

ВЕСТНИК НАЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА "ХПИ"

Сборник научных трудов

Тематический выпуск

1'2009

"Технологии в машиностроении"

Издание основано Национальным техническим университетом "Харьковский политехнический институт" в 2001 году

Государственное издание

Свидетельство Госкомитета по информации Украины
КВ № 5256 от 2 июля 2001 года

КООРДИНАЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Председатель

Л.Л.Товажнянский, д-р техн. наук, проф.

Секретарь координационного совета

К.А. Горбунов, канд. техн. наук, доц.

А.П.Марченко, д-р техн. наук, проф.

Е.И.Сокол, д-р техн. наук, проф.;

М.Д.Годлевский, д-р техн. наук, проф.;

А.И.Гребченко, д-р техн. наук, проф.;

В.Г.Данько, д-р техн. наук, проф.;

В.Д.Дмитриенко, д-р техн. наук, проф.;

В.Б.Клепиков, д-р техн. наук, проф.;

В.А.Лозовой, д-р фил. наук, проф.;

О.К.Морачковский, д-р техн. наук, проф.;

М.И.Рыщенко, д-р техн. наук, проф.;

В.Б.Самородов, д-р техн. наук, проф.;

В.П.Себко, д-р техн. наук, проф.;

В.И.Таран, д-р техн. наук, проф.;

Ю.В.Тимофеев, д-р техн. наук, проф.;

Б.Т.Бойко, д-р техн. наук, проф.;

А.Ф.Кириченко, д-р техн. наук, проф.;

Е.И.Юносова, д-р техн. наук, проф.;

В.И.Кравченко, д-р техн. наук, проф.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Ответственный редактор:

Ю.В.Тимофеев, д-р техн. наук, проф.

Ответственный секретарь:

В.В.Фролов, канд. техн. наук, доц.

С.С.Добровотворский, д-р техн. наук, проф.;

В.Е.Карпуть, д-р техн. наук, проф.;

А.Я.Мовшович, д-р техн. наук, проф.;

Ю.А.Сизый, д-р техн. наук, проф.;

В.Д.Хицан, д-р техн. наук, проф.;

А.А.Пермяков, д-р техн. наук, проф.;

А.Н.Шелковой, д-р техн. наук, доц.

Адрес редколлегии: 61002, Харьков,
ул. Фрунзе, 21. НТУ "ХПИ".
Каф. ТМС, Тел. (057) 7076-625.

Харьков 2009

Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні.– Харків: НТУ "ХПІ".– 2009.– №1 .– 112с.

В збірнику представлені теоретичні та практичні результати наукових досліджень та розробок, що виконані викладачами вищої школи, аспірантами, науковими співробітниками різних організацій та установ.

Для викладачів, наукових співробітників, спеціалістів.

В сборнике представлены теоретические и практические результаты исследований и разработок, выполненных преподавателями высшей школы, аспирантами, научными сотрудниками различных организаций и предприятий. В области технологии машиностроения, металлорежущего оборудования, оснастки, средств автоматизации.

Для преподавателей, научных сотрудников, специалистов.

**Рекомендовано до друку Вченою радою НТУ "ХПІ"
Протокол №1 від «31» січня 2009 р.**

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО МЕХАНИЗМА ПОПЕРЕЧНОЙ ПОДАЧИ ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА

Построена детерминированная математическая модель привода поперечной подачи шлифовального круга.

Современным машиностроением накоплен значительный опыт по разработке и применению систем автоматизации процессов алмазного шлифования [1-3]. Этот опыт убедительно говорит об их целесообразности и достаточно высокой технико-экономической эффективности. Одной из возможных координат управления шлифовальным станком является поперечная подача шлифовального круга.

Привод управления поперечной подачей шлифовального круга станка модели 3В624 (рис. 1) снабжен системой измерения линейных перемещений на базе фотоэлектрической линейки LS-101. Чувствительность фотоэлектрической линейки LS-101 составляет 0.1 мкм. В динамическом отношении первичный преобразователь представим пропорциональным звеном с зоной нечувствительности.



Рис. 1 - Структурная схема канала управления поперечной подачей шлифовального круга

Блок П1 состоит из следующих функциональных модулей: преобразователь синусоидального сигнала в импульсный, который выполнен на базе транзисторного ключа; десятиразрядный счетчик импульсов, который обнуляется после считывания цифровым регулятором 1 информации об величине поперечной подачи алмазного инструмента. Специфика работы этого блока позволяет представить его аperiodическим звеном с запаздыванием

$$H_1(p) = \frac{k_{\Pi} e^{-p\tau_{\Pi}}}{T_{\Pi} p + 1}, \quad (1)$$

где k_{Π} , τ_{Π} , T_{Π} - соответственно коэффициент передачи, запаздывание и постоянная времени блока П1.

С учетом зоны нечувствительности первичного преобразователя имеем такую передаточную функцию входного модуля канала управления поперечной подачей шлифовального круга:

$$H_2(p) = \frac{\Delta_1 k_{\text{пл}} e^{-p\tau_{\text{пл}}}}{T_{\text{пл}} p + 1}. \quad (2)$$

С допустимой, при моделировании объектов данного типа, погрешностью двигатель постоянного тока представим в виде последовательного соединения звеньев

$$H_3(p) = H_{\text{э}}(p) H_{\text{м}}(p) = \frac{k_{\text{д}}}{(T_{\text{э}} p + 1)(T_{\text{м}} p + 1)}, \quad (3)$$

где $H_{\text{э}}(p), H_{\text{м}}(p)$ - соответственно передаточные функции электрической и механической частей двигателя.

С учетом такого представления двигателя построим структурную схему исполнительного механизма (рис. 2). Выполним анализ структурной схемы с целью получения передаточной функции исполнительного механизма.

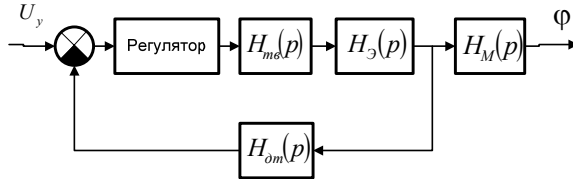


Рис. 2 - Структурная схема исполнительного механизма поперечной подачи шлифовального круга

Передаточная функция разомкнутой системы получена в таком виде

$$H_4(p) = H_{\text{мс}}(p) H_{\text{э}}(p) H_{\text{ом}}(p) = \frac{k_{\text{мс}} k_{\text{э}} k_{\text{ом}} e^{-\tau_{\text{мс}} p}}{(T_{\text{мс}} p + 1)(T_{\text{э}} p + 1)(T_{\text{ом}} p + 1)}. \quad (4)$$

После нормализации последнего выражения имеем

$$H_5(p) = \frac{1}{e^{\tau_{\text{мс}} p} (T_{\text{мс}} p + 1)(T_{\text{э}} p + 1)(T_{\text{ом}} p + 1) - 1}. \quad (5)$$

Отсюда, получим передаточную функцию исполнительного механизма привода поперечной подачи шлифовального круга в таком виде

$$H_6(p) = \frac{k_{\text{м}}}{[e^{\tau_{\text{мс}} p} (T_{\text{мс}} p + 1)(T_{\text{э}} p + 1)(T_{\text{ом}} p + 1) - 1] p (T_{\text{м}} p + 1)}. \quad (6)$$

После замены экспоненциальной функции ограниченным степенным рядом и преобразований получим передаточную функцию в виде

$$H_7(p) = \frac{k_{\text{м}}}{p^2 (a_4 p^4 + a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + a_0)}, \quad (7)$$

где $a_4 = \tau_{\text{мс}} T_{\text{мс}} T_{\text{э}} T_{\text{ом}} T_{\text{м}};$

$$a_3 = T_{\text{м}} [(\tau_{\text{мс}} + T_{\text{мс}}) T_{\text{э}} T_{\text{ом}} + \tau_{\text{мс}} T_{\text{мс}} (T_{\text{э}} + T_{\text{ом}})] + \tau_{\text{мс}} T_{\text{мс}} T_{\text{э}} T_{\text{ом}};$$

$$\begin{aligned}
a_2 &= T_M \left[T_{\mathfrak{Z}} T_{\partial m} + \tau_{m\mathfrak{e}} T_{m\mathfrak{e}} + (\tau_{m\mathfrak{e}} + T_{m\mathfrak{e}})(T_{\mathfrak{Z}} + T_{\partial m}) \right] + (\tau_{m\mathfrak{e}} + T_{m\mathfrak{e}}) T_{\mathfrak{Z}} T_{\partial m} + \\
&+ \tau_{m\mathfrak{e}} T_{m\mathfrak{e}} (T_{\mathfrak{Z}} + T_{\partial m}); \\
a_1 &= T_M (T_{\mathfrak{Z}} + T_{\partial m} + \tau_{m\mathfrak{e}} + T_{m\mathfrak{e}}) + T_{\mathfrak{Z}} T_{\partial m} + \tau_{m\mathfrak{e}} T_{m\mathfrak{e}} + (\tau_{m\mathfrak{e}} + T_{m\mathfrak{e}})(T_{\mathfrak{Z}} + T_{\partial m}); \\
a_0 &= \tau_{m\mathfrak{e}} + T_{m\mathfrak{e}} + T_{\mathfrak{Z}} + T_{\partial m}.
\end{aligned}$$

Анализ частотных характеристик исполнительного механизма поперечной подачи шлифовального круга выполним в среде *Matlab*. Алгоритм анализа выражения для передаточной функции состоит из следующих процедур:

- создаем tf-объект, в соответствии с выражением для заданной передаточной функции;
- определяем полюса передаточной функции с использованием команды `roots(H)` или `pole(H)`;
- определяем нули передаточной функции с использованием команды `roots(H)` или `zero(H)`;
- строим переходную функцию командой `step(H)`;
- строим импульсную переходную функцию командой `impulse(H)`;
- диаграмму Боде получим, используя для этого команду `bode(H)`;
- определяем частотный годограф Найквиста, выполнив для этого команду `nyquist(H)`;
- аналогичные результаты анализа можно получить, используя команду `ltiview(H)`, с соответствующими настройками в меню «Plot Configuration».

На рисунке 3 представлены скорректированные логарифмические амплитудно-частотные характеристики исполнительного механизма привода поперечной подачи шлифовального круга.

Передаточная функция разомкнутого канала управления поперечной подачей шлифовального круга получена в следующем виде:

$$H_8(p) = \frac{k_M T_{k1}^2 k_{\Pi1} e^{-p\tau_{\Pi1}} (1 - e^{-p\tau_r})^2}{p\tau_r (T_{\Pi1}p + 1)(a_4p^4 + a_3p^3 + a_2p^2 + a_1p + a_0)}. \quad (8)$$

После замены экспоненциальных функций ограниченными степенными рядами и преобразований получим передаточную функцию разомкнутого канала управления поперечной подачей шлифовального круга в таком виде:

$$H_8(p) = \frac{k_M T_{k1}^2 k_{\Pi1} \tau_r p}{(\tau_{\Pi1}p + 1)(T_{\Pi1}p + 1)(a_4p^4 + a_3p^3 + a_2p^2 + a_1p + a_0)}. \quad (9)$$

Анализ устойчивости разомкнутого канала управления поперечной подачей шлифовального круга выполним в среде *Matlab*. После преобразований выражение для передаточной функции разомкнутого канала приобретает такой вид:

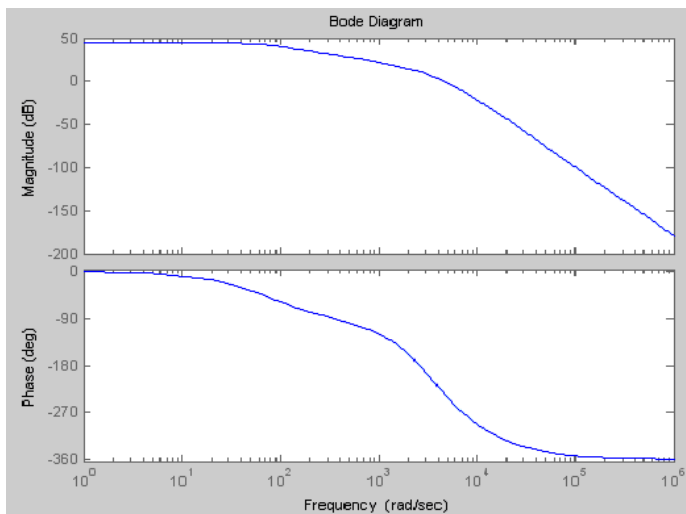


Рис. 3 - Диаграмма Бode скорректированной системы

$$H_9(p) = \frac{b_1 p}{a_6^* p^6 + a_5^* p^5 + a_4^* p^4 + a_3^* p^3 + a_2^* p^2 + a_1^* p + a_0^*}, \quad (10)$$

где $b_1 = k_M T_{k1} k_{II} \tau_r$, $a_6^* = a_4 \tau_{II} T_{II}$; $a_5^* = a_4 (\tau_{II} + T_{II}) + a_3 \tau_{II} T_{II}$;
 $a_4^* = a_4 + a_3 (\tau_{II} + T_{II}) + a_2 \tau_{II} T_{II}$; $a_3^* = a_3 + a_2 (\tau_{II} + T_{II}) + a_1 \tau_{II} T_{II}$;
 $a_2^* = a_2 + a_1 (\tau_{II} + T_{II}) + a_0 \tau_{II} T_{II}$; $a_1^* = a_1 + a_0 (\tau_{II} + T_{II})$; $a_0^* = a_0$.

Отсюда, передаточная функция замкнутого канала управления поперечной подачей шлифовального круга получена в таком виде:

$$H_{10}(p) = \frac{b_1 p}{a_6^* p^6 + a_5^* p^5 + a_4^* p^4 + a_3^* p^3 + a_2^* p^2 + (a_1^* - b_1) p + a_0^*}. \quad (11)$$

Поиск полюсов передаточной функции замкнутого канала управления поперечной подачей шлифовального круга в среде *Matlab* дал следующие результаты:

ans = 1.0e+003 * - 2.3231 - 0.06297 - 7.4528 + 1.5806i - 7.4528 - 1.5806i
 0.0631 + 0.02050i 0.0631 - 0.02050i

Анализ полученных результатов позволят сделать такие заключения: условию устойчивости замкнутой системы удовлетворяют первые четыре корня характеристического уравнения; корень два мал по величине и оказывает влияние на начало переходного процесса; канал управления поперечной подачей шлифовального круга без потери точности представим такой передаточной функцией:

$$H_{11}(p) = \frac{b_1 p}{(T_{33}^2 p^2 + 2\zeta T_{33} p + 1)(T_{34} p + 1)}, \quad (12)$$

где постоянные времени и затухание вычисляются на основании полученных корней характеристического уравнения. Последнее уравнение с допустимой ошибкой представимо в таком виде:

$$H_{11}(p) = \frac{b_1 p}{(\zeta T_{33} p + 1) \left(\frac{T_{33}}{\zeta} p + 1 \right) (T_{34} p + 1)}. \quad (13)$$

Для вычисления z-преобразования передаточной функции замкнутого канала управления поперечной подачей шлифовального круга раскладываем ее на простые дроби. В соответствии с таблицей z-преобразований имеем такое выражение:

$$z \left\{ \frac{H_{11}(p)}{p} \right\} = \frac{A_1 z}{z - l_1} + \frac{A_2 z}{z - l_2} + \frac{A_3 z}{z - l_3}, \quad (14)$$

где $l_1 = e^{-\frac{T_0}{\zeta T_{33}}}$, $l_2 = e^{-\frac{\zeta T_0}{T_{33}}}$, $l_3 = e^{-\frac{T_0}{T_{34}}}$.

Дискретная передаточная функция замкнутого канала управления поперечной подачей шлифовального круга после преобразований получилась в виде отношения двух степенных полиномов:

$$H_{11}(z^{-1}) = \frac{b_0^\circ + b_1^\circ z^{-1} + b_2^\circ z^{-2} + b_3^\circ z^{-3}}{1 + a_1^\circ z^{-1} + a_2^\circ z^{-2} + a_3^\circ z^{-3}}, \quad (15)$$

где $b_0^\circ = A_1 + A_2 + A_3$, $b_1^\circ = -[A_1 + A_2 + A_3 + A_1(l_2 + l_3) + A_2(l_1 + l_3) + A_3(l_1 + l_2)]$;
 $b_2^\circ = A_1(l_2 + l_3) + A_2(l_1 + l_3) + A_3(l_1 + l_2) + A_1 l_2 l_3 + A_2 l_1 l_3 + A_3 l_1 l_2$;
 $b_3^\circ = -(A_1 l_2 l_3 + A_2 l_1 l_3 + A_3 l_1 l_2)$; $a_1^\circ = -(A_1 l_2 l_3 + A_2 l_1 l_3 + A_3 l_1 l_2)$;
 $a_2^\circ = l_2 l_3 + l_1 l_3 + l_1 l_2$; $a_3^\circ = -l_1 l_2 l_3$.

Блоки П1, Р1 и ЭП1 вносят запаздывание в работу канала управления поперечной подачей шлифовального круга. Будем считать, что дискретное время запаздывания канала по управляющему воздействию, равное сумме запаздываний указанных блоков, составляет $2T_0$. Соответственно порядок математической модели рассматриваемого канала составляет $d=3$. С учетом этого запаздывания дискретная передаточная функция замкнутого канала управления поперечной подачей шлифовального круга получилась в таком виде:

$$H_{12}(z^{-1}) = z^{-2} \frac{b_0^\circ + b_1^\circ z^{-1} + b_2^\circ z^{-2} + b_3^\circ z^{-3}}{1 + a_1^\circ z^{-1} + a_2^\circ z^{-2} + a_3^\circ z^{-3}} = z^{-2} \frac{B(z^{-1})}{A(z^{-1})}. \quad (16)$$

Возмущающее воздействие приложено к валу двигателя и является результатом действия сил резания материала заготовки. Будем считать, что это воздействие приложено к механической части двигателя постоянного тока. Тогда получим передаточную функцию по возмущению исследуемого канала в таком виде:

$$H_{13}(p) = \frac{k_M}{p(T_M p + 1)}. \quad (17)$$

Для вычисления z-преобразования передаточной функции по возмущению замкнутого канала управления поперечной подачей шлифовального круга раскладываем ее на простые дроби. Дискретная передаточная функция по возмущению замкнутого канала управления поперечной подачей шлифовального круга после преобразований получилась в виде отношения двух степенных полиномов:

$$H_{14}(z^{-1}) = \frac{k_M T_M (1 - l_4) z^{-1}}{1 - (1 + l_4) z^{-1} + l_4 z^{-2}} = \frac{C(z^{-1})}{E(z^{-1})}. \quad (18)$$

Выводы. Полученные дискретные передаточные функции замкнутого канала управления поперечной подачей шлифовального круга использованы авторами при последующем синтезе оптимального цифрового регулятора.

Список литературы: 1. Полтавец В.В. Себестоимость шлифования с управляющими воздействиями на РПК // Резание и инструмент. - Донецк: ДонГТУ, 1999, с. 53-60. 2. Новоселов Ю.К., Братан С.М., Крылов И.В. Стратегия управления операцией шлифования в автоматизированном производстве // Резание и инструмент. - Донецк: ДонГТУ, 2001, с. 25-31. 3. Еникеев А.Ф. Оптимальное управление технологическим процессом алмазного шлифования. – Краматорск: ДГМА, 2001. – 160 с.

Поступила в редколлегию 11.12.08

УДК 515.2

М.А. МАКСИМОВА

ІНТЕРАКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ДИСТАНЦІЙНОМУ КУРСІ 3D-ГРАФІКИ

Робота присвячена висвітленню проблем, які виникають під час дистанційного вивчення курсу комп'ютерної тривимірної графіки. Описані особливості розробленого дистанційного курсу для слухачів будь-якої спеціальності.

Work is devoted to consecration of problems which arise during remote training computer three-dimensional packages. Features of the developed remote rate for listeners of any speciality are described

Постановка проблеми. Основною відмінною рисою дистанційної освіти від інших типів освіти є широке використання телекомунікаційних технологій в навчальному процесі, що складає певні труднощі спілкуванні з викладачем та перевірці отриманих знань.

Аналіз останніх досліджень. Сьогодні навчання через Інтернет все частіше розглядається не просто як зручна форма підвищення кваліфікації, а як цілком серйозна альтернатива традиційній освіті, що дозволяє студенту одержати глибокі знання. Існує багато реалізованих проєктів дистанційної освіти [1], які відрізняються між собою технологіями та носіями інформації - від

використання паперових носіїв та телефонного зв'язку до організації телеконференцій через супутники. Але курсів, які присвячені тривимірній графіці, досить небагато.

Формулювання цілей статті. Висвітлення основних особливостей дистанційного викладання при вивченні графічного тривимірного моделювання та анімації графічних зображень.

Основна частина. Тривимірна (3D) графіка вважається окремим предметом, який вивчає прийоми та методи побудови об'ємних моделей об'єктів у віртуальному просторі. Зазвичай до неї входять векторний та растровий способи формування зображення.

Хоча комп'ютерна графіка є всього лише інструментом, її структура та методи засновані на передових досягненнях фундаментальних та прикладних наук: математики, фізики, хімії, біології, статистики, програмування та багато інших. Тривимірна графіка знайшла широке застосування в таких галузях, як наукові розрахунки, інженерне проектування, комп'ютерне моделювання об'єктів та процесів.

На кафедрі інженерної та комп'ютерної графіки НТУ «ХПІ» розроблено курс дистанційного вивчення тривимірної графіки, який використовує оболонку, створену в лабораторії дистанційного навчання університету [1] для студентів будь-якої спеціальності. Але оскільки курс не передбачає якоїсь спеціальної попередньої підготовки, його можуть вивчати і школярі старших класів. Цей курс призначений для вирішення у подальшому задачі у різноманітних сферах діяльності людини, які пов'язані з тривимірною графікою.

Після закінчення слухач буде знати принципи побудови тривимірної сцени, мати загальну уяву про форми, параметричні об'єкти, модифікатори для швидкого змінення форми. Ці знання допоможуть у подальшому створювати тривимірні об'єкти та персонажі, візуалізувати фізичні процеси, створювати фото реалістичні тривимірні сцени та анімацію.

Для того, щоб навчання було предметним, із самого початку курс націлено на створення якогось відеороліка (наприклад, робота механізму, тушіння пожеги за допомогою екранів або презентація нової будівлі, тощо.). Це є головна відмінність курсу від інших, тобто курс не поділений на окремі практичні заняття, що не пов'язані між собою, а об'єднаний однією ідеєю, і це мотивує слухача на подальше навчання.

Організація і методика дистанційного вивчення учбового матеріалу дисципліни передбачає різноманітні види занять. У розділах теоретичний матеріал доповнений великою кількістю ілюстрацій. Кожна тема містить багато докладно розібраних прикладів. Передбачено вправи, які дають практичне підкріплення до теорії. Також запропоновано змістовний глосарій та посилки на допоміжну літературу [2]. Таким чином активно використовується один з базових дидактичних принципів комп'ютерних технологій передачі інформації та спілкування – принцип зв'язку теорії та практики. Якщо слухач впевнено володіє усіма матеріалами розділу, то створити свій власний об'єкт йому буде не важко.

Студент має можливість прочитати, прослухати, а також продивитися відео матеріали стільки разів, скільки йому необхідно для повного засвоєння матеріалу. Для початку студент отримує сценарій своєї роботи, який запропонує викладач, або пропонує свій варіант. Після чого зображує його на папері (креслення, ескізи, тощо), або викладає у письмовому вигляді з докладним описом об'єктів, які він збирається створити. А потім поступово, тема за темою відтворює їх.

При дистанційному навчанні найбільш складними задачами є оцінювання якості засвоєння знань та спілкування зі студентами. Для курсів, пов'язаних з графікою, це ще актуальніше, бо результатом стає не теоретичні викладки, що можуть бути вербально сформульовані, а створення зображень (у даному випадку віртуальних), які і є формою звітування. Для вирішення цих проблем в структурі курсу передбачено декілька прийомів. Згідно з вимогами Болонської системи розроблено тести, які містять питання за тематикою заняття і проводяться після закінчення кожної теми і наприкінці курсу.

Якщо слухач не може подолати запропоновані тести, тобто не набирає певну кількість балів, наступне заняття для нього заблоковано, поки він не пройде успішно тестування. Тобто викладач спонукає його до кращого вивчення матеріалу. Свої розробки студенту пропонується висилати електронною поштою у вигляді растрових зображень, що супроводжуються докладним текстовим описом для подальшого корегування та перевірки викладачем. В цьому описі висвітлюється хід створення векторного прототипу наданого зображення у тривимірному середовищі. Це потребує додаткових навичок та знань, які стосуються підготовки зображень для WEB-публікацій високої якості, але достатньо легких.

За допомогою форуму та чату здійснюється спілкування слухачів між собою та викладачем, що стимулює творчий процес. Це передбачає можливість колективного обговорення та спільного вирішення питань, що виникають у процесі навчання.

Висновки. Метод проведення занять та засоби навчання забезпечують високий рівень засвоєння учбового матеріалу, розвиток самостійності, творчості та ініціативи слухачів. Методика проведення занять базується на активних методах навчання, впроваджуються проблемні методи навчання, індивідуальна практика.

Особлива увага надана практичному напрямкові вивчення тем. Особливістю викладання дисципліни є розвиток у студентів просторової уяви, логічного мислення. Розвиток навичок моделювання об'єктів проводиться постійно, при цьому використовуються віртуальні моделі.

Список літератури: 1. В.М. Кухаренко, О.В. Рибалко, Н.Г. Сиротинко Дистанційне навчання: Умови застосування/ За ред. В.М. Кухаренка – Харків: НТУ «ХПІ», «Торсінг», 2001.-320с.

Поступила в редколлегию 11.12.08

А.Н. ШЕЛКОВОЙ, Д.В. ФЕДЕНЮК.

УСКОРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ СБОРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ 3D- МОДЕЛИРОВАНИЯ

С появлением мощных графических станций появилась возможность решать не только математические задачи, но и визуализировать в 3D пространстве (имитировать) сложнейшие технологические процессы на экране. 3D модель объекта позволяет более досконально исследовать его работу и облегчает визуальное восприятие объекта.

Сборка является заключительным этапом изготовления машины, в значительной степени определяющим её основные эксплуатационные качества. Поэтому 3D-моделирования сборочных процессов на сегодняшний день является очень актуальным, позволяющим более детально проработать весь процесс сборки с наименьшими ошибками, а также определить $t_{шт}$ на сборочную операцию.

Целью 3D-моделирования - является повышение эффективности технологической подготовки производства сборочных процессов, а также:

- разработка модели системы имитационного моделирования сборочных процессов;
- разработка программного и методического обеспечения системы 3D моделирования сборочных процессов;
- разработка методов синтеза структуры и параметров технологических процессов сборки на основе 3D-моделирования;

3D-модель сборки состоит из многочисленных элементов, в свою очередь которые могут являться деталями или другими сборками, называемыми узлами сборки. Все они имеют между собой наложенные связи взаимодействия, которые можно представить в виде графа (рис. 1)

Математически взаимодействие элементов можно выразить таким образом:

$$БД \left(\mathcal{E}_1 \left\{ \begin{matrix} P(X, Y, Z) \\ B(X, Y, Z) \end{matrix} \right\} \otimes \mathcal{E}_2 \left\{ \begin{matrix} P(X, Y, Z) \\ B(X, Y, Z) \end{matrix} \right\} \otimes \dots \mathcal{E}_n \left\{ \begin{matrix} P(X, Y, Z) \\ B(X, Y, Z) \end{matrix} \right\} \right);$$

где $\otimes$ - знак взаимодействия элементов системы;

Таким образом, каждый элемент в системе имеет в пространстве свои координаты по осям X, Y, Z, относительно которых возможно осуществление перемещение элемента либо его вращение.

Программа «автоматизированной сборки узлов» позволяет осуществлять 3D сборку основных частей станка, задавать перемещение и вращение элементам (шпинделя, суппортов, задней бабки и т.д.) в реальном времени.

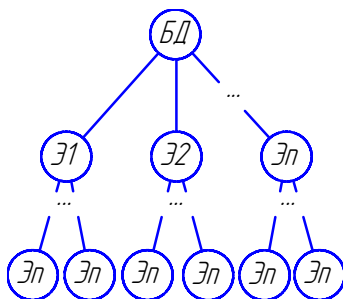


Рис. 1 Граф построения 3D-модели сборки

где БД – базовая деталь; Э1...Эп – элементы входящие в сборку; (П;В) – наложенные связи между элементами, соответственно перемещение (П) и вращение (В).

Интерфейс программы (рис. 2) состоит из стандартных элементов

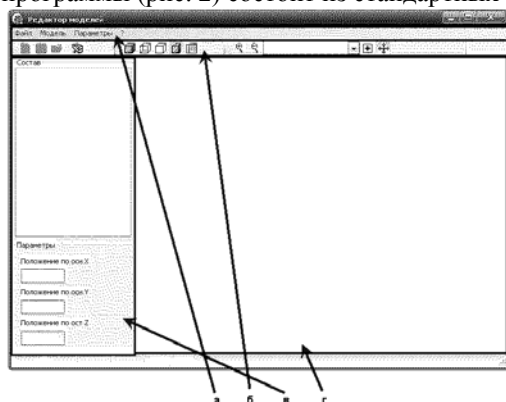


Рис. 2. Программа автоматизированной сборки узлов станков.

а - строка меню; б – панель навигации управления; в – панель информации; г – рабочая зона построения.

управления: строка меню (а), панели навигации управления элементами (б), панели информации (в) и рабочей зоны построения (г).

Программа использует модели в формате (*.STL), заранее созданные в графических 3D редакторах: КОМПАС, SolidWorks и др. по отдельным элементам: станина, шпиндель, суппорта и т.д. Формат *.STL был разработан для нужд стереолитографии и предназначен для представления трёхмерных моделей. Он включает в себя описание треугольников из которых состоит поверхность объекта.

На «панели навигации» расположены кнопки, с помощью которых осуществляются управление моделью. Открытие сборки, сохранение, добавления элементов сборки, отображение модели, изменение пространственных параметров вращение, перемещение, а также масштабирование сборки для

лучшего её восприятия и управления.

Для визуализации модели используется 3 вида отображения графической информации (рис. 3): а – твёрдотельное отображение модели; б – каркасное отображение модели; в – каркасное отображение модели без невидимых линий.

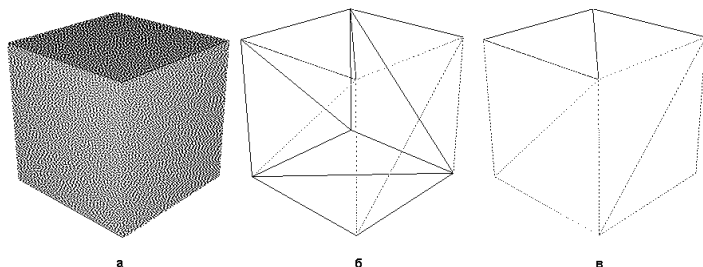


Рис. 3. Отображение модели

а – твёрдотельное отображение; б – каркасное отображение; в – каркасное отображение без невидимых линий.

На «панели информации» (рис. 2) выводится информация о составе сборки в виде дерева построения, и параметры состояния элемента (координаты (X,Y,Z) , углы поворота, параметры скорости перемещения либо вращения, а также фиксация объекта в пространстве).

В «рабочей зоне построения» осуществляется отображение и манипулирование элементами сборки. Для построения модели токарного станка необходимо создать 3D модели его элементов (станина, шпиндель, продольный суппорт, поперечный суппорт, задняя бабка) в системе SolidWorks, и экспортируем их в формат (*.STL). Запускаем программу «автоматизированной сборки узлов» и добавляем каждый элемент (рис.4).

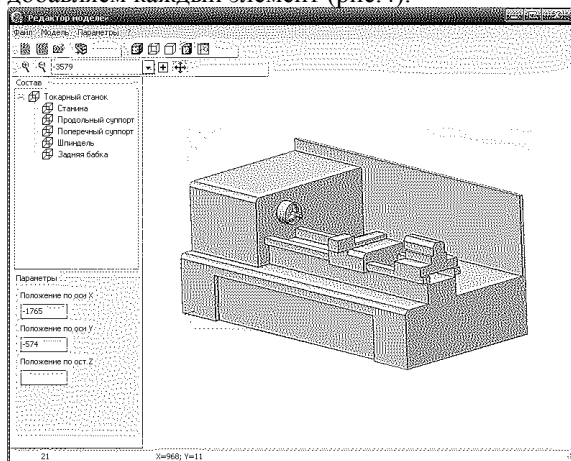


Рис. 4. Построение модели токарного станка.

Для изменения расположения элемента сборки в пространстве, необходимо выбрать нужный элемент в дереве построения, после чего в параметрах отобразятся его исходные координаты. Параметры перемещения в пространстве можно фиксировать, разрешая либо запрещая его движение в выбранной оси. Элемент можно переместить двумя способами: с помощью ввода в соответствующей строке напротив необходимого параметра, либо посредством мыши. Здесь же мы задаём скорость, если это шпиндель – скорость вращения, суппорта – скорость (подача) перемещения. Все эти координаты (рис. 5) задаются в так называемой «нулевой точке» времени – начальные параметры.

Таким образом, задаём параметры для остальных элементов: станина – неподвижна (фиксированы все перемещения и вращения); продольный суппорт (возможны 2 перемещения); поперечный суппорт (возможны 2 перемещения); шпиндель (только 1 вращение); задняя бабка (1 перемещение).

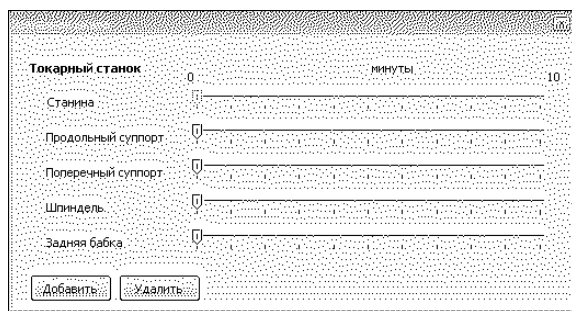


Рис. 5. Временная шкала

После чего устанавливаем на временной шкале «критические точки», точки в момент времени которых должно происходить изменение параметра: либо начало (окончание) перемещения, либо включение (останов) вращения и т.д.. В каждой точке параметры можно изменять аналогично установке «нулевой точки». Для имитации работы станка запускаем программу на выполнение.

Таким образом 3D-моделирование позволяет более правильно проанализировать сборку, сократить время разработки технологического процесса за счёт уменьшения ошибок последовательности сборки (наложения связей) элементов.

Список литературы: 1. Маталин А.А. Технология машиностроения: Учебник для машиностроительных вузов по специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты». – Л.: Машиностроение, 1985, 2. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т2/ Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. - 4-е изд., перераб. и доп.- М.: Машиностроение, 1985, 3. Архангельский А.Я. Delphi 2006. Справочное пособие: Язык Delphi, классы, функции Win32 и .NET. – М.:ООО«Бином-Пресс», 2006г. – 1152 с. 4. Краснов М.В. OpenGL. Графика в проектах Delphi. – СПб.:БХВ-Петербург, 2002. – 352 с.

Поступила в редколлегию 11.12.08

А. А. АНДИЛАХАЙ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ СТРУЙНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ

Разработана математическая модель и проведен теоретический анализ параметров струйно-абразивной обработки деталей

В последнее время заметно возросло практическое применение различных методов гидроабразивной отделочной обработки деталей, особенно гидроабразивной струей [1, 5–8]. Метод обладает рядом несомненных достоинств, к числу которых можно отнести: универсальность обрабатываемого инструмента, оснастки и оборудования, экономичность, простота конструкции и обслуживания. Из большого числа публикаций по этому направлению следует выделить работы Проволоцкого А. Е. [1, 2]. Вместе с тем, существенным недостатком такой обработки является интенсивный износ каналов сопел, через которые подается абразивная суспензия.

Целью настоящей работы является научное обоснование выбора технологических параметров обработки по методу Бокса-Уилсона [3] на основе экспериментальных исследований процесса струйно-абразивной обработки мелких деталей малой жесткости затопленными струями сжатого воздуха, когда абразивный материал (в виде порошка) не прокачивается через каналы сопел струйного аппарата, а присоединяются к струе за их пределами.

Исследование влияния основных технологических параметров на производительность процесса выполнено по плану дробного факторного эксперимента с построением математической модели. Построение математической модели состоит из нижеследующих этапов: выбор критерия оптимизации; выбор и кодирование факторов; составление плана-матрицы эксперимента; рандомизация опытов; реализация плана эксперимента; проверка воспроизводимости опытов; проверка адекватности линейной модели; оценка значимости коэффициентов регрессии.

