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

Ministry of Education & Science, National Technical University «K harkiv Polytechnic Institute»

1'2013

ВИСОКІ ТЕХНОЛОГІЇ В МАШИНОБУДУВАННІ

HIGH TECHNOLOGIES
IN MACHINE ENGINEERING

Збірник наукових праць

Printed scientific works

Харків HTУ «XIII» – 2013 – Kharkiv NTU «KhPI»

УДК 621.91

Державне видання

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

Друкується за рішенням Вченої Ради НТУ "ХПІ", протокол №12 від 24.12.2013 р.

Редакційна колегія:

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

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

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

Високі технології в машинобудуванні: зб. наук. праць. – Харків, НТУ "ХПІ", 2013. – Вип. 1 (23). – 249 с.

В сборнике представлены научные труды, которые посвящены решению проблем в области машиностроения. Рассматриваются высоких технологий вопросы производства, современного экологически безопасного инстр у ментального оснащения, применения 3D моделирования для конструирования инструментальных и рабочих поверхностей, контроля поверхностей, полученны х помошью нанотехнологий, минимизации СОТС и др.

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

ББК 34.63

Матеріали відтворено з авторських оригіналів

ББК 34.63

УДК 621.91

УДК 621.9.015

А.И. Алиев, канд. техн. наук, Симферополь, Украина

ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ОБРАБОТКЕ В СРЕДЕ РАЗЛИЧНЫХ СОТС НА ОПЕРАЦИЯХ С ТЯЖЕЛЫМИ УСЛОВИЯМИ РАБОТЫ СИЛ ТРЕНИЯ

У статті розгля дається вплив різних мастильно-охолодних технологічних середовищ на шорст кість обробленої поверхні при різенарізуванні та розвертуванні. Показана ефективність технологічних середовищ рослинного походження відносно до МОТС звичайно використовуваних при обробці обраних матеріалів.

В статье рассматривается влияние различных смазочно-охлаждающих технологических средств на шероховатость обработанной поверхности при нарезании резьбы и развертывании. Показана эффективность технологических сред растительного происхождения по отношению к СОТС обычно используемых при обработке выбранных материалов.

The article examines the impact of various metalworking fluids for surface finish when cutting threads and deployment. The efficiency of the process fluids vegetable origin with respect to cutting fluids typically used in processing the materials selected is shown.

Использование смазочно-охлаждающих технологических средств одновременно преследует несколько целей: предупреждение чрезмерного инструмента и детали, повышение стойкости инструмента, уменьшение влияния нароста и снижение шеро ховатости обработанной поверхности, очищение зоны резания от мелкой стружки, уменьшение трения на поверхностях контакта инструмента с деталью и стружкой. Достичь этого воздействием физико-механические направленным на онжом механо химические процессы, протекающие при резании металлов, путем целенаправленного выбора основы СОТС, введения в его состав присадок с необходимым комплексом химических и механохимических свойств, оптимизации условий подачи СОТС в зону резания и т.д.

Особое место среди различных действий СОТС занимает смазочное. От смазочного действия зависят контактные напряжения на рабочих поверхностях инструмента, удельная работа резания, нагрузки на технологическую систему СПИЗ, пластическая деформация обрабатываемого материала, качество поверхности и интенсивность износа режущего инструмента.

Смазочное действие обусловлено тем, что СОЖ, проникая в зону контакта инструмента со стружкой и обрабатываемой деталью, изменяет условия контакта, активно воздействуя на протекающие в этой зоне процессы трения и пластической деформации.

Условия трения на рабочих поверхностях режущего инструмента напрямую сказываются на качестве обработанной поверхности [1]. В особенности это проявляется при несвободном резании, каким и является процесс резьбонарезания.

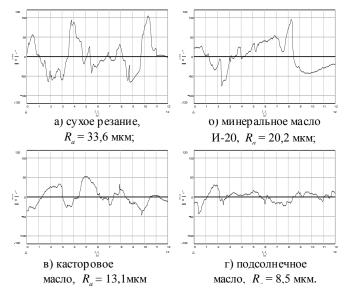
Эксперименты по свободному точению [2], подтвердили состоятельность методики выбора эффективных технологических сред на основании результатов моделирующих опытов по трению. Однако в реальных производственных условиях может иметь место некоторая расхожесть полученных данных. Поэтому, с целью определения их соответствия, на ПАО НПО "Йодобром", изготовляющем оборудование для химической промышленности в технологических процессах развертывания отверстий диаметром 34 мм во втулках и нарезания наружной резьбы М12 на шпильках из стали 08Х18Н10Т и титанового сплава ВТ1-0 были применены рассматриваемые нами технологические среды, в том числе и растительного происхождения [3].

Подача смазочно-охлаждающих технологических средств в зону резания осуществлялась с помощью дозирующего устройства фирмы "STEIDLE", обеспечивающего технику минимальной смазки (ТМС). Развертывание отверстий осуществлялось машинными развертками из стали Р6М5К5 на режимах, рекомендованных обработке при указанны х (v=2,7 м/мин, S=0,2 мм/об, t=0,05 мм). Необходимо отметить, что на операции развертывания, когда температура недостаточно высокая для диффузионного износа и деформация достигает значительной величины, доминирующее значение приобретает адгезионный износ. Действие адгезионного износа неразрывно связа но с образованием нароста. Периодически образуемый и срываемый с рабочих поверхностей инструмента нарост отражается на качестве обработанной поверхности. Поэтому, на операции развертывания в производственных условиях критерием эффективности СОТС будет служить шероховатость обработанной поверхности.

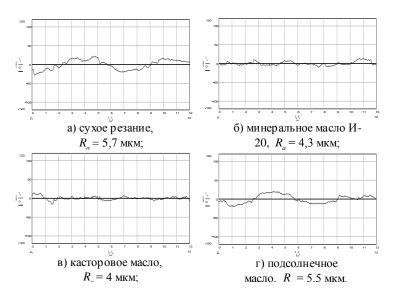
Нарезание резьбы производилось резцами из быстрорежущей стали P6M 5K5, что позволило ограничить влияние случайных факторов, имеющих место при нарезании резьбы другими резьбонарезными инструментами.

На рис. 1 приведены результаты измерений шеро ховатости повер хности резьбового профиля шпилек из стали 08X18H10T, полученные по результатам производственных испытаний. Наибольшую шеро ховатость имеет поверхность резьбового профиля после сухого резания. Меньшие значения (по R_a на 40%) получены при резании в среде минерального масла. Растительные масла снизили значения шеро ховатости в еще большей степени — в среде касторового и по дсолнечного масел соответственно в 3 и 4 раза.

Из профилограмм поверхности резьбового профиля, полученных после проведения производственных исследований шпилек из титанового сплава ВТ1-0 (рис. 2) видно, что влияние сред на снижении шероховатости существенно не сказалось. Во всех средах, включая сухое резание, были получены практически идентичные значения шероховатости по параметру R_a .



Рису нок 1 — Шероховатость поверхности резьбового профиля шпилек из стали 08X18H10T



Рису нок 2 — Шероховатость поверхности резьбового профиля шпилек из титанового сплава BT1-0

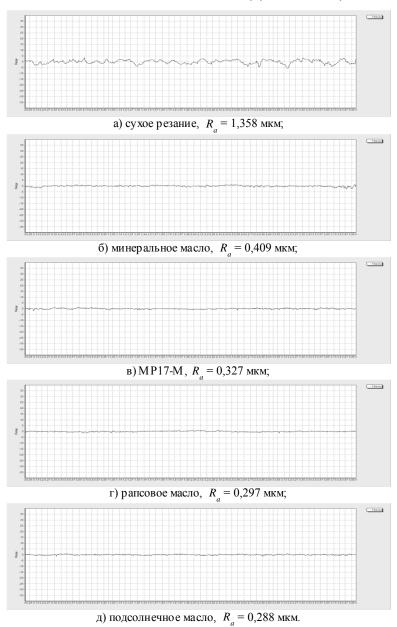
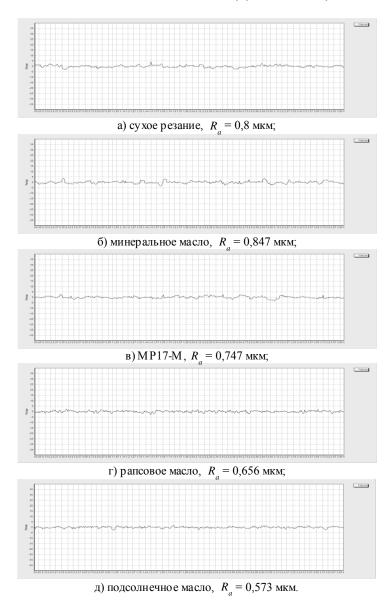


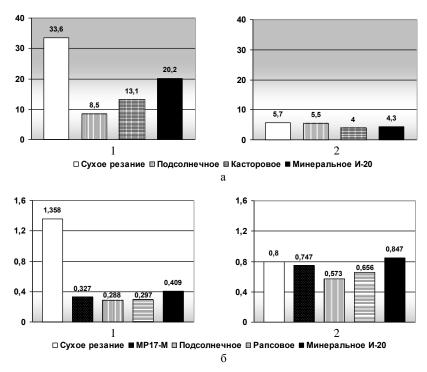
Рисунок 3 — Шероховатость развернутой поверхности втулок из стали 08X18H10T



Рису нок 4 — Шер оховатость развер ну той повер хности втулок из титанового сплава ВТ1-0

В качестве показателя эффективности смазочных сред при развертывании нами была принята шероховатость обработанной поверхности. На рисунках 3 и 4 представлены профилограммы, полученные при развертывании втулок из стали 08X18H10T и титанового сплава ВТ1-0 соответственно.

При обработке стали рассматриваемые СОТС значительно снизили значения параметра шероховатости R_a относительно резания всухую, а подсолнечное и рапсовое масла, хоть и незначительно, превзошли не только минеральное масло И-20, но и промышленную масляную СОТС МР17-М. В дополнение можно отметить, что извлечение развертки из отверстия, обработанного в среде подсолнечного масла, происходило с легкостью, в то время как при извлечении инструмента из отверстий, развернутых с подачей других технологических сред, прикладывались определенные усилия.



Рису нок 5 — Значения параметра шероховатости R_a при обработке с применением СОТС: а) — нарезание резьбы, б) — развертывание; 1) — коррозионностойкая сталь 08X18H10T, 2) — титановый сплав BT1-0

Развертывание отверстий во втулках из титанового сплава показало ухудшение качества обработанной поверхности в среде минерального масла И-20 относительно резания всухую, что свидетельствует об усилении алгезионных процессов отмеченном ранее в экспериментах по трению. Растительные же масла ощутимо снижают шероховатость. Для лучшего восприятия различия в шероховатости обработанных поверхностей результаты измерения на обеих технологических операциях представлены в ввиде гистограмм (рис. 5).

Таким образом, наблюдаемая корреляция результатов производственных испытаний с результатами моделирующих экспериментов позволяет предполагать, что определение эффективности масляных сред с позиций их влияния на адгезионное взаимодействие обрабатываемого и инструментального материалов, может служить критерием выбора основы СОТС.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

- применение техники минимальной смазки (ТМС), значительно сокращающей расход смазочного материала, не снижает эффективности растительных масел и обеспечивает необходимое качество обработанной поверхности. В большей степени (до 40%) снижение шеро ховатости обработанной поверхности отмечается при обработке сталей;
- усиление адгезионных процессов, наблюдаемое при трении контактной пары P6M 5K5 BT1-0 в среде минерального масла, на ходит свое отражение на операции развертывания, приводя к ухудшению качества обработанной поверхности по отношению к резанию без применения технологических сред;
- использование растительных масел в качестве технологических сред на операциях, протекающих в условиях выраженного адгезионного износа (резьбонарезание, развертывание) указывает на их конкурентоспособность не только с минеральными маслами, но и с традиционно применяемыми масляными СОТС.

Список исполь зованных источников: 1.Сукайло В.А. Сравнение и анализ влияния чистых и традиционных видов охлаждения на качество поверхностного слоя детали / В.А. Сукайло, Н.В. Верезуб, Я. Кундрак, Т. Эммер // Высокие технологии в машиностроении : сборник научных трудов НТУ "ХПИ". — Х., 2000. — Вып. 1. — С. 249—251. 2. Алиев А.И. Исследование влияния СОТС растительной природы на составляющие силы резания / Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. — Симферополь: НИЦ КИПУ, 2011. — С. 42—46. 3. Алиев А.И. Оценка эффективности растительных масел по адгезионным характеристикам контакта / А.И. Алиев, Ф.Я. Якубов, А.С. Вавулицкий // Сучасні технології у машинобудуванні: До ювілею Ф.Я. Якубова. 36. наук. статей. — Харків: НТУ «ХПІ», 2007. — С. 17—22. 4. Лапышев В.Н. Исследование механохимических процессов и эффективности применения смазочных сред при трении и обработке металлов: автореф. на соискание ученой степени доктора техн. наук: спец. 05.03.01 "Процессы механической и физико-технической обработки, станки и инструмент" / В.Н. Латышев. — М.: 1973. — 412 с.

Поступила в редколлегию 29.06.2013

УДК 621.923:621.90.17

С.М. Братан д-р техн. наук, Ю.К. Новоселов д-р техн. наук, Н.Н. Столяров, Севастополь, Украина

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА ЗА ПЕРИОД ЕГО СТОЙКОСТИ

Стаття присвячена розробці залежностей, які дозволяють прогнозувати зміну числа та розподілу зерен по глибині інструменту за період його стійкості. Наведені результати експериментальних досліджень з оцінки адекватності запропонованих моделей.

Статья посвящена разработке зависимостей, позволяющих прогнозировать изменение числа и распределение зерен по глубине инструмента за период его стойкости. Приведены результаты экспериментальных исследований по оценке адекватности предложенных моделей.

The article proposes model of the variation of the number and distribution of the grains in the abrasive tool. Also there are the results of experimental studies for checking the adequacy of the proposed models.

Рабочая поверхность абразивного инструмента при системном анализе может рассматриваться как совокупность базовых участков, объединенных в единую конструкцию. Ее моделирование сводится к формализации параметров состояния базовых участков и формы инструмента.

Описание базового участка рабочей поверхности абразивного инструмента предусматривает определение геометрических размеров, числа и распределения режущих кромок. Существующие методики позволяют оценивать эти параметры по характеристике круга и режиму его правки. Экспериментальные исследования свидетельствуют о значительном изменении формы, числа, распределения кромок за период стойкости инструмента [1].

Изменение формы режущих кромок связано с их износом и разрушением. Выполненными ранее исследованиями установлено, что в плоскости, перпендикулярной вектору скорости резания, в процессе работы инструмента увеличивается радиус закругления при вершине зерна, в плоскости, параллельной - на вершине появляется площадка износа.

На основании вышеизложенного, целью данной статьи является разработка зависимостей, позволяющих прогнозировать изменение числа и распределение зерен по глубине инструмента за период его стойкости.

Текущий радиус-вектор $R_{\scriptscriptstyle 3}(\varphi,\tau)$ точек контура зерна при отсутствии

микросколов вычисляется по его исходному значению $R_{_3}(\varphi,0)$ и величине износа $h_{_3}(\varphi,\tau)$

$$R_3(\varphi,\tau) = R_3(\varphi,0) - h_3(\varphi,\tau)$$
. (1)

Ис ходный радиус-вектор, по данным А.В. Королева [2], является случайной функцией полярного угла φ

$$R_3(\varphi,0) = r_3 + \sum_{k=2}^{p} (x_k \sin \omega_k \varphi + y_k \cos \omega_k \varphi) , \qquad (2)$$

где: r_3 – радиус средней окружности профиля, определяемый как среднее значение функции $R_3(\varphi,0)$;

 x_k и y_k — случайные некоррелированные амплитуды, соответствующие k -той гармонике и имеющие равные дисперсии;

 ω_k – произвольно выбранная частота.

Элементарное приращение величины износа, в направлении полярного радиуса при движении вершины зерна в зоне контакта заготовки с инструментом, может быть принято пропорциональным относительному износу h_0 и приращению длины пути резания L_p

$$dh_{3}(\varphi,\tau) = h_{0}dL_{p} = h_{0}(v_{\kappa} \pm v_{u})P_{\kappa}(\varphi,\tau)d\tau, \qquad (3)$$

где: $P_{\kappa}(\varphi,\tau)$ - вероятность контакта точки контура с материалом заготовки.

Вершина абразивного зерна может рассматриваться в общем, его профиле, как один из выбросов случайного поля. Текущий радиус закругления при вершине зерна $\rho_3(\tau)$, согласно выводам работы [3], может быть вычислен по зависимости

$$\rho_{3}(\tau) = \frac{\left[R_{3}^{2}(\varphi, \tau) + R_{3}^{\prime 2}(\varphi, \tau)\right]^{\frac{3}{2}}}{R_{3}^{2}(\varphi, \tau) + 2R_{3}^{\prime 2}(\varphi, \tau) - R_{3}(\varphi, \tau)R_{3}^{"}(\varphi, \tau)}.$$
(4)

При моделировании вершины зерна параболоидом вращения, зависимость (3), профиль изношенного зерна в плоскости, перпендикулярной вектору скорости резания также может быть представлен в виде параболоида. Это утверждение подтверждено экспериментальными и теоретическими исследованиями, выполненными в работе [4]. Ширина режущей кромки изношенного зерна вычисляется по зависимости

$$b_{3\tau} = C_b (\frac{t_{\phi} - u}{t_{\phi} - u - h_3})^m h_{\tau}^m , \qquad (5)$$

где: h_{τ} – координата точки профиля зерна от его изношенной вершины.

Профиль вершины изношенного зерна в плоскости, перпендикулярной вектору скорости резания, однозначно определяется глубиной микрорезания и износом вершины абразивного зерна.

В плоскости, параллельной вектору скорости резания, размер площадки износа вычисляется [3]:

$$l_{3} = C_{b} \sqrt{(h_{x} + h_{3})^{2m} - \left(\frac{t_{\phi} - u}{t_{\phi} - u - h_{3}}\right)^{2m} h_{x}^{2m}},$$
 (6)

где: h_x — координата точки профиля зерна от его цента в направлении, перпендикулярном вектору скорости резания.

При подстановке частных значений коэффициентов в (4) ($C_b = 2\sqrt{2\rho}$, m=0.5) вычисляется текущий радиус закругления при вершине зерна

$$\rho_3(\tau) = \frac{\rho_3(0)t_{\phi}}{t_{\phi} - h_3} \,. \tag{7}$$

Величина площадки износа в направлении вектора скорости резания, соответственно определяется по зависимости

$$l_3 = 2\sqrt{2\rho_3(0)h_3} \ . {8}$$

Для оценки адекватности полученных зависимостей выполнены экспериментальные исследования в лаборатории обработки материалов резанием Мелитопольского моторного завода. В связи с тем, что проверялась геометрическая модель формы зерна, выбор обрабатываемого материала и индентора не имел принципиального значения. В качестве инденторов использовали конуса из стали 40Х HRC 55...60, быстрорежущей стали Р6М 5, твердого сплава Т15К6 с формой вершин в виде параболоида вращения. С целью получения заданной формы, вершины обрабатывались по шаблону на оптико-шлифовальном станке.

В качестве образцов применяли алюминиевые (АЛ-6) заготовки и заготовки из стали 45 (HRC 45-50) с размерами рабочей части 60мм x 120 мм. Поверхность образца c целью получения исходной шеро ховатости обрабатывали точением резьбовым резцом на токарном станке, затем образцы устанавливали на оптический профилешлифовальный станок 395-МФ10 и на их поверхности резцом, закрепленным на диске, наносили риски до получения неравномерной нерегулярной поверхности. Таким образом, индентор работал по шероховатой поверхности. Испытания проводили при скорости перемещения индентора 33 м/с, скорости вращения образца 20 м/мин, глубине резания $t_{\phi} = 1,25H$, где H – глубина слоя, в котором Профили инденторов распределена шеро ховатость повер хности.

зарисовывали и фотографировали с экрана оптического профилешлифовального станка через заданные промежутки времени. Сравнение расчетных и экспериментальных размеров профилей, в плоскости перпендикулярной скорости резания (длины площадки износа) и в плоскости параллельной скорости резания, приводятся в таблице 1.

Таблица 1 – Расчетные (7), (8) и экспериментальные размеры профилей вершин абразивных зерен

Материал детали	Материал индентора	Время работы индентора, с	Расстояние до вершины, мкм	Размер площадки износа, мкм		Ширина профиля, мкм	
				Эксп.	Расчет	Эксп.	Расчет
АЛ-6	P6M5	600 h ₃ = 50 мкм	20 40 80	280 360 520	270 372 493	340 340 340	335 335 335
АЛ-6	40X	0 h₃=0 мкм	20 60 80	220 320 360	196 324 370	0 0 0	0 0 0
		10 h₃=60 мкм	20 40 80	250 340 500	260 358 491	320 320 320	325 325 325
		20 h ₃ =100 мкм	20 40	280 360	384 527	400 400	410 410
Сталь 45	T15K6	0 h ₃ =0 мкм	20 40 60 80	290 400 500 570	281 402 498 578	0 0 0 0	0 0 0
		15 h ₃ =20 мкм	20 40 60 80	320 460 560 630	316 453 559 649	310 310 310 310	281 281 281 281
		60 h₃=50 mkm	20 40	420 580	403 578	500 500	453 453

Анализ полученных данных, свидетельствует о возможности использования приближенных зависимостей (5) и (6) для расчета параметров формы абразивного зерна при его износе.

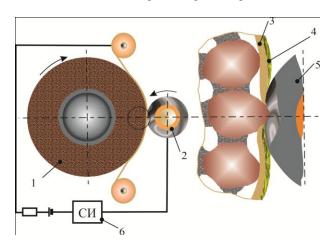
Число режущих кромок на базовом участке рабочей поверхности инструмента может быть определено экспериментально и аналитически.

При экспериментальных исследованиях применяют методы непосредственного подсчета числа кромок с помощью оптических приборов,

методы, основанные на регистрации импульсов от термопар, установленных в деталь, методы подсчета числа отпечатков на фольге, бумаге, стекле и т.д.

По данным А. Н. Резникова [1], наиболее близкий результат по количеству активных зерен дает метод прокатки круга по фольге, толщина которой должна быть равна глубине резания. Недостатком метода, как и других, ранее перечисленных, является высокая трудоемкость, связанная с необходимостью визуального подсчета количества отпечатков, оставшихся на фольге. Наиболее перспективными способами контроля рабочей поверхности инструмента являются способы сканирования.

Схема одного из таких способов рассмотрена на рис. 1.



Рисункок 1 — Схема экспресс-метода определения числа зерен на рабочей поверхности инструмента:
1 — абразивный инструмент, 2 — оправка, 3 — фольга,
4 — изолирующее покрытие, 5 — токопроводный ролик, 6 — счетчик импульсов

Сущность способа заключается в автоматическом подсчете числа электрических импульсов, возникающих при прокатывании фольги 3 с изолирующим покрытием 4 между рабочей поверхностью инструмента 1 и специальным роликом 2. Фольга и пластина 5 ролика подключаются к источнику тока. В момент прохождения вершиной зерна зоны контакта, она, вдавливаясь в материал фольги, разрывает изолирующую пленку и замыкает электрическую цепь. В момент выхода вершины зерна из зоны электрическая цепь разрывается. Новый электрический импульс возникает при прохождении зоны следующим абразивным зерном. Импульсы регистрируются либо электронным счетчиком импульсов, либо ЭВМ. Число абразивных зерен на

единицу поверхности инструмента вычисляется по числу зафиксированных импульсов и площади участка сканирования.

Точность определения числа режущих кромок рассмотренным способом зависит от возможности наложения отдельных электрических импульсов и обеспечивается за счет выбора конструктивных параметров регистрирующей пластины ролика.

Вероятность наложения импульсов будет совпадать с вероятностью события, заключающегося в том, что расстояние между двумя соседними кромками по длине участка сканирования будет меньше или равно длине контакта. При диаметре ролика 30 мм, толщине пластины 0,1 мм вероятность наложения импульсов для абразивных инструментов зернистостью 25 равна 0,052, т. е. погрешность измерения числа зерен составляет около 5%.

Результаты экспериментального определения числа кромок на рабочей поверхности шлифовальных кругов 1 300X40X127 24A25HCM2K по предложенному способу и по отпечаткам на фольге приведены в таблице 2.

Таблица 2 — Число режущих кромок на рабочей поверхности шлифовального круга 1 300x40x127 24A25HCM2K

Способ определения числа кромок	№ замера	Длина трассы сканирования, мм	Количество импульсов, отпечатков	Расчетное число кромок мм ² повер хности круга
По количеству электр ических импульсов	1	200	68	3.4
	2	200	64	3.2
	3	200	72	3.6
	Cp.	200	68	3.4
По молимостьи	1	200	71	3.5
По количеству отпечатков на	2	200	69	3.4
фольге	3	200	74	3.7
	Cp.	200	71	3.5

Аналитические зависимости для расчета числа зерен на рабочей поверхности инструмента приводятся в работах [3,4]. В основе вычислений лежит определение числа зерен, содержащихся в единице объема, по размерам зерен и структуре инструмента. В работе [3], кроме того, учитывается режим правки инструмента.

В процессе шлифования число режущих кромок на рабочей поверхности инструмента не остается постоянным. При каждом контакте с заготовкой часть зерен будет разрушаться, а часть вырываться из связки круга. Одновременно, в работу будут вступать новые кромки, лежащие в более

глубоких слоях инструмента, так как диаметр инструмента уменьшается за счет износа. Учитывая эти процессы, вычислим число активных режущих кромок рабочей поверхности инструмента после i-го контакта

$$n_{3i} = n_{3i-1} + z_{3i} - n_{3i-1} \cdot P_{pi}, (9)$$

где: n_{3i-1} и n_{3i} — число зерен после i-1-го и i-го контактов; z_{3i} — число зерен, появляющихся на поверхности при износе круга; P_{pi} — вероятность разрушения и вырывания зерна при i-ом контакте.

В общем случае n_{3i} зависит от числа зерен на поверхности после правки n_{30} , закона распределения зерен по глубине инструмента, радиального износа круга, прочности закрепления зерен, сил резания, возникающих в зоне контакта, ко торые являются случайными величинами.

Уравнение (9) справедливо для дискретного процесса, когда поверхность круга контактирует с заготовкой периодически, например один раз за оборот круга. При постоянном контакте заготовки с инструментом (суперфиниширование, хонингование и т.д.) рассмотрим непрерывный процесс $n_{3\tau}$.

В предположении, что в работу вступают все абразивные зерна, лежащие в слое толщиной ΔR , равной величине износа инструмента, число режущих кромок на единице его поверхности в момент времени t может быть определено как:

$$n_{3\tau} = n_{30} - \int_{0}^{t} S_n d\tau + n_{30} \cdot \int_{t_{\phi}}^{t_{\phi} + \Delta R(t)} f(u) du, \qquad (10)$$

где: S_n — скорость уменьшения общего числа режущих кромок; f(u) — функция плотности распределения зерен по глубине; n_{30} число зерен, появляющихся на повер хности после правки;

В процессе работы круга, вследствие износа зерен происходит изменение уровня u, как следствие износа наиболее выступающих $h_3(0)$, так и вследствие износа остальных зерен рассматриваемого слоя с рабочими кромками $h_3(u')$.

Скорость износа вершины выступающего зерна $dh_{_{3u}}/d au$ характеризуется зависимостью

$$\frac{dh_{3u}}{d\tau} = R \nu_k h_{omn} \cdot \int_0^{2\pi} P(\overline{M}) d\varphi , \qquad (11)$$

где: h_{omn} — величина относительного износа зерна; $P(\overline{M})$ — вероятность неудаления материала; R — радиус круга; v_k — частота вращения круга.

В свою очередь скорость уменьшения S_n общего числа режущих кромок n_{st} пропорциональна вероятности разрушения каждой из кромок P_p при единичном контакте обрабатываемой поверхности с абразивным кругом и числу таких контактов за единицу времени [2]:

$$S_n = P_p \cdot n_{3t} \cdot \nu_k \,, \tag{12}$$

где: P_p – вероятность разрушения каждой из кромок.

В то же время в процессе износа инструмента в работу с некоторой вероятностью могут вступать новые режущие кромки. Эта вероятность $P(\xi \leq u)$ определяется пределом отношения числа режущих кромок $n_3(u)$, находящихся в слое между уровнем и и наружной поверхностью инструмента, к общему числу зерен $n_3(H)$ участка поверхности S [3]:

$$P(\xi \le u) = \lim_{s \to \infty} \frac{n_3(u)}{n_3(H)},\tag{13}$$

где: H — рабочий слой инструмента, в пределах которого производится подсчет числа зерен; ξ — расстояние от условной наружной поверхности инструмента до уровня u.

Для анализа влияния износа, на функцию распределения режущих кромок используя методику, предложенную в работе [4] выделим на поверхности круга после правки и после износа за время τ слои с одинаковым числом вершин режущих кромок. Для этого достаточно переместить условную наружную поверхность на величину износа наиболее выступающих зерен $h_3(0)$, а уровень и на величину износа кромок этого уровня $h_3(u')$ (рис. 2.).

Координату уровня от новой условной поверхности инструмента при этом обозначим u^\prime

$$u' = u + h_3(u') - h_3(0). (14)$$

Если разрушение зерен отсутствует, то функция плотности распределения не претерпевает изменения, т.е.

$$F_{\mathcal{E}'}(u') = F_{\mathcal{E}}(u) . \tag{15}$$

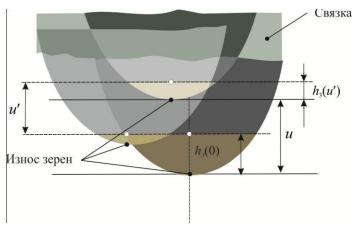


Рисунок 2 — Схема изменения состояния зерен круга в результате износа режущих кромок

Совместное использование (15) и (14) позволяет записать интегральную функцию плотности вероятности распределения режущих кромок в виде

$$F_{\xi'}(u') = F_{\xi}(u' + h_3(0) - h_3(u')) . \tag{16}$$

Дифференциальную функцию плотности вероятности распределения зерен по глубине абразивного круга можно получить непосредственным дифференцированием зависимости (16) и после применения (15) к правой части полученного соотношения получить:

$$f_{\xi'}(u') = f_{\xi}(u) \left[1 - \frac{d(h_3(u'))}{d(u')} \right]. \tag{17}$$

Если величина износа режущих кромок пропорциональна расстоянию H-u', т.е. $h_3(u')=C_h(H-u')\tau$, а плотность распределения после правки моделируется степенной зависимостью вида

$$f_{\xi}(u) = C_f u^{\chi - 1}, \tag{18}$$

где: $C_{h,}C_{f}$ и χ — коэффициенты и показатель степени зависимостей, то плотность распределения изношенного инструмента с учетом (18) вычисляется

$$f_{\xi}(u) = C_f \left[u' + C_h (H - u')\tau - h_3(0) \right]^{\chi - 1} \left(1 + C_h \tau \right). \tag{19}$$

В соответствие с (10) вероятность увеличения числа зерен в рабочем слое инструмента определяется интегрированием по u' (19) в пределах от t_{ϕ} до $t_{\phi} + \Delta R(\tau)$

$$P(t_{\phi}) = \frac{C_{f} (1 + C_{h}\tau)((t_{f} - C_{h}\tau(t_{f} - h_{3}(0) + H))^{\chi} - (t_{f} - C_{h}\tau(t_{f} + H) - h_{3}(0))^{\chi}}{(1 - C_{h}\tau)\chi} = \frac{C_{f} (1 + C_{h}\tau)((t_{f} + C_{h}\tau(\Delta r + h_{3}(0)))^{\chi} - (t_{f} - \Delta r C_{h}\tau - h_{3}(0))^{\chi}}{(1 - C_{h}\tau)\chi}.$$
(20)

В выражении (20) помножив $P(t_{\phi})$ на n_{30} , получим математическую модель для расчета количества режущих кромок в рабочем слое инструмента:

$$n_{S_p} = \frac{n_{30}C_f (1 + C_h \tau)((t_f - C_h \tau (t_f - h_3(0) + H))^{\chi} - (t_f - C_h \tau (t_f + H) - h_3(0))^{\chi}}{(1 - C_h \tau)\chi} = \frac{n_{30}C_f (1 + C_h \tau)((t_f + C_h \tau (\Delta r + h_3(0)))^{\chi} - (t_f - \Delta r C_h \tau - h_3(0))^{\chi}}{(1 - C_h \tau)\chi}.$$
 (21)

Скорость прироста числа зерен может быть определена непосредственным дифференцированием по времени соотношения (21):

$$S_{P} = (A_{1}^{\chi} - A_{2}^{\chi})(A_{3}(1 + \frac{(1 + C_{h}\tau)}{(1 - C_{h}\tau)}) + A_{3}(1 + C_{h}\tau) \times (\chi A_{1}^{\chi-1}((A_{2}^{\chi-1} - 1)\Delta r - h_{3}(0))),$$
(22)

где:
$$A_1 = t_{\phi} + C_h \tau (h_3(0) - \Delta r)$$
; $A_2 = t_{\phi} - h_3(0) - \varDelta r C_h \tau$; $A_3 = \frac{n_3(0) C_f C_h}{\chi (1 - C_h \tau)}$; $\Delta r = t_{\phi} - H$.

Общая скорость изменения числа зерен в соответствие с (11), (12), (22) характеризуется системой дифференциальных уравнений вида

$$\begin{cases}
\frac{dn_{3}(\tau)}{d\tau} = S_{p} - S_{n} \\
\frac{dh_{3u}}{d\tau} = Rv_{k}h_{omn} \cdot \int_{0}^{2\pi} P(\overline{M})d\varphi
\end{cases}$$
(23)

с начальными условиями: $n_3(0) = n_{30}$, $h_{3u} = 0$ при $\tau = 0$.

Вышеприведенные соотношения должны учитываться при построении циклов управления операциями, в соответствие с методиками оценок

динамических параметров технологических систем [3] при обработке деталей шлифованием.

На рис. 3 приведены расчетные кривые изменения числа кромок при круглом наружном шлифовании стальных образцов кругами 1 300X40X127 различной твердости.

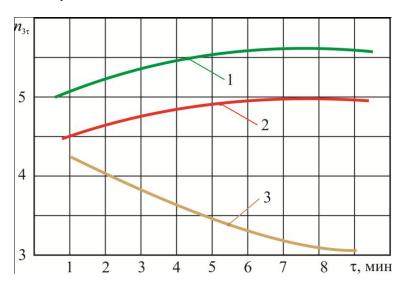


Рисунок 3 — Изменение числа режущих кромок на единице поверхности круга $1~300X40X127~\text{при вероятности разрушения кромок:} \\ 1-P_p=0,00005, 2-P_p=0,0001, 3-P_p=0,0013$

Кругам средней мягкости (СМ1-СМ2) соответствуют большие значения вероятности разрушения кромок, твердым кругам (СТ1-СТ2) — меньшие значения. С увеличением времени работы инструмента для мягких кругов (кривая 3) наблюдается уменьшение числа режущих кромок на рабочей поверхности инструмента, для твердых кругов (кривая 1) — незначительное (5-8%) увеличение числа кромок. При работе в режиме затупления увеличение числа кромок происходит за счет их появления из более глубоких слоев инструмента.

В таблице 3 приводятся значения $n_3(\tau)$, рассчитанные по зависимости (22) при $n_{30}=5.2\cdot10^6$ 1/м²; $P_p=0.1$ и 0.01; $\upsilon_{\kappa}=32\,$ 1/c.

Время работы	Расчетные значения $n_3(\tau)$		
инструмента, τ, с	$P_p = 0.1$	$P_p = 0.01$	
0.25	4.4388	4.9539	
0.50	2.6461	4.7267	
1.00	2.1306	4.3235	
2.00	2.0054	3.6877	
4.00	2.0000	2.8896	
8.00	2.0000	2.2474	
16.00	2.0000	2.0191	

Таблица 3 – Значения $n_3(\tau)$, полученные по зависимости (22)

Рассмотренные данные указывают на существенное изменение числа зерен на рабочей поверхности инструмента в процессе шлифования. Для рассмотренного примера оно составляет до 250%, что вызывает необходимость учета этих изменений при расчете параметров процесса. Отклонения увеличиваются с повышением интенсивности процесса шлифования.

В качестве примера в таблице 4 приводятся расчетные данные по изменению числа режущих кромок в рабочем слое инструмента для двух вариантов: а) износ инструмента происходит за счет износа режущих кромок без разрушения и вырывания зерен; б) при работе инструмента - кроме износа наблюдается разрушение режущих кромок и вырывание зерен из связки круга. Для анализа в рабочем слое инструмента выделен слой толщиной 1 мкм на расстоянии $u=t_{\phi}$ от его наружной поверхности. Расчеты выполнены для процесса круглого наружного врезного шлифования закаленных образцов диаметром 50 мм кругами диаметром 300 мм с фактической глубиной микрорезания $t_{\phi}=20\cdot 10^{-6}\,\mathrm{m}$. Радиальный износ круга принят равным $\Delta R=1\cdot 10^{-6}\,\mathrm{m}$, число режущих кромок в выделенном слое - $n_{3o}=70$ ($1/\mathrm{m}^2\mathrm{mkm}$). При вычислении координат слоя по глубине учтено, что при каждом контакте условная наружная поверхность смещается к центру круга на величину радиального износа.

Сопоставление полученных результатов подтверждает высказанную гипотезу о существенном изменении законов распределения режущих кромок по глубине инструмента в процессе шлифования. При работе круга в режиме самозатачивания наблюдается уменьшение их числа в слоях близлежащих к условной наружной поверхности инструмента, при работе в режиме затупления, наоборот — их увеличение. Рассмотренные зависимости позволяют прогнозировать изменение распределения, что повышает точность

моделей взаимодействия инструмента и заготовки. Однако данные модели не учитывают воздействия возмущающих факторов, которые могут оказывать существенное влияние на выходные показатели процесса шлифования. Учет вышеуказанных факторов представляет собой дальнейшие перспективы развития решения задачи прогнозирования изменения числа и распределения зерен по глубине инструмента за период его стойкости.

Таблица 4 – Изменение числа режущих кромок в рабочем слое инструмента

Число контактов поверхности круга с заготовкой	Координата слоя от теку щей у словной наружности поверхности, мкм	Число режущих к 1/м² мі При износе с разрушением кромок	
0	20	70	70
3	17	72	73
6	14	73	79
9	11	70	87
12	8	61	97
15	5	37	112
18	2	12	129

Список исполь зованных источников: 1. Абразивная и алмазная обработка материалов. Справочник / Под ред. А.Н. Резникова. — М.: Машиностроение, 1977. — 390 с.; 2. Королев А.В. Исследование процессов образования поверхностей инструмента и детали при абразивной обработке. — Из-во Сарат. ун-та: Саратов, 1975. — 202 с.; 3. Новоселов Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке/ Ю.К. Новоселов. — Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2012.—304 с.; 4. Братан С.М. Технологічні основи забезпечення якості і підвищення стабільності високопродуктивного чистового тонкого шліфування: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук: спец. 05.02.08 «Технологія машинобудування»/ С.М. Братан. — Одеса. 2006.—35 с.

Поступила в редколлегию 21.10.2013

УДК 621.91

С.Л. Булыгина, Г.Л. Хавин, канд. техн. наук, Харьков, Украина

УЧЕТ АНИЗАТРОПИИ СВОЙСТВ В МОДЕЛИ МЕЖСЛОЙНОГО РАЗРУШЕНИЯ ПРИ СВЕРЛЕНИИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Розглянута задача появи та розвитку тріщини розшарування при свердленні шарових композиційних матеріалів, з урахуванням анізатропії властивостей матеріалу, що обробляється. Модель локального руйнування, що базусться на використанні лінійної механіки руйнування, сумісно з відомими емпіричними залежностями застосовано для раціонального вибору режимних параметрів свердлення епоксидного вуглепластику. Показано, що врахування анізатропії властивостей накладає більш жорсткі обмеження на величину подачі, чим для ізотропноїмоделі.

Рассмотрена задача появления и развития трещины расслоения при сверлении слоистых композиционных материалов, с учетом анизатропии свойств обрабатываемого материала. Модель локального разрушения, базирующаяся на применении линейной механики разрушения, совместно с известными эмпирическими зависимостями использована для рационального выбора режимных параметров сверления эпоксидного углепластика. Показано, что учет анизатропии свойств накладывает более жесткие ограничения на величину подачи, чем для изотропной модели.

The problem of crack delamination appearance and propagation in the drilling of composite laminates with account of anyzatropic properties of material is considered. This model for local fracture using a linear fracture mechanic, and coupling with known empirical dependences used for rational choice of parameters for drilling epoxy carbon-filled plastic. The take account of anyzatropic properties is more strong limitation of feed rate choice than for using isotropic model.

Вступление. Несмотря на успехи, достигнутые в механической обработке многослойных композиционных материалов (КМ), основной проблемой по-прежнему остается обеспечение качества обработки отверстий, и, в первую очередь, отсутствие трещин расслоения на выходе инструмента из заготовки. Благодаря применению инструментов специальной конструкции [1] удалось в значительной мере уменьшить степень повреждения заготовки на выходе сверл. Однако по-прежнему остаются нерешенными вопросы, связанные с величиной возникающих дефектов, особенно в направлении армирования, и установление достоверной связи между величиной разрушения и технологическими параметрами обработки. Поэтому задача обеспечения качества обработанных отверстий при сверлении КМ является актуальной и имеет практическую ценность.

Состояние проблемы и формулировка задачи. В сравнительно недавних исследованиях процессов механической обработки КМ

проводились многочисленные экспериментальные опыты и развивалось фундаментальное изучение процесса сверления. Основополагающей моделью, устанавливающей связь между величиной расслаивания со свойствами КМ, явилась модель Ho-Cheng и Dharan [2], которые, используя достижения линейной механики разрушения, ввели понятие критической нагрузки, позволяющей избегать расслоения. Далее эта модель была развита в работах [3,4], где основное внимание было уделено установлению связи разрушающей силы с началом расслаивания. В работе [5] также используя механику разрушения, была получена оценка критической осевой силы для инструмента с периферической режущей кромкой, которая включала в себя учет анизатропии свойств материала заготовки. Дальнейшее развитие это направление получило в работе [6], где было введено понятие двух основных видов дефектов обработки слоистых КМ – отслаивание и распушивание. Отслаивание представляет собой межслойное разрушение, обычно возникающее в направлении армирования. Распушивание образуется за счет перерезания волокон на поверхности отверстия в основном в направлении перпендикулярном армированию.

Постановка задачи и цель работы. Главной целью настоящей работы является развитие аналитического метода для предсказания появления и развития трещины расслоения с учетом анизатропии свойств КМ при сверлении слоистых композиционных материалов. Рассмотрено влияние анизатропии свойств армированного материала на развитие трещины расслаивания в рамках линейной механики разрушения. Для определения разрушающей осевой силы используется традиционная методика выбора подачи и частоты вращения для инструмента с заранее заданными геометрическими параметрами. Проведено сравнение расчетных значений с учетом анизатропии свойств с известным изотропным решением.

Теоретические положения. При сверлении слоистых пластиков заданной толщины заготовки t (рис.1) при приближении сверла к выходу из заготовки, нижние слоя начинают прогибаться вокруг отверстия, и происходит расслаивание, что схематически изображено на рис.1.

