.В, Пурич Д.А., Савельева О.С.</i> Оценка сетевой надежности при структурном проектировании сложных технических систем.....	18
<i>Билевский М.Л.</i> Влияние предварительного пластического деформирования на эффективность высокоскоростной механической обработки	22
<i>Бондарь А.А., Дудзинский Ю.М., Коряченко А.А., Становский А.Л.</i> Метод виртуального объекта при моделировании жизненного цикла динамических систем.....	29
<i>Волкогон В.М., Котляр Д.А., Аврамчук С.К., Кравчук А.В., Антонюк В.С.</i> Влияние предварительной подготовки порошков BN_B до спекания на основные характеристики процесса обработки стали ШХ15 в режиме непрерывного резания	35
<i>Грюнеанту И., Илиас Н., Раду С., Андрас И., Джэуан С.</i> Определение размеров угольных складов в зависимости от характеристики оборудования	45
<i>Деревянченко А.Г., Криницын Д.А.</i> Распознавание контуров зон износа режущих инструментов с использованием метода эталонов	51
<i>Деревянченко А.Г., Фомина О.В.</i> Поддержание и восстановление работоспособности режущих инструментов с использованием интеллектуальных систем.....	58
<i>Джур Е.А., Проволоцкий А.Е., Фесенко А.Г., Бондаренко И.И., Бондаренко О.В.</i> Комплексные, комбинированные, интегрированные и синергетические технологии в машиностроении.....	65

<i>Доброскок В.Л., Гаращенко Я.Н., Чернышов С.И., Зубкова Н.В.</i> Возможности современных САД систем при переходе к триангулированным моделям.....	79
<i>Долматов А.И., Багмет М.Н., Павленко В.Н., Рядинский В.И.</i> Влияние операций травления на циклическую прочность титановых сплавов	87
<i>Ковач Ф.</i> Технологические и экономические параметры улавливания CO ₂ из отработанных газов на силовых установках	91
<i>Крыжный Г.К.</i> Качество и два цикла жизни продукции	107
<i>Лобанов В.К., Пащикова Г.И.</i> О выборе параметров испытаний на усталость коленчатых валов мощных транспортных дизелей	118
<i>Михайлов А.Н., Михайлова Е.А.</i> Основные особенности полировки изделий с тонкими нитрид титановыми покрытиями	125
<i>Момот А.И., Момот С.А., Шелудешова А.Н.</i> Особенности внедрения новых технологий управления на промышленных предприятиях Украины	135
<i>Момот А.И., Самойлов П.И.</i> Реинжиниринг – один из путей выхода украинских предприятий из мирового кризиса	140
<i>Назаренко С.А., Бурлаенко В.Н.</i> Математические модели идентификации дефектов изделий	150
<i>Раду С.М., Петрар А.П., Джуан С., Хоара М., Ханумоло С.</i> Результаты исследований, полученные механизированным комплексом на шахте Лупень – Румыния.....	158
<i>Стрельчук Р.М., Узунян М.Д.</i> Исследование и анализ инжиниринга качества шлифования наноструктурных твердых сплавов	165
<i>Тимофеев Д.В., Беляцев Н.И., Узунян Д.М.</i> Особенности рекламной стратегии наукоемкой продукции на предприятии «УКРОРГСТАНКИНПРОМ»	171
<i>Федорович В.А., Ромашов Д.В., Малиняк А.М., Федоренко Д.О., Бабенко Е.О.</i> Моделирование путей повышения эффективности алмазно-абразивного инструмента	176
<i>Чарун Ю.И., Якименко Р.О., Лавриненко С.Н., Кулинич Г.В.</i> Преимущества надежных самотормозящих конических соединений в биоинженерных изделиях	183

Наукове видання

Високі технології в машинобудуванні

Збірник наукових праць

Упорядник *проф. Грабченко А. І.*

Оригінал-макет *Величко О. В.*
В авторській редакції

Підп. до друку 07.07.2010 р. Формат 60x84 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. № 911
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