Основным назначением исследуемого процесса является удаление заусенцев и достижение заданной шероховатости поверхностей, поэтому критерий оптимизации должен оценивать изменение состояния кромок деталей, а также шероховатость поверхности. Поскольку удаление заусенцев является процессом многократной пластической деформации и постепенного удаления микрообъемов поверхностного слоя со всех участков, в том числе и кромок деталей, косвенными критериями оптимизации могут служить: число следов абразивных частиц на единичных площадях поверхности образцов, величина металлоудаления с контрольных образцов в единицу времени, а также высота микронеровностей обработанной поверхности. В целях выявления предельных значений параметров, при которых существует процесс струйно-

абразивной обработки, выявления степени чувствительности выбранных критериев оптимизации, а также отбора наиболее важных факторов необходимы предварительные эксперименты. В процессе предварительных экспериментов установлено, что следы абразивных частиц распределяются по поверхностям полированных контрольных образцов неравномерно: вдоль кромок более плотно, у центров граней – менее плотно. Кроме того, следы отличаются размерами и формой, что затрудняет получение объективной оценки производительности процесса, который может интенсифицироваться не только за счет увеличения количества ударов абразивных частиц, но и за счет силы единичных ударов. Однако в пределах поверхности одного образца подсчет количества равноценных следов на контрольных площадках, ограниченных полем видимости микроскопа, не представляет особой трудности.



Рис. 1. Зависимость критерия производительности обработки от единичной массы обрабатываемых деталей: Δ – число отпечатков на торцах образцов; $\circ$ – на плоскостях тех же образцов.

Исследование поверхности образцов позволило выявить закономерности изменения интенсивности воздействия частиц по мере приближения к кромкам обрабатываемой детали. На рис. 1 показана связь между плотностью распределения следов абразивных частиц и расстоянием от кромок деталей различной формы и массы. Из графиков видно, что максимальное количество следов частиц для деталей массой от 0,5 до 3,5 г приходится на кромки, а для деталей большей массы максимум несколько смещен к средней части. Это объясняется тем, что детали с меньшей массой способны противостоять потоку сжатого воздуха, жидкости и абразивного материала только в том случае, когда они ориентированы кромками к соплам, т.е. положением, соответствующим наименьшему лобовому сопротивлению. Детали с большей массой удерживаются в струйном потоке большее время и ориентируются почти равнозначно сторонами, соответствующими меньшему и большему лобовому сопротивлению. Таким образом, установлено, что для листовых штампованных деталей массой от 0,5 до 3,5 г металlosъем локализуется вдоль кромок, где и расположены заусенцы. В связи с этим, удобным критерием с точки зрения простоты

контроля, непрерывности роста и чувствительности к воздействию на кромки является величина металlosъема с контрольных образцов в единицу времени. Поскольку аналитическое выражение функции неизвестно, представим ее в виде линейного полинома, построение которого возможно в любой точке факторного гиперпространства:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i < j} b_{ij} x_i x_j, \quad (1)$$

где y - металlosъем в единицу времени с контрольных образцов, мг; b_0 , b_i , b_j - выборочные коэффициенты регрессии, устанавливаются экспериментально.

Факторы, уровни и интервалы варьирования факторов, выбранных по результатам постановочных опытов, приведены в табл. 1. Рандомизация опытов назначена по таблице случайных чисел [3] и приведена в табл. 2.

В числе выбранных шести параметров имеются два, взаимодействие которых по априорным данным [4] предполагается существенным, поэтому при минимизации количества опытов в выбранном плане типа 2^{6-3} , представляющем собой 1/8 реплики, эффект взаимодействия между x_1 и x_2 факторами оценивается отдельно. В связи с этим выбраны следующие генерирующие соотношения:

$$x_4 = x_1 x_3; \quad x_5 = x_2 x_3; \quad x_6 = x_1 x_2 x_3.$$

Тогда получаем следующие определяющие контрасты:

$$I = x_1 x_3 x_4; \quad I = x_2 x_3 x_5; \quad I = x_1 x_2 x_3 x_6.$$

Перемножив попарно определяющие контрасты, получим:

$$I = x_1 x_2 x_4 x_5; \quad I = x_1 x_5 x_6; \quad I = x_2 x_4 x_6.$$

Произведение трех определяющих контрастов равно $I = x_3 x_4 x_5 x_6$. Разрешающая способность данной 1/8 реплики выражается обобщающим определяющим контрастом

$$I = x_1 x_3 x_4 = x_2 x_3 x_5 = x_1 x_2 x_3 x_6 = x_1 x_2 x_4 x_5 = x_1 x_5 x_6 = x_2 x_4 x_6.$$

Оценки смешиваются следующим образом:

$$b_1 \rightarrow \beta_1 + \beta_{34} + \beta_{56} + \beta_{236} + \beta_{245};$$

$$b_2 \rightarrow \beta_2 + \beta_{35} + \beta_{46} + \beta_{136} + \beta_{145};$$

$$b_3 \rightarrow \beta_3 + \beta_{14} + \beta_{25} + \beta_{136} + \beta_{456};$$

$$b_4 \rightarrow \beta_4 + \beta_{13} + \beta_{26} + \beta_{125} + \beta_{356};$$

$$b_5 \rightarrow \beta_5 + \beta_{23} + \beta_{16} + \beta_{124} + \beta_{346};$$

$$b_6 \rightarrow \beta_6 + \beta_{15} + \beta_{24} + \beta_{123} + \beta_{345};$$

Если пренебречь тройными взаимодействиями как незначимыми, то каждая оценка будет смешана с двумя парными взаимодействиями, но поскольку постулируется линейная модель, за исключением известного существенного взаимодействия $x_1 x_2$, парные оценки β_{56} ; β_{34} ; β_{35} ; β_{46} ; β_{14} ; β_{25} ; β_{13} ; β_{26} ; β_{23} ; β_{16} ; β_{15} ; β_{24} незначимы и, следовательно, $b_1 = \beta_1$; $b_2 = \beta_2$; $b_3 = \beta_3$; $b_4 = \beta_4$; $b_5 = \beta_5$; $b_6 = \beta_6$ все основные эффекты оцениваются раздельно друг от друга.

Для построения матрицы планирования 2^{6-3} используем матрицу 2^3 , достраивая ее с помощью генерирующих соотношений соответствующими уровнями.

Таблица 1 – Факторы, интервалы и уровни варьирования

Факторы	Уровни варьирования			Интервалы варьирования
	+1	0	-1	
x_1 - объем загружаемого абразива, $V_a, \text{см}^3$	140	100	60	40
x_2 - единичная масса деталей, $m_0, \text{г}$	3	1,75	0,5	1,25
x_3 - суммарная масса обрабатываемых деталей, $Q, \text{кг}$	0,325	0,21	0,1	0,11
x_4 - объем заливаемой жидкости $W_{\text{жс}}, \text{л}$	1,5	1,0	0,5	0,5
x_5 - зернистость абразивного материала, $d_a, \text{мкм}$	630	415	200	215
x_6 - содержание соды (Na_2CO_3) в жидкости, $K_{\text{жс}}, \%$	3	1,5	0	1,5

Матрица планирования, представляющая собой 1/8 реплики от 2^6 , заданная генерирующими соотношениями: $x_4 = x_1 x_3$; $x_5 = x_2 x_3$; $x_6 = x_1 x_2 x_3$ и результаты эксперимента показаны в табл. 2. Воспроизводимость процесса проверена с помощью критерия Кохрена:

$$G = \frac{S_{u \max}^2}{\sum S_u^2} \leq G(0,05; f_n; f_u), \quad (2)$$

где $S_u^2 = \sum_{p=1}^m (Y_{up} - \bar{Y})^2$ - дисперсия результатов опытов на u -ом сочетании уровней факторов (значения сведены в табл. 2); $p = 1, 2, \dots$; $m = 2$ число параллельных опытов; $S_{u \max}^2 = 0,07$ - наибольшая из дисперсий; $G(0,05; f_n; f_u) = 0,6798$ - табличное значение критерия Кохрена при 5% уровне значимости; $f_n = n = 8$ - число независимых оценок дисперсии; $f_u = m - 1 = 1$ - число степеней свободы каждой оценки; $G = 0,21$. Процесс воспроизводим, так как $G = 0,21 < G(0,05; 8; 1) = 0,6798$. При этом дисперсия воспроизводимости

$$S_y^2 = \frac{\sum_{u=1}^n S_y^2}{n} = \frac{0,32}{8} = 0,04. \quad (3)$$

Расчет коэффициентов регрессии произведен по следующим формулам:

$$b_0 = \frac{\sum_{u=1}^n \bar{y}_u}{n}; \quad b_i = \frac{\sum_{u=1}^n \bar{y}_u x_{iu}}{n}; \quad b_{ij} = \frac{\sum_{u=1}^n \bar{y}_u x_{iu} x_{ju}}{n};$$

В соответствии с этим получен полином:

$$y = 17,3 + 2,625x_1 - 2,575x_2 - 1,2x_3 - 1,775x_4 + 0,375x_5 + 0,96x_6 + 1,95x_1x_2. \quad (4)$$

Адекватность полученной модели проверялась с помощью критерия Фишера. Гипотеза об адекватности модели принимается, если выполняется равенство

$$F = \frac{S_{a\theta}^2}{S_y^2} \leq F(0,05; f_{a\theta}; f_y), \quad [3] \quad (5)$$

где $S_{a\theta}^2 = \frac{\sum_{u=1}^n (\bar{y}_u - y_u)^2}{n-k-1}$; y_u - расчетное значение отклика в u -том опыте;

$F(0,05; f_{a\theta}; f_y)$ - критерий Фишера при 5% уровне значимости; $f_{a\theta} = n-k-1$ - число степеней свободы дисперсии адекватности; f_y - число степеней свободы дисперсии воспроизводимости.

Таблица 2 – Матрица планирования дробного факторного эксперимента 2^{6-3} (1/8 реплики)

Рандомизация опытов	Фиктивная переменная x_0	Объем абразива x_1	Единичная масса детали x_2	Суммарная масса деталей x_3	Эффект взаимодействия $x_1 x_2$	Объем жидкости $x_1 x_3 = x_4$	Зернистость абразива $x_2 x_1 = x_5$	Содержание соды $x_1 x_2 x_3 = x_6$	Металлосъем			S_u^2	y_u значение отклика
									y_{u1}	y_{u2}	$\bar{y}_u$		
2	+	-	-	+	+	-	-	+	20,16	20,44	20,3	0,04	20,3
5	+	+	-	-	-	-	+	+	24,64	24,95	24,8	0,05	24,8
8	+	-	+	-	-	+	-	+	10	10,2	10,1	0,02	10,1
1	+	+	+	+	+	+	+	+	17,45	17,75	17,6	0,05	17,6
3	+	-	-	-	+	+	+	-	17,92	18,28	18,1	0,07	18,1
7	+	+	-	+	-	+	-	-	16,16	16,44	16,3	0,04	16,3
4	+	-	+	+	-	-	+	-	10,32	10,08	10,2	0,03	10,2
6	+	+	+	-	+	-	-	-	21,1	20,9	21	0,02	21

По полученному уравнению найдены расчетные значения y_u (данные занесены в табл. 2). Поскольку получено абсолютное совпадение y_u и y , дисперсия адекватности будет равна 0, в соответствии с этим любое значение критерия Фишера будет удовлетворять условию адекватности. Отсюда следует, что полученная модель адекватно описывает исследуемый процесс. Проверка значимости каждого коэффициента проводится независимо. Оцен-

ка выполнена с помощью t - критерия Стьюдента. Коэффициент считается значимым, если выполняется неравенство

$$|b_i|^3 \Delta b_i = t(0,05; f_y) \frac{S_y}{\sqrt{n}}, \quad (6)$$

где $t(0,05; f_y)$ - 5%-ная точка распределения Стьюдента с $f_y = 1$ степенями свободы,

$$\Delta b_i = 12,71 \frac{\sqrt{0,04}}{\sqrt{8}} 0,898.$$

Все полученные по расчету коэффициенты регрессии, кроме $b_5 = 0,375$, значимы. Это значит, что погрешностью y в уравнении регрессии будет величина 0,375. Поскольку коэффициент b_5 имеет положительный знак, параметр оптимизации должен расти при его увеличении, однако дальнейшее увеличение зернистости абразива приводит к снижению класса шероховатости R_z более 6,3 – 6,8 мкм, в связи с этим увеличение интервала варьирования нецелесообразно. На основании проведенной серии экспериментов полученное уравнение регрессии (4) с учетом значимости коэффициентов примет вид:

$$y = 17,3 + 2,625x_1 - 2,575x_2 - 1,2x_3 - 1,775x_4 + 0,96x_6 + 1,95x_1x_2. \quad (7)$$

Для использования в технологических расчетах полученное уравнение приведено к натуральным переменным с учетом соотношений:

$$x_1 = \frac{V-100}{40}; \quad x_2 = \frac{m-1,75}{1,25}; \quad x_3 = \frac{Q-0,2125}{0,1125}; \quad x_4 = \frac{W-1}{0,5}; \quad x_6 = \frac{K-1,5}{1,5}.$$

После простого преобразования получим:

$$M = 26,086 - 0,003V_a - 5,96m_o - 10,65Q_o - 3,55W_{\text{жс}} + 0,6k + 0,039m_oV_a. \quad (8)$$

Зависимость шероховатости поверхности от важнейших параметров струйно-абразивной обработки описывается математической моделью, построенной аналогичным путем; уравнение регрессии имеет вид:

$$y_R = 1,18 + 0,028x_1 - 0,083x_2 - 0,15x_3 + 0,066x_4 + 0,023x_1x_2.$$

В переводе к натуральным переменным:

$$R_a = 1,5 - 0,03V_a - 0,11m_o - 0,33Q_o + 0,033W_{\text{жс}} + 0,096 m_oV_a.$$

Полученное уравнение позволяет прогнозировать результаты обработки, решать компромиссные задачи выбора максимальной производительности при заданной шероховатости. В установленном диапазоне значений параметров процесса шероховатость поверхности изменяется в узких пределах от $R_a = 0,96$ до $R_a = 1,54$.

Зависимость шероховатости поверхности от основных технологических параметров процесса проиллюстрирована графиком (рис. 2). Из приведенных графиков видно, что высота микронеровностей снижается при уменьшении количества абразивного материала и при увеличении единичной и суммарной массы загруженных деталей. Из графиков также видно, что высота микронеровностей на деталях растет при одновременном увеличении единичной и суммарной массы деталей.

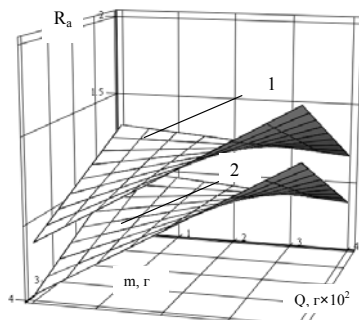


Рис. 2. Зависимость шероховатости поверхности от единичной m и суммарной Q массы деталей и суммарной массы абразива: 1 – 140 см³; 2 – 60 см³ в рабочей камере.

Зависимость съема металла от основных параметров продемонстрирована графиком на рис. 3. Здесь съем металла возрастает при уменьшении единичной и суммарной массы обрабатываемых деталей, а также при увеличении объема абразивного материала. Полученные функциональные зависимости имеют следующий физический смысл. Детали с минимальной единичной массой легко разгоняются струей сжатого воздуха и ударяются об обрезающие стенки рабочей камеры. В момент столкновения, между стенкой и деталью могут находиться абразивные зерна, которые производят деформацию микрообъемов металла детали. Вероятность нахождения абразивных зерен в месте столкновения детали с абразивной стенкой увеличивается в том случае, когда объем абразивного материала, загружаемого в рабочую камеру, - максимальный. Это является причиной повышения производительности и увеличения высоты микронеровностей.

При увеличении суммарной массы загрузки деталей энергия струй сжатого воздуха, приходящаяся на одну деталь, уменьшается. В связи этим скорость их движения падает, удары о стенки становятся слабыми, а съем металла достигается только за счет разности скоростей абразивных зерен и деталей. При этом высота микронеровностей уменьшается и становится характерной для воздействия единичными абразивными зернами в воздушной струе.

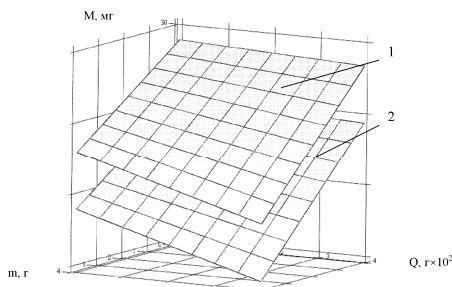


Рис. 3. Зависимость металлосъема M от единичной массы деталей m , суммарной массы Q и суммарной массы абразива: 1 – 140 см³; 2 – 60 см³ в рабочей камере.

Снижение производительности, выраженное уменьшением съема металла с контрольных образцов при увеличении количества рабочей жидкости, так же как при увеличении суммарной массы обрабатываемых деталей, объясняется уменьшением удельных затрат энергии струй сжатого воздуха в массе загрузки. Слабое влияние зернистости абразивного материала на съем металла и шероховатость поверхности объясняется тем, что абразивные зерна меньшей зернистости, инжектируясь в струи, быстрее набирают скорость, чем более крупные зерна. Поэтому запас кинетической энергии крупных зерен, имеющих большую массу, но малую среднюю скорость перед столкновением с деталью, равен запасу кинетической энергии мелких зерен, имеющих малую массу, но большую скорость.

Список литературы: 1. Проволоцкий А.Е. Механизация отделки деталей с использованием струйно-абразивной обработки // Механизация и автоматизация пр-ва. – 1990. – № 5. – С. 7-10. 2. Проволоцкий А.Е., Гришин В.С. Акустический контроль технологических параметров струйно-абразивной обработки // Прогресс. технол. процессы в машиностр. и стимул. их внедрения в пр-во, 18-20 сент., 1990: Тез. докл. обл. науч.-практ. конф. – Харьков, 1990. – С. 126. 3. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. – 279 с. 4. Сергиев А.П., Андилахай А.А. Струйно-абразивная обработка мелких деталей во вращающемся потоке. – Станки и инструмент. – 1981. – №11. – С. 18-20. 5. Патент 4922664 США. МКИ⁵ В 24 С 5/04. Гидропескоструйная установка. 6. Патент 4936059 США. МКИ⁵ В 24 С 5/04. Способ и устройство для гидроабразивной струйной обработки. 7. Заявка 3702675 ФРГ. МКИ⁴ В 08 В 3/02. Устройство для гидроструйной очистки. 8. Заявка 3817641 ФРГ. МКИ⁴ В 08 В 3/02. Устройство для гидроструйной очистки поверхности.

Поступила в редколлегию 11.12.08

УДК 621.922.04

И.Е. ИВАНОВ

СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И СИНТЕЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗЬБОВЫХ ОТВЕРСТИЙ В ГОРЛОВИНАХ БАЛЛОНОВ

Приведены результаты экспериментальных исследований параметров точности обработки отверстий в горловинах баллонов и качества нарезания в них герметичной конической резьбы и предложены новые решения по созданию эффективного технологического процесса механической обработки резьбовых отверстий в горловинах баллонов

При изготовлении баллонов в условиях массового производства на автоматических линиях возникают сложные задачи по обеспечению качественного нарезания герметичной конической резьбы в отверстиях горловины баллона под вентиль. Практикой установлено, что до 16% изготавливаемых баллонов из стали 30ХМА не соответствуют требованиям по качеству нарезания резьбы вследствие образования тугой или прослабленной резьбы [1–3]. Это

обусловлено особенностями обработки отверстия с заведомо неравномерным снимаемым припуском (после закатки горловины баллона) и возникающими погрешностями обработки отверстия на переходах, предшествующих нарезанию резьбы (рассверливания и зенкерования отверстия). В связи с этим целью работы является проведение экспериментальных исследований параметров точности обработки резьбовых отверстий в горловинах баллонов и на их основе выработать решения по совершенствованию базового технологического процесса обработки.

Были проведены экспериментальные исследования погрешностей базирования заготовок баллонов на станке с помощью специально разработанных контрольных приспособлений для измерения радиального отклонения цилиндрической и сферической частей горловины $\varnothing 70$ мм относительно цилиндрической части баллона. Первоначально была выполнена оценка точности заготовки баллона по отклонению оси горловины от оси цилиндрической части баллона X (т.е. несоосности горловины баллона и его цилиндрической части). Измерения проводились для 50-ти баллонов методом математической статистики. Установлено, что разброс значений X находится в пределах 0,25...0,85 мм (рис. 1,а). При этом основная часть значений X сосредоточена в интервале 0,35...0,45 мм.

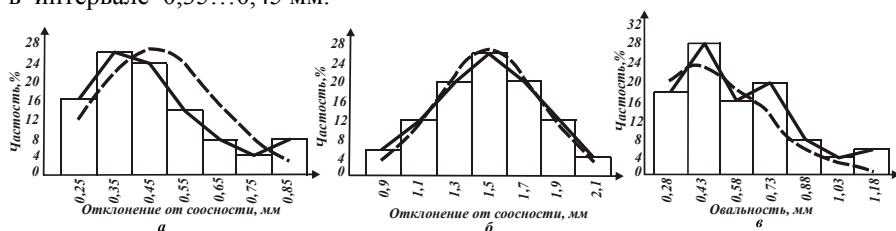


Рис. 1. Гистограмма и кривые распределения отклонения оси горловины от оси цилиндрической части баллона X (а), отклонения оси пояска горловины от оси цилиндрической части баллона X_1 (б) и величины овальности сферической части горловины баллона на диаметре 70 мм (в).

Далее была произведена оценка несоосности пояска горловины (после точения) и цилиндрической части баллона, по сути, несоосности цилиндрической части баллона и шпинделя инструментальной головки. Из рис. 1,б следует, что разброс значений X_1 находится в пределах 0,8...2,2 мм. Это значительно больше, чем разброс значений величины X . Следовательно, при обработке отверстий в горловинах баллонов имеет место значительная несоосность цилиндрической части баллона и шпинделя инструментальной головки. Очевидно, это приводит к несоосности обрабатываемого отверстия и сверла, что выражается в неравномерности снимаемого припуска при рассверливании начального отверстия в горловине баллона и возникновению в технологической системе упругого перемещения. По сути, производится рассверливание отверстия с начальной значительной некруглостью. Для анализа

причин возникновения погрешностей базирования заготовок баллонов были проведены экспериментальные исследования погрешности формы сферической части горловины баллонов, являющейся технологической базой на первых трех переходах базового технологического процесса [1]. На основании полученных данных построены эмпирическая и теоретическая кривые распределения величины овальности сферической части горловины на $\varnothing 70$ мм, рис. 1, в. Установлено, что закон распределения отклонения близок к закону распределения эксцентриситета (Релея). Среднее арифметическое значение равно $\bar{X}=0,592$ мм, а средне квадратическое отклонение – $S=0,252$ мм. Как видно, величина овальности сферической части горловины на $\varnothing 70$ мм изменяется в довольно большом диапазоне: 0,28...1,18 мм, что собственно, и предопределяет значительную несоосность цилиндрической части баллона и шпинделя инструментальной головки. Очевидно, уменьшить несоосность цилиндрической части баллона и шпинделя инструментальной головки можно за счет применения более прогрессивной схемы базирования заготовки баллона.

Были проведены экспериментальные исследования некруглости отверстий после рассверливания. Измерялись наименьший $D_{0\min}$ и наибольший $D_{0\max}$ диаметры отверстия после его рассверливания сверлом $\varnothing 22$ мм из стали Р6М5 у 50-ти баллонов. Обработка производилась при следующем режиме резания: подача $S=0,28$ мм/об; скорость резания $V=22$ м/мин. Результаты измерений диаметров отверстий $D_{0\max}$ и $D_{0\min}$, а также их разности (овальности отверстия) $\Delta D = D_{0\max} - D_{0\min}$ представлены в виде гистограмм и кривых распределений (рис. 2). Как видно, диапазоны разброса значений параметров $D_{0\min}$ и $D_{0\max}$ отличны. Значения наименьшего диаметра обработанных отверстий $D_{0\min}$ концентрируются в основном в интервале 21,9...22,1 мм, что соответствует диаметру сверла. Это свидетельствует о том, что после рассверливания имеют место значительные погрешности размера и формы обработанных отверстий. Значения наибольшего диаметра отверстий $D_{0\max}$ концентрируются в основном в интервале 22,5...22,7 мм, что превышает значения $D_{0\min}$ для большинства обработанных баллонов. С физической точки зрения это связано с тем, что по сути, обработка отверстия производится не в сплошном материале, а путем рассверливания отверстия с начальной значительной некруглостью. В результате происходит съем неравномерного припуска, т.е. глубины резания, приходящиеся на оба лезвия сверла, различны и имеет место дисбаланс радиальных составляющих сил резания, действующих на лезвие сверла, который определяется наибольшей разностью глубин резания Δt . Это ведет к погрешности обработки отверстия вследствие изгиба сверла и горловины баллона и смещения оси отверстия относительно оси сверла. Как следует из рис. 2, разбивка отверстия, определяемая разностью

наибольшего диаметра отверстия $D_{0\max}$ и диаметра сверла, равна 0,9 мм. Это чрезвычайно большое значение, имеющее место лишь при обработке отверстия с начальной значительной некруглостью, т.е. при съеме неравномерного припуска. Необходимо отметить, что с физической точки зрения данная величина (разность наибольшего диаметра отверстия $D_{0\max}$ и диаметра сверла) равна величине смещения оси обработанного отверстия относительно ее номинального положения.

Приведенные на рис. 2, в статистические данные разности наибольшего и наименьшего диаметров отверстия ΔD указывают на существование приблизительно нормального закона распределения этой величины, изменяющейся в довольно больших пределах – 0...0,7 мм. Таким образом, показано существенное влияние неравномерности снимаемого припуска на точность обработки отверстия при рассверливании. Установлен случайный характер формирования параметров точности обработанных отверстий.

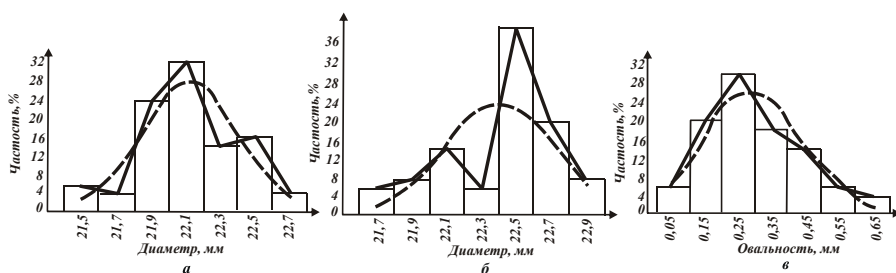


Рис. 2. Гистограммы и кривые распределений наименьшего $D_{0\min}$ (а) и наибольшего $D_{0\max}$ (б) диаметров отверстий и их разности (овальности отверстия) ΔD (в) после рассверливания.

Были проведены экспериментальные исследования величин отклонения от соосности горловины баллона и отверстия в нем после рассверливания и зенкерования у 50-ти обработанных баллонов. На основании этих данных, используя метод математической статистики, были построены (рис. 3) эмпирическая и теоретическая кривые распределения величин отклонения от соосности горловины баллона (с наружным диаметром 48 мм) и отверстия в нем (диаметром 22 мм) после рассверливания и зенкерования (зенкером коническим АМ 14977-500 из быстрорежущей стали Р6М5 $\varnothing 22/25$ мм с конусностью $2tg\varphi/2=3:25$, $\varphi=6^\circ 51'36''$) при $S=0,7$ мм/об; $V=12$ м/мин. Закон распределения значений в двух случаях близок к закону эксцентриситета (Релея). В первом случае (рис. 3,а) среднее арифметическое значение равно $\bar{X}=0,487$ мм, а среднее квадратическое отклонение – $S=0,219$ мм. Во втором случае (рис. 3,б) среднее арифметическое значение равно $\bar{X}=0,298$ мм, а среднее квадратическое отклонение – $S=0,157$ мм. Из рис. 3,а следует, что диапазон

изменения величины отклонения от соосности горловины баллона и отверстия в нем после рассверливания равен 0,22...1,12 мм. Диапазон изменения разности наибольшего диаметра отверстия $D_{0\max}$ и диаметра сверла, как показано выше, отличается незначительно и составляет 0...0,9 мм. Следовательно, в первом приближении величину отклонения от соосности горловины баллона (с наружным диаметром 48 мм) и отверстия в нем (диаметром 22 мм) после рассверливания можно рассматривать равной разности наибольшего диаметра отверстия $D_{0\max}$ и диаметра сверла.

Из рис. 3,а вытекает, что после рассверливания образуется отверстие значительной некруглости, которую трудно существенно уменьшить на последующем технологическом переходе зенкерования, рис. 3,б. При этом установлено, что требуемое качество нарезания конической резьбы достигается при отклонении оси горловины баллона от оси отверстия (после зенкерования) не более чем на 0,4 мм. При нарушении этого условия часть обработанных баллонов будет забракована по одному из параметров конической резьбы. На рис. 3,б заштрихованным показан процент брака баллонов, который в данном случае равен 15%. Поэтому для снижения процента брака баллонов по качеству нарезания конической резьбы следует уменьшить отклонение оси горловины баллона от оси отверстия в нем после рассверливания не менее чем на 0,4 мм, а после зенкерования – не менее чем на 0,3 мм, что обеспечивается применением более эффективной схемы базирования баллонов.

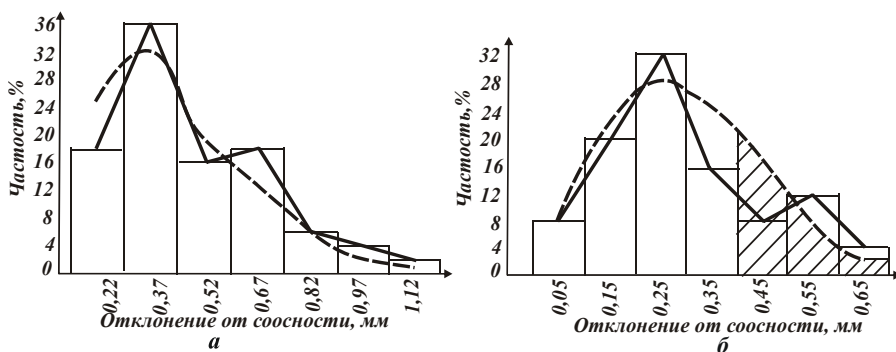


Рис. 3. Гистограммы и кривые распределения величины отклонения от соосности горловины баллона и отверстия в нем после рассверливания (а) и зенкерования (б).

Была произведена экспериментальная оценка качества нарезанной конической резьбы в отверстиях 1670 горловин баллонов. Установлено, что в 260 баллонах (а это соответствует 15,5% общего количества баллонов) нарезана некачественная резьба, табл. 1.

В табл. 1 приведены данные о браке по видам дефектов нарезанной конической резьбы в отверстиях горловин баллонов. Как видно, наибольший процент брака достигается в связи с образованием так называемой “рваной

резьбы” (4,31%). Затем, в порядке уменьшения процента брака резьбы – в связи с поломкой метчиков (3,35%), образованием прослабленной (2,84%) и тугой (2,75%) конической резьбы, а также образованием неполного профиля резьбы (2,27%). На рис. 3,б заштрихованным показан возможный процент брака баллонов в связи с существенным отклонением оси горловины баллона от оси отверстия (после зенкерования). Как видно, он равен 15%, что фактически соответствует проценту брака баллонов по некачественно нарезанной конической резьбе. Следовательно, отклонение оси горловины баллона от оси отверстия необходимо рассматривать как основную причину низкого качества нарезания конической резьбы в отверстии.

Таблица 1 – Результаты контроля резьбы W 27,8 ГОСТ 9909-81 в баллонах, обработанных по базовому технологическому процессу ($S=1,814$ мм/об; $V=8,5$ м/мин)

Всего обработано баллонов, штук	Всего забраковано баллонов, штук/процент	В том числе по видам дефектов, штук / процент				
		рваная резьба	про- слаб- ленная резьба	тугая резьба	Неполный профиль резьбы	по- ломка метчи- ка
1670	260/15,5	72/4,31	48/2,84	46/2,75	38/2,27	56/3,35

На основе проведенных исследований разработан эффективный технологический процесс механической обработки резьбового отверстия в горловине баллона, реализующий наиболее эффективный вариант маршрута обработки с применением новых технических решений: прогрессивной схемы базирования – по кромке торца горловины баллона с помощью базирующего конуса (обеспечивающего материализацию оси баллона); разработанной конструкции специальной инструментальной головки (содержащей проходной, подрезной резцы и сверло), обеспечивающей концентрацию переходов и создание чистовой технологической базы; разработанной системы автоматизированной подналадки останова рабочего хода инструментальной головки и специального приспособления для юстировки инструментальных головок.

Маршрут обработки включает пять переходов. На первом переходе производится одновременная обработка поверхностей, обеспечивающих базирование горловины баллона, на втором, третьем и четвертом переходах – сверление, зенкерование и развертывание отверстия, на пятом переходе – нарезание в отверстии конической резьбы. Разработанный технологический процесс позволяет существенно снизить отрицательное влияние несоосности цилиндрической части баллона и шпинделя инструментальной головки, а также отклонения торца горловины баллона от базовой поверхности на параметры точности обрабатываемого отверстия. В итоге обеспечивается повышение точности обрабатываемого отверстия без увеличения времени обработки баллона, поскольку разработанный технологический процесс содержит такое же количество переходов, как и базовый технологический процесс.

Для повышения жесткости технологической системы и точности обработки, а также снижения нагрузки на направляющие силового стола разработана конструкция кондуктора, воспринимающего реакции сил резания. Кондуктор представляет собой корпус с подшипниками качения и кондукторную втулку. Корпус установлен между фланцами, закрепленными на базировочном кронштейне с помощью анкерных болтов. Работа инструментальной головки с использованием кондуктора позволила исключить вибрации и смещение оси шпинделя относительно оси обрабатываемого отверстия в горловине баллона.

Был проведен комплекс экспериментальных исследований параметров точности отверстий, обработанных на переходах рассверливания и зенкерования по разработанному технологическому процессу (рис. 4). Установлено, что разброс значений параметров точности меньше, чем при обработке по базовому технологическому процессу (рис. 3). Это свидетельствует об эффективности разработанного технологического процесса обработки.

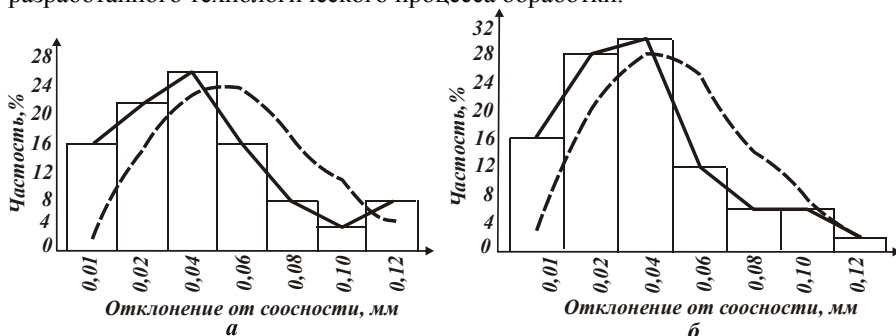


Рис. 4. Гистограммы и кривые распределения величины отклонения от соосности горловины баллона (с наружным диаметром 48 мм) и отверстия в нем (диаметром 22 мм) после рассверливания (а) и зенкерования (б) по разработанному технологическому процессу.

Произведена экспериментальная оценка качества нарезанной конической резьбы партии изготавливаемых баллонов по разработанному технологическому процессу обработки. Установлено, что из 1670 обработанных баллонов лишь в 22 баллонах (а это 1,31% общего количества баллонов) была нарезана некачественная коническая резьба. Согласно базовому технологическому процессу, из 1670 обработанных баллонов некачественно нарезанная резьба оказалась в 260 баллонах (15,5%), табл. 1. Следовательно, применение разработанного технологического процесса позволило в 11,83 раза уменьшить потери от брака по резьбе и привести их к экономически приемлемому для производства уровню – 1,31%. Таким образом, разработанный технологический процесс обеспечивает повышение точности обработки отверстий и качество нарезания в них конической резьбы без увеличения основного времени обработки баллона.

Разработанный технологический процесс механической обработки резьбовых отверстий в горловинах баллонов внедрен в баллоном цехе ОАО “Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича”. Благодаря его применению обеспечивается повышение точности обработки отверстий и качества нарезанной в них конической резьбы без увеличения времени обработки баллона, существенно снижены потери от брака баллонов по резьбе и расход режущих инструментов.

Список литературы: 1. Иванов И.Е. Повышение точности изготовления ответственных поверхностей деталей гидрогазовой аппаратуры // Захист металургійних машин від поломок – Збірник наукових праць – Маріуполь: ПДТУ, 2005. – Вип. 8. – С. 184-190. 2. Новиков Ф.В., Иванов И.Е. Повышение эффективности механической обработки высокоточного резьбового отверстия в горловине газового баллона // Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб. – Харьков: НТУ “ХПИ”, 2006. – Вип. 70. – С. 350-355. 3. Новиков Ф.В., Иванов И.Е. Технологическое обеспечение точности и стабильности изготовления внутренних герметических резьб в горловинах газовых баллонов в условиях крупносерийного и массового производства // Труды 12-й Международной научно-технической конференции, 7-8 июня 2006г. – Физические и компьютерные технологии. – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2006. – С. 3-9. 4. Новиков Ф.В., Иванов И.Е. Экспериментальные исследования параметров точности механической обработки резьбового отверстия в горловине баллона в условиях массового производства. – Труды 13-й Международной научно-технической конференции, 19-20 апреля 2007 г. – Физические и компьютерные технологии. – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2007. – С. 20-30. 5. Новиков Ф.В., Иванов И.Е. Разработка математической модели формирования погрешностей при механической обработке отверстия // Високі технології в машинобудуванні: Збірник наукових праць Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПИ”, 2006. – Вип. 2 (13). – С. 87-94. 6. Новиков Ф.В., Иванов И.Е. Высокоточная обработка резьбового отверстия в горловине газового баллона // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации. – Материалы IV Международной научно-технической конференции: в 2 ч. Ч. 1: Курск. гос. техн. ун-т. Курск, 2006. – С. 181-184.