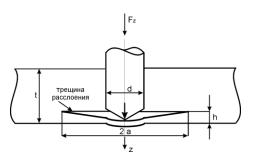
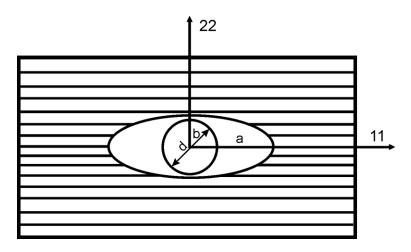


Рисунок 1 — Модель образования межслойной трещины при сверлении слоистого пластика

В силу различных механических свойств материала вдоль и поперек волокон, трещина расслоения имеет форму близкую к эллиптической с полуосями – a и b, puc.2.



Рису нок 2 — Эллиптическая форма трещины расслоения для анизатропного слоистого пластика

Проведенный в [7] анализ на основе анизатропной теории упругости и линейной механики разрушения для зоны расслоения на рис.1, позволил определить осевую силу, при которой происходит старт межслойной трещины следующим уравнением

$$F_z = \pi \sqrt{\frac{E_{22}}{E_{11}}} \left[\frac{G_{IC} \cdot K_a \cdot h^3}{1 - v_{12} \cdot v_{21}} \right]^{1/2}, \tag{1}$$

где G_{IC} – критическое значение энергии трещинообразования по I-му типу, Дж/м²; E_{11} , E_{22} – модули упругости в направлении армирования – 11 и ему перпендикулярном (трансверсальном направлении) – 22, Па;

 v_{12} , v_{21} – соответственно коэффициенты Пуассона; значение коэффициента K_a рассчитывается по формуле

$$K_a = 2E_{11} + \frac{2}{3}\sqrt{\frac{E_{11}}{E_{22}}}\left[v_{12} \cdot E_{22} + 2 \cdot G_{12}(1 - v_{12} \cdot v_{21})\right],$$

где G_{12} — модуль сдвига. Из уравнения (1) можно найти значение h^* соответствующее критическому значению осевой силы

$$h^* = \sqrt[3]{\frac{1 - v_{12} \cdot v_{21}}{G_{IC} \cdot K_a \cdot \pi^2} \left(\frac{E_{11}}{E_{22}}\right) \cdot F_z^2} . \tag{2}$$

Заметим также, что из выражения (1) можно получить известное соотношение Ho-Cheng и Dharan [2] для изотропного материала, приняв $E_{11} = E_{22} = E$, $v_{12} = v_{21} = v$, $G_{12} = E/2/(1+v)$

$$h_{is}^* = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot (1 - v^2) \cdot F_z^2}{8 \cdot G_{IC} \cdot E \cdot \pi^2}}$$
 (3)

С другой стороны из теории и практики технологии сверления композиционных материалов [8,9] известно, чтобы избежать расслоения армированных КМ необходимо корректно выбирать геометрические параметры инструмента, применять сверла с минимальным износом по задней поверхности (критерий затупления) и использовать различные приспособления на входе инструмента и подкладки на выходе из заготовки.

Режимы резания назначаются в соответствии с хорошо известным алгоритмом, приведенным в [8]. Там же представлены эмпирические соотношения для расчета осевой силы, вида

$$F_z = C_z \cdot d^m \cdot s^n \cdot K_z \,, \tag{4}$$

где s — подача, мм/об; d — диаметр сверла, мм; K_z — совокупность поправочных коэффициентов; C_z , m, n — постоянные. Совокупность поправочных коэффициентов представляется в виде

$$K_z = K_{zh} \cdot K_{z\phi} \cdot K_{z\alpha} \cdot K_{z\gamma} , \qquad (5)$$

где $K_{zh}, K_{z\varphi}, K_{z\alpha}, K_{z\gamma}$ — поправочные коэффициенты на износ по задней поверхности, главный угол, задний и передний угол соответственно. Например, для стекло- и углепластиков формулы (4) и (5) справедливы в диапазоне изменения параметров s=0.08...0.62 мм/об; d=4...20 мм и скорости резания v=0.04...0.58 м/с. Числовые значения постоянных и поправочных коэффициентов обычно сведены в таблицы, составленные на основе экспериментальных данных.

Будем считать, что началу расслоения, проявляющемуся в виде движения межслойной трещины на глубине h (рис.1), соответствует некоторое значение подачи при известных параметрах инструмента и степени

его износа. В дальнейшем будем руководствоваться предельно заданной глубиной, на которой начинается расслаивание и примем, что глубина h, может быть трактована как совокупность слоев в виде $h=k\cdot h_{lay}$, где h_{lay} – толщина единичного слоя; k – число слоев. При таком подходе подача выбирается по началу образования расслоения на некотором расстоянии от края вы хода инструмента из заготовки.

Используя соотношения (2) и (4) для глубины, на которой начинается расслоение, получим соотношение вида

$$h^* = \sqrt[3]{\frac{1 - v_{12} \cdot v_{21}}{G_{IC} \cdot K_a \cdot \pi^2} \left(\frac{E_{11}}{E_{22}}\right) \cdot \left(C_z \cdot d^m \cdot s^n \cdot K_z\right)^2}$$
 (6)

Уравнение (4) описывает зависимость глубины начала расслоения от подачи, и может служить оценкой повреждения материала заготовки на выходе сверла с учетом анизатропии свойств обрабатываемого композиционного материала.

Результаты и обсуждения. Рассмотрим выбор режимов сверления эпоксидного однонаправленного углепластика марки T300/5208 с объемным содержанием волокон 70% и основными механическими характеристиками: плотность — 1600 кг/м³; продольный модуль упругости $E_{11} = 181$ ГПа; поперечный модуль упругости $E_{22} = 10,3$ ГПа; модуль сдвига $G_{12} = 7,17$ ГПа; коэффициент Пуассона $v_{12} = v_{21} = 0,28$; критическая энергия трещинообразования $G_{IC} = 250$ Дж/м².

Сверление заготовки толщиной 30 мм осуществляется сверлом из твердого сплава ВК8 диаметром 10 мм на полную глубину. Выбрано спиральное сверло с нормальной заточкой НПЛ [8]. Геометрические параметры сверла следующие: угол при вершине сверла – $2\varphi=100^\circ$; передний угол – $\gamma=10^\circ$; задний угол – $\alpha=20^\circ$. В качестве технологических ограничений примем износ по задней поверхности не более $h_z \leq 0,2$ мм и стойкость инструмента T=60 мин. Сверление осуществляется без применения смазочно-охлаж дающей жидкости.

Значения постоянной и показателей степени в соотношении (4), а также коэффициентов из выражения (5) по данным [1] следующие: $C_z=79.8;$ m=1.02; n=0.85; $K_{zh}=2.04;$ $K_{z\phi}=1;$ $K_{z\alpha}=1;$ $K_{z\gamma}=1.$

На рис.3 представлена зависимость глубины начала расслоения от величины подачи, вычисленная с использованием зависимости (6) и решение (3), полученное из соотношения Ho–Cheng и Dharan [2] для изотропного материала при значении модуля упругости $E=E_{22}$ и $E=E_{11}$. В выбранном диапазоне изменения подачи 0.01-0.6 мм/об глубина появления

межслойного разрушения для эллиптической трещины и решения с $E=E_{22}$ не превышает 2,7 мм, для рекомендуемых средних значений подачи при сверлении углепластиков 0,2 - 0,3 мм/об не более 1,0 - 1,8 мм, что свидетельствует о достаточно жестком режиме обработки отверстия. При этом возникающая осевая сила находится в диапазоне 350 - 600 H. Кривая 3 на рис.3 соответствует решению (3) для $E=E_{11}$ и можно видеть, что расслоение во всем диапазоне подач не превышает 1 мм. Решение для эллиптической трещины, учиты вающее анизатропию свойств однонаправленного композита, и изотропное решение, в котором в качестве модуля упругости используется значение трансверсального модуля упругости E_{22} , количественно очень близки друг к другу.

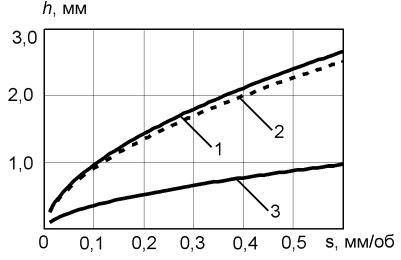


Рисунок 3 — Зависимость глубины начала расслоения от величины подачи: 1 — решение для эллиптической трещины по формуле (6); 2 — решение для круговой трещины (3) для $E=E_{22}$; 3 — решение для круговой трещины (3) для $E=E_{11}$

Заключение. Таким образом, анализируя расчетные результаты можно сделать вывод о том, что учет анизатропии свойств для расчета глубины появления трещины расслоения в диапазон изменения величины подачи при сверлении композиционных материалов 0,08...0,6 мм/об гарантирует образование межслойных дефектов в виде расслоения на глубине не более чем 2,7 мм по нижней кромке заготовки. Практически такое же решение дает использование изотропной модели с модулем упругости равным

трансверсальному модулю упругости композита. Полученные результаты справедливы при сверлении однонаправленного композита спиральным сверлом из твердого сплава. Дальнейшее развитие предложенного подхода связано с уточнением решения задачи межслойного расслаивания для инструмента отличного от спирального и количественной оценкой величины межслойной трещины в направлении армирования.

Список использованных источников: 1. Ho-Cheng H. Comprehensive analysis of delamination in drilling of composite materials with various drill bits / H. Ho-Cheng, C.C. Tsao // Journal of Materials Processing Technology. - 2003. - 140. - P.335-339. 2. Ho-Cheng H. Delamination during drilling in composites laminates/ H. Ho-Cheng, C.K.H. Drahan // Transactions of the ASME, Journal of Engineering for Industry. - 1990. - Vol. 112. - P.236-239. 3. Jain S. Effects of feedrate and chisel edge on delamination in composite drilling / S. Jain, D.C.H. Yang // Transactions of the ASME, Journal of Engineering for Industry. -1993. - Vol. 115. - P. 398-405. 4. Jain S. Delamination free drilling of composite laminates / S. Jain, D.C.H. Yang // Transactions of the ASME, Journal of Engineering for Industry. –1994. – Vol. 116. – P.475–481. 5. Lachaud F. Drilling of composite structure / F. Lachaud, R. Piquet, T. Collombet, L. Surcin // Composite structures. - 2001. - 52. - P.511-516. 6. Zhang H. Assessment of exit defects in carbon fiber-reinforced plastic plates caused by drilling / H. Zhang, W. Chen, D. Chen, L. Zhang // Key Engineering Materials. - 2001. - 196. - P.43-52. 7. Txao C.C. Prediction of the location of delamination in the drilling of composite laminates // C.C. Tsao, W.-C. Chen // Journal of Materials Processing Technology. – 1997. – 70. – P.185–189. 8. Степанов А.А. Обработка резанием высокопрочных композиционных полимерных материалов / А.А. Степанов. Л.: Машиностроение, Ленингр, отд-ние, 1987.— 176 с. 9. Штучный Б.П. Обработка резанием пластмасс / Б.П. Штучный. – М.: Машиностроение, 1974. – 144 с.

Роботу виконано за проектом M2132, що фінансується міністерством освіти і науки України.

Поступила в редколлегию 30.04.2013

УДК 621.923

Ю.Г. Гуцаленко, Харьков, Украина

ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ АЛМАЗНО-ИСКРОВОГО ШЛИФОВАНИЯ

Представлені перспективні напрямки прикладного використання технологічного методу алмазно-іскрового шліфування, що розвиваються у HTV «ХПІ» і є пов'язаними з розробкою нових і модернізацією існуючих верстатів та інструментів, високошвидкісною обробкою, остаточним формоутворенням високожкісної кераміки після її іскрового плазмового спікання і формуванням високот вердих білих шарів в сталях.

Представлены развиваемые в HTV «ХПИ» перспективные направления прикладного использования технологического метода алмазно-искрового шлифования, связанные с разработкой новых и модернизацией существующих станков и инструментов, высокоскоростной обработкой, окончательным формообразованием высококачественной керамики после ее искрового плазменного спекания и формированием высокотвердых белых слоев в сталях.

Perspective directions for applied use of technological method of diamond-spark grinding that are being developed at the NTU "KhPI" and associated with working-out of new and modernization of existing machines and tools, high-speed processing, the final shaping of high-quality ceramics after spark plasma sintering and formation of hard white layers in steels are presented.

Введение

Пятое десятилетие продолжается жизненный цикл метода алмазноискрового шлифования (АИШ), шагнувшего в мир техники и технологий из основанной М.Ф. Семко харьковской научной школы физики процессов резания [1]. Сущность метода [2, 3] заключается в целенаправленной инициации электрических разрядов в зоне резания введением в нее дополнительной энергии в форме импульсов тока определенной мощности, формы, продолжительности и частоты, а также использовании разрядных эффектов в скользящих (стружечных) электрических контактах постоянного тока, в том числе с наложением ультразвуковых колебаний, в среде простых, технически и экологически безвредных смазывающе-о хлаждающих жидкостей.

Эта разработка, в эпо ху СССР координируемая госкомитетом по науке и технике на отраслевом уровне как приоритетная [4], продолжает развиваться в новом веке, заслуженно являясь гордостью НТУ «ХПИ» и современной Украины, реально оставаясь конкурентоспособным источником эффективных комбинированных рабочих процессов и технологических решений такого рода в современной экспериментальной и широкой промышленной алмазно-

абразивной практике изготовления изделий из труднообрабатываемых материалов. В 2011 г. в рамках проводимой под эгидой Кабинета Министров и посвященной 20-летию независимости страны общегосударственной акции «Барвыста Украина» метод АИШ отмечен как лучший отечественный научный товар.

Современные перспективы АИШ

Основу привлекательности реализации разработок в тематическом поле АИШ машиностроительных, приборостроительных, станкоинструментальных и других предприятий (через создание специальных модернизацию (расширение технологических возможностей) универсальных шлифовальных станков и производственных модулей, комплектующих такие станки и модули инструментов из сверхтвёрдых материалов и электрофизических систем специального (дополнительного) энергообеспечения; их эксплуатацию) составляют существенное повышение производительности алмазного шлифования и заточки (в 1,5 – 3 раза), режущей способности и стойкости инструмента, вероятности бездефектной обработки, сокращение удельных энергозатрат на механическую обработку, фондоотдачи произво дственного оборудования повышение производственных площадей, высвобождение обслуживающего персонала при дополнительных затратах на модернизацию станка и оснащение его источником (генератором) дополнительной энер гии общим объёмом дополнительных затрат 20 – 25% стоимости обычного оборудования.

В современной теории и практике резания материалов основные перспективы повышения производительности обработки и ее качества связываю тся повышением скоростей взаимодействующих формообразующем контакте тел. АИШ кругами с алмазно-металлическими композициями, испытывающими в зоне резания понижающее уровень самым обновляющее режущий рельеф металлической связки И тем воздействие электрических разрядов, является эффективным способом реализации скоростной обработки, проверенным в экспериментальной и промышленной практике. Характерным примером в этом направлении является разработка внутришлифовального алмазно-эрозионного станкаполуавтомата модели 3М227ВРФ2 (3М227ВЭРФ2), благодаря конструктивно обеспечиваемой частоте вращения изделия до 1200 об/мин и повышенном до 120 мм допустимом диаметральном размере обрабатываемых поверхностей предоставляющего возможность осуществления производительной обработки с увеличенными длинами срезов, разрешаемой физическими явлениями в зоне резания при АИШ, с ее увеличением в 1,5-2 раза при повышении стойкости круга в алмазно-эрозионном режиме в 10-15 раз [3].

Важным фактором при этом является известное из классической физики влияние уже относительно небольших электрических токов на постоянные упругости и другие характеристики металлов. В первых фундаментальных исследованиях Г. Вертгейма в этом направлении, результаты которых были опубликованы им в Париже в 1848 г. [5], электрические токи в несколько десятков ампер, т. е. сопоставимые с характеристикой современных серийных широкодиапазонных генераторов импульсов, применяемых энергетического обеспечения электроразрядных процессов в зоне АИШ [3], меняют свойства металлов, а именно уменьшают их сопротивление на разрыв при заметном снижении их модуля упругости. Это, в частности, свидетельствует в пользу электрического тока в зоне резания с позиций облегчения процесса массового микрорезания обрабатываемой поверхности абразивными зернами круга при АИШ.

Современную актуализацию внимания к АИШ в контексте фактора скорости механического взаимодействия обрабатываемого обрабатывающего тел в условиях ударно-волнового влияния электрических сопровождаемого эрозионными эффектами термического разрушения, привлекает гипотеза о потенциальной возможности реализации нового подхода к совершенствованию технологического метода АИШ путем производящего воздействия в область энергий разрушения металлических связей при высокоскоростной обработке [6]. Эта гипотеза поддерживается экспериментально выявленной тенденцией повышения удельного расхода алмазов с повышением скорости резания в ее обычном скоростном диапазоне в условиях действия электрических разрядов при АИШ [7]. Этот феномен АИШ несомненно связан не только собственно с механикой процесса, но и с ее активацией высокоскоростными, до нескольких сотен метров в секунду и более, ударно-волновыми процессами развития электрических разрядов в зоне резания, дополнительно разгоняемых относительным перемещением обрабатывающего и обрабатываемого тел, в подвижном рабочем контакте которых они формируются и проистекают с захватом и взрывным испарением микрообъёмов связки в пятнах каналов разрядов.

Использование известных возможностей АИШ в формировании в поверхностных слоях обрабатываемых металлов и сплавов повышенного уровня сжимающих напряжений и прочностной наследственности (по сравнению с технологической альтернативой конвенционального алмазного шлифования) [2] технологически привлекательно в постпроцесса х современного высокоскоростного термофрикционного формообразования изделий с повышенными требованиями к микро- (шеро ховатость) и макроразмерной геометрической точности, ограниченно обеспечиваемыми собственно термофрикционной обработкой, обычно практикуемой как

предварительное формообразование с образованием в приповерхностном слое стали, под микроскопом визуализируемом как белый, измененной микроструктуры повышенной твердости. По результатам дюраметрии – со значительным. практически например двукратным превышением микротвердости в сопоставлении с характеристикой основного металла: 8,2-11,2 ГПа, с модальным значением распределения по глубине до 0,6 мм 10 ГПа. средней микротвердости основы 5.3 ГПа примерно при (марганцовистая Сталь 65Γ ГОСТ 14959-79 режущих деревообрабатывающих ножей после закалки в воде и низкотемпературного отпуска в воздухе, с «подстройкой» его режима из условия перекрытия глубины отпущенного слоя формируемым последующей термофрикционной обработкой белым слоем (БС) - во избежание появления между БС и основным металлом зоны разупрочнения сорбито- и троститоподобной структуры, до значений микротвердости порядка 3-3,5 ГПа в контексте приводимого здесь примера) [8].

В отличие от известного опыта формирования БС в сталях посредством собственно АИШ, по толщине обычно соизмеримых с глубиной шлифования термофрикционная или немного превосходящих ee, обработка осуществляется большей интервенцией обрабатывающего обрабатываемое (в экспериментальной практике [8] по кинематической схеме плоского шлифования - с глубиной и скоростью продольного среза соответственно 0,7 мм и 21 мм²/с) и оставляет после себя БС с толщинами твердости, вызывающими углубленный повышенной потребительс кий интерес.

АИШ предварительно подвергнутых ТФО стальных поверхностей поддерживает доставшееся финишной операции органично ему преды дущей операции. Адекватность АИШ прочностное наследие рассматриваемой физической состоятельности ТФО, проявляющейся повышенной твер достью ее объектов, в их окончательном формообразовании электроразрядных эффектов, обеспечивающих скоростной импульсный нагрев шлифуемых поверхностей до температур фазовых превращений, аналогично ТФО вплоть до формирования высокотвердого приповерхностного БС. В пятне электрического контакта, максимально покрывающем обрабатываемую поверхность в технологиях двойного скоростного АИШ (с повышенными скоростями рабочих движений и шлифовального круга, и обрабатываемой заготовки [3]), – вплоть до плавления и даже частичного испарения металла с обрабатываемой поверхности, с последующим достаточно быстрым ее охлаждением, особенно под влиянием СОТС эффективных составов и техники подачи. Как и теплофизический результат экстремальной механики ТФО, появление или эффективное (после ТФО) поддержание упрочненного поверхностного БС

после АИШ также является следствием присущих этому методу экстремальных условий реализации с вовлечением обрабатываемой (шлифуемой) стальной поверхности в теплофизическое последействие разрядного разрешения электрической напряженности зоны шлифования.

При этом, по-видимому, не следует рассматривает формирование БС как целенаправленной технологической наследственности АИШ сталей вне маршрутной комбинации с предварительной ТФО. Хотя бы потому, что технологическая идеология рационального АИШ всегда исходит из максимального использования режущего потенциала выступающих над уровнем связки круга зерен сверхтвердых абразивов при минимизации фрикционных эффектов вообще и, особенно, вне их режущих контактов [3].

При осуществляемом в рабочих процессах АИШ комбинировании алмазного шлифования с электроразрядным воздействием возможно более направленно регулировать параметры качества обрабатываемого слоя, чем в традиционных технологиях, в том числе управлять формированием как структур вторичной закалки, так и структур отпуска [3].

Исходя из условий и задач использования изделия, с целью повышения равномерности напряженного состояния БС, стабилизации тем самым прочностных характеристик готового изделия, повышения его надежности и безопасности в эксплуатации, технологический маршрут его производства можно рекомендовать заключить проведением операции низкотемпературного отпуска после чистовой обработки шлифованием. Или включить в цикл АИШ выхаживание без тока предварительно правленым кругом, проведение которого сопровождается относительно незначительным (по сравнению с ТФО) нагревом поверхности обработки, эквивалентным влиянию низкотемпературного отпуска.

Наряду с показанными перспективными приложениями метода АИШ к высокоскоростной обработке И финишной поддержке постпроцессированием, он предоставляет также возможность улучшения структуры и повышения плотности токопроводных SPS-нанокерамик, в тугоплавких, в рабочих постпроцессах окончательного формообразования методом АИШ, как и после ТФО преследующих основной целью обеспечение надлежащего размерного и микрогеометрического качества готовой продукции. На такую возможность, согласующуюся с теоретическими представлениями [9] об участии электрических разрядов в подавления пористости токопроводных керамических технологий SPS (Spark Plasma Sintering [10] – искровое плазменное спекание), указывает современный опыт НТУ «ХПИ» в обработке спеченного по технологии SPS наномонокарбида вольфрама, когда оптимальные физикомеханические свойства по критерию напряженного состояния шлифованного материала в поверхностном слое наблюдаются при некотором внутреннем

значении напряжения в экспериментальном диапазоне напряжений токоподвода в зону шлифования [11], по-видимому соответствующем оптимуму Пашена-Пеннинга в физико-геометрическом рассмотрении с позиций подобия [9] условий возбуждения электроразрядных эффектов в порах во всем объеме спекаемого консолидата (SPS [12]) и в приповерхностном слое шлифуемого твердого тела (АИШ [11]).

Обострение кризисных явлений в условиях глобальной конкуренции товаров особенно стимулирует как заинтересованность производителей в энергоэффективных производительных технологиях высококачественной обработки, так и пользователей к повышению их функционально-эксплуатационных показателей. Метод АИШ как технологическая парадигма по обоим группам требований (производителей и потребителей продукции), кроме дальнейшей рыночной популяризации на современном уровне представлений о его возможностях, нуждается также в дальнейших разработках типовых технических решений современного уровня по обеспечению готовности к его воплощениям нового оборудования и существующего — после специальных реновационных мероприятий, в том числе с опорой на специальные разработки электронной документации по модернизации универсальных шлифовальных станков для его расширенной реализации.

Модернизационные подходы к универсализации технических систем

Эффективная поддержка конструкторской, технологической и организационной подготовки производства (у производителя станков и инструментов) является одним из реально востребованных направлений современного периода в развитии разработки метода и средств реализации АИШ [1].

В конвенциональных по дхо дах К организационно-техническому обеспечению операций АИШ подводом в зону обработки дополнительной энергии в форме электрических разрядов как в специальном станкостроении, так и при специальной модернизации универсального оборудования его потребителями предусматривается электроизоляция шпинделя станка [3]. При этом в базовую конструкцию вводятся новые (нетокопроводные) элементы (детали), служащие необходимым барьером электрическому току в функционально запрещенных направлениях, но повышающие степень сборочной сложности технической системы. Инструмент (шлифовальный круг) как объект барьерных технических решений, обеспечивающих нетокопроводность его контакту с посадочным местом на металлической планшайбе станка, в известной исследовательской и производственной практике не рассматривается.

Решение задач приспосабливаемости универсальных стан ков (инструмента) в шлифовальном станкостроении и на механообрабатывающих предприятиях (в инструментальном производстве шлифовальных кругов) к их использованию в технологиях АИШ предлагается обеспечивать в результате применения специально разработанных диэлектрических покрытий на прочную основу базовых деталей (элементов конструкции), конструктивно требующих электроизоляции [3], в традиционном исполнении изгота вли ваемых из конструкционной стали (планшайба) и конструкционных сплавов (несущий корпус инструмента).

Высокие диэлектрические свойства специально разработанных в НТУ «ХПИ» покрытий сочетаются с высоким сопротивлением износу при периодической смене инструмента в связи с полным использованием или при переустановках шлифовальных кругов из-за несоответствия их характеристик необходимым для следующей операции. Повышенная износостой кость предлагаемых производственной практике электроизоляционных композиций на основе семейства эпоксидно-диановых смол (ЭДС), подготавливаемых и наносимых на поверхность по специальному регламенту [13], обеспечивается использованием качестве наполнителя диэлектрических порошков триоксида алюминия Al₂O₃ или диоксида кремния SiO₂ с возможным варьированием массовой доли как диэлектрических порошков, так и эпоксидных групп (по техническим условиям ГОСТ 10587-84 содержание собственно эпоксидных групп в ЭДС может составлять от 14 до 22 %, соответственно с понижением вязкости и повышением технологичности использования в поверхностно распределенных отвердевающих покрытиях).

Это решение повышает контактную жесткость посадки инструмента на планшайбу, а с ней и потенциальную точность обработки по сравнению с функционально альтернативным использованием промежуточных текстолитовых втулок и прокладок, обычно применяемых на предприятиях-потребителях универсальных шлифовальных станков в модернизационной практике электроизоляции от корпуса инструмента-круга и обрабатываемых деталей.

сравнительны х износостойкость По результатам испытаний композитного покрытия на основе ЭДС с 20 % содержанием массовой доли эпоксидных групп и 30 мас. % АІ₂О₃ на 60-70% выше, чем у такого же, но без порошкового наполнителя, при полу торакратном превышении твердости ($H_v = 204 \,\mathrm{M}\,\Pi\mathrm{a}$, по Виккерсу) и прочности на сжатие $(\sigma_{coc} = 135 \,\mathrm{MHa}).$ сочетании c высоким уровнем необходимой противоэлектрической зашиты отдельных элементов шлифования инструментальных систем (удельное электрическое сопротивление разработанного покрытия $\rho = 1014 \text{ Om} \cdot \text{м}$) это позволяет

эффективно расширять их технологические возможности успешной реализацией АИШ и других электрофизикохимических технологий,

Инверсия задачи электроизоляции металлического корпуса шлифовального круга от стальной планшайбы шлифовального станка в сторону измененного конструктивного решения инструмента может быть также решена с использованием специальных диэлектрических покрытий, путем поверхностного электролитического оксидирования например, материала корпуса в ускоренном микродуговом режиме по разработанной в НТУ «ХПИ» технологии [14] для титановых имплантов. Выбор материала корпуса шлифовального круга при этом должен электроизоляционные свойства его потенциальных оксидов. Перспективность титана и его сплавов в этом применении, помимо известных диэлектрических перспектив, привлекателен также облегчением по массе конструкции корпуса шлифовального круга по сравнению со стальными альтернативами.

Конструктивно задача принуждения зоны шлифования к участию в АИШ при соответственно электроразрядной цепи токоподводе к участникам электрического контакта, помимо организации токоподвода, в принципе может решаться одним лишь рациональным использованием электроизоляционных материалов в производстве отдельных деталей станкоинструментальных систем без изменения их конструкции, как это показано в работе [15] на примере с использованием торцевых планетарно-шлифовальных головок. Такой подход к универсализации металлорежущего оборудования и алмазно-абразивных инструментов на металлических связках для возможности их использования в процессах электрофизико химической обработки, как конструктивно максимально облегченный, несомненно заслуживает повышенного внимания практических специалистов, особенно по мере появления новых изоляционных материалов повышенной прочности и износостойкости.

машиностроительной промышленности разрабатываемые модернизационные решения расширения технологических возможностей универсального оборудования алмазно-абразивных станочного И инструментов готовностью К осуществлению c ИΧ помощью АИШ предпочтительно использовать инструмент стратегического как технологического менеджмента [16],c реализацией станкоинструментальной подотрасли произво дителями шлифовальных станков соответствующим расширением модельного ряда выпускаемого оборудования и номенклатуры переделов инструментального производства. конструктивно решающие предпосылки высокоте хнологичной организации рабочих процессов потребителями АИШ и электрофизико химических альтернатив размерной алмазно-абразивной мероприятия обработки, поскольку последующие модернизационные

(включение в станочную систему источника-генератора технологического тока и обеспечение токоподвода в зону резания) уже не требуют вмешательства в формообразующую точность шлифовальных станков, обеспеченную в станкостроительной промышленности.

Заклю чение

Современный уровень развития и перспективы использования метода АИШ в высокопроизводительном и высококачественном формообразовании поверхностей изделий из труднообрабатываемых высокофункциональных материалов стимулируют дальнейшее развитие и имплементацию предлагаемых по результатам разработок НТУ «ХПИ» рассмотренных модернизационных подходов к универсализации технических систем для расширенной практической реализации этого метода как у производителей техники, так и потребителей технологий АИШ, как в отношении станочных систем, так и инструментов шлифования.

Статья подготовлена по материалам исследований по комплексному проекту 0113U001340 XHУ, HТУ «ХПИ», УГАЖТ (г. Харьков) и СГУ (г. Сумы) «Многокомпонентные композиционные материалы и покрытия на основе наносоединений тугоплавких металлов» (в части современных перспектив АИШ) и по проекту 0113U000425 HTУ «ХПИ» «Разработка технических решений специальной модернизации универсальных станков и технологических баз данных для алмазно-искрового шлифования труднообрабатываемых материалов» (в части модернизационных по дхо дов к универсализации технических систем).

Список использованных источников: 1. Гуцаленко Ю.Г. Алмазно-искровое шлифование: обзор сорокалетия разработки харьковской научной школы физики процессов резания // Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве: Тр. 18-й междунар. науч.-практ. конф., 5-6 дек. 2012 г. – Харьков: ГП XM3 «ФЭД», 2012. – С. 79-88. **2.** *Калашников А.Т.* Исследование физических особенностей и технологических возможностей алмазно-искрового шлифования: Автореф. дис. ... канд. техн. наук; 05.03.03 – обработка материалов резанием / Харьк политехн. ин-т, науч. рук.: М.Ф. Семко, Н.К. Беззубенко. – М., 1976. – 22 с. 3. Беззубенко Н.К. Повышение эффективности алмазного шлифования путем введения в зону обработки дополнительной энергии в форме электрических разрядов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.03.01 - процессы механической обработки, станки и инструмент. – Харьков, 1996. – 468 с. 4. Коньшин А.С. Шлифовальные станки в двенадцатой пятилетке // Механизация и автоматизация производства. - М.: Изд-во "Машиностроение". - 1987. - № 4. - С. 6-9. 5. Wertheim G. Memoire sur l'equilibre des corps solides homogenes // Annales de Chimie. – Paris. – 1948. – Т. 23. – Р. 52-95. 6. Гуцаленко Ю.Г. Особенности электроэрозионного разрушения металлов при высокоскоростном алмазноискровом шлифовании // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: Матер. міжнар. наук.-практ. конф. 15-16 трав. 2003 р. – X.: НТУ "XПІ", 2003. – С. 17-26. 7. Гуцаленко Ю.Г. Влияние скорости резания на расход алмазов при круглом наружном алмазноискровом шлифовании твердого сплава ВК 6 // Инженерия поверхности и реновация изделий: Материалы 13-й междунар. наук.-техн. конф., 03-07 июня 2013 г., г. Ялта. – Киев: АТМ Украины, 2013. С.70-74. 8. Гуцаленко Ю.Г., Погребной Н.А., Волков О.А. Поддержка алмазно-искровым шлифованием упрочнения сталей термофрикционной обработкой // Инженерия поверхности и

реновация изделий: Материалы 12-й междунар. наук-техн. конф., 04-08 июня 2012 г., г. Ялта. – Киев: АТМ Украины 2012. – С. 83-85. 9. Физика и практика электроконсолидации под давлением вольфрамо карбидных материалов и композитов [электронный ресурс]: доклад / Ю.Г. Гуцаленко [НТУ «ХПИ»] // 2-я международная школа-семинар «Перспективные технологии консолидации материалов с применением электромагнитных полей»: г. Москва. Нап. исслед. ядер. vн-т «МИФИ». ЛЭМПНМ. 20-23 мая 2013 г. – М.: Нац. исслед. ядер. ун-т «МИФИ», 2013. – Электрон. дан. (32 с.: 26269538 байт). - Режим доступа: http://lemc-lab.mephi.ru/content/file/news/gutsalenko.pdf. 10. Recent Advanced Spark Plasma Sintering (SPS): Technology, Systems and Applications in Japan [электронный ресурс]: доклад / M. Tokita [SPS R&D Center. NJS Co., Ltd. Japan] // 2-я международная школа-семинар «Перспективные технологии консолидации материалов с применением электромагнитных полей»; г. Москва, Нац. исслед ядер. ун-т «МИФИ», ЛЭМПНМ, 20-23 мая 2013 г. – М.: Нац. исслед. ядер. ун-т «МИФИ», (65 c.: 9987534 2013. Электрон. лан. байт). Режим лоступа: lab.mephi.ru/content/file/news/tokita.pdf. 11. Стрельчук Р.М. Визначення особливостей та раціональних умов алмазно-іскрового шліфування твердих сплавів з нанорозмірних зерен монокарбіду вольфраму: Дис. ... канд техн. наук: 05.03.01 — процеси механічної обробки, верстати та інструменти / Нац. техн. vн-т «Харк. політехн. ін-т»; наук. консультант М.Д. Узунян. – Х., 2011. – 193 с. **12.** Гуцаленко Ю.Г. Паппена лля определения давления горячего электроконсолидации наноструктурной тугоплавкой керамики // Инженерия поверхности и реновация изделий: Материалы 13-й междунар. науч.-техн. конф., 03-07 июня 2013 г., г. Ялга. – Киев: АТМ Украины, 2013. – С. 67-70. **13.** Гуцаленко Ю.Г., Севидова Е.К., Руднев А.В. Современные подходы к универсализации станкоинструментальных решений для осуществления алмазно-искрового шлифования // Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте: Материалы 13-го междунар, науч.-техн. семинара, 18-22 февр. 2013 г., г. Свалява. – Киев: АТМ Украины, 2013. - С. 38-40. 14. Спосіб формування біоінертного покриття на імплантатах із титану та його сплавів: патент на корисну модель 58763 Україна: МПК (2011.01) С 25 D 11/00 / О.К. Севидова, І.І. Степанова, А.А. Симонова, І.Д. Рой. – №и201011436, заявл. 27.09.10; опубл. 26.04.11, Бюл. №8. **15.** Гуцаленко Ю.Г. Доцільність і особливості організації торцевого планетарного шліфування у електрофізикохімічних технологіях // Вісн. Харк. нац. техн. ун-ту сіл. госп-ва. – 2010. – Вип.106: Техн. сервіс АПК, техніка та технології у с.-г. машинобудуванні. – С. 134-140. **16.** *Крыжный Г.К.* Стратегический технологический менеджмент. – Х.:НТУ ХПИ, 2003. -447с.

Поступила в редколлегию 19.09.2013

УДК [005.336.3+006.83]:62(043.3)

К.О. Дядюра, д-р техн. наук, В.О. Залога, д-р техн. наук, Суми, Україна

ЕФ ЕКТИВНЕ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ СКЛАДНИХ ВИРОБІВ

Удосконалені наукові основи опрацювання й ефективного використання технікоекономічної інформації для забезпечення якості складних виробів на стадії їх життєвого циклу. Встановлено, що зв'язок між результатами процесів на стадіях життєвого циклу, які характеризують відповідність складних виробів встановленим вимогам, можна відслідковувати, аналізуючи взаємні кореляції синергетичних і кінетичних параметрів.

Усовершенствованы научные основы обработки и эффективного использования техникоэкономической информации для обеспечения качества сложных изделий на стадии их жизненного цикла. Установлено, что связь между результатами процессов на стадиях жизненного цикла, которые характеризуют соответствие сложных изделий установленным требованиям, можно отслеживать, анализируя взаимные корреляции синергетических и кинетических параметров.

Improved scientific basis and effective processing of information for quality assurance of complex products at the design stage, construction and operation of the application of methods of technical diagnostics, dynamic programming, structural and parametric modeling and tools and of inverse point calculations, which, unlike existing approaches can generate optimal characteristics of the configuration of complex products, including a set of alternatives by tab of the coefficients of the relative importance of the purposes specified in advance limits.

Постановка проблеми. Конкурентоспроможність займає центральне місце у сучасних економічних теоріях [1, 2, 3, 4] і є основою для визначення перспективних напрямів розвитку інвестиційної та інноваційної діяльності країни [5, 6]. У сучасних умовах інтенсивного розвитку інформаційних технологій потреби та очікування споживачів до продукції та послуг постійно змінюються. Відповідно змінюються вимоги до складних виробів, які використовують у різних технологічних процесах для виготовлення іншої готової продукції. Зменшується серійність їх виробництва, розширюється номенклатура і скорочується життєвий цикл (ЖЦ). Складні вироби [7] у машинобудуванні (наприклад, металорізальне, компресорне, поліграфічне ієрархічну багатофункціональну інше) мають обпалнання та багатоелементну структуру, яка включає три основні взаємозв'язані різнорідні компоненти – комплекс технічних засобів (КТЗ), програмне забезпечення (ПЗ) та оперативний персонал (ОП), які взаємодіють для виконання певних функцій (рисунок 1). Структура складних виробів (СВ) визначає відповідну організаційну структуру взаємозв'язаних процесів на



Рисунок 1 – Багатоелементна та багатофункціональна структура складних виробів

стадіях їх ЖЦ. Якість кожного з цих процесів впливає на якість результату. Організаційна структура процесів на стадіях ЖЦ СВ змінюється за лежно від вимог до кінцевої продукції, умов внутрішнього та зовнішнього виробничого середовищ. Це впливає на узгодженість результатів при прийнятті рішень, щодо забезпечення відповідності СВ вимогам. Усі процеси ЖЦ СВ є елементами системи, у якій вони функціонують (рисунок 2).

Якість побудови цієї системи і механізм її функціонування проектується на якість складових процесів. Якість результату успадковує якість процесів і системи, що їх об'єднує. Формування концепції спільного створення цінності виробником і споживачем продукції передбачає побудову принципово нової системи управління якістю. Відповідно до принципу відображення вимог до якості результати діяльності підприємства перекладаються на вимоги до якості процесів і на вимоги до якості організаційно-управлінської системи [8].

До процесів, якість яких відображується на якості продукції, належать не тільки технологічні процеси, але й організаційні, управлінські й інші (рисунок 2). Недоліком існуючих моделей процесів у випадках, коли СВ виготовляють на замовлення (обмежена кількість однотипних СВ), є їх фрагментарний характер, неузгодженість результатів нездатність відображати найбільш загальні, фундаментальні нелінійні закономірності організаційно-технічного забезпечення послідовного формування емерджентних властивостей СВ у період від обґрунтування їх розроблення до закінчення експлуатації.

Відсутнє наукове обґрунтування ефективного використання техніко-економічної інформації на стадіях ЖЦ СВ і прийняття рішень з урахуванням самоузгодженої взаємодії процесів, як відкритої нелінійної системи, самоорганізація якої впливає на результати щодо забезпечення відповідності продукції встановленим вимогам.

Таким чином, для прийняття обгрунтованих рішень що до забезпечення відповідності СВ встановленим вимогам необхідна достовірна техніко-економічна інформація на всьому інтервалі їх ЖЦ.



Рисунок 2 — Сучасні підходи до забезпечення інноваційного розвитку та конкурентоспроможності у машинобудуванн і

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основою для опрацювання та ефективного використання техніко-економічної інформації для забезпечення якості виробів у машинобудуванні є інтегровані моделі як самих СВ та і процесів, що їх супроводжують на стадіях ЖЦ.

При використанні таких моделей необхідно враховувати характерні ознаки CB:

- наявність емерджентних властивостей, притаманних як елементам різноманітних за конфігураціями ієрархічних структур СВ так і процесам, що їх супроводжують на стадіях ЖЦ;

- вплив множини факторів зовнішнього середовища на CB і систему процесів на стадіях ЖЦ, які можуть змінити склад, структуру і стан CB, викликати відхилення від встановлених вимог.

Для прийняття рішень що до забезпечення якості СВ використовують різні міждисциплінарні підходи. Серед основних підходів можна виділити: теорію управління складними системами; теорія управління проектами; теорію інформації, теорію оптимізації; теорію управління якістю; технологічні основи інтегрованих виробничих систем у машинобудуванні. Також враховуються вимоги та рекомендації відповідного нормативнометодичного забезпечення.

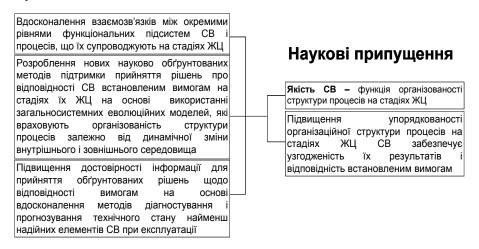
Фундаментальною основою цих підходів при моделюванні СВ є теоретико-ймовірнісні методи. При обмеженому обсягу статистичних даних складність застосування таких методів нерозривно пов'язана зі складністю структури СВ і процесів, що їх супроводжують на стадіях ЖЦ, а отже, і ризиком досягнення заданих вимог. Проведений аналіз застосування таких методів показує, що вони недостатньо ефективні під час моделювання широкого класу процесів на стадіях ЖЦ і явищ у самих СВ у тих випадках, коли: дослідник має обмежену кількість однотипних СВ або досліджуваний СВ взагалі є унікальним (наприклад виготовлений на замовлення); обсяг статистичних даних про процеси, що протікають в однотипних СВ, малий або статистичні дані повністю відсутні; статистичні дані про характеристики СВ мають низьку ймовірність; проведення періодичних перевірок статистичних гіпотез про характеристики СВ неможливо або пов'язано з істотними труднощами та ін.

Недоліком існуючих моделей для прийняття рішень щодо відповідності встановленим вимогам у випадках, коли СВ виготовляють на замовлення (обмежена кількість однотипних СВ), ϵ їх фрагментарний характер, неузгодженість результатів та нездатність відображати найбільш загальні, фундаментальні нелінійні закономірності організаційно-технічного механізму послідовного формування емерджентних властивостей СВ у період від обгрунтування їх розроблення до закінчення експлуатації та подальшої утилізації.

Таким чином, зміна потреб та очікувань замовників в умовах конкурентного тиску і технічного прогресу при зменшенні серійності машинобудівного виробництва і розширенні номенклатури СВ виробів вимагає нових наукових підходів ефективного опрацювання й використання інформації для постійного вдосконалювання продукції та процесів.

Виходячи з того, що якість є функцією організованості структури процесів на стадіях ЖЦ (рисунок 3), а підвищення упорядкованості організаційної структури процесів на стадіях ЖЦ СВ забезпечує узгодженість їх результатів і відповідність встановленим вимогам, науковою основою для

ефективного опрацювання й використання інформації при прийнятті рішень щодо забезпечення відповідності встановленим вимогами можуть стати синергетичний підхід, теорія самоорганізації і моделі нерівноважної термодинаміки.



Рису нок 3 — Напрями досліджень ефективного використання техніко-еконо мічної інформації для забезпечення якості складних виробів

Результати досліджень універсальних проявів переходу від упорядкованих до нестабільних та хаотичних режимів функціонування, характерних для відкритих нелінійних систем різної природи, наведені у працях: Арнольда В. І., Волькенштейна М. В., Кабалдіна Ю. Г., Колєснікова А. А., Курдюмова С. П., Ніколаса Г., Олємського О. І., Самарського А. А., Тома Р., Пригожина І. Р., Хакена Г., Чернавського Д. С. та інших.

Ряд праць вітчизняних вчених, зокрема Олємського О. І. [9] присвячено проблемі пошуку загальних об'єктивних законів управління на основі системи самоузгоджених рівнянь Лоренца, макроскопічні змінні якої (параметр порядку, сполучене поле та керуючий параметр) описують колективну поведінку різних систем.

Виходячи з основних положень термодинаміки незворотних процесів основними умовами для самоорганізації сукупності вза ємозв'язаних процесів на стадіях ЖЦ СВ ε (рисунок 4):

- а) відкритість систем, що припускає:
- постійний приплив негативної ентропії (інформації);

- наявність глибоких зворотних зв'язків між зовнішнім середовищем і системою;
- б) великі відхилення від рівноваги, що описуються нелінійними рівняннями (це визначає складну динаміку систем);
 - в) когерентне поводження підсистем.



Рисунок 4 – Умови самоор ганізації при забезпеченні якості складних в иробів

Якщо виконуються ці умови, то кінцевий стан цілком може мати високий ступінь упорядкованості. Цей перехід системи в стабільний стаціонарний стан має назву фізичної еволюції. Прояв цих ефектів і є самоорганізацією. Додаючи ці умови до виробничих систем підприємств, можна відзначити:

а) відкритість системи припускає наявність глибоких зворотних зв'язків зі споживачем, принаймні через підсистеми маркетингу і технічного обслуговування;

- б) значні нелінійні коливання ринкового середовища підтвер джуються ймовірним характером ринкових зв'язків, можливістю статистични х поштовхів і підкреслюються багатьма дослідниками;
- в) ступінь організованості виробничої системи визначається кооперативною погодженістю елементів системи і характеризується ентропією етапів життєвого циклу продукції.

Самоузгоджена взаємодія при виконанні сукупності взаємозв'язаних робіт для забезпечення якості СВ на стадіях ЖЦ залежить від упровадження процесів моніторингу, вимірювання, аналізування та поліпшування. Діагностика процесів та виробів є ефективним засобом та одним із першочергових етапів для збору, опрацювання та використання інформації про відповідність СВ і процесів при виготовленні та експлуатації встановленим вимогам.

наукових підходів чином. відсутність вілповілного нормативно-методичного забезпечення ефективного використання технікоекономічної інформації для прийняття рішень на основі загальносистемних еволюційних моделей, які враховують організованість структури процесів під час проектування, виготовлення та експлуатації СВ залежно від динамічної зміни внутрішнього і зовнішнього середовища, призводить до значних необґрунтованих витрат інформаційних, матеріальних та енергетичних ресурсів для задоволенні вимог замовників та інших зацікавлених сторін. Ця проблема є актуальною для різних галузей промисловості України і значною мірою стосується ефективності використання техніко-економічної інформації при забезпеченні якості таких СВ, як металорізальні верстати (МВ), компресорне обладнання (КО) та поліграфічні паперорізальні машини (ПМ). Її вирішення дасть можливість розробити рекомендації для відповідного нормативно-методичного забезпечення. У зв'язку з цим актуальними напрямами досліджень є:

- вдосконалення взаємозв'язків між окремими рівнями функціональних підсистем СВ і процесів, що їх супроводжують на стадіях ЖЦ;
- розроблення нових науково обгрунтованих методів підтримки прийняття рішень про відповідності СВ встановленим вимогам на стадіях їх ЖЦ на основі використанні загальносистемних еволюційних моделей, які враховують організованість структури процесів залежно від динамічної зміни внутрішнього і зовнішнього середовища;
- підвищення достовірності інформації для прийняття обгрунтованих рішень щодо відповідності вимогам на основі вдосконалення методів діагностування і прогнозування технічного стану найменш надійних елементів СВ при експлуатації.

Проведений аналіз дозволив сформулювати мету дослідження та визначити основні задачі наукового дослідження, спрямованого на

підвищення ефективності використання техніко-економічної інформації при виконанні сукупності взаємозв'язаних робіт для забезпечення відповідності СВ встановленим вимогам.

Метою дослідження ϵ розвиток теорії та методів ефективного використання техніко-економічної інформації для забезпечення якості складних виробів у машинобудуванні на основі моделювання самоузгодженої взаємодії процесів при проектуванні, виготовленні та експлуатації і розроблення рекомендацій до відповідного нормативно-методичного забезпечення.

Результати досліджень. Алгоритм ефективного використання техніко-економічної інформації на стадіях ЖЦ СВ може бути зображений схемою на рисунку 5. Для прийняття рішень щодо забезпечення відповідності СВ встановленим вимогам на стадіях ЖЦ проводиться оцінювання ефективності застосування елементів $\Phi\Pi C_i$.

Такий алгоритм дозволяє провести відбір сукупності типів засобів (технічних ($\Phi\Pi_{KT3_j}$) і програмних ($\Phi\Pi_{\Pi3_j}$)) та оперативного персоналу ($\Phi\Pi_{O\Pi_j}$), що є складовими функціональних підсистем і які здійснюють цілеспрямовану дію матеріального $S_N(t_K)$, енергетичного $E_N(t_K)$ та інформаційного $I_N(t_K)$ типів ресурсів на об'єкт перетворення.

Діапазони зміни їх параметрів відповідають комплексному критерію

переваги
$$1 < \frac{F_e}{F_c} \le 2$$
 і його компонентам $\frac{\tau_F}{\tau_Q} < \frac{F_e^2}{8(F_e-1)}$ (τ_F , τ_Q — відповідно

характерні часи зміни параметра порядку (виробничої функція експлуатації Q) i керуючого параметру (виробничої функції проектування F); F_e — інтенсивність зовнішньої дії; F_c — граничне значення функції F) [8].

Для підвищення об'єктивності оцінок функціональних підсистем $\Phi\Pi C_j$, що грунтуються на кількісному врахуванні різнопланових показників множини типів елементів ($\Phi\Pi_{KT3}$, $\Phi\Pi_{\Pi 3}$, $\Phi\Pi_{O\Pi}$) пропонується комплексний критерій, що враховує їх планові та фактичні результати на стадіях ЖЦ і встановлює залежність зміни значень характеристик виконання робіт при проектуванні, виготовленні та експлуатації СВ від структури складових багатофункціональних та бага тоелементних систем.

Результати досліджень дозволяють класифікувати режими реалізації самоузгодженої взаємодії функціональних підсистем (таблиця 1). Аналізуючи переваги та недоліки цих варіантів, обирають найбільш оптимальний варіант конструкції машинобудівного виробу з точки зору витрат на його проектування, виготовлення та експлуатацію. Таким чином, спільне функціонування процесів ЖЦ СВ можна представити як відкриту систему

взаємодії відповідних функціональних підсистем, кожна з яких може мати самостійний характер застосування своїх результатів.

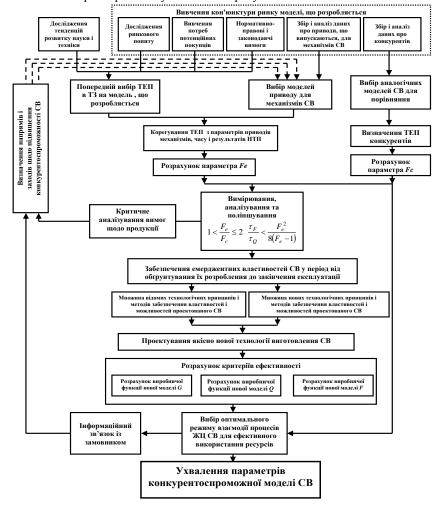


Рисунок 5 – Алгоритм вибору ефективних режимів реалізації процесів ЖЦ СВ

Їх інтеграція до загальної системи забезпечує якісно нову сукупність властивостей та міру корисності машинобудівного СВ, а також підвищення техніко-економічних показників при його виготовленні та експлуатації. Режими реалізації системи визначаються сукупністю умов і засобів багатьох

економічних, технічних і соціальних процесів, що зазнають на собі неоднакового впливу зовнішнього середовища і мають різний ступінь інерційності. Методологія колективної поведінки функціональних підсистем запропонована для використання при підвищенні ефективності процесів ЖЦ СВ.

Таблиця 1 – Режими взаємодії типових процесів на стадія х ЖЦ СВ

Найме ну вання пер еходу	Критерії оцінки ефективності реалізації процесів ЖЦВ		Стан системи процесів проектування, виготовлення та
	синер гетичні параметр и	кінетичні параметри	експлу атації
Безперервний перехід	$F_e = 0.7F_c$	$ au_G << au_Q, au_F$	Точка D на фазових портретах відповідає неефективній взаємодії процесів
	$F_e = 1,5F_c$		Точка О на фазових портретах відповідає ефективній взаємодії процесів
	$F_e = 1.5F_c$	$ au_Q << au_G, au_F$	Точка О на фазових портретах відповідає ефективній взаємодії процесів
	$F_e = 1.5 F_c$	$ au_F << au_Q, au_G$	Точка О на фазових портретах відповідає ефективній взаємодії процесів
Пер ер ивчастий пер ехі д	$F_e = F_{c0}$	$\tau_G << \tau_0, \tau_F$	Точка D на фазових портретах відповідає неефективній взаємодії процесів
	$F_e = 1,25 \div 1,8F_c$	$ au_0 << au_G, au_F$	Ділянка МОЅ на фазових портретах відповідає ефективній взаємодії процесів
	$F_e = 1,25F_c$	$\tau_0 << \tau_G, \tau_F$	Ділянка МОЅ на фазових портретах відповідає ефективній взаємодії процесів
	$F_e = 1,25F_c$	$ au_F << au_0, au_G$	Точка О на фазових портретах відповідає ефективній взаємодії процесів

Результати дослідження структури багатофункціональних і багатоелементних підсистем на стадіях ЖЦ СВ для різних співвідношень можливих варіантів кінетики фазових переходів першого і другого роду показують, що забезпечення відповідності встановленим вимогам можливе тільки при одночасному зростанні значень функцій проектування F і експлуатації Q в інтервалі 063-1,0.

Головними визначальними факторами для переходу до ефективного режиму реалізації процесів на стадіях ЖЦ є швидкість зростання конструкторсько-технологічного рівня CB, що відповідає технологічному рівню виробничих виробника. Результати визначення функцій F(t) і G(t) дозволяють здійснити порівняльний аналіз перспективних конкурентоспроможних моделей СВ і тим самим оцінити потенційні виробничі можливості підприємства з позиції узгодженої зміни основних техніко-економічних показників на основі є диних науково-методичних принципів.

Таким чином, розроблено розрахунково-експериментальний метод визначення оптимальних параметр ів процесів на стадіях ЖЦ СВ, що забезпечує зниження витрачання відповідних ресурсів.

Висновки по даному дослідженню, перспективи подальшого розвитку даного напрямку. Для вирішення завдання прогнозування результатів спільної взаємодії процесів проектування, виготовлення та експлуатації при забезпеченні відповідності СВ встановленим вимогам в умовах зміни їх внутрішнього і зовнішнього середовищ розглянута самоорганізація ЖЦ, як відкритої системи. При формуванні характеристик готової кінцевої продукції з урахуванням обмежень на всі види ресурсів використаний принцип динамічного програмування. Встановлено, що у загальному випадку самоузгоджена взаємодія процесів проектування, виготовлення та експлуатації визначається набором трьох синергетичних і трьох кінетичних параметрів. Головну роль для прийняття обґрунтованих рішень про ефективне використання техніко-економічної інформації на стадіях ЖЦ СВ відіграє зовнішній фактор F_e , відношення якого до критичного значення F_c визначає тип стану системи процесів ЖЦ СВ. Встановлено, що зв'язок між результатами процесів на стадіях ЖЦ СВ можна взаємні кореляції відслідковувати, аналізуючи параметра сполученого поля та керуючого параметру, які характеризують відповідність встановленим вимогам. Значущі кореляції містять інформацію як про самоорганізовану кластерну структуру процесів ЖЦ СВ, так і про наявні тенденції розвитку. Дослідження взаємних кореляцій на стадіях ЖЦ СВ дозволило виділити найбільш власні значення, які разом із компонентами зміс товну інформацію функцій випуску містять про відповідність встановленим вимогам.

Список використаних джерел: 1. Портер Майкл Е. Конкурентноепреимущество: Как достичь высокого результата и обеспечить его устойчивость / Майкл Е. Портер: [пер. с англ. Е. Калинина]. — М.: АльпинаБизнес Букс, 2005. – 715 с. 2. Жиль Вальтер Конкурентоспособность: Общий подход // Проект Российско-Европейского Центра Экономической Политики (РЕЦЭП). – Москва, 2005. – 52 с. Прахадад К. К. Майбутне конкуренції. Творення унікальної цінності спільно з клієнтами / К. К. Прахалад, Венкат Рамасвамі; [пер. з англ. Михайла Сливоцького]. — К.: Видавництво Олексія Капусти (підрозділ "Агенція Стандарт"), 2005. — 258 с. 4. Хамет Г. Конкурируя за будущее: создание рынков завграшнего дня: [пер. с англ.] / Г. Хамел, К. К. Прахалад — М.: Олимп-Бизнес, 2002. — 288 с. Кабінет Міністрів України Постанова від 2 лютого 2011 р. N 389 ..Про затвердження Програми розвитку інвестиційної та інноваційної діяльності в країні" [Електронний ресурс] // Режим доступу: www.kmu.gov.ua – Урядовий портал. 6. Програма економічних реформ на 2010–2014 роки "Заможне суспільство, конкурентоспроможна економіка, ефективна держава" [Електронний ресурс] //Режим доступу: www.president.gov.ua — Офіційне представництво Президента України. 7. ДСТУ 3524-97. Надійність техніки. Проектна оцінка надійності складних систем з урахуванням технічного і програмного забезпечення та оперативного персоналу. Основні положення. 8. Залога В.О. Спадкові принципи формування якості складних машинобудівних виробів / В.О. Залога, К.О. Дядюра, В.В. Нагорний – Суми: Монографія. Вид-во СумДУ, 2012. – 349 с. 9. Олемской А. И. Синергетика сложных систем: феноменология и статистическая теория / А. И. Олемской – М.: Эдиториал УРСС, 2009. – 384 с.

Надійшла до редколегії 27.06.2013

УДК 621.9;681.518

В.А. Залога, д-р техн. наук, Р.Н. Зинченко, канд. техн. наук, Сумы, Украина

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ НАСТРОЙКИ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

В даній статті розроблено методику попереднього настроювання системи діагностики стану різального інструмента при точінні, яка не потребує проведення повнорозмірних експериментів для її настроювання. Характерною особливістю даної методики є те, що вона основана на попередніх експериментах з моделювання процесу різання зношеним інструментом за допомогою методу скінчених елементів, для чого необхідно, щоб система діагностування стану різального інструменту мала можливість видавати у процесі обробки різанням інформацію о силі різання. Для реалізації вищезазначеної методики розроблено методику побудови 3D моделі різальної частини інструменту та розроблено САПР за даної методикою в системі РомегShape.

В данной статье разработана методика предварительной настройки системы диагностики состояния режущего инструмента при точении, не требующая проведения полноразмерных экспериментов для ее настройки. Характ ерной особенностью данной методики является то, что она основана на предварительных экспериментах по моделированию процесса резания изношенным инструментом методом конечных элементов, для чего необходимо, чтобы система диагностики режущего инструмента могла выдавать в процессе обработки резанием информацию о силе резания. Для реализации вышеуказанной методики разработана методика построения 3D модели режущей части инструмента и разработана САПР по данной методике в системе PowerShape.

In this paper, was developed the technique of pre-setting system diagnostics of cutting tools for turning, which do not require a full-size experiments to set it up. A characteristic feature of this method is that it is based on pre-setting experiments on modeling of cutting with cutting tool with flank wear by finite element method, which requires the system to diagnose the cutting tools could produce during machining information about the power of cut. To implement the above procedure was developed a method of constructing a 3D model of the cutting tool and developed a CAD system using this technique in the PowerShape.

В процессе механической обработки резанием состояние инструмента, изменяющееся вследствие процесса изнашивания, является одним из важнейших факторов, влияющих как на качество обработанной поверхности, так и на все остальные его технико-экономические показатели. Интенсивность изнашивания инструмента в процессе резания в значительной мере зависит от пары «обрабатываемый – инструментальный» материалы и принятых условий обработки. Следует отметить, что при условии обработки относительно больших партий заготовок (крупносерийный и массовый тип производств) работоспособность инструмента может оцениваться, например,

таким параметром (критерием), как период его стойкости, который при достижении им значения, соответствующего критической (допустимой) величине износа режущей (рабочей) части, более или менее достоверно свидетельствует о моменте замены инструмента. Однако, при единичном и мелкосерийном, a. сле довательно, И многономенклатурном, производств, характерных для современного машиностроения, критерий является практически непригодным, но, вместе с тем, при таких видов работы рабочему - станочнику (оператору) необходимо иметь не только возможность контроля текущего состояния инструмента на протяжении всего времени его работы, но и управления им. Особенно необходимым является крайне труднообрабатываемых материалов дорогостоящим инструментом, а также при комбинировании различных видов обработки одним инструментом (продольное точение, подрезание торца, фасонное точение и др.), когда, с одной стороны, требуется максимальное использование ресурса инструмента и получение экономического эффекта от его использования, а, с другой стороны, с целью обеспечения отсутствия брака, своевременная остановка процесса резания и замена изношенного инструмента или его режущей части. В указанных случаях наиболее целесообразным и оправданным является использование систем диагностики состояния режущего инструмента (СДСРИ) как непосредственно в процессе резания, так и за его пределами [1].

Известно [1], что для нормальной работы любой системы диагностики (СД) сначала в ее базе данных (рис. 1) должна быть накоплена необходимая для диагностирования информация (база данных), которая позволяла бы ей принимать решение, соответствующее действительному состоянию как отдельно взятого инструмента, так технической (обрабатывающей) системы в целом. Для этого необходимо произвести сопоставление значений информативных показателей с эталоном (рис. 2), который соответствует величине диагностируемого параметра, например, величины износа по задней поверхности инструмента.

Решение этой задачи сводится либо к поиску информации в различных литературных источниках и наполнению из них базы данных, причем в этом случае приходится доверять достоверности результатов, полученных другими исследователями, либо к самостоятельному проведению дополнительных (нала дочных) экспериментов, что может оказаться более достоверным, более затратным вариантом, особенно при обработке однако дорогостоящим инструментом дорогостоящих И, как правило, труднообрабатываемых материалов.



Рисунок 1 – Схема работы системы диагно стирования [1]



Рисунок 2 – Схема создания базы данных в системе диагностики [1]

Второй подход может окупиться, чаще всего, только при высокой серийности. Можно также подстраивать уже имеющуюся СД в процессе обработки детали, что в условиях малой серийности и большой номенклатуры обрабатываемых деталей может являться в достаточной мере приемлемым. Этот метод тоже является в достаточной степени достоверным, но требующим определенных навыков у рабочего-станочника, т.е. требующим его более высокой квалификации. В настоящее время наиболее интересным вариантом является предварительная настройка СДСРИ. Как

правило, для проведения настройки СДСРИ некоторые авторы прибегают к предварительным натурным экспериментам [2-4 и др.], по результатам которых они настраивают экспертную подсистему СД на основе нечеткой логики [5], искусственных нейронных сетей [6,3], генетических алгоритмов [7] и, гибридных систем, построенных на нейронечетких системах [8], на основе вейвлет анализа [9,10] и др., что для формирования базы знаний является крайне неудобным.

Цель работы: разработка методики предварительной настройки системы диагностики состояния режущего инструмента при точении.

В связи с этим предлагается методика, которая основана на предварительных виртуальных экспериментах, которые заключаются в моделировании процесса резания изнашивающимся инструментом с помощью метода конечных элементов (МКЭ). Для этого необходимо выполнение определенных требований, основанных на том, что в процессе моделирования процесса резания с помощью МКЭ решатель LSDYNA позволяет получать параметры напряженно-деформированного состояния элементов системы резания и текущие значения силы резания [11, 12].

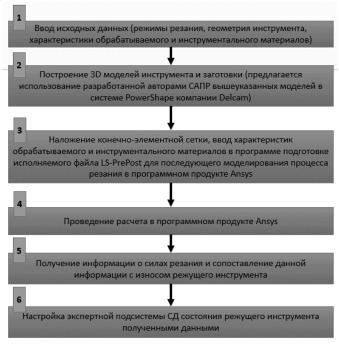
Эти требования к СД могут быть сформулированы следующим образом:

- 1) необходимо, чтобы СДСРИ могла выдавать в процессе обработки информацию о силе резания. Такими методами могут быть методы, построенные либо на непосредственном измерении сил резания или мощности резания, либо на возможности функционального определения этих показателей в процессе резания;
- 2) если СДСРИ может выдавать в процессе обработки информацию о силе резания, то должна быть установлена корреляционная связь между информативным показателем того метода, на котором построена СДСРИ, и силой или мощностью резания.

В связи с вышесказанным, вытекает практическая необходимость создания комбинированного метода диагностики состояния режущего инструмента, который бы не только позволял осуществлять собственно процесс диагностирования (например, с помощью акустического излечения, акустической эмиссии др.), но обеспечивать И И функционального определения в процессе обработки силы или мощности резания. Такой комбинированный метод позволит СДСРИ значительно повысить точность диагностирования, особенно в случае случайных колебаний информативных показателей одного из методов диагностики, входящих в СДСРИ. Следует отметить, что для реализации второго настройки СД необходимо проведение некоторых требования для экспериментов для установления корреляционных связей между износом инструмента и силой (или мощностью) резания, а также износом инструмента

и информативными показателями принятого метода диагностики, входящего в состав комбинированной СД.

Предлагаемый метод предусматривает следующую последовательность процедур, связанных с предварительной настройкой СДСРИ (рис. 3).



Рису нок 3 — Алгор итм методик и предвар ительной настройки СД состояния режущего инструмента

Этап 1. На данном этапе необходимо ввести исходные данные о режимах резания (V,S,t), геометрии инструмента (передний и задний углы, главный и вспомогательный углы в плане, угол наклона режущей кромки) и его габаритах, а также характеристики обрабатываемого и инструментального материалов.

Этап 2. На данном этапе строятся модели инструмента (с учетом степени его износа в данный момент процесса резания) и заготовки в соответствии с геометрическими параметрами режущей части, введенными на первом этапе по методикам, представленным в [13]. Модель заготовки строится вручную, а для построения модели инструмента разработана САПР в среде Delphi которая использует встроенный язык макросов системы PowerShape

(программный продукт гибридного моделирования компании Delcam). Окно разработанной программы (САПР) представлено на рис. 4. Программа работает по алгоритму, приведенному на рис. 5.

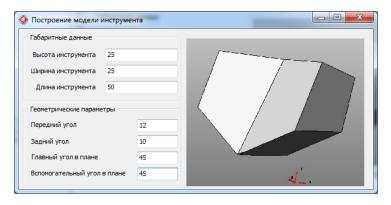


Рисунок 4 – Окно разработанной САПР для построения модели инструмента

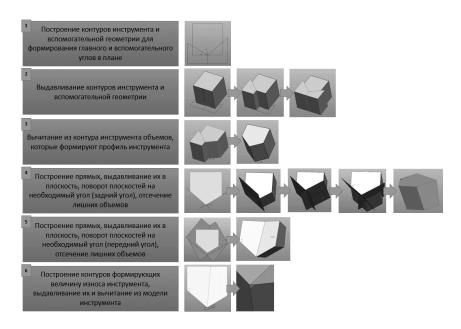


Рисунок 5 – Алгоритм работы САПР инструмента

На первом этапе, формируется новая модель инструмента, позволяющая сформировать контуры заготовки для инструмента и предварительные контуры его режущей части, которые в дальнейшем сформируют главный и вспомогательный углы в плане (п. 1). На втором этапе эти контуры - контур заготовки будущей модели инструмента и контур режущей части, который будет формировать главный и вспомогательный углы в плане, - выдавливаются (п. 2). На третьем этапе сформировавшиеся объемы вычитаются из объема заготовки инструмента (п. 3). На четвертом этапе вдоль главной и вспомогательной режущих кромок строятся прямые, которые длиннее режущих кромок, и при помощи команды формирования поверхностей методом выдавливания превращаются в плоскости и поворачиваются под задним углом. С помощью команды отсечения поверхностью [13,14] отсекают от заготовки инструмента «ненужные» объемы, формируя модель инструмента с заданными главным и вспомогательным задними углами (п. 4). Аналогичным способом на пятом этапе формируются главный и вспомогательный передние углы (п. 5). На заключительном шестом этапе формируется контур, который после выдавливания и вычитания из модели инструмента «ненужных» объемов, формирует модель инструмента с заданной величиной износа (п. 6).

Этап 3. После построения модели изношенного инструмента и заготовки, накладывается конечно-элементная сетка в программе LS-PrePost, окно которой представлено на рис. 6, по методике, представленной в [11 и 12], и выполняются расчеты в программном продукте Ansys (этап 4), после чего для оценки соответствующего состояния инструмента (степени его износа) необходимо извлечь данные о силе резания (этап 5) и обучить этим данным экспертную подсистему СДСРИ (этап 6).

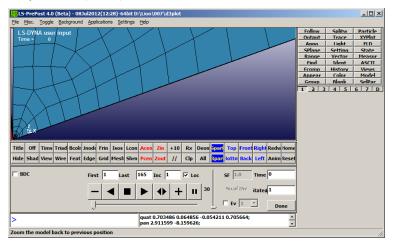


Рисунок 6 – Окно программы LS-PrePost

Выво лы:

- 1) разработана методика предварительной настройки СДСРИ при точении, не требующая проведения полноразмерных экспериментов для настройки СДСРИ;
- 2) характерной особенностью данной методики является то, что она основана на предварительных экспериментах по моделированию процесса резания изнашивающимся инструментом методом конечных элементов (МКЭ), для чего необходимо, чтобы система диагностики режущего инструмента могла выдавать в процессе обработки информацию о силе резания;
- 3) для реализации вышеуказанной методики разработана методика построения 3D модели режущей части инструмента и разработана САПР по данной методике в системе PowerShape;
- 4) для повышения точности диагностирования, особенно в условиях случайных колебаний информативных показателей одного из принятых методов диагностики, а также для реализации разработанной методики предварительной настройки СДСРИ, предложено создание комбинированной СДСРИ, содержащей помимо метода диагностики, на котором уже построена СДСРИ, также в своем составе и метод диагностики, который позволяет получать информацию о силе (или мощности) резания.

С писок использованных источников: 1. Залога В.А. Новая структура системы диагностирования состояния режущего инструмента, основанная на использовании правил нечеткой логики и систем искусственного интеллекта [Текст] / В.А. Залога, Р.Н. Зинченко, А.В. Гонщик // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. Технические науки. – 2011. – Вып. 27. – C. 46-52. 2. R.G. SILVA. Tool wear monitoring of turning operations by neural network and expert system classification of a feature set generated from multiple sensor / R.L. Reuben, K. J. Baker and, S.J. Wilcox // Mechanical Systems and Signal Processing (1998) 12(2), 319-332. 3. Зинченко Р.Н. Повышение эффективности точения за счет диагностики износа инструмента по акустическому излучению: Дисс. ... канд. техн. наук:05.03.01. - Харьков, 2005. - 188 с. 4. Деревянченко А.Г. Распознавание состояний режущих инструментов интегрированных производств. [текст]/А.Г. Деревянченко, В.Д. Павленко; «штучний інтелект» 4'2006 – 2006. 5. Р. Arabshahi. Adaptation of Fuzzy Inferencing: A Survey / P. Arabshahi, R.J. Marks, R. Reed // Department of Electrical Engineering, University of Washington FT-10 Seattle, WA 98195 USA. 6. R.G. Silva. A neural network approach to tool wear monitoring / R.L. Reuben, K.J. Baker, S.J. Wilcox // department of Mechanical and Manufacturing Engineering, University of Glamorgan, Pontypridd, Mid Glamorgan. UK 7. Sofiane Achichea, Marek Balazinskia, Luc Barona, Krzysztof Jemielniak. Tool wear monitoring using genetically-generated fuzzy knowledge bases, Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2002, Vol. 15, pp. 303-314. 8. V.S. Shama, S.K. Shama, A.K. Shama. Cutting tool wear estimation for turning, Journal of Intelligent Manufacturing, 2008, Vol. 19, pp. 99 – 108. 9. Хвостиков А.С. Диагностика износа режущего инструмента на основе вейвлет-анализа сигнала виброакустической эмиссии: дис.... кандидата технических наук: 05.03.01 / Хвостиков Александр Станиславович; [Место защиты: Комсомольскна-Амуре гос. техн. vh-тl.- Комсомольск-на-Амуре. 2007. – 157 с.: ил. РГБ ОЛ. 61 07-5/4967 10. Litao Wang. Tool wear monitoring in reconfigurable machining systems hrough Wavelet analysis / G. Mostafa, Mehrabi, Elijah Kannatey-Asibu // Engineering Research Center for Reconfigurable Machining Systems University of Michigan, Ann Arbor, MI 48109-2125. 11. Моделирование процессов резания методом конечных элементов: методологические основы: монография / Д.В. Криворучко, В.А.

Залога; под общ. ред. В.А.Залоги. — Сумы: Университетская книга, 2012. — 435с. 12. Основи 3D-моделювання процесів механічної обробки методом скінченних елементів /Д.В. Криворучко, В.О. Залога, В.Г. Корбач. — Суми: Вид-во СумДУ, 2009. — 208 с. 13. Библиотека автоматизации построений и создания САПР в системе POWERSHAPE с использованием объектно-ориентированного языка программирования DELPHI [Текст] / В. А. Залога, Р. Н. Зинченко // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. — 2010. — Вип. 26. — С. 239-247. 14. Методичні вказівки до практичної роботи "Система PowerShape. Інтерфейс системи" з курсу "Комп'ютерні технології у верстатобудуванні" та "Комп'ютерні технології в інструментальному виробництві" [Текст]: для студ. спец. 7.090203 «Металорізальні верстати та системи», 7.090204 "Інструментальне виробництво" усіх форм навчання / В.О. Залога, Р.М. Зінченко. — Суми: СумДУ, 2009. — 66 с. — 5-78 15. Методичні вказівки до практичної роботи "Система "РоwerShape". Поверхневе моделювання" з курсів "Комп'ютерні технології у верстатобудуванні" та "Комп'ютерні технології в інструментальному виробництві" [Текст]: для студ. спец. 7.090203 "Металорізальні верстати та системи", 7.090204 "Інструментальне виробництво" усіх форм навчання / В.О. Залога, Р.М. Зінченко. — Суми: СумДУ, 2010. — 177 с.

Поступила в редколлегию 04.07.2013

УДК 62-503.5

Е.Е. Запорожченко, канд. физ.-мат. наук, М.С. Сазонова, канд. физ.-мат. наук, Днепропетровск, Украина С.Н. Лавриненко, д-р техн. наук, И.С. Лавриненко, Харьков, Украина

ОПЕРИРОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА БИОИНЖЕНЕРНЫХ ИЗДЕЛИЙ

У статті розглянуті аспекти застосування теореми байєса про умовну ймовірность певної події при заданій ймовірності іншої події для вирішення проблем підвищення якісних показників при виробництві виробів біоінженерного призначення. даний підхід пов'язаний із статистичним оцінюванням параметрів технологічних моделей і дає можливість отримати прийнятні з практичної точки зору оцінки за допомогою малих вибірок в умовах реального виробництва.

В статье рассмотрены аспекты применения теоремы Байеса об условной вероятности определенного события при заданной вероятности другого события для решения проблем повышения качественных показателей при производстве изделий биоинженерного назначения. Данный подход связан со статистическим оцениванием параметров технологических моделей и дает возможность получить приемлемые с практической точки зрения оценки при помощи малых выборок в условиях реального производства.

The article deals with aspects of the application of Bayes' theorem of conditional probability of a particular event at a given probability of another event to address the quality indexes of the production of bioengineering components. This approach is related to the statistical estimation of parameters of technological models and makes it possible to obtain acceptable evaluation from a practical point of view using small samples in real production.

и постановка проблемы. Использование Анализ литературы байесовских мето дов для классификации, прогнозирования и восстановления регрессии, необходимые оперировании при вероятностными характеристиками обеспечения качества в реальных технологических процессах производства в настоящее время является актуальной задачей [1-3]. При этом байесовский подход к теории вероятностей является альтернативой классическому частотному подходу [4, 5]. В данном случае вероятность интерпретируется как мера незнания, компенсируемая возможностью экспертной оценки высококвалифицированных специалистов, а не как объективная случайность. Простые правила оперирования с вероятностью, такие как формула полной вероятности и формула Байеса, позволяют проводить оценку в условиях неопределенности, то есть байесовский подход к теории вероятностей можно рассматривать как обобщение классической булевой логики.

Цель статьи — показать результаты создания новой байесовской модели оперирования статистическими данными оценки качественных показателей технологического процесса производства биоинженерных изделий и влияние человеческого фактора (квалификационного уровня персонала), которая более полно учитывает условные вероятности определенного события при заданной вероятности другого события для решения проблем повышения качества выпускаемой продукции. Данный подход связан со статистическим оцениванием экономических и технологических параметров существующих производственных моделей и дает возможность получить приемлемые с практической точки зрения оценки при помощи малых выборок в условиях реального производства.

Байесовская модель повышения качества.

Рассмотрим два предприятия, выпускающие однотипные детали. Предприятие І оснащено высокотехнологичным оборудованием. Однако на нем работает 20% высококвалифицированных работников и 80% работников средней квалификации. Как известно из статистических данных, вероятность изготовить высококачественную деталь работника ДЛЯ высокой квалифи кации этого предприятия 0,98, a для работника средней квалификации 0,81.

На предприятии II, оснащенном низкотехнологичным оборудованием, также работают как работники высокой, так и средней квалификации. Как известно, вероятность изготовления высококачественной детали для работника высокой квалификации этого предприятия равняется 0,92, а для работника средней квалификации 0,74.

Возникает вопрос о том, каким должно быть процентное соотношение работников высокой и средней квалификации на предприятии II, чтобы если деталь, взятая на выборочный контроль, оказалась высокого качества, то более вероятным было бы, что она изготовлена на предприятии II с низко техно логичным оборудованием, но с более квалифицированными кадрами. Для решения этого вопроса обратимся к форм уле Байеса.

Выскажем две гипотезы о том, где изготовлена деталь, взятая на выборочный контроль:

 H_1 – деталь изготовлена на предприятии I,

 H_2 – деталь изготовлена на предприятии II.

Если считать, что предприятия изготавливают равные количества деталей, то $P(H_1) = P(H_2) = \frac{1}{2} = 0.5$.

Предположим, что взятая на выборочный контроль деталь оказалась высокого качества. Это, согласно формуле Байеса, позволяет переоценить вероятности гипотез H_1 и H_2 . А именно, для второй гипотезы новая

вероятность обозначается $P_A(H_2)$ (вероятность после наступления события A — деталь оказалась высокого качества) и находится по формуле

$$P_{A}(H_{2}) = \frac{P(H_{2}) \cdot P_{H_{2}}(A)}{P(H_{1}) \cdot P_{H_{1}}(A) + P(H_{2}) \cdot P_{H_{2}}(A)},$$
(1)

где $P_{H_1}(A)$ и $P_{H_2}(A)$ – условные вероятности того, что деталь высокого качества A при условии, что она изготовлена на предприятии A предприяти

Вычислим вероятность $P_{H_1}(A)$ по формуле полной вероятности. Для этого рассмотрим гипотезы:

 $B_{
m l}$ — деталь изготовлена высококвалифицированным работником І предприятия;

 B_2 — деталь изготовлена работником средней квалификации предприятия I.

Тогда формула полной вероятности имеет следующий вид:

$$P_{H_1}(A) = P(B_1) \cdot P_{B_1}(A) + P(B_2) \cdot P_{B_1}(A) = \frac{20}{100} \cdot 0.98 + \frac{80}{100} \cdot 0.81 = 0.2 \cdot 0.98 + 0.8 \cdot 0.81 = 0.844$$

Вычисление вероятности $P_{H_2}\left(A\right)$ производится также по формуле полной вероятности, с тем лишь отличием, что пока считается неизвестным процентное соотношение работников высокой и средней квалификации этого (II) предприятия. Вводятся гипотезы:

 C_1 — деталь изготовлена работником высокой квалификации предприятия II;

 C_2 — деталь изготовлена работником средней квалификации предприятия II.

По формуле полной вероятности

$$P_{H_2}(A) = P(C_1) \cdot P_{C_1}(A) + P(C_2) \cdot P_{C_2}(A).$$
 (2)

Обозначим через m % - процент работников высокой квалификации II предприятия, тогда процент работников средней квалификации - (100-m) %.

Тогда
$$P(C_1) = \frac{m}{100}$$
; $P(C_2) = \frac{100 - m}{100}$.

Согласно статистическим данным $P_{C_1}(A) = 0.92$; $P_{C_2}(A) = 0.74$.

Тогда по формуле (2) имеем

$$P_{H_2}(A) = \frac{m}{100} \cdot 0.92 + \frac{100 - m}{100} \cdot 0.74$$
 (3)

Возвращаясь к формуле Байеса (1) и подставляя вероятности, получаем

$$P_{A}(H_{2}) = \frac{0.5 \cdot P_{H_{2}}(A)}{0.5 \cdot 0.844 + 0.5 \cdot P_{H_{2}}(A)} = \frac{P_{H_{2}}(A)}{0.844 + P_{H_{2}}(A)}.$$
 (4)

Нетрудно понять, что для того, чтобы более вероятным было, что высококачественная деталь была изготовлена на предприятии II, надо, чтобы новая вероятность гипотезы H_2 была больше первоначальной вероятности, то есть чтобы $P_A\left(H_2\right) > P\left(H_2\right) = 0.5$.

A именно, чтобы
$$\frac{P_{_{H_{2}}}\left(A\right)}{0,844+P_{_{H_{2}}}\left(A\right)} > 0,5$$
 .

Решив это неравенство, получаем, что $P_{H_2}\left(A\right)$ должна быть больше, чем 0,844. Из формулы (3) имеем условие, что должно выполняться неравенство $\frac{m}{100}\cdot 0,92 + \frac{100-m}{100}\cdot 0,74 > 0,844$. Отсю да:

$$0.92m + (100 - m) \cdot 0.74 > 84.4$$
; $0.92m + 74 - 0.74m > 84.4$; $0.18m > 10.4$, $m > \frac{1040}{18}$; $m > 57\frac{7}{9}$ %.

Таким образом, если процент квалифицированных работников II предприятия превысит 57,7%, то более вероятным будет то, что взятая на выборочный контроль и оказавшаяся высокого качества деталь, была изготовлена на предприятии II (за счет высокой квалификации его работников).

Пусть, для определенности, на предприятии II работает 60% работников высокой и 40% средней квалификации.

Тогда $P_{H_1}(A) = 0,6 \cdot 0,92 + 0,4 \cdot 0,74 = 0,848$ и по формуле Байеса

$$P_A(H_2) = \frac{0.5 \cdot 0.848}{0.5 \cdot 0.844 + 0.5 \cdot 0.848} = \frac{0.848}{1.692} = 0.5012$$
.

Так как H_1 и H_2 - несовместные события, образующие полную группу событий, то их вероятности в сумме равна 1. Поэтому $P_A(H_1) = 1 - P_A(H_2) = 1 - 0.5012 = 0.4988$. Таким образом, более вероятным является то, что деталь, взятая при выборочном контроле и оказавшаяся высокого качества, изготовлена на предприятии II.

Предположим, что при повторении выборочного контроля опять была обнаружена деталь высокого качества (A). Как это скажется на вероятности гипотез? Применяя вторично формулу Байеса, имеем

$$P_{A \cdot A}(H_2) = \frac{0,5012 \cdot 0,848}{0,4988 \cdot 0,844 + 0,5012 \cdot 0,848} = \frac{0,425}{0,846} = 0,5024.$$

$$P_{A\cdot A}(H_1) = 1 - 0,5024 = 0,4976$$
.

Как видно, вероятность гипотезы H_2 еще увеличилась, то есть еще более вероятнее, что успешно прошедшая выборочный контроль деталь изготовлена на менее технологичном предприятии II, но с более квалифицированными работниками.

Можно показать, что тенденция к увеличению вероятности гипотезы H_2 после каждого наступления события A (взятая на контроль деталь высокого качества) сохранится.

$$P_{A \cdot A \cdot A} \left(H_2 \right) = \frac{0,5024 \cdot 0,848}{0,4976 \cdot 0,844 + 0,5024 \cdot 0,848} = \frac{0,426}{0,42 + 0,426} = \frac{0,426}{0,846} = 0,5036 \, .$$

$$P_{A \cdot A \cdot A}(H_1) = 1 - 0.5036 = 0.4964$$
.

Обобщим полученные данные. Обозначим процент работников высокой квалификации предприятия I $m_{\rm l}$ %, тогда процент работников средней квалификации – $(100-m_{\rm l})$ %.

На предприятии II m_2 % работников высокой квалификации и $\left(100-m_2\right)$ % средней квалификации.

Пусть деталь, взятая на выборочный контроль из партии деталей, изготовленной на 50% на предприятий I и на 50% на предприятии II, оказалась высокого качества (событие A).

Этот факт меняет вероятности гипотез H_1 и H_2 (деталь изготовлена на предприятии I и на предприятии II соответственно). Если первоначальные вероятности гипотез $P(H_1) = P(H_2) = 0.5$, то новые вероятности гипотез

(после наступления события A) $P_A(H_1)$, $P_A(H_2)$ могут быть вычислены по формулам Байеса

$$P_{A}(H_{i}) = \frac{P(H_{i}) \cdot P_{H_{i}}(A)}{P(H_{1}) \cdot P_{H_{1}}(A) + P(H_{2}) \cdot P_{H_{2}}(A)},$$
(5)

где i=1,2; $P_{H_1}\left(A\right)$, $P_{H_2}\left(A\right)$ - условные вероятности того, что деталь, взятая на выборочный контроль высокого качества при условии, что она изготовлена на I предприятии; на II предприятии, которые могут быть вычислены по формуле полной вероятности

$$P_{H_1}(A) = \frac{m_1}{100} \cdot 0.98 + \frac{100 - m_1}{100} \cdot 0.81 = \frac{0.98m_1 + 0.81(100 - m_1)}{100},$$

$$P_{H_2}(A) = \frac{m_2}{100} \cdot 0.92 + \frac{100 - m_2}{100} \cdot 0.74 = \frac{0.92m_2 + 0.74(100 - m_2)}{100}.$$

Тогда

$$P_{A}(H_{1}) = \frac{0.5 \cdot \frac{1}{100} (0.98m_{1} + 0.81(100 - m_{1}))}{0.5 \cdot \frac{1}{100} (0.98m_{1} + 0.81(100 - m_{1})) + 0.5 \cdot \frac{1}{100} (0.92m_{2} + 0.74(100 - m_{2}))} = \frac{0.98m_{1} + 0.81(100 - m_{1})}{0.98m_{1} + 0.81(100 - m_{1}) + 0.92m_{2} + 0.74(100 - m_{2})};$$

Аналогично

$$P_{A}(H_{2}) = \frac{0.92m_{2} + 0.74(100 - m_{2})}{0.98m_{1} + 0.81(100 - m_{1}) + 0.92m_{2} + 0.74(100 - m_{2})}.$$
 (6)

Вычислим, при каком соотношении процента квалифицированных работников предприятий I и II m_1 и m_2 более вероятным было бы, что взятая при выборочном контроле высококачественная деталь изготовлена на менее технологичном предприятии II (за счет достаточно высокого процента m_2 работников высокой квалификации). То есть, чтобы $P_A\left(H_2\right) > P_A\left(H_1\right)$. Очевидно, что данное неравенство бу дет выполняться, если

$$0.92m_{2} + 0.74(100 - m_{2}) > 0.98m_{1} + 0.81(100 - m_{1}),$$

$$0.92m_{2} - 0.74m_{2} + 74 > 0.98m_{1} - 0.81m_{1} + 81; \quad 0.18m_{2} > 0.17m_{1} + 7,$$

$$m_{2} > \frac{17}{18}m_{1} + 38\frac{8}{9}.$$

$$(7)$$

Понятно, что данное неравенство будет выполняться при $m_2 \ge m_1 + 39$. Заметим, что так как $m_2 \le 100\%$, то m_1 должно быть не больше 61%.