Поступила в редколлегию 11.12.08

УДК 621.891

Л.Б. ШРОН, , В.Б. БОГУЦКИЙ, В.М. МАНУЙЛЕНКО

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ ФРИКЦИОННОГО ЛАТУНИРОВАНИЯ НА ПАРАМЕТРЫ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ОБРАБОТАННЫХ ДЕТАЛЕЙ

На основе экспериментального исследования установлены основные закономерности влияния режимов фрикционного латунирования на параметры формируемого покрытия, позволяющие повысить производительность процесса обработки

Надежность и долговечность машин является одной из основных проблем современного машиностроения. Исследования, проведенные авторами [1,2,3], показывают, что главной причиной выхода из строя машин является износ деталей подвижных сопряжений под влиянием сил трения. В связи с

этим особое значение приобретает проблема повышения износостойкости деталей технологическими методами, которые в дальнейшем определяют эксплуатационные характеристики рабочих поверхностей. Среди используемых технологических методов широко применяется разработанный в последнее десятилетие метод фрикционного нанесения покрытия из сплавов меди. Стальные детали для предохранения от схватывания, а как же улучшения приработки и повышения противозадирных свойств покрывают тонким слоем латуни или бронзы.

В работах [2,3] приведены режимы для фрикционного латунирования: скорость скольжения прутка из наносимого материала по поверхности обрабатываемой детали $V = 0,15 \dots 0,20$ м/с; удельное давление $p = 100 \dots 120$ МПа; продольная подача $S = 0,10 \dots 0,15$ мм/об, с подачей в зону трения глицерина, позволяющие получить на поверхности детали слой латуни толщиной 3-4 мкм. Из анализа работ [3,4] следует, что исследования главным образом, сводились к выбору режимов нанесения покрытия на детали какого-либо конкретного узла. Качеству получаемого слоя латуни и изменениям в поверхностном слое детали, обрабатываемой этим методом, должно уделяться

Цель данной работы – исследование влияния режимов нанесения покрытий фрикционным методом на шероховатость поверхности, толщину слоя и микротвердость покрытия нанесенного на стальную подложку.

Для нанесения покрытия разработано приспособление, схема которого приведена на рис. 1. Его основными элементами являются корпус -1, шпиндель -2, гайка -3, сменная цапга -4, прутки наносимого материала -5, пружина -6, поршень гидроцилиндра -7, задняя крышка со штуцером -8. На данное приспособление, позволяющее поддерживать постоянное давление прутка на латулируемую поверхность, получен патент [5]

Фрикционное латунирование производилось посредством трения торца прутка из латуни Л63 или ЛС59-1 о поверхность детали. Диаметр прутка выбирался в зависимости от диаметра обрабатываемой поверхности. С увеличением диаметра обрабатываемой поверхности увеличивали диаметр используемого прутка. Латунный прутки закрепляли в приспособлении, устанавливаемым в резцедержателе прутка, так чтобы ось прутка находилась на линии центров.

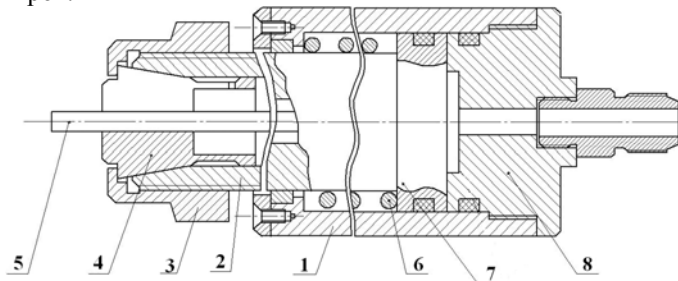


Рис. 1. Приспособление для фрикционного нанесения покрытий.

Эксперименты проводились на образцах, изготовленных из сталей 20 и 40Х. В качестве оборудования использовался станок 16К20, а режимы обработки изменялись в следующих интервалах $p=40\ldots120$ МПа, $V=0,1\ldots1,5$ м/с, $S=0,05\ldots0,3$ мм/об, наносимое покрытие латунь Л63.

Результаты эксперимента после обработки обобщения были представлены в виде графиков. На рисунке 2 приведен график зависимости микротвердости покрытия от удельного давления латунного прутка на обрабатываемую поверхность. Как видно из графика, построенного по результатам экспериментального исследования микротвердость покрытия на деталях из сталей 20 и 40Х, в то же время, вначале падает, и при удельном давлении 60...70 МПа приобретает наименьшую твердость, а затем начинают достаточно быстро увеличиваться (кривые 2 и 1 соответственно). По предварительной оценке при указанном давлении наблюдается наибольшая пористость покрытия. Следует отметить, что шероховатость поверхности практически не изменилась от исходной $R_a=0,8$ мкм.

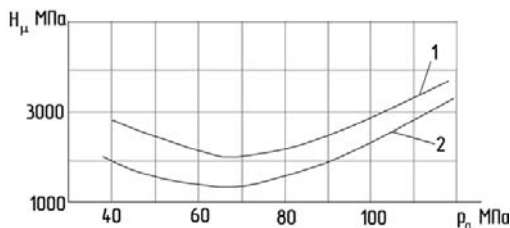


Рис. 2. Зависимость микротвёрдости от удельного давления при фрикционном латунировании: 1 - покрытие на подложке из стали 40Х; 2 - покрытие на подложке из стали 20.

На рис. 3 представлены графики зависимости толщины латунного покрытия образцов от режимов латунирования.

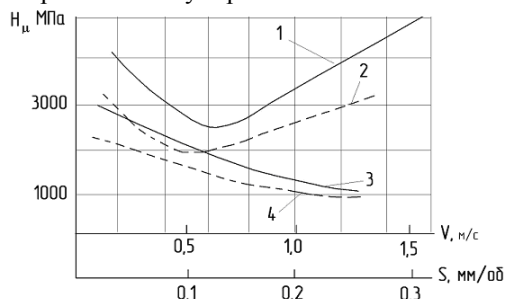


Рис. 3. Зависимость толщины латунного покрытия стальных образцов от режимов обработки: 1 и 2 - скорости скольжения; 3 и 4 - продольной подачи; ——— - сталь 40Х, — — — - сталь 20.

Как следует из приведенных графиков, на толщину наносимого слоя, в равной мере, влияют как величина продольной подачи, так и скорость скольжения, с увеличением которых толщина слоя наносимого слоя увеличивается до 4...5 мкм.

Для изучения возможности повышения производительности процесса был расширен диапазон экспериментального исследования. Для этого был проведен дополнительный эксперимент при следующих режимах: скорость скольжения принималась в пределах $V = 0,20 \dots 2,0$ м/с; удельное давление $p = 130 \dots 160$ МПа; продольная подача $S = 0,20 \dots 0,35$ мм/об. Использование этих режимов, как и отсутствие в зоне обработки глицерина, приводило к ухудшению характеристик наносимого слоя. На поверхности образцов появились задиры, нарушалось такое важное требование к покрытию, как сплошность. Эксперименты показывали, что при указанных условиях обработки качество поверхности ухудшается.

Для создания на поверхности стальной детали сплошного ровного слоя латуни фрикционным методом необходимо: что бы трение скольжения латунного прутка о поверхность детали происходило при повсеместном схватывании поверхности стальной детали с латунным прутком, налипание латуни на латунную поверхность происходило не отдельными крупными частицами, а сплошным слоем, хорошо сцепленным с остальной поверхностью.

Для улучшения качества латунного покрытия были проведены эксперименты с добавлением в глицерин в качестве присадок олеиновой, стеариновой и соляной кислот в соотношениях от 0 до 10% в объеме рабочей среды.

Технологический процесс фрикционного латунирования стальных деталей выполняется в следующей последовательности: установка деталей на станке, обезжиривание обрабатываемой поверхности детали, зачистка поверхности детали шлифовальной шкуркой, смачивание обрабатываемой поверхности техническим глицерином с присадками, латунирование. Зачищают обрабатываемую поверхность для удаления окисной пленки электрокорундовой шлифовальной шкуркой зернистостью 30-40. Поверхность детали смачивают 1% раствором соляной кислоты в техническом глицерине. Этот же раствор подается в зону обработки капельным методом в процессе латунирования.

Были скорректированы режимы и процесс нанесения покрытия осуществляется с удельным давлением $p = 50 \dots 110$ МПа, скоростью скольжения $V = 0,20 \dots 2,0$ м/с, продольной подачи $S = 0,05 \dots 0,30$ мм/об. Рабочая среда, содержащая 1% добавки олеиновой кислоты, позволила вести нанесение латуни при скорости скольжения до 2 м/с. Дефицитность используемых в эксперименте органических соединений обусловила дальнейшую работу с использованием растворов соляной кислоты. С точки зрения эффективности процесс и качество покрытия наиболее приемлемым является раствор, содержащий 90 весовых частей глицерина и 10 весовых частей 10% раствора соляной кислоты. Это позволило устранить дефекты покрытия при увеличении режимов фрикционного латунирования.

Проведенные исследования позволили определить основные закономерности влияния режимов фрикционного латунирования на такие параметры покрытия как толщина получаемого слоя, его микротвердость и шероховатость поверхности. В результате проведенных исследований установлено: 1.

Микротвердость нанесенного слоя латуни в первую очередь зависит от создаваемого в зоне обработки удельного давления. 2. Шероховатость поверхности после фрикционной обработки мало отличается от исходной. 3. Состав рабочей среды позволяет увеличить скорость нанесения латунного покрытия при сохранении его качества.

Список литературы: 1. Гаркунов Д.Н. Триботехника. – М.: Машиностроение, 1985, – 424 с. 2. Елизаветин М.А. Повышение надежности машин. – М.: Машиностроение, 1973. – 430 с. 3. Избыточный перенос в тяжело нагруженных узлах трения / Под ред. Д.Н. Гаркунова. – М.: Машиностроение, 1982. – 207 с. 4. Трение, изнашивание и смазка: Справочник. – Кн.2. – М.: Машиностроение, 1970. – 400 с. 5. Пат.23343 Україна, МПК⁷ B23P 9/00. Пристосування для фрикційно-механічного нанесення покриттів / В.Б. Богуцький, Л.Б.Шрон, В.В. Малигіна. – № u2006 11891. – Заявл. 13.11.2006; Опубл. 25.05.2007. Бюл.№7.

Поступила в редколлегию 11.12.08

УДК 621.92

О.И. СЕРХОВЕЦ, А.Н.УШАКОВ, А.В. ФЕСЕНКО, А.В.КОТЛЯР

ИССЛЕДОВАНИЕ ЖЕСТКОСТИ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЦИКЛЕ КРУГЛОГО НАРУЖНОГО ВРЕЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ

Виконано розрахунок жорсткості колінчатого вала методом початкових параметрів. Розглянуто вплив жорсткості колінчатого вала на параметри перехідних процесів у циклі круглого зовнішнього врізного шліфування.

The account of rigidity of the shaft by a method of final elements is executed. The influence of rigidity of the shaft on parameters transitive in a cycle of round outside grinding is considered.

Создание современных технологий, в том числе CALS-технологий ориентировано на значительное повышение точности и качества изделий. Это в частности касается технологии обработки на круглошлифовальных станках. В настоящее время для повышения качества и производительности обработки широкое применение находят круглошлифовальные станки с ЧПУ, в которых могут использоваться адаптивные системы управления.

Важным направлением по совершенствованию адаптивных систем управления является реализация многоступенчатых циклов обработки с учетом переходных процессов. Данное совершенствование позволит обеспечить высокие требования к точности размеров, формы и качеству поверхностного слоя деталей, обрабатываемых на круглошлифовальных станках.

Для эффективного управления процессом шлифования на станках с адаптивными системами необходимо иметь алгоритм управления станком в виде математических моделей.

Известно, что рабочий цикл процесса круглого наружного врезного шлифования может существенно меняться в зависимости от требований технологического процесса. Как следствие, при этом изменяется структура переходных процессов. Основной задачей при определении структуры цикла является обеспечение стабильных показателей по качеству шлифуемой поверхности при максимальной производительности и минимальных затратах времени на техническое обслуживание рассматриваемой операции. Для точного моделирования цикла обработки необходимо учитывать конкретную жесткость технологической системы круглошлифовального станка. Одной из составляющих данной жесткости является жесткость детали.

Исследования в этой области отражены в работах как отечественных, так и зарубежных ученых, таких как: Корчак С.Н., Лурье Г.Б., Эльянов В.Д., Филимонов Л.Н., Ящерицын П.И., Якимов А.В. и др.

Анализ применяемых на практике циклов позволил сделать вывод, что их структура в основном определяется четырьмя вариантами (таблица 1).

Таблица 1 Набор структур рабочих циклов

Этапы цикла							
N	форсированная подача	черновая подача	выхаживание с доводочной подачей	чистовая подача	выхаживание с доводочной подачей	доводочная подача	параметр, определяющий Ra
1	S_{M1}	S_{M2}	-	-	-	-	S_{M2}
2	S_{M1}	S_{M2}	есть	-	-	-	$S_{M\text{дов}1}$
3	S_{M1}	S_{M2}	-	S_{M3}	-	-	S_{M3}
4	S_{M1}	S_{M2}	есть	S_{M3}	-	-	S_{M3}
5	S_{M1}	S_{M2}	-	S_{M3}	есть	-	$S_{M\text{дов}2}$
6	S_{M1}	S_{M2}	есть	S_{M3}	есть	-	$S_{M\text{дов}2}$
7	S_{M1}	S_{M2}	-	S_{M3}	-	S_{M4}	S_{M4}
8	S_{M1}	S_{M2}	есть	S_{M3}	-	S_{M4}	S_{M4}

Рассмотрим процесс круглого врезного шлифования как систему управления с обратной связью рисунок 1.

На схеме обозначены: $\Pi(\tau)$ - общая толщина срезаемого слоя металла на сторону от начала шлифования до времени τ ; $S(\tau)$ - мгновенная номинальная величина задаваемого перемещения шлифовального круга относительно обрабатываемого изделия; $y(\tau)$ - деформация упругой системы; τ - текущее время; $a(\tau)$ - мгновенная толщина срезаемого металла; τ_n - время одного оборота изделия; $P_y(\tau)$ - мгновенная радиальная сила шлифования;

На переходных процессах (врезание, выхаживание) меняющееся P_y приводит к изменению величины срезаемого припуска. В систему введен учет величины снятого припуска на предыдущем обороте, так называемая "наследственность по изделию".

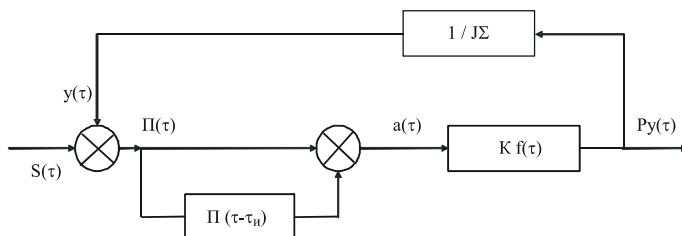


Рисунок 1 Схема процесса круглого наружного врезного шлифования

$J\Sigma$ - суммарная жесткость системы СПЗИ; K - статический коэффициент резания; $\hat{f}(\tau)$ - переходная функция радиальной силы, которая изменяется по переходной функции инерционного звена первого порядка.

Для графического отображения элементов переходных процессов (рис.2) рассмотрим рабочий цикл обработки $N 4$, как один из наиболее полных по элементам цикла из рассматриваемых в данной работе, где изображены следующие этапы переходных процессов: **1** - врезание, **2** - черновой этап, **3** - переходной процесс, имеющий место при переходе от черновой к чистовой подаче, **4** - чистовой этап, **5** - окончательное выхаживание; соответственно $\tau_{вр}$ - время врезания, $\tau_{чер}$ - время чернового этапа, $\tau_{пер}$ - время переходного процесса, $\tau_{чист}$ - время чистового этапа, $\tau_{вых}$ - время выхаживания.

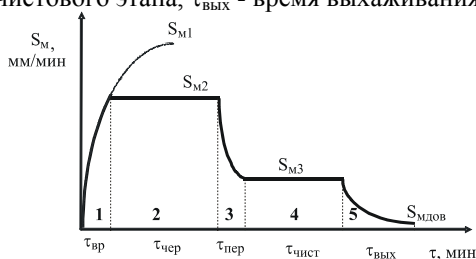
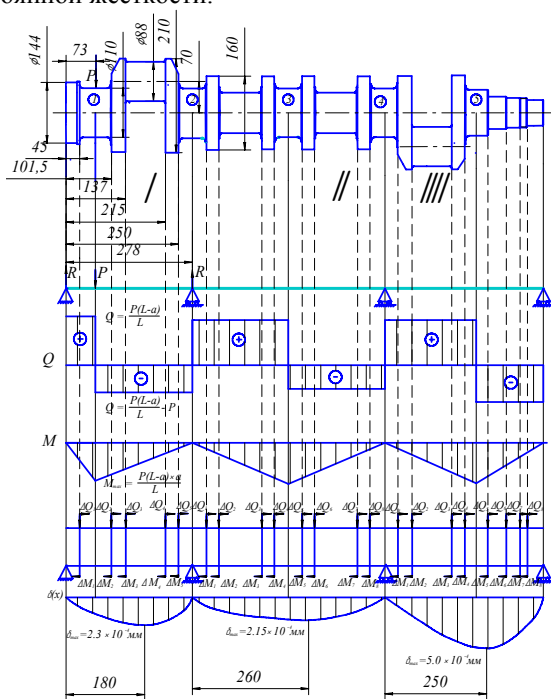


Рисунок 2 Структура рабочего цикла

Математическая модель переходных процессов в цикле круглого наружного врезного шлифования представлена в работах [1,2,3].

При приложении нагрузки, для определения деформаций в ступенчатых деталях можно применять видоизмененный метод начальных параметров [4]. Суть последнего заключается в замене ступенчатой детали эквивалентной деталью постоянной жесткости.



Рассмотрим расчет коленчатого вала рис.3. Особенностью коленчатых валов является то, что шатунные шейки, а также перемычки, которые их соединяют с коренными шейками имеют эксцентриситет по отношению к оси коренных шеек и вала в целом. При этом их неуравновешенные массы будут вызывать существенные динамические нагрузки при шлифовании. Учитывая высокие требования к качеству поверхности ($Ra=0.63$ мкм, допуск на диаметр 0.01мм), такие динамические нагрузки будут на них влиять существенным образом. Нагрузка от силы резания в виде равнодействующей силы P будет прикладываться к середине шеек.

36

$$\begin{aligned} \text{если } x < a, \text{ то} \quad Q_i &= \frac{P(L-a)}{L}, & M_i &= \frac{P(L-a) \cdot l_i}{L}, \\ \text{если } x > a, \text{ то} \quad Q_i &= \frac{P(L-a)}{L} - P, & M_i &= \frac{P \cdot a}{L(L-l_i)} \end{aligned}$$

где a - координата приложения силы; l_i - координата соответствующего сечения

После чего необходимо их умножить на свои коэффициенты приведения, которые определяются по формуле:

$$\beta_i = I_0 / I_i,$$

где I_0 – приведенный момент инерции, который равняется моменту инерции одного из сечений к которому происходит приведение (в нашем случае это будут перемычки, которые соединяют между собой коренные и шатунные шейки).

I_i - моменты инерции соответствующих участков, которые находятся согласно [4] по формулам:

Для цилиндрических участков

$$I = \frac{\pi d^4}{64} \quad (\text{мм}^4)$$

для $d=110$ мм $I=0.71 \cdot 10^7$ мм⁴ $d=144$ мм $I=2.1 \cdot 10^7$ мм⁴ $d=72$ мм $I=0.13 \cdot 10^7$ мм⁴ $d=70$ мм $I=0.11 \cdot 10^7$ мм⁴ $d=64$ мм $I=0.1 \cdot 10^7$ мм⁴ $d=52$ мм $I=0.035 \cdot 10^7$ мм⁴.

Для эксцентричных поверхностей шатунных шеек определяется как:

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} + e^2 \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3.14 \cdot 88^4}{64} + 70^2 \frac{3.14 \cdot 88^2}{4} = 3.26 \cdot 10^7 \text{ мм}^4,$$

где e - величина эксцентриситета между осью коренных и шатунных шеек, d - диаметр вала.

Для перемычек, которые соединяют между собой коренные и шатунные шейки:

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} \cdot \cos^2 \alpha + \frac{h \cdot b^3}{12} \cdot \sin^2 \alpha + e^2 \frac{\pi \cdot d^2}{4},$$

где b - ширина перемычки, h - высота перемычки, e - величина эксцентриситета между осью коренных шеек и перемычек, α - соответствующий угол поворота вала.

Таким образом, из формулы видно, что момент инерции для соединяющих перемычек изменяется в зависимости от угла поворота вала и его значения представлены в таб.2.

Таблица 2. Значение момента инерции соединяющих шеек вала в зависимости от угла поворота.

$\alpha, ^\circ$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$I \cdot 10^7, \text{мм}^4$	13.5	13.34	12.94	12.15	11.71	10.46	9.53	8.92	8.48	8.32

Соединяем разрезанные части и получаем балку постоянного сечения, которая нагружена приведенными внешними нагрузками и в местах соединения еще и дополнительными силами ΔQ и моментами ΔM , величины которых определяем по формулам:

$$\Delta M_i = M_i (\beta_i - \beta_{i-1}) \quad \Delta Q_i = Q_{li} (\beta_i - \beta_{i-1})$$

Для определения перемещений в полученной эквивалентной балке воспользуемся универсальным уравнением упругой линии [5].

$$\delta(x) = w_0 + \Theta_0 x + \frac{1}{EI} \left[\sum_1^i M \frac{(x-l_i)^2}{2} + \sum_1^i P \frac{(x-l_i)^3}{6} + R \frac{x^3}{6} \right],$$

где x -текущая координата, $w(x)$ -прогиб в текущей координате, w_0 - начальный прогиб в левой опоре, Θ_0 - начальный угол поворота в левой опоре, M - изгибающий момент на соответствующем участке, P - поперечная сила на соответствующем участке, R - реакция в левой опоре, l -координата соответствующего участка.

Исходя из того, что коленчатый вал недостаточно жесткий, а требования к точности и шероховатости поверхности довольно высокие, то для обеспечения этих требований необходимо использовать две промежуточные опоры в виде люнетов, так как показано на рис.3. Таким образом, для нашего вала будем иметь три отдельных участка, для которых и необходимо записать уравнение упругих осей. Возьмем первый участок вала на его крайнем правом участке и запишем для него уравнение упругой линии, для которой $I_0 = I_3$:

$$\delta(x) = w_0 + \Theta_0 x + \frac{1}{EI_3} \left[\left(\frac{P \cdot (L-a) \cdot l_1}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_3}{I_2} \cdot \frac{I_3}{l_1} \right) \frac{(x-l_1)^2}{2} + \left(\frac{P \cdot (L-l_2) \cdot a}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_3}{I_5} - \frac{I_3}{l_2} \right) \frac{(x-l_2)^2}{2} + \left(\frac{P \cdot (L-l_3) \cdot a}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_3}{l_4} - \frac{I_3}{l_5} \right) \frac{(x-l_3)^2}{2} + \right. \\ \left. \left(\frac{P \cdot (L-l_4) \cdot a}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_3}{l_5} - \frac{I_3}{l_4} \right) \frac{(x-l_4)^2}{2} + \left(\frac{P \cdot (L-l_5) \cdot a}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_3}{l_6} - \frac{I_3}{l_5} \right) \frac{(x-l_5)^2}{2} + \frac{P \cdot (L-a)}{L} \cdot \frac{x^3}{6} \cdot \frac{I_3}{l_1} + \right. \\ \left. + \frac{P \cdot (L-a)}{L} \cdot \left(\frac{I_3}{l_2} - \frac{I_3}{l_1} \right) \cdot \frac{(x-l_1)^3}{6} + \left(\frac{P \cdot (L-a)}{L} - P \right) \cdot \left(\frac{I_3}{l_5} - \frac{I_3}{l_2} \right) \frac{(x-l_2)^3}{6} + \left(\frac{P \cdot (L-a)}{L} - P \right) \cdot \left(\frac{I_3}{l_4} - \frac{I_3}{l_5} \right) \cdot \frac{(x-l_3)^3}{6} + \right. \\ \left. \left(\frac{P \cdot (L-a)}{L} - P \right) \cdot \left(\frac{I_3}{l_5} - \frac{I_3}{l_4} \right) \frac{(x-l_4)^3}{6} + \left(\frac{P \cdot (L-a)}{L} - P \right) \cdot \left(\frac{I_3}{l_6} - \frac{I_3}{l_5} \right) \frac{(x-l_5)^3}{6} + P \cdot \frac{I_3}{l_2} \frac{(x-a)^3}{6} \right]$$

Уравнение упругой линии для второго участка, для которой $I_0 = I_2$:

$$\delta(x) = w_0 + \Theta_0 x + \frac{1}{EI_2} \left[\left(\frac{P \cdot (L-a) \cdot l_1}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_2}{l_1} - \frac{I_2}{l_2} \right) \frac{(x-l_1)^2}{2} + \left(\frac{P \cdot (L-a) \cdot l_2}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_2}{l_3} - \frac{I_2}{l_2} \right) \frac{(x-l_2)^2}{2} + \left(\frac{P \cdot (L-l_3) \cdot l_1}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_2}{l_4} - \frac{I_2}{l_3} \right) \frac{(x-l_3)^2}{2} + \right. \\ \left(\frac{P \cdot (L-a) \cdot l_4}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_2}{l_5} - \frac{I_2}{l_4} \right) \frac{(x-l_4)^2}{2} + \left(\frac{P \cdot (L-l_5) \cdot a}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_2}{l_6} - \frac{I_2}{l_5} \right) \frac{(x-l_5)^2}{2} + \left(\frac{P \cdot (L-l_6) \cdot a}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_2}{l_7} - \frac{I_2}{l_6} \right) \frac{(x-l_6)^2}{2} + \right. \\ \left. + \left(\frac{P \cdot (L-l_7) \cdot a}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_2}{l_8} - \frac{I_2}{l_7} \right) \frac{(x-l_7)^2}{2} + \left(\frac{P \cdot (L-l_8) \cdot a}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_2}{l_9} - \frac{I_2}{l_8} \right) \frac{(x-l_8)^2}{2} + \frac{P \cdot (L-a)}{L} \cdot \frac{x^3}{6} \cdot \frac{I_2}{l_1} + \right. \\ \left. + \frac{P \cdot (L-a)}{L} \cdot \left(\frac{I_2}{l_2} - \frac{I_2}{l_1} \right) \cdot \frac{(x-l_1)^3}{6} + \left(\frac{P \cdot (L-a)}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_2}{l_3} - \frac{I_2}{l_2} \right) \frac{(x-l_2)^3}{6} + \left(\frac{P \cdot (L-a)}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_2}{l_4} - \frac{I_2}{l_3} \right) \frac{(x-l_3)^3}{6} + \right. \\ \left. \left(\frac{P \cdot (L-a)}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_2}{l_5} - \frac{I_2}{l_4} \right) \frac{(x-l_4)^3}{6} + \left(\frac{P \cdot (L-a)}{L} - P \right) \cdot \left(\frac{I_2}{l_6} - \frac{I_2}{l_5} \right) \frac{(x-l_5)^3}{6} + \left(\frac{P \cdot (L-a)}{L} - P \right) \cdot \left(\frac{I_2}{l_7} - \frac{I_2}{l_6} \right) \frac{(x-l_6)^3}{6} + \right. \\ \left. + \left(\frac{P \cdot (L-a)}{L} - P \right) \cdot \left(\frac{I_2}{l_8} - \frac{I_2}{l_7} \right) \frac{(x-l_7)^3}{6} + \left(\frac{P \cdot (L-a)}{L} - P \right) \cdot \left(\frac{I_2}{l_9} - \frac{I_2}{l_8} \right) \frac{(x-l_8)^3}{6} + P \cdot \frac{I_2}{l_5} \frac{(x-a)^3}{6} \right]$$

Уравнение упругой линии для третьего участка, для которого тоже $I_0 = I_2$ будет аналогичным, как и для второго участка, отличие будет только в зна-

чениях моментов инерции и длин некоторых участков.

Жесткость детали нами определяется без учета жесткости опор, которыми являются центры передней и задней бабок, а также люнеты, поэтому начальные параметры находим из опорных условий при $x=0$ и $w(0)=0$, т.к. $w_0=0$; при $x=L$ $w(L)=0$. Используем условие для определения второго начального параметра Θ_0 , воспользовавшись следующими исходными данными: модуль упругости $E=2 \cdot 10^5 \text{ Н/мм}^2$; равнодействующая сил резания $P=232 \text{ Н}$:

Для первого участка

$$\delta(L) = \Theta_0 x + \frac{1}{EI_3} \left[\begin{aligned} & \left(\frac{P \cdot (L-a) \cdot l_1}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_3 - I_1}{I_2 - I_1} \right) \frac{(x-l_1)^2}{2} + \left(\frac{P \cdot (L-l_2) \cdot a}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_3 - I_1}{I_3 - I_2} \right) \frac{(x-l_2)^2}{2} + \left(\frac{P \cdot (L-l_3) \cdot a}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_3 - I_1}{I_4 - I_3} \right) \frac{(x-l_3)^2}{2} + \\ & \left(\frac{P \cdot (L-l_4) \cdot a}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_3 - I_1}{I_5 - I_4} \right) \frac{(x-l_4)^2}{2} + \left(\frac{P \cdot (L-l_5) \cdot a}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_3 - I_1}{I_6 - I_5} \right) \frac{(x-l_5)^2}{2} + \frac{P \cdot (L-a)}{L} \cdot \frac{x^3}{6} \cdot \frac{I_3}{I_1} + \\ & + \frac{P \cdot (L-a)}{L} \left(\frac{I_3 - I_1}{I_2 - I_1} \right) \frac{(x-l_1)^3}{6} + \left(\frac{P \cdot (L-a)}{L} - P \right) \cdot \left(\frac{I_3 - I_1}{I_3 - I_2} \right) \frac{(x-l_2)^3}{6} + \left(\frac{P \cdot (L-a)}{L} - P \right) \cdot \left(\frac{I_3 - I_1}{I_4 - I_3} \right) \frac{(x-l_3)^3}{6} + \\ & \left(\frac{P \cdot (L-a)}{L} - P \right) \cdot \left(\frac{I_3 - I_1}{I_5 - I_4} \right) \frac{(x-l_4)^3}{6} + \left(\frac{P \cdot (L-a)}{L} - P \right) \cdot \left(\frac{I_3 - I_1}{I_6 - I_5} \right) \frac{(x-l_5)^3}{6} + P \cdot \frac{I_3}{I_2} \frac{(x-a)^3}{6} \end{aligned} \right] = 0$$

Для второго и третьего участков

$$\delta(L) = \Theta_0 x + \frac{1}{EI_2} \left[\begin{aligned} & \left(\frac{P \cdot (L-a) \cdot l_1}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_2 - I_1}{I_2 - I_1} \right) \frac{(x-l_1)^2}{2} + \left(\frac{P \cdot (L-a) \cdot l_2}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_2 - I_1}{I_3 - I_2} \right) \frac{(x-l_2)^2}{2} + \left(\frac{P \cdot (L-a) \cdot l_3}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_2 - I_1}{I_4 - I_3} \right) \frac{(x-l_3)^2}{2} + \\ & \left(\frac{P \cdot (L-a) \cdot l_4}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_2 - I_1}{I_5 - I_4} \right) \frac{(x-l_4)^2}{2} + \left(\frac{P \cdot (L-l_5) \cdot a}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_2 - I_1}{I_6 - I_5} \right) \frac{(x-l_5)^2}{2} + \left(\frac{P \cdot (L-l_6) \cdot a}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_2 - I_1}{I_7 - I_6} \right) \frac{(x-l_6)^2}{2} + \\ & + \left(\frac{P \cdot (L-l_7) \cdot a}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_2 - I_1}{I_8 - I_7} \right) \frac{(x-l_7)^2}{2} + \left(\frac{P \cdot (L-l_8) \cdot a}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_2 - I_1}{I_9 - I_8} \right) \frac{(x-l_8)^2}{2} + \frac{P \cdot (L-a)}{L} \cdot \frac{x^3}{6} \cdot \frac{I_2}{I_1} + \\ & + \frac{P \cdot (L-a)}{L} \left(\frac{I_2 - I_1}{I_2 - I_1} \right) \frac{(x-l_1)^3}{6} + \left(\frac{P \cdot (L-a)}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_2 - I_1}{I_3 - I_2} \right) \frac{(x-l_2)^3}{6} + \left(\frac{P \cdot (L-a)}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_2 - I_1}{I_4 - I_3} \right) \frac{(x-l_3)^3}{6} + \\ & \left(\frac{P \cdot (L-a)}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_2 - I_1}{I_5 - I_4} \right) \frac{(x-l_4)^3}{6} + \left(\frac{P \cdot (L-a)}{L} - P \right) \cdot \left(\frac{I_2 - I_1}{I_6 - I_5} \right) \frac{(x-l_5)^3}{6} + \left(\frac{P \cdot (L-a)}{L} - P \right) \cdot \left(\frac{I_2 - I_1}{I_7 - I_6} \right) \frac{(x-l_6)^3}{6} + \\ & + \left(\frac{P \cdot (L-a)}{L} - P \right) \cdot \left(\frac{I_2 - I_1}{I_8 - I_7} \right) \frac{(x-l_7)^3}{6} + \left(\frac{P \cdot (L-a)}{L} - P \right) \cdot \left(\frac{I_2 - I_1}{I_9 - I_8} \right) \frac{(x-l_8)^3}{6} + P \cdot \frac{I_2}{I_3} \frac{(x-a)^3}{6} \end{aligned} \right] = 0$$

Откуда находим Θ_0 . После чего, можно определить прогиб вала в каком либо месте в продольном направлении, а также и в поперечном в зависимости от угла поворота вала. При расчетах воспользуемся пакетом прикладных программ "MatchCad" учитывая то, что для нахождения прогиба в каком либо сечении, в общем уравнении упругой линии необходимо брать только тот состав силовых факторов, которые находятся левее от необходимого сечения. После нахождения прогибов в соответствующих сечениях можно определить жесткость, воспользовавшись зависимостью $C = \frac{P}{\delta}$, где P

- приложенная сила, δ - прогиб вала от приложенной силы.

Практическое значение имеют величины прогибов и жесткостей под поверхностями, которые шлифуются, т.е. под коренными шейками. Результаты их расчетов заносим в таб.2. Значения угла α взята до 90° , поскольку они симметричны.

Таблица 2 – Значение жесткостей коленчатого вала в зависимости от угла поворота.

$\alpha, ^\circ$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Первый участок										
$\delta \cdot 10^4, \text{ мм}$	1.34	1.32	1.28	1.2	1.16	1.03	0.97	0.88	0.84	0.82
$C \cdot 10^5, \text{ Н/мм}$	9.7	9.81	10.1	10.73	11.1	12.5	13.7	14.6	15.4	15.7
Второй участок										
$\delta \cdot 10^4, \text{ мм}$	2.06	2.03	1.97	1.86	1.8	1.61	1.48	1.39	1.33	1.3
$C \cdot 10^5, \text{ Н/мм}$	6.3	6.38	6.56	6.97	7.22	8.03	8.76	9.32	9.77	9.95
Третий участок										
$\delta \cdot 10^4, \text{ мм}$	4.23	4.18	4.06	3.82	3.68	3.29	3.0	2.82	2.68	2.63
$C \cdot 10^5, \text{ Н/мм}$	3.06	3.1	3.19	3.4	3.52	3.94	4.32	4.61	4.84	4.93

По результатам таб.2 на рис.4 графически покажем изменение жесткости коленчатого вала в зависимости от угла поворота.