Таким образом, если процент высококвалифицированных работников высокотехнологичного предприятия I не превышает 61%, то с ним может успешно конкурировать низкотехнологичное предприятие II с процентом высококвалифицированных работников $m_2 \ge m_1 + 39$.

Полученные данные можно обобщить, обозначив вероятности изготовления высококачественной детали работником высокой квалификации p_{11} , работником средней квалификации p_{12} (для предприятия I) и p_{21} , p_{22} (для предприятия II). В этих обозначениях неравенство (7) принимает вид

$$\begin{split} p_{21}m_2 + p_{22} \left(100 - m_2\right) &> p_{11}m_1 + p_{12} \left(100 - m_1\right), \\ m_2 \left(p_{22} - p_{22}\right) + 100 p_{22} &> m_1 \left(p_{11} - p_{12}\right) + 100 p_{12}, \\ m_2 \left(p_{21} - p_{22}\right) &> m_1 \left(p_{11} - p_{12}\right) + 100 \left(p_{12} - p_{22}\right). \end{split}$$
 Отсю да $m_2 > \frac{p_{11} - p_{12}}{p_{21} - p_{22}} \quad m_1 + \frac{p_{12} - p_{22}}{p_{21} - p_{22}} \cdot 100 \,. \end{split}$

Выводы.

- 1. Простые правила оперирования с вероятностью, такие как формула полной вероятности и формула Байеса, позволяют проводить оценку в условиях неопределенности, то есть байесовский подход к теории вероятностей можно рассматривать как обобщение классической булевой логики.
- 2. Определено процентное соотношение работников высокой и средней предприятиях с разным уровнем технологического квалификации на обеспечения производственного процесса. Из представленной байесовской модели следует вывод: если процент высококвалифицированных работников высокотехнологичного предприятия I не превышает 61%, то с ним может Π c конкурировать предприятие более низким успешно более те хнологического оснащения, но процентом высоким высококвалифицированных работников ($m_2 \ge m_1 + 39$).

Список использованных источников: 1. Каніовська І.Ю. Теорія ймовірностей у прикладах і задачах / І.Ю. Каніовська — К.: ІВІІ «Видавництво «Політехніка», 2004. — 156 с. 2. Литвин І.І. Вища математика / І.І. Литвин, О.М. Конончук, Г.О. Железняк — К.: Центр навчальної літератури, 2004. — 368 с. 3. Вентцель Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров—М.: Наука, 1998. — 480 с. 4. Турчин В.М. Теорія ймовірностей: Основні поняття, приклади, задачі / В.М. Турчин — К.: А.С.К., 2004. — 208 с. 5. Зайцев Е.П. Теория вероятностей и математическая статистика. Учебно-методическое пособие / Е.П. Зайцев — Кременчуг, 2008. — 484 с.

Поступила в редколлегию 27.06.2013

УДК 621.923

В.Г. Клименко, Полтава, Україна, І.М. Пижов, д-р техн. наук, Харків, Україна

ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ПЛОСКОГО ТОРЦЕВОГО ШЛІФУВАННЯ

Розглянуто питання, пов'язані з підвищенням ефективності процесу плоского торцевого шліфування за рахунок цілеспрямованого управління кутом нахилу робочої поверхні круга. Шпяхом теоретичних розрахунків та комп'ютерного моделювання в середовищі КОМПАС встановлено вплив кута нахилу круга та інших факторів на зміну характеристик поверхні контакту круга і деталі. Показана позитивна роль глибинної схеми шліфування та запропоновано спосіб її реалізації стосовно як до верстатів з вертикальним, так і горизонтальним шпинделем, працюючим торцем круга.

Рассмотрены вопросы, связанные с повышением эффективности процесса плоского торцового шлифования за счет целенаправленного управления углом наклона рабочей поверхности круга. Путем теоретических расчетов и компьютерного моделирования в среде КОМПАС установлено влияние угла наклона круга и других факторов на изменение характеристик поверхности контакта круга и детали. Показана положительная роль глубинной схемы шлифования и предложен способ ее реализации применительно как к станкам с вертикальным, так и горизонтальным итинделем, работающим торцом круга.

Considered the questions connected with increase of efficiency of process of flat grinding the purposeful control the angle of the working surface of the circle. By theoretical calculations and computer modeling in the environment COMPASS the influence of the angle of the circle and other factors on changes in the characteristics of a surface of contact of circle and details. Shown a positive role deep grinding scheme and a method for its implementation for both machines with vertical and horizontal spindle working end face of a circle.

1. Постанов ка проблеми. У машинобудуванні до 20% деталей мають плоскі повер хні значна частина яких потребують операцій шліфування [1]. В більшості відомих способів шліфування утворююча робочої поверхні круга встановлюється паралельно по відношенню до напряму подовжньої подачі, а поперекову подачу здійснюють на хід або подвійний хід [2], [3]. Відомо, що кромка шліфувального круга є найбільш вразливою частиною, оскільки абразивні зерна, які знаходяться на ній працюють у важких умовах. В результаті цього на робочій поверхні круга утворюється фаска [4], що поступово збільшується і поширюється на всю ширину круга. Таким чином, круг з часом набуває оптимальну форму робочої поверхні і в цьому випадку кількість алмазних зерен, які одночасно беруть участь у різанні, суттєво збільшується, а навантаження на кожне зерно – зменшується. Інструмент при

© В.Г. Клименко, І.М. Пижов, 2013

цьому зношується паралельно своєї утворюючою, а алмазоносний шар використовується найбільш повно. Особливу роль зазначений факт набуває при обробці полікристалічних надтвердих матеріалів (ПНТМ), коли відсутнє твердості інструментального необхілне перевишення матеріалу оброблюваних полікристалом, а питома витрата алмазів круга досягає значень 10-20 карат на карат знятого ПНТМ [5]. У цих умовах проблеми з кромкою круга виникають навіть при звичайному багатопро хідному шліфуванні. У цьому випадку особливу важливість набуває питання забезпечення необхідного ступеня заповнення зони шліфування технологічної рідиною [6], [7].

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для захисту кромки круга, наприклад, при глибинному шліфуванні периферійними кругами, останні один раз повертають щодо направлення поздовжньої подачі так, щоб утворююча їх робочої поверхні розташовувалася по відношенню до зазначеному напрямку під деяким кутом, величина якого залежить від глибини шліфування [4]. До недоліків такого прийому слід віднести той факт, що алмазоносний шар круга не може бути повністю використаний. При плоскому торцевому шліфуванні часто користуються прийомом, коли шліфувальний круг на етапі попередньої обробки повертають на певний кут, а на етапі остаточного шліфування повертають у вихідне положення [2], [3].

У першому випадку, коли значення кута с достатнью велике (від десятка хвилин до декілька градусів), у контакті з поверхнею деталі знаходиться тільки частина РПК (з одного його боку), при цьому сліди від зерен круга мають чітко виражений вигляд у формі дуг, які зрушені відносно один одного у напрямку поздовжньої подачі. У другому випадку, коли кут а має невеликі значення (близькі до нуля), в контакт з поверхнею деталі вступає протилежна частина РПК. При цьому сліди від зерен круга також мають чітко виражений вигляд у формі дуг, які зрушені відносно один одного у напрямку поздовжньої подачі, але дуги, утворені лівою частиною круга, мають протилежний напрям і перетинаються з дугами, утвореними правою частиною. У третьому випадку маємо класичний варіант, коли кут а дорівнює нулю і в контакті з поверхнею деталі бере участь вся РПК. Звісно, що у першому випадку позитивним моментом є можливість управління площею зони контакту РПК з оброблювальною поверхнею, а отже і термосиловою напруженістю процесу шліфування [2], [3]. Окрім цього слід додати, що такий підхід забезпечує кращий доступ технологічної рідини у зону шліфування [8]. Це дозволяє істотно підвищити продуктивність обробки за рахунок зниження температури в

шліфування. Але при цьому неминуче підвищення шорсткості і відхилення форми поверхні деталі (у даному випадку має місце її окремий випадок відхилення від площинності — увігнутість). Тому така схема може застосовуватися при незначних вимогах до шорсткості та відхилень форми, тобто при попередньому (чорновому) шліфуванні. По мірі посилення вказаних вимог величину кута стреба зменшувати і при прецизійному шліфуванні приймати равною нуля. Це стає можливим тому, що при чистових і остаточних операціях шліфування використовуються достатньо ощадливі режими різання у наслідок чого вірогідність негативного впливу температурного фактору значно зменшується.

Суттєвим недоліком схеми шліфування з нахилом РПК на кут α є те, що при цьому не передбачається захист кромки круга, оскільки подача на глибину здійснюється таким чином, що зовнішня кромка круга першою вступає в роботу.

- **3. Мета дослідження.** Метою представленої роботи є удосконалення процесу плоского торцевого шліфування за рахунок цілеспрямованого керування кутом нахилу круга.
- **4. Матеріали** досліджень. Традиційні схеми плоского торцевого шліфування з нахилом РПК на кут α наведені на рисунку 1 [2], [3]. При цьому, як видно з рисунку, зовнішня кромка круга першою вступає в роботу що обумовлено відповідним напрямом подовжньої подачі відносно напряму нахилу кругу.

У названих вище джерелах інформації величина кута α на жаль не наводиться. Але вказуються тільки значення зазору δ між крайньою точкою круга 1 і поверхнею деталі 2.

На чорнових стадіях обробки зазор $\delta \leq 2$ мм (рис. 1 а, б), на чистових $\delta \leq 0.05$ мм (рис. 1 в, г), а при прецизійній обробці $\delta = 0$ (рис. 1 д, е). Характерні риски, які мають місце на поверхні деталі наведені на цьому ж рисунку.

Таким чином при δ =0 кут нахилу α =0. При цьому маємо звичайну схему процесу шліфування яка є обов'язковою у разі реалізації прецизійної обробки.

Звісно, що величина кута α , пов'язана не тільки зі значенням зазору δ , а і з с величиною діаметру круга d_k . Дані розрахунку значень кутів α в залежності від діаметру круга при умові, що зовнішня кромка круга тільки торкається поверхні деталі (тобто глибина шліфування t дорівнює нулю), наведені на рисунку 2.

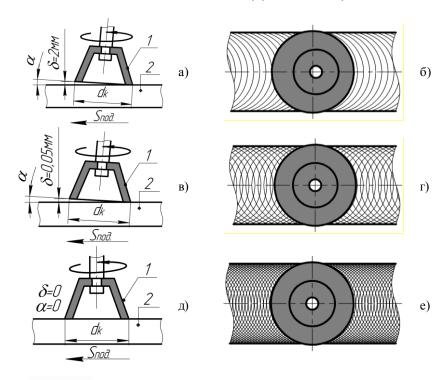


Рисунок 1 – До особливостей процесу плоского торцевого шліфування

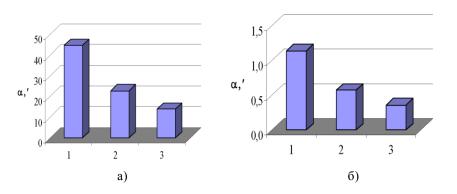


Рисунок 2 — Залежність кута нахилу α від діаметра круга при δ = const а) — δ = 2 мм; б) — δ = 0,05 мм 1- d_k =150 мм; 2- d_k =300 мм; 3- d_k =500 мм

Вони свідчать про те, що у діапазонах значень зазорів δ і діаметрів d_k від 0,05 до 2мм і 150-500мм відповідно величина кута не перевищує 1°. При цьому залежності $\alpha = f(d_k)$ при $\delta = const$ мають нелінійний характер, а залежності $\alpha = f(\delta)$ при $d_k = const$ лінійний (рис. 3).

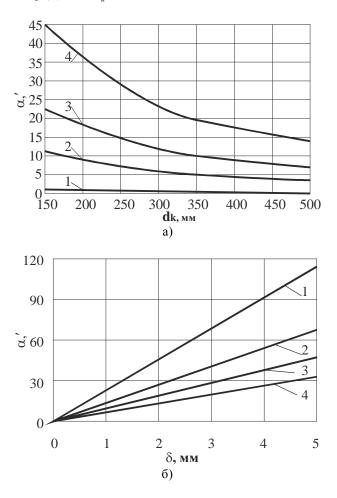


Рисунок 3 – Залежності $\alpha=f$ (d_k , δ) a) -1 - δ =0,05 мм, 2 - δ =0,50 мм, 3 - δ =1,00мм, 4 - δ =2,00мм; б) -1 - d_k =150 мм, 2 - d_k =250 мм, 3 - d_k =350 мм, 4 - d_k =500 мм

Малі значення кутів, які мають місце при умовах, які наведені у літературних джерелах щодо практичної реалізації процесу торцевого шліфування [2], [3], свідчать про те, що їх діапазон для дослідження параметрів процесу шліфування треба по-перше спробувати розширити, а подруге розглядати з урахуванням впливу діаметру круга. Це дасть можливість розробити науково обґрунтовані рекомендації по удосконаленню процесу шліфування як на верстатах з вертикальним розташуванням шпинделю, так і з горизонтальним, наприклад, стосовно заточувальних технологічних операцій.

Як було сказано вище, суттєвим недоліком розглянутої схеми шліфування (коли першою в роботу вступає периферійна кромка РПК) є те, що при цьому немає можливості захисту кромки круга, яка є його найменш сталим елементом. При обробці таких матеріалів як ПНТМ це може призвести до браку виробів, наприклад, через врізання круга в області вершини різця при його заточуванні.

У зв'язку з цим на наш погляд більш раціональною схемою обробки можна вважати глибинну як, наприклад, при внутрішньому шліфуванні [4]. Для її реалізації у нашому випадку потрібно змінити напрямок подовжньої подачі на зворотній (рис. 4 а). Це дає можливість РПК плавно входити в контакт з поверхнею деталі, більш рівномірно зношуватися, а отже забезпечувати кращі значення вихідних показників обробки. Окрім цього шліфування по глибинній схемі у поєднанні з нахилом кругу (який є обов'язковим у цьому випадку) дає можливість керувати у широкому діапазоні площею контакту РПК з деталлю, а отже і термосиловою напруженістю процесу обробки в цілому.

Слід зазначити, що такий підхід можна успішно здійснювати як при обробці зі значними так і з малими глибинами шліфування.

Характер контакту круга з деталлю буде визначатися в основному трьома параметрами, а саме, кутом нахилу круга α , глибиною шліфування t і діаметром круга d_{ν} (рис. 4 б).

Згідно рисунку $4\,$ б при умовах, коли працює тільки одна частина шліфувального круга (у межах ширини РПК), що має місце, наприклад, при заточуванні, формула для визначення величини кута α при якому у контакті з деталлю буде знаходитися певна частина W' ширини W РПК має вигляд:

$$\alpha = \arcsin \frac{AB}{BC} = \arcsin \left(\frac{t}{W'}\right).$$

По мірі збільшення значення кута α довжина W' контакту РПК з деталлю зменшується за законом:

$$W' = \frac{t}{\sin \alpha}$$
.

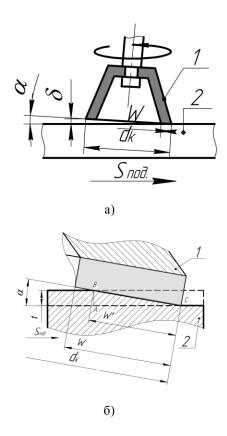


Рисунок 4 – До глибинної схеми торцевого шліфування

При звичайній (не глибинній) схемі шліфування повний контакт РПК з деталлю має місце при α =0 (рис. 1). Але при цьому основна маса припуску знімається тільки частиною РПК (на якій утворюється забірний конус [4]). Інша частина РПК як би підчищає поверхню. У процесі шліфування з нахилом круга, коли є занурення РПК в тіло деталі на глибину t, повний контакт РПК з поверхнею виробу буде мати місце при α >0. Це наглядно ілюструється рисунком 5 (симетричне шліфування) - при певній величині кута α в контакті з деталлю буде знаходитися вся поверхня круга (при умові, що ширина оброблювальної деталі не менша за діаметр кругу, тобто $B \ge d_{\nu}$).

При цьому на відміну від звичайної схеми обробки вся РПК буде більш рівномірно навантажена.

Як видно з рисунка 5, по мірі зменшення величини кута α при незмінній глибині різання t довжина контакту (частина діаметру круга d_{ki}) РПК з деталлю змінюється за законом (рис. 5):

$$\alpha_i = \arcsin\left(\frac{t}{d_{ki}}\right).$$

У випадку коли що ширина оброблюваної поверхні деталі не менше діаметра круга ($B \ge d_k$), РПК буде повністю контактувати з деталлю при значенні кута α (рис. 5):

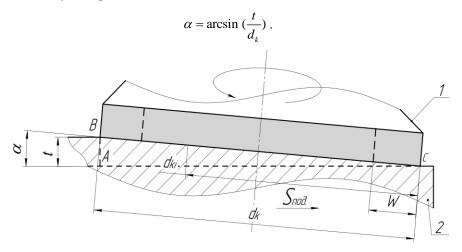


Рисунок 5 – Ілюстрація випадку повного контакту РПК з деталлю

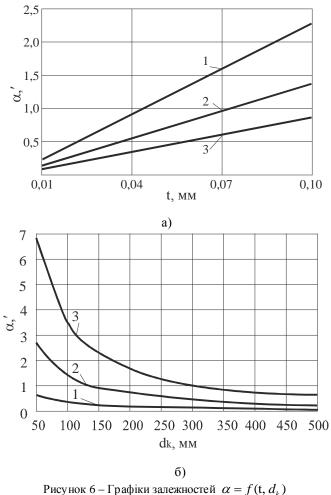
На рисунку 6 представлені залежності для випадку повного контакту абразивного круга з деталлю при різних глибинах різання t і діаметрах круга d_k .

У разі необхідності роботи тільки однією частиною шліфувального торцевого круга (у межах ширини РПК, наприклад, при виконанні операцій заточування інструментів) теоретичний та практичний інтерес представляють залежності між частиною W' ширини W кругу та кутом нахилу α .

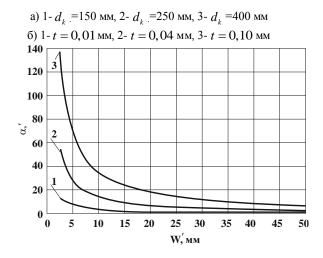
На рисунку 7 наведено графіки зміни кута нахилу РПК α в залежності від ширини W' зони контакту РПК.

Як видно з рисунку у разі використання процесу глибинного шліфування тобто при підвищених значеннях глибини різання t кути нахилу РПК достатньо великі.

Подальші теоретичні дослідження у напрямку тематики, що розглядається, будуть пов'язані з необхідністю дослідження площі контакту РПК з деталлю, відхилень форми оброблювальної поверхні тощо. Тому для спрощення досліджень нами зроблена спроба вирішити цю задачу шляхом комп'ютерного моделювання у середовищі КОМПА С [9]. Фрагмент такого дослідження наведено на рисунку 8.



i o i paqimi santamistri o



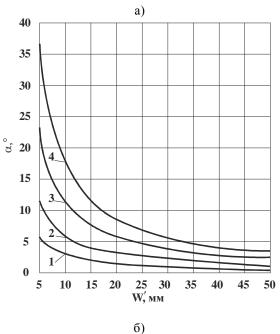
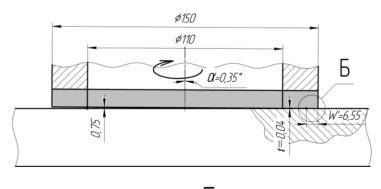


Рисунок 7 – Графіки залежностей $\alpha = f(W', t)$ a)-1- t = 0.01 мм, 2- t = 0.04 мм, 3- t = 0.10 мм;

б)-1-
$$t$$
 =0,5мм, 2- t =1,0мм, 3- t =2,0мм, 4- t =3,0мм



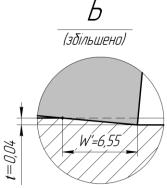


Рисунок 8 – До комп'ютерного моделювання зони контакту РПК з деталлю

Порівняння даних моделювання з теоретичними розрахунками, які наведено вище, свідчить про високий рівень їх збіжності. Це дає підстави для використання цього підходу у подальших дослідженнях зони контакту РПК з деталлю.

На основі виконаних досліджень нами було запропоновано удосконалений спосіб шліфування надтвердих матеріалів [10] торцевими алмазними кругами який заснований на ідеї повороту кругу на кут α . Цей поворот здійснюють у напряму подовжньої подачі так, щоб твірна РПК розташовувалася по відношенню до вказаного напряму під певним початковим кутом α , а поперекову подачу здійснюють на подвійний хід столу верстата. Новим ϵ те, що після повороту круга на початковий кут α

здійснюють його повертання у попереднє положення, яке проводять періодично, причому одночасно з цим місце здійснення поперекової подачі зміщують на протилежну сторону ширини РПК, і як критерій для зміни положення круга вибирають паралельність твірною робочої поверхні по відношенню до напряму подовжньої подачі, а початкову величину кута приймають в межах 2-2,5°. Це дозволяє суттєво знизити брак інструментів з надтвердих матеріалів за рахунок плавного початкового контакту виробу з РПК. Окрім цього РПК зношується в такому випадку більш рівномірно, що призводить до зменшення питомих витрат алмазів кругів.

5. Висновки та перспективи розвитку. Таким чином, виконані дослідження процесу торцевого шліфування з попереднім нахилом кругу дозволили запропонувати удосконалений спосіб обробки надтвердих матеріалів, який розширює технологічні можливості процесу виготовлення лезових інструментів на їх основі. У подальшому представляє значний інтерес питання визначення впливу умов обробки на площу контакту РПК з поверхнею деталей та відхилення їх форми.

С писок використаних джерел: 1. Маталин А.А. Технология машиностроения / А.А. Маталин — Л.: Машиностроение, 1985. — 496 с. 2. Лоскутов В.В. Шлифовальные станки / В.В. Лоскутов. — М.: Машиностроение. – 1976. –191 с. 3. Наерман М. С. Справочник молодого шлифовщика. / М.С. Наерман. - М.: Высш. шк., 1985.-207 с. **4.** Захаренко И.П. Алмазные инструменты и процессы обработки / Захаренко И.П. - К. :Техніка, 1980. - 213 с. 5. Семко М.Ф. Алмазное шлифование синтетических сверхтвердых материалов / М.Ф. Семко, А.И. Грабченко, М.Г. Ходоревский. — Харьков: Вища школа, 1980. — с. 105-106. 6. Худобин Л.В., Киселев Е.С., Унянин А.Н. Эффективность применения техники подачи СОЖ при совмещенном шлифовании // Вестник машиностроения. 1987. № 7. – С. 64-67. 7. Ефимов В.В. Научные основы повышения технологической эффективности СОЖ на операциях шлифования. Диссертация д.т.н. по специальности 05.02.08, 05.03.01. Ульяновск, 1988, 440 с. **8.** Пат. 2162788 Российская Федерация, МПК⁷ В24В55/02. Способ подачи смазочно-охлаждающей технологической смеси в зону шлифования / Степанов Ю.С., Афонасьев Б.И., Куценко С.А., Харламов Г.А., Подзолков М.Г.; патентообладатель и заявитель Орловский государственный технический университе. -99107768/02; заявл. 07.04.1999; опубл. 10.02.2001. Бюл. №4. 9. Грабченко А.І., Пижов І.М., Kлименко B. Γ . Комп'ютерне моделювання зони контакту торцевого круга з деталлю на плоскошліфувальних верстатах / Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції. - Краматорськ: 2013. - С. 62. Пат. 76437 Україна, МПК (2013.01) В24 В 1/00. Спосіб шліфування надтвердих матеріалів / Алексеснко Д.М., Грабченко А.І., Пижов І.М., Клименко В.Г. Власник Сумський державний університет. -№ и 2012 05440; заявл. 03.05.2012; опубл. 10.01.2013. Бюл. № 1.

Надійшла до редколегії 01.04.2013

УДК 621.91:536.2

Ю.Г. Кравченко, канд. техн. наук, Дніпропетровськ, Україна

РОЗВИТОК ТЕОРЕТИЧНОГО ВИЗНАЧЕННЯ КОНТАКТНИХ ТЕМПЕРАТУР ПРИ РІЗАННІ

Приведені три основні рівні удосконалення розрахунку контаютних температур на лезі. На прикладі порівняльних розрахунків показана перевага сучасної методики з авторськими розробками по температурним полям.

Приведены три основные уровни совершенствования расчета контактных температур на лезвии. На примере сравнительных расчетов показано преимущество современной методики с авторскими разработками по температурным полям.

Three basic levels of improvement in calculation of contact temperature on cutting edge are given. By way of the example of comparative calculations one can see the advantage of modern method authoring on temperature fields.

Bcmyn

Серед показників оптимізаційної моделі процесу різання в системі заготовка — лезо — стружка (ЗЛС) контактна температура в найбільшій ступені впливає на наробіток різального інструменту. Тому проблемі удосконалення методів її виміру і аналітичного розрахунку приділяється належна увага з самого початку розвитку науки про різання / 1, 2/.

Практично всі сучасні теоретичні дослідження температури різання грунтуються на виразі температури точечного миттєвого джерела теплоти і методі джерел/3, 4, 5, 6, 7/.

Значимі розрахунки температури деформації в площині зсуву P_{ϕ} і температурного поля C від тертя з передньою поверхнею A_{γ} мала робота П.І. Бобрика /8/, де визначалась температура лише на контакті C з A_{γ} без зв'язку з тепловими процесами на задній A_{α} поверхні \mathcal{J} .

Специф ічні дослідження теплових процесів різання методами подібності С.С. Сіліна /9, 10/ базуються на формулі температури деформації в площині P_{ϕ} /9/, а контактні температури тертя на A_{γ} і A_{α} визначались через баланс механічної і теплової енергії теплообміну в системі ЗЛС.

Найбільшу зацікавленість набула методика розрахунків А.Н. Рєзнікова /2, 11/ на основі рівнянь температур швидкору хомих джерел (ШРД) C і 3 та смугових безперервних джерел (СБД) $\mathcal I$ всієї системи теплообміну при стружкоутворенні для визначення підсумкових потоків теплоти через

© Ю.Г. Кравченко, 2013

контактні ділянки A_{γ} і A_{α} . Незважаючи на кодування джерел /11/, розуміння і вибір функцій температурних полів залишились складними.

Мета дослідження – опробування нових розробок в системі методики розрахунків температури різання для інженерного рівня.

Постановка за дачі:

Виникаюча в процесі різання теплота

$$Q = Q_s + Q_{\mu\gamma} + Q_{\mu\alpha} \tag{1}$$

в площині
$$P_{\phi}$$
 зсуву
$$Q_{s} = (P_{z} - F_{\alpha}) \cdot V - F_{\gamma} \cdot V_{c} \,,$$
 на передній A_{γ} поверхні
$$Q_{\mu\gamma} = F_{\gamma} \cdot V_{c} \,,$$
 на задній A_{α} поверхні
$$Q_{\mu\alpha} = F_{\alpha} \cdot V \,$$

(тут P_z – дотична складова сили різання; F_γ і F_α – сили тертя на A_γ і A_α ; V і $V_c = V/k_\alpha$ – швидкості різання і збігу стружки; k_α – коефіцієнт потовщення стружки) розподіляється між рухомими 3, Л і С шляхом теплопровідності, тому в зоні стружкоутворення маємо складне переплетіння теплових потоків (рис. 1):

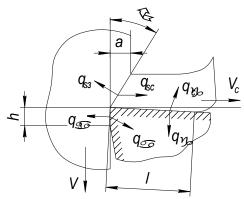


Рисунок 1 – Схема розповсюдження теплових потоків

$$\begin{array}{l} Q_{C} = Q_{SC} + Q_{\mu\gamma} - Q_{\gamma}; \\ Q_{3} = Q_{S3} + Q_{\mu\alpha} - Q_{\alpha}; \\ Q_{\Pi} = Q_{\gamma} + Q_{\alpha}. \end{array}$$
 (3)

Для розрахунку температур на контактних поверхнях необхідно знати густину (інтенсивність) теплових потоків q_{γ} і q_{α} , а для цього потрібно визначити теплову потужність Q_{γ} і Q_{α} , що в свою чергу вимагає аналізу всієї системи теплообміну. Це вирішується на основі рівнянь теплового балансу (1), (3) і, значно складніше, теплопровідності з відповідними межовими умовами для кожного тіла із системи ЗЛС.

Формули коефіцієнта розподілу теплоти деформації в P_{ϕ} між 3 і С

$$b^* = 1 / \left[1 + \left(\ln \frac{b' \cdot q_s \cdot \omega}{\lambda \cdot V \cdot \sin \phi} \right)^{-1} \right]$$
 (4)

та температури деформації (стружки)

$$\theta_s = b^* \cdot q_s \cdot \omega / (\lambda \cdot V \cdot \sin \phi) \tag{5}$$

отримані в роботах /12, 13/,

де b' — попередній коефіцієнт розподілу; $q_s = Q_s \cdot \sin \phi / (a \cdot b)$ — густина тепловиділення $(a \ i \ b$ — товщина і ширина зрізу, ϕ — кут зсуву); і ω — коефіцієнти тепло- і температуропровідності матеріалу 3.

Двома різними підходами розрахунку доведено /13, 14/, що температура в точкі перерізу площин основної P_n і зсуву P_{ϕ} (різальної кромки К) має більш низький рівень від середньої температури деформації θ_s (за рахунок кращих умов тепловідводу в поверхність R різання 3, ніж в кінці P_{ϕ} на зовнішній адіабатичній поверхні 3) і згідно /14/ дорівнює

$$\theta_k = \theta_s (1 - 0.5 \cdot m_\phi), \tag{6}$$

де $m_{\phi} = \phi/90^{\circ}$ – поправочний коефіцієнт на відбиті джерело і стік потоку теплоти для клиновидного тіла з кутом зсуву ϕ .

Середнє значення залишкової температури на поверхні R виражається функцією

$$F_h = \frac{2}{7} \left[\frac{\psi^{3.5} - 1}{\psi - 1} - \sqrt{\psi - 1} (1.875 + 1.5\psi + \psi^2) \right], \qquad \psi > 1$$
 (7)

з параметром $\psi = 1 + h/l_k$ (h — величина зносу леза по A_γ , $l_k = a/tg\phi$ — довжина проекції площини P_ϕ на P_n , при товщині зрізу a.

Добуток (6) і (7) дає температуру 3 на ділянкі h повер хні різання R/14/

$$\theta_h = \theta_\nu \cdot F_h. \tag{8}$$

Методи визначення густин q_{γ} , q_{α} і відповідних контактних температур θ_{γ} , θ_{α} є предметом наступних викладок.

Модель розрахунку прийнята для схеми вільного і умов сухого різання.

Основна частина

Еволюцію розвитку розрахунків температури можна розділити на три стадії (рівня)

1. Перший рівень. Початково передбачалось рішення через коефіцієнт розподілу теплоти тертя між C і $\mathcal I$ на A_γ та 3 і $\mathcal I$ на A_α , який визначався по методу /5/ на основі рівності контактних температур на поверхні $\mathcal I$ від ШРД /11, 15/

$$\theta_{\text{III}} = \frac{\left(1 - b_{\mu}\right) \cdot q_{\mu} \cdot k_{\phi} \sqrt{\omega_{3} \cdot l}}{\lambda_{2} \sqrt{\pi V}} \tag{9}$$

i СБД /11, 16/

$$\theta_{\delta} = \frac{b_{\mu} \cdot q_{\mu} \cdot l}{\pi \lambda_{\pi}} \cdot U_{\pi},\tag{10}$$

де q_{μ} — густина теплового джерела; l (або h) — довжина контакту тертя; k_{ϕ} — коефіцієнт форми джерела (епюри розподілу напружень між парами тертя) /15/; V — швидкість ШРД; індекси з і n при коефіцієнтах λ і ω відносяться до матеріалу 3 і \mathcal{I} ;

$$U_{\pi} = 2,423 + \ln F_o + (6 \cdot F_o)^{-1} \tag{11}$$

з критерієм Фур'є $F_o = \omega_\pi \cdot \tau/l^2$ (τ – час дії джерела) – функція середнього значення контактної температури на A_ν або A_α /16/.

Із (9) і (10) після скорочення параметра q_{μ} і введення критерію Пеклє $P_{\rm g} = V \cdot l/\omega_{\rm 3~M3 EMO}$

$$b_{\gamma(\alpha)} = 1 / \left(1 + \frac{\lambda_3}{\lambda_\pi} \sqrt{\frac{P_g}{\pi}} \cdot \frac{U_\pi}{k_\phi} \right). \tag{12}$$

Значення температури тертя визначається по одній із формул (9) або (10). Потім до цього значення додається залишкова температура стружки θ_s (5) або заготовки θ_h (8) після первісної теплоти деформації Q_s (2).

2. Другий рівень. Подальший розвиток був пов'язаний з усвідомленням заниження контактної температури тертя через відвід теплоти від ШРД (С або

3) в тіло Л за рахунок теплопровідності. Роздільно складаються рівняння контактних температур для C і 3 та відповідних ділянок A_{γ} і A_{α} :

$$\begin{split} \theta_{\text{sc}} + \left(\theta_{\mu\gamma} - \theta_{\gamma\pi}\right) &= \theta_{\gamma}; \\ \theta_{\alpha\text{s}} + \left(\theta_{\mu\alpha} - \theta_{\alpha\pi}\right) &= \theta_{\alpha}. \end{split}$$

Різниця в дужках означає температуру від ШРД теплоти тертя, яка поглинається C або 3. Права сторона — температура від СБД на \mathcal{I} .

3 формулами (9) і (10) без коефіцієнта b_{μ} рівняння приймають змістовний вид:

$$\theta_{sc} + \frac{k_{\phi\gamma} \cdot \sqrt{\omega_{3} \cdot l}}{\lambda_{s} \sqrt{\pi \cdot V_{c}}} (q_{\mu\gamma} - q_{\gamma}) = \frac{q_{\gamma} \cdot l}{\pi \cdot \lambda_{\pi}} \cdot U_{\gamma};$$

$$\theta_{\alpha\beta} + \frac{k_{\phi\gamma} \cdot \sqrt{\omega_{3} \cdot h}}{\lambda_{s} \sqrt{\pi \cdot V}} (q_{\mu\alpha} - q_{\alpha}) = \frac{q_{\alpha} \cdot h}{\pi \cdot \lambda_{\pi}} \cdot U_{\alpha}.$$
(13)

Розв'язання (13) дає значення q_{ν} і q_{α} , а в підсумку θ_{ν} і θ_{α} .

3. Третій рівень. Сучасною основою розрахунків стала система взаємовпливу температурних полів поверхонь A_{γ} і A_{α} леза /2/ з функціями /17/

$$T_{\gamma} = 4.476 + 2\pi \frac{l}{h} + \frac{h^{2}}{12l^{2}} ln \frac{4l^{2} + h^{2}}{h^{2}} + \frac{2l^{2} + h^{2}}{12\omega\tau} - \frac{16l}{\omega\tau} - \frac{4l^{2} + h^{2}}{3h} arc tg \frac{h}{2l} - \frac{4l^{2} + h^{2}}{lh} arc tg \frac{h}{2l};$$

$$T_{\alpha} = 4.476 + 2\pi \frac{h}{l} + \frac{l^{2}}{12h^{2}} ln \frac{4h^{2} + l^{2}}{l^{2}} + \frac{2h^{2} + l^{2}}{12\omega\tau} - \frac{4h^{2} + l^{2}}{l\omega\tau} - \frac{4h^{2} + l^{2}}{l\omega\tau} - \frac{16h}{3l} arc tg \frac{l}{2h} - \frac{4h^{2} + l^{2}}{lh} arc tg \frac{2h}{l}.$$

$$(14)$$

При h=0 або l=0 вирази T_{π} (14) скорочуються до U_{π} (11) /16, 17/.

Температура \mathcal{I} в головній січній площині P_{τ} від джерел на поверхнях A_{γ} і A_{α} по рис. 2 $\theta(I_1)=0.5[\theta(I_{\gamma})+\theta(I_{\alpha})]$ дорівнює /2, 7/

$$\theta_{\pi}(\mathbf{I}_{1}) = \sum_{n=1}^{n=4} \theta (\mathbf{I}_{n}) = 2[\theta(\mathbf{I}_{\gamma}) + \theta(\mathbf{I}_{\alpha})]. \tag{15}$$

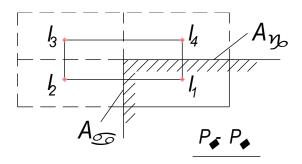


Рисунок 2 — Розташування відбитих (фіктивних) джерел $I_2 = I_4$ для прямого клина

Вираз (15) представляє собою праву частину системи (13), де до контактної температури θ_{γ} або θ_{α} з функцією U_{π} (11) додається середнє значення температурного поля (по довжині і глибині в площині P_{τ}) від СБД другої сторони \mathcal{I} (клина) з функцією T_{π} (14).

Ліва частина (13) з контактною температурою від ШРД містить коефіцієнти форми джерел $k_{\phi\gamma}$ для C /15, 18/ і $k_{\phi\alpha}$ для 3 /15/. Як і при виводі виразу функції U_{π} (11) для СБД, розподіл густини стоку теплоти q_{π} в тіло Л приймається рівномірним з коефіцієнтом $k_{\phi\pi}=1,333$ /11, 15/.

Невідомі q_{γ} і зі знаком мінус q_{α} (тепловий потік спрямований від «гарячого» $\mathcal I$ до «холодної» 3) визначається із двох пов'язаних між собою рівнянь

$$\theta_{sc} + \frac{k_{\phi\gamma}}{\lambda_{3}} \sqrt{\frac{\omega_{3} \cdot l}{\pi \cdot V_{c}}} \left(q_{\mu\gamma} - k_{\phi\pi} \cdot q_{\gamma} \right) = \frac{2}{\pi \lambda_{\pi}} \left(q_{\gamma} \cdot l \cdot U_{\gamma} + q_{\alpha} \cdot h \cdot T_{\alpha} \right)$$

$$\theta_{\alpha\beta} + \frac{k_{\phi\gamma}}{\lambda_{3}} \sqrt{\frac{\omega_{3} \cdot h}{\pi \cdot V}} \left(q_{\mu\alpha} - k_{\phi\pi} \cdot q_{\alpha} \right) = \frac{2}{\pi \lambda_{\pi}} \left(q_{\alpha} \cdot h \cdot U_{\alpha} + q_{\gamma} \cdot l \cdot T_{\gamma} \right)$$
(16)

Пошукові θ_{γ} і θ_{α} дорівнюють сумі складових лівої або правої частин (16). *Аналіз на прикладі розрахунку*

Аналітичні викладки підкріплені відповідними розрахунками на основі вихідних даних /2, 19/:

заготовка – сталь 12X18H9T, $\lambda=22.6$ BT/(м·К), $\omega=5\cdot10^{-6}$ м²/с; лезо – твердий сплав BK8, $\lambda=54.4$ BT/(м·К), $\omega=24.6\cdot10^{-6}$ м²/с; умови різання – $a=0.31\cdot10^{-3}$ м, $b=4\cdot10^{-3}$ м, V=1м/с, $\gamma=15^\circ$, $h=0.1\cdot10^{-3}$ м, $\tau=300$ с, параметри стружкоутворення $K_a=1.8$ та $\phi=32^\circ$; складові сили різання, $H-P_z=2560$, $P_y=1250$, $P_x=600$, $F_\alpha\approx N_\alpha\approx55$.

Обчислення виконані по наступному алгоритму.

1. Складова сили різання в основній площині P_{v}

$$P_{yx} = \sqrt{P_y^2 + P_x^2} = 1386,5 H.$$

Сила тертя на передній поверхні A_{γ}

$$F_{\gamma} = (P_z - F_{\alpha}) \cdot \sin \gamma + (P_{yx} - N_{\alpha}) \cdot \cos \gamma = 1934.5 H.$$

2. Потужність та густина тепловиділення в площині зсуву P_{ϕ}

$$\begin{split} Q_{\scriptscriptstyle S} &= \left(P_z - \frac{F_{\gamma}}{K_a} - F_{\alpha}\right) \cdot V = 1430,5 \; \mathrm{Bt}; \\ q_{\scriptscriptstyle S} &= Q_{\scriptscriptstyle S} \cdot \sin\phi \, / (a \cdot b) = 611,3 \cdot 10^6 \; \; \mathrm{Bt/m^2}. \end{split}$$

- 3. Коефіцієнт розподілу теплоти деформації (4) $b^* = 0.844$ і температура стружки (5) $\theta_s = 216^{\circ}C$.
 - 4. Температура на початку P_{ϕ} (6)

$$\theta_K = \theta_s (1 - 0.5 \cdot \phi/90) = 216 \cdot 0.822 = 178^{\circ}C.$$

- 5. Значення параметра $\psi=1+h\cdot tg\phi/a=1,202$ і функції (7) $F_h=0.62$ та температури на ділянкі h поверхні різання (8) $\theta_h=\theta_h\cdot F_h=110.3\,{}^{\circ}C$.
 - 6. Довжина контакту стружки з поверхнею A_{γ} леза /20, 21/

$$l = a \cdot K_a^{0.1} \left[K_a (1 - tg\gamma) + \frac{2}{\cos \gamma} \right] = 1.11 \cdot 10^{-3} \text{ m}.$$

7. Параметри Пеклє, Фур'є і функція U_{π} (11) для поверхонь A_{γ} і A_{α} :

$$\begin{split} P_{e\gamma} &= V_c \cdot l/\omega_{\rm 3} = 123, & P_{e\alpha} &= V \cdot h/\omega_{\rm 3} = 20; \\ F_{\rm o\gamma} &= \omega_{\rm n} \cdot \tau/l^2 = 5990, & F_{\rm o\alpha} &= \omega_{\rm n} \cdot \tau/h^2 = 738 \cdot 10^3; \\ U_{\nu} &= 11,12, & U_{\alpha} &= 15,935. \end{split}$$

8. Густина теплового джерела тертя на поверхнях A_{γ} і A_{α} , $\mathrm{Br/m}^2$:

$$q_{\mu\gamma} = F_{\gamma} \cdot V_c/(l \cdot b) = 242.2 \cdot 10^6; \quad q_{\mu\alpha} = F_{\alpha} \cdot V/(h \cdot b) = 137.5 \cdot 10^6.$$

9. Значення функцій взаємовпливу T_{π} (14) температурних полів леза на контактні температури

$$T_{\alpha} = 11,327;$$
 $T_{\nu} = 10,988.$

Порівняльні результати решти розрахунків по рівням (варіантам) зведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Значення теплофізичних показників процесу різання

Найменування показ	Числове значення для рівнів				
позначення та розмір	I	II	III		
Коефіцієнт розподілу теплоти тертя (12)	$\frac{b_{\gamma}}{b_{\alpha}}$	0,040 0,058			
Густина теплового потоку на передній A_{γ} та задній	$rac{q_{\gamma c}}{q_{\gamma \pi}} \cdot 10^6$	232.5 9.7	12.52	15.93	
A_{α} повер хнях, В т/м ²	$\frac{q_{\alpha 3}}{q_{\alpha n}} \cdot 10^6$	129,5 8,0	19,12	-107,35	
Температура тертя (9), (10), °C	$\frac{ heta_{\gamma\mu}}{ heta_{lpha\mu}}$	698,0 74,4			
Сумарна температура, °С	$\frac{\theta_{\gamma}}{\theta_{\alpha}}$	914,0 184,7	903,8 178,3	877,5* 271,3	
Розподіл теплових	$Q_{\rm c}$	2238,8 0,875	2226,2 0,870	2211,2 0,864	
потужностей (3),Вт	Q_3	275 0,107	270,6 0,105	321,0 0,125	
частка	Q_{π}	46,2 0,018	63,2 0,025	27,8 0,011	

^{*}Примітка: в роботах /2, 11/ $\theta_{\gamma}=966-943$ °C і за рахунок завищеної температури 194-191 °C (деформації) поверхні різання $\theta_{\alpha}=303-312$ °C.

Із отриманих даних табл. 1 слідує, що по мірі удосконалення розрахунків маємо зростання густини теплових потоків в лезо $q_{\gamma\pi}$ і $q_{\alpha\pi}$. Найменшу частку поглинання теплоти стружкою $Q_{\rm c}$ і найбільшу — заготовкою $Q_{\rm s}$ дає баланс системи теплообміну сучасної ІІІ методики розрахунків. При цьому в Л на нагрів державки залишається лише $Q_{\pi}=27.8~{\rm BT}$ теплової потужності, що цілком правдоподібно. Такі тенденції по зміні $q_{\gamma\pi},\,q_{\alpha\pi}$ і $Q_{\rm c},\,Q_{\rm s}$ спричиняють деяке зменшення і суттєве збільшення відповідних контактних температур θ_{γ} і θ_{α} .

Подальші розробки мають бути направлені на удосконалення розрахунків температурного поля контактної поверхні Л з двома боковими адіабатичними поверхнями, функції взаємовпливу контактних температур передньої та задньої поверхонь Л і залишкової температури на поверхні різання 3.

Автор з вдячністю сприйме фахові зауваження по наведеним викладкам. Висновки:

- 1. Початкові перший та другий рівні розрахунків на основі коефіцієнта розподілу тепловиділення між парами тертя і рівності температур швидкору хомого та смугового безперервного джерел теплоти призводять до занижених значень контактної температури на задній повер хні леза.
- 2. Наближені до отриманих методом вимірювання значення температур на передній і задній поверхнях леза досягаються розрахунками сучасного третього рівня на основі балансу теплообміну всієї системи стружкоутворення.
 - 3. Запропонована методика грунтується на аналітичних визначеннях:
 - коефіцієнта розподілу теплоти деформації між стружкою і заготовкою;
 - залишкової температури на поверхні різання;
 - коефіцієнтів форми швидкору хомих джерел теплоти;
 - температурного поля на контактній поверхні леза;
 - температурного поля леза в головній січній площині.
- **4.** Достовірність і розрахункова спроможність нових розробок підтверджуються прикладом розрахунків.

5. За рахунок авторських формул функцій температурних полів на контактній поверхні і в головній січній площині леза скорочена на третину кількість переходів (позицій) алгоритм у розрахунку.

Список використаних джерел: 1. Малышев В.И. Очерки истории науки о резании материалов. – Тольятти: ТГУ, 2011. – 216 с. **2.** *Рез ников А.Н.* Теплофизика резания. – М.: Машино строение, 1969. – 288с. 3. Карслоу Г.С. Теория теплопроводности. – М. – Л.: ГИТТЛ, 1947. – 288 с. 4. Рыкалин Н.Н. Тепловые основы сварки. – М. – Л.: Изд-во АН СССР, 1947. – 271с. **5.** *Егер Д.К.* Движущиеся источники тепла и температура трения. – Сб. переводов иностр. литер. Прикладная механика и машиностроение. – М.: Издво ИЛ 1952. – №6. – С22 – 39. **6.** Рыкалин Н.Н. Расчеты тепловых процессов при сварке. – М.: Машгиз. 1951. — 296c. **7.** *Кар слоу Г.С., Егер Д.К.* Теплопро водность твердых тел. — М.: Наука, 1964. — 488 с. 8. Бобрик П.И. Анализ теплового поля зоны резания при обработке жаропрочных сталей и сплавов /П.И. Бобрик// Тепловые явления и обрабатываемость резанием авиационных материалов: Труды МАТИ. – №64. – М.: Машино строение, 1966. – С. 9-48. 9. Силин С.С. Исследование процессов резания методами теории подобия. – Труды Рыбинского вечерн. технол. ин-та, №1. – Ярославль: Изд-во Верхняя Волга, 1966. – С.5-54. **10.** *Силин С.С.* Методы подобия при резании металлов. – М.: Машиностроение, 1979. – 152с. 11. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов. – М.: Машиностроение, 1981. – 279 с. 12. Кравченко Ю.Г. Распределение теплоты деформации в плоскости сдвига. – Теплофизические и технологические аспекты повышения эффективности машиностроительного производства: Труды III междунар, науч.-тех.н. конф. (Резниковские чтения). – Тольятти: ТГУ, 2011. – С.49-52. 13. Кравченко Ю.Г. Визначення коефіцієнта розподілу теплоти деформації в площині зсуву і температури на поверх ні різання. – Резание и инструмент в тех нологических системах: Междунар. науч. – техн. сб. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2013. – Вып.83. –С.155–167. **14.** Кравченко Ю.Г. Температурне поле заготовки від ШРД теплоти деформації в площині зсуву. - Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч. – техн. сб. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2012. – Вып. 81. – С.131-139. 15. Кравченко Ю.Г., Савченко Ю.В. Визначення коефіцієнтів форми швидкорухомих джерел теплоти при різанні. – Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. – Краматорськ: ДДМА, вип. 26, 2010. – С.409 – 417. 16. Кравченко Ю.Г. Распределение контактной температуры на режущем клине. – Резание и инструмент в технологических системах: Межунар. науч. – техн. сб. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2010. – Вып. 78. – С.88 – 96. **17.** *Кравченко Ю.Г.* Взаємовплив температурних полів передньої та задньої поверхонь леза. - Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. - Краматорськ ДДМА, вип.32, 2013. -С. 84 - 90. 18. Кравченко Ю.Г. Температурне поле стружки від тертя з лезом. – Резание и инструмент в технологических системах: Межунар. науч. – техн. сб. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2013. – Вып.83. – С.168-178. 19. Резников Н.И. Производительная обработка нержавеющих и жаропрочных материалов /Н.И. Резников, И.Г. Жарков и др.; под ред. Н.И. Резникова. – М.: Маштиз, 1960. – 200с. **20.** *Абуладзе Н.Г.* Определение длины контакта сливной стружки с передний поверхностью инструмента. - Труды Грузинского политех. ин-та – Тбилиси: ППИ, 1969. - №3. – С.131-137. 21. Розенберг Ю.А. Методы оналитического определения степени деформации металла стружки при резании //Вестник машиностроения. -2001. - №3. - С.34 - 38.

Надійшла до редколегії 30.09.2013

УДК 621:913:621. 633

А.В. Кривошея, канд. техн. наук, В.Е. Мельник, А.А. Микищенко, Киев, Украина А.Л. Мироненко, канд. техн. наук, Ю.Г. Гуцаленко, Т.Е. Третяк, Харьков, Украина

УНИФ ИКАЦИЯ ОБОЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ И ОПЕРАТОРОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ОБОБЩЕННЫХ СТРУКТУРНЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ФОРМОБРАЗОВАНИЯ ЗУБЧАТЫХ ЗВЕНЬЕВ

Запропоновано новий принцип уніфікації при позначенні параметрів та операторів, заснований на теорії відображення афінного простору, для вирішення теоретичних і технологічних задач формоутворення механічною обробкою вищих кінематичних пар. Наведено узагальнені уніфіковані математичні моделі елементів, ланок, їх рухів і процесів формоутворення.

Предложен новый принцип унификации при обозначении параметров и операторов, основанный на теории отображения аффинного пространства, для решения теоретических и технологических задач формообразования механической обработкой высших кинематических пар. Приведены обобщенные унифицированные математические модели элементов, звеньев, их движений и процессов формообразования.

Proposed a new principle of the unification of the designation of parameters and operators, based on the theory display affine space for the solution of theoretical and technological problems of forming and machining higher kinematic pairs. Generalized uniform mathematical models of the elements, links, their movements and the processes of morphogenesis.

Введение. При современном уровне развития компьютерных технологий в сочетании с высокими технологиями механической обработки появляется возможность оптимального теоретического и технологического синтеза сложных высших кинематических пар. К таким высшим кинематическим парам относятся зубчатые передачи и зубчатые соединения.

По современным представлениям теоретическое и технологическое формообразование зубчатых передач определяется формообразующепроизводящей системой зубчатых зацеплений [1]. Эта система включает, как теоретическое формообразование зубчатых передач исходным формообразующим телом (исходным инструментальным телом), так и их технологическое формообразование группой последовательно работающих зубообрабатывающих инструментов.

Анализ основных достижений и литературы. Для анализа и синтеза

взаимосвязанных процессов теоретического и технологического формообразования зубчатых передач различных классов, видов и типов необходимы следующие математические модели:

- обобщенная математическая модель множества отрезков кинематических линий, как элементов профиля зубьев зубчатых звеньев;
- обобщенная математическая модель множества исходных формообразующих профилей зубьев или впадин зубьев, состоящих из объединенных отрезков различных кинематических линий;
- обобщенная математическая модель множества контуров зубчатых звеньев, состоящих из объединенных профилей зубьев или профилей впадин зубьев;
- обобщенная математическая модель отсеков множества различных поверхностей зубьев или впадин зубьев исходного формообразующего зубчатого звена, как траектории движения исходного формообразующего профиля;
- обобщенная математическая модель отсеков поверхностей всех зубьев исходного формообразующего зубчатого звена, как объединение поверхностей всех зубьев или, как траектория движения контура исходного формообразующего зубчатого колеса;
- обобщенная математическая модель заготовки формообразуемого зубчатого звена, т.е. заготовки зубчатого колеса или заготовки инструмента при решении прямой и обратной задач формообразования [2];
- обобщенная математическая модель движения профилей зубьев, зубчатых контуров, отсеков поверхностей отдельных зубьев или поверхностей всего зубчатого венца исходного формообразующего зубчатого звена относительно заготовки формообразуемого зубчатого звена;
- обобщенная математическая модель формообразования зубчатых звеньев.

Эти математические модели, которые являются основой теоретического и технологического синтеза зубчатых передач, необходимо разрабатывать, используя современный математический аппарат.

Для разработки таких математических моделей, по нашему глубокому убеждению, наибо лее рациональным является математический аппарат многопараметрических отображений аффинного пространства, развитый в приложении к теории формообразования поверхностей резанием проф. Б. А. Перепелицей его учениками [3,4]. Этот аппарат позволяет в структурном матричном виде, без вывода громоздких аналитических зависимостей, математически описывать поверхности любой сложности и их движения [3,4]. К тому же он легко реализуется на ПЭВМ во многих пакетах прикладных и графических программ – Компас, Mathlab, Mathcad, Maple, 3D—тах и др.

Сотрудничая много лет с проф. Б.А. Перепелицей и осваивая, с его помошью. методологию многопараметрических отображений. убедились простоте, универсальности И широких обобщающих возможностях аппарата многопараметрических отображений при создании обобщенных структурных математических моделей множества отрезков линий, множества исходных формообразующих профилей, множества зубчатых контуров, множества отсеков поверхностей зубьев, множества поверхностей зубчатых венцов исходных или исходных формообразующих звеньев, множества возможных движений ис хо дны х формообразующих зубчатых звеньев относительно заготовки и, в конечном итоге, создании обобщенных структурных унифицированных теоретическо го математических моделей И технологического формообразования зубчатых передач и зубообрабатывающих инструментов [5,6,7,8,9]. Такие обобщенные структурные унифицированные математические модели позволяют, систематизировать, классифицировать и создавать новые зубчатые передачи, зубообрабатывающие инструменты, способы обработки и новые компоновки зубообрабатывающих станков [9].

Однако теория отображения аффинного пространства, развитая проф. Б.А. Перепелицей в приложении к теории формообразования поверхностей резанием, до настоящего времени не приобрела широкую популярность среди научных сотрудников, инженеров, аспирантов, студентов в нашей стране и практически неизвестна за рубежом.

Одной из причин и трудностей при освоении и популяризации мето да многопараметрических отображений, по нашему мнению, является отсутствие однозначности и унификации при обозначении параметров и операторов используемых при математическом описании отрезков линий, зубчатых профилей, зубчатых контуров, отсеков поверхностей зубчатых венцов зубчатых звеньев и их многопараметрических движений относительно заготовок.

Цель исследования, постановка задачи. Следовательно, необходимо унифицировать обозначения параметров и операторов используемых при математическом описании элементов, звеньев и процессов формообразующее-производящей системы зубчатых зацеплений. Эту цель, в приложении к теоретическому и технологическому формообразованию зубчатых передач, не претендуя на завершенность, и преследует данная статья. Такая унификация обозначений параметров и операторов облегчит и упростит разработку математических моделей задания и формообразования, как зубчатых передач, так и зубообрабатывающих инструментов.

Материалы исследований. Прежде всего, при многопараметрических отображениях авторы предлагают следовать следующим принципам:

- 1. Нумерацию систем координат при многопараметрических отображениях необходимо начинать с неподвижной системы, в которой определяется прообраз, а при формообразовании задается заготовка и этой системе координат, как неподвижной, присваивается нулевой номер [10].
- 2. Непрерывные отображающие операторы параллельного переноса должны действовать вдоль осей систем координат.
- 3. В кинематических схемах задания отрезков линий, поверхностей зубчатых венцов в каждой из систем координат может действовать один оператор вращения и один, два или три оператора параллельного переноса.
- 4. В кинематических схемах формообразования в каждой из систем координат может действовать один оператор вращения или один оператор параллельного переноса. Такое представление соответствует реальным процессам зубообработки и облегчает переход к координационным кодам и компоновкам зубообрабатывающих станков [9].
- 5. При математическом описании элементов, профилей, поверхностей зубчатых звеньев и их движений необходимо использовать матрицы 4-го порядка. Такое математическое представление (в однородных координатах) дает более компактную запись по сравнению с матрицами третьего порядка и, кроме того, одна и та же матрица пригодна для преобразования, как координат точек, так и проекций векторов [11].

Предлагаемая авторами унификация параметров и операторов заключается в следующих предложениях:

- 1. Все непрерывные отображающие параметры движения (φ, l) и постоянные координатные параметры (v, c) при отображении точки, профиля, контура, отсека поверхности зуба на кинематических схемах и во всех математических моделях должны обозначаться одними и теми же символами, но с разными верхними индексами:
- при движении точки и задании отрезков линий с верхним индексом u;
- при движении отрезка линии, профиля, контура и задании отсеков поверхностей зубьев с верхним индексом -v;
- при движении профилей, контуров, отсеков поверхностей зубчатых звеньев и при формообразовании других зубчатых звеньев с верхним индексом w;
- постоянные координатные параметры кроме того должны иметь дополнительный верхний индекс – звездочку.
- 2. Каждый из параметров кроме верхних индексов должен иметь два нижних индекса обозначающих:
- для непрерывных отображающих параметров движения обозначение оси вдоль которой или вокруг которой они действуют и номер системы координат в которой они действуют;

- для постоянных координатных параметров:
- для постоянного координатного параметра поворота (v) обозначение оси вокруг которой необходимо повернуть систему координат, из которой переходят для совмещения с одной или двумя осями системы координат, в которую переходят и номер системы координат из которой переходят к следующей системе;
- для постоянного координатного параметра (c) обозначение его проекции на соответствующую координатную ось и номер системы, из которой переходят к следующему реперу.
- 3. Дискретные отображающие в отличие от непрерывных при задании зубчатых звеньев, должны иметь два верхних индекса и два нижних индекса:
- верхние индексы первый индекс звездочка обозначает, что параметр дискретный и второй индекс буква П-для дискретного переноса или вращения отрезка (т.е. для задания профиля), буква К для дискретного переноса или вращения профиля зуба (т.е. для задания контура), буквы 33 для дискретного переноса или вращения поверхности зуба или впадины зуба;
- нижние индексы обозначают ось, вдоль или вокруг которой действует дискретный оператор поворота или переноса и номер репера, в котором он действует.

Результаты исследований. Следуя выше представленным предложениям для математического описания элементов, звеньев и процессов формообразующе-производящей системы зубчатых зацеплений авторы предлагают следующую систему обозначений параметров и операторов:

 c_{xi}^{*u} , c_{yi}^{*u} , c_{zi}^{*u} — проекции постоянного вектора c, которые определяют координаты начала координат i-ой системы координат в i-1 системе координат при непрерывном отображении точки и переходе от i-ой к i-1-ой системе координат, т.е при задании отрезка линии;

 $C_{xi}^{*_{v}}, C_{yi}^{*_{v}}, C_{zi}^{*_{v}}$ — проекции постоянного вектора c, которые определяют координаты начала координат i-ой системы координат в i-1-ой системе координат при непрерывном отображении отрезка линии или профиля и переходе от i-ой к i-1-ой системе координат, т.е. при задании отсека поверхности зуба;

 C_{xi}^{*w} , C_{yi}^{*w} , C_{zi}^{*w} — проекции постоянного вектора c, которые определяют координаты начала координат i-ой системы координат в i-1-ой системе координат при непрерывном отображении профиля, контура, отсека поверхности зуба или поверхности зубчатого звена в процессе формообразования и переходе от i-ой к i-1-ой системе координат;

 $oldsymbol{\mathcal{V}}_{xi}^{*u}$, $oldsymbol{\mathcal{V}}_{yi}^{*u}$, $oldsymbol{\mathcal{V}}_{zi}^{*u}$ — постоянные углы поворота і-ой системы координат вокруг соответствующих осей X_i, Y_i, Z_i до совмещения направления ее осей с осями і-1-ой системы координат при отображении точки при задании отрезков линий и переходе от і-ой к і-1-ой системе координат;

 ${\cal V}_{xi}^{*\nu}$, ${\cal V}_{yi}^{*\nu}$, ${\cal V}_{zi}^{*\nu}$ — постоянные углы поворота і-ой системы координат вокруг соответствующих осей X_i, Y_i, Z_i до совмещения направления ее осей с осями і-1-ой системы координат при отображении отрезка, профиля или контура при задании отсека поверхности и переходе от і-ой к і-1-ой системе координат;

 V_{xi}^{*w} , V_{yi}^{*w} , V_{zi}^{*w} — постоянные углы поворота і-ой системы координат вокруг соответствующих осей X_i, Y_i, Z_i до совмещения направления ее осей с осями і-1-ой системы координат при отображении, профиля, контура, отсека поверхности зуба, поверхности зубчатого венца в процессе формообразования и переходе от і-ой к і-1 системе координат;

 $\varphi_{xi}^u, \varphi_{yi}^u, \varphi_{zi}^u$ — параметры вращения при отображении точки в і-ой системе координат вокруг соответствующих осей X_i, Y_i, Z_i при задании отрезка линии;

 $\varphi_{xi}^{v}, \varphi_{yi}^{v}, \varphi_{zi}^{v}$ — параметры вращения при отображении отрезка линии, профиля или контура в і-ой системе координат вокруг соответствующих осей X_i, Y_i, Z_i при задании отсека поверхности;

 $arphi_{xi}^{w},arphi_{yi}^{w},arphi_{zi}^{w}$ – параметры вращения при отображении профиля, зубчатого контура, отсека поверхности зуба или поверхности всего зубчатого звена в і-ой системе координат вокруг соответствующих осей X_{i},Y_{i},Z_{i} в процессе формообразования;

 $l_{xi}^u, l_{yi}^u, l_{zi}^u$ — параметры параллельного переноса при отображении точки в іой системе координат вдоль соответствующих осей X_i, Y_i, Z_i при задании отрезка линии;

 $l_{xi}^{\nu}, l_{yi}^{\nu}, l_{zi}^{\nu}$ — параметры параллельного переноса при отображении отрезка или профиля линии в і-ой системе координат вдоль соответствующих осей X_i, Y_i, Z_i при задании отсека поверхности;

 $l_{xi}^{w}, l_{yi}^{w}, l_{zi}^{w}$ — параметры параллельного переноса при отображении профиля, зубчатого контура, отсека поверхности зуба или поверхности всего зубчатого звена в і-ой системе координат вокруг соответствующих осей X_i, Y_i, Z_i в процессе формообразования;

 $l_{xi}^{*\Pi}$, $\rho_{zi}^{*\Pi}$ – обозначение дискретных параметров вращения и параллельного переноса вдоль оси X_i или вокруг оси Z_i при задании плоского профиля в і-ой системе координат,

 l_{xi}^{*K} , φ_{zi}^{*K} – обозначение дискретных параметров вращения и параллельного переноса вдоль оси X_i или вокруг оси Z_i при задании плоского контура в і-ой системе координат,

 l_{xi}^{*33} , φ_{zi}^{*33} – обозначение дискретных параметров вращения и параллельного переноса вдоль оси X_i или вокруг оси Z_i при задании всей поверхности зубчатого венца в і-ой системе координат;

 $m_{\varphi_{xi}^u}$, $m_{\varphi_{yi}^u}$, $m_{\varphi_{zi}^u}$, $m_{l_{xi}^u}$, $m_{l_{yi}^u}$, $m_{l_{zi}^u}$ – отображающие операторы движения в матричном виде при задании отрезка линии;

 $m_{\varphi_{xi}^{v}}$, $m_{\varphi_{yi}^{v}}$, $m_{l_{xi}^{v}}$, $m_{l_{xi}^{v}}$, $m_{l_{yi}^{v}}$, $m_{l_{zi}^{v}}$ – отображающие операторы движения в матричном виде при задании отсека поверхности зуба;

 $m_{\varphi_{xl}^{w}}$, $m_{\varphi_{yl}^{w}}$, $m_{\varrho_{zl}^{w}}$, $m_{l_{xl}^{w}}$, $m_{l_{yl}^{w}}$, $m_{l_{zl}^{w}}$ – отображающие операторы движения в матричном виде при формообразовании зубчатых звеньев.

 $m_{v_{xi}^{*u}}$, $m_{v_{yi}^{*u}}$, $m_{v_{zi}^{*u}}$, $m_{c_{xi}^{*u}}$, $m_{c_{yi}^{*u}}$, $m_{c_{zi}^{*u}}$ – координатные операторы в матричном виде при задании отрезка линии;

 $m_{v_{xi}^{s_v}}$, $m_{v_{yi}^{s_v}}$, $m_{v_{zi}^{s_v}}$, $m_{c_{xi}^{s_v}}$, $m_{c_{yi}^{s_v}}$, $m_{c_{zi}^{s_v}}$ – координатные операторы в матричном виде при задании отсека поверхности;

 $m_{v_{xi}^{*w}}$, $m_{v_{yi}^{*w}}$, $m_{v_{zi}^{*w}}$, $m_{c_{xi}^{*w}}$, $m_{c_{yi}^{*w}}$, $m_{c_{zi}^{*w}}$ – координатные операторы в матричном виде при формообразовании зубчатых звеньев.

 $m_{r_{\!\scriptscriptstyle A i}}$ – матричное уравнение (однородные координаты) точ ки A в i-ой системе координат;

 $m_{r_{lh}}$ – матричное уравнение отрезка линии в $\,$ i-ой системе координат,

 $m_{r_{_{\!M\!I\!I}\!I}}$ – матричное уравнение отрезка линии в системе координат профиля;

- $m_{r_{\Pi i}}$ матричное уравнение (оператор) профиля зуба или профиля впадины зуба состоящего из объединенных отрезков различных линий в і-ой системе координат;
- $m_{r_{\!\scriptscriptstyle I\!I\!30}}$ матричное уравнение (оператор) профиля заготовки в 0-ой системе координат;
- $m_{r_{\!\scriptscriptstyle li}}$ матричное уравнение (оператор) контура зубчатого звена состоящего из объединенных профилей в i-ой системе координат;
- m_{r_3} матричное уравнение (оператор) поверхности зуба или поверхности впадины зуба исходного формообразующего зубчатого звена в і-ой системе координат;
- $m_{r_{33}}$ матричное уравнение (оператор) всей поверхности зубчатого венца исходного формообразующего зубчатого звена в і-ой системе координат;
- $m_{r_{R0}\; H/J}$ матричное уравнение движения профиля зуба или профиля впадины зуба, состоящего из объединенных отрезков различных линий в системе координат заготовки при формообразовании;
- $m_{r_{k_0}\, H/\, {\cal J}}$ матричное уравнение движения контура зубчатого звена состоящего из объединенных профилей в системе координат заготовки при формообразовании;
- $m_{r_{30}\; U/J}$ матричное уравнение движения поверхности зуба или поверхности впадины зуба исходного формообразующего зубчатого звена в системе координат заготовки при формообразовании;
- $m_{r_{330}\,H/J}$ матричное уравнение движения поверхности зубчатого венца исходного формообразующего зубчатого звена в системе координат заготовки при формообразовании;
- $m_{rn0}\,$ матричное уравнение вектора единичной нормали в каждой точке поверхности зубчатого звена в системе координат заготовки;
- m_{rv0} матичное уравнение, аналога вектора относительной скорости точки поверхности зубчатого звена, в системе координат заготовки;
 - m_s оператор симметрии;
- $m_E = diag(1,1,1,1)$ матрица отсутствующих координатных преобразований или единичная матрица.

С использованием предлагаемой системы обозначений можно унифицировать матричное представление операторов движения и операторов координатных преобразований (табл.).

Таблица – Представление в матричном виде унифицированных операторов движения и операторов координатных преобразований при отображении формообразующего звена в процессе формообразования

$m_{arphi_{xi}^w}$				$m_{arphi_{yi}^w}$			$m_{arphi_{zi}^w}$					
1	0	0	0	$\cos \varphi_{vi}^{w}$	0		$n \varphi_{yi}^w$	0	$\cos \varphi_{zi}^{w}$	$-\sin\varphi_z^{\nu}$	w 0	0
0	$\cos \varphi_{xi}^{w}$	$-\sin\varphi_{xi}^{w}$	0	0	1		0	0	$\sin \varphi_{zi}^{w}$	$\cos \varphi_{zi}^{w}$	0	0
0	$\sin \varphi_{xi}^{w}$	$\cos \varphi_{xi}^{w}$	0	$-\sin\varphi_{yi}^{w}$	0	co	os φ_{yi}^{w}	0	0	0	1	0
0	0	0	1	0	0		0	1	0	0	0	1
$m_{l_{ec{x}i}^{w}}$				$m_{l_{yi}^w}$			$m_{l_{zi}^w}$					
	1	1			0		1		0			
	1 0	$0 l_{xi}^w$		1	0	0	0		1	0 0	0	
	0 1	0 0		0	1	0	l_{yi}^{w}		0	1 0	0	
	0 0	1 0		0	0	1	0		0	0 1	l_{zi}^{w}	
	0 0	0 1		0	0	0	1		0	0 0	1	
$m_{{oldsymbol v}_{xi}^{*_w}}$			$m_{v_{yi}^{*_w}}$			$m_{v_{zi}^{*_w}}$						
1	0	0	0	$\cos v_{yi}^{*_w}$	0	-si	$n v_{yi}^{*_w}$	0	$\cos v_{zi}^{*_w}$	$\sin v_{z}^*$	w 0	0
0	$\cos v_{xi}^{*_w}$	$\sin v_{xi}^{*_w}$	0	0	1		0	0	$-\sin v_{zi}^{*w}$	$\cos v_z^*$	$_{i}^{w}$ 0	0
0	$-\sin v_{xi}^{*_w}$	$\cos v_{xi}^{*w}$	0	$\sin v_{yi}^{*_w}$	0	co	$s v_{yi}^{*_w}$	0	0	0	1	0
0	0	0	1	0	0		0	1	0	0	0	1
$m_{c_{xi}^{*_w}}$			$m_{c_{yi}^{*_w}}$			$m_{c_{zi}^{*_w}}$						
	1 0	$0 c_{xi}^{*w}$		1	0	0	0		1	0 0	0	
	0 1	0 0		0	1	0	$c_{yi}^{*_w}$		0	1 0	0	
	0 0	1 0		0	0	1	0		0	0 1	$c_{zi}^{*_w}$	
	0 0	0 1		0	0	0	1		0	0 0	1	

Изменяя только индексы при параметрах движения и параметрах преобразования координат (т.е. меняя индекс w на индексы u или v) мы получим матрицы при отображении точки и при задании отрезка линии, профиля или контура при задании отсека зуба.

Параметры φ_{xi}^{w} , φ_{yi}^{w} , φ_{zi}^{w} считаются положительными, когда поворот осуществляется против часовой стрелки, если смотреть с вершины соответствующей оси. Параметры l_{xi}^{w} , l_{yi}^{w} , l_{zi}^{w} считаются положительными, если движение осуществляется в положительном направлении соответствующей оси. Параметры c_{xi}^{*w} , c_{yi}^{*w} , c_{zi}^{*w} — определяют координаты центра і-ой системы координат і-1-ой системе координат і-1-ой системе. Параметры v_{xi}^{*w} , v_{yi}^{*w} , v_{zi}^{*w} считаются положительными, если старую систему (і-ю) координат до совмещения с новой (і-1-ой) поворачивают вокруг соответствующей оси против часовой стрелки.

Можно унифицировать комбинации операторов координатных преобразований соответствующих возможным вариантам относительного расположения соседних систем координат [7].

С использованием предложенных обозначений унифицированных параметров и операторов можно записать обобщенные унифицированные математические модели элементов, звеньев, их движений и процессов формообразования.

Так множество отрезков различных плоских кинематических линий отрезки которых могут быть элементами различных профилей зубьев задается обобщенным структурным унифицированным матричным уравнением в системе XYZ (000) в виде [5]:

где, i=1,2,3 — номер отображения; $K_{l^u_{xi}}$, $K_{l^u_{yi}}$, $K_{\varphi^u_{zi}}$ — коэффициенты пропорциональности в уравнениях связи (последние три уравнения). Матрица m_{E0} означает, что первая и нулевая системы совпадают.

ачает, что первая и нулевая системы совпадают.
$$\begin{cases} m_{r \pi 0} = m_{E 0} m_{\varphi_{z 1}^{u} l_{x 1}^{u} l_{y 1}^{u}} m_{C_{y 2}^{*u}} m_{\varphi_{z 2}^{u} l_{x 3}^{u} l_{y 3}^{u}} m_{C_{y 3}^{*u}} m_{\varphi_{z 3}^{u} l_{x 3}^{u} l_{y 3}^{u}} m_{r 4 3} \\ 0 \leq \varphi_{z 3}^{u} \leq 2 \kappa n \\ l_{x i}^{u} = K_{l_{x i}^{u}} \varphi_{z 3}^{u} \\ l_{y i}^{u} = K_{l_{y i}^{u}} \varphi_{z 3}^{u} \\ \varphi_{z i}^{u} = K_{\varphi_{z i}^{u}} \varphi_{z 3}^{u} \end{cases}$$
 (1)

Используя отрезки линий как составные элементы исходного формообразующего профиля заданные в системе координат профиля обобщенное унифицированное матричное уравнение плоского профиля запишется следующим образом [6]:

$$m_{r_{\text{nil}}} = m_{r_{\text{JII}1}} \cup m_{r_{\text{JII}2}} \cup ...m_{r_{\text{JII}3}} ... \cup m_{r_{\text{JIII}4}}$$
 (2)

где, ∪ – знак объединения;

K — количество элементов ИФП (количество различных отрезков кинематических линий).

При симметричном относительно оси профиле матричное уравнение плоского профиля запишется в виде:

$$m_{r_{\text{ni}}} = m_S m_{r_{,m_1}} \cup m_{r_{,m_1}} \cup ... m_{r_{,m_1}} ... \cup m_{r_{,m_k}}$$
 (3)

Для конкретного задания профиля необходимо задать базис профиля, т.е. координаты точек стыка (объединения) элементов профиля. К уравнению (2) также необходимо добавить условия объединения отрезков в каждой точке базиса профиля (совпадение или не совпадение нормалей и равенство или не равенство радиусов кривизны в точке объединения отрезков) [6].

Плоские: реечные и дисковые контура с постоянным шагом задаются объединением плоских ИФП вдоль делительных линий. Такое объединение является частным случаем аффинных отображений при дискретном изменении параметра движения ИФП и математически запишется следующим образом [8]:

а) для прямолинейных реечных контуров:

$$m_{r_{k}i} = m_{r_{ni}} \cup m_{l_{vi}^{*K}} m_{r_{ni}} \cup m_{2l_{vi}^{*K}} m_{r_{ni}} \dots \cup m_{il_{vi}^{*K}} m_{r_{ni}} \dots \cup m_{(z-1)l_{vi}^{*K}} m_{r_{ni}}$$
(4)

б) для круговых дисковых контуров:

$$m_{r_{k}i} = m_{r_{ni}} \cup m_{\varphi_{zii}^{*}} m_{r_{ni}} \cup m_{2\varphi_{zii}^{*}} m_{r_{ni}} \dots \cup m_{i\varphi_{zii}^{*}} m_{r_{ni}} \dots \cup m_{(z-1)\varphi_{zii}^{*}} m_{r_{ni}}$$
(5)

где, z – число зубьев контура;

 l_{xi}^{*K} , ϕ_{zi}^{*K} — дискретные параметры движения профиля, которые числено равны соответственно линейному и угловому шагу контуров.

С достаточным для практики числом отображений обобщенная унифицированная математическая модель отсека поверхности зуба или впадины зуба зубчатых венцов исходных формообразующих зубчатых звеньев различных классов, видов и типов в матричном виде запишется следующим образом $m_{v_2^*v_2^*v} m_{v_2^*v_2^*v} m_{v_2^*v_2^*v} m_{r_{n1}}$

$$\begin{cases} \varphi_{3A}^{v} \leq \varphi_{3}^{v} \leq \varphi_{3B}^{v} \\ l_{i}^{v} = f_{l_{i}^{v}}(\varphi_{3}^{v}) \\ \varphi_{i}^{v} = f_{\varphi_{i}^{v}}(\varphi_{3}^{v}) \end{cases}$$

$$(6)$$

где, $\boldsymbol{\varphi}_{i}^{v}$, l_{i}^{v} – параметры движения профиля, v_{i}^{*v} , c_{i}^{*v} – координатные параметры.

Эта же обобщенная математическая модель задает и описывает поверхности заготовок формообразуемых звеньев, если вместо профиля поставить образующую плоского осевого сечения заготовки [9].

Поверхность зубчатой рейки или зубчатого колеса с постоянным шагом задаются объединением поверхностей всех зубьев. Такое объединение является частным случаем аффинных отображений при дискретном изменении параметра движения поверхности зуба вдоль делительной поверхности и математически запишется следующим образом:

а) повер хнос ть зубчатой рейки:

$$m_{r_{33}i} = m_{r_3} \cup m_{l_{v_i}^{*33}} m_{r_3} \cup m_{2l_{v_i}^{*33}} m_{r_3} \dots \cup m_{il_{v_i}^{*33}} m_{\dots} \cup m_{(z-1)l_{v_1l_k}^{*33}} m_{r_3}$$
 (7)

б) поверхность зубчатого колеса:

$$m_{r33} = m_{r3} \cup m_{\varphi_{z1}^{*33}} m_{r3} \cup m_{2\varphi_{z1}^{*33}} m_{r3} \dots \cup m_{i\varphi_{z1k}^{*33}} m_{r3} \dots \cup m_{(z-1)\varphi_{z1k}^{*33}} m_{r3}$$
(8)

где, z – число зубьев контура; l_{xii}^{*33} , φ_{zii}^{*33} — дискрет - дискретные параметры движения поверхности зуба, которые числено равны соответственно линейному и угловому шагу звеньев.

Обобщенная математическая модель движения профилей, зубчатых контуров, отсеков поверхностей отдельных зубьев или поверхностей зубчатого венца исходного формообразующего зубчатого звена относительно заготовки формообразуемого зубчатого звена может быть представлена в виде [8]:

$$\begin{cases}
m_{r_{330\,H/\mathcal{A}}} = m_{v_{1}^{*w}c_{1}^{*w}} m_{\varphi_{z_{1}^{*l}z_{1}}^{w}} m_{v_{2}^{*w}c_{2}^{*w}} m_{\varphi_{z_{2}^{*l}z_{2}}^{w}} m_{v_{3}^{*w}c_{3}^{*w}} m_{\varphi_{z_{3}^{*l}z_{3}}^{w}} m_{v_{4}^{*w}c_{4}^{*w}} m_{\varphi_{z_{4}^{*l}z_{4}}^{w}} \\
m_{v_{5}^{*w}c_{5}^{*w}} m_{\varphi_{25}^{*l}z_{5}^{w}} m_{v_{6}^{*w}c_{6}^{*w}} m_{\varphi_{26}^{*l}z_{6}^{w}} m_{r_{336}} \\
\varphi_{1A}^{u} \leq \varphi_{1}^{u} \leq \varphi_{1A}^{u} \\
\varphi_{1A}^{v} \leq \varphi_{1}^{v} \leq \varphi_{1B}^{v} \\
\varphi_{26A}^{v} \leq \varphi_{26}^{v} \leq \varphi_{26B}^{v} \\
\varphi_{26A}^{w} \leq \varphi_{26}^{v} \leq \varphi_{26B}^{v} \\
\varphi_{2i}^{w} = f_{\varphi_{2}^{w}}(\varphi_{26}^{w}) \\
l_{zi}^{w} = f_{l_{2}^{w}}(\varphi_{26}^{v})
\end{cases}$$
(9)

где, $m_{v_i c_i}$ – одно из произведений матриц координатных преобразований [8]. Каждому из этих произведений можно присвоить код и тогда можно пользоваться этим кодом как одним оператором.

Используя частные случаи этой модели можно математически описать практически все кинематические схемы формообразования зубчатых колес

разных классов, видов и типов [8].

Обобщенная математическая модель формообразования зубчатых звеньев разных классов, видов и типов в общем случае при дву хпараметрическом огибании запишется в виде [9].

$$\begin{cases} m_{r_{330\,H/A}} = m_{v_{y1}^*m} m_{v_{y1}^*m} m_{v_{x1}^*m} m_{\varphi_{z1}^w} m_{\ell_{z1}^w} m_{v_{y2}^w} m_{v_{y2}^*m} m_{v_{x2}^*m} m_{\varphi_{z2}^w} m_{\ell_{z2}^w} m_{\ell_{z3}^w} \\ & \cdot m_{c_{y3}^*m} m_{v_{x3}^*m} m_{\varphi_{z3}^w} m_{\ell_{z3}^w} m_{\ell_{z3}^w} m_{\ell_{z4}^w} m_{v_{x4}^*m} m_{\varphi_{x4}^w} m_{\ell_{z4}^w} m_{\ell_{y5}^w} \\ & \cdot m_{c_{y5}^*m} m_{v_{x5}^*m} m_{\varphi_{z5}^w} m_{\ell_{z5}^w} m_{\ell_{z5}^w} m_{\ell_{y6}^w} m_{\ell_{y6}^w} m_{\ell_{x6}^w} m_{\ell_{x6}^w} m_{\ell_{z6}^w} m_{\ell_{z6}^w}$$

Математическая модель формообразования (9) не всегда определяет полный формообразуемый профиль. Для определения формообразуемого профиля с учетом всех особенностей, а именно с учетом формообразования особой точкой излома или с учетом подрезания и пересечения смежных поверхностей эту математическую модель необходимо дополнить логической частью. Логическая часть теоретической модели формообразования определяется алгоритмом расчета переходных кривых образованных особыми точками излома, а также особых точек формообразуемого зубчатого звена получаемых в результате подрезания [12].

В дальнейшем эти математические модели необходимо программно реализовать отдельным пакетом или интегрировать в пакет «КОМПАС» в рамках договора о творческом содружестве с ООО «АСКОН-КР».

Общие выводы:

- 1. Представлена унифицированная система обозначений параметров и операторов при многопараметрических отображениях точки, отрезка линии, отсека поверхности в приложении к решению вопросов задания и формообразования зубчатых передач и зубчатых соединений.
- 2. Приведены с учетом унификации обозначений обобщенные унифицированные структурные матричные уравнения множества отрезков различных линий, множества плоских профилей состоящих из объединенных отрезков различных линий, множества плоских контуров состоящих из объединенных профилей, множества поверхностей зубьев зубчатых звеньев, математических моделей формообразования зубчатых звеньев различных классов, типов и видов.

Список использованных источников: 1. Кривошея А.В., Данильченко Ю.М. Обобщенная унифицированная математическая модель формообразования звеньев системы зубчатих зацеплений. Сб. Сучасні процеси механічної обробки з НТМ та якість поверхні деталей машин. (Серія 1 «Процеси механічної обробки, верстати та інструменти») НАН України ІНМ ім. В.М. Бакуля. - Київ 2006.- С.169-180. 2. Родин П.Р. Основы формообразования поверхностей резанием. – Киев: Вища школа, 1981. – 152 с. 3. Перепелица Б.А. Отображения аффинного пространства в теории формообразования поверхностей резанием. — Харьков: Вища шк. 1981-152с. 4. Грабченко А.И., Кондусова Е.Б. и др. 3D-Моделирование инструментов, формообразования и съема припуска при обработке резанием. – Харьков, 2001. – 302 с. 5. Кривошея А.В., Пасичный О.О. и др. Математическое описание и классификация плоских кинематических линий с позиции много параметрического отображения аффинного пространства. //Межд Кировоград: Изд-во КГТУ, 2003. научн.-техн. 13. 6. Кривошея А.В., Петасюк О.У. и др. Методика задания и математического описания исходных формообразующих профилей. // Сверхтвердые материалы. - Киев. - 2004. - Вып. 1. - С. 52-65. 7. Кривошея А.В., Данильченко Ю.М. и др. Задание, математическое описание и методика исследования поверхностей зубчатых венцов исходных формообразующих зубчатых звеньев. Резание и инструмент в технологических системах: Межд научн.-техн. сборник – Харько в: НТУ «ХПИ», 2008 – Вып. 75. – 488 с. С.177-195. 8. Кривошея А.В., Данильченко Ю.М. и др. Обобщенная классификация кинематических схем формообразования зубчатых колес. Високі технології в машинобудуванні: Збірник наукових праць. НТУ «ХПІ». — Харків. 2006.- Вип. 2 (36). с. 48-69. **9.** Кривошея А.В., Данильченко Ю.М. и др. Совершенство вание обобщенной унифицированной математической модели формообразования и обработки зубчатых колес. С. 46-51. «Оборудование и инструмент для профессионалов», международный информационнотехнический журнал № 4 /127/ 2010. – 120 с. 10. Решетов Д.Н., Портман В.Т. Точность металлорежущих станков. – М.: Машиностроение, 1986. – 336 с. 11. .Литвин Ф.Л. Теория зубчатых зацеплений. – М.: Наука, 1968. – 584 с. 12. А.В. Кривошея, В.Е. Мельник и др. Особенности прямого и обратного формообразования эвольвентных цилиндрических зубчатых колес с модифицированным профилем у вершины зуба. С. 80-88. Вісник Національного Технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. — Харків: НТУ «ХПІ», 2012. – № 36. – 186 с.