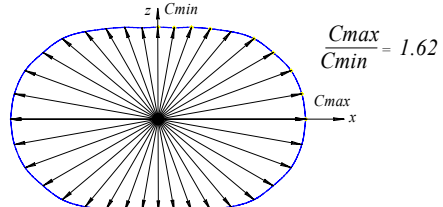


Рисунок 4 Годограф жесткости коленчатого вала
Согласно полученным результатам [3] строим графики зависимости элементов переходных процессов от жесткости детали:

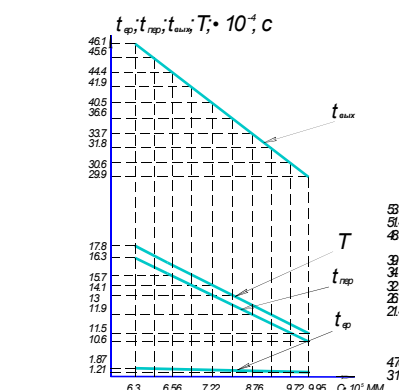


Рисунок 5 Влияние жесткости детали на продолжительность этапов переходных процессов

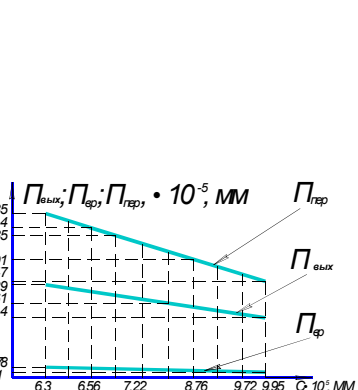


Рисунок 6 Влияние жесткости детали на припуски, снимаемые на этапах переходных процессов

Аналогично получены графики влияния других технологических параметров на переходные процессы цикла врезного шлифования (рис. 6-9).

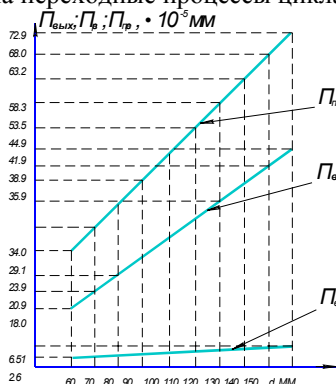


Рисунок 7 Влияние диаметра детали на припуски, снимаемые на этапах переходных процессов

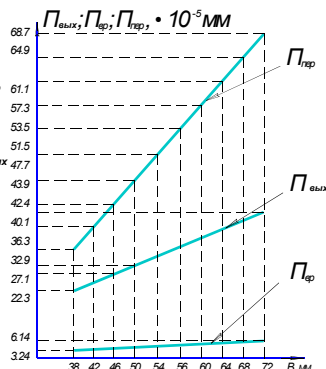


Рисунок 8 Влияние ширины шлифования на припуски, снимаемые на этапах переходных процессов

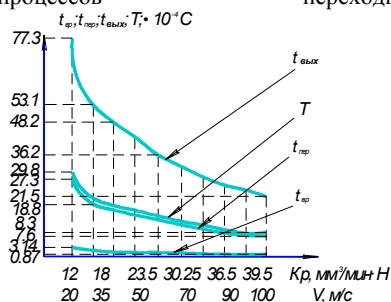


Рисунок 9 Влияние коэффициента режущей способности круга и соответственно скорости резания на продолжительность этапов переходных процессов

Таким образом, на основании вышеприведенных расчетов можно рассчитать действительную продолжительность рабочего цикла обработки одной шейки, т.е. машинное время, для цикла № 4 по формуле:

$$\tau_0 = \tau_{вп} + \tau_1 + \tau_{пер} + \tau_2 + \tau_{вых} + \tau_3,$$

где τ_1 - время на срезание черного припуска

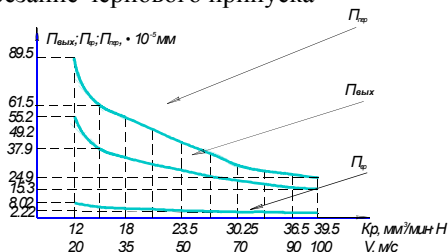


Рисунок 10 Влияние коэффициента режущей способности круга и скорости резания на припуски, снимаемые на этапах переходных процессов

$$\tau_1 = \frac{P_1 - P_{BP}}{S_{M2}} \quad \tau_2 = \frac{P_2 - P_{пер}}{S_{M3}} \quad \tau_3 = \frac{P_3 - P_{вых}}{S_{M3д}}$$

где P_1 - принятый припуск для черного перехода; S_{M2} - принятая подача для черного перехода; τ_2 - время на срезание чистового припуска; P_2 - принятый припуск для чистового перехода; S_{M3} - принятая подача для чистового перехода; τ_3 - время на срезание припуска на доводочном переходе; P_3 - принятый припуск для доводочного перехода; $S_{M3д}$ - принятая подача для доводочного перехода

Тогда при учете различной жесткости вала в зависимости от его угла поворота имеем:

1) для минимального значения жесткости детали

$$\tau_{\max} = 1.87 \cdot 10^{-4} + \frac{0.12 - 4.97 \cdot 10^{-5}}{0.5} + 1.63 \cdot 10^{-3} + \frac{0.026 - 5.62 \cdot 10^{-4}}{0.2} + 4.61 \cdot 10^{-3} + \frac{0.004 - 3.46 \cdot 10^{-4}}{0.015} = 0.61711 \text{ мин}$$

2) для максимального значения жесткости детали

$$\tau_{\min} = 1.21 \cdot 10^{-4} + \frac{0.12 - 4.97 \cdot 10^{-5}}{0.5} + 1.06 \cdot 10^{-3} + \frac{0.026 - 5.62 \cdot 10^{-4}}{0.2} + 2.99 \cdot 10^{-3} + \frac{0.004 - 3.46 \cdot 10^{-4}}{0.015} = 0.61486 \text{ мин}$$

Выводы: 1. Представленный расчетный метод разрешает определять прогибы и жесткость ступенчатых валов, в том числе со смещенными шейками в любом сечении, которые необходимы для определения оптимального по производительности цикла круглого наружного врезного шлифования. 2. Представленный метод позволяет более точно учитывать время переходных процессов при различной жесткости деталей.

Список литературы: 1. Ушаков А.Н., Серховец О.И., Фесенко А.В. Исследование переходных процессов в цикле круглого наружного врезного шлифования // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні.- Харків: НТУ"ХПІ".-2006.-№18,- 130 с, С.41-45. 2. Ушаков А.Н., Серховец О.И., Фесенко А.В. Математическое моделирование переходных процессов в цикле круглого наружного врезного шлифования // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні.- Харків: НТУ"ХПІ".-2007. №1,- 144с, С.26-32. 3. Ушаков А.Н., Серховец О.И., Фесенко А.В. Исследование структур рабочих циклов круглого наружного врезного шлифования // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. Харьков: НТУ «ХПІ». - 2008. №4,- 160с, С.75-81. 4. Сопротивление материалов/ Под общ. ред. Г.С.Писаренко.- 4-е изд.-К.Вища школа,1979.-696с. 5. Лурье Г.Б. Шлифование металов.-М.: Машиностроение, 1969.-175с.

Поступила в редколлегию 29.11.08

**ОБ ЭКОНОМИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ЕЕ НОРМИРОВАНИИ
В МЕХАНООБРАБОТКЕ**

Розглянуто питання економії та нормування витрат силової електроенергії при механічній обробці різнанням.

Стремление повысить технико-экономическую эффективность механообработки делает актуальной проблему оценки экономичности технологических процессов. Достижение экономичности технологических процессов механосборочных производств без управления затратами и их нормирования не представляется возможным.

Техническое нормирование в широком смысле этого понятия представляет собой установление технически обоснованных норм расхода производственных ресурсов (ГОСТ 3.1109-82). При этом под производственными ресурсами понимаются энергия, сырье, материалы, инструмент, рабочее время и т.д. В современных условиях механосборочного производства экономия производственных ресурсов (в частности электроэнергии) приобретает важное значение. Одним из главных направлений в работе по экономии электроэнергии является интенсификация производства, рационализация технологических режимов и их увязка с оптимальными энергетическими режимами.

Сопоставление экономичности вариантов техпроцессов в большинстве случаев производится путем сравнения себестоимости обработки заготовок. Методов расчета себестоимости достаточно много.

Наиболее точным методом расчета себестоимости вариантов технологических процессов при их сопоставлении является элементный [метод или метод прямого расчета всех составляющих себестоимости. В отдельных случаях при расчете можно не учитывать затрат, которые во всех сравниваемых вариантах остаются постоянными, и определять себестоимость только по затратам, зависящим от сравниваемых технологических процессов. Такая неполная себестоимость, включающая в себя только затраты, обусловленные вариантом технологического процесса, называется технологической себестоимостью.

Элементный метод расчета себестоимости является основным методом сопоставления экономичности технологических процессов во всех ответственных случаях, особенно в условиях массового и крупносерийного производств. В менее ответственных случаях, а также при расчетах себестоимости для серийного и мелкосерийного производств этот метод применяется с учетом укрупненных нормативов затрат. Расчет технологической себестоимости в этом случае производится также, однако отдельные слагаемые себестоимости находят не прямым расчетом по точным формулам, а по соответству-

ющим нормативным таблицам затрат, отнесенным к часу или к минуте работы станка. Подобные нормативы [7] по всем элементам технологической себестоимости составлены (за исключением стоимости исходной заготовки, которая должна вычисляться по соответствующим формулам применительно к ее конкретным конфигурации, размерам и материалу) для всех основных типоразмеров металлорежущего, литейного, кузнечно-прессового, термического и подъемно – транспортного оборудования, применяемого в условиях единичного и мелкосерийного или крупносерийного и массового производств. Нормативы подсчитаны с учетом некоторых средних условий выполнения операций, наиболее характерных для данного типоразмера станка.

В связи с тем что затраты на силовую энергию и режущий инструмент вычисляются пропорционально основному времени, а все остальные элементы определяются пропорционально общей продолжительности операции, при составлении нормативов учитывается средняя доля основного времени в общей норме времени, характерной для данного типоразмера станка при определенной серийности производства. Это дает возможность без большой погрешности находить технологическую себестоимость операции как произведение себестоимости станко-часа, взятой по нормативам, на общую трудоемкость операции.

Расчет технологической себестоимости по стоимости станко-часа (или станко-минуты) сводится к определению по нормативным таблицам затрат по каждому из элементов себестоимости, приходящихся на один час (минуту) работы станка, суммированию этих затрат в соответствии с принятой для данного расчета структурой технологической себестоимости и умножению полученной суммы на трудоемкость выполнения данной операции/

Способ определения технологической себестоимости по нормативам, как и всякий другой метод, основанный на средних данных, может иногда дать погрешность расчета, достигающую 15 — 20 % (по сравнению с результатами элементарного расчета по точным формулам). Однако для большинства случаев точность такого расчета является достаточной, поэтому он может быть рекомендован для широкого практического применения.

При любом методе расчета себестоимости определение затрат на силовую электроэнергию является частью общих затрат на изготовление продукции, теснейшим образом связанной со структурой выполнения технологических операций и составом оборудования. А следовательно сокращение (оптимизация) затрат электроэнергии должна решаться в комплексе задач проектирования оптимальных структур выполнения технологических операций с рациональными параметрами режимов обработки. При этом следует помнить, что затраты на электроэнергию при механической обработке резанием через режимы резания и силовые характеристики процесса напрямую связаны с затратами на режущий инструмент, поскольку стойкость инструмента является функцией скорости резания. В свою очередь режимы резания и структура выполнения технологической операции определяют производи-

тельность обработки, которая в свою очередь влияет на значения остальных затрат.

Таким образом решение задачи нормирования производственных (цеховых) затрат на силовую электроэнергию необходимо выполнять с учетом технологических особенностей производства, режимов резания и энергетических характеристик технологического оборудования с оценкой рациональности его использования.

В сокращении расхода электроэнергии не менее важное значение имеет снижение механических потерь электроэнергии в технологическом оборудовании. На передовых машиностроительных предприятиях в период выполнения вспомогательных операций электродвигатели отключаются. Это осуществляется при помощи установки ограничителей холостого хода. На каждом станке, снабженном ограничителем холостого хода, в среднем за один месяц может быть сэкономлено 50—100 кВт·ч электроэнергии.

Большие резервы снижения себестоимости за счет сокращения затрат на электроэнергию заложены в улучшении использования оборудования по его мощности.

В табл.1 приведены сравнительные показатели фактического и нормального баланса электроэнергии, потребляемой за год металлорежущим оборудованием механического цеха автомобильного завода [6]. Расчет коэффициента полезного использования электроэнергии $\eta_{исп}$ проводился в зависимости от величины коэффициента загрузки станков по мощности $K_{зм}$. При этом $\eta_{исп}$ определяется как отношение полезной энергии к подведенной энергии:

$$\eta_{исп} = E_{пол} / E_{подв}$$

где $E_{пол}$ - количество полезной энергии, тыс. кВт·ч; $E_{подв}$ - количество подведенной энергии, тыс. кВт·ч.

Количество подведенной и полезной энергии (тыс. кВт·ч) рассчитывается по формулам

$$\begin{aligned} E_{подв} &= E_p + E_{xx} + E_{всп} \\ E_{пол} &= E_{подв} - E_{xx} - \Sigma \Delta E, \end{aligned}$$

где E_p - расход электроэнергии за рабочий режим, тыс. кВт·ч; E_{xx} - расход электроэнергии за время холостых ходов оборудования, тыс. кВт·ч; $E_{всп}$ - расход электроэнергии вспомогательными двигателями и двигателями подачи, тыс. кВт·ч; $\Sigma \Delta E$ - суммарные потери электроэнергии главными и вспомогательными двигателями в рабочем режиме.

Из фактического баланса потребления электроэнергии видно, что коэффициент полезного использования ее колеблется в пределах 0,46 - 0,61 при изменении коэффициента загрузки оборудования по мощности $K_{зм}$ в пределах 0,28 - 0,56. Средняя величина $\eta_{исп}$ составляет 0,516 при величине $K_{зм} = 0,35$ средневзвешенной по отработанному времени.

Нормальный достижимый коэффициент загрузки приведенного здесь типа оборудования равен 0,7 - 0,75, поэтому при составлении нормального баланса принята величина коэффициента загрузки оборудования $K_{зм} = 0,7$.

Таблица 1

Баланс использования электроэнергии по группам металлорежущего оборудования [6]

Показатель или статья баланса	Фактический баланс						Нормальный баланс						Отношение показателей нормального баланса к фактическому
	По группам станков						По группам станков						
	Расточ- ные	Токар- ные	Кару- сельные	Сов- лотно- и др	Всего по цеху	В %	Расточ- ные	Токар- ные	Кару- сельные	Сов- лотно- и др	Всего по цеху	В %	
Число станков, шт	16	22	11	105	-	-	16	22	11	105	-	-	
Средний коэффициент загрузки	0,32	0,28	0,56	0,35	-	-	0,7	0,7	0,7	0,7	-	-	
Полный расход электроэнергии, тыс. кВт -ч	87,4	256,3	277,5	1013,7	100,0	100,0	174,1	612,1	345,1	1853,8	100,0	1,000	
Расход электроэнергии за рабочий режим, тыс. кВт -ч	85,9	253,2	271,3	995,0	98,1	98,1	172,4	609,0	338,9	1835,1	99,0	1,009	
Потери электроэнергии в электроприводе, тыс. кВт -ч	20,1	58,0	37,7	204,9	20,1	20,1	21,5	84,8	43,9	278,5	15,0	0,746	
постоянные	16,8	51,2	27,5	170,1	16,7	16,7	16,8	51,2	27,5	169,9	9,2	0,551	
	3,3	6,8	10,2	34,8	3,4	3,4	10,9	33,6	16,4	108,6	5,8	1,706	
Потери электроэнергии в рабочей машине, тыс. кВт -ч	24,7	76,0	63,5	267,1	26,4	26,4	34,8	124,8	70,8	363,6	19,8	0,75	
постоянные	20,3	63,8	46,4	214,8	21,2	21,2	24,0	88,3	48,9	257,0	13,8	0,651	
	4,4	12,2	17,1	52,3	5,2	5,2	10,8	36,5	21,9	111,6	6,0	1,154	
Расход электроэнергии за время холостых ходов оборудования, тыс. кВт -ч	1,5	3,1	6,2	18,7	1,9	1,9	1,5	3,1	6,2	18,7	1,0	0,526	
Полезно используемая электроэнергия, тыс. кВт -ч	41,1	119,2	170,1	523,0	51,6	51,6	110,1	399,4	224,2	1188,0	64,2	1,244	
Коэффициент полезного использования электроэнергии	0,471	0,463	0,615	0,516	—	—	0,633	0,652	0,65	0,642	—	—	

Из сопоставления результатов фактического баланса с нормальным видно, что с повышением коэффициента загрузки оборудования до 0,7 оно может нести полезную нагрузку в 2,28 раза большую, чем при существующей, при этом расход электроэнергии увеличивается только в 1,88 раза, а коэффициент полезного использования в 1,244 раза. В результате улучшения загрузки электрооборудования машиностроительных предприятий, обеспечения оптимальных режимов их эксплуатации можно достигнуть значительно-го сокращения потерь электроэнергии.

Сушествующие в настоящее время и используемые на практике методики позволяют достаточно точно определять параметры обработки для конкретного металлорежущего оборудования и конкретных условий обработки [1, 2, 3, 4, 5]. Расчет основных параметров осуществляется на основании степенных зависимостей общих для всех видов обработки и всех классов обрабатываемых материалов [1, 5], либо табличным методом [3, 4, 5]. Каждая из существующих методик задает множество "базовых" значений параметров режимов резания для различных сочетаний обрабатываемого материала и материала режущей части инструмента по видам обработки, полученным на основе экспериментальных или статистических исследований, а также рекомендации по корректировке этих значений для конкретных условий обработки, отличающихся от условий, при которых получены "базовые" значения. Значения всех коэффициентов и показателей степени, используемых при расчете подачи, скорости резания и силовых характеристик в зависимости от вида обработки и класса обрабатываемого материала, оформлены в виде сводных таблиц.

Обобщенный поправочный коэффициент при расчете подачи и скорости резания является функцией множества параметров, по которым в данной методике допустима корректировка:

$$K_s(\bar{X}) = F(X_0, \dots, X_n), \quad K_v(\bar{X}) = F(X_0, \dots, X_n).$$

Однако в общем случае получение функциональной зависимости F затруднено, поскольку требует проведения глубоких исследований по выявлению взаимовлияний параметров. Поэтому обобщенный поправочный коэффициент для упрощения представляется функцией множества n частных поправочных коэффициентов:

$$K_s(\bar{X}) = K_s(K_{s1}(X_1), \dots, K_{sn}(X_n)), \quad K_v(\bar{X}) = K_v(K_{v1}(X_1), \dots, K_{vn}(X_n)),$$

а каждый частный поправочный коэффициент представляется функцией одного параметра:

$$K_{si}(X_i) = F(X_i), \quad i=1, n, \\ K_{vi}(X_i) = F(X_i), \quad i=1, n.$$

В табл.2 приведены параметры, учитываемые в методиках [2, 3,5] при корректировке базовых значений подачи и скорости.

Таблица 2

Составляющие обобщенного поправочного коэффициента на подачу и скорость резания

Источник информации		Составляющие обобщенного поправочного коэффициента																							
		на подачу												на скорость											
		Кс	Ки	Кш	Кф	Кп	Кз	Кж	Км	Кл	Ку	Км	Ки	Кф	Кр	Кт	Кж	Кп	Ко	Ку	Кх	Кз	Кл	Кс	Кв
[3]	Технологический переход																								
	Сверление								*				*										*	*	
	Зенкерование								*				*					*					*	*	
	Развертывание								*				*					*					*	*	
[5]	Точение	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	Фрезерование			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	Сверление		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	Зенкерование		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
[2]	Развертывание		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	Точение		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	Фрезерование	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	Сверление	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Кс – шифр схемы фрезерования; Ки – материал инструмента; Кш – шероховатость поверхности; Кф – форма поверхности; Кп – вид заготовки; Кз – влияние закалики; Кж – жесткость технологической системы; Км – материал детали; Кл – удельная длина обработки; Ку – условия выхода инструмента; Кр – тип обработки; Кт – угол в плане; Ко – тип охлаждения; Кх – количество рабочих ходов; Кт – стойкость инструмента; Кв – ширина фрезерования.																									

Поскольку частные поправочные коэффициенты в различных методиках являются независимыми и число их невелико, то модель определения обобщенного поправочного коэффициента удобно описывать в табличной форме представления частных поправочных коэффициентов и мультипликативной функции:

$$K_s(\bar{X}) = \prod_{i=1}^n K_{si}(X_i) \quad (1)$$

$$\text{и} \quad K_v(\bar{X}) = \prod_{i=1}^n K_{vi}(X_i). \quad (2)$$

Независимость частных поправочных коэффициентов в ряде случаев может быть оспорена. Таким образом, получение обобщенного поправочного коэффициента перемножением частных поправочных коэффициентов может давать неверный результат, если не учитывать их возможную взаимозависимость. В этой связи данный подход должен иметь ограниченное использование в системах автоматизированного определения параметров процесса резания.

Анализ особенностей обработки показал, что число учитываемых параметров в рассмотренных методиках недостаточно для адекватного отражения реальных условий обработки и должно быть увеличено. Выявленные факторы условно разделены на четыре группы: технологические, зависящие от используемого инструмента, обрабатываемой детали, обрабатываемой поверхности. На рис.1 представлены все факторы, которые предлагается учитывать при расчете режимов резания технологических переходов.

$$X = \{X_1, \dots, X_{16}\}.$$

Анализ всех факторов показал, что для выявленной совокупности параметров возможно задание отношений для нескольких пар параметров. Следовательно, параметры не являются независимыми и определение обобщенных поправочных коэффициентов по уравнениям (1), (2) не подходит для данного случая.

Обобщенный поправочный коэффициент представляется функцией множества интегрированных поправочных коэффициентов:

$$K_s(\bar{X}) = K_s(K_{s1}(X_1, \dots, X_i), \dots, K_{si}(X_i+1, \dots, X_n)),$$

$$K_v(\bar{X}) = K_v(K_{v1}(X_1, \dots, X_i), \dots, K_{vi}(X_i+1, \dots, X_n)),$$

а каждый интегрированный поправочный коэффициент представляется функцией зависимых параметров:

$$K_{si}(\bar{X}) = F(X_i, \dots, X_k), \quad i=1, l,$$

$$K_{vi}(\bar{X}) = F(X_i, \dots, X_k), \quad i=1, l ..$$

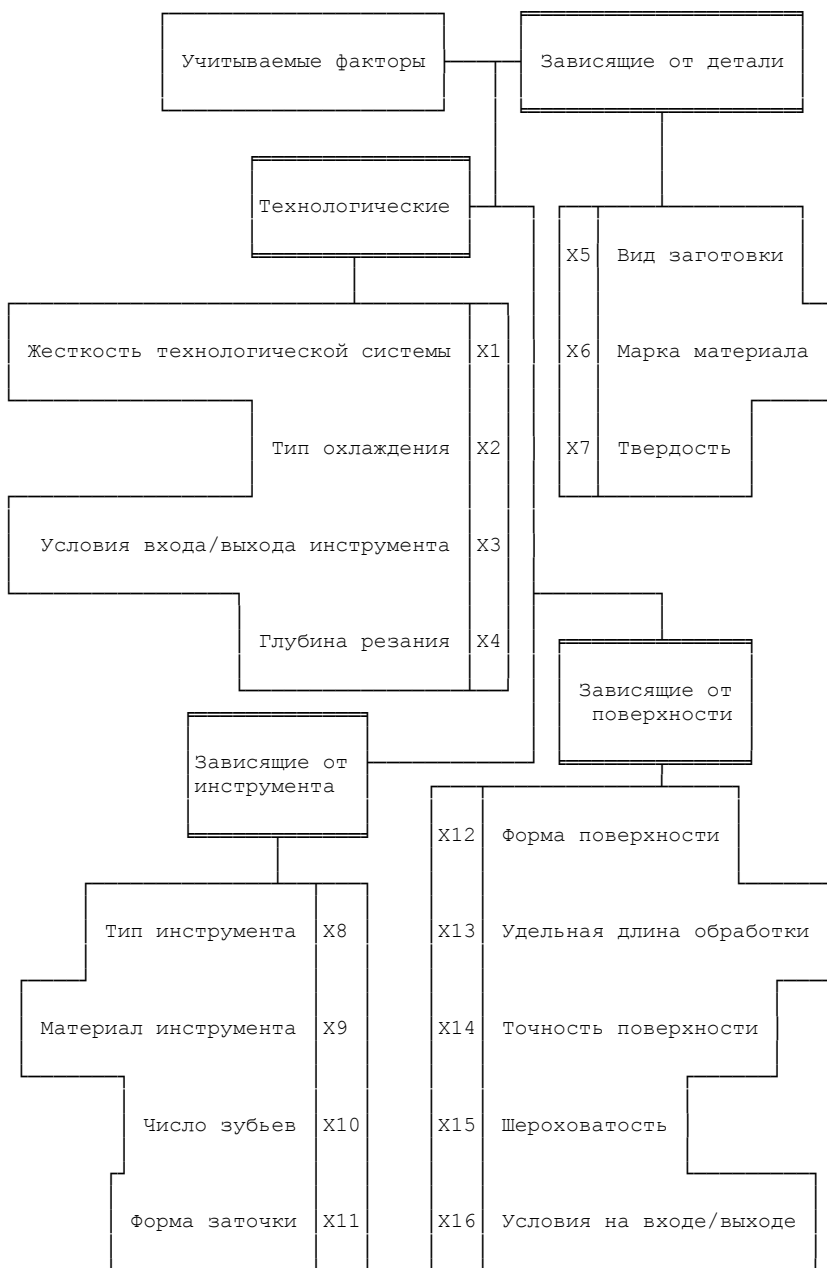


Рис.1. Факторы, учитываемые при расчете режимов резания.

Выводы. Нормирование затрат силовой электроэнергии при механической обработке резанием должно выполняться на основе определения рациональных режимов резания технологических операций, т.к. в данном случае технология всегда первична, поскольку призвана обеспечить качество изготовления и эксплуатационные свойства изделий. Эти расчетные режимы резания необходимо эффективно реализовать на технологическом оборудовании, эксплуатационные характеристики которого (диапазоны регулирования приводов и их мощность) в свою очередь должны быть оптимальными для этого. Для специального технологического оборудования эта задача практически решается на стадии его создания, а вот для универсального оборудования имеет объективную сложность, поскольку для такого оборудования характерна технологическая избыточность, вызванная необходимостью иметь большие диапазоны регулирования приводов, избыточные мощности и т.п.

Поэтому нормирование затрат силовой электроэнергии при механической обработке резанием для конкретного производства нужно начинать с анализа организационно-технологической структуры производства (состав оборудования, техпроцессы, изделия-представители) с последующей оценкой технико-экономических показателей и установлением рациональных (оптимальных) для конкретного производственного подразделения (участка, цеха).

Существующие методики расчета режимов резания технологических переходов позволяют определять силовые параметры резания и эффективную мощность, необходимую для осуществления процесса резания. Это может стать основой для разработки нормативной базы определения плановых показателей затрат электроэнергии для конкретного производства.

Список литературы: 1. Обработка металлов резанием: Справочник технолога /А.А.Панов, В.В.Аникин, Н.Г.Бойм и др.; Под общ.ред. А.А.Панова.- М.: Машиностроение, 1988.-736с. 2. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов. Справочник. /Под ред.В.И.Баранчикова.-М.: Машиностроение, 1990. 3. Режимы резания металлов. Справочник. /Под ред. Ю.В.Барановского, Изд. 3-е, переработанное и дополненное.-М., Машиностроение, 1972.-326с. 4. Режимы резания труднообрабатываемых материалов: Справочник. /А.Л.Гуревич, М.В.Горохов, В.И.Захаров и др. -М.: Машиностроение, 1986,-240с. 5. Справочник технолога-машиностроителя: В 2 т. /Под ред. А.Г.Косиловой, Р.К.Мещерякова, Изд. 4-е, переработанное и дополненное. - М.: Машиностроение, 1985. 6. Снижение себестоимости машин /М.И.Ипатов, А.В.Проскуряков, В.М.Семенов. - 2-е изд., переработанное и дополненное. - М.: Машиностроение, 1988.-208с. 7. Расчеты экономической эффективности новой техники: Справ. /Под ред. Л.М.Великанова. Л.: Машиностроение, 1975. 430 с.

Поступила в редколлегию 20.10.08

В.В. КАЛЬЧЕНКО, А.М. ЕРОШЕНКО

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ШЛИФОВАНИЯ СО СКРЕЩИВАЮЩИМИСЯ ОСЯМИ ИНСТРУМЕНТА И ДЕТАЛИ С КРУГОВЫМ ПРОФИЛЕМ

Розглянуто питання визначення ефективності шліфування з перехресними осями інструмента і деталей із профілем у вигляді дуги окружності.

Системное представление процесса механической обработки деталей машин в целом, и отдельных операций в частности невозможно без анализа взаимодействия пяти видов связей: размерных, свойств материалов, информационных, временных и экономических [1]. Таким образом, эффективность шлифования со скрещивающимися осями инструмента и деталей с профилем в виде дуги окружности необходимо рассматривать в системе пяти видов связей.

Существование и взаимодействие пяти видов связей процесса шлифования определяют его целостность как системы. Для сохранения единства системы, при оптимизации процесса должен осуществляться комплексный подход на нормативной основе. Создание комплексной модели процесса шлифования невозможно без глубокого анализа всех связей. Этап декомпозиции системы связей процесса проходил параллельно с разработкой анализов отдельных видов связей. Разработано широкую нормативную базу для размерного анализа и анализа свойств материалов. В последнее время активно изучаются и моделируются информационная и экономическая связи. Анализ информационных связей стал возможным в связи с бурным развитием информационных технологий, а переход экономики к рыночным отношениям нуждается в создании нового экономического анализа. Этим же обусловленная необходимость создания нормативного обеспечения принципиально нового анализа временных связей [2].

Любой процесс имеет продолжительность во времени настройки и выполнения. Система временных связей имеет стохастический характер, что требует использования в их анализе вероятностных и статистических методов.

Стохастический характер хода процесса обработки становится основной предпосылкой при создании нормативной базы анализа временных связей. Вероятностный расчет позволяет директивно регламентировать временные связи, делает производственный процесс более стабильным и приводит к уменьшению времени простоя оборудования и пролеживания деталей. Оптимизация временных связей не устраняет организационные срывы процесса шлифования, но дает возможность проследить их причины и учесть

вероятность их появления. Оценив возможность появления разнообразных сбоев в ходе процесса и определив степень их влияния на колебание машинного времени, временной анализ дает возможность назначить допуски на нормы времени.

Таким образом, целью работы является разработка схемы определения эффективности абразивной обработки и анализ временных связей процесса шлифования.

При исследовании особенностей временных связей была выдвинута гипотеза о распределении временных связей процесса шлифования в соответствии с законом Гаусса, поскольку, анализ факторов, влияющих на распределение норм времени, показал, что на временные отрезки влияет большое количество независимых факторов [3]. Дальнейшие исследования [4] подтвердили правильность этой гипотезы.

Анализ временных связей позволил разработать методику временного анализа, которая основывается на методологии и математическом аппарате нормализованного размерного анализа. Для этого были изучены особенности звеньев временных цепей и предложена методика составления из схем [5]. Эффективное использование методики расчета временных цепей процесса шлифования дало возможность, в дальнейшем развитии временного, анализа разработать методику оптимизации временных связей процесса, которая регламентирует порядок расчета временных цепей [6].

Методика временного анализа носит общий характер и может быть использована для оптимизации временных связей процесса шлифования, поскольку одной из целей управления процессом шлифования является машинное время (рис.1). Разработанная схема определения эффективности шлифования со скрещающимися осями инструмента и детали с круговым профилем, в качестве входных управляющих факторов рассматривает частоту вращения круга n_u и детали n_o , поперечную подачу круга $S_n(\theta_o)$, и согласованный с ней угол наклона инструмента ψ_u . Главным возмущением является припуск заготовки Z_z , ее радиус ее профиля ρ_z и ее материал M_z . Выходными параметрами процесса являются геометрические параметры поверхности детали (радиус профиля ρ_o), а также ее шероховатость R_a и глубина дефектного слоя h_{def} , а функцией цели – производительность.

Для определения объемов экспериментальных выборок при исследовании временных связей абразивной обработки использовался алгебраический метод, который разрешает заменить среднее арифметическое значение времени выполнения работы $\overline{T_0}$ и среднее квадратичное отклонение σ_0 значениями, которые получены в результате исследования предыдущей выборки малого объема. Объемы выборок рассчитывались за формулой [7]

$$n = \frac{t^2 \sigma_e^2 N}{\varepsilon^2 (N - 1) + t^2 \sigma_e^2}, \quad (1)$$

где: t — аргумент функции Лапласа; σ_e — среднее квадратичное отклонение; N — объем генеральной совокупности, шт; ε — точность исследования.

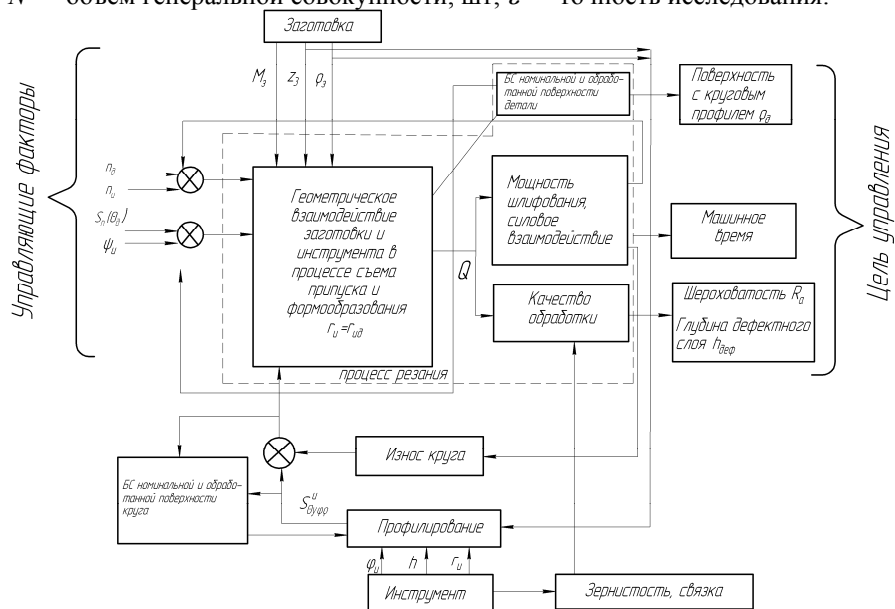


Рис. 1. Схема определения эффективности шлифования со скрещивающимися осями инструмента и детали с круговым профилем

Учитывая то, что рассчитанные значения выборок отличались незначительно, исследования проводились на выборке объемом 50 измерений.

Отсев грубых погрешностей замеров времени производился по методам Гребса и Романовского. Среднее арифметическое значение машинного времени и среднее квадратичное отклонение определялись по формулам [7]

$$\bar{T}_e = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i, \quad (2)$$

$$\sigma_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T}_e)^2}{n}}, \quad (3)$$

где: T_e — среднее машинное время, с, T_i — машинное время обработки i -й детали.

Оценка соответствия эмпирического распределения теоретическому проводилась с помощью χ^2 -критерия, был избран из соображений того, что при достаточно большом числе наблюдений он есть наиболее достоверным и обеспечивает минимальную ошибку в принятии ошибочной гипотезы в

сравнении с другими критериями (критерий согласования λ Колмогорова, критерий асимметрии и эксцесса). Кроме того, применение χ^2 -критерия уместно в тех случаях, когда параметры закона распределения неизвестны и заменяются соответствующими выборочными характеристиками [7].

Теоретическая частота кривой распределения определялась по формуле

$$m' = \frac{nd}{\sigma_e} Z_t, \quad (4)$$

где $Z_t = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}}$ — величина, которая определяется из таблицы в зависимости от значения t [7].

Произведение nd обеспечивает получение величины m' в том же масштабе, в котором отложены частоты полигона распределения.

Критерий χ^2 определялся по формуле [7]:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^f \frac{(m_i - m'_i)^2}{m'_i}, \quad (5)$$

где: f — количество интервалов полигона распределения; m_i — частота попадания экспериментальных данных в i интервал.

Результаты обработки экспериментальных данных оформлены в виде карт, одна из которых приведенные ниже.

В картах приняты следующие обозначения:

T_{max} , T_{min} — максимальное и минимальное машинное время в выборке; $W = T_{max} - T_{min}$ — размах варьирования измеренных значений машинного времени; d — ширина интервала; $\bar{T}$ — среднее значение машинного времени.

Карта обработки экспериментальных данных № 25.
Палец рулевой тяги. Операция 035. Круглошлифовальная.
Шлифование сферической головки пальца.