Поступила в редколлегию 25.11.2013

УДК 621.9;51.7

Н.Ю. Ламнауер, канд. техн. наук, О.Г. Костюк, канд. техн. наук, Харків, Україна

ПРОГНОЗУВАННЯ ЯКОСТІ ВИРОБІВ МАШИНОБУДУВАННЯ ЗА ПАРАМЕТРОМ ЛІНІЙНОГО РОЗМІРУ

Для запропонованої чотирьохпарам етричної моделі розподілу величини лінійного розміру виробів знайдені оцінки її парам етрів з використанням порядкових статистик та сплайнапроксим ації для моди, що дає можливість прогнозування точності та знаходження величини, на яку необхідно налагоджувати верстат, для одержання виробів високої якості за цим парам етром.

Для предложенной четырехпараметрической модели распределения величины линейного размера изделий найдены оценки её параметров с использованием порядковых статистик и сплайн-аппроксимации для моды, что дает возможность прогнозирования точности и нахождения величины, на которую необходимо настраивать станок, для получения изделий высокого качества по этому параметру.

For the proposed four-parameter model of the distribution of the value of the linear size of the products found estimation of parameters using order statistics and a spline-approximation for the mode that allows you to predict the accuracy and finding the value to which you want to configure the machine to produce high-quality products in this parameter.

Вступ. Прогнозування точності за параметром лінійного розміру ϵ важливим розділом процесу створення кінцевого якісного продукту. Це прогнозування дає можливість рішення таких задач, як визначення раціонального рівня налагодження процесу виготовлення виробів. Тому задача прогнозування та знаходження величини розміру, на який налагоджується станок, стає все більш актуальною.

Постановка задачі. При вирішенні проблеми про прогнозування якості виробів машинобудування виникають наступні задачі:

- 1. Прогнозування частки браку за параметром лінійного розміру, що може бути виправленим, та невиправленого, для будь-якого станка та технології обробки.
- 2. Зна ходження величини розміру, на який налагоджується даний станок, для отримання виробів з мінімумом браку чи без нього.
- 3. Визначення можливого запасу якості за величиною лінійного розміру в межах допуску та втрати можливої якості.

Аналіз останніх досліджень. ДСТУ та методики, які існують сьогодні, пропонують використовувати для визначення випадкової величини – розміру виробів, нормальний закон розподілу з використанням правила «3 сигм».

Хоча проф. А.А. Маталін показав, що для різних квалітетів точності закони розподілу лінійних розмірів мають й інші види. Закон нормального розподілу (Гауса) в більшості випадків стає справедливим при механічній обробці заготівок 8, 9, 10 и грубіших квалітетів; для заготівок з точністю 7, 8, 6— закон Сімпсона, закон рівної ймовірності— 5, 6 та вище. Всі перелічені розподіли є симетричними відносно математичного сподівання [1].

В той же час всі підручники та посібники з технології машинобудування [2], говорять про те, що розподіли розмірів виробів несиметричні відносно середнього значення, тому робилися спроби створення несиметричних розподілів за допомогою композиції (суми) двох розподілів. Це робили вчені групи проф. Н.А. Бордачьова, що, в основному, приводило до двомодального розподілу. Запропонований проф. Н.А. Бордачьовим метод – композиції нормального та рівномірного закону зносу інструменту, дає випадкову величину розміру. Ця величина змінюється від −∞ до симетричний розподіл в будь-який момент часу [2]. Будь-які інші композиції законів в більшості випадків приводять до двомодального розподілу. Ці закони є не загальними, а такими, що мають коефіцієнт асиметрії та ексцес у вигляді констант. Дослідження величини розміру виробів показують, що при дотриманні встановленої технології обробки, розподіл розмірів одномодальний, тобто має одну вершину.

Математична модель. Була запропонована чотирьо хпараметрична модель розподілу, яка має вигляд [3], [4]:

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

де a — модальне значення, b — нижня межа та c — верхня межа розміру, k — параметр форми кривої.

Для різних параметрів форми 0 < k < 1 одержуємо різні, фізично більш адекватні, опуклі щільності розподілу. Якщо k > 1, то одержуємо вогнуті щільності розподілу. При k = 1 маємо трикутний розподіл. При малих k маємо розподіл, який близький до рівномірного, з межовими значеннями та з модою. Графіки функції щільності для різних параметрів форми наведені на рисунку 1.

Параметри a, b та c мають лінійний розмір, а параметр k – безрозмірний. Для оцінок параметрів бажано один розмірний параметр перевести у безрозмірний.

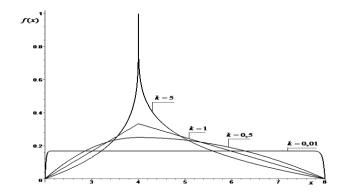


Рисунок 1 — Функції щільності розподілу розмірів (1) при параметрах a=4 , b=2 , c=8 та k=5 , k=1 , k=0,5 та k=0,01

Для оцінки параметрів даної моделі та для того, щоб центральні моменти виражалися через теоретичний розмах c-b, визначимо модальне значення a через безрозмірну величину, застосовуючи формулу ділення відрізка в заданому відношенні q:q=(a-b)/(c-a).

Звідси одержуємо:
$$a = (b + cq)/(1+q)$$
. (2)

В цьому випадку для моделі (1) квадрат асиметрії ${\pmb \beta}_1^2 = {\pmb \mu}_3^2 \, / \, {\pmb \mu}_2^3$ та ексцес ${\pmb \beta}_2 = {\pmb \mu}_4 \, / \, {\pmb \mu}_2^2$ визначається через k та q , де ${\pmb \mu}_j - j$ -й центральний момент.

Повер хня квадрату асиметрії змінюється в межах від 0 до 0,8, а повер хня ексцесу — від 1,8 до 3. Аналіз даної моделі показав, що такі характеристики як квадрат асиметрії $\boldsymbol{\beta}_1^2$ та ексцес $\boldsymbol{\beta}_2$ повністю створюють таку ж площину, як і криві Пірсона [5], які мають різні розподіли. Звідси випливає, що побудована модель розподілу розмірів є загальною моделлю, яку необхідно застосовувати для кожного верстату та для будь-якої технології виготовлення.

Оцінки параметрів моделі розподілу розмірів. Модель стає робочою якщо будуть знайдені для неї хороші оцінки параметрів. При цьому треба враховувати, що для оцінки параметрів моделі повинна використовуватися вибірка невеликого об'єму, в зв'язку з технологічно припустимою кількістю деталей, що оброблюються.

Метод моментів, де прирівнюються емпіричні моменти до теоретичних моментів, дає оцінки параметрів моделі (1) [4], але ці оцінки малопридатні до

малої вибірки, тому що при малій вибірці виникають помилки в оцінці високих порядків центральних моментів.

Оцінки, одержані з використанням порядкових статистик, де відсутня міра безпорядку - ентропія, а, значить, використана вся інформація вибірки, дають кращі оцінки параметрів моделі (1).

Для моделі (1) теоретичні показники
$$R_1 = (\boldsymbol{\mu}_{2:2} - \boldsymbol{\mu}_{1:2})^2 / \boldsymbol{\mu}_2 =$$

$$= 4(2 + 2q^2 + 9k + 9kq^2 + 13k^2 + 13k^2q^2 + 14k^2q + 18kq + 4q)^2(k+1) / (3(7k^2 + 2k^2q + 7k^2q^2 + 4k + 4kq^2 + 8kq + 1 + 2q + q^2)(1+q)^2(2+3k)^2(1+3k)).$$

$$\mathbf{R}_2 = (M(X) - \pmb{\mu}_{1:2})^2 \, / \, \pmb{\mu}_2 = (2 + 2q^2 + 9k + 9kq^2 + 13k^2 + 13k^2q^2 + 14k^2q + 18kq + \\ + 4q)(11k + 2 + 11kq^2 + 2q^2 + 22k^2 + 22k^2q^2 + 13k^3 + 13k^3q^2 + 22kq + 32k^2q + 14k^3q + \\ + 4q \, / \, (3(7k^2 + 2k^2q + 7k^2q^2 + 4k + 4kq^2 + 8kq + 1 + 2q + q^2)(1 + q)^2(2 + 3k)^2(1 + 3k)),$$
 де $\pmb{\mu}_{1:2}$ — математичне сподівання першої порядкової статистики вибірки об'єму два, а $\pmb{\mu}_{2:2}$ — математичне сподівання другої порядкової статистики вибірки об'єм два.

Визначимо за вибіркою емпіричні показники $\tilde{R}_1 = (\tilde{\mu}_{2:2} - \tilde{\mu}_{1:2})^2 / S^2(X)$ і $\tilde{R}_2 = (\overline{x} - \tilde{\mu}_{1:2})^2 / S^2(X)$, де оцінки $\tilde{\mu}_{1:2}$, $\tilde{\mu}_{2:2}$ — математичні сподівання порядкових статистик вибірки об'єму два, беруться з виразів

$$\tilde{\boldsymbol{\mu}}_{1:2} = \frac{2}{n(n-1)} \sum_{i=0}^{n-2} (n-1-i) x_{(i+1)}, \qquad \tilde{\boldsymbol{\mu}}_{2:2} = \frac{2}{n(n-1)} \sum_{i=0}^{n-2} (1+i) x_{(i+2)},$$

де $x_{(i)}-\mathrm{i}$ - а порядкова статисти ка вибірки об'єму n ,

$$\overline{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} x_i$$
 — вибіркове середнє та $S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n} (x_i - \overline{x})^2$ — виправлена

вибіркова дисперсія. Оцінки параметрів k, q одержують із рішення системи

$$\begin{cases} \mathbf{R}_1 = \tilde{R}_1 \\ \mathbf{R}_2 = \tilde{R}_2 \end{cases} \tag{3}$$

Система (3) розв'язується в системі Марle.

Визначивши математичне сподівання M(X) через q маємо

$$M(X) = (3kb + kbq + b + bq + 3kqc + kc + c + qc) / (2(1+q)(2k+1))$$
(4)

Тоді, підставляючи в формулу (4) знайдені значення k та q , замінюючи M(X) на вибіркове середнє \overline{x} , одержимо рівняння відносно параметрів c та b . Аналогічно, замінюючи в формулі μ_2 знайдені k та q ,

а також, замінюючи μ_2 на виправлену вибіркову дисперсію S^2 , одержимо рівняння відносно параметрів c та b. Рішення даної системи дає оцінки параметрів c та b.

Так, наприклад, при змодельованих 10 значеннях з параметрами k=0,4;~q=0,6;~b=0,2;~c=2,6;~a=1,1 маємо за запропонованим методом: $\tilde{k}=0,41;~\tilde{q}=0,57;~\tilde{b}=0,207;~\tilde{c}=2,580;~\tilde{a}=1,069$.

Статистичне моделювання показало, що запропоновані оцінки більш наближені до оцінюваних параметрів та мають дисперсію меншу, ніж оцінки параметрів моделі, отримані методом моментів.

Можливе одержання інших оцінок параметрів моделі, наприклад, одержання оцінки моделі параметра a, використовуючи сплайн апроксимацію для її оцінки.

Оскільки параметр a є модою моделі (1), то для оцінки моди за дискретним рядом є варіанта, яка має найбільшу частоту. При обчисленні моди для інтервального варіаційного ряду необхідно спочатку визначити модальний інтервал (за максимальною частотою), а потім — значення модальної величини ознаки за формулою [7]:

$$\hat{a} = x_0 + h(f_m - f_{m-1})/((f_m - f_{m-1}) + (f_m - f_{m+1}))$$
(5)

де: \hat{a} — значення моди, x_0 — нижня границя модального інтервалу, h — величина інтервалу, f_m — частота модального інтервалу, f_{m-1} — частота інтервалу, який ϵ попереднім до модального, f_{m+1} — частота інтервалу, наступного за модальним.

Для проведення певних розрахунків інтервальний варіаційний ряд умовно замінюють дискретним. Тоді середнє значення інтервалу приймають в якості варіанти з частотою f_i ($\mathbf{i}=1..l$), тобто одержуємо розподіл вибірки та для даного розподілу в системі Maple знаходимо точку максимуму \tilde{a} апроксимованого сплайну [9].

Виконаний статистичний аналіз при об'ємі вибірки n=20, показав, що для моделі (1) з параметрами a=4, b=2, c=8 та k=0,5, оцінка параметра a \tilde{a} ближча до істинної, ніж \hat{a} оцінка, одержана із (5).

Теоретичний квадрат показника асиметрії Пірсона $E_x^2 = (M(X) - a)^2 / \mu_2$ для данной модели имеет вид:

$$E_x^2 = 3(q-1)^2(k+1)(3k+1)/(7k^2+2k^2q+7k^2q^2+4k+4kq^2+8kq+q^2+1+2q)$$
.

Визначивши \tilde{a} та емпіричний квадрат показника асиметрії Пірсона $\tilde{E}_x^2 = (\overline{x} - \tilde{a})^2 / S^2(X)$ і прирівнявши його до E_x^2 можна одержати системи

$$\begin{cases} E_x^2 = \tilde{E}_x^2, \\ R_1 = \tilde{R}_1 \end{cases} \text{ afo } \begin{cases} E_x^2 = \tilde{E}_x^2, \\ R_2 = \tilde{R}_2 \end{cases}.$$

Системи дають однозначне рішення при $\,q>0\,$ та $\,k>0\,,$ яке й $\,\varepsilon\,$ оцінками параметрів $\,q\,$ та $\,k\,.$

Оцінки параметрів c та b знаходяться методом, згаданим вище.

Оцінки якості виробів машинобудування за параметром лінійного розміру. Будь-яка технологічна система виготовлення виробу повинна забезпечувати його якість. Одним з основних показників якості виробу є одержаний розмір цього виробу, який знаходиться чи не знаходиться в полі допуску. Поле допуску T розміру деталі, на який робиться настроювання, дорівнює різниці верхнього ei та нижнього es граничних відхилень:

$$T = es - ei$$
.

Одержана різниця $c_i - b_i$ оцінок параметрів моделі (1) є оцінкою поля розсіювання розмірі виробів, а самі оцінки b_i та c_i визначають місце розташування відносно заданих значень ei та es. На рис. 2. подані розташування оцінок b_i та c_i .

$$\frac{e\bar{i} \qquad k0 \qquad es}{b_2 \quad b_4 \quad b_0 \ b_3 \ b_1 \quad a \qquad c_1 \ c_2 \quad c_0 \ c_4 \quad c_3 \quad x} >$$

Рисунок 2 – Взаємне розташування оцінок b_i та c_i моделі (1)

Якщо $ei=b_0$ та $es=c_0$, то існує ідеальний випадок виготовлення виробів. Інтервал $(b_1;c_1)$ свідчить про те, що браку немає. Оцінки b_2 та c_2 свідчать про те, що є не усунений брак, ймовірність якого визначається за формулою:

$$P(b_2 < x \le ei) = ei - b_2 + k(ei - a) \left\lceil 1 - \left(\left(ei - a \right) / \left(b_2 - a \right) \right)^{\frac{1}{k}} \right\rceil.$$

Оцінки b_3 та c_3 дають усунений брак, ймовірність якого визначається за формулою:

$$P(es < x \le c_3) = c_3 - es - k(es - a) \left[1 - \left((es - a) / (c_3 - a) \right)^{\frac{1}{k}} \right].$$

Інтервал $(b_4; c_4)$ свідчить про те, що є усунений та не усунений брак, ймовірність якого визначається за формулою:

$$\begin{split} &P(es < x \le c_4) + P(b_4 < x \le ei) = c_4 - es - k(es - a) \bigg[1 - \Big(\Big(es - a \Big) / \Big(c_4 - a \Big) \Big)^{\frac{1}{k}} \bigg] + \\ &+ ei - b_4 + k(ei - a) \bigg[1 - \Big(\Big(ei - a \Big) / \Big(b_4 - a \Big) \Big)^{\frac{1}{k}} \bigg]. \end{split}$$

Знайдемо ймовірність влучення розміру виробу в інтервал (z, z+T) при умові, що модальне значення a лежить в полі допуску T. Із знайденої функції розподілу F(x) маємо ймовірність влучення випадкової величини в інтервал

(z, z+T):

$$P(z < X < z + T) = \frac{1}{c - b} \left[T + k(z + T - a) \left(1 - \left(\frac{z + T - a}{c - a} \right)^{\frac{1}{k}} \right) - k(z - a) \left(1 - \left(\frac{z - a}{b - a} \right)^{\frac{1}{k}} \right) \right]$$

Для цієї функції максимум ймовірності влучення розміру виробу в інтервал (z, z+T) дорівнює

$$z_{\text{max}} = a - (a - b)T/(c - b).$$

Цей максимум не залежить від параметра форми k, тобто застосовується для будь-якого розподілу.

Звідси нижня та верхня межі настроювання інструменту з мінімальним браком має вигляд:

$$\varepsilon_{_{\!\scriptscriptstyle H}}=a-(a-b)T/(c-b)$$
 to $\varepsilon_{_{\!\scriptscriptstyle G}}=\varepsilon_{_{\!\scriptscriptstyle H}}+T=a+(c-a)T/(c-b)$

Застосовуючи (2) для визначення нижньої та верхньої межі настроювання інструменту з отриманням мінімального браку, маємо:

$${m arepsilon}_{_{\! H}}=a-Tq/(1+q)$$
 ta ${m arepsilon}_{_{\! G}}=a+T/(1+q)$

Звідси маємо, що $\varepsilon_{_{H}} = (a - \varepsilon_{_{H}})/(\varepsilon_{_{\theta}} - a) = q$, тобто при максимальній якості зберігається відношення ділення відрізка відносно моди a.

В окремому випадку, коли мода та медіана співпадають із середнім значенням, тобто a = (b+c)/2 чи q=1, маємо:

$$\mathbf{\mathcal{E}}_{_{\!\scriptscriptstyle H}}=a-T/2$$
 ra $\mathbf{\mathcal{E}}_{_{\!\scriptscriptstyle g}}=a+T/2$,

що раніше пропонувалося для настроювання станка.

Відсоток виробів на станку з максимально можливою якістю складає величину:

$$\Delta \cdot 100\% = P(\varepsilon_{_{H}} < X < \varepsilon_{_{g}}) \cdot 100\% = (T/(c-b)) \left[1 + k - k \left(T/(c-b) \right)^{\frac{1}{k}} \right] \cdot 100\%$$

та не залежить від величини моди a.

Звідси можливий запас якості за величиною лінійного розміру в межах допуску має вигляд:

$$(\Delta - 1) \cdot 100\% = \left\{ (T/(c - b)) \left[1 + k - k \left(T/(c - b) \right)^{\frac{1}{k}} \right] - 1 \right\} \cdot 100\%$$

Та втрата можливої якості має вигляд:

$$(1-\Delta)\cdot 100\% = \left\{1 - (T/(c-b)) \left[1 + k - k\left(T/(c-b)\right)^{\frac{1}{k}}\right]\right\} \cdot 100\%.$$

Оскільки сума абсолютних відхилень випадкової величини від медіани ε мінімальна величина [6], то настроювання будь-якого станка потрібно проводити на медіанну величину. В нашому випадку ця величина знаходиться з рішення рівняння:

$$\left\{ x_m - b + k(x_m - a) \left[1 - \left((x_m - a)/(b - a) \right)^{\frac{1}{k}} \right] \right\} / (c - b) = 0.5 \text{ при } b < x_m \le a$$
 (6)

абс

$$\left\{ x_m - b + k(x_m - a) \left[1 - \left((x_m - a)/(c - a) \right)^{\frac{1}{k}} \right] \right\} / (c - b) = 0.5 \text{ при } a < x_m \le c. \tag{7}$$

Це рішення знаходиться з отриманих оцінок параметрів a, b, c та k.

Так, наприклад, при a=4 , b=2 , c=8 та k=0,5 маємо $x_{\scriptscriptstyle m}=4,67302$ та M(X)=4,75 .

За формулою Пірсона [7] маємо:
$$x_m \approx \frac{a}{2} + \frac{2}{3}M(X) = 2+3,16667=5,16667,$$

що достатньо далеко від істинного значення. Тому користуватися цими формулами не слід.

Для великих вибірок можливо скористатися емпіричною оцінкою медіани. Для цього розташуємо отримані значення за порядком та знаходимо значення, що містяться в середині. Але застосувати велику вибірку ми не в змозі, тому що процес різання обмежений технологічно, інакше він стає неоднорідним по відношенню до початкового. Тому для настроювання станка за малою вибіркою застосовуються формули (6) та (7).

Висновки.

- 1. Для запропонованої моделі розподілу величини лінійного розміру виробу знайдені оцінки її параметрів за методом порядкових статистик та методом сплайн-апроксимації для моди.
- 2. Визначені нижня та верхня границі лінійного розміру виробів, у межах яких спостерігається максимальна кількість якісних виробів, що

дозволяє розрахувати можливий запас якості в межах допуску та втрати можливої якості досліджуваного параметру.

3. Запропоновано розрахункові формули для визначення величини, на яку необхідно настроювати станок з отриманням мінімальної кількості браку за параметром лінійного розміру виробу.

Перспективи подальшого розвитку. Дослідити знайдені оцінки параметрів моделі розподілу величин лінійних розмірів за запропонованими методами, що до їхньої ефективності, обґрунтованості та незміщеності.

Список використаних джерел: 1. Пугачев В.С. Теория вероятностей и математическая статистика. 2-е изд., исправл. и дополн. - М.: Физматлит, 2002. — 496 с. 2. Маталин А.А. Технология машиностроения: Учебник для машиностроительных вузов по специальности «Технология, металлорежущие станки и инструменты». -Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1985. - 496 с. 3. Ламнауэр Н.Ю. Распределение размеров изготовления идзелий Високі технології в машинобудуванні: збірник наукових праць. - Харків, НТУ «ХПІ», 2012. -Вип.1(22). -С.177-181. 4. Ламнауэр Н.Ю. Модель распределения размеров изделий и ее применение для оценки точности обработки. Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Математичне моделювання в техніці та технологіях. - Харків: НТУ «ХПІ». - 2012.-№27. - С.98-107. 5. Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. - М: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983. – 416с. 6. Крамер Г., Математические методы статистики: Пер. с англ. / Под ред. А.Н.Колмогорова. – М.: «Мир». -1976. – 623 с. 7. Балииова В.С. Статистика в вопросах и ответах: Учебное пособие. – М: ТК Велби, Изд-во Проспект, 2004. -344 с. 8. Алберг Дж., Нильсон Э., Уолш Дж. Теория сплайнов и ее приложения. М.: Мир, 1972. – 316 с.

Надійшла до редколегії 19.11.2013

УДК 621.787.4

В.І. Марчук, д-р техн. наук, А.А. Ткачук, Луцьк, Україна

ТЕХНОЛОГІЧНІ МЕТОДИ ЗМІЦНЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ

Для обтрунтованого вибору способу поверхневого зміцнення необхідно провести аналіз технологічних можливостей відомих способів зміцнення, зокрема за параметрами мікротвердості та напруженого стану поверхневого шару. Досліджено процеси зміцнення поверхневих шарів в ході поверхневого деформування, виявлено можливість забезпечення поліпшення фізико-механічних властивостей поверхні металу внаслідок структурних перетворень, подрібнення зерен, а також формування в поверхневому шарі залишкових напружень стиску, що виникають за рахунок розвитку зрушень в кристалічній гратці.

Для обоснованного выбора способа поверхностного упрочнения необходимо провести анализ технологических возможностей известных способов упрочнения, в частности по параметрам микротвердости и напряженного состояния поверхностного споя. Исследованы процессы упрочнения поверхностных слоев в ходе поверхностного деформирования, выявлена возможность обеспечения улучшения физико-механических свойств поверхности металла вследствие структурных преобразований, измельчения зерен, а также формирование в поверхностном слое остаточных напряжений сжатия, возникающих за счет развития сдвигов в кристаллической решетке.

Scientifically grounded choice of the surface hardening method requires the analysis of manufacturing capability of known methods of hardening, in particular on the parameters of microhardness and stressed state of surface layer. The processes of surface layer hardening in the course of surface deformation have been studied, the possibility of providing improvement in physical-mechanical properties of the metal surface due to structural transformations, grain size refinement have been revealed, as well as the formation of residual compression in surface layer arising due to the development of shear in the crystal lattice.

Вступ

Відомо, що зміцнення поверхневого шару деталей пластичним деформуванням забезпечує підвищення опору втомі та твердості поверхневого шару, а також дозволяє формувати напруження стиску і створювати регламентований рельєф мікронерівностей на поверхні.

Існує група деталей, до яких в процесі роботи висуваються високі вимоги по глибині зміцненого шару. Перехід від зміцненої області до незміцненої повинен бути плавним і не утворювати додаткового концентратора напружень, щоб уникнути відшарування зміцненої поверхні під час впливу на деталь циклічних навантажень. Таким чином, постає завдання вибору найбільш ефективного методу зміцнюючого оброблення для забезпечення регламентованої якості поверхневого шару.

Постановка проблеми

Для обгрунтованого вибору способу поверхневого зміцнення необхідно порівняти дані технологічних можливостей відомих способів зміцнення, зокрема за параметрами мікротвердості та напруженого стану зміцненого шару (рис. 1).

Відомі такі основні види зміцнюючого оброблення:

- термозміцнююче оброблення (TO);
- хім іко-термічне оброблення (XTO);
- нанесення зміцнюючих покриттів;
- поверхневе пластичне деформування (ППД).

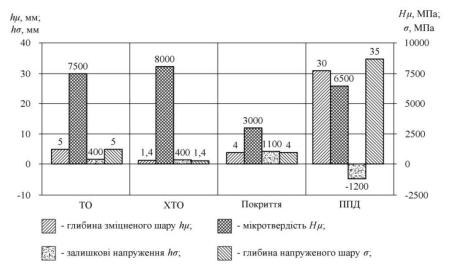


Рисунок 1 — Вплив видів зміцнюючого оброблення на мікротвердість і напружений стан зміцненого шару

Після термічного оброблення величина мікротвердості сталей типу ШХ15 може досягати 7500 МПа, а глибина зміцненого шару не більше 3 мм. Напруження в зміцненому поверхневому шарі залежно від обираних режимів ТО можуть бути як розтягуючими, так і стискаючими. Необхідно відзначити наявність різкого переходу від зміцненого поверхневого шару до незміцненої «серцевини».

Мікротвердість після ХТО може становити до 8000 МПа, глибина зміцненої поверхні від 0,01 до 1,4 мм. Знак залишкових напружень і характер їх розподілу після ХТО залежать від способу подальшого термооброблення [5].

Нанесення покриттів в основному використовують для підвищення корозійної стійкості та зносостійкості під час тертя. Нанесенням зміцнюючих металевих покриттів зазвичай отримують мікротвердість поверхні до 3000 МПа, причому незалежно від вихідної твердості матеріалу зміцнюваної деталі [1]. Товщина покриттів лежить в межах 0,003-2 мм. В процесі нанесення покриттів в поверхневому шарі формуються напруження розтягу.

Оброблення поверхневим пластичним деформуванням (ППД) дозволяє забезпечити глибину зміцненого поверхневого шару до 5 мм, а також збільшувати мікротвердість в середньому близько 150% відносно вихідного значення до 6500 МПа. Залишкові напруження після оброблення ППД завжди мають від'ємне значення, глибина їх розповсюдження перевищує глибину поширення підвищеної мікротвердості в 1,5 рази (рис.1). У зв'язку з цим зміцнення ППД необхідно розглядати як найбільш ефективний спосіб підвищення експлуатаційних характеристик деталей машин, які працюють при циклічних навантаженнях.

Виклад основного матеріалу

В ході досліджень встановлено, що зміцнення металу ППД полягає в наступному. В області площин ковзання відбувається спотворення кристалічної ґратки, зокрема її поворот, а також зсув атомів з положення стійкої рівноваги і пружні викривлення площин ковзання. Ці спотворення викликають появу додаткових напружень, що залишаються після зняття прикладеного навантаження [1, 2, 4, 6, 7].

Отже, в результаті зміцнення поверхневих шарів в процесі поверхневого деформування можна забезпечити поліпшення фізико-механічних властивостей металу внаслідок структурних перетворень, подрібнення зерен, а також формування в поверхневому шарі залишкових напружень стиску, що виникають за рахунок розвитку зрушень в кристалічній ґратці.

Поверхні з однаковими параметрами шорсткості, отримані різними методами оброблення, будуть відрізнятися, тому що мають нерівності різної форми і тому різну величину опорної площі.

На отриманій в ході досліджень профілограмі (рис. 2) видно, що шліфована поверхня має нерівності у вигляді загострених виступів і піків. Більш притуплена форма нерівностей спостерігається у поверхонь, отриманих поліруванням. Гострі піки відсутні на поверхні, обробленій суперфінішування. Під час алмазного вигладжування поверхня згладжена, форма мікронерівностей округлена.

На експлуатаційні властивості поверхні, зокрема зносостійкість і контактну жорсткість, впливає головним чином верхня частина мікрорельєфу поверхні, тобто форма і розміри верхньої частини нерівностей, чим більше вони притуплені і чим більша опорна площа на вершинах гребінців, тим більша зносостійкість і жорсткість поверхні.

Отже, можна зробити висновок, що поверхня, одержана при алмазному вигладжуванні, володіє опорною здатністю в середньому на 23% вище, ніж одержана після суперфінішування.

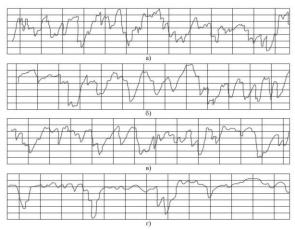


Рисунок 2 — Профілограми поверхонь з $Ra \le 0.16$ оброблених: а) шліфуванням; б) поліруванням; в) суперфінішуванням; г) алмазним вигладжуванням

У табл. 1 показані характеристики шорсткості і опорної здатності поверхні, оброблених різними технологічними методами.

Одним з найбільш перспективних і ефективних методів ППД ϵ алмазне вигладжування. Сутність процесу вигладжування поляга ϵ в пружнопластичній деформації поверхневого шару при вза ϵ модії алмазного інструменту та оброблюваної деталі.

Зміни розмірів поверхонь в ході вигладжування незначні і знаходяться в межах технологічного допуску [3]. Тому припуски під вигладжування мож на не передбачати. При цьому попередня обробка повинна забезпечити точність розмірів в межах заданого на деталі квалітету і точність форми.

Вигладжена поверхня відрізняється від поверхонь, оброблених абразивними методами, характерним дзеркальним блиском. На шліфованій поверхні чітко видно сліди різання окремих зерен, а також нарости, окремі вириви і напливи розмазаного і розм'якшеного металу. Полірована поверхня більш рівна, на ній помітно більша кількість рисок - слідів полірування абразивною стрічкою. Виривів, наростів та інших дефектів, характерних для на полірованій поверхні не спостерігається. Поверхня шліфування. післясуперфінішу має характерну сітку пересічних слідів від різання обумовлену характером рухів брусків абразивними зернами,

оброблюваної поверхні, вона має окремі дефекти у вигляді напливівметалу. Після вигладжування утворюється характерна пластично деформована поверхня, рівна, без виривів і наростів (рис. 3).

Таблиця 1 - Xарактеристики шорсткості та опорної здатності поверхонь оброблених різними методами

Метод оброблення	Ra по- верхні	Коефіцієнт заповнення профілю	Радіус округлення мікронерів- ностей R, мкм	Кут профілю в	Опорна частина	
оорооления					f_p ,%	f_f ,%
Алмазне вигладжуванн я	0,16	0,65-0,75	1000	0°35'	30	1515
	0,08		1500	0°25'	45	20
	0,04		2500	0°15'	70	40
	0,02		3500	0°10'	87	50
Супер- фінішування	0,08	0,6-0,64	350	0°45'	25	8
	0,04		450	0°30'	35	14
Полірування	0,16	0,57-0,62	200	1°30'	18	5
	0,08		300	1°	22	8
	0,04		400	0°45'	30	15
Тонке шліфування	0,16	0,45-0,55	70	4°	4	1,5
	0,04		100	2°	7	2

Поверхні однакової шорсткості, отримані різними методами оброблення, відрізняються експлуатаційними властивостями. Це пояснюється тим, що на експлуатаційні властивості обробленої поверхні впливають не стільки висота шорсткості, скільки висота опорної площі поверхні. Зазвичай навіть при ретельній обробці поверхні опорна площа складає лише невелику частину контурної площі.

ППД має значні переваги щодо досягнутої якості обробленої поверхні, в порівнянні з обробкою відомими методами різання металу. Так, мікроструктура після шліфування загартованих сталей відрізняється підвищеним вмістом в поверхневому шарі залишкового аустеніту (до 30-40%). Згідно даними досліджень, залишковий аустеніт, що виникає в поверхневому шарі загартованих сталей після шліфування, є небажаною структурною складової, яка понижує деякі експлуатаційні властивості поверхневого шару (контактну міцність, втомну міцність і зносостійкість).

Рентгеноструктурне дослідження фазового складу поверхневого шару загартованої сталі ШХ15 після алмазного вигладжування показало, що в процесі алмазного вигладжування відбувається інтенсивний розпад залишкового аустеніту. При вихідному 30%-му вмісті залишкового аустеніту

вигладжування з силою 50Н викликає практично повний його розпад. Зменшення подачі і збільшення числа проходів при вигладжуванні зменшують кількість залишкового аустеніту в повер хневому шарі.

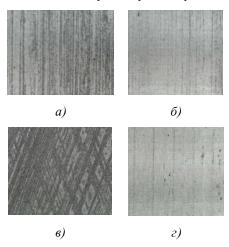


Рисунок 3 – Зовнішній вигляд поверхонь після: а) шліфування; б) полірування; в) суперфінішу; г) алмазного вигладжування

Висновок

Перспективним з позиції прогнозування експлуатаційних властивостей функціональних поверхонь способом поверхневого зміцнення є алмазне вигладжування за допомогою якого, можна обробляти практично всі метали та сплави, які застосовуються в сучасному машинобудуванні, за виключенням титану, цирконію та ніобію, в зв'язку з тим, що вони налипають на функціональну частину інструменту. Також піддавати обробленню різні складні за формою поверхні деталей, в тому числі зовнішні, внутрішні, плоскі та профільні. Але в кожному конкретному випадку застосування ППД вимагає спеціального способу його реалізації.

Список використаних джерел: 1. Агеев Н.П. Изготовление деталей пластическим деформированием / Н.П. Агеев и др. Л.: Машиностроение, 1979. — 307с. 2. Джонсон К Механика контактных взаимодействий / К. Джонсон. М.: Мир, 1989. — 509 с. 3. Папшев Д.Д. Огделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием / Д.Д. Папшев. М.: Мапшиностроение, 1978. — 152 с. 4. Пишбальский В. Технология поверхностной пластической обработки В. Пишбальский. пер. с польск. М.: Металлургия, 1991. — 479 с. 5. Технологическиеостаточные напряжения / А.В. Подзей, А.И. Сулима, Г.З. Серебринников. М.: Мапшиностроение, 1973. — 216 с. 6. Тамленов А.Д. Теория пластического деформирования металлов / А.Д. Томленов. М.: Металлургия, 1972. — 408 с.7. Унксов Е.П. Теория пластических деформаций металлов / Е.П. Унксов, У. Джонсон, В.Л. Колмогоров. М.: Мапшиностроение, 1983.—598 с.

Надійшла до редколегії 15.10.2013

УДК 621.9.048

А.В. Мицык, канд. техн. наук, В.А. Федорович, д-р техн. наук, Харьков, Украина

ОПЫТ В НЕДРЕНИЯ И ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВ АНИЯ ПЛАНИРОВКИ УЧАСТКА ОТДЕЛОЧНО-ЗАЧИСТНОЙ ВИБРООБРАБОТКИ

Наведено схему планування діянки оздоблювально-зачищувальної віброобробки, розробленої для використання у механічних цехах металообробних виробництв. Дано опис призначення і принцип дії основного та допоміжного устаткування, розташованого на ділянці. Приведені приклади номенклатури деталей, при виготовленні яких використовується віброоброблювальна техніка і технологія.

Представлена схема планировки участка отделочно-зачистной виброобработки, разработанная для использования в механических цехах металлообрабатывающих производств. Дано описание назначения и принципа действия основного и вспомогательного оборудования, расположенного на участке. Приведены примеры номенклатуры деталей, при изготовлении которых используется виброобрабатывающая техника и технология.

The scheme of the layout of finishing-grinding vibration treatment section, designed for use in metal-working machine shops metal, is presented. The description, the purpose and operation of the main and auxiliary equipment located at the section are provided. The examples of nomenclature of parts, for the manufacture of which the vibration equipment and technology are used, are given.

Расположение оборудования для отделочно-зачистной обработки на отдельных рабочих местах и на участке в целом оказывает существенное влияние на общий ход производственного процесса и производительность труда. Нерациональная планировка оборудования приводит к неэкономичному использованию производственных площадей, удлинению маршрута прохождения деталей в процессе их изготовления, появлению излишних и встречных грузопотоков, ухудшению условий труда и, в конечном итоге, к снижению уровня техники и технологии, организации культуры производства на данном участке [1].

Из технологии машиностроения известно, что характер планировки промышленного участка механообработки и в частности отделочно-зачистной виброобработки зависит от принятого типа производства, количества и конструкции выпускаемых деталей, а также требующихся для выполнения производственной программы вибростанков [2-4].

При небольшой программе цеху необходимо только два вибростанка, выполняющие наиболее востребованные и распространенные операции

виброшлифования и виброполирования. Эти вибростанки располагают в зависимости от условий и режима работы данного цеха. В случае, когда вибростанки используются для обработки деталей одного наименования, то их целесообразно включать в соответствующий участок или поточную линию. Если же эти вибростанки будут применяться для обработки деталей нескольких наименований, изготавливаемых на различных участках, то это оборудование следует располагать таким образом, чтобы объем транспортных работ был наименьшим.

Обслуживание отдельно расположенных вибростанков, состоящее в подготовке рабочих сред, загрузке и выгрузки резервуара вибростанка, подвозке необработанных и отправке на последующие операции обработанных деталей вменяется в служебные обязанности оператору, выполняющему виброобрабатывающие технологические операции. В случае небольшого объема работы оператор может выполнять и другие операции на расположенном рядом оборудовании.

При значительном количестве обрабатываемых деталей, когда требуется использование нескольких и более единиц вибростанков, целесообразно создание специализированных участков отделочно-зачистной виброобработки, что не исключает случаев монтажа отдельных вибростанков в поточных линиях, если масштабы производства создают необходимые условия для их рационального использования.

Разработанная в НИЛ «ОСА» ВНУ им. В. Даля принципиальная схема планировки участка отделочно-зачистной виброобработки, предназначенная для использования в механических цехах металлообрабатывающих производств может насчитывать от 3 до 20 вибростанков с объемом резервуара до 100 дм3. На планируемом участке согласно разработанной технологии предусматривается выполнение операций виброшлифования и виброполирования.

Участок отделочно-зачистной виброобработки функционирует следующим образом. Детали, подлежащие виброобработке, поступают на склад заготовок СЗ по стрелке А. Рабочая среда в состоянии, подготовленном для проведения операций виде, хранится в контейнерах 1 (рис. 1).

Приготовление химически-активных растворов производится на установке, которая представляет собой площадку 2 с расположенными на ней емкостями 3 для приготовления необходимых растворов и их хранения до подачи в резервуары вибростанков 6 и 13 по трубопроводам 19. Под площадкой 2 на уровне пола размещен склад для хранения в закрытых шкафах двух — трехдневного запаса химреактивов.

Поступившие на склад СЗ детали предварительно проходят обезжиривание в ваннах 4, после чего подаются к резервуару вибростанка 6 с помощью тельфера 5, передвигающегося по монорельсу 7.

Обработанные детали из резервуара вибростанка 6 выдаются на транспортер 8, который направляет их на сепаратор 10 для отделения от гранул рабочей среды. Отсепарированные детали загружаются в сетчатые корзины, установленные на тележке 11, которые подают их на нейтрализацию к ваннам 12. После нейтрализации детали направляются на промежуточный склад ПС или непосредственно к вибростанку 13 для операции виброполирования в среде стальных полированных шариков. Окончательно обработанные детали из резервуара вибростанка 13 выгружаются вместе с шариками на вибросито 14, где происходит их разделение.

Затем детали подаются к ваннам 15 для пассивирования, в сушильный шкаф 16 и далее на склад готовых деталей СГД. Реактивы для вибростанка 13 и ванн 15 хранятся в шкафу 17. На участке также установлена емкость 9 для слива отработанного раствора с возможностью дальнейшего слива его в канализацию или отстойник 18 для химически активных растворов.

Для упрощения компоновки участка отделочно-зачистной обработки в ней не показаны некоторые второстепенные устройства. К ним, например, относятся дозаторы для химически-активных растворов, имеющиеся при каждом вибростанке и др.

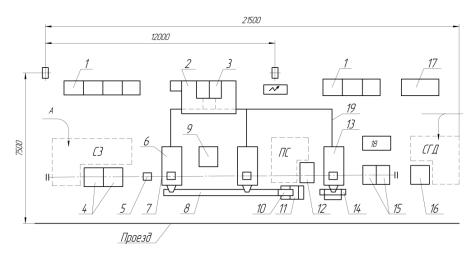
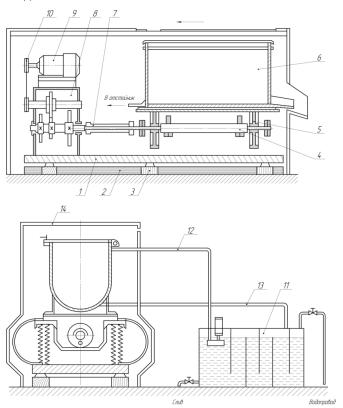


Рисунок 1 – Схема планировки промышленного участка виброобработки

К участку также прикреплен автопогрузчик, который может работать, как постоянно, так и периодически. Он производит ряд неавтоматизированных работ связанных с загрузкой и разгрузкой резервуаров вибростанков 6 и 13 рабочей средой, а также складирование на складах СЗ и СГД.

Базовым серийным оборудованием, используемым на приведенном выше участке отделочно-зачистной виброобработки, может быть использован вибростанок модели ВМИ-1004А, конструкция которого имеет три сменных резервуара объемом 80, 120 и 160 дм3 (рис. 2). Техническая характеристика вибростанка приведена в таблице. Для очистных операций с жесткими режимами обработки, используется резервуар объемом 80 дм3. Операции виброшлифования и виброполирования, выполняются в резервуаре объемом 120 дм3 при сравнительно мягких режимах. При обработке крупных тонкостенных деталей с невысокой жесткостью используется резервуар объемом 160 дм3.



Рису нок 2 — Принципиальная схема вибростанка модел и ВМИ-1004А: 1 — станина; 2 — основание; 3 — амортизаторы; 4 — вал вибровозбудителя; 5 — виброплатформа; 6 — резервуар; 7 — гибкая муфта; 8 — коробка скоростей; 9 — электродвигатель; 10 — клиноременная передача; 11 — отстойник; 12 — нагнетательный трубопровод; 13 — сливной трубопровод; 14 — кожух

Возможность замены резервуара в зависимости от условий обработки позволяет поддерживать производительность процесса на достаточно высоком уровне и делает оборудование приемлемым для обработки широкой номенклатуры деталей.

	Таблица – Техническая	хар актер истик а вибр остан	ка модели ВМИ-1004А
--	-----------------------	------------------------------	---------------------

№ п/п	Наименование показателя	Значение показателя
1	Объем сменных резервуаров, дм3	80, 120, 160
2	Частота колебаний, Гц	30, 34, 42
3	Амплиту да колебаний (вертикальная), мм	0,24,0
4	Мощность электродвигателя, кВт	7
5	Объем отстойника, дм3	400
5	Габаритные размеры, мм	2300×1050×1500
6	Масса, кг	4050

Согласно принципиальной схеме вибростанка модели ВМИ-1004А (см. рис. 2) станина 1 с помощью амортизаторов 3 с нелинейной характеристикой жесткости, установлена на основание 2. На станине 1 смонтированы цилиндрические и «С» - образные пружины, на которые опирается виброплатформа 5 с инерционным вибровозбудителем, состоящим из вала 4 и четырех пар дебалансов. На верхней плоскости виброплатформы 5 закреплен резервуар 6. Вал 4 вибровозбудителя соединен гибкой муфтой 7 с выходным валом трехступенчатой коробки скоростей 8, на которой расположен электродвигатель 9 с клиноременной передачей 10. Резервуар 6 соединен с отстойником 11 нагнетательным трубопроводом 12 и сливным 13. Весь вибростанок закрыт защитным кожу хом 14.

Рассмотренный выше вибростанок модели ВМИ-1004А с технологической точки зрения является универсальным оборудованием, пригодным для операций отделочно-зачистной обработки широкой номенклатуры деталей, как основного производства, так и товаров народного потребления (рис. 3). Обрабатываемые детали могут быть получены холодной и горячей штамповкой, различными методами литья, а также обработкой лезвийным инструментом на металлорежущих станках.

Технологическое оснащение участка отделочно-зачистной виброобработки включает оборудование в виде вибростанков, инструменты в виде рабочих сред различной грануляции и зернистости, дополнительные устройства, а также различные приспособления для установки и закрепления обрабатываемых деталей в резервуаре вибростанка. С учетом многообразия обрабатываемых деталей, их размеров и формы, вибростанки оснащаются резервуаром с объемом от 10 до 1200 дм3 и более.









Рису нок 3 — Представител и но менклату ры деталей общема шиностроительного применения, подлежа щих вибрационной отделоч но-зачистной обработке

Для эффективного осуществления технологического процесса виброобработки помимо основного оборудования широко используется дополнительное оснащение. В зависимости от содержания технологического процесса назначение дополнительного оснащения достаточно многообразно: устройства для загрузки и разгрузки деталей; устройства для разделения деталей и рабочей среды; устройства для сушки обработанных деталей и сред; транспортно-ориентирующие устройства.

Список исполь зованных источников: 1. *Егоров М.Е.* Основы проектирования машиностроительных заводов / М.Е. Егоров. – М.: Высшая школа, 1969. – 480 с. 2. *Суслов А.Г.* Технология машиностроения / А.Г. Суслов. – М.: Машиностроение, 2007. – 430 с. 3. Обработка деталей свободными абразивами в вибрирующих резервуарах: моногр. / И.Н. Карташов, М.Е. Шаинский, В.А. Власов и др. – К.: Вища школа, 1975. – 188 с. 4. Применение вибрационных технологий на операциях отделочно-зачистной обработки деталей (очистка, мойка, удаление облоя и заусенцев, обработка кромок) / А.П. Бабичев, П.Д. Мотренко, Л.К. Гиллеспи и др.; под ред. А.П. Бабичева. – Ростов н/Д: Издательский центр ДТГУ, 2010. – 289 с.

Поступила в редколлегию 15.06.2013

УДК 621.753.5

Е.В. Набока, канд.тех.наук, М.Э. Колесник, канд.тех.наук, Харьков, Украина

ИНФОРМАЦИОННАЯ НАСЛЕДСТВЕННОСТЬ И КАЧЕСТВО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

У статті розглянуто питання впливу технологічної спадковості та деяких геометричних параметрів на якість деталі.

В статье рассмотрены вопросы влияния технологической наследственности и некоторых геометрических параметров на качество детали.

The article deals with the question influence of technological heredity and some geometrical parameters on the quality of parts.

Актуальность. Проблема управления технологическими процессами изготовления деталей обычно ограничивается рамками отдельных операций. Однако для обеспечения качества машин необходимо всесторонне исследовать эксплуатационные свойства деталей, учитывая действие технологической наследственности. Это означает, что все операции и их технологические переходы следует рассматривать не изолированно, а во взаимосвязи, так как конечные характеристики формируются всем комплексом технологических воздействий и изменяются при эксплуатации машины.

Качественная постановка задачи.

Носителями наследственной информации являются обрабатываемый материал и поверхности детали со всем многообразием описывающих их параметров. Носители информации активно участвуют в технологическом процессе, проходя через различные операции и переходы, испытывая воздействия технологических факторов.

В технологической цепочке существуют своего рода "барьеры". Некоторые технологические факторы преодолеть эти "барьеры" не могут и в таком случае их влияние на конечные свойства объекта отсутствуют. Другие факторы такие "барьеры" проходят, но при этом значительно теряют свою исходную силу и влияют на конечные свойства очень слабо.

Следовательно, процессом технологического наследования можно управлять, с тем, чтобы свойства, положительно влияющие на качество детали, сохранить в течение всего технологического процесса, а свойства, влияющие отрицательно, - ликвидировать в его начале.

Использование метода корреляционного анализа требует большого количества замеров, что представляет существенные трудности, особенно для

высокоточных деталей.

При обработке заготовок большое внимание уделяют точности геометрических показателей. Часто качество деталей оценивают по точности размера. Выдерживание заданного размера с жесткими допусками на размеры не представляет таких технических трудностей, как обеспечение точности формы. Кроме того, условия формообразования деталей настолько сложны, что одновременно могут возникать ряд отклонений от формы поверхностей.

Важной составной частью понятия "качество поверхностного слоя" являются микронеровности поверхности, обусловленные технологическим процессом изготовления деталей. Они решающим образом влияют на эксплуатационные показатели узлов трения машины в целом.

Геометрические отклонения поверхностей оценивают по отношению шага неровностей к их высоте. В зависимости от числовых значений этого отношения различают шероховатость и волнистость поверхностей. Если эти значения превышают 1000, отклонения считают макроскопическими.

Таким образом, существует актуальная задача по изготовлению деталей с соблюдением допусков, которая способствует созданию высококачественной машины, несмотря на то, что каждая деталь ограничивается поверхностями, размеры и форма которых отличаются от номинальных.

Метод выбора допусков размеров имеет принципиальное значение.

Метод аналогов заключается в том, что конструктор отыскивает среди ранее сконструированных и находящихся в эксплуатации машин и узлов такие, в которых имеются детали, аналогичные конструируемым.

Развитием метода аналогов является метод подобия. Для назначения допусков этим методом отыскивают подобие конструктивных признаков и условий эксплуатации. Однако иногда бывает сложно установить собственно подобие, что ограничивает применение метода.

Наиболее обоснованным является расчетный метод. Пользуясь этим методом, назначают квалитеты (классы, степени точности) различных поверхностей деталей на основе физических явлений при эксплуатации, связанных чаще всего с контактированием деталей в собранной машине.

Каждая деталь характеризуется бесконечно большим числом размеров. Детали лишь на чертежах характеризуются номинальными (идеальными), а фактически ограничены реальными поверхностями. Детали всегда имеют отклонения формы. Обеспечение допустимого отклонения формы в производственных условиях всегда затруднено.

Изготовление деталей с соблюдением допусков способствует созданию высококачественной машины, несмотря на то, что каждая деталь ограничивается поверхностями, размеры и форма которых отличаются от номинальных.

При решении проблемы качества деталей необходимо опираться на

количественные показатели. На рисунке 1 схематично представлена детальтипа двухступенчатого вала.

$$f(\varphi) = (\varphi + 2\pi).$$

В любом поперечном сечении размеры вала определяются переменным радиусом R, отсчитываемым от центра O номинального сечения диаметром D_H Радиус R, именуемый текущим размером, зависит от угловой координаты ϕ . Текущий размер также меняется по координате z. Начальное значение радиуса оговаривается. Так, им может быть радиус R_1 с угловой координатой ϕ_1 . Любой контур поперечного сечения удовлетворяет условию замкнутости, т.е.

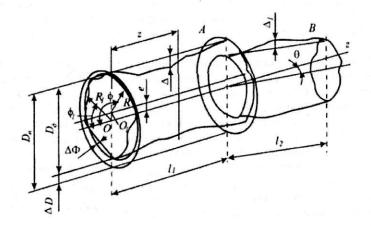


Рисунок 1 - Схема отклонений параметров двухступенчатого вала

Реальный контур на левом торце вала ограничивается прилегающей окружностью (штриховая линия) диаметром D_{∂} . Отклонение от круглости, характерное для каждого сечения, обозначено $\Delta\Phi$. Для каждого сечения можно определить отклонение ΔD размера. Прилегающая окружность имеет центр в точке O_1 . Поэтому действительный контур детали отличается от номинального (идеального), а их оси смещены на расстояние, равное эксцентриситету е. Ось действительного контура в общем виде не является прямой линией. Это характерно для любого сечения ступени вала A длиной I_1 .

Таким образом, для оценки качества детали ее форма имеет первостепенное значение. Отклонения формы удобно описывать с помощью рядов Фурье. Зависимость $f(\phi)$ погрешности действительного профиля от угла поворота рассматривается в полярной системе координат:

$$f(\varphi) = a_0/2 + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos k\varphi + b_k \sin k\varphi),$$

где $a_0/2$ - нулевой член разложения;

k - порядковый номер соответствующей гармоники;

 a_k, b_k - коэффициенты ряда Фур ье k -й гармоники.

Вместо рядов для фактических целей удобно пользоваться тригонометрическим полиномом

$$f(\varphi) = c_0/2 + \sum_{k=1}^{n} c_k (\cos k\varphi + \varphi_k)$$
,

где n - порядковый номер высшей гармоники полинома. Величина $c_0/2$ может быть принята за среднее значение функции $f(\phi)$ в течение периода $T=2\pi$ и определяется расстоянием от базового значения текущего размера до средней линии отклонений профиля. Поэтому значение $c_0/2$ представляет собой отклонение размера.

Первый член разложения $c_1\cos(\phi+\phi_1)$ характеризует расстояние между центром вращения O_1 и геометрическим центром O_2 , т.е. эксцентриситет е. Он указывает на отклонение расположения поверхности и выражает его количественно. Последующие члены полинома, начиная со второго, характеризуют спектр отклонений формы детали в поперечном сечении. Второй член $c_2\cos(2\phi+\phi_2)$ характеризует овальность сечения, а третий член $c_1\cos(3\phi+\phi_3)$ -огранку с трехвершинным профилем и т.д. Поэтому сечение детали следует представлять очерченным контуром, имеющим отклонение размера с центром, смещенным от геометрического центра. Контур имеет овальную форму, на которую наложены огранки с различным числом вершин. Остальные члены ряда характеризуют соответствующие волнистость и шероховатость.

Приведенные рассуждения справедливы и для ступени В (см. рис. 1.) вала длиной l_2 . Однако у этой ступени может оказаться своя ось, повернутая на угол θ в любой из плоскостей относительно оси z, а также могут возникнуть свои собственные погрешности. Отклонения профилей цилиндрических поверхностей целесообразно представлять и в продольных сечениях. Условие замкнутости контура здесь не соблюдается.

Тригонометрический полином для описания продольного сечения можно применить, используя цилиндрическую систему координат (координатами являются R, ϕ , z). Условно принимаем, что период T=21 (I-длина участка цилиндрической поверхности). Полином имеет вид

$$f(z) = c_0/2 + \sum_{k=1}^{p} c_k \sin k\pi z/(2l)$$
,

где k - порядковый номер члена разложения.

Первый член разложения показывает, что при z=0; f(z)=0, а при z=1; $f(z)=c_1$. Следовательно, этот член характеризует конусообразность, так как образующая профиля имеет соответствующий наклон. Второй член разложения $f_2(z)=c_2\sin\pi z/1$ характеризует выпуклость контура, а при сдвиге фазы $f_2(z)==c_2\sin(\pi z/1-\pi/2)=c_2\cos\pi z/1$, т.е. он характеризует вогнутость контура. Так, на ступени А вала возникла седлообразность величиной Δ , а на ступени В - бочкообразность Δ_1 .

Профиль детали в продольном направлении также представляет собой сложное сочетание конических поверхностей с наложенными на них седлообразными, бочкообразными, волнистыми профилями.

Это даёт возможность обеспечивать допустимые отклонения формы, что является важным фактором в вопросах управления качеством технологического процесса в целом.

Список использованных источников: 1. Шухгальтер Л.Я. Управление качеством машин. М.: Машиностроение, 1977. 96 с. 2. Технологические основы обеспечения качества машин / К.С. Колесников, Г.Ф. Баландин, А.М. Дальский и др. М.: Машиностроение, 1990. 256. 3. Ящерицын П.И., Рыжов Э.В., Аверченков В.И. Технологическая наследственность в машиностроении. М.: Наука и техника, 1977. 256 с. 4. Роботнов Ю.Н. Элементы наследственной механики твердых тел. М.: Наука, 1977. 383 с. 5. Технология машиностроения: В 2 т. Т. 1. Основы технологии машиностроения / Под ред. А.М. Дальского. М.: МГУ им. Н.Э. Баумана, 1999. 564 с.

Поступила в редколлегию 27.06.2013

УДК 621.735.34.001.24

Я.Б. Немировский, канд. техн. наук, Киев, Украина

ПОГРЕШНОСТИ НАРУЖНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЗАГОТОВОК, ОБРАБОТАННЫХ ДЕФОРМИРУЮЩИМ ПРОТЯГИВАНИЕМ

В статті описані результати досліджень похибок зовнішньої поверхні деталей, оброблених деформуючим протягуванням.

Розроблена нова схема протягування, яка дозволя є зменишти похибки обробки.

B статье приведены результаты исследований погрешностей наружной поверхности деталей, обработанных деформирующим протягиванием.

Разработана новая схема протягивания, позволяющая снизить погрешности обработки.

The article contains result investigations of errors the outer surface or parts processed by deforming broaching by deforming broaching.

Has developed are now sheme of broaching, which allows to reduce the errors.

Погрешности наружной поверхности заготовок, обработанных деформирующим протягиванием (ДПР) определяют точность наружной поверхности изделия, либо припуск под последующую обработку.

Обычно процесс ДПР рассматривается как стационарный [1] . Однако эти допущения справедливы только для области установившегося движения деформирующего элемента.

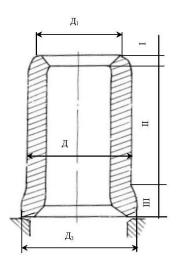
На входе и выходе инструмента имеют место нестационарные периоды деформирования, в которых возникают значительные погрешности, как внутренней, так и наружной поверхности заготовки. Погрешности на этих участках определяют значения общих погрешностей наружной поверхности заготовки, а зачастую и внутренней.

О наличии погрешностей на краевых участках отмечается в литературе [2,3], где изучаются осевые и радиальные размеры этих участков, однако эффективных методов по их устранению практически не разработано. Некоторые авторы предлагают с торцев заготовки установить дополнительные втулки, имеющие размеры обрабатываемой заготовки, которые по их мнению, будут стабилизировать процесс деформирования на краевых участках. Однако это трудоёмко и малоэффективно, и как показывают эксперименты, устранить полностью эти погрешности не удается.

Для экспериментальных исследований погрешностей наружной поверхности заготовок, возникающих при ДПР, необходимо прежде всего

установить отклонения формы наружной поверхности.

Согласно рекомендациям [4] отклонения профиля определяются по разности максимального и минимального значений диаметра наружной и внутренней поверхности в нескольких поперечных сечениях заготовки. В зависимости от длины заготовки она измерялась в 10-15 поперечных сечениях, причем на участках, примыкающих к торцам, замеры производили через 3÷4 мм (рис. 1).



Рису нок 1 — Изменение образующей наружной поверхности поршневого пальца после деформирующего протягивания

Изменение наружного диаметра измерялось микрометром.

При входе деформирующего элемента и на выходе условия контактного взаимодействия инструмента с заготовкой отличаются от подобных условий в зоне установившегося движения (отличаются ширина контакта, осевая сила, контактные давления). Это, естественно, сказывается на радиальных размерах обработанной заготовки.

Если раздача осуществляется по наиболее часто используемой схеме сжатия, то при подходе деформирующего элемента к выходу осевая сила протягивания воздействует на внеконтактную зону перед участком контакта, что увеличивает радиальные размеры заготовки у опорного торца в сравнении с размерами основной части.

В то же время радиальные размеры у входного торца меньше чем аналогичные размеры участка II (рис. 1).

Указанные особенности формирования образующей наружной

поверхности усугубляются, в случае наличия на участках, примыкающих к торцам, конструктивных элементов (например, фасок рис. 1), лишающих инструмент контакта с обрабатываемой поверхностью.

Целью работы является экспериментальное исследование влияния режимов протягивания и геометрии инструмента на погрешности наружной

поверхности заготовки и разработка методов снижения этого вида погрешности.

Рассмотрим экспериментальные данные по изменению радиальных размеров наружной поверхности поршневых пальцев при раздаче их деформирующими элементами с разными натягами на элемент и разными углами наклона образующей рабочего конуса — \forall .

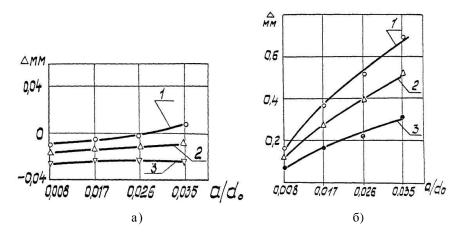


Рисунок 2 — Зависимо сть величины припуска на наружной поверхно сти от натяга на элемент: а) у входного торца угол α : 1-8° 2-6° 3-2°; б) у опорного торца угол α : 1-8° 2-6° 3-2°

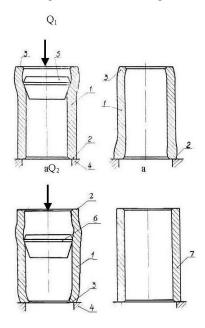
Приведенные на рис. 2 экспериментальные данные, свидетельствуют о том, что радиальные размеры наружной поверхности у входного торца (зона 1) меньше, чем размеры в зоне установившегося движения инструмента и не позволяют обеспечить необходимый припуск под последующую мехобработку (его требуемая величина для бесцентрового шлифования наружной поверхности находится в пределах $\Delta \approx 0,2$ мм). Указанный браковочный признак наблюдается даже при значительных пластических деформациях отверстия пальца $(a/d_0 = 3,5\%)$.

В то же время радиальные размеры у опорного торца значительно больше чем размеры в зоне установившегося движения (рис. 26) и необоснованно увеличивают припуск ($\Delta \max \approx 0.7$ мм), а следовательно съем

материала детали при последующей мехобработке. Особенно сильно изменяется припуск по длине детали при раздаче ее деформирующими элементами с большими углами и натягами на элемент. Так после обработки деформирующим элементом с углом $\forall = 8^{\circ}$ и натягом на элемент ($a/d_0 = 0.035$), припуск на участке II составляет 0,21 мм, на участке I – 0,0005 мм, а на участке III – 0,7 мм. Естественно такой перепад припусков по длине детали, вызванный погрешностями наружной поверхности обработанной детали не позволяет использовать процесс ДПР для обработки деталей такого класса.

Приведенный случай обработки показал, что погрешности наружной поверхности заготовки обусловлены особенностями образования их на участках примыкающих к торцам и зависят от угла \forall и натяга на элемент, а также конструктивных особенностях заготовки.

Для устранения погрешностей наружной поверхности разработана новая схема раздачи [5]. Учитывая характер изменения погрешностей наружной поверхности пальца, а, следовательно, и припуска под последующую мехобработку (рис. 2) возникла, необходимость произвести раздачу детали в парное число проходов с изменением опорного торца, то есть при повторном деформировании входной торец становится опорным, а опорный входным.



Рису нок 3 — Схема раздачи поршневого пальца в парное число проходов с изменением опорного торца

Рассмотрим это на конкретном примере раздачи поршневого пальца (рис. 3). Требуемая суммарная деформация отверстия пальца 1, имеющего опорный торец 2 и входной 3 осуществляется в парное число проходов, причем после первого прохода меняется опорный торец. Так раздача заготовки 1 при опорном торце 2, базирующимся в опоре 4, деформирующим элементом 5 приводит к образованию погрешностей наружной поверхности согласно рис. За. При повторном цикле деформирования раздача заготовки 1 осуществляется деформирующим элементом 6, но в качестве опорного торца, используется входной торец 3, а торец 2 становится входным. В этом случае изменение погрешностей на краевых участках формируется по-иному. Сложение разнонаправленных погрешностей, при изменении базирующих торцев, позволяет обеспечить форму наружной поверхности детали 7 практически без погрешностей.

Так как осевая сила протягивания влияет на образование погрешностей у опорного торца, то для повышения точности наружной поверхности ее значение на каждом из циклов необходимо поддерживать постоянным, то есть осевая сила на каждом из циклов $Q_1 = Q_2$. Обеспечить это условие можно только за счет распределения общей деформации заготовки между циклам и таким образом, чтобы упрочнение материала после первого цикла учитывалось уменьшением натяга на втором элементе.

Тогда силы на каждом цикле

$$Q_I = A\sigma_i a_1^{-(m+r)}$$

$$Q_{II} = A\sigma_i a_2^{-(m+r)}$$

где: A -коэффициент, учитывающий физико-механические характеристики обрабатываемого материала, влияние угла \forall , толщины стенки, диаметра.

Общая деформация ε .

$$\varepsilon = a_1 + a_2$$

Тогда запишем соотношение натягов $a_1/a_2=\beta$, а β определяется из кривой течения обрабатываемого материала;

$$\beta = \left(\frac{\sigma_{\text{T}}}{\sigma_{\text{iii.}}}\right)^{\frac{1}{m+r}},$$

где $\sigma_{\mathtt{T}}$ – предел текучести необработанного материала;

 $\sigma_{i1\text{ц.}}$ – предел текучести упрочненного после первого цикла материала. Определяется по кривой течения, полученной при растяжении образца из обрабатываемого материала и соответствует суммарной деформации заготовки $e_{\text{ср}}$ по среднему диаметру

$$e_{cp.} = \frac{d+t}{d_0+t_0} - 1,$$

где d_0 , t_0 u d, t внутренний диаметр и толщина стенки до обработки и после I цикла обработки соответственно.

Тогда

$$a_1 = \frac{\beta}{1+\beta} \, \varepsilon$$

$$a_2 = \frac{\varepsilon}{1+\beta}$$

Предложенная схема подвергалась экспериментальной проверке. Результаты экспериментов приведены на рис. 4.

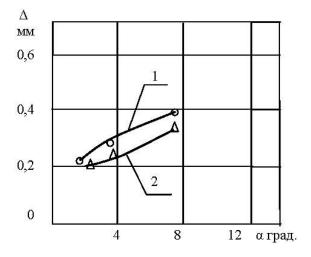


Рисунок 4 – Зависимо сть величины припуска от угла α:

- 1 второй цикл деформирования, $a_o/d_o = 0.016$
- 2 первый цикл деформирования, $a_o/d_o = 0.017$

Из него следует, что ее использование позволило достичь требуемого результата — обеспечить требуемый под последующую обработку припуск по длине детали. Оптимальным случаем для приращения размеров наружной поверхности у торцов обработанной детали имеет место при использовании деформирующих элементов с углами $\forall = 2^0$. В этом случае припуск у обоих торцов практически одинаков.

Разработанная схема легла в основу разработки конструкции автоматизированной установки для раздачи отверстия в пальцах ДВС [6]. Технические характеристики этой установки приведены в таблице.

Таблица

1.	Тип работы	Автоматический
2.	Производительность пальцев/час	250
3.	Максимальное у силие раб. цил. К _н	100
4.	Схема раздачи	В два цикла деформирования с изменением опорного торца.
5.	Ход поршня рабочего цилиндра, мм	150
6.	Диапазон размеров восстанавливаемых пальцев, мм	D=25÷50
7.	Смазка	Прину дительная сульфофрезол

Разработанная установка изготовлена и успешно внедрена в производство на трех предприятиях в технологическом процессе восстановления поршневого пальцев на операции раздачи отверстия в них в условиях крупносерийного производства.

Список исполь зованных источников: 1. Сметянский В.М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием. — М.: Машиностроение, 2002. — 300 с. 2. Бусел Ю.Ф., Кодрик А.И. Влияние некоторых параметров конструкции протяжки, режимов деформирующего протягивания на краевой эффект//Сверхтвердые материалы. Производство и применение. — Киев: ИСМ АНУССР, 1971. — С. 122-125. 3. Проскуряков Ю.Т., Романов В.Н., Исаев А.И. Объемное дорнование отверстий. — М.: Машиностроение, 1984. — 223 с. 4. Палей М.А. Отклонение формы и расположения поверхностей. — М.: Изд-во Госкомитета стандартов, мер и измерительных приборов СССР, 1965. — 117 с. 5. Способ обработки осесиметричных деталей: А.С. 1447649 СССР, МКИ В24В39/05/Я.Б.Немировский, О.А. Розенберг, А.И. Геровский и др. — №427821/31-27; заявл 10.03.87; опубл 30.12.88, Бюл. №49. — 4 с. 6. Немировский Я.Б., Деревець Л.У. Відновлення поршньових пальців на основі деформуючого протятування /Механізація та електрифікація сільського господарства. — Глеваха: ННУ «ІМЕСХ». 2003. — Вип. 87. — С. 269-278.

Поступила в редколлегию12.06.2012

УДК 004.925.84

П.С. Носов, канд. техн. наук, В.Д. Яковенко, канд. техн. наук, Херсон, Украина, В.М. Тонконогий, д-р техн. наук, Одесса, Украина

УСТРОЙСТВО ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ КОРРЕКЦИИ ОТКЛОНЕНИЙ ОСАНКИ

Запропонована методика попередження й лікування сколіозу, а також конструкція <u>пристрою</u> для її реалізації, заснована на <u>розпізнаванні</u> ступеня й причин зміни постави. Запропонований пристрій дозволя є усунути погрішності постави й попередити сколіоз на його ранніх стадіях.

Предложена методика предупреждения и лечения сколиоза, а также конструкция устройства для ее реализации, основанная на распознавании степени и причин изменения осанки. Предложенное устройство позволяет устранить погрешности осанки и предупредить сколиоз на его ранних стадиях.

The technique of the prevention and scoliosis treatment, and also device design for its realization, based on recognition of degree and the reasons of bearing change is offered. The device allows to eliminate errors of a bearing and to warm scoliosis at its early stages.

Проблемы искривления позвоночника, особенно среди молодых людей, в последнее время получают все большое распространение [1]. Медиками разработаны методики лечения отклонений осанки, как радикальные (хирургические), так и реабилитологические, опирающиеся на специальные приспособления. Такими приспособлениями традиционно являются корсеты, позволяющие с одной стороны выровнять положение спины пациента, а с другой — снизить нагрузку на позвоночник, уменьшив усилия, развивающиеся группами мышц, отвечающими за поддержание баланса позвоночника.

Однако у такой методики существует один принципиальный недостаток – корсет лишь кратковременно снимает нагрузку на позвоночник, позволяя ему занимать правильное положение, а при снятии корсета пациент уже не в силах самостоятельно стабилизировать нужное положение.

Кроме того, для комплексного лечебно-профилактического воздействия современные корсеты не используют все доступные ресурсы, в то же время очевидно, что на базе корсета можно дополнительно реализовать такие опции, которые должны позволить повысить его эффективность:

- компьютеризированная система мониторинга,
- модули активного взаимодействия с телом пациента,
- возможность точной настройки корсета,
- синхронизация и обмен данными с вспомогательными устройствами.

Целью настоящей работы является создание нового компьютеризированного устройства для коррекции состояния позвоночника.

Первым этапом в создании конструкции корсета является разработка 3D модели составного сегмента в системе САПР Delcam Powershape имитирующего позвоночник человека [2].

Конструкция должна отвечать следующим требованиям:

- 1. <u>Компактный размер</u>. Уменьшение размера конструкции разрешит увеличить количество сегментов, которые в свою очередь повысят объем получаемых данных и точность координат.
- 2. Прочность и внутреннее пространство. Каждый сегмент выступает носителем для модуля измерения координат.
- 3. <u>Модифицирование</u>. Возможность модифицирования конструкции является важным критерием, который делает устройство универсальной основой для конструктивных изменений.
- 4. <u>Крепление к телу.</u> Крепление к телу носителя может быть как с помощью ремешков или корсета, так и с помощью фиксации под низким давлением.

С учетом всех критериев и требований, сегмент конструкции приобрел оптимальные формы (Рис. 1):

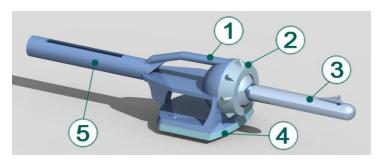


Рисунок 1 – Сегмент конструкции корсета

Основой будущего корсета является металлическая конструкция (1), в которой установлены все сенсоры и модули. Конструкция состоит из скрепленных сегментов, которые имеют возможность движения в трех направлениях, благо даря наличию шарнирных креплений (3).

Расстояние между сегментами регулируется вручную шарнирными гнездами (5). Отделение одного сегмента от другого возможно при снятии крышки шарнира (2), таким образом можно менять количество сегментов и длину конструкции в целом.

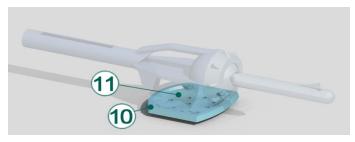
Для создания области низкого давления каждый сегмент оснащен системой вывода воздуха (8) (рис. 2). Отверстие в сегменте (7) и система вывода воздуха соединены трубками, также сегменты соединены трубками,

создавая целостную вентилирующую систему.



Рисунок 2 – Общий вид сегмента с системой отвода воздуха

Сегмент оснащен днищем (4, рис. 1), которое выполняет функцию фиксации и не позволяет сегменту скользить по телу носителя. Материал днища - упругий полимер или резина. Дно (рис. 3) имеет пустое внутреннее пространство (11), из него выходят отверстия с присосками (10). Воздух может циркулировать через верхнее отверстие (7) и через отверстия-присоски (12). Создание области низкого давления во внутреннем пространстве дна, заставляет присоски прижиматься к телу пациента, тем самым фиксируя сегмент на определенном участке тела.



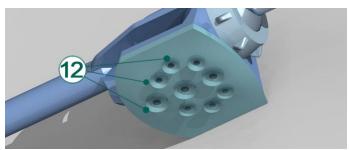


Рисунок 3 – Элемент фиксации сегмента

Для определения координат сегментов было решено применить 3-х осевые акселерометры, которые передают данные положения в пространстве через общую шину данных к микроконтролеру (Рис. 4) [3, 4]. Акселерометр установлен во внутреннее пространство на первый или второй уровень.

Допустимое положение спины устанавливается врачом, при нарушении положения носитель получит виброимпульс и изменит положение осанки. Это позволит построить 3D модель оценивания траектории движений пациента [5, 6].

Каждый акселерометр конструкции во время работы будет предоставлять исходные данные в виде ускорения (в нашем случае гравитации) G на каждую ось. С помощью алгоритма и полученных данных, можно определить положение сегмента с погрешностью до 1 градуса.

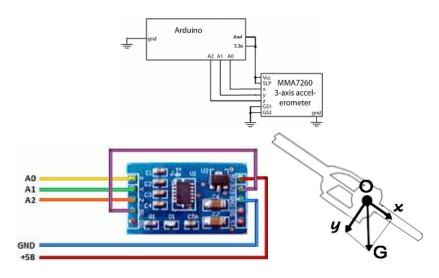


Рисунок 4 – 3-х осевой акселерометр ММ А7260

Сигнал с меткой имеет следующий вид:

 $[N][x:0.000;\ y:0.000;\ z:0.000;],$ где N — это порядковый номер сегмента; x,y,z — значение ускорения по каждой из осей.

Алгоритм выполняется в программном интерфейсе. С помощью порядковых номеров можно получить схематическое отображение положения каждого сегмента. Если известное положение первого сегмента, то известно радиальное нахождение и следующего сегмента, и так по порядку. Координаты следующего сегмента ориентируются на предыдущий сегмент (Рис. 5). Получение данных происходит в реальном времени.

При работе устройства в автономном режиме, получении данные поступают на микроконтроллер и блок памяти, которые находятся в первом сегменте. Элемент питания $5B \sim 1000$ m ч обеспечит роботу устройства на целый день. Емкость памяти до 2 Мб будет достаточной для беспрерывной работы системы.

Алгоритм поделен на 3 этапа вычислений, в каждый из которых использует полученные данные из предыдущего этапа. Результатом алгоритма является визуальная схема построения структуры из сегментов.

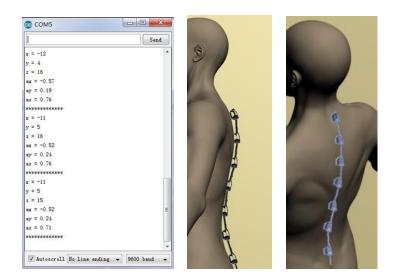
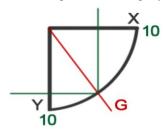


Рисунок 5 – Вид входных данных и 3D модель корсета

Первый этап: преобразование единиц ускорения в положение вектора земного притяжения в градусах.



Для построения двух визуальных схем, необходимо исследовать две плоскости (ХҮ, ХZ). Можно получить примерное положение вектора земного притяжения с погрешностью в 1-2 градуса из получаемого значения (от 0 до 9,8 м/с). Если сравнить данные с обеих осей, то точность расчета можно увеличить и сузить погрешность.

Для реализации расчета, оси поделены на 90 ровных частей, равные количеству градусов гула пересечения двух осей.

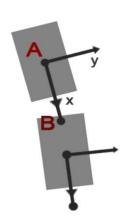
$$\left(\left|\frac{X}{A}\right| + \left|\frac{Y}{A}\right|\right)/2 = C$$
, где X,Y – данные от каждой оси; А – номинал

одного деления $\frac{G}{90} = \frac{9,8}{90} = 0,108$; C — результат в виде градусов.

Проверка формулы на примере по одной оси:

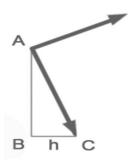
значение на оси
$$X = 6.3$$
 м/с, в результате: $\frac{6.3}{0.108} = 58^{\circ}$

Второй этап: получение визуальной схемы из полученных данных 1 этапа.



Полученные данные из первого этапа требуют уточнения. Акселерометр может выдавать отрицательные значения, тем самым придавая смысл направлению вектора в данном алгоритме. В первом расчете отрицательного использование числа позволит получить среднее значение двух осей, понизив тем самым точность расчета на 50%. Если ось У меньше нуля, то сегмент принимает значение, как в первом случае, наоборот, то сегмент зеркально отображен. Значение, приближенное к нулю означает, расположен что сегмент перпендику лярно к земле.

Третий этап: нахождение точки соединения и построение цепочки.



Для построения схемы структуры, необходимо определить координаты точек соединения между отдельными сегментами (точка С). Известны углы A и B (90 градусов) и прямая AC. Мы можем получить угол С = (90-A). Необходимо подучить длину отрезков A B и BC. Для нахождения используется теорема синусов:

$$\frac{\sin A}{BC} = \frac{\sin B}{AC}$$

Согласно полученным данным, есть возможность определить координаты точки соединения С. Начальная координата точки соединения в каждом последующем сегменте равна точке соединение в предыдущем сегменте.

Отрицательные значение данных по оси Y необходимо для смещения точки крепления вправо или влево, тем самым положив новую начальную точку следующему креплению. Поэтому при учете этого значения, можно получить длину отрезка BC, тем самым определив положение точки крепления и начала координат для следующего сегмента:

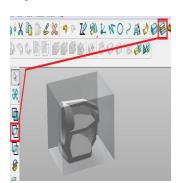
$$BC = \frac{AC \cdot \sin B}{A}$$
, где S – переменная отображающая значение оси Y.

Если Y<0 (сегмент наклонен влево), то переменная S = (-1).

Если Y>0 (сегмент наклонен вправо), то переменная S=1.

Конструкция сегмента должна легко поддаваться воспроизведению и серийному производству. Сегмент и другие детали конструкции предполагается изготавливать при помощи многоразовых литьевы х форм.

Для создания формы за основу берется уже спроектированная деталь. Во избежание конфликтов и ошибок, деталь корректируется при помощи специальных средств, предусмотренных программой САПР Delcam FeatureCAM. Готовая и корректная деталь помещается внутрь заготовки, предварительно присвоив заготовке статус «активный». Обе детали выбираются рамкой, и при помощи операции в заготовке образуется пустое пространство в форме сегмента, сам же сегмент пропадает. Таким образом, получаем слепок сегмента. Полученная видоизмененная заготовка будет разделена на 4 части. Места разреза рассчитывается исходя их формы детали таким образом, чтобы деталь могла быть извлечена из формы без повреждений детали или самой формы (Рис. 6).



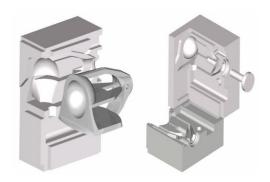


Рисунок 6 – Проектирование пресс-формы

Причиной отсутствия отверстий в изначальном сегменте является их сложность в извлечении изделия из формы, в противном случае пришлось бы делить форму на больше число частей, что усложняет задачу и понижает рентабельность всего воспроизведения.

Delcam Feature CAM осуществляет подбор материала и создает программные указания для станка с ЧПУ. Станок в свою очередь позволит создать необходимую форму для литья (Рис. 7).

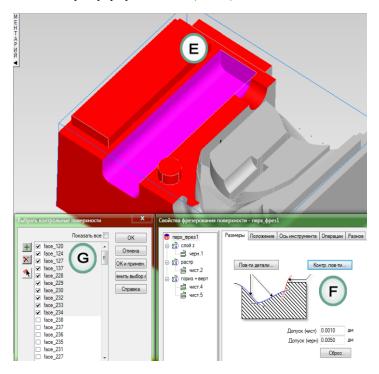


Рисунок 7 – Указание инструмента и режимов резания

На выбор Delcam FeatureCAM предлагает ряд видов эмуляций. Для наглядного изображения правильности выбора метода обработки, выбирается 3D эмуляция. По эмуляции будет видно выполнена ли обработка успешно, не задеты ли другие элементы (Рис. 8). Излишки заготовки удалены.

Сегмент достаточно сложный и требует обработки с трех разных сторон. Это также указывается в программе посредством систем координат и установов.

После указания всех областей обработки и коррекции параметров, полученный сегмент достаточно точно повторяет деталь, которая была получена еще при проектировании в Delcam PowerShape.

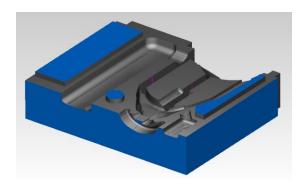


Рисунок 8 – Смоделированная пресс-форма для обработки на станке с ЧПУ

Вывод. Предложенное решение предполагает новый подход в диагностике и коррекции осанки человека. Универсальность и легкость эксплуатации делает его доступным, а возможность модифицирования и улучшения позволяет создавать новые мето дики курсы лечения.

Будущие исследования планируется сосредоточить на построении алгоритмов обработки и идентификации данных электронных элементов конструкции, автоматизированному распознаванию отклонений осанки и созданию системы поддержки принятия решений для результативной лиагностики и лечения папиентов.

Список исполь зованных источников: 1. Сколюз [Електронний ресурс] — Режим доступа: http://www.медлаб.рф /ортопедия/ искривление позвоночника. 2. Nosov P.S. 3D modelling of rehabilitation corset with use of PowerSHAPE Delcam [Teкст] /P.S. Nosov, A.D. Yalansky, V.O. Iakovenko // Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві. - Вип. 1(2) - Одеса: Наука і техніка, С. 222-231. 3. 3-осьовий акселерометр ММА7260 [Електронний ресурс] — Режим доступа: http://compcar.ru/forum/ showthread.php?t=7830 4. Тонконогий // Тр. Одес. политехн. ун-та. Одесса: ОНПУ. Вып. 1(21). 2004. — С. 96-101. 5. Носов, П.С. Применение адаптивных функций для влияния на модель знаний студента [Текст] / П.С. Носов, В.М. Тонконогий, О.Е. Яковенко // Тр. Одес. политехн. ун-та. Одесса: ОНПУ. Вып. 1(25). 2006. — С. 118-122. 6. Носов П.С. 3D оценивание траектории обучения студента [Текст] / П.С. Носов, В.М. Тонконогий //Тр. Олес. политехн. ун-та. — Олесса: ОНПУ. 2007. — Вып. 2(28). — С. 129-131.

Поступила в редколлегию 17.07.2013

УДК 378.019.3 (100)

М. Раджаб Заде, В.А. Залога, д-р техн. наук, Н.А. Бятова, А.В. Ивченко, канд. техн. наук, Сумы, Украина, М.М. Нематнежад, Кум, Иран

ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРЕПОДАВАНИЯ В УНИВЕРСИТЕТАХ – ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ: УНИВЕРСИТЕТЫ ИРАНА

Стаття присвячена дослідженню й аналізу методів викладання дев'ят надцяти викладачів інженерно-технічних спеціальностей в одному з університетів Ірану. У ході дослідження встановлені показники оцінювання якості викладання з погляду студентів, а також проаналізовані різні методи викладання викладачів різних дисциплін: фундаментальних, загальних і професійних. Запропоновано заходи щодо поліпшення виявлених недоліків у самому процесі викладання.

Статья посвящена исследованию и анализу методов преподавания девятнадцати преподавателей инженерно-технических специальностей в одном из университетов Ирана. В ходе исследования установлены показатели оценивания качества преподавания с точки зрения студентов, а также проанализированы разные методы преподавания преподавателей различных дисциплин: фундаментальных, общих и профессиональных. Предложены меры по улучиению выявленных недостатков в самом процессе преподавания.

This article is devoted to research and analyze the teaching methods of nineteen professors of engineering and technical specialties at a university in Iran. During the study, the indexes for quality evaluation of teaching from the point of view of students have been determined, and also the different teaching methods of professors of various disciplines: basic, general and professional were analyzed. To improve the identified shortcomings in the teaching process, the some measures have been recommended.

Ввеление

сеголняшний лень каждый человек стремиться получить образование. Обучение в университете, прежде всего, дает возможность получить профессию, что являться очень важным в современном мире. Кроме того, получение высшего образования является очень престижным. К сожалению у некоторой части общества в процессе обучения имеет место ориентация только на наличие университетского диплома. В недалеком прошлом (10-15 лет назад), кода удельный вес членов обществ, формально имеющих высшее образование, был относительно невелик, обладая дипломом без знаний, умений и навыков, в принципе можно было найти работу и уже потом, в течение достаточно продолжительного времени, на основе необ хо димыми постепенно на капли ваемого опыта овладевать

© М. Раджаб Заде, В.А. Залога, Н.А. Бятова, А.В. Ивченко, М.М. Нематнежад, 2013

производства знаниями, умениями и навыками. Теперь же, с развитием общества все очень быстро и существенно изменяется. За последние годы (в указанный период) возникла и все интенсивнее развивается конкуренция в торговле, которая требует производства все более качественных товаров и предоставления услуг. Кроме того, значительное увеличение в различных отраслях науки количества вузов, а, соответственно, и их выпускников, все чаще затрудняет не только возможности трудоустройства сразу после его окончания, т.е. получение, так называемого, первого рабочего места, но и существенно уменьшает время на адаптацию выпускника к реальным производственным условиям, требованиям работодателя и т.п. Это все в большей степени ориентирует каждого ученика (студента) уже за время учебы не только формально получить диплом (собственно документ), но и знания, умения и навыки, причем как можно более универсальные, т.е. можно констатировать тот факт, что у все большего количества учеников (студентов) появляется мотивация к качественной учебе.