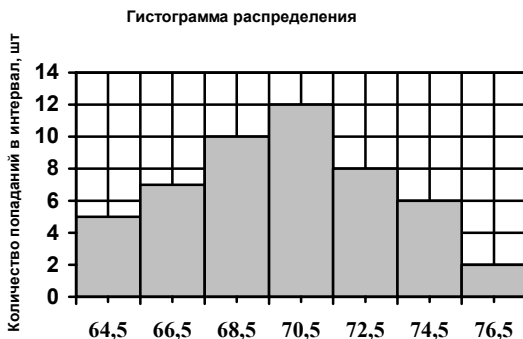


Таблица экспериментальных данных, с

67,9	70,5	66,0	64,9	66,1	72,3	70,1	76,1	72,1	67,2
70,0	75,0	65,8	72,1	76,3	75,5	70,4	67,7	69,9	67,7
64,0	64,3	67,7	73,4	70,2	71,5	67,7	73,1	68,7	72,9
70,3	69,7	74,7	69,5	73,1	74,9	65,7	68,8	70,5	67,6
69,4	73,3	76,9	73,7	69,9	67,0	71,7	74,8	74,9	70,0

Таблица обработки экспериментальных данных

№ п/п	Интервал		$\bar{T}_i$	Частота m_i	t_i	Z_{ti}	Теоретическая частота m'_i
	от	до					
1	63,5	65,5	64,5	5	-1,607	0,1096	3,2213
2	65,5	67,5	66,5	7	-1,020	0,2372	6,9706
3	67,5	69,5	68,5	10	-0,432	0,3634	10,6785
4	69,5	71,5	70,5	12	0,156	0,3941	11,5813
5	71,5	73,5	72,5	8	0,743	0,3026	8,8923
6	73,5	75,5	74,5	6	1,331	0,1645	4,8336
7	75,5	77,5	76,5	2	1,919	0,0633	1,8601

Tmax с	Tmin, с	W, с	d, с	$\bar{T}_c$	σ	ω	χ^2 табл	χ^2
76,9	64,0	12,9	2	69,97	3,403	20,419	9,49	1,422

$$\chi^2_{\text{табл}} > \chi^2$$

Соответствует закону Гаусса

Анализ результатов обработки экспериментальных данных позволил сделать такие выводы:

1. Распределение временных связей абразивной обработки соответствует закону Гаусса, что упрощает дальнейшую оптимизацию временных связей.
2. Использование временного анализа позволяет назначать допуски на машинное время.

Список литературы: 1. Колесов И.М. Автоматизации подлежит производственный процесс // Вестник машиностроения. – 1985. №3. – с. 57-61. 2. Єрошенко А.М. Уніфікація розрахунків розмірних і часових зв'язків технологічного процесу // Вісник інженерної академії наук. – 2006. №2-3. – с. 94-95. 3. Єрошенко А.М., Бондаренко С.Г. Часові зв'язки виробничого процесу // Вісник Чернігівського технологічного інституту. – 1996. №3. – с.37-39. 4. Єрошенко А.М., Бондаренко С.Г., Чередніков О.М. Дослідження особливостей часових зв'язків виробничого процесу // Наукові нотатки: Міжвузівський збірник (за напрямом "Інженерна механіка"). №4 – Луцьк: Луцький державний технічний університет. – 1998. – с. 84-89. 5. Єрошенко А.М., Чередніков О.М. Особливості часових ланцюгів виробничого процесу // Вісник Чернігівського технологічного інституту. – 1997. №4. – с.23-26. 6. Єрошенко А.М., Чередніков О.М., Кухаренко О.В. Порядок розв'язання часових ланцюгів при розрахунку тривалості технологічного циклу під час паралельно-последовного руху предметів праці // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – 1999. №9. – с.93-101. 7. Колкер Я. Д. Математический анализ точности механической обработки деталей. — К.: Техника, 1976. — 198 с.

Поступила в редколлегию 20.10.08

О ШЛИФОВАНИИ ВАЛКОВ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ ИЗ ВЫСОКОХРОМИСТОЙ СТАЛИ.

Наведено результати досліджень по шліфуванню валків холодної прокатки з високохромистої сталі.

Наиболее перспективным направлением развития производства валков холодной прокатки в настоящее время является применение новых марок стали с 3-5% содержанием хрома – 70X5МФ и 80X3МФ. В сравнении с валками, изготовленными из сталей с содержанием хрома до 2%, данные валки имеют повышенную прокаливаемость и износостойкость, менее подвержены сколам рабочего слоя и образованию наваров, что позволяет увеличить общую наработку более чем в 1,5 раза. При изготовлении валков холодной прокатки из сталей 70X5МФ и 80X3МФ важной задачей является обеспечение высокой поверхностной твердости бочки – до 95...100 HSD. Твердость валков контролируется склероскопами «Шор» после термической обработки и после окончания механообработки. Результаты контроля показывают, что процесс закалки обеспечивает заданные физико-механические свойства, но после выполнения шлифования поверхностная твердость снижается на 10-15%. Снижение твердости бочки связано с тепловым и силовым влиянием абразивного круга на поверхностный слой, образованием зон высокотемпературного отпуска [1, 2]. До настоящего времени детально разработан вопрос абразивной обработки валков холодной прокатки изготовленных из сталей типа 9Х, 9Х2, 9ХМФ. В соответствии с рекомендациями по шлифованию [4] наиболее эффективным абразивным инструментом для шлифования валков являются круги марок 25А40М3 7К, 25А40СМ1 7К, 25А40СМ2 7К на керамической связке. Данные круги имеют малый износ и обеспечивают высокую производительность. Качество поверхностного слоя при обработке данными кругами определяется правильностью выбора режимов резания, гарантирующих отсутствие прижогов, образования зон высокотемпературного отпуска и вторичной закалки. При изготовлении валков из сталей типа 9Х наибольшая производительность и заданные параметры качества поверхностного слоя достигаются шлифованием кругами марки ПП 25А40СМ2 7К7 900х305х80 35м/с на следующих режимах резания при предварительном шлифовании: скорость вращения детали – $V_d=25^{M/мин}$; скорость резания – $V_k=30^{M/с}$; скорость продольной подачи – $S=35^{мм/об}$; глубина резания – $t=0,015^{мм/ход}$; при окончательном шлифовании: $V_d=30^{M/мин}$; $V_k=23^{M/с}$; $S=15^{мм/об}$; $t=0,005^{мм/ход}$. При абразивной обработке валков из сталей 70X5МФ и 80X3МФ кругами марки 25А40СМ2 7К7 на режимах резания принятых для изготовления валков из сталей типа 9Х в поверхностном слое наблюдается

падение твердости до 10 ед. HSD, что является недопустимым. С целью обеспечения заданных физико-механических свойств рабочего слоя валков из высокохромистой стали была проведена отработка режимов резания абразивными кругами марки 25A40CM2 7K7. В работе [4] указывается, что в наибольшей степени на образование прижогов при шлифовании влияет глубина резания, в меньшей степени – скорость вращения детали, скорость резания и величина продольной подачи, поэтому при отработке режимов резания величина продольной подачи и скорость резания были приняты постоянными, $S=20^{мм}/_{об}$, $V_k=30^{м}/_{с}$. Работа велась на круглошлифовальном станке модели 3М198. При шлифовании применялся 5% раствор синтетической смазывающе-охлаждающей жидкости «Унизор-М». При каждом режиме шлифования с поверхности бочки удалялся припуск величиной 0,1 мм на сторону.

Таблица 1

Результаты отработки режимов резания при шлифования валков холодной прокатки из стали 80Х3МФ с твердостью 95-100HSD, абразивным кругом марки ПП 25A40CM2 7K7 900х305х80 35м/с.

Номер экспери- мента	Режимы резания				Средняя твердость по бочке HSD
	Глубина резания $t, \text{мм}/\text{ход}$	Скорость детали $V_d, \text{м}/\text{мин};$	Скорость круга, $V_k, \text{м}/\text{с};$	Продольная подача $S,$ $\text{мм}/\text{об};$	
Твердость бочки при входном контроле до мех. обработки					95...98
1	0,002	15	30	20	90...93
2	0,005				89...93
3	0,002	30			91...94
4	0,005				90...92

Несмотря на то, что при шлифовании на режимах указанных в таблице 1 на поверхности бочки отсутствовали визуально различимые следы прижогов (цвета побежалости), результаты измерений твердости позволяют сделать вывод о значительных структурных изменениях в поверхностном слое. Испытания абразивных кругов 25A40CM27K7 на керамической связке показали, что даже при наиболее облегченных режимах резания данные круги не могут обеспечить требуемые физико-механические свойства поверхности вала. Для удаления дефектного слоя, восстановления поверхностной твердости было проведено дополнительное шлифование бочки вала кругами с графитовым наполнителем марки ГЕ М28МЗБ 700х305х80. Шлифование графитовым кругом выполнялось на следующих режимах резания: $V_d=30^{м}/_{мин}$; $V_k=35^{м}/_{с}$; $S=10^{мм}/_{об}$; $t=0,005^{мм}/_{ход}$ с припуском 0,5 мм на диаметр. После удаления каждой 0,1 мм припуска выполнялся контроль твердости и шероховатости (профилометром «SurTronic»).

Данные таблицы 2 показывают, что дополнительным шлифованием твердость валков может быть повышена не более чем на 2 ед. HSD. Увеличение показаний твердости после шлифования графитовым кругом можно объ-

яснить снижением шероховатости поверхности, особенностями метода контроля твердости по «Шору». После обработки керамическим кругом глубина дефектного слоя по бочке вала превышает 0,5мм. Твердость не может быть восстановлена дополнительным шлифованием или полированием доводочными кругами с графитовым наполнителем.

Таблица 2

Результаты дополнительного шлифования вала графитовым кругом
ГЕ М28 М3 Б 700х305х80.

№	Величина удаляемого припуска на диаметр, мм	Шероховатость поверхности. Ra, мкм	Твердость бочки HSD
1	0,1	1,6	90...93
2	0,2	0,8	91...93
3	0,3	0,4	92...94
4	0,5	0,2	92...94

Для выбора абразивного инструмента позволяющего обеспечить заданное качество рабочего слоя валков была проведена серия испытаний шлифовальных кругов фирмы Tyrolit марки 459A362G6BO1 (характеристики данного круга – материал зерна электрокорунд, размер зерна – 500-400мкм, твердость соответствует твердости М1, средняя структура №6, связка - органическая), и кругов «Златоустовского абразивного завода» («ЗАЗ») на бакелитовой связке марок 25A40CM1 7Б5 и 25A40CM2 7Б5. Эффективность шлифовальных кругов оценивалась по следующим параметрам: 1. – Достижимый параметр шероховатости поверхности Ra, 2. – Поверхностная твердость (валок после термообработки имел твердость 95..98 HSD), 3. – Съем материала, $Q_m \text{ см}^3/\text{мин}$, 4. – Расход абразива при шлифовании $Q_a \text{ см}^3/\text{мин}$, 5. – Расход абразива при правке $Q_p \text{ см}^3$. Испытания проводились при обработке валков холодной прокатки из стали 80Х3МФ, диаметр бочки вала – Ø600мм, длина L=1000мм. При предварительном шлифовании удалялся припуск 0,7мм на диаметр, на режимах окончательного шлифования – 0,1 мм на диаметр. При шлифовании применялась синтетическая СОЖ «Castrol» «Syntilo 81Е». Испытания проводились на вальцешлифовальном станке «Herkules» WS 600-60х8000.

При шлифовании абразивными кругами 25A40CM1 7Б5, 25A40CM2 7Б5 – «ЗАЗ»; 459A362G6 BO1 отсутствовали изменения поверхностной твердости, данные круги позволили обеспечить требуемые физико-механические свойства рабочего слоя прокатных валков, заданные параметры шероховатости и точности. Результаты испытаний (таблица3) показывают, что круги марки 25A40CM1 7Б5 значительно уступают аналогам по производительности удаления материала, расходу абразива. Для достижения шероховатости поверхности ниже Ra=1,25мкм при работе кругами 25A40CM1 7Б5 по причине повышенного износа требовались дополнительные правки и выхаживающие проходы. Наибольшая производительность шлифования и наимень-

шая шероховатость поверхности обеспечивается кругами 459A362G6 BO1 «Tyrolit», они имеют также меньший, в сравнении с инструментом изготовленным «ЗАЗ» износ.

Таблица 3

Результаты испытаний абразивных кругов марок 25A40CM1 7Б5, 25A40CM2 7Б5 – «ЗАЗ»; 459A362G6 BO1 – «Tyrolit».

№	Режимы резания				25A40CM1 7Б5				
	t, мм/ ход	V _д , м/ мин	V _к , м/ с	S, мм/ об	Ra, мкм	HS _D	Q _м см ³ / мин	Q _а см ³ / мин	Q _п см ³
1	0,005	25	30	35	1,8	95	6,5	2,9	205
2	0,02	30	23	15	1,25	96	0,9	1,6	160
№	Режимы резания				25A40CM2 7Б5				
	t, мм/ ход	V _д , м/ мин	V _к , м/ с	S, мм/ об	Ra, мкм	HS _D	Q _м см ³ / мин	Q _а см ³ / мин	Q _п см ³
1	0,005	25	30	35	1,6	94	8,9	1,9	120
2	0,02	30	23	15	0,8	97	1,4	0,7	60
№	Режимы резания				459A362G6BO1				
	t, мм/ ход	V _д , м/ мин	V _к , м/ с	S, мм/ об	Ra, мкм	HS _D	Q _м см ³ / мин	Q _а см ³ / мин	Q _п см ³
1	0,005	25	30	35	1,4	95	11,2	1,2	70
2	0,02	30	23	15	0,65	98	1,8	0,3	30

Ввиду того, что цена абразивных кругов «Tyrolit» превышает «ЗАЗ» более чем в 12 раз, а производительность шлифования при работе абразивом «Tyrolit» повышается в 1,26 раз для решения о целесообразности применения шлифовальных кругов требуется сопоставление затрат на шлифование кругами марок 25A40CM2 7Б5 «ЗАЗ» и 459A362G6BO1 «Tyrolit».

Затраты на шлифование оценивали по формуле [3]:

$$C = \frac{C_p}{Q_m} + \frac{C_a}{g} + \frac{C_p \cdot \tau_{np} + C_a \cdot Q_n}{\tau} + C_{э} \cdot A \quad (1)$$

где C_p – стоимость станко-минуты шлифования, грн/мин; Q_m – производительность шлифования, см³/мин; C_a – стоимость 1 см³ полезного объема круга в грн/см³; g – удельная производительность процесса обработки; Q_n – расход абразива за одну правку в см³; τ_{np} – время правки шлифовального круга, мин; τ – период стойкости шлифовального круга, мин; $C_{э}$ – стоимость электроэнергии, грн/кВт; A – удельный расход электроэнергии на удаление материала заготовки, кВт/см³.

Удельная производительность шлифования

$$g = \frac{Q_m}{Q_a}; \quad (2)$$

При работе кругами 25A40CM2 7Б5 удельная производительность предварительного шлифования – $g_1=4,68$; окончательного шлифования $g_2=2$. При работе кругами 459A362G6BO1 удельная производительность предварительного шлифования – $g_1=9,33$; окончательного шлифования $g_2=6$.

Затраты на предварительное шлифование кругами 25A40CM2Б5:

$$C1 = \frac{1,6}{8,9} + \frac{0,04}{4,68} + \frac{1,6 \cdot 2 + 0,04 \cdot 120}{20} + 2,7 \cdot 0,08 = 0,804 \frac{\text{руб}}{\text{см}^2};$$

Затраты на окончательное шлифование кругами 25A40CM2 7Б5:

$$C2 = \frac{1,6}{1,4} + \frac{0,04}{2,0} + \frac{1,6 \cdot 2 + 0,04 \cdot 60}{20} + 2,7 \cdot 0,5 = 2,79 \frac{\text{руб}}{\text{см}^2};$$

Затраты на предварительное шлифование кругами 459A362G6BO1:

$$C1 = \frac{1,6}{11,2} + \frac{0,81}{9,88} + \frac{1,6 \cdot 2 + 0,81 \cdot 70}{20} + 2,7 \cdot 0,08 = 2,36 \frac{\text{руб}}{\text{см}^2};$$

Затраты на окончательное шлифование кругами 459A362G6BO1:

$$C2 = \frac{1,6}{1,8} + \frac{0,81}{6,0} + \frac{1,6 \cdot 2 + 0,81 \cdot 60}{20} + 2,7 \cdot 0,5 = 3,25 \frac{\text{руб}}{\text{см}^2};$$

Затраты на удаление 1 см³ припуска валка из высокохромистой стали кругами 459A362G6BO1 «Tyrolit» больше чем кругами 25A40CM2 7Б5 «ЗАЗ» при предварительном шлифовании в 2,93 а при окончательном шлифовании – в 1,16 раз. Таким образом, наиболее эффективным абразивным инструментом для шлифования прокатных валков из высокохромистой стали являются абразивные круги марки 25A40CM2 7Б5.

Выводы. Традиционная технология шлифования, отработанная в ЗАО «НKMЗ» при обработке валков холодной прокатки из сталей типа 9Х, является неприемлемой при обработке валков из высокохромистых сталей марок 80Х3МФ и 70Х5МФ с поверхностной твердостью 95...100 HSD, поскольку при их шлифовании абразивными кругами на керамической связке марок 25A40M3 7К, 25A40CM1 7К, 25A40CM2 7К глубина дефектного слоя по бочке валка превышает 0,5мм, а поверхностная твердость бочки валка снижается до 10 ед. HSD даже при работе на минимальных режимах резания, причем твердость не может быть восстановлена дополнительным шлифованием или полированием доводочными кругами с графитовым наполнителем.

Требуемая поверхностная твердость высокохромистых прокатных валков может быть обеспечена шлифованием абразивными кругами на органической связке марок 25A40CM1 7Б5, 25A40CM2 7Б5 – «ЗАЗ»; 459A362G6 BO1– «Tyrolit». Данные круги гарантируют также достижение заданной шероховатости и точности. Наиболее эффективным абразивным инструментом для шлифования валков холодной прокатки из сталей 80Х3МФ и 70Х5МФ являются круги марки 25A40CM2 7Б5.

Список литературы: 1.Надёжность и долговечность валков холодной прокатки. Полухин В.П., Николаев В.А., Тылкин М.А. и др. М., «Металлургия», 1976. 448с. 2. Валки листовых станов холодной прокатки. Новиков В.Н., Белосевич В.К., Гамазков С.М. и др. Изд-во «Металлургия», 1970, 336с. 3. Маслов Е.Н. Теория шлифования материалов. М., «Машиностроение», 1974, 320с. 4. Агасарян Р.Р. Абразивная обработка закаленных сталей типа 9Х (На примере обработки рабочих валков холодной прокатки) /Ред. С.Г. Кандаян. – Ереван. Айстан, 1971.-127с.

Поступила в редколлегию 20.10.08

ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ И ТЯЖЕЛОВЕСНЫХ СОСТАВНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Розглянуто технології відновлення великогабаритних виробів, які базуються на повторному використанні деталей, що відрібили ресурс, складеного виробу. Викладені схеми відновлення виробів відповідно до запропонованої класифікації, яка враховує співвідношення геометричних параметрів.

There have been reviewed remanufacturing techniques for large-size products on the basis of compound products worn-out parts reuse. Products remanufacturing patterns are presented in accordance with suggested classification that considers geometrical parameters proportions.

Профильную номенклатуру продукции ряда предприятий тяжелого машиностроения СНГ (НКМЗ, УЗТМ, Ижорские заводы) составляет горнорудное, металлургическое, прокатное, кузнечно-прессовое и подъемно-транспортное оборудование. При этом до 30% номенклатуры приходится на составные крупногабаритные изделия [1].

Составные изделия (в частности, зубчатые колеса редукторов, прокатные валки, шпиндели прокатных клетей) по конструкции состоят из двух основных деталей, например, оси и бандажа валка, которые собраны термовоздействием по посадке с натягом.

Установлено, что после отработки номинального ресурса рабочие поверхности охватывающих деталей указанных изделий (бандажей, венцов, головок шпинделей) имеют незначительный объемный износ активного слоя. В большинстве случаев, общее состояние изделий позволяет рассматривать вопрос их повторном использовании. Установлено, что рациональным техническим решением восстанавливаемого изделия является изготовление новой охватывающей детали при сохранении в качестве повторно используемой - охватываемой. Возможно создание изделия и меньшего типоразмера путем кузнечно-прессового перекова изношенных деталей больших типоразмеров на новые заготовки требуемого размера.

В настоящее время вопросы восстановления крупногабаритных составных изделий с учетом всего ряда их типоразмеров рассмотрены недостаточно полно. Это касается, в частности, и моноблочных (цельнокованых или литых) изделий, которые отработали ресурс по рабочей поверхности или были выведены из эксплуатации вследствие дефектов.

Целью работы является выработка общих положений по созданию технологий восстановления крупногабаритных изделий ответственного назначения при соединении их натягом.

В соответствии с классификацией [2], имеется класс деталей с формой тела вращения, из которого целесообразно выделить новый класс: класс

крупногабаритных составных изделий, подразделенный на подклассы [3] по соотношению общей длины к наибольшему наружному диаметру изделия (L/D) в следующих диапазонах: с L до $1,0D$ включительно; с L - от $1,0D$ и до $5,0D$ включительно, и с L - свыше $5,0D$.

Согласно [4], в качестве классификационных признаков соединений составных изделий используются характеристики, определяющие их функциональное назначение и конструктивно-технологические свойства. Изучению подлежат конструкции, состоящие из двух основных деталей (охватываемой и охватывающей), а также те, у которых между бандажом и осью установлена третья деталь - промежуточная втулка (гильза), что имеет место, например, в прокатных валах.

Рассматриваемые виды соединений крупногабаритных составных изделий группируют по общим (постоянным) и переменным (дополнительным) признакам, которые являются приоритетными при изучении указанных деталей. Общими признаками признаны: габаритные размеры, масса и вид соединения (по методу его образования). Согласно техническим требованиям по условиям погрузки и крепления грузов [5] (при транспортировании изделий железнодорожным транспортом) установлен нижний весовой предел тяжелых деталей - не менее 20 т. К дополнительным признакам отнесено наличие у рассматриваемых изделий - постоянной по образующей базовой цилиндрической формы сопрягаемых поверхностей соединений с натягом. Типичными представителями изделий рассматриваемого класса в прокатном производстве являются зубчатые колеса редукторов приводов клетей, опорные валки клетей [2] и шпиндели линий клетей прокатных станов (табл. 1).

Мероприятия по восстановлению рассматриваемых изделий начинаются с оценки их массово-габаритных характеристик при последующем далее определении схемы восстановления, технологии изготовления (или «исправления») деталей, входящих в составное изделие и процесса их сборки. После корректирования и уточнения способа восстановления определяется объем ресурсосбережения в части материалов и энергоносителей. При этом в основу процесса их восстановления заложено обеспечение работоспособности восстанавливаемого изделия до уровня базового ресурса. Формат восстановления включает изготовление аналогичного типоразмера изделия относительно базовой конструкции или такого же изделия меньшего типоразмера.

Сборка (монтаж) основных деталей изделия выполняется термовоздействием при нагреве охватывающей детали (в частности, венца, бандаж или головок шпинделя) и определяется их числом в соединении – одна, две (и более) деталей при относительном их расположении на охватываемой детали (соответственно, центре колеса, оси вала и консольно на валу шпинделя) с учетом расчетных величин натяга ($\max/\min$) по соответствующей профилировке сопрягаемой поверхности в осевом сечении охватываемой детали.

Монтаж составных изделий определяется характером нагрева охватывающих деталей: электро- или газовым нагревами; индукционным, токами промышленной частоты (ТПЧ), где одним из определяющих показателей

сложности сборки соединений с натягом является точность взаимного расположения соединяемых деталей.

Для определения долговечности работы восстановленных составных изделий необходимо иметь информацию об отработанном числе циклов нагружения.

Таблица 1

Характеристика и показатели составных крупногабаритных изделий с входящими в них деталями

№ под-класса	Состав крупногабаритных составных изделий и их деталей	Геометрическая характеристика, мм	Общая масса изделия, т	Техническая характеристика изделия	Соотношение показателей, %	
					трудоемкости изготовления деталей изделия к общей трудоемкости нового изделия, %	доли массы детали к составному изделию, %
1	Зубчатое колесо редукторного привода:	$D = 1821 \dots 3926$; $D_1 = 1500 \dots 3520$; $d = 430H7 \dots 860H7$; $B = 500 \dots 1190$;	06,0... 49,2	$m = 14 \dots 28$; $Z = 5 \dots 80$; $\beta = 8 \dots 29^\circ$		
	- венец колеса				16	до 34
	- центр колеса				12	до 66
3	Шпиндель линии прокатной клетки:	$D_{min} / D_{max} = 950 / 1180$; $d_{cp} = 510 \dots 620$; $L = 9430 \dots 13085$; $d_1 = 490 \dots 600$;	26,0... 43,0	$M = 202 \dots 350$ тм		
	- головка левая (меньшая);				15	до 60
	- головка правая (большая);				17	
	- вал шпинделя				14	до 40

После окончания изучения составных изделий, относящихся к первому и третьему подклассам (табл. 1), предлагается уточненный комплекс мероприятий по восстановлению указанных деталей, относительно ранее разрабо-

танного второго подкласса [3, 6] и скорректированная классификация изделий рассматриваемого класса:

1. Классификация проводимых комплексно-технологических мероприятий: 1) ремонт, как комплекс мероприятий, при восстановлении изделия вследствие его частичного разрушения в процессе изготовления или эксплуатации; 2) восстановление, как комплекс мероприятий, по повторному использованию основных деталей составного изделия после отработки им ресурса по рабочей поверхности.

2. Классификация восстанавливаемого изделия: 1) по конструкции – состоящей из двух (или трех) основных деталей; 2) по размерам (соотношение L/D) для трех диапазонов: с L - до $1,0D$ включительно, с L - от $1,0D$ до $5,0D$ включительно и с L - свыше $5,0D$ для рассматриваемых изделий первого, второго и третьего подклассов; 3) по типоразмеру восстанавливаемого изделия - аналогичного (равновеликого) размера к принятому базовому под восстановление изделию или меньшего типоразмера относительно этого изделия; 4) по функционально-технологическим требованиям - по преобладающим режимам эксплуатации изделия (динамический, переходной и установившейся); 5) по маркам материала основных деталей составного изделия, твердости его рабочей поверхности.

3. Классификация состояния изделия: 1) по отработанному ресурсу согласно паспортным данным изделия; 2) по разрушениям (или выявленным дефектам); 3) по характеру и форме этих дефектов (износ, коррозия, проскальзывание охватывающей детали относительно охватываемой, сколы на торцах, выкрошка металла по рабочей поверхности, остаточная деформация, размеры дефектов в пределах регламентируемых норм или выше их) или конструктивных и (или) технологических отступлений; 4) по характеру разрушения изделий (усталостное или хрупкое), по типу - полное или частичное, при котором возможно повторное использование одной из основных деталей.

Рассматриваются следующие основные виды разрушений для охватывающей детали (венца, бандаж, головок) – трещинообразование по образующей впадины зуба или рабочей поверхности деталей, выкрошка рабочей поверхности, исключающая дальнейшую эксплуатацию изделия; трещинообразование в основании вилки головки шпинделя, для охватываемой детали (ось валка) – излом оси на две части на расстоянии $1/3$ длины посадочной поверхности от торца бандаж, образование трещин в зонах компенсационных пазов и сопряжения спиц с ободом и ступицей центра колеса, смещение (или проворот) венца с (или относительно) центра зубчатого колеса и т.п.

4. Классификация видов технологии демонтажа: 1) с нагревом охватываемой детали в газовых или электрических печах, в индукционных установках; 2) механическая - распрессовка, разрезка; 3) при помощи взрыва.

5. Классификация видов технологии сборки: 1) с нагревом охватываемых деталей; 2) с охлаждением охватывающих деталей; 3) с использованием

различных видов покрытий посадочной поверхности охватываемой детали (например, оси вала).

Для оценки относительной величины трудоемкости изготовления изделий рассматриваемых подклассов, были проанализированы поэлементные затраты при производстве новых основных деталей составного изделия по комплексным показателям и определена целесообразность повторного использования охватываемых деталей (центра колеса, оси вала и вала шпинделя). Оценен, например, ресурс повторного использования оси составного вала, относительно бандажа как $(1,8 - 2,15):1$. Для оценки изменения трудоемкости изготовления основных деталей изделия в рассматриваемом весовом диапазоне получены зависимости (1), (2), (3) для изделий:

I подкласса ($L > 1,0D$), на примере составного зубчатого колеса:

$$\begin{aligned} Y_1 &= 3,9762x + 9,1468; R^2_1 = 1; & Y_3 &= 4,3238x - 25,213; R^2_3 = 0,9832; \\ Y_2 &= 1,5779x + 19,7; R^2_2 = 0,9596; & Y_4 &= 21,804x - 12,587; R^2_4 = 0,9978; \end{aligned} \quad (1)$$

II подкласса ($1,0D < L < 5,0D$) [6], на примере составного прокатного вала:

$$\begin{aligned} Y_5 &= -0,1323x + 53,981; R^2_5 = 0,6183; & Y_8 &= -0,0339x + 5,0506; R^2_8 = 0,68; \\ Y_6 &= -0,0106x + 25,302; R^2_6 = 0,0058; & Y_9 &= 0,0127x - 0,2406; R^2_9 = 0,8537; \\ Y_7 &= 0,1443x + 14,82; R^2_7 = 0,6888; & Y_{10} &= -0,0035x + 2,0352; R^2_{10} = 0,1002. \end{aligned} \quad (2)$$

III подкласса ($L > 5,0D$), на примере составного шпинделя линии прокатной клетки:

$$\begin{aligned} Y_{11} &= 20,01x + 113,35; R^2_{11} = 1; & Y_{14} &= 8,1x + 154,6; R^2_{14} = 1; \\ Y_{12} &= 22,8x + 129,2; R^2_{12} = 1; & Y_{15} &= 91,47x + 247,31; R^2_{15} = 1; \\ Y_{13} &= 29,8x + 100; R^2_{13} = 1; \end{aligned} \quad (3)$$

где Y – трудоемкость: • венца (бандажа) зубчатого колеса (Y_1); • центра колеса (Y_2); • при сборке этого изделия (Y_3); • при окончательной механической обработке составного зубчатого колеса (Y_4); • оси вала (Y_5); • бандажа вала (Y_6); • при окончательной механической обработке составного прокатного вала (Y_7); • пробки оси вала (Y_8); • при слесарных и сборочных работах прокатного вала (Y_9, Y_{10}), соответственно; • меньшей головки шпинделя (Y_{11}); • большей головки шпинделя (Y_{12}); • вала шпинделя (Y_{13}); • при сборке изделия (Y_{14}); • при окончательной механической обработке составного шпинделя (Y_{15}); x – общая масса рассматриваемого составного изделия, т; R^2_n – величина достоверности аппроксимации приведенных уравнений.

Руководствуясь вышеуказанными зависимостями, проводится предварительная оценка прогнозируемой трудоемкости технологии восстановления изделия. В процентном соотношении установлена трудоемкость изготовления новых деталей от общей на составные изделия, имеющих массу 20...120 тонн: на уровнях 37-54% – для охватываемых деталей и 17-34% – для охватывающих.

При увеличении типоразмера составного изделия и, как следствие, его массы, отмечается тенденция в изменении трудоемкости основных деталей: при производстве охватываемых деталей трудоемкость - возрастает на 14%; охватывающих - уменьшается на 12%; на заключительном этапе окончательной механической обработки составного изделия отмечается снижение трудоемкости до 3%. Это позволяет дифференцированно подходить к реализации разработанных технологических схем восстановления изделий.

Отработавшие ресурс моноблочные изделия при наличии дефектов в зависимости от их формы и величины могут быть использованы повторно при учете технических возможностей их устранения. В процессе технологического цикла (при выполнении комплекса технологических операций) допускается корректирование процесса восстановления моноблочного изделия аналогичной конструкции в составном варианте. Например, вариантами восстановления составных изделий как второго (прокатный валок), так и третьего (шпиндель линии прокатной клетки) подклассов могут быть следующие комбинации применения основных деталей: в качестве оси валка используется ось, изготовленная из моноблочного валка, а в качестве вала шпинделя – используется изготовленный из моноблочного шпинделя вал с последующей их сборкой с изготовленными новыми деталями, соответственно: с бандажом и головками шпинделя.

Перечень базовых операций, определяющих технологический процесс восстановления моноблочных изделий в составном варианте для второго и третьего подклассов следующий: 1) демонтаж отработавших ресурс или вышедших из эксплуатации вследствие нерегулируемой ситуации деталей составных изделий; 2) производство новых заготовок для охватываемых деталей - бандажа - для составного валка; двух головок – для шпинделя; 3) изготовление из отработавших ресурс моноблочных деталей (в частности, прокатного валка и шпинделя линии прокатной клетки) охватываемых деталей (соответственно, оси валка и вала шпинделя); 4) проведение комплекса термических, механических и вспомогательных операций при их изготовлении; 5) выполнение монтажа и сборки указанных деталей с последующей окончательной механической обработкой восстановленных изделий в комбинации: «новая охватывающая деталь и повторноиспользуемая, охватываемая деталь, изготовленная из моноблочного изделия».

На примере восстановления составного зубчатого колеса приведена схема повторного использования аналогичного типоразмера составного изделия, относящегося к первому подклассу (рис. 1). Особенностью приведенной технологии восстановления указанных колес является выполнение дополнительной механической обработки внутренних поверхностей компенсационных пазов, объем которых определяется после изучения их состояния и определения величины съема деформированного слоя металла на боковых внутренних и переходных поверхностях, радиус которых корректируется после выполнения прочностного расчета.

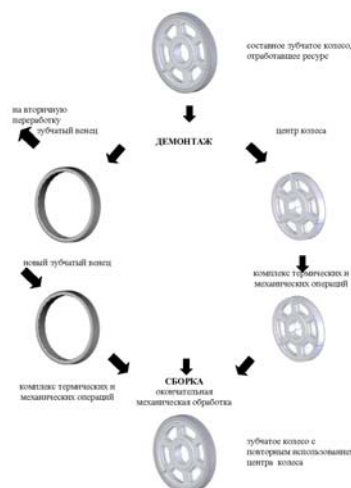


Рис. 1. Общая схема технологического цикла восстановления крупногабаритных составных изделий первого подкласса (вариант А)

На рис. 2 приведены схемы восстановления составного и моноблочного изделий третьего подкласса.

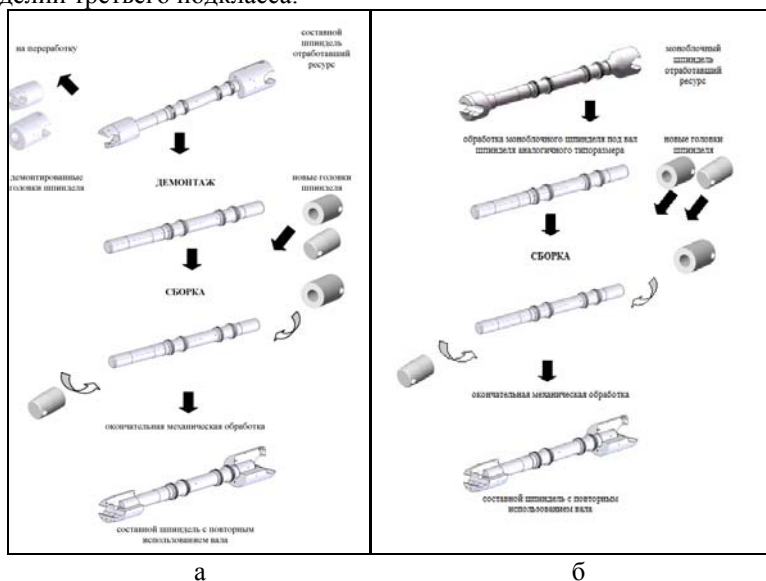
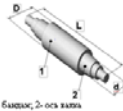
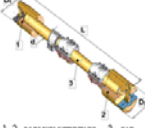


Рис. 2. Общая схема технологического цикла восстановления крупногабаритных составных изделий третьего подкласса: а - моноблочный шпиндель (вариант А), б – составной шпиндель линии прокатной клетки (вариант В)

Обобщенные геометрические и функциональные показатели рассматриваемого класса восстанавливаемых крупногабаритных тяжеловесных изделий приведены в таблице 2.

Таблица 2
Геометрические и функциональные показатели составных крупногабаритных изделий

№ п/п	Наименование составного изделия	Габаритные размеры, мм		Диаметр поперечной поверхности d, мм	Масса, т			Базовые параметры (или показатели)			Соотношение L/D	Общие схемы изделий - представителей подклассов
		наружный диаметр D	общая длина L(B)		бабблер, гусенок, шпандар, мачины/бодья	центр колеса, оси вала, вала шпандар	общая	колеса: п/л/р	валки: тере, рол, тере, НТО при толщине ант. слоя более 80 мм на D	шпандары: М _к , мм (кол), мм		
I подкласс изделий L < 1,0 D												
1	Зубчатое колесо	1821	500	1500 (вал-вал) 8-10	3,14	3,16	6,3	22/80/8°	-	-	0,275	
2		2640	960	2500 (вал-вал) 12-15	5,77	8,85	14,6	14/171/ 26°/42°/40°	-	-	0,364	
3		3926,96	1190	3520 (вал-вал) 16-18	8,85	31,5	49,2	28/125/ 25°/17°/19°	-	-	0,303	
II подкласс изделий 1,0 D < L < 5,0 D												
4	Прокатный валок	1600	4970	1150	15,7	27,4	43,1	-	55-80	-	3,10	
5		1800	7970	1270	34,6	54,4	89,0	-	55-60	-	4,43	
		2100	8350	1535	37,7	78,3	116,0	-	55-75	-	3,98	
6		2360	10650	1750	73,6	129,4	203,0	-	50-60	-	4,51	
III подкласс изделий L > 5,0 D												
7	Шпандар, клети прокатного стана	1220	9430	540 (шпандар-вал)	-	-	26,5	-	-	273	7,73	
8		950/1180	8505	490 НВ/ПВ (вал-вал/шпандар)	5,6 / 10,6	10,2	31,8	-	-	230 (350 мм)	8,95 /7,21	
9		985/1150	13085	600 НВ/ПВ (вал-вал/шпандар)	5,8 / 9,2	27,7	42,7	-	-	202 (343 мм)	13,28 /11,38	

Разработанный ряд мероприятий по восстановлению изделий первого и третьего подклассов и уточнение классификации рассматриваемых изделий позволил скорректировать и свести в общую схему восстановления изделий указанных подклассов (рис. 3).

Используя схемы предложенных процессов восстановления крупногабаритных тяжеловесных изделий, относящихся к первому и третьему подклассам, можно расширить область применения технологий восстановления изделий по этим подклассам для ряда типоразмеров деталей валков каландров, вальцов, краскотерок, прессовых валов и аналогичных изделий машин химической и бумажной производств [7].

Выводы.

- 1) Разработаны две схемы восстановления крупногабаритных тяжеловесных (свыше 20т) изделий, имеющих форму тела вращения.
- 2) Составлен комплекс мероприятий по ремонту и восстановлению изделий первого и третьего подклассов (при соотношениях с L - до 1,0D включительно и L - свыше 5,0D, соответственно).
- 3) Приведены базовые положения технологии восстановления крупногабаритных моноблочных изделий в составном варианте.
- 4) Определены направления расширения использования разработанных технологий восстановления.

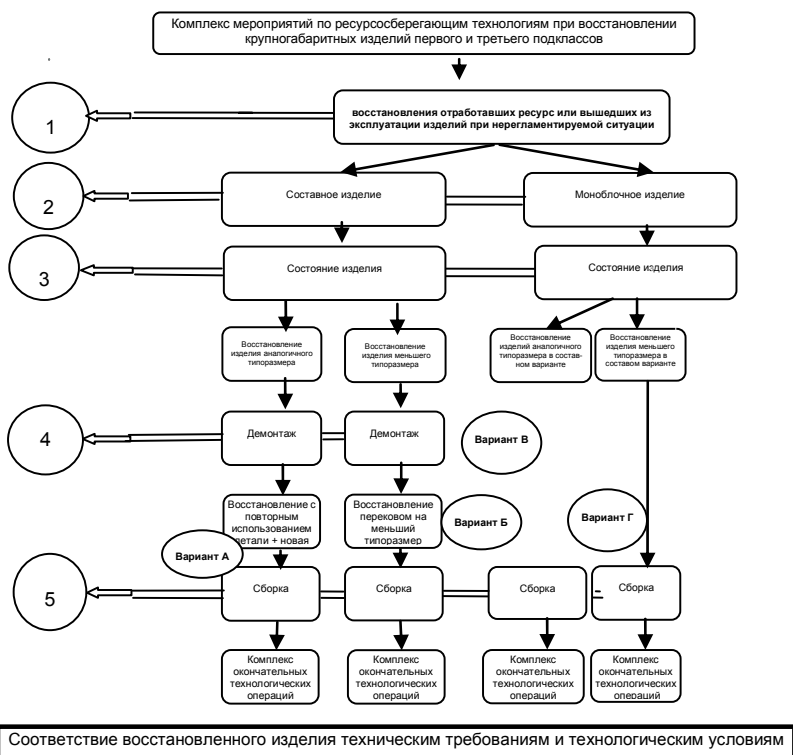


Рис. 3. Общая схема технологического цикла восстановления крупногабаритных составных изделий первого и третьего подклассов

Список литературы. 1. Справочник единой номенклатуры промышленной продукции, изготавливаемой предприятиями Минтяжмаша / Утв. начальником ПЭУ Л.А. Бусяцкой - М.: 1984. - 176 с. 2. Государственный комитет СССР по стандартам. Классификатор ЕСКД. Классы 71,72,73,74,75,76. Иллюстрированный определитель деталей. Пояснительная записка. М.: Издательство стандартов. 1986. - 38с. 3. Лебедь В.Т. «Общие положения технологии восстановления крупногабаритных прокатных валков» / Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний зб. наукових праць. - Донецьк: ДонНТУ, 2008 Вип. 36.- с. 94-101. 4. Лагода А.Н. Система классификации и кодирования информации в ремонтных технологиях / Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Збірник наукових праць. - Харків: НТУ «ХПІ» 2006.- №33.- с. 63 - 69. 5. Технические условия погрузки и крепления грузов/ Министерство путей сообщения. Изданы в соответствии с Уставом железных дорог Союза ССР (с изм. и доп. по состоянию на 1 января 1988г.).- М.- Транспорт.1988.- 408с. 6. Лебедь В.Т. Технология восстановления крупногабаритных составных прокатных валков / Вестник национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт». Машиностроение. - К.: НТУУ «КПИ» - 2007.- №52.- с. 66 - 77. 7. Обработка крупногабаритных деталей / Г.Э. Таурит, Е.С. Пуховский, Е.Ю. Грищенко. - К.: Техніка, 1981.- 208 с.

Поступила в редколлегию 07.01.09

О.В. БЛЕЗНЮК

КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ДИСКОВИХ КОПАЧІВ КОРЕНЕЗБИРАЛЬНОЇ МАШИНИ

Наведено результати досліджень із використання конструкторсько-технологічних методів підвищення працездатності та запропоновано до використання удосконалений дисковий копач кореневириальної машини.

Results of research on use of design-engineering methods of a heightening of serviceability are reduced and it is offered to use improved disk of digging out device root of the harvest machines.

Приведены результаты исследования по использованию конструкторско-технологических методов повышения работоспособности и предложено к использованию усовершенствованный дисковый копач корневириальной машины.

Постановка проблеми. Використання сучасних машин і технологій при виробництві сільськогосподарської продукції дозволяє знизити її собівартість і підвищити конкурентоспроможність. Основним засобом економії витрат живої й упреждженої праці є підвищення довговічності швидкозношуваних деталей і вузлів машин методами зміцнення [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наплавлення зносостійкими сплавами є найбільш універсальним, економічним і широко застосовуваним у народному господарстві способів відновлення і виготовлення деталей машин, наданню робочим поверхням спеціальних властивостей, що сприяють зростанню терміну їх напруження на відмову [2].

В сільськогосподарському машинобудуванні застосовуються практично усі відомі способи і різновиди наплавлення. Удосконалюються і впроваджуються у виробництво прогресивні їх види: дугова порошковими дрютами і стрічками, електрошлакова, індукційна, вібродугова, плазмова, газо-полум'яна та інші. Застосування наплавочних операцій дозволяє створювати нові біметалічні конструкції з необхідними технологічними та експлуатаційними властивостями, що дозволяє збільшити довговічність виробів, значно скоротити витрати конструкційних і легованих сталей [3].

Постановка завдання. Перспективним напрямком раціонального застосування зміцнювальних технологій і матеріалів слід вважати використання зміцнювання, як способу управління в формуванні поверхонь робочих органів сільськогосподарських машин. Цей напрямок досліджень знайшов свій розвиток у роботах Рабиновича А.Ш., Сичова І.П., Бойка А.І. та інших [4].

Виклад основного матеріалу. Досягнення ефекту керованого спрацювання визначається нанесенням локального зносостійкого покриття

таким чином, щоб вибрана схема нанесення і співвідношення зносостійкостей матеріалу основи і зміцнення забезпечували необхідне (задане) формування поверхонь робочих органів. Другим напрямком є нанесення зносостійкого покриття шаром змінної товщини, до параметрів якого входять максимальна і мінімальна товщина та довжина шару, що визначають крок розташування ділянок леза з різними параметрами [4]. У протилежність зміцненню однорідним шаром, коли підвищення довговічності досягається за рахунок тільки більш зносостійких властивостей наплавки, при керованому зміцненні досягається значно більший ефект підвищення напрацювання шляхом формування необхідних профілів робочих органів.

Так в дослідженні [5] пилоподібне лезо лемешів досягається використанням точкової дугової наплавки у вигляді окремих точок зміцнення. Співвідношення зносостійкостей матеріалів основи і наплавки при вибраній схемі розташування ділянок зміцнення досягається самозагострення леза при хвилястій його формі, що знижує енергоємність процесу оранки і підвищує довговічність лемешів. Кероване спрацювання отримане і для інших робочих органів сільськогосподарських машин таких як лап культиваторів, наральникових сошників, молотків кормодробарок, ножів для зрізання гички та інших.

Заслугує на увагу метод зміцнення зносостійким матеріалом змінної товщини [6], що використано при виготовленні секторів ремонтних дисків бурякозбиральної машини. Лезо копача в процесі експлуатації набувало зубчастої форми за рахунок різної інтенсивності спрацювання ділянок леза, що мають різну товщину зносостійкого шару. При цьому процес формоутворення зубців сприяє самозагостренню леза і зменшенню опору входження леза дисків викопуючого пристрою в ґрунт. Однак недоліком даного метода була можливість зміцнення деталей невеликого розміру, а розробка технології зміцнення великих деталей зокрема дискових копачів, мала труднощі, що пов'язані з розробкою та впровадженням у виробництво складного технологічного обладнання.

В результаті проведених досліджень запропоновано новий конструкторсько-технологічний метод зміцнення робочої поверхні леза дискового копача зносостійким матеріалом [6]. Сутність методу полягає в формоутворенні виступів і заглиблень в основному шарі металу методом накочування з наступним зміцненням за існуючою технологією (рис. 1).



Рисунок 1 – Схема профілю леза зміцненого зносостійким матеріалом змінної товщини: 1 – зносостійкий шар; 2 – основний шар

Дослідження із регулювання зносостійкими властивостями робочої поверхні за рахунок нанесення шару змінної товщини проводились у напрямку визначення впливу параметрів наплавлення на інтенсивність спрацювання ділянок леза.

Рівняння спрацювання ділянок леза з різною товщиною зносостійкого шару мають вигляд:

$$\gamma_O = \frac{C_O R_X (1 - \mu \xi / l_O)}{h_O l_O}; \gamma_H = \frac{C_H R_X (1 + \mu \xi / l_O)}{h_H l_H}, \quad (1)$$

де γ_O, γ_H - інтенсивність спрацювання ділянок леза з мінімальною і максимальною товщиною зносостійкого шару; C_O, C_H - коефіцієнти спрацювання основного та зносостійкого шарів; R_X - складова рівнодіючої сили, що визначає спрацювання леза в радіальному напрямку; μ - коефіцієнт пропорційності, що залежить від висоти зубців ξ ; h_O, h_H - сумарні товщини леза на ділянках l_O, l_H .

В результаті перетворень і виконаних заміन встановлена закономірність впливу параметрів зносостійкого шару на інтенсивність формоутворення зубчастої поверхні леза при його спрацюванні:

$$\xi = \frac{l_O}{\mu} \left(\frac{\frac{\varepsilon_O h_{O \max}}{\varepsilon_H h_{H \min}} l_H - \frac{\varepsilon_O h_{O \min}}{\varepsilon_H h_{H \max}} l_O}{\frac{\varepsilon_O h_{O \max}}{\varepsilon_H h_{H \min}} l_H + \frac{\varepsilon_O h_{O \min}}{\varepsilon_H h_{H \max}} l_O} \right), \quad (2)$$

де $\varepsilon_O, \varepsilon_H$ - зносостійкість основного і зносостійкого шарів.

На підставі встановленої закономірності формоутворення поверхні леза визначено параметри зносостійкого шару, що забезпечують інтенсивне формоутворення зубців на робочій поверхні диска: довжина ділянки леза l_O становить 15...30 мм; $l_H = 15...20$ мм; максимальна товщина зносостійкого шару $h_{H \max} = 3,5...5$ мм.

Для встановлення залежності інтенсивності спрацювання від товщини леза, досліджено процес спрацювання дисків зміцнених зносостійким матеріалом змінної товщини. Враховуючи, що інтенсивність спрацювання обернено пропорційна його товщині, на підставі обробки отриманих експериментальних даних по спрацюванню удосконалених копачів (рис. 2) встановлена експоненціальна залежність:

$$\gamma_{\text{д}} = v e^{-w h_{\text{д}}}, \quad (3)$$

де v, w - сталі коефіцієнти, що визначаються за допомогою методу найменших квадратів.



Рисунок 2 – Загальний вигляд секторів диска після напрацювання 240 га з параметрами: а) – $t_3 = 35$ мм, $h_3 = 2$ мм; б) – $t_3 = 35$ мм, $h_3 = 2,5$ мм; в) – $t_3 = 35$ мм, $h_3 = 3$ мм

Результатами експериментальних досліджень удосконалених дисків підтверджено положення про можливість утворення зубчастої поверхні леза при його спрацюванні. На підставі виробничих випробувань дисків визначені раціональні конструктивні параметри леза за інтенсивністю формоутворення зубчастої поверхні, самозагостренню, інтенсивністю спрацювання та напрацюванням до відмови: крок розташування заглиблень $t_3=45...47$ мм, глибина $h_3=2,5...2,7$ мм, довжина $l_H=15...20$ мм, яким відповідають інтенсивність спрацювання впадин $\bar{\gamma}_{ВП}=0,0139$ мм/га, зубців $\bar{\gamma}_{ЗУБ}=0,008$ мм/га, висота зубців за напрацюванням 240 га – $\bar{\xi}=1,39$ мм, ресурс копача $\bar{T}=1441$ га. В результаті чого була підтверджена адекватність математичних моделей процесів спрацювання та формоутворення зубчастої поверхні удосконалених дисків.

Ефективність розробленого методу зміцнення робочої поверхні підтверджується даними, які наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняльна оцінка дискових копачів зміцнених сормайт-1

Характеристика копачів			Інтенсивність спрацювання γ_d мм/га	Відносне самозагост- рення
марка матеріалу	спосіб виготовлення	метод зміцнення		
L30N (Німеччина)	литий	рівномірний зносостійкий шар	0,0322	0,25
сталь 65Г	штампований (серійний)	рівномірний зносостійкий шар	0,0122	0,6
сектору сталь 65Г	складений (ремонтний)	зносостійкий шар змінної товщини	<u>0,0234*</u> 0,0123	≈ 1
сталь 65Г	штампований (удосконалений)	зносостійкий шар змінної товщини	<u>0,0139*</u> 0,008	≈ 1

* у чисельнику – інтенсивність спрацювання впадини, в знаменнику – інтенсивність спрацювання зубців

Середня інтенсивність спрацювання ділянок леза з раціональними параметрами удосконаленого диска нижча ніж у серійного. При цьому відносне самозагострення, що визначалось за напрацюванням до відмови, відповідає ремонтному з секторами.

Аналіз отриманих даних показує, що запропонований метод зміцнення дискових копачів має перевагу в порівнянні з існуючим зміцненням, що відображається у збільшенні довговічності майже вдвічі і характеризується більш раціональним підходом до створення технології зміцнення зносостійким матеріалом змінної товщини у виробничих умовах.

Робочі креслення удосконаленої конструкції дискового копача коренезбиральної машини передані на ВАТ „Тернопільський комбайновий завод” для впровадження у виробництво.

Удосконалена конструкція дискового копача має переваги над серійними копачами завдяки зміцнення леза змінної товщини зносостійким матеріалом, що забезпечує підвищення працездатності та довговічності за рахунок утворення зубчастої форми профілю леза під час виконання функції призначення.

Економічний ефект впровадження дискових копачів запропонованої конструкції розраховано на підставі підвищення його працездатності та довговічності. За показник довговічності дискових копачів прийнято напрацювання до переточування. Термін служби дискових копачів до переточування згідно даних [7] складає чотири сезони польових робіт або 480...500 га на одну коренезбиральну машину КС-6Б. Згідно результатів виробничих випробувань, термін служби розроблених дискових копачів фактично дорівнює терміну служби КС-6Б, економічний ефект складає 12557 грн на одну коренезбиральну машину, що є економічно вигідним.

Висновки.

1. Проведеним аналізом результатів досліджень із застосування конструкторсько-технологічних методів встановлено, що одним з перспективних напрямків підвищення працездатності та довговічності є зміцнення леза зносостійким матеріалом змінної товщини. При виконанні функції призначення це сприяє самозагостренню леза і формуванню на робочій поверхні зубців.

2. Виходячи з одержаної математичної моделі (2) формоутворення зубчастої поверхні леза, зміцненого зносостійким матеріалом змінної товщини, встановлено закономірності впливу параметрів зносостійкого шару на інтенсивність формоутворення при виконанні технологічного процесу. Визначено параметри зносостійкого шару, що забезпечують інтенсивне формоутворення зубців на робочій поверхні диска: довжина ділянки леза l_o становить 15...30 мм; $l_H = 15...20$ мм; максимальна товщина зносостійкого шару $h_{H\max} = 3,5...5$ мм.

3. Результатами експериментальних досліджень спрацювання леза дисків визначено раціональні конструктивні параметри леза за інтенсивністю формоутворення зубчастої поверхні, самозагостренням, інтенсивністю спрацювання та напрацюванням до відмови: крок розташування заглиблень $t_3 = 45...47$ мм, глибина – $h_3 = 2,5...2,7$ мм, довжина – $l_H = 15...20$ мм, яким

відповідають інтенсивність спрацювання впадін $\bar{\gamma}_{ВП} = 0,0139$ мм/га, зубців $\bar{\gamma}_{ЗУБ} = 0,008$ мм/га, висота зубців за напрацюванням 240 га – $\bar{\xi} = 1,39$ мм, ресурс копача $\bar{T} = 1441$ га, при нормативному напрацюванні КС-6Б 960 га. Підтверджена адекватність математичних моделей процесів спрацювання та формоутворення зубчастої поверхні розроблених дисків.

4. За результатами проведених досліджень розроблений робочий орган коренезбиральної машини впроваджено у серійне виробництво ВАТ "Тернопільський комбайновий завод". Економічний ефект від впровадження розроблених дисків викопуючого пристрою складає 12557 грн на одну коренезбиральну машину.

Список літератури: 1. Ткачѳв В.Н. Износ и повышение долговечности деталей сельскохозяйственных машин. – М.: Машиностроение, 1964. – 176 с. 2. Пулька И.В. Наплавка рабочих узлов почвообрабатывающей и уборочной сельскохозяйственной техники // Автоматическая сварка. – 2003. – №8. – С. 36 – 41. 3. Рябцев И.А. Классификация и характеристика способов наплавки // Сварщик. – 1998. – №3. – С. 23 – 25. 4. Козаченко О.В., Блезнюк О.В. Новый метод зміцнення робочих органів сільськогосподарських машин // Праці І Міжнародної науково-практичної конференції ТДТУ. Динаміка, міцність і надійність сільськогосподарських машин. – Тернопіль: ТДТУ, 2004. – С. 632 – 636. 5. Бойко А.И., Балабуха А.В. Упрочнение лезвий как метод управления их геометрической формой при изнашивании // Підвищення надійності відновлюємих деталей машин: Зб. наук. пр. ХДТУСГ. – Харків: ХДТУСГ, 2000. – Вип. 4. – С. 49 – 56. 6. Дисківий копач коренезбиральної машини: Д.п. 56556А Україна, МКВ А01Д25/04/ Мартиненко В.Я., Козаченко О.В., Сичов І.П., Блезнюк О.В., Вовк Я.Ю., Павлов Я.А., Безпальок А.П. (Україна). – 2002076009; Заявл. 19.07.2002; Опубл. 15.05.2003, Бюл.№5. – 2 с. 7. Сычѳв И.П. Повышение долговечности режущих рабочих органов свеклоуборочных машин путѳм оптимизации параметров наплавленного слоя // Тракторы и сельхозмашины. – 1985. - №11. – С. 48 – 51.

Поступила в редколлегию 11.12.08

УДК 621.9.048

*В.Б. ТАРЕЛЬНИК, Е.В. КОНОПЛЯНЧЕНКО, В.С. МАРЦИНКОВСКИЙ,
И.А. ОЛЕЙНИК*

НОВЫЙ СПОСОБ ОБРАБОТКИ СОПРЯГАЕМЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ В НЕПОДВИЖНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ

Пропонується новий спосіб обробки поверхонь сталевих і чавунних деталей, що сполучаються, який підвищує надійність, довговічність і герметичність нерухливих з'єднань. Спосіб здійснюється методом електроерозійного легування.

Способ относится к области электрофизической и электрохимической обработки, в частности, к электроэрозионному легированию, и может быть

использован для обработки сопряженных поверхностей при сборке деталей для их неподвижного соединения.

Неподвижные соединения (сопряженных) деталей характеризуются невозможностью их взаимного перемещения. Неподвижность соединения обеспечивается натягом. Прочность соединения определяется посадкой и качеством точности. Неподвижные соединения могут быть выполнены по прессовым посадкам (гарантированный натяг) или переходных посадках (натяг или зазор). Сборка неподвижных поверхностей может осуществляться запрессовкой вала в отверстие, нагреванием детали, которая имеет отверстие и охватывает или охлаждением вала [1].

При сборке неподвижных деталей, кроме обеспечения прочности соединения, часто стоит задача обеспечения и его герметичности, например, в посадочных местах металлических колец импульсных торцевых уплотнений. Указанные способы такой герметичности не гарантируют.

При сборке неподвижных соединений сопряженные поверхности деталей подвергаются пластическому деформированию, поэтому желательно, чтобы твердые металлические детали имели более мягкий поверхностный слой.

Известен способ электроэрозионного легирования, при помощи которого можно изменить твердость металлической поверхности: **повысить** твердость нанесением на поверхность материала более высокой твердости или диффузионным введением в поверхностный слой необходимых химических элементов из окружающей среды или из материала анода; **понижить** твердость, нанося на поверхность более мягкие материалы; **повысить** при обработке незакаленного, но закаливающегося материала, применяя импульсы с большей энергией или более длительные, разогревающие металл несколько глубже суммарной толщины нанесенного и диффузионного слоев [2].

Известен способ электроэрозионного легирования карбидными и боридными соединениями тугоплавких металлов, которые в большинстве случаев получают металлокерамическим методом. Иногда эти металлы имеют некоторое количество металлического связующего. Они образуют хороший слой покрытия и вследствие их небольшой химической активности наименее чувствительны к составу окружающей среды и материалу основания. Такие покрытия придают поверхности высокую износостойкость и твердость. Однако их сравнительно высокий коэффициент трения (0,3-0,7) не позволяет применять эти покрытия для деталей трения [2].

Ближайшим к изобретению есть способ обработки сопряженных поверхностей деталей методом электроэрозионного легирования с использованием катода и анода предварительно термообработанных поверхностей с формированием поверхностного слоя, который отличается тем, что используют стальной катод, поверхность которого обрабатывают графитовым электродом с помощью импульсных разрядов при энергии 0,4-4,0 Дж с образованием поверхностного «белого» слоя, микротвердость которого выше микротвердости основной стали, и подслоя – зоны отпуска,

который расположен под «белым» слоем и имеет микротвердость, ниже чем микротвердость основной стали, причем после электроэрозионного легирования удаляют «белый» слой [3].

При применении данного способа для обработки сопряженных поверхностей деталей не достигается достаточной прочности, надежности и долговечности неподвижных соединений.

В основу изобретения поставлено задачу создания способа обработки сопряженных поверхностей деталей, который бы повысил прочность, надежность и долговечность неподвижных соединений с сохранением требуемой герметичности.

Поставленную задачу решают следующим образом. На сопрягаемую поверхность стальных и чугуновых деталей (независимо от их термообработки) методом электроэрозионного легирования наносят покрытие из никеля. При этом используют импульсные разряды при энергии 0,01 – 0,63 Дж с образованием поверхностного слоя, микротвердость которого меньше микротвердости основы детали.

После этого на поверхностный слой из никеля этим же методом и на этих же режимах наносят кольцевые участки покрытия электродами из твердых сплавов группы ВК или ТК с интервалом и шириной 4-6 мм (рис. 1).

Нижняя граница энергии разряда ограничивается эффективностью способа. Увеличение энергии разряда выше верхней границы при нанесении никеля и твердого сплава группы ВК или ТК ведет к резкому повышению шероховатости легируемой поверхности.

В сформированном таким образом поверхностном слое прочность, надежность и долговечность неподвижного соединения обеспечивается покрытием, состоящим из поверхностей кольцеобразных участков, сформированных последовательным нанесением никеля и твердого сплава ВК или ТК (участки 1, рис. 1). В данном случае образуются покрытия с твердым, износостойким и имеющим высокий коэффициент трения поверхностным слоем под которым находится слой, микротвердость которого ниже микротвердости основы. При сборке твердый поверхностный слой вминается в мягкий нижележащий слой, однако герметичность соединения при этом не обеспечивается.

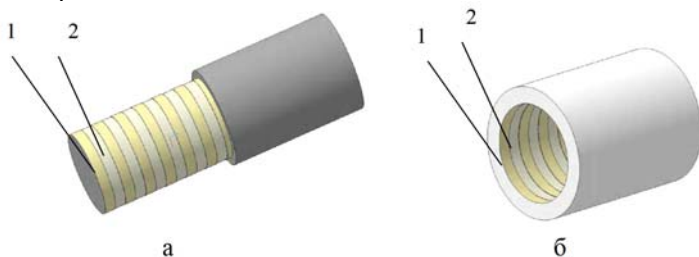


Рис. 1. Поверхности вала (а) и втулки (б) с кольцевыми участками электроэрозионных покрытий: 1 - твердым сплавом группы ВК или ТК; 2 – никелем.

Герметичность неподвижного соединения обеспечивает покрытие, состоящее из поверхностей кольцеобразных участков никеля, микротвердость которого ниже микротвердости основы (участки 2, рис. 1).

Ниже приведен пример выполнения способа обработки сопряженных поверхностей для деталей из высокопрочного чугуна ВЧ 60.

ЭЭЛ образцов высокопрочного чугуна ВЧ60 (10x10x8 мм) осуществлялось в воздушной среде на установке с ручным вибратором модели «Элитрон 22А». При этом легирование проводилось в течение 1,5 мин с использованием 6-го режима (напряжение холостого хода $U_{х.х.} = 77$ В; ток короткого замыкания $I_{к.з.} = 2,4-2,8$ А; емкость накопительного конденсатора $C = 300$ мкФ).

В качестве электродных материалов использовались: никель (Ni) и твердый сплав ВК8. Кроме этого наносились комбинированные электроэрозионные покрытия состава: никель + ВК8.

Для исследования структуры и измерения микротвердости поверхностного слоя использовали шлифы образцов после ЭЭЛ. Поверхность шлифа была ориентирована перпендикулярно к поверхности электроэрозионного упрочнения. Перед изготовлением шлифа для исключения краевого эффекта при легировании торец образца фрезеровали на глубину не менее 2 мм. Для предупреждения скалывания слоя, завалов края образец крепили с контртелом в струбцине. Затем шлиф подвергался химическому травлению для выявления структуры в реактиве в соответствии с материалом основы.

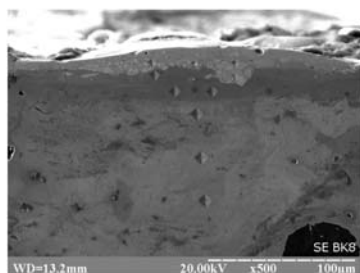
После изготовления шлифы исследовали на оптическом микроскопе "Неофот-2" и растровом электронном микроскопе-анализаторе "РЭМ – 106 И" Сумского ПО "Электрон», где проводилась оценка качества слоя, его сплошности, толщины и строения зон подслоя - диффузионной зоны и зоны термического влияния. Одновременно проводился дюрометрический анализ на распределение микротвердости в поверхностном слое и по глубине шлифа от поверхности. Замер микротвердости проводили на микротвердомере ПМТ-3 вдавливанием алмазной пирамиды под нагрузкой 0,5 Н.

В результате металлографических исследований установлено, что сформированные покрытия состоят, как правило, из двух слоев (рис. 2-4). Вверху расположен «белый» слой (слой, который не поддается травлению обычными реактивами). Ниже располагается переходной слой, более темного цвета. Иногда присутствует третий слой – зона термического влияния.

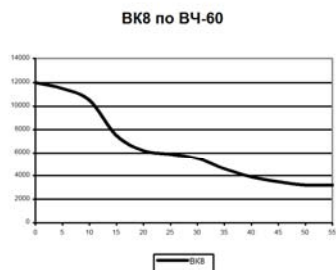
При электроэрозионном легировании ВЧ 60 никелем формируется поверхностный слой толщиной до 70 мкм, микротвердость которого составляет 2200-2760 МПа. Ниже располагается переходной слой, который является результатом совместного действия процессов диффузии и термического влияния. Микротвердость этого слоя составляет 4290 – 5260 МПа (рис. 2, табл. 1).

При электроэрозионном легировании ВЧ 60 твердым сплавом ВК8 формируется поверхностный слой толщиной до 30 мкм, микротвердость

которого составляет 5790 - 10300 МПа. Ниже располагается переходной слой с микротвердостью 4900 МПа (рис. 4, табл. 1).

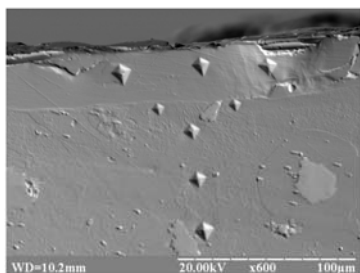


(a)

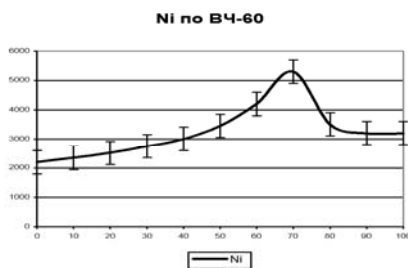


(б)

Рис. 2. Микроструктура (a) и распределение микротвердости по глубине слоя (б) при ЭЭЛ ВЧ60 никелем.

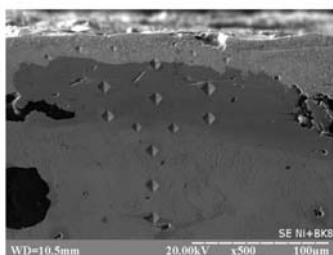


(a)

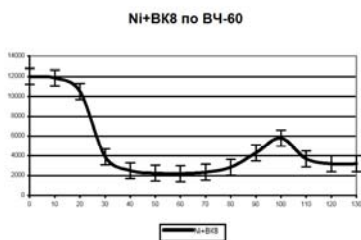


(б)

Рис. 3. Микроструктура (a) и распределение микротвердости по глубине слоя (б) при ЭЭЛ ВЧ60 твердым сплавом BK8.



(a)



(б)

Рис. 4. Микроструктура (a) и распределение микротвердости по глубине слоя (б) при ЭЭЛ ВЧ60 никелем и твердым сплавом BK8.

При последовательном нанесении слоев из никеля и твердого сплава BK8 микротвердость в поверхностном слое, глубиной до 20 мкм, составляет 11830 МПа. Ниже расположен переходной слой, толщиной 65-85 мкм с

микротвердостью 2200 МПа, в нижней части которого, в результате термического влияния микротвердость повышается до 3560-4580 МПа (рис. 4).

Аналогичное распределение микротвердости и при электроэрозионном легировании стали 45 никелем и твердым сплавом ВК8.

Результаты распределения микротвердости по глубине слоя образцов из высокопрочного чугуна и стали 45 сведены в табл. 1.

Таблица 1

Свойства электроэрозионных покрытий на высокопрочном чугуне и стали 45

Материал основы	Материал электрода	Толщина, мкм		Микротвердость, МПа	
		Белый слой	Переходной слой	Белый слой	Переходной слой
ВЧ 60*	Ni	до 70	10	2200-2760	4290-5260
ВЧ 60	ВК8	25-30	15	5790-10300	4900
ВЧ 60	Ni +ВК8	20	65-85	11830	2200-4580
Ст 45**	Ni	25	10	2000	2500
Ст 45	ВК8	20	10	11000	3500
Ст 45	Ст 45	15	60-70	10000	2000-5750

* - микротвердость материала основы $H_{\mu} = 2900 - 3100$ МПа;

** - микротвердость материала основы $H_{\mu} = 2700 - 2800$ МПа.

Таким образом, предлагается новый способ обработки сопрягаемых поверхностей, повышающий надежность, долговечность и герметичность неподвижных соединений стальных и чугунных деталей, включающий в себя формирование методом электроэрозионного легирования при энергии разряда 0,01 – 0,63 Дж поверхностного слоя при использовании электрода - инструмента из никеля, с образованием поверхностного слоя, микротвердость которого меньше микротвердости основы детали и отличающийся тем, что на поверхностный слой из никеля этим же методом и при такой же энергии разряда наносят кольцевые участки покрытия электродами из твердых сплавов группы ВК или ТК с интервалом и шириной 4 - 6 мм. При этом формируется твердый износостойкий поверхностный слой с высоким коэффициентом трения, под которым расположен переходной слой микротвердость которого меньше микротвердости основы детали.

Список литературы: 1. Зуев А.А., Гуревич Д.Ф. Технология сельскохозяйственного машиностроения. М.: Колос, 1980,-с. 219-220., - 256 с. Лазаренко Н.И. Электроискровое легирование металлических поверхностей.- М. Машиностроение, 1976.- с.19., - 46 с. Спосіб обробки сполучених поверхонь деталей (варіанти): Пат. 66105. Україна. МПК В23Н 1/00 /Марцинковський В.С., Тарельник В.Б.; Опубл. 10.04.08, Бюл. № 7.-3 с.

Поступила в редколлегию 11.12.08

В. М. КОШЕЛЬНИК, Т. И. ЗАХАРЧЕНКО

ЭФФЕКТИВНЫЙ ДВУХПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ РЕАКТИВНОСТИ ТУРБИННОЙ СТУПЕНИ

Two-parameters known approximation of the steam turbine characteristic is grounded for definition of the stage degree reaction. Corresponded calculations are presented.

Рассмотренный в [1, 2] полуэмпирический метод определения степени реактивности турбинной ступени основан на сравнении уравнений расхода через сопловую и рабочую решетку. Предложенное в работах [1, 2] аппроксимирующее уравнение имеет вид

$$\rho = a + b \cdot \bar{F} \cdot \bar{V}, \quad (1)$$

где $\bar{F} = \frac{F_d}{F_c}$, F_d, F_c – горловые сечения рабочей и сопловой решеток,

$$\bar{V} = \frac{v_{1t}}{v_{2t}}, \quad v_{1t}, v_{2t} \text{ – удельные объемы за сопловой и рабочей решетками,}$$

определенные на изоэнтропе процесса расширения пара в ступени.

Эмпирические коэффициенты a и b определены по данным проектировочных расчетов турбин К-800-240, Р-12-3,4/0,3, Р-40-130/13 в функциях трех

аргументов $\bar{F}, \bar{V}, \varepsilon$, где $\varepsilon = \frac{p_2}{p_0}$, p_2 – давление за ступенью, p_0 – давление

перед ступенью. Средняя погрешность аппроксимации $\sim 3,0\%$.

Параметры $\bar{F}$ и ε используются для построения новой аппроксимации.

$$\frac{v_{1t}}{v_{2t}} = 0,425 \cdot 44,56(x - 0,38)^{1,5532x + 11,2285} e^{-3,1832x}, \quad (2)$$

где $x = \bar{F} \cdot \varepsilon$ предназначена для поверочных расчетов проточных частей турбин по параметрам за последней ступенью [3, 4]. Это уравнение в известной мере имеет самостоятельное значение. Формула (2) справедлива в интер-

вале $0,39 \leq \bar{F}\varepsilon \leq 1,5$, при $\bar{F}\varepsilon = 1,5 \div 1,7$ значение $\frac{v_{1t}}{v_{2t}} = 0,985 = \text{const}$.

Содержанием работ [1, 2] является определение эмпирических коэффициентов a и b в линейной аппроксимации (1). По существу сходное содержание имеет и рассматриваемое расчетное исследование, в котором в качестве аппроксимирующего принято двухпараметрическое уравнение [5].

$$\rho = \frac{A - \bar{F}}{A - (1 - \varepsilon)\bar{F}}. \quad (3)$$

Используемая в [5] расчетная зависимость, по-видимому, имеет целью дать только приближенную оценку степени реактивности, так как согласно приведенному уравнению лишь в трех точках из 18, принятых для расчета, получено согласование рассчитанных и эталонных значений ρ_3 ; остальные 15 точек расположены ниже линии $\rho_3 = \rho_{\text{расч}}$. В работе не указаны также для какой турбины и какие ступени были приняты для исследования. Не определена и погрешность аппроксимации.

В приведенных ниже сравнительных расчетах с определением эмпирических коэффициентов параметра A и расчетных значений степени реактивности использованы проектные данные 21 ступени турбины К-800-240 (среднее значение $A=1,924$) [6], 11 ступеней турбины Р-12-3,4/0,3 (среднее значение $A=1,910$) [7], 7 ступеней турбины Р-40-130/13 (среднее значение $A=1,942$) [8]. Всего для 39 ступеней среднее значение $A \approx 1,92$. Из осреднения были исключены 3 ступени турбины К-300-240 (последняя строка таблицы 1).