решение данной проблемы определяется количеством влияющих факторов, в частности: степень развития общества и его культура, степень соответствия выбранной специальности хозяйственной деятельности страны или ее отдельного региона, уровень полученной еще в школе фундаментальной подготовки и многие другие. На наш взгляд формирование высококвалифицированного специалиста, способного быстро «приспособиться» к предлагаемым работодателями условиям, в наибольшей степени зависит от двух, наиболее значимых, факторов: к первому фактору относится желание и упорство студента учится, а ко второму - уровень качества образования, которое предоставляет вуз. На качество образования в немаловажной степени влияет, так называемое, «качество преподавания», учитывающего степень наличия или отсутствия в нем чисто стандартных методов (подходов) и относительно большое количество различных показателей. Именно этот вопрос является актуальным в данной работе.

Целью данной статьи является исследование и сравнение показателей качества преподавания на основе анализа практического опыта девятнадцати преподавателей инженерно-технических специальностей в одном из университетов Ирана.

Материалы, представленные в данной статье, основаны на изучении большого количества интервью, проведенных со студентами, прошедших практически весь процесс обучения с исследуемыми преподавателями.

1 Общая характеристика рассматриваемых преподавателей

Среди 19 изучаемых преподавателей: 3 женщины, остальные — мужчины. 5 преподавателей являются специалистами (по иранской классификации) сфере фундаментальных наук (например, физика, математика

и др.), 2 — в сфере общих наук (например, история, литература и др.) и 12 - в сфере основных (например, планирование производства, статистический контроль качества и др.) и профессиональных наук (например, технология машиностроения, теория резания и др.). Возраст преподавателей, в среднем, колеблется в диапазоне от 35 до 40 лет. Опыт преподавания (в среднем) в сфере фундаментальных наук — 8 лет, общих наук — 12 лет, профессиональных наук — 7 лет. Среди 19 преподавателей 4 — штатных сотрудника, а остальные 15 — совместители.

2 Классификация показателей оценивания методов преподавания

Анализ результатов проведенных исследований путем сравнения показателей качества преподавания по итогам интервью со студентами показал, что их мнения можно классифицировать по 5 следующим показателям:

- 1) Внешний $\varepsilon u\partial$ означает, что преподаватель должен быть у хоженный, опрятный, образно говоря, красивый: в аккуратной и поглаженной одежде (матерчатая рубашка, брюки или в костюме), обут в ухоженную обувь и т.п. В случае необходимости проводит занятия в спецодежде, например, если в химической лаборатории, то в белом халате.
- 2) Личность преподавателя и поведение со студентами означает, что преподаватель должен быть спокойный, немногословный (лаконичный), с определенной долей юмора, скромный, вежливый, добрый и общительный. Его поведение со студентами должно основываться на взаимном уважении, тактичности и человечности.
- 3) Метод оценивания знаний студентов означает, что преподаватель для оценивания знаний студентов должен иметь определенную систему. Например, он может оценивать знания студентов на «маленьком», «среднесеместровом» и «последнем» экзамене (опросе, тестировании и т.п.). При этом учитывать: написание студентами курсовых работ, выполнение обязательных заданий (упражнений), присутствие студентов на занятиях, его поведение и др.
- 4) *Порядок* означает, что преподаватель вовремя приходит на занятие (без опозданий), разрабатывает план проведения занятия по определенной теме. В течение всего занятия полностью раскрывает тему урока. Следит за порядком на занятии.
- 5) Влияние на студентов означает, что преподаватель влияет на студентов, является для окружающих примером, т.е. своего рода образцом для подражания и наследования. Факторами, которые влияют на студентов со стороны преподавателя, являются: его хорошее поведение и этика, вежливость, эффективное преподавание, поощрение студентов с целью мотивации их к учебному процессу, беседы со студентами, дача им советов и

многое другое.

- 6) Способность передачи знания означает, что преподаватель хорошо владеет и знает свой предмет, способен ответить в рамках своей компетенции на любой вопрос студента, умение добиваться в понимании темы и содержания урока всеми учениками (студентами) и др.
- 7) Метод преподавания означает, что преподаватель преподносит лекцию (практическое или лабораторное занятие) так, чтобы его хорошо понимали студенты; предоставляет образцы вопросов и упражнений, имеет в наличии полный конспект занятия, список литературы; требует от студентов написания конспекта в аудитории; регулярно (в установленные сроки) проводит опросы, тестирование, экзамены; составляет учебный план; предоставляет студенту план написания курсовой работы; предоставляет полезные веб-сайты; в процессе преподавании использует доску и другие вспомогательные средства, В TOMчисле презентацию на видеопроектор и др.; помогает студентам устранять различного рода учебные проблемы; требует от студентов присутствия на занятиях и др.

3 Сравнительный анализ различных методов преподавания в университете

Краткая сравнительная характеристика рассматриваемых преподавателей по их полу, виду читаемых уроков, возрасту, опыту преподавания, производственному опыту, виду сотрудничества и показателям качества преподавания приведены в таблице.

В данной таблице предложено на основе мнений студентов об оценке качества преподавания по вышеприведенным показателям оценивать деятельность каждого преподавателя: «хорошо», «средне» и «слабо».

Анализ и сравнение различных показателей качества преподавания (таблица) показывает, что из 19 преподавателей только 6 человек, т.е. примерно 30%, сочетают в себе преподавательский опыт и опыт работы в промышленной (производственной) сфере, что в большинстве своем положительно влияет на знания и квалификацию преподавателя и, в свою очередь, достаточно высоко (на «хорошо») оценивается студентами.

Исходя из данных таблицы, на рисунках 1 и 2 представлена информация об оценивании различных показателей качества преподавания анализируемых преподавателей по указанным показателям.

Из представленной на рис. 1 и 2 информации видно, подавляющее большинство (практически все -97,4%) анализируемых преподавателей по такому показателю, как «внешний вид» имеют хорошую оценку. Несколько меньшее количество преподавателей имеют такую же оценку по такому показателю, как: «метод оценивания знаний студентов» (81, 6%).

Таблица – Сравнительный анализ показателей оценивания качества преподавания, характерных для различных

	Блияние на студентов	14	Хоро	Слабо	Хоро	Хоро	Хоро	Слабо	Хоро	Хоро	Слабо
	Метод оценивания знаний студентов	13	Хоро шо	Слабо	одоХ шо	Хоро	Хоро	Слабо	Хоро	Хоро	Хоро
	дотэМ кинвавдопэqп	12	Хорошо	Слабо	Средне	Слабо	Слабо	Слабо	Хорошо	Хорошо	Слабо
	способность передачи знания	11	Хорошо	Слабо	Хорошо	Хорошо	Хорошо	Слабо	Хорошо	Хорошо	Слабо
	ноцяфоП	10	о о	Слабо	о шоdоХ	Слабо	Слабо	Слабо	Хорош о	Морош О	Хорош
	Внешний вид	6	Хоро	Хоро	Хоро	Хоро	Хоро	Хоро	Хоро	Хоро	Хоро
	Личность преподавателя и поведениями студентами	8	Хорошо	Средне	Хорошо	Слабо	Хорошо	Слабо	Хорошо	Хорошо	Хорошо
	Вид сотрудничества	7	Совместитель	Совместитель	Совместитель	Совместитель	Совмес	Совместитель	Совместитель	Совместитель	Совместитель
	Производственн тыпо йід	9								Ест	4 2
	тыгО преподавания (дол)	5	11	4	8	10	13	8	10	11	7
	Передел возраста	4	35-40	31-35	38-43	35-40	40-43	35-40	40-49	35-40	40-45
	рич урока	3	Фундаменталь ный	Фундаменталь ный	Фундаменталь ный	Общий	Общий	Фундаменталь ный	Фундаменталь ный	Основной	Основной
дава	поП	2	M	Ж	M	M	M	M	M	M	M
преподавателей	дэмоН в тэтвавдопэдп	1	1	2	3	4	5	9	7	∞	6

<u>ISSN 2078-7677. Високі технології в машинобудуванні, 2013, випуск 1 (23)</u>

7	\vdash	3	4	ĸ	9	7	8	6	10	11	12	13	14
M	_	Основной и профессионал ьный	35-40	8	Ест	Штатн ый	Средне	Хоро	Хорош	Слабо	Хорошо	Хоро	Хоро
Ж		Основной	30-35	5		Совмес	ошодоХ	Хоро	о подоХ	Хорошо	Хорошо	Хоро	Хоро
Ж		Фундаменталь ный и основной	30-33	4		Штатн ый	Слабо	Хоро	Хорош	Слабо	Слабо	Хоро	Слабо
M		Основной и профессионал ьный	35-40	10	Ест	Штатн ый	Средне	Хоро	Хорош	Хорошо	Хорошо	Хоро	Хоро
M		Основной	35-40	9		Совмес	Слабо	Средн	Слабо	Слабо	Слабо	Слабо	Слабо
M		Основной и профессионал ьный	30-32	1		Совмес	ошофоХ	Хоро	Слабо	Слабо	Слабо	Слабо	Слабо
M		Фундаменталь ный и основной	38-43	111	Ест	Совместитель	Хорошо	Хоро	Хорош	Хорошо	Хорошо	Хоро	Хоро
M		Основной и профессионал ьный	48-52	13	Ест	Совместитель	Хорошо	Хоро	Хорош	Хорошо	Хорошо	Хоро	Хоро
M		профессионал ьный	35-40	6	Ест	Штатн ый	Хорошо	Хоро	Морош О	Хорошо	Хорошо	Хоро	Хоро
M		профессионал ьный	30-32	Нет		Совместитель	Хорошо	Хоро	Слабо	Слабо	Слабо	Средн е	Слабо

По таким показателям, как «личность преподавателя и поведение со студентами», «порядок» и «влияние на студентов» высокую оценку студентов имеют, соответственно, только 76.3 %, 72,4 % и 72,4 % преподавателей. К сожалению, по таким показателям, как «способность передачи знания» и «метод преподавания» высоко оценивается студентами меньше преподавателей (соответственно, 68,4 и 61,8 %%) как профессиональных, так фундаментальных наук. Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что качество преподавания одного преподавателя (№14) практически по показателям оценивается студентами очень низко. Некоторые преподаватели имеют оценку «слабо» по целому ряду различных показателей, что явно свидетельствует о необходимости улучшения именно показателей, например, на показателе «порядок» должны сосредоточиться преподаватели как фундаментальных и общих, так и профессиональных наук №№ 4-6, 14, 15 и 19, на показателе «способность передачи знания» - №№ 2, 6, 9, 10, 12, 14, 15 и 19. Таблица позволяет не только определять по какому показатель оценки качества преподавания надо дополнительно работать тем или иным преподавателям и обращать особое внимание при прохождении курсов повышения квалификации, но и дает каждому преподавателю «увидеть», исходя возможность студентов, какой (какие) показатель (показатели) ему надо улучшать, например, преподавателю №12 - «личность преподавателя и поведение со студентами», «способность передачи знания», «метод преподавания» и «влияние на студентов».

Проведенный анализ показал, что проблема улучшения качества образования путем улучшения метода преподавания остается перспективной для дальнейшего исследования.

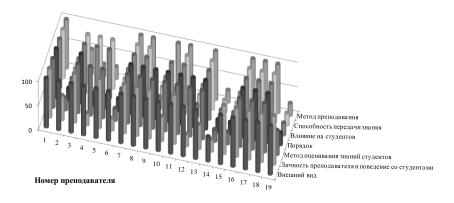


Рисунок 1 – Обобщенная информация об оценивании качества преподавания

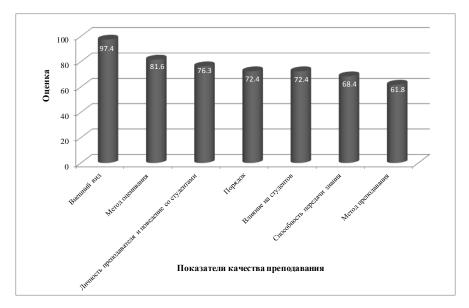


Рисунок 2 — Качество преподавания на «хорошо» с учетом различных параметров (% от общей полученной обследованными преподавателя ми оценки по каждому показателю)

Рекоменд ации

Учитывая то, что в настоящее время во многих вузах стандартного подхода к оценке качества преподавания еще практически нет, можно предложить для них некоторые рекомендации.

- 1. На основе проведенного исследования, с целью оценивания качество преподавания предложены такие показатели: «внешний вид», «личность преподавателя и поведение со студентами», «метод оценивания знаний студентов», «порядок», «влияние на студентов», «способность передачи знания» и «метод преподавания». Эти показатели оценивания качества преподавания преподавателей могут быть использованы заведующими кафедрами, деканами и ректорами для систематизации оценивания преподавателей. Хотелось деятельности бы обратить внимание преподавателей различных специальностей на эти показатели с целью улучшения их процесса преподавания.
- 2. Проведенный анализ качества преподавания изучаемых преподавателей по показателям «метод преподавания», «способность передачи знания», «влияние на студентов» и «порядок» свидетельствует о

том, что имеют место несколько проблем. Для устранения этих проблем заведующему кафедрой (секцией) надо сосредоточиться на преподавателях-совместителях, которые читают основные и профессиональные нуки. В то же время, исходя из анализа и сравнения различных методов преподавания для инженерно-технических специальностей, рекомендуется в сфере основных и профессиональных наук, стараться использовать услуги преподавателей, обладающих практическим опытом производственной работы, например, в промышленности.

- 3. Что касается преподавателей, не имеющих опыт преподавания, заведующему кафедрой (секцией) не надо сразу поручать процесс преподавание неопытному преподавателю. Ему лучше сначала предоставить возможность получения опыта под руководством более опытных и квалификационных преподавателей и только после приобретения им определенных навыков приступать к самостоятельному проведению занятий.
- 4. Обобщая некоторые результаты проведенного анкетирования можно отметить, что студент с одной стороны может оскорбить (обидеть) преподавателя, а с другой хорошо учится. Необходимо обратить внимание на то, что преподавателю нельзя при оценивании знаний студентов учитывать личностные отношения: преподаватель должен оценивать только уровень знаний, остальное в воспитательном процессе, в котором обязан принимать участие как сам преподаватель (в первую очередь личным примером), так и специальный орган. Например, в каждом вузе есть специальная комиссия, имеющая применять «дисциплинарные меры» и которая занимается подобными вопросами оскорбления преподавателя студентом.
- 5. Обнаруженные в ходе данного исследования проблемы в процессе преподавания могут иметь разные причины, в том числе отсутствие или малая эффективность программы повышения квалификации преподавателей как в начальный период его становления, так и в последующие годы.

Поступила в редколлегию 18.09.2013

УДК 621.902

Д.В. Ромашов, Д.О. Федоренко, В.А. Федорович, д-р техн. наук, Харьков Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ КОНСТРУКЦИИ КРУГА ДЛЯ ВЫ СОКОСКОРОСТНОГО АЛМАЗНОГО ШЛИФ ОВАНИЯ

Шліфування з високими швидкостями (більше 80 м/с) - це складний процес, для успішного використання якого необхідно досягти високого рівня розвитку, як обладнання, так і інструменту. Розглянуто основні проблеми цілісності алмазних кругів при високошвидкісному шліфуванні, а також перспективи їх вирішення з використанням методів математичного моделювання.

Шлифование с высокими скоростями (более 80 м/с) — это сложный процесс, для успешного использования которого необходимо достичь высокого уровня развития, как оборудования, так и инструмента. Рассмотрены основные проблемы целостности алмазных кругов при высокоскоростном шлифовании, а также перспективы их решения с использованием методов математического моделирования.

Grinding at high speeds (over 80 m/s) is a complex process for the successful use of which is necessary to achieve a high level of development equipment and instrument. This article describes the main problems of the integrity of the diamond grinding wheels for high-speed regimes, as well as the prospects for their solution, using mathematical modeling methods.

Введение

обработки требуют Высокоскоростные режимы подхо дя щего оборудования, соответствующими шпин делями, шлифовальным c инструментом, подсистем и жесткости. Одной из важнейших задач для более широкого использования высокоскоростного алмазного шлифования является решение проблем безопасности, т.е. целостности кругов при действии значительных центробежных сил, и стабильности работы круга на высоких скоростях [1-4]. Поэтому, создание 3D мето дологии модельного прогнозирования поведения инструмента всех основных этапах его жизненного цикла является одним из наименее затратных путей повышения его эффективности, а значит и эффективности самого процесса обработки.

В данном исследовании рассматривается 3D моделирование промышленных прочностных испытаний алмазных кругов, подвергающимся нагрузкам, возникающим при обработке высокоскоростным шлифованием [6-9]. Модельные эксперименты, в данном случае, позволили установить зависимости между целостностью кругов и широким диапазоном материалов и форм круга. Такие результаты получить крайне тяжело при проведении

большого числа натурных экспериментов вследствие высокой стоимости работы тестирующего оборудования [2, 3, 5].

3D моделирование проводилось в два этапа – расчет конструкции в целом и расчеты целостности алмазоносного слоя (рисунок 1)

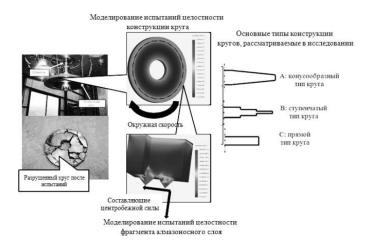


Рисунок 1 — Концепция 3D моделирования целостности конструкции кругов для высокоскоростного шлифования

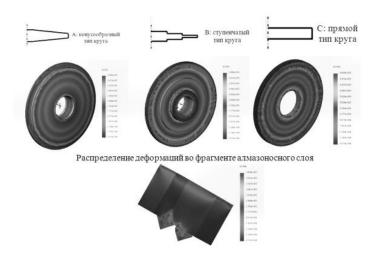
Результаты и их обсуждение

При выполнении работы были использованы современные методы проведения модельных экспериментов. В основе комплекса расчетов и прогнозирования эксплуатационных характеристик использовался метод конечных элементов (МКЭ). В работе применялись новейшие аналитические CAD/CAE- комплексы, такие как: ANSYS, CosmosWorks, SolidWorks.

Проведены серии модельных опытов по влиянию формы круга и физикомеханических свойств материалов исследуемой системы на его целостность (рисунок 2).

Результаты данных расчетов подтверждаются исследованиями [10], проведенными с помощью высокооборотистого шпинделя, позволяющего достигать окружной скорости в 500 м/с для кругов диаметром 200 мм. На рисунке 3 показана корреляция результатов расчетов в МКЭ и экспериментов в диапазоне окружных скоростей круга от 50 до 200 м/с.

Результаты расчетов говорят о целесообразности использования ступенчатой или конусообразной конструкций кругов с целью уменьшений внутренних напряжений и деформаций, что приведет к повышению стабильности процесса обработки на высокоскоростных режимах.



Рису нок 2 — Распределение деформаций в компонентах круга во время действия значительных центробежных сил при высокоскоростном шлифовании.

Материал основания круга – легкий сплав на основе алюминия, связка алмазоносного слоя на основе железа. Окружная скорость круга для всех трех вариантов 150 м/с

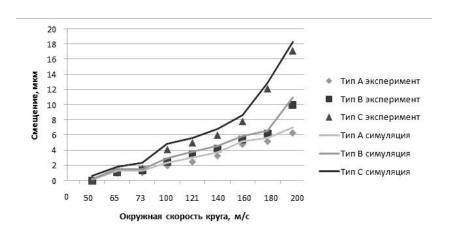


Рисунок 3 — Зависимость деформаций в конструкции круга от окружной скорости

Повышение надежности элементов сооружений и деталей машин предъявляет высокие требования к проектным решениям, поскольку конструкция должна быть достаточно прочной, а в необходимых случаях — жесткой и устойчивой и, вместе с тем, иметь наименьшую материалоемкость, трудоемкость изготовления и стоимость. В значительной мере эта задача может быть решена за счет рационального проектирования на основе современных методов прочностных расчетов. Необходимо исходить из того, чтобы наибольшее расчетное напряжение в поперечном сечении элемента конструкции, возникшее при заданной нагрузке, было ниже того предельного напряжения, при котором возникает опасность появления пластической деформации или опасность разрушения.

Для пластичных материалов основания круга, как при растяжении, так и при сжатии предельным напряжением является предел текучести. Поэтому для них допускаемое напряжение получают, исходя из предела текучести:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{\rm T}}{[\rm n]},\tag{1}$$

где σ_T – предел те кучести материала, n – коэффициент прочности .

Для хрупких материалов допускаемое напряжение растяжения $[\sigma_p]$ и допускаемое напряжение сжатия $[\sigma_c]$ получают, исходя из пределов прочности $[\sigma_{sp}]$ и $[\sigma_{gc}]$:

$$\left[\sigma_{p}\right] = \frac{\sigma_{pp}}{[n]} _{II} \left[\sigma_{c}\right] = \frac{\sigma_{pc}}{[n]}$$
 (2)

Коэффициенты запаса по отношению к временному сопротивлению в условиях хрупкой прочности при динамическом воздействии следует выбирать довольно большими. Для композитного материала порядка 3 и выше. Это связано с тем, что даже однократное превышение максимальным напряжением временного сопротивления вызывает разрушение.

Запас прочности рассчитывается при помощи МКЭ в программном пакете Cos mos Simulation по максимальным нормальным напряжениям:

$$\frac{\sigma_{\text{норм}}}{\sigma_{\text{предел}}} < 1,$$
 (3)

где $\sigma_{\text{норм}}$ — значения максимальных нормальных напряжений, $\sigma_{\text{предел}}$ — значение предельных напряжений для материалов рассматриваемой системы

Эпюры распределения запаса прочности в зависимости от формы круга представлена на рисунке 4.

Таким образом, можно говорить о целостности системы при вращении круга с окружной скоростью до 420 м/с. Оптимальными конструкциями в данном случае будут (а) и (б) (рисунок 4). Здесь наблюдаются наибольшие

значения коэффициента запаса (соответственно 3.45 и 3.11) при работе с окружными скоростями до 300 м/с.

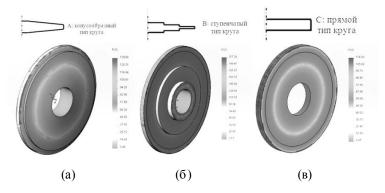


Рисунок 4 — Эпюры распределения запаса прочности в зависимости от конструкции круга при окружной скорости 300 м/с, материал основания круга — легкий сплав на основе алюминия, связка алмазоносного слоя на основе железа: а — минимальное значение запаса прочности 3.45;

- б минимальное значение запаса прочности 3.11;
- в минимальное значение запаса прочности 2.61

Выволы

Разработана 3D мето дология определения прочностных характеристик алмазных кругов для высокоскоростного шлифования, работоспособность которой подтверждена экспериментальными данными современных лабораторий прочности материалов.

Впервые примененная к процессу прочностных испытаний шлифовального круга методика 3D моделирования его напряженно-деформированного состояния позволила проанализировать НДС системы «основание круга — алмазоносный слой» при действии значительных центробежных сил в зависимости от формы и физико-механических свойств компонентов круга.

Расчетным путем установлены эпюры распределения коэффициента запаса прочности при варьировании материалов компонентов круга, а так же режимов испытаний.

Определено, что для большей стабильности работы на высоких скоростях обработки необходимо использовать ступенчатую или конусообразную конструкцию основания круга. В данном случае деформации в системе уменьшаются в среднем на 15-20% по сравнению со стандартным прямым исполнением.

Список исполь зованных источников: 1. J.F.G. Oliveira, E.J. Silva, C. Guo, F. Hashimoto (2009) Industrial challenges in grinding, Annals of the CIRP 58 663-680, 2. Webster J. Tricard M (2004) Innovations in Abrasive Products for Precision Grinding, Annals of the CIRP 53(2):597-617. 3. Klocke, F., and Merbecks, T., 2001, Characterization of Vitrified cBN Grinding Wheels, 4th Int. Machining and Grinding Conf., SME, Michigan, 4, E. Brinksneier, J. C. Aurich, E. Govekar, C. Heinzel. H.W. Hoffmeister, F. Klocke, J. Peters, R. Rentsch, D.J. Stephenson, E. Uhlmann, K. Weinert, M. Wittmann (2006) Advances in Modeling and Simulation of Grinding Processes. Annals of the CIRP 57 p 667-696. 5. Barlow, N., Jackson, M., and Hitchiner, M., 1996, Mechanical Design of High-Speed Vitrified cBN Grinding Wheels, Proc. of IMEC, Univ. of Connecticut, USA, p. 568-570, 6. J. Matsuda: Journal of the Society of Grinding Engineers 44 (2000) 353. 7. Eckart Uhlmann Testing Method for Grinding Wheels, Institute for Machine Tools and Factory Management. 8. T.W. Hwang, C.J. Evans and S. Malkin. An Investigation of High Speed Grinding with Electroplated Diamond Wheels, Annals of CIRP, Vol:49/1/2000, pp.245-248, Sydney. 9. Z. Shi and S. Malkin, Investigation of Grinding with Electroplated CBN Wheels, Annals of the CIRP, Vol. 53, 2003, No. 1, pp. 267 – 270. 10. Norihiro Funayama and Junichi Matsuda, Development of High-Performance cBN and Diamond Grinding Wheels for High-Speed Grinding, New Diamond and Frontier Carbon Technology Vol. 15, No. 4, 2005 MYU Tokyo.

Поступила в редколлегию 23.07.2013

УДК 378.1471

М.С. Сафонов, О.Є. Яковенко, канд. техн. наук, Херсон, Україна, В.М. Тонконогий, д-р техн. наук, Одеса, Україна

МАТЕМАТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МЕТОДУ УПРАВЛІННЯ ПОТОКАМИ ДАНИХ

Розглянуто залежність утворення черги від навантаження на робочу станцію. Змодельовано утворення черги в методі управління потоками даних.

Рассмот рена зависимость образования очереди от нагрузки на рабочую станцию. Смоделировано образование очереди в методе управления потоками данных.

Dependence of formation of turn is considered on loading on the work station. Formation of turn is modelled in the method of management of information streams.

Вступ. Теорія масового обслуговування є результатом математичного дослідження черг. Предметом дослідження є кілька взаємозалежних процесів: надходження і вхід заявок у чергу, очікування в черги, обслуговування заявок на виході із черги. Застосовується в сфері транспорту, телекомунікацій та інформаційних технологіях тощо [1].

Матеріал і результати дослідження. Головна система управління (ГСУ), що обслуговує потоки даних від об'єктів управління, отримує певну кількість запитів на обробку. Вірогідність отримання к запитів в проміжок часу t залежить тільки від довжини даного проміжку, але не залежить ні від моменту його початку, ні від того, скільки об'єктів управління знаходиться у стані очікування. Ця умова і є передумовою стаціонарності черги. І можна казати, що система аналізу інформаційної системи та управління потоками до систем масового обслуговування з чергою. Якщо даних відноситься певний об'єкт управління в визначений момент часу буде не здатним надати відповідь, то ГСУ буде брати на обробку дані від інших об'єктів управління, доки знову не настане черга пропущеного. Довжина часу від відправки запиту до отримання відповіді є величина випадкова. Визначимо вірогідність того, що ця довжина укладена між t та t+dt як f(t)dt . Таким чином f(t)dtвиступає певною кількість об'єктів управління, які спроможні надати відповідь до ГСУ у даний проміжок часу. Середня довжина розмови дорівнює:

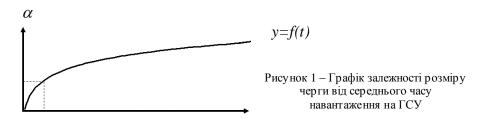
$$\mu = \int_{0}^{\infty} t f(t) dt \tag{1}$$

© М.С.Сафонов, В.М.Тонконогий, О.Є.Яковенко, 2013

Якщо в одиницю часу надходить n запитів, то $n\mu=\alpha$ є середній час навантаження на ГСУ. Параметр α визначає стаціонарність черги на обробку запитів. Якщо $\alpha<1$, то черга являється спадаючою, тобто $k\to 0$. При умові $\alpha=1$ черга є стаціонарною, а k — константою. У випадку, коли $\alpha>1$, черга на обробку k запитів постійно збільшується.

$$\begin{bmatrix}
\because \alpha < 1 \\ \therefore k \to 0 \\
\because \alpha = 1 \\ \therefore k \to n \\
\because \alpha > 1 \\ \therefore k \to \infty
\end{bmatrix}$$
(2)

Залежність k від α можна визначити графічно(рис. 1).



Таким чином даними для розподілення черги запитів виступають функція f(t), яка формулює закон розподілення тривалості обробки запитів, коефіцієнт \mathcal{C} , який показує ступінь навантаження на ГСУ та n — кількість запитів в одиницю часу. Завдання в такому випадку складається в на ходженні закону розподілення часу очікування обробки запитів, тобто вірогідності того, що об'єкт управління в певний момент часу, не буде спроможний надати відповідь на запит.

Вірогідність того, що при наданні відповіді до ГСУ від об'єкта управління розмір черги зменшиться з k до k-l, позначимо як v_i , $i \in \overline{1,\infty}$. Іншими словами v_i є відносна кількість запитів, що починають виконуватись у вказаних умовах. Також v_i є відносна кількість отримання результату від об'єкта керування в певний момент часу. Момент завершення обробки даних від одного об'єкта управління виступає в якості початку обробки від іншого.

Нехай існує x об'єктів керування $S_y, y \in 1, x$, кожний з яких повинен виконати по два запити. Всі запити $p_{yo}, y \in \overline{1, x}, o \in \overline{1, 2}$ повинні виконуватися згідно визначеної послідовності.

Згідно рисунка 2 формування черг виникає у випадках, коли той чи інший об'єкт управління буде не здатний у визначений час надати результат виконання запиту. Із зміною розміру черги, загальний час обробки всіх запитів пропорційно їй змінюється.

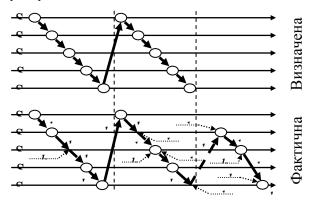


Рисунок 2 – Схема формування черги в об'єктно-орієнтованому методі управління потоками даних

Кількість моментів, коли черга переходить від k+1 запитів до k, дорівнює кількості моментів оберненого переходу від k запитів до k+1. Так як момент першого типу наступає тільки завершенні виконання запиту, а момент другого типу тільки після появи нового запиту, то $v_i, i \in \overline{1,\infty}$ виступає в якості відносної кількості обробки запитів, в момент яких розмір черги підвищується від k+1 до k [2].

Згідно схеми формування черги (рис. 2) будуємо графік зміни її стану (рис. 3).

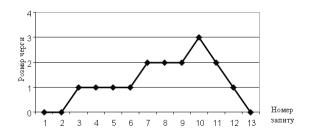


Рисунок 3 — Графік стану черги в об'єктноорієнтованому методі управління потоками даних

Якщо представити номер виконання запиту як функцію $h(p_{yo})$, то весь процес формування розміру черги можна представити у вигляді матриці R.

$$R = \begin{vmatrix} h(p_{11}) & h(p_{12}) \\ h(p_{21}) & h(p_{22}) \\ h(p_{31}) & h(p_{32}) \\ h(p_{41}) & h(p_{42}) \\ h(p_{x1}) & h(p_{x2}) \end{vmatrix}$$
(3)

На основі схеми формування черги (рис. 2) побудуємо матрицю визначеної послідовності виконання запитів $R_{\nu}(4)$ та матрицю фактичної обробки запитів $R_{f}(5)$.

$$R_{\nu} = \begin{vmatrix} 1 & 6 \\ 2 & 7 \\ 3 & 8 \\ 4 & 9 \\ 5 & 10 \end{vmatrix}$$
 (4)
$$R_{f} = \begin{vmatrix} 1 & 6 \\ 2 & 11 \\ 8 & 12 \\ 4 & 9 \\ 5 & 13 \end{vmatrix}$$
 (5)

Різниця матриць R_v та R_f показує ступінь зміщення послідовності запитів для кожного об'єкта управління.

$$R^* = \begin{vmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 4 \\ 5 & 4 \\ 0 & 0 \\ 0 & 3 \end{vmatrix} \tag{6}$$

Процес знаходження причин формування черг добре відображає тривимірна гістограма матриці R^* , представлена на рисунку 4.

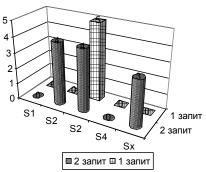


Рисунок 4 – Гістограма затримки запитів

Висновки. Для повного опису моделі масового обслуговування була визначена структура системи організації черги й правила обслуговування, а також показники якості обслуговування, тобто деякі числові показники, за значеннями яких можна було б судити про якість функціонування досліджуваної системи масового обслуговування.

Список використаних джерел: **1.** Вентиель, Л.Д. Курс теории случайных процессов [Текст] — 2-е изд., перераб. и доп. / Л.Д. Вентцель — М.:Наука. Физматлит, 1996. **2.** Хинчин, А.Я. Работы по математической теории массового обслуживания [Текст] / А.Я. Хинчин; под ред. И.Е. Морозова — М.: Физматгиз, 1963 — 236 с. **3.** Грекул В.И. Проектирование информационных систем [Текст] / В.И. Грекул, Г.Н. Денищенко, Н.Л. Коровкина — М: Бином. Лаборатория знаний, 2008. — 304 с.

Надійшла до редколегії 03.06.2013

УЛК 621.92

Ю.А. Сизый, д-р техн. наук, А.В. Фесенко, канд. техн. наук, Ю.Н. Любимый, Харьков, Украина

ИДЕНТИФ ИКАЦИЯ СИСТЕМЫ ВРЕЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ НА КРУГЛОШЛИФ ОВАЛЬНОМ СТАНКЕ МОДЕЛИ 3Б153У

V статті наведено приклад практичної ідентифікації технологічної системи врізного шліфування визначенням загального її показника— амплітудно-частотної характеристики $A(\omega)$ при $\omega=0$.

В статье приведен пример практической идентификации технологической системы врезного шлифования определением ее общего показателя— амплитудно-частотной характеристики $A(\omega)$ при ω =0.

In this article the example infeed grinding system identification by definition of it general indexamplitude-frequency response of the system $A(\omega)$ when $\omega=0$.

Представленные в статье результаты предполагают их использование для дальнейшего исследования эффективности применения различных составов смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ), способов их приготовления и подачи.

Принимается, что круглое наружное врезное шлифование (КНВШ) является наиболее приемлемой схемой шлифования для определения эффективности применения различных составов СОЖ, способов их приготовления и подвода в зону обработки. КНВШ, в отличие от круглого шлифования с продольной подачей, позволяет сохранять неизменным положение шлифуемой поверхности вдоль оси детали, т.е. от опыта к опыту сохранить неизменной ее жесткость, а значит и податливость всей упругой системы станка.

Поэтому, имеющееся оборудование для проведения исследований: круглошлифовальный универсальный станок 3Б153У с возможностью только ручного управления врезной подачей, был подвергнут модернизации с целью получения автоматизированной врезной подачи с бесступенчатым регулированием.

Модернизация заключалась в механизации привода вращения винта поперечной подачи с помощью гидродвигателя через редуктор и две ременные передачи. Схема станка показана на рисунке 1.

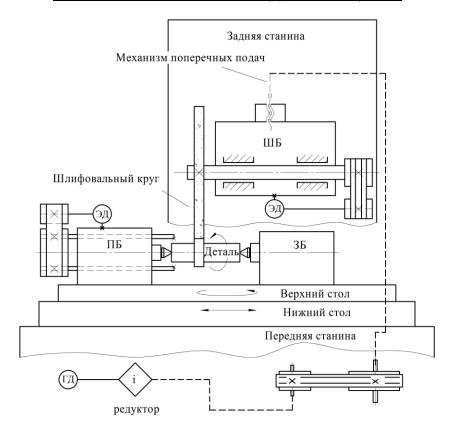


Рисунок 1 – Схема станка мод. 3Б153У

Бесступенчатая регулировка частоты вращения гидродвигателя осуществляется гидродвигателем привода продольного перемещения стола станка. Для понижения частоты вращения винта поперечных подач установлен редуктор с передаточным отношением 1/40 в цепи передачи вращения от гидродвигателя к винту поперечных подач.

В результате данных изменений реализована возможность осуществлять автоматические врезные подачи с плавной их регулировкой от 0 до 1 мм/мин. При необходимости увеличения минутной врезной подачи можно поменять местами ведущий и ведомый шкивы.

Известно, что свойства СОЖ, способов ее приготовления и подачи оценивается такими важнейшими показателями как: охлаждающее, диспергирующее и смазывающее их действие. В дальнейших исследованиях

предполагается оценка СОЖ по влиянию ее на диспергирующее и смазывающее свойства. Эти свойства в основном проявляются во влиянии их на силу шлифования. Поэтому модернизированный станок 3Б153У был снабжен системой измерения составляющих силы шлифования: нормальной P_y и тангенциальной P_z . Для этого разработана измерительная система, которая позволяет записывать результаты экспериментальных данных на персональном компьютере (ПК). Обобщенная схема системы измерения составляющих силы резания представлена на рисунке 2.

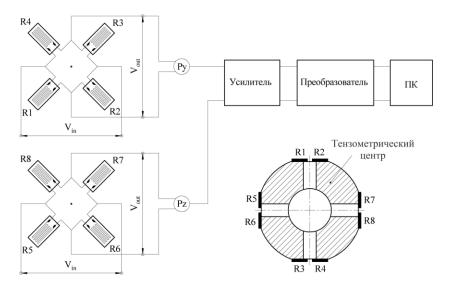


Рисунок 2 – Схема системы измерения составляющих силы резания

Здесь первичным преобразователем является задний тен зометрический центр, на который наклеены восемь тензорезисторов по двум мостовым схемам. Каждый мост обеспечивает измерение одной составляющей силы резания, преобразовывая деформации заднего центра в уровень напряжения в микровольтах. Для дальнейшей обработки полученный аналоговый сигнал очень слабый. Поэтому перед преобразованием предусмотрено его предварительное дву хкаска дное усиление приблизительно в 20000 раз. Усиленный сигнал поступает в микроконтроллер преобразователя, который производит калибровку, оцифровывает его и выводит данные на ПК.

Результаты расчетов передаются на ЭВМ через USB-COM преобразователь с гальванической развязкой. С помощью программы реализовано чтение данных, а также управление микроконтроллером.

Изменение (уменьшение) силы шлифования, достигаемое составом СОЖ, способом подвода ее и приготовления не является показателем, позволяющим оценить эффективность процесса шлифования. В качестве такого показателя может быть принята производительность процесса шлифования при достижении требуемого качества.

Производительность процесса врезного шлифования может быть определена с использованием формул расчета снимаемого припуска на всех фазах цикла, полученных и приведенных в [1].

Если проектировать цикл врезного шлифования, включающий две фазы: 1) шлифование на ускоренной черновой подаче $S_{\text{чер}}$; 2) шлифование на чистовой подаче $S_{\text{чист}}$, то необходимо воспользоваться следующими формулами расчета припуска снимаемого в эти две фазы цикла.

$$\Pi_{\text{uep}} = \sum_{i=1}^{n} \left[S_{\text{uep}} \left(1 - K^{i} \right) \right], \tag{1}$$

$$\Pi_{uucm} = \sum_{i=1}^{n} \left[S_{uucm} \left(1 - K^{i} \right) + S_{uep} \cdot K^{i} \right]$$
 (2)

где Π_{uep} — припуск, снимаемый на черновой подаче; Π_{uucm} — припуск, снимаемый на чистовой подаче; K — обобщенная характеристика системы шлифования; i — номер оборота заготовки; S_{uep} — подача черновая на оборот заготовки; S_{uucm} — подача чистовая на оборот заготовки.

Параметром качества, ограничивающим применение режимов шлифования может быть принята предельная температура нагрева поверхности детали $T_{\rm пред}$, превышение которой приведет к недопустимому изменению твердости поверхности, возникновению нежелательных фазовых и структурных изменений в материале детали или возникновению нежела тельных остаточных напряжений.

Для пользования формулами (1) и (2) необходимо знать важнейший параметр системы врезного шлифования (СВШ) K, который определяется следующим образом [2]:

$$K = \frac{C_p}{J + C_p},\tag{3}$$

где C_p — жесткость процесса шлифования, $H_{\mathcal{M}}$; J — жесткость упругой системы «станок — заготовка», (СЗ), $H_{\mathcal{M}}$.

Параметр K в [2] назван обобщенной характеристикой (СВШ). Он получен из анализа динамической системы врезного шлифования амплиту дно-часто тной ее характеристикой

$$A(\omega) = d/\Delta h$$
,

где d — деформация упругой системы станка; Δh — высота выступа детали, набегающего на круг при шлифовании правильной цилиндрической поверхности.

Значение K – это значение $A(\omega) < \omega_{npe\partial}$, где $\omega_{npe\partial}$ – предельное значение частоты изменения входной координаты в СВШ, т.е. Δh , при котором влияние частоты ω не сказывается на $A(\omega)$. Это значит $A(\omega) < \omega_{npe\partial} = A(\omega = 0)$. Таким образом, K – это статическая характеристика СВШ.

Обычно при шлифовании хорошо заправленным кругом и при заготовке, прошедшей предварительную обработку точением, частота воздействия на СВШ неровностями заготовки и круга не превышает удвоенной частоты вращения заготовки, что обычно меньше ω_{npeo} , как это показано в [2]. Поэтому проектировать цикл врезного шлифования можно, пользуясь статической характеристикой СВШ, $K = A(\omega = 0)$.

Статическая характеристика СВШ может быть рассчитана, если известны C_p и j.

Для расчета C_p надо знать зависимость нормальной составляющей силы резания P_y от h – глубины шлифования

$$P_{y} = C_{p} \cdot h \tag{4}$$

Обычно зависимость (4) получается линеаризацией относительно глубины шлифования h зависимости силы P_y от условий шлифования (режимов резания, характеристики круга, условий правки и пр.)

Жесткость упругой системы «станок-заготовка» можно рассчитать по следующей формуле [2]:

$$J = \frac{C_1 \cdot C_2 \cdot C_3}{C_1 \cdot C_2 + C_1 \cdot C_3 + C_2 \cdot C_3},\tag{5}$$

где C_I — жесткость в связи заготовки со станком; C_2 — жесткость связи шлифовального круга со шлифовальной бабкой; C_3 — жесткость связи шлифовальной бабки со станиной.

Однако, параметры C_1 , C_2 , C_3 , C_p обычно, в самом общем случае не известны. Определение их достаточно сложная задача. А если говорить об

определении жесткости соединения круга на шпинделе станка с шлифовальной бабкой, которое реализуется гидродинамическими подшипниками, то экспериментальное ее определение должно производится при вращающемся шпинделе, что практически невозможно в условиях производства.

В то же время не определяя параметры C_1 , C_2 , C_3 , C_p можно поставить эксперимент по определению K, т.е. выполнить идентификацию СВШ.

В формуле (1) выражение $\sum_{i=0}^{n} K^{i}$ — сумма убывающей геометрической прогрессии, которую можно представить через ее знаменатель K [3].

В результате получим

$$\Pi = S_0 \cdot \left[n - \frac{K \cdot \left(1 - K^n \right)}{1 - K} \right].$$
(6)

Из (6) можно получить трансцендентное уравнение как функцию К

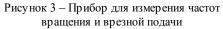
$$f(K) = \Pi - S_0 \cdot \left[n - \frac{K \cdot (1 - K^n)}{1 - K} \right], \tag{7}$$

которое решается достаточно просто численно в пакете «MathCad». Таким образом, для экспериментального определения K с расчетом его по (7), необходимо с момента касания круга заготовки с подачей S_0 измерить величину снятого припуска Π за п оборотов. Следовательно, фиксируемые результаты опыта — это Π и п. При этом желательно, чтобы n было больше, чем количество оборотов до установившегося значения глубины шлифования, т.е. $n > n_{ycm}$. В то же время n не должно значительно превышать n_{ycm} , т.к. упругие свойства станка (жесткость j) и режущая способность