Для этих ступеней $F \approx 1,5$ а степень реактивности составляет 50-60%. Для них можно принять $A \approx 2,0$.

В таблицах 1 ÷ 3 приведены значения параметров $\bar{F}, \varepsilon, \rho_3$, по которым найдены значения A и $\rho_{\text{расч}}$. Сравнение рассчитанных и эталонных (ρ_3) значений степеней реактивности показывает, что в среднем расхождение этих величин $\sim 2,0\%$. Таким образом, двухпараметрическая аппроксимация по типу уравнения (3) оказывается в известной мере более эффективной (сравнительно с аппроксимацией (1)) как по точности, так и по простоте вычислений и может быть рекомендована наряду с более полной по определяемым параметрам зависимостью [1, 2], для инженерных расчетов проточных частей паровых турбин.

Таблица 1 – Исходные и расчетные данные турбины К-800-240

№ ступени	2	3	4	5	6	7	8
$F = \frac{F_L}{F_c}$	1,588	1,559	1,548	1,531	1,500	1,408	1,365
$\varepsilon = \frac{P_2}{P_0}$	0,870	0,880	0,871	0,879	0,877	0,869	0,862
A	1,922	1,924	1,928	1,944	1,944	1,932	1,919
ρ_3	0,195	0,210	0,220	0,235	0,250	0,30	0,32
$\rho_{\text{расч}}$	0,193	0,208	0,216	0,224	0,242	0,295	0,32
погрешн., %	-0,6	-0,8	-1,7	-4,7	-3,3	-1,6	0,0

Продолжение табл. 1

№ ступени	9	10	11	12	13	14	15
$F = \frac{F_{\text{л}}}{F_{\text{с}}}$	1,355	1,323	1,283	1,604	1,576	1,570	1,547
$\varepsilon = \frac{P_2}{P_0}$	0,869	0,870	0,854	0,774	0,818	0,780	0,794
A	1,989	1,943	1,926	1,880	1,898	1,835	1,892
ρ_3	0,33	0,35	0,37	0,19	0,20	0,21	0,22
$\rho_{\text{расч}}$	0,324	0,341	0,369	0,20	0,21	0,22	0,23
погрешн., %	-1,7	-2,6	-0,6	+6,7	+5,3	+4,8	+4,5
№ ступени	16	17	18	19	20	21	22
$F = \frac{F_{\text{л}}}{F_{\text{с}}}$	1,514	1,474	1,404	1,330	1,303	1,520	1,432
$\varepsilon = \frac{P_2}{P_0}$	0,787	0,750	0,747	0,714	0,687	0,563	0,526
A	1,832	1,862	1,897	1,858	1,900	1,941	1,934
ρ_3	0,24	0,26	0,32	0,36	0,40	0,33	0,40
$\rho_{\text{расч}}$	0,254	0,277	0,33	0,38	0,408	0,32	0,393
погрешн., %	+5,8	+6,7	+3,1	+5,4	+2,0	-3,1	-1,7
№ ступени	23	24	25				
$F = \frac{F_{\text{л}}}{F_{\text{с}}}$	1,466	1,350	1,530				
$\varepsilon = \frac{P_2}{P_0}$	0,469	0,429	0,233				
A	2,028	2,058	2,183				
ρ_3	0,46	0,55	0,69				
$\rho_{\text{расч}}$	0,437	0,529	0,57				
погрешн., %	-5,2*	-4,0*	-5,3*				

Таблица 2 – Исходные и расчетные данные турбины P-12-3,4/0,0,3

№ ступени	2	3	4	5	6	7
$F = \frac{F_{\text{л}}}{F_{\text{с}}}$	1,687	1,689	1,668	1,674	1,650	1,620
$\varepsilon = \frac{P_2}{P_0}$	0,870	0,865	0,859	0,847	0,847	0,845
A	1,948	1,824	1,916	1,898	1,898	1,899
ρ_3	0,142	0,139	0,148	0,139	0,162	0,174
$\rho_{\text{расч}}$	0,137	0,136	0,148	0,147	0,162	0,179
погрешн., %	-3,6	-1,8	+0,0	+6,7	+0,0	2,8

Продолжение табл. 1

№ ступени	8	9	10	11	12
$F = \frac{F_L}{F_c}$	1,602	1,628	1,609	1,576	1,580
$\varepsilon = \frac{P_2}{P_0}$	0,838	0,829	0,815	0,812	0,802
A	1,909	1,914	1,905	1,906	1,900
ρ_3	0,186	0,175	0,184	0,205	0,204
$\rho_{\text{расч}}$	0,191	0,177	0,191	0,212	0,211
погрешн., %	+2,9	+16	+3,8	+3,3	+3,4

Таблица 3 – Исходные и расчетные данные турбины P-40-130/31

№ ступени	2	3	4	5	6	7	8
$F = \frac{F_L}{F_c}$	1,690	1,671	1,660	1,650	1,638	1,499	1,264
$\varepsilon = \frac{P_2}{P_0}$	0,810	0,892	0,890	0,887	0,885	0,894	0,911
A	2,00	1,905	1,938	0,936	1,933	1,938	1,943
ρ_3	0,142	0,148	0,155	0,163	0,169	0,247	0,371
$\rho_{\text{расч}}$	0,143	0,143	0,150	0,156	0,163	0,239	0,362
погрешн., %	+1,2	-3,4	-3,3	4,4	-3,8	-3,3	-2,2

Список литературы: 1. Капинос В.М., Гаркуша А.В. Переменный режим работы паровых турбин. – Харьков.: Вища школа, 1989. – 174 с. 2. Капинос В.М., Навроцкий В.В., Смородская И.В., Марченко И.Д. Полуэмпирическое уравнение для определения степени реактивности турбинной ступени. Вестник НТУ «ХПИ», №31, 2004, - с. 94-99. 3. Капинос В.М., Навроцкий В.В., Смородская И.В. Наблизженный поступеневый розрахунок проточной части по кінцевим параметрам. Вестник НТУ «ХПИ», №19, 2002, - с.100-106. 4. Капинос В.М., Пустовалов В.Н., Навроцкий В.В., Науменко С.П. Улучшенный алгоритм поступенчатого расчета проточной части турбины по параметрам за последней ступенью. Вестник НТУ «ХПИ», №11, 2004, с.105-108. 5. Трояновский Б.М., Самойлович Г.С. Переменные и переходные режимы в паровых турбинах – М.: Энергия, 1976. – 365 с. 6. Щегляев А.В. Паровые турбины – М.: Энергия, 1976. – 365 с. 7. Левченко Е.В., Аркадьев Б.А., Кантенир А.Д., Рохленко В.Ю. Турбины малой мощности с противодавлением НПО «Турбоатом». Теплоэнергетика, №1, 1997. 8. Трояновский Б.М., Самойлович Г.С. Паровые и газовые турбины – М.: Энергоиздат, 1987, - 235 с.

Поступило в редколлегию 11.12.08

Ю.В. ТИМОФЕЕВ, В.А. ФАДЕЕВ, М.С. СТЕПАНОВ, С.А. НАЗАРЕНКО

ОБОБЩЕННАЯ СТРУКТУРА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА И ЕГО ИЗДЕЛИЙ

Theoretical fundamentals of an integrated Continuous Acquisition and Life-cycle Support system structure are its subsystems are given. Conditions and ways to increase their elements Product Lifecycle Management efficiency are described. Structures optimization methods set application are described.

Известно, что каждые 10 лет развития науки и техники характеризуется усложнением технических систем в два – три раза. Повышение точности объектов производства приводит к увеличению трудоемкости и затрат на их изготовление. Развитие науки и техники в условиях рыночной экономики, интенсификация рабочих процессов, усложнение конструктивных форм, применение новых материалов и технологий обуславливают необходимость расширения интеграции математических моделей, обеспечивающих инновационные решения широкого спектра междисциплинарных проблем машиностроительных изделий.

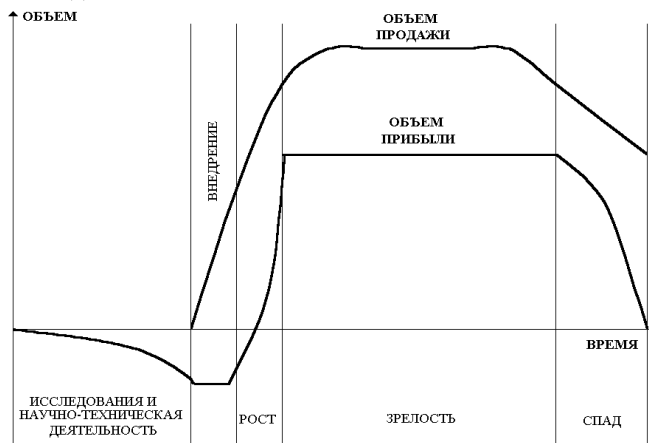


Рис. 1. Основные стадии жизненного цикла инновационного процесса

Для анализа инновационной деятельности предприятия точного машиностроения можно использовать понятие жизненного цикла изделия, в ходе которого изделие проходит различные стадии – исследования, внедрения, роста, зрелости и спада (Рис.1). Причем широко распространен подход к оценке этапа жизненного цикла в соответствии с которым в качестве важнейших показателей используется объем продаж и прибыли.

Это достаточно важно для нашей страны, обладающей, с одной сторо-

ны, значительным научно-промышленным потенциалом, а с другой стороны - теряющей рынки сбыта от недостаточной гибкости в перестройке на выпуск более дешевой и качественной продукции в сжатые сроки. Кроме того, неустойчивость спроса на продукцию машиностроительных предприятий и отличие требований заказчика заставляет производителя выпускать продукцию различными партиями с высоким уровнем надежности и качества [1,3,4,5]. В сложившихся условиях производитель вынужден искать не традиционные пути преобразования производства направленные на управление конкурентноспособностью продукции. Для решения проблемы организации управления информацией об изделии на протяжении его жизненного цикла, начиная с 80-х годов 20 века предлагались различные подходы. Министерство обороны США разрабатывало методику автоматизированной поддержки принятия решений по приобретению изделий и материально-техническому обеспечению (Computer-Aided Acquisition and Logistics Support), компания Computer-vision сформулировала концепцию "автоматизации производства изделия", корпорация IBM изобрела систему обеспечения компьютерного интегрированного производства (Computer Integrated Manufacturing, CIM). Современный этап развития высокоточной промышленности связан с CALS (Continuous Acquisition and Life-cycle Support), PLM (Product Lifecycle Management), ИПИ (Информационная поддержка жизненного цикла изделий) – концепцией, объединяющей принципы и технологии поддержки жизненного цикла продукции на всех его стадиях, основанная на использовании постоянно развивающейся интегрированной информационной среды (единого информационного пространства(ЕИП)), обеспечивающей единообразные способы управления процессами и взаимодействия всех участников: заказчиков (включая государственные учреждения и ведомства), поставщиков (производителей), эксплуатационного и ремонтного персонала, реализованной в соответствии с требованиями системы международных, государственных и отраслевых стандартов, регламентирующих правила указанного взаимодействия преимущественно посредством электронного обмена данными [6,7,8,13,14]. Стратегия PLM предусматривает двухэтапный план создания ЕИП: 1) автоматизация отдельных процессов (или этапов) ЖЦ изделия и представление данных на них в электронном виде; 2) интеграция автоматизированных процессов и относящихся к ним данных, уже представленных в электронном виде, в рамках ЕИП. CALS позволяет: сократить временные издержки в 1,5-2 раза за счет сокращения времени на поиск информации, времени проведения изменения и количества самих изменений; повысить производительность труда за счет возможности повторного использования компонент изделия (их доля может быть доведена до 80%); повысить качество продукции за счет контроля за качеством данных и за соответствием процессов предприятия требованиям стандартов серии ISO 9000 [2,9,10,19,20]. Прогресс современной вычислительной техники позволяет подойти к проблеме жизненного цикла изделий машиностроительного производства как к резуль-

тату взаимодействия огромного числа конструкторских, технологических и производственных факторов. Сегодня для разработки разнообразной продукции промышленные предприятия широко используют следующие компьютерные технологии – программные средства автоматизации: CAD (Computer-Aided Design) – геометрическое моделирование, автоматизация конструкторских работ; CAE (Computer-Aided Engineering) – системы инженерного моделирования и анализа; CAM (Computer-Aided Manufacturing) - системы, автоматизирующие технологическую подготовку производственных процессов; PDM (Product Data Management) – система, ориентированная преимущественно на информационную поддержку CAD – моделирования; SDM (Simulating Data Management) - системы, ориентированные на информационную поддержку процессов инженерного расчетного CAE моделирования; VPD: Virtual Product Development - системы виртуальной разработки продукции; BOM (Bill of Materials) – базы данных по используемым материалам [15,16,17,18]. В результате использования современных систем автоматизированного проектирования (на этапе проектирования) разработчик получает численные данные о характере распределения нагрузки в элементах конструкции при моделировании реальных условий эксплуатации изделия. Это позволяет существенно сократить время отладки конструкций, снизить материальные затраты производства, сбалансировать требования по качеству деталей, входящих в состав изделия. Однако, результаты моделирования практически не используются на этапе технологической подготовки производства, т. к. современный уровень технологического проектирования, к сожалению, существенно отстал от достижений в области автоматизированного конструирования.

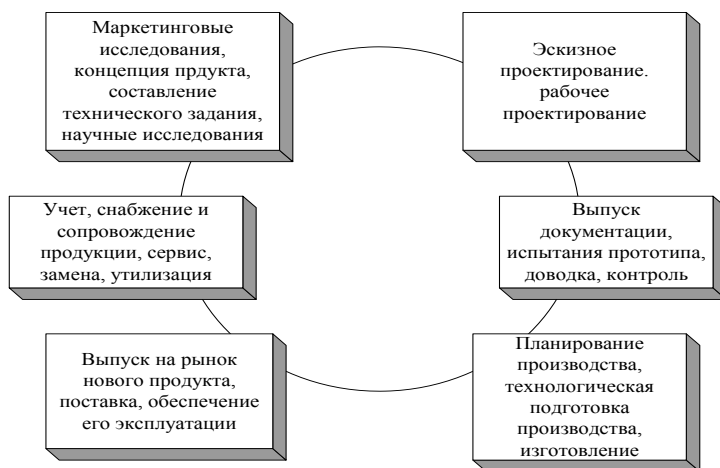


Рис. 2. Элементы жизненного цикла машиностроительного производства

До сих пор технолог в качестве задания на проектирование получает лишь данные о материале и геометрии детали, ее дополнительной обработке и серийности выпуска и не располагает сведениями о реальном распределении нагрузки по объему детали.

В связи с этим, возможность управления качеством изделия за счет технологии ее изготовления полностью не реализуется [21,22,23,24,25].

Важная задача производства заключается в его интенсификации за счет снижении временных и материальных затрат на конструкторско-технологическую отладку процесса изготовления конкретного изделия. Она может быть решена при соблюдении принципа системности в подходе к организации конструкторских и технологических работ. Отставание уровня автоматизированных систем технологической подготовки производства (АСТПП, САМ) от систем автоматизированного проектирования конструкторских работ (САПР КР, САД) объясняется несколькими объективными причинами. Наиболее существенная из них заключается в том, что САПР КР в отличие от АСТПП универсальны. Конструкторские системы могут применяться без существенной адаптации практически на любом машиностроительном предприятии. Для них характерны широкий рынок сбыта, возможность продажи «под ключ». Поэтому фирмы-разработчики программного обеспечения в области САПР проявляют наибольший интерес именно к этому типу систем. АСТПП, напротив, специализированны и зависят от характера производства, вида выпускаемой продукции, серийности их выпуска. Кроме того, прикладное программное обеспечение АСТПП неоднородно по назначению. Оно формируется из набора продуктов, каждый из которых обеспечивает разработку отдельного вида технологических процессов [28,29,30,31,32]. Практически каждое изделие может быть изготовлено по нескольким альтернативным технологиям. Одним из важнейших критерием выбора наилучшего из вариантов, помимо требуемого уровня качества, является экономическая эффективность разрабатываемого процесса. С задачей выбора экономически выгодной технологии успешно справляются современные автоматизированные системы материального и календарного планирования (АСКМП), которые, помимо расчетов экономической эффективности, предназначены для планирования и координации работы предприятия. Каждый поставщик представляет собой специализированное звено в наборе длинных технологических цепей процессов жизненного цикла продукции. Если такое звено ослабнет или разрушится, то распадается вся цепь. Это хорошо видно на схеме (рис.2 и 3), где обобщенный процесс функционирования представлен как перемещение по контурной траектории (кольцу), который не должен выходить за установленные значения показателей (качество продукции, соблюдение сроков поставок, норм расходов ресурсов).

В стабильной, благоприятной внешней среде это условие обеспечивает за счет планирования и реализации технологий текущего менеджмента. Коррекция траектории при воздействии непредвиденных внешних или внут-

ренних факторов требует значительно больших затратных методов антикризисного управления. Что подтверждается ходом развития предприятий точного машиностроения последних лет. При плановой экономике схема, приведенная на рис. 3, укладывается в допустимые границы планового обобщенного показателя результативности и эффективности. Потому что, государство, как собственник, через отраслевое министерство создавало гигантские заводы-монополисты, формировавшие значительную долю стоимости конечного товара. Ранее об анализе рынка не могло быть и речи. Уже на этапе проектирования головного предприятия закладывались планы по номенклатуре и объемам сбыта его продукции и назначались постоянные поставщики. Все факторы внешней среды планировались в масштабе государства и отрасли. Зачастую, вопреки экономической логике, по политическим соображениям или ходатайству региональных властей – за тысячи километров от головного предприятия. Однако, у плановой экономики были безусловные достоинства. Например, действовала развитая система подготовки кадров, региональные учебные заведения с едиными программами.

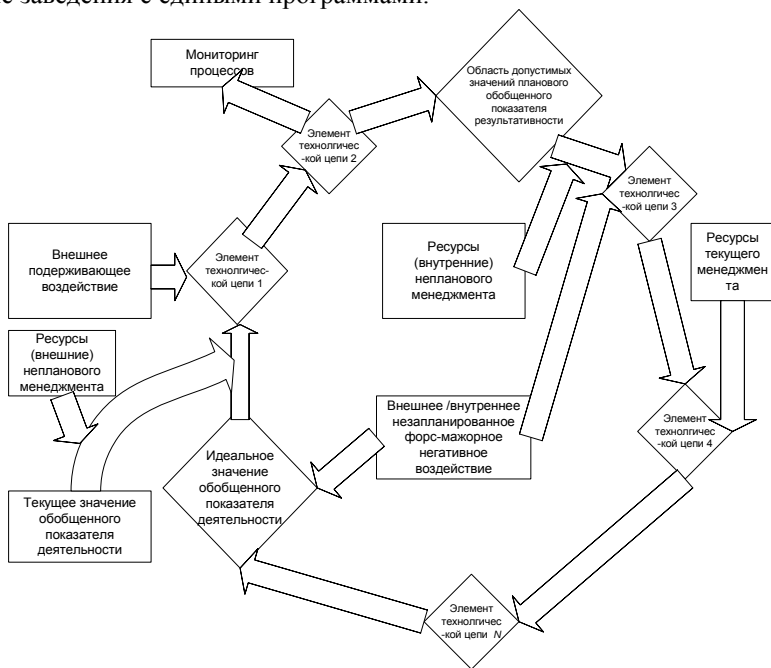


Рис. 3. Схема процесса функционирования предприятия

Благодаря гарантированному финансированию всех процессов и системы управления, внешним условиям, создавалась возможность долговременного выпуска продукции установленного качества, и тем не менее, со временем возникли большие проблемы (рис. 4.) в первую очередь связанные с

большим объемом ручных операций и возникающих из – за этого вопросов, связанных с затратами на заработную плату и зависимостью от квалификации кадров.

В современных динамически изменяющихся условиях руководство предприятия часто в погоне за быстрым результатом может проводить жесткую политику учредителей (хозяев), не думая о развитии.

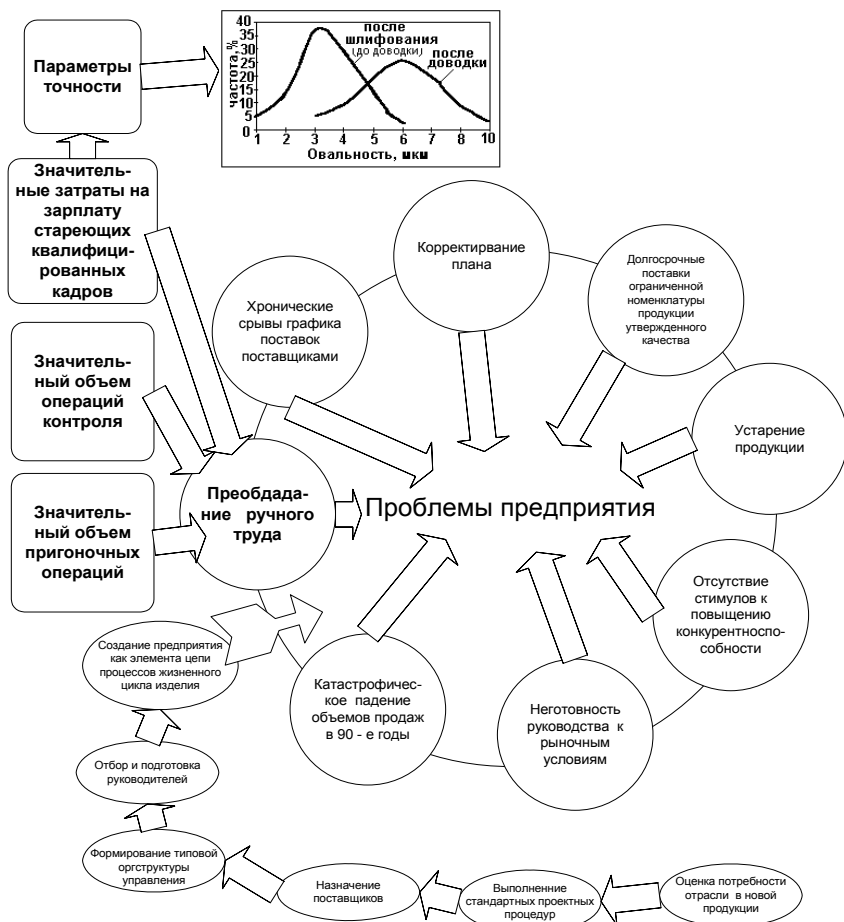


Рис. 4. Схема процессов жизненного цикла предприятия точного машиностроения в административной экономике

Решения принимаются мгновенно не считаясь с последствиями. Результатом этого является: многократные переносы запуска производства; отсутствие материального обеспечения и информационного сопровождения. Даже новое технологическое оборудование не в состоянии полностью обеспечить

стабильное качество и сроки поставок с самого начала (Рис. 5), если не отработаны вопросы поставок сырья, подбора персонала, технологии изготовления, особенно если на предприятии преобладают ручные финишные операции.

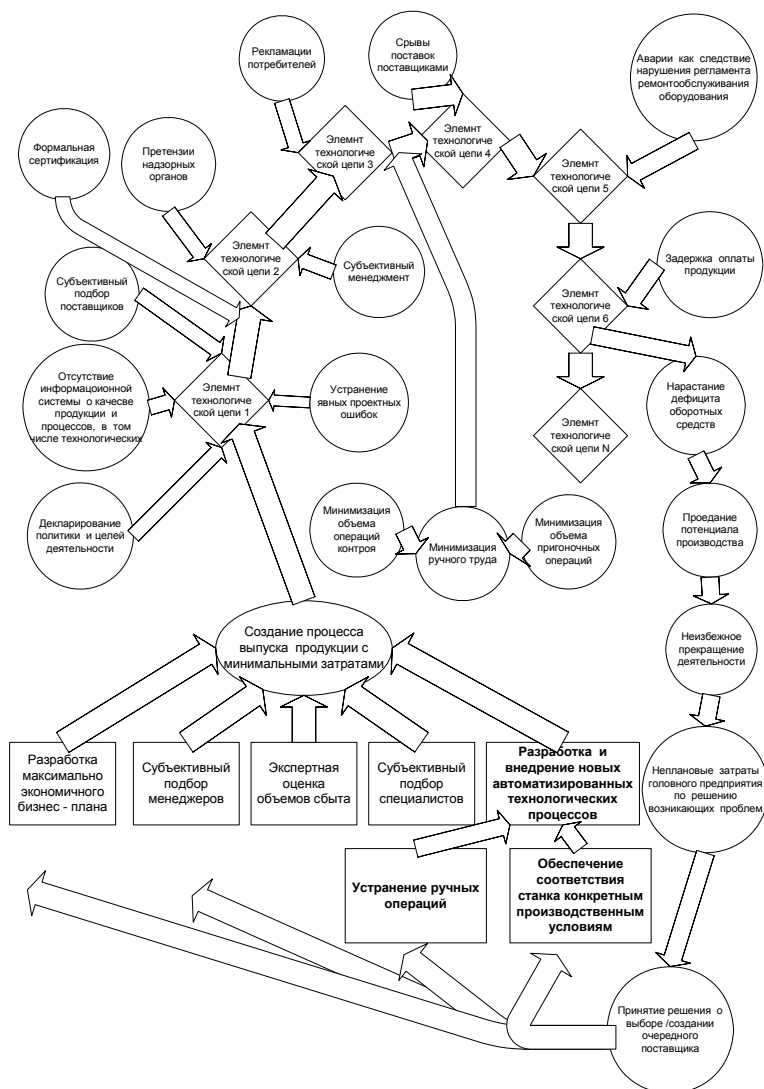


Рис. 5. Вариант схемы процессов жизненного цикла предприятия точного машиностроения в рыночных условиях

Эти операции не являются «гарантирующими» в обеспечении требуемых показателей качества поверхности, а тем более производительности обработки. «Успех» этих операции полностью зависит от квалификации их производителя. При этом возникает значительное количество субъективных «рисков».

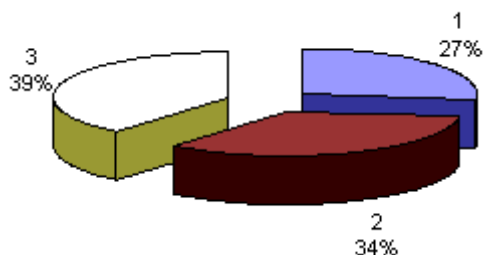


Рис. 6. Современные источники экономического роста: 1 – капитал, 2 – рабочая сила, 3 – технология.

Сказанное выше подтверждает тот факт, что в условиях жесточайшей конкуренции деятельность предприятия следует выстраивать с учетом того, что экономический рост все больше определяется той долей продукции и оборудования, которая содержит прогрессивные знания и новые технологические решения (Рис. 6.).

Типовыми выходными параметрами точности для изделий точного машиностроения сложной пространственной формы (выпускаемых ГП ФЭД) являются технологические погрешности формы и расположения базовых поверхностей (в том числе непрямолинейности действительных осей и перпендикулярности базовых стыковочных поверхностей). По мере прохождения изделия по этапам жизненного цикла происходит постепенное накопление погрешностей и на заключительных этапах будет действовать их наибольшее число. Причем как ранее было сказано превалирование ручных финишных операций создает все условия для увеличения числа и величины систематических погрешностей. Формирование выходных параметров точности можно представить в виде схемы с различными иерархическими уровнями (рис. 7). «Слепая» замена ручных операций на машинную обработку не приведет к значительному результату. Между тем технологическое обоснование станков оказывает большое влияние на их применение [33]. Недостаточный уровень проработки технологического обоснования станка приводит к таким потерям, которые могут свести на нет все его конструктивные усовершенствования. Иными словами, станок, устаревший по своему техническому решению, но со скрупулезно отработанным технологическим обоснованием может оказаться в эксплуатации эффективнее станка (в том числе в энергетическом отношении), опережающего его технически.



Рис. 7. Структурная схема формирования выходных параметров точности изделия

Отсюда вывод, чтобы точно знать потребный технологический потенциал станка (в том числе для финишных операций), следует создавать станок под конкретный технологический процесс. При этом станок следует рассматривать в общности с технологией и организацией производственного процесса. То есть, его технический уровень должен отвечать уровню технологии и организации на конкретном рабочем месте (в особенности в условиях «малолюдной технологии»).

Список литературы: 1. Залого В.А., Дядюра К.А. К вопросу о выборе стратегии отечественных машиностроительных предприятий в отношении конкурентноспособности продукции. // Високі технології в машинобудуванні. - Харків: НТУ «ХПІ», 2007, - Вип.2.-С.91-96. 2. Назаренко С.А. Многодисциплинарный анализ чувствительности для исследования жизненного цикла изделия // Труды 11-й Международной научн.-техн. конф. «Физические и компьютерные технологии».- Харьков.-2005. 3. Piegł L.A. Ten challenges in computer-aided design// Computer-aided design. 2005. №37. р. 461-470. 4. Назаренко С.А. Анализ чувствительности конструкций при воздействии физических полей различной природы// Вісник Національного технічного університету „Харківський політехнічний інститут». – Харків, НТУ “ХПІ”, 2006, - Вип. 32. с. 4-7. 5. Мозенков О.В. Реструктуризация предприятий и качество продукции. // Високі технології в машинобуду-

ванні. - Харків: НТУ «ХПІ», 2002, - Вип.1.-С.233-236. 6. Безъязычный В.Ф., Шилков Е.В., Суворов О.Е. Автоматизация проектирования, технологической подготовки производства и обеспечения качества деталей ГТД на базе CALS-технологий // Справочник. Инж. журн. - 2007. - N 2(119). - С.34-37. 7. Брук П., Стародубов В. Обзор возможностей PLM-систем // САПР и графика. - 2004. - N 8. - С.70-75. 8. Галимов Р. Роль CALS-систем в продвижении авиационной техники на мировой рынок // Вестн. авиации и космонавтики. - 2003. - N 5. - С.62-65. 9. Давыдов Ю.В. CALS-технологии - основа качества при производстве наукоемких изделий // ИТПП. - 2005. - N 4. - С.3-6. 10. Соломенцев Ю.М., Митрофанов В.Г. Информационно-вычислительные системы в машиностроении. // CALS-технологии. Ин-т конструкт.-технол. информатики РАН. - М.: Наука, 2003. - 290 с. 11. Кеворков С. Поддержка жизненного цикла изделия // Открытые системы. - 2005. - N 12(116). - С.54-58. 12. Ключков В.В. Организационно-экономические аспекты внедрения CALS-технологий в авиационном двигателестроении // Технология машиностроения. - 2006. - N 5(47). - С.81-86. 13. Концепции развития CALS-технологий в промышленности России. - 2006. - N 8. - С.82-84. 14. Красковский Д. Обзор состояния рынка систем PLM / TDM / PDM / Workflow // САПР и графика. - 2004. - N 12. - С.14-19. 15. Куприков М.Ю. Применение информационных технологий на этапах жизненного цикла изделия // Качество и жизнь. - 2004. - N 4. - С.210-213. 16. Курсин Д.А. Разработка модели управления жизненным циклом изделия на стадии эксплуатации // Вестн. машиностроения. - 2005. - N 9. - С.79-85. 17. Ли К. Основы САПР.CAD / CAM / CAE / Пер. с англ. - СПб.: Питер; Питер Принт, 2004. - 559 с. 18. Маклаков Ю. На пути внедрения ИПИ-технологий // САПР и графика. - 2005. - N 12(109). - С.119-121. 19. Международная конференция "PLM-технологии новой волны" // САПР и графика. - 2004. - N 10. - С.36-38,40-41. 20. Минаев В.Н. ИПИ - технологии. Приоритеты и основные направления работ // ИТПП. - 2006. - N 4. - С.5-7. 21. Олейник А.В. Повышение срока службы изделий машиностроения на основе ситуационного управления процессами сопровождения их жизненного цикла: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / МГТУ "Станкин". - М., 2006. - 34 с. 22. Омельченко И.М., Терентьева З.С. Классификация информационных потоков на стадиях жизненного цикла наукоемкой продукции // Машиностроитель. - 2005. - N 4. - С.2-6. 23. Павлов В.В. CALS-технологии в машиностроении. Математические модели. - М.: ИЦ МГТУ "Станкин", 2002. - 328 с. 24. Надеев А.И., Попова А.И., Сурина А.В. Принципы построения автоматизированных систем поддержки жизненного цикла инновационных продуктов // Датчики и системы. - 2006. - N 11(90). - С.59-63. 25. Соломенцев Ю.М., Митрофанов В.Г. Концепции CALS-технологий // Автоматизация и соврем. технологии. - 2005. - N 9. - С.3-9. 26. Рындин А., Рябенский Л. Ступени внедрения ИПИ-технологий // САПР и графика. - 2006. - N 4. - С.6-9. 27. Lvov G. The integrated information technologies on principles CALS at designing, manufacture and operation of high technology production /// 7 Magdeburger Maschinenbau-Tage. 11 bis 12 Oktober 2005. Pp. 259-263. 28. Суслов А.Г. Комплексное обеспечение качества машин на этапах их жизненного цикла // Качество машин на этапах их жизненного цикла / Под общ. ред. А.Г.Суслова. // Справочник. Инж. журн. Приложение. - 2005. - N 9. - С.2-5. 29. Тихонов А.Н., Барабанов В.В. Проблемы применения ИПИ-технологий для повышения качества и конкурентоспособности наукоемкой продукции // Качество и ИПИ (CALS) - технологии. - 2004. - N 2(2). - С.2-4. 30. Ушаков Д., Прейс С. Математическое обеспечение для интеллектуальных PLM-решений // САПР и графика. - 2003. - N 12. - С.51-53. 31. Шалумов А.С. Информационная интеграция систем компьютерного моделирования физических процессов и САД-систем для создания высоконадежной радиоэлектронной аппаратуры в рамках CALS-технологий // Качество и ИПИ (CALS) - технологии. - 2005. - N 2(6). - С.35-38. 32. Галкина О., Рындин А., Рябенский Л. и др. Электронная информационная модель изделий судостроения на различных стадиях жизненного цикла // САПР и графика. - 2005. - N 4. - С.43-45. 33. Базров Б.М. Концепция совершенствования станочного оборудования и его производства // Вестник машиностроения. - 2004. - № 2. - С.38 - 42.

Поступила в редколлегию 11.12.08

В.В. ФРОЛОВ, Г. Н. ЖОЛТКЕВИЧ

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Предложена методика расчета размерных цепей с помощью формального нейрона, позволяющая обеспечить расчет допусков звеньев, исходя из возможностей технологических методов на основе оптимизационной модели.

The design procedure of sized chains with the help of the formal neuron is offered, permitting to provide calculation of tolerances of links, outgoing from possibilities of technological methods on the basis of optimization model.

Одной из задач технологического проектирования является определение межоперационных размеров на операционных эскизах с учетом необходимой точности замыкающего звена. Расчет технологических размерных цепей входит отдельным этапом в общий алгоритм технологического проектирования по обеспечению точности механической обработки. Замыкающим звеном обычно является размер, на котором осуществляется силовое замыкание между режущей частью инструмента и обрабатываемой поверхностью. По ходу технологического процесса возникают различные сочетания размеров, составляющих размерные цепи, и в задачу технолога входит обеспечение точности взаимного расположения поверхностей за счет выбора последовательности их обработки. На этом этапе решается прямая (проектная) задача расчета размерных цепей, где сначала рассчитываются по известному допуску замыкающего звена допуски составляющих звеньев. Для решения этой задачи используются методы, применяемые при расчете конструкторских размерных цепей: метод попыток; метод равного качества, метод пропорционального влияния; метод равных допусков; метод экономического обоснования допусков. Все указанные методы по своей сути являются стратегиями эмпирического подбора допусков. При технологическом проектировании наиболее подходящими методами являются методы: попыток, равных допусков, экономического обоснования допусков. Каждый из этих методов предполагает наличие субъективной оценки при выборе допусков составляющих звеньев, и, следовательно, многое здесь зависит от технолога. Разработка методики расчета на основе искусственных нейронных сетей должна позволить упростить расчет, с одной стороны, и снять определенную долю субъективизма при решении проектной задачи, за счет использования математической модели проведения на ее основе процедуры оптимизации выбора допусков. Рассмотрим последовательно теоретические предпосылки разработки данной методики.

Одно из основных положений расчета размерных цепей выражено фор-

мулой 1.

$$T_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} |\xi_i| T_i \quad (1)$$

где T_{Δ} – допуск замыкающего звена; ξ_i – передаточное отношение составляющего звена; T_i – допуск составляющего звена; m – число звеньев размерной цепи. Данное выражение является основой для конструирования нейронных сетей.

Структура искусственного нейрона приведена на рисунке 1. Здесь на рецепторы подается входной сигнал, затем происходит усиление сигнала каждого рецептора с помощью синаптических коэффициентов; суммирование сигналов в сумматоре; обработка сигнала с помощью функции активации и реакция нейрона.

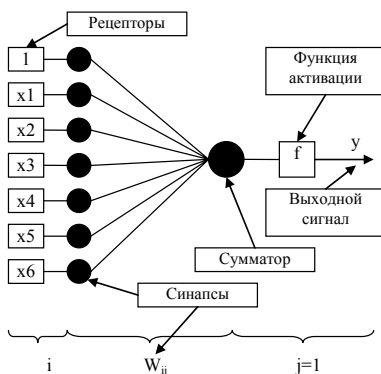


Рисунок 1 – Структурная схема формального нейрона

Математическая модель формального нейрона представляется выражением 2

$$y = f(g) = f\left(\sum_{i=1}^n W_i x_i + W_0\right) \quad (2)$$

где y – выходной сигнал нейрона; $f(g)$ – функция активации; W_i – синаптический коэффициент (синапс); x_i – входной сигнал (рецептор); W_0 – начальное состояние нейрона; n – количество рецепторов. Принимаем начальное состояние равное нулю и получаем 3

$$y = f(g) = f\left(\sum_{i=1}^n W_i x_i\right) \quad (3)$$

Выражение 1.3 может быть использовано для моделирования основного уравнения размерной цепи, только необходимо определить вид функции активации и соответствия параметров в формулах. Предположим, что на выходе нейрона должно быть значение допуска замыкающего звена, синаптические коэффициенты – допуски составляющих звеньев; передаточный коэф-

фициент – рецепторы нейрона (смотри 4).

$$T_{\Delta} \leftrightarrow y; T_i \leftrightarrow W_i; |\xi_i| \leftrightarrow x_i; (m-1) \leftrightarrow n \quad (4)$$

Тогда задача определения допусков составляющих звеньев сводится к задаче обучения нейрона, т.е. подбора синаптических коэффициентов. Поскольку в методике применяется однослойная сеть, и сигналы будут непрерывными, принимаем линейную функцию активации (смотри рисунок 2).

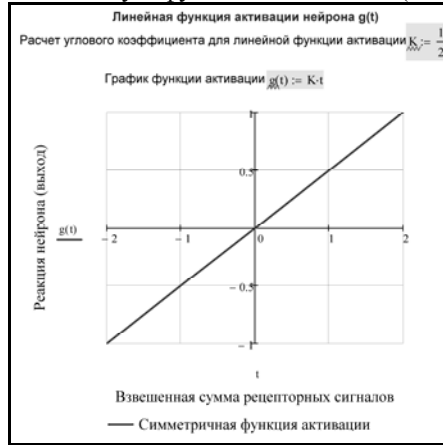


Рисунок 2 – График симметричной линейной функции активации

Выход нейрона равен 1. Следовательно, чтобы использовать однослойный нейрон с линейной функцией активации для расчета, необходимо преобразовать основное уравнение размерной цепи к 5.

$$1 = \frac{1}{T_{\Delta}} \sum_{i=1}^{m-1} |\xi_i| T_i \quad (5)$$

где $\frac{1}{T_{\Delta}}$ – угловой коэффициент функции активации.

При обучении сети оценивают ошибку сети, как квадрат разности эталонного сигнала и реакции сети. Ошибка сети должна стремиться к минимуму, следовательно, чтобы обучить сеть необходимо найти минимум функции ошибки. Представим 5 в виде однослойного нейрона прямого распределения с линейной функцией активации.

$$y = f(g) \quad (6)$$

где y – выход нейрона, который равен 1 ($y = 1$); $g = Wx$ – взвешенная сумма сигналов рецепторов; W – матрица синаптических коэффициентов (допуска составляющих звеньев); x – входы рецепторов $|\xi_i|$; $f(g) = Kg$ –

линейная функция активации; $K = \frac{1}{T_{\Delta}}$ – угловой коэффициент линейной

функции активации.

Составим математическую модель для обучения нейрона 7

$$E = [y' - f(W\bar{x})]^2 \rightarrow \min$$

$$\Omega: W_i = b_i$$

$$W \min_i \leq W_i \leq W \max_i$$

$$i \in [1, m-1]$$
(7)

где E – ошибка работы нейрона (целевая функция); y' – эталонный выход нейрона ($y' = 1$); $W \min_i, W \max_i$ – допустимый диапазон изменения синаптических весов; b_i – фиксированное значение отдельного синапса.

Если не использовать ограничения, то необходимо найти глобальный минимум. В противном случае в руках проектировщика оказывается достаточно мощный и гибкий инструмент конкретизации за счет наложения дополнительных ограничений. Для ограничений используем данные о необходимых при проектировании допусках на размеры, составляющие размерную цепь. Такие данные определяются технологией изготовления поверхностей и возможностями методов обработки.

Результаты моделирования показывают, что если выполнять классическое обучение нейрона, т.е. математическая модель 7 без ограничений методика дает результаты сходные с методом равных допусков. Например, на рисунке 3 подбираем допуски для сети, состоящей из трех элементов, при этом ограничения на целевую функцию не используем. В результате модель разбивает допуск замыкающего звена на равные части.

Допуск замыкающего звена, мм:	$T_{\Delta} := 0.36$
Угловой коэффициент линейной функции активации:	$K_{\mathcal{W}} := \frac{1}{T_{\Delta}}$
Линейная функция активации нейрона:	$\mathcal{W}(t) := K \cdot t$
Входной вектор:	$X := \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$
Выход нейрона:	$Y := 1$
Функция ошибки:	$E(W) := (Y - g(W \cdot X))^2$
Матрица синаптических весов:	$\mathcal{W} := (0 \ 0 \ 0)$
Обучение:	
Given	
net := Minimize(E, W) = (0.12 0.12 0.12)	
Ошибка работы сети:	$E(\text{net}) = 0$

Рисунок 3 – Обучение сети без ограничений

При использовании ограничений можно учесть возможности методов

обработки и технологию изготовления поверхностей. Например, предположим, что первый размер связывает поверхности, метод обработки которых позволяет достичь точности в заданных пределах от 0.074 до 0.190 мм. Сеть, изображенная на рисунке 4, подбирает допуски из условия минимизации ошибки.

Допуск замыкающего звена, мм:	$T_{\Delta} := 0.36$
Угловой коэффициент линейной функции активации:	$K_w := \frac{1}{T_{\Delta}}$
Линейная функция активации нейрона:	$g(t) := K \cdot t$
Входной вектор:	$X := \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$
Выход нейрона:	$Y := 1$
Функция ошибки:	$E(W) := (Y - g(W \cdot X))^2$
Матрица синаптических весов:	$\underline{W}_w := (0 \ 0 \ 0)$
Обучение:	
Given	
$0.190 \geq (w^T)_1 \geq 0.074$	-ограничения по методу обработки
$net := \text{Minimize}(E, W) = (0.19 \ 0.085 \ 0.085) \quad E(net) = 0$	

Рисунок 4 – Обучение с ограничениями

Полученную модель нейрона после определенной доработки можно использовать для решения остальных задач при расчетах плоских технологических размерных цепей. При определении размеров составляющих звеньев в качестве синаптических коэффициентов будут выступать величины размеров, а угловой коэффициент функции активации будет зависеть от величины размера замыкающего звена. В математической модели обучения нейрона (см. формулу 7) будут присутствовать только ограничения равенства. Такая модель позволяет акцентировать внимание на любых составляющих звеньях размерной цепи без дополнительного вывода уравнений, что особенно важно для автоматизации расчетов по данной методике.

Обобщенный алгоритм расчета технологических размерных цепей, исходя из всего вышеуказанного, будет выглядеть так: 1. Рассчитываем номинальные размеры составляющих звеньев с использованием формального нейрона. 2. Определяем диапазоны изменения допусков составляющих звеньев исходя из технологии изготовления детали. 3. С помощью формального нейрона определяем допуски всех составляющих звеньев. 4. Корректируем расчетные значения согласно стандартам. 5. Выполняем остальные расчеты согласно существующему алгоритму решения прямой задачи.

Поступила в редколлегию 26.12.08

В.Н. ПЕТРИВНЫЙ, Ю.В. ТИМОФЕЕВ

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ И СБОРКИ АГРЕГАТОВ СО ЗМЕЕВИКОВЫМИ СИСТЕМАМИ

На основі аналізу існуючих методів виготовлення агрегатів зі змієвиковими системами сформульовані нові принципи технології формування змієвикових елементів з цільного куска оребреної труби і складання змієвикових систем. Їх реалізація дозволила мінімізувати об'єм, що займає змієвикова система.

On the basis of the analysis of existing methods of manufacturing of units with serpentine systems new principles of technology ribbing pipes, formation serpentine elements from an integral piece ribbing pipes and assembly serpentine systems are formulated.

В агрегатах химической и нефтехимической промышленности, судовых энергетических установках, энергоблоках атомных электростанций, широко применяют змеевиковые системы. [1]. В настоящее время прогрессивные конструкции змеевиковых систем содержат преимущественно оребренную

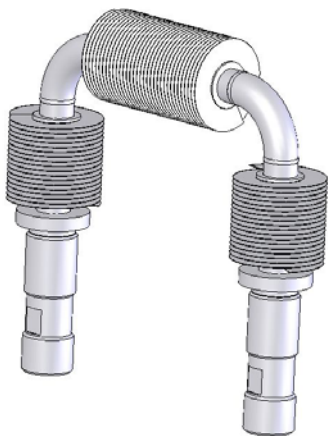


Рис. 1. Охладитель подшипникового узла насоса ЦНА 60-185, изготовленный по традиционной технологии

трубу, которую подвергают изгибу в плоский или пространственный змеевиковый элемент и прикрепляют к коллектору. Змеевиковые

элементы на участке изгиба трубы и участках, прилегающих к зоне изгиба, не предусматривают оребрения или же ребра имеют низкую степень оребрения (рис.1). Это значительно снижает

эксплуатационные характеристики таких систем и обуславливает увеличение их габаритов [2]. Кроме того, поперечное сечение змеевикового элемента в изогнутом участке приобретает

форму овала и происходит утонение стенки на его внешней части. Змеевиковый элемент с искаженной формой поперечного сечения обладает меньшей прочностью, а также меньшей пропускной способностью, что снижает его надежность и эксплуатационные характеристики [3].

Как показывает практика производств, разрушение змеевиковых систем, изготовленных по традиционной технологии, в большинстве случаев связано с разрушениями в околошовной зоне и на участках изгиба, вследствие утонения стенки трубы. Следующим существенным недостатком змеевиковых систем, изготовленных по традиционной технологии, является большая металлоемкость конструкций. Причем повышение металлоемкости в большей мере проявляется на стадии изготовления составных конструкций. Так при изготовлении участков изгиба до 50% материала заготовки идет в отходы.

Увеличение сроков службы агрегатов со змеевиковыми системами, напрямую зависит от повышения надежности змеевиковых элементов, и созданных на их базе змеевиковых систем.

Разработка новой технологии формирования змеевиковых элементов позволит повысить эффективность и надежность агрегатов со змеевиковыми системами. При этом требуемые эксплуатационные характеристики змеевиковых систем будут обеспечены с заданными геометрическими ограничениями, лимитированными по прочности, что, в свою очередь, позволит снизить металлоемкость, а следовательно, и себестоимость их изготовления. Поэтому разработка новой технологии формирования змеевиковых элементов является актуальной задачей.

Для выявления резервов повышения надежности и снижения металлоемкости змеевиковых систем разработаем математические модели структуры конструкции змеевикового элемента и технологии его изготовления.

Применительно к производству змеевиковых систем можно выделить следующие этапы: заготовительное производство, очистка, механообработка и сборка. При рассмотрении всех этапов во взаимосвязи, появляется возможность комплексно оценивать производственную технологичность в целом.

В основу математической модели структуры конструкции змеевикового элемента (ЗЭ) положены следующие принципы. Змеевиковый элемент представляет собой совокупность пространственно расположенных поверхностей Π :

$$\text{ЗЭ} = \{ \Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_j \}. \quad (1)$$

По расположению эти поверхности могут быть внутренними Π_{in} и внешними Π_{out} :

$$\Pi = \{ \Pi_{in}, \Pi_{out} \}. \quad (2)$$

Поскольку в качестве заготовки для змеевиковых элементов, как правило, используют трубу, то поверхности Π_{in} всегда будут являться отверстиями:

$$\Pi_{in} = \{ O_1, O_2, \dots, O_n \}. \quad (3)$$

Поверхности Π_{out} могут являться поверхностями гладкой трубы, оребренной, а также совокупностью гладких и оребренных поверхностей

$$\Pi_{out} = f(\Gamma_T, O_T) = \{\Gamma_T \vee O_T\}. \quad (4)$$

Рассматривая гладкую трубу в качестве заготовки, внешние поверхности змеевикового элемента можно представить совокупностью гладких цилиндрических поверхностей (на прямолинейных участках) и торообразных (на участках изгиба):

$$\Pi_{out}(\Gamma_T) = \{\Pi_{\Pi}, T_{\Pi}\}. \quad (5)$$

Приняв в качестве заготовки оребренную трубу, внешние поверхности змеевикового элемента можно представить совокупностью прямолинейных винтовых поверхностей и изгибов винтовых поверхностей:

$$\Pi_{out}(O_T) = \{B_{\Pi}, B_{\Gamma}\}. \quad (6)$$

Из совокупности винтовых поверхностей можно выделить поверхности выступов, поверхности впадин и боковые поверхности:

$$\{B_{\Pi} \wedge B_{\Gamma}\} \in \{B^{выс}, B^{вп}, B^{\beta}\}.$$

Гладкие поверхности связаны между собой геометрическими параметрами:

$$\Pi_{out}(\Gamma_T) = f(D, t, l, \alpha), \quad (7)$$

где D – наружный диаметр трубы; t – толщина стенки трубы; l – длина заготовки трубы; α – угол изгиба змеевикового элемента.

$$\Pi_{out}(O_T) = \{D_n, D_{вн} = d_n, d_{вн}, l, \Delta, S, \beta\}. \quad (8)$$

Кроме того, каждая поверхность, независимо от расположения, обладает рядом физических, точностных и качественных параметров:

$$\Pi_j = f(\sigma_B, HB... IT... R_a...). \quad (9)$$

Если в выражение (1) подставить все последующие выкладки, то получим математическую модель змеевикового элемента, которая хорошо согласуется с теорией графов. Тогда любую конструкцию ЗЭ можно представить в виде графа, где вершинами будут поверхности, а ветвями – их физические, точностные и качественные параметры. Поскольку каждая ветвь графа включает в себя несколько параметров, то для того, чтобы каждая вершина имела ветвь, которой соответствовало бы единственное значение параметра, необходимо граф ЗЭ представить в виде многомерного графа. Этот гиперграф будет иметь ряд взаимосвязанных между собой отдельных графов меньшего порядка, количество которых соответствует максимальному количеству параметров среди рассматриваемых вершин. Следовательно, каждая отдельная конструкция представляет собой граф ЗЭ (рис. 2.) вершинами которого являются поверхности, а их ветви – физические, точностные и качественные параметры каждой рассматриваемой вершины.

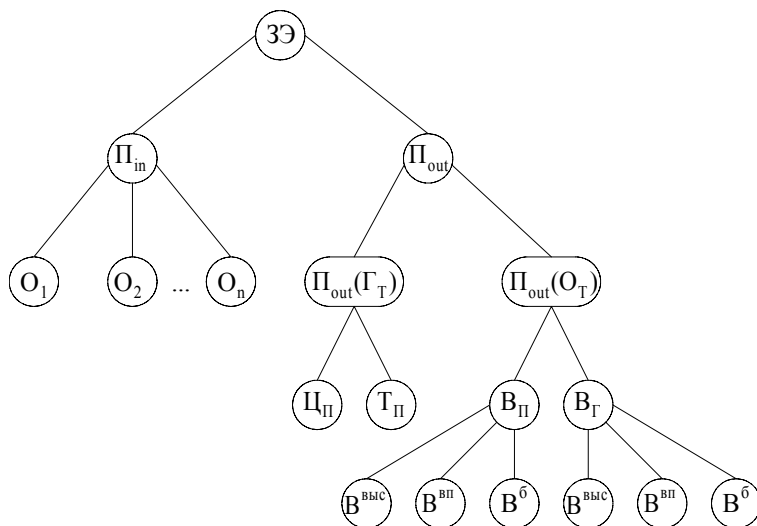


Рис. 2. Граф структуры конструкции змеевикового элемента

Структура технологии изготовления змеевикового элемента будет состоять из технологий получения отдельных поверхностей деталей и технологии сборки полученных деталей в готовое изделие.

Технология изготовления змеевиковой системы состоит из 16 операций (табл.1), и представляет собой технологический процесс, в котором задействовано 3 метода механической обработки. В каждый этап включаются однородные по характеру методы обработки различных поверхностей, выполняемых последовательно. Внутри каждого этапа формируются группы укрупненных операций для обработки основных поверхностей, устанавливается рациональная последовательность укрупненных операций одинакового ранга. Укрупненные операции дифференцируются на простые и определяется последовательность их выполнения.

На рис.3 для произвольной конструкции змеевикового элемента показано размещение промежуточных состояний элементарных поверхностей. В конструкции рассматриваемого змеевикового элемента можно выделить по одному типоразмеру прямолинейных участков оребренных труб и изгибов гладких труб. Круглые вершины графа соответствуют гладким поверхностям, а квадратные – оребренным. На каждом этапе может осуществляться обработка нескольких типоразмеров заготовок, что находит отображение в графе. Так, количество заготовок гладких труб может изменяться от 0 до i , количество заготовок труб, подлежащих оребрению – от 0 до j . Согласно табл.1 в конструкции рассматриваемого змеевикового элемента можно выделить по одному

типоразмеру прямолинейных участков оребренных труб и гибов гладких труб.

Таблица 1

Этапы производственного процесса изготовления и сборки
змеевиковой системы

Номер этапа/ операции	Наименование этапов/операций	Назначение и характеристика этапов
Э1 ПОДГОТОВКА ГЛАДКОЙ ТРУБЫ		
O1	Заготовительная	Получение заготовки
O2	Моечная	Предварительная очистка (расконсервация) заготовки
O3	Отрезная	Формирование заготовок установленной длины
O4	Гибочная	Формированиегиба трубы
O5	Отрезная	Формирование ЗЭ установленных размеров
O6	Слесарная	Подготовка торцев для последующей операции
Э2 ПОДГОТОВКА ОРЕБРЕННОЙ ТРУБЫ		
O1	Заготовительная	Получение заготовки
O2	Моечная	Предварительная очистка (расконсервация) заготовки
O3	Отрезная	Резка заготовки на мерные куски с напуском
O4	Накатная	Накатка оребрения
O5	Отрезная	Формирование заготовок установленной длины
O6	Слесарная	Подготовка торцев для последующей операции
Э3 СБОРКА ЗМЕЕВИКОВОГО ЭЛЕМЕНТА		
O1	Гальваническая	Заключительная очистка (осветление) изделия
O2	Термическая	Подогрев соединяемых деталей
O3	Сварочная	Сборка деталей в изделие
O4	Слесарная	Зачистка сварных швов, удаления наплыва металла

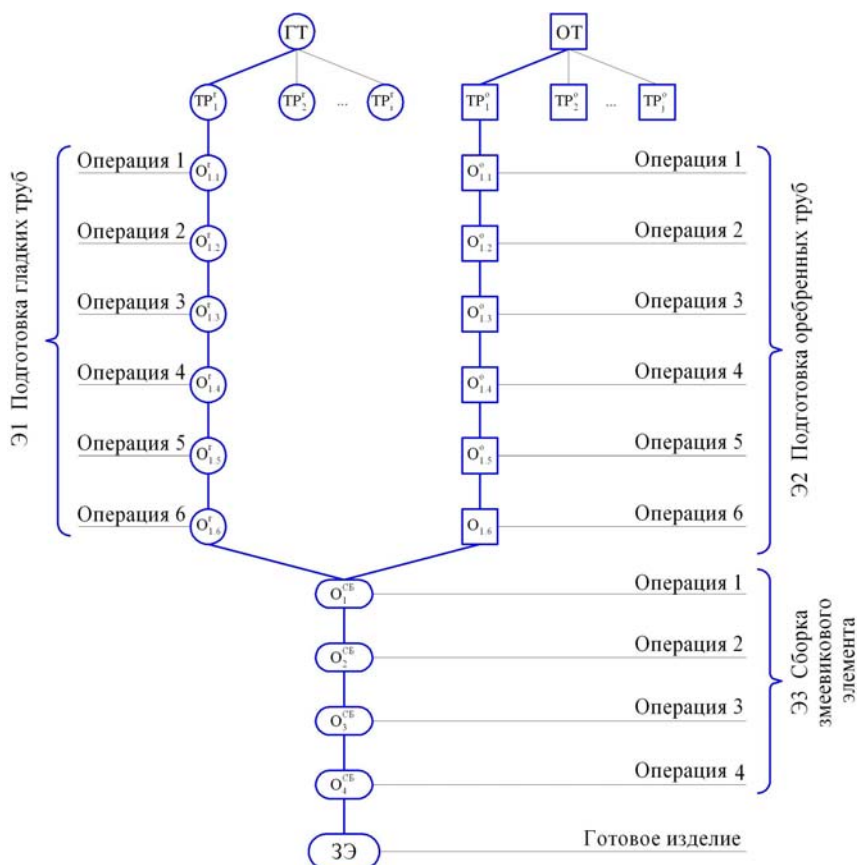


Рис. 3 Граф структуры конструкции змеевикового элемента в производственном цикле

Таким образом, змеевиковая система может состоять из нескольких змеевиковых элементов, совокупности прямых труб и змеевиковых элементов или сложного змеевикового элемента, имеющего несколько изгибов в одной или нескольких плоскостях.

На этапе синтеза рационального варианта технологии изготовления змеевиковой системы необходимо учитывать ограничения по ее реализации. Рассмотрим принцип формирования ограничений. Синтез рационального варианта (рис. 4) состоит из нескольких этапов.

Из совокупности существующих конструкций змеевиковых систем выбирается множество вариантов:

$$Z = \bigcap_{\phi \in A} z_{\phi}, \text{ где } A = \{1, 2, \dots, \psi\}.$$

На следующем этапе рассматривается совокупность существующих

комбинаций отдельных элементов, присутствующих в змеевиковой системе из которых формируется множество вариантов:

$$Q = \bigcap_{\omega \in B} q_{\omega}, \text{ где } B = \{1, 2, \dots, \zeta\}.$$

Далее, по каждому варианту комбинации элементов змеевиковой системы формируется множество способов их получения (рис. 2.13):

$$P = \bigcap_{\tau \in C} p_{\tau}, \text{ где } C = \{1, 2, \dots, \vartheta\}.$$

Следующий этап - поиск реализации данных методов средствами технологического оснащения с учетом множества вариантов существующего оборудования:

$$O = \bigcap_{\chi \in D} o_{\chi}, \text{ где } D = \{1, 2, \dots, \upsilon\}.$$

Результатом поиска является совокупность технологических процессов:

$$X = \bigcap_{\sigma \in F} x_{\sigma}, \text{ где } F = \{1, 2, \dots, l\}.$$

Формирование множества технологических процессов происходит согласно условия:

$$X = Z \cup Q \cup P \cup O.$$

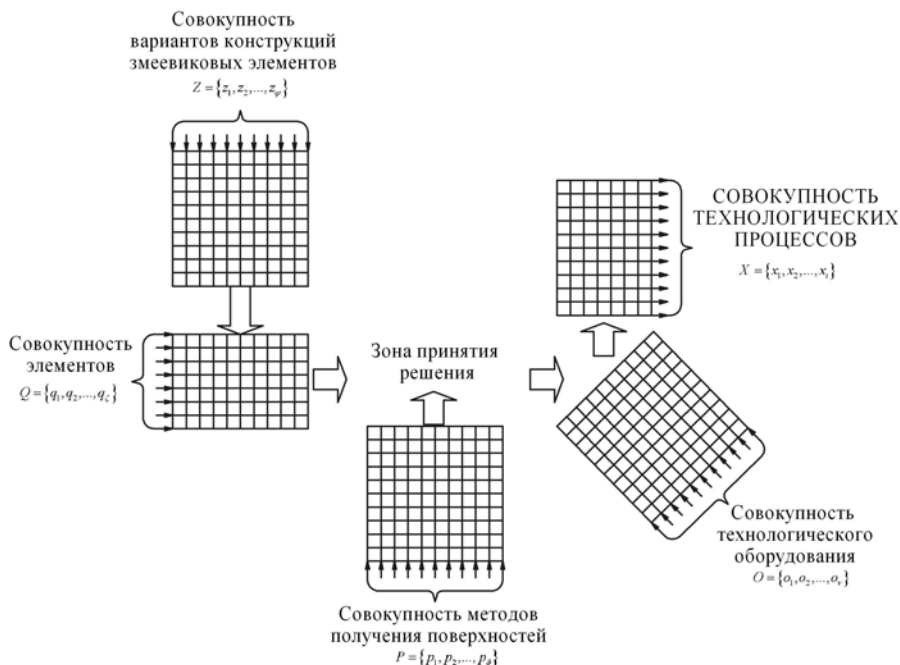


Рис. 4. Схема синтеза рационального варианта технологии изготовления змеевиковой системы

Исходя из этого возможность реализации технологической задачи можно описать выражением:

$$\exists x_{\sigma} = \left[\bigcap_{\phi \in A} z_{\phi} \right] \cup \left[\bigcap_{\omega \in B} q_{\omega} \right] \cup \left[\bigcap_{\tau \in C} p_{\tau} \right] \cup \left[\bigcap_{\chi \in D} o_{\chi} \right].$$

В качестве критерия выбора рационального варианта используется надежность изделия:

$$x^{\text{opt}} = \bigcap_{\sigma \in F} x_{\sigma} \Rightarrow N^{\text{max}}.$$

На этапе синтеза рационального варианта технологии изготовления змеевиковой системы рассматриваются все возможные варианты технологических процессов изготовления змеевиковой системы. Тот вариант технологического процесса, который останется базовым после рассмотрения всех возможных вариантов изготовления змеевиковых элементов и их сборки в змеевиковую систему и будет рациональным вариантом технологического процесса изготовления змеевиковой системы для данных производственных условий.

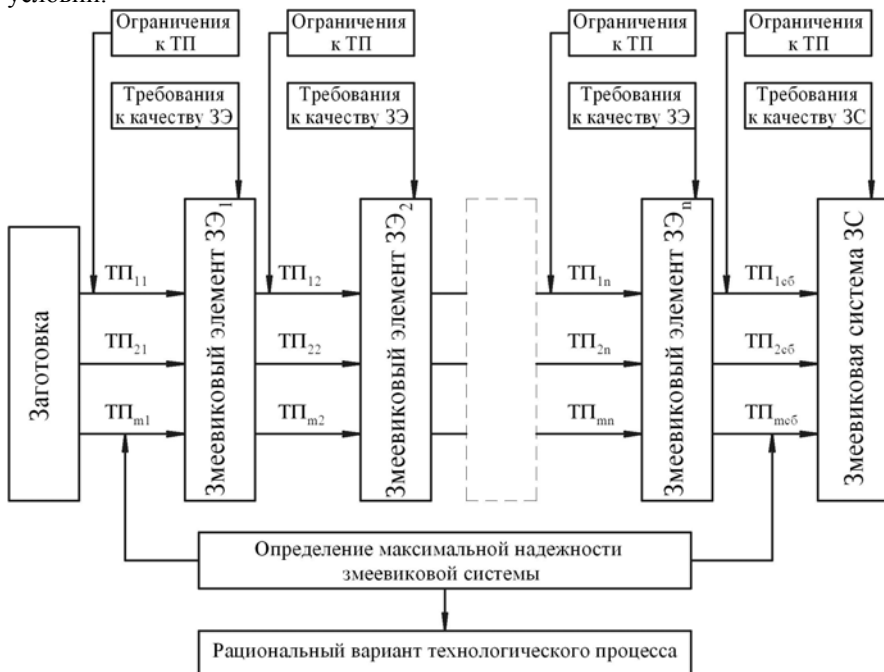


Рис. 5. Модель направленного выбора варианта технологического процесса и изготовления змеевиковой системы по максимальной надежности

Поиск рационального варианта осуществляется следующим образом. Из заготовки наиболее рациональным технологическим процессом формируется

змеевиковый элемент $ЗЭ_1$. При этом существует ряд ограничений к технологическому процессу и требований к качеству змеевикового элемента. Технологических процессов, с помощью которых можно получить слой $ЗЭ_1$ может быть несколько, поэтому выбираем в первом приближении тот технологический процесс, который обеспечивает минимальную металлоемкость змеевикового элемента. Далее изготавливается змеевиковый элемент $ЗЭ_2$, $ЗЭ_n$. При этом необходимо выдерживать требования к качеству поверхностей змеевиковых элементов и ограничения к технологическим процессам получения этих поверхностей. В конце осуществляют сборку змеевиковой системы и получают змеевиковую систему с заданными технологическими свойствами. Определяется эксплуатационная надежность змеевиковой системы и данный вариант технологического процесса принимается за базовый. После этого возвращаются на начало проектирования технологического процесса и выбирают технологический процесс получения змеевикового элемента $ЗЭ_1$, который имеет большую металлоемкость, чем в базовом варианте, учитывая ограничения к технологическим процессам и требования к качеству его поверхностей.

Рассматривается вся цепочка получения змеевикового элемента с заданными технологическими свойствами. Рассчитывается эксплуатационная надежность змеевиковой системы, полученной соответствующим технологическим процессом изготовления змеевикового элемента. Сравнивается текущая надежность с базовым вариантом. Если текущая надежность выше, то ее принимают как базовую.

Как показали теоретические расчеты, максимальной надежностью в совокупности с минимальной металлоемкостью обладают змеевиковые системы, сформированные из цельного куска оребренной трубы. Для подтверждения теоретических разработок были проведены прочностные исследования змеевиковых элементов.

На первом этапе производились аналитические расчеты на прочность гладких труб. На втором этапе проводились натурные испытания серии из 10 образцов каждого типоразмера до разрушения. На третьем этапе разработаны твердотельные ассоциативные модели труб и осуществлена имитация и расчет имитационной модели нагружения на ЭВМ. Моделирование было реализовано в системе автоматизированного проектирования SolidWorks, для анализа напряжений использовалось приложение COSMOSWorks.

Далее проводились исследования оребренных труб. Имитация нагружения оребренных труб на ЭВМ осуществлялась в два этапа. На первом этапе создавались твердотельные модели труб, аналогичные подверженным натурным испытаниям, и проверялась адекватность разработанных моделей. Поскольку отклонение экспериментальных данных от результатов, полученных на ЭВМ, лежит в пределах $\pm 5\%$, то компьютерную модель считаем адекватной и дальнейшее исследование оребренных труб проводим на ЭВМ. Для выяснения характера влияния оребрения на прочность трубы создавались твердотельные модели оребренных труб, имеющие одинаковый

внутренний диаметр и толщину стенки и отличающиеся высотой оребрения для каждого типоразмера. Трубы подвергались воздействию внутреннего давления величиной 20 МПа. При этом фиксировалось максимальное эквивалентное напряжение на стенке трубы. По результатам проведенных испытаний установлено, что оребрение оказывает подкрепляющий эффект на поверхности трубы любого типоразмера а следовательно, способствует повышению надежности змеевиковой системы в целом.

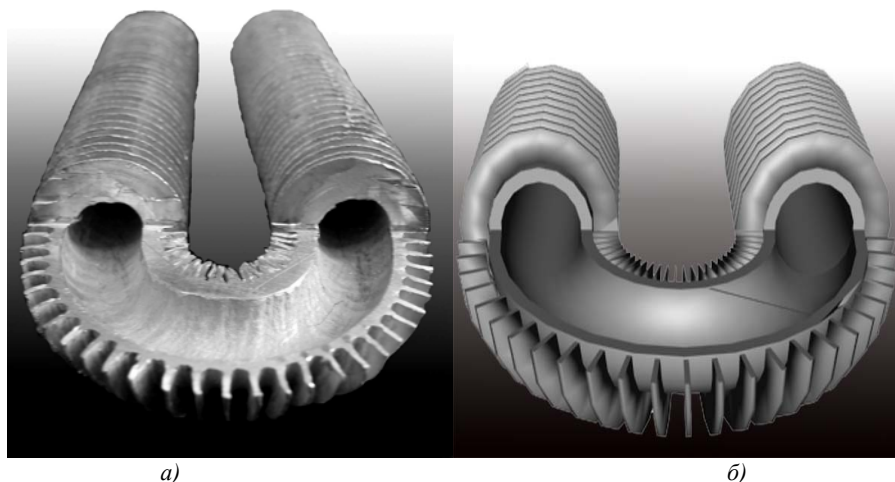


Рис. 4. Образцы змеевиковых элементов с минимальным радиусомгиба
а – фотография натурального образца; *б* – компьютерная модель змеевикового элемента

Заданные геометрические ограничения, лимитирующие по прочности змеевикового элемента, позволили установить, что при увеличении металлоемкости змеевикового элемента на 10%, за счет формирования оребрения, его прочность повышается на 30...40%. Таким образом, формирование оребрения позволяет повысить эксплуатационные характеристики змеевиковых систем и уменьшить их металлоемкость в 3...4 раза.

Список литературы: 1. Ремнев А.И., Петринный В.Н. Новая технология гибки монометаллических цельнооребранных труб из цветных металлов // Вестник национального технического университета „ХПИ“ №19, 2002. с. 7 – 14. 2. Петринный В.Н., Ремнев А.И. Оценка качества изгиба оребренных монометаллических труб для компрессорных систем теплообмена // Компрессорное и энергетическое машиностроение.- Сумы. 2007- № 3 с.67-70. 3. Гальперин А.И. Машины и оборудование для гнутья труб. Изд-е 2-е, перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1967, 182с.

Поступила в редколлегию 11.12.08

СОДЕРЖАНИЕ

О.Ф. СНИКЕЕВ, Ф.М. СВСЮКОВА, Л.О. ШИШЕНКО Моделирование исполнительного механизма поперечной подачи шлифовального круга	3
М.А. МАКСИМОВА Інтерактивні технології в дистанційному курсі 3d-графіки	8
А.Н. ШЕЛКОВОЙ, Д.В. ФЕДЕНЮК. Ускорение технологической подготовки сборочного производства на основе 3d-моделирования	11
А. А. АНДИЛАХАЙ Теоретический анализ параметров струйно-абразивной обработки деталей	15
И.Е. ИВАНОВ Структурно–параметрический анализ и синтез технологического процесса механической обработки резьбовых отверстий в горловинах баллонов	22
Л.Б. ШРОН, В.Б. БОГУЦКИЙ, В.М. МАНУЙЛЕНКО Исследование влияния условий фрикционного латунирования на параметры поверхностного слоя обработанных деталей	29
О.И. СЕРХОВЕЦ, А.Н.УШАКОВ, А.В. ФЕСЕНКО, А.В.КОТЛЯР Исследование жесткости коленчатого вала при моделировании переходных процессов в цикле круглого наружного врезного шлифования	33
А.А. ПЕРМЯКОВ, А. ЗАБАРА Об экономии электроэнергии и ее нормировании в механообработке	43
В.В. КАЛЬЧЕНКО, А.М. ЕРОШЕНКО Определение эффективности шлифования со скрещивающимися осями инструмента и детали с круговым профилем	52
А.А. ЖИЖЕВ О шлифовании валков холодной прокатки из высокохромистой стали.	57
В.Т. ЛЕБЕДЬ Технологии восстановления крупногабаритных и тяжеловесных составных изделий	62
О.В. БЛЕЗНЮК Конструкторсько-технологічний метод підвищення працездатності дискових копачів коренезбиральної машини	71
В.Б. ТАРЕЛЬНИК, Е.В. КОНОПЛЯНЧЕНКО, В.С. МАРЦИНКОВСКИЙ, И.А. ОЛЕЙНИК Новый способ обработки сопрягаемых поверхностей деталей в неподвижных соединениях	76
В. М. КОШЕЛЬНИК, Т. И. ЗАХАРЧЕНКО Эффективный двухпараметрический метод определения степени реактивности турбинной ступени	82
Ю.В. ТИМОФЕЕВ, В.А. ФАДЕЕВ, М.С. СТЕПАНОВ, С.А. НАЗАРЕНКО Обобщенная структура жизненного цикла машиностроительного производства и его изделий	86
В.В. ФРОЛОВ, Г. Н. ЖОЛТКЕВИЧ Методика расчета технологических размерных цепей с помощью искусственных нейронных сетей	96
В.Н. ПЕТРИВНЫЙ, Ю.В. ТИМОФЕЕВ Технологическое обеспечение высокоэффективного изготовления элементов и сборки агрегатов со змеевиковыми системами	101

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

ВІСНИК НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ "ХПІ"

Збірник наукових праць

Тематичний випуск

Технології в машинобудуванні

Випуск №1

Науковий редактор д-р.техн.наук Тимофієв Ю.В.

Технічний редактор канд.техн.наук Фролов В.В.

Відповідальний за випуск канд.техн.наук Обухова І.Б.

Обл.вид. №22-09

Підп.до друку 12.02.2009 р. Формат 60x84 1/16. Папір Сору Paper.
Друк-ризографія. Гарнітура Таймс. Умов. друк. арк. 9,94.
Облік.вид. арк. 10,14. Наклад 300 прим. 1-й завод 1-100. Зам. №
Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ "ХПІ"

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 116 від 10.07.2000 р.
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

Издательство: Технологический центр

Редакция «Восточно-европейского журнала передовых технологий»

Украина, 61145, г. Харьков, ул. Новгородская, 3-а

(057) 730-32-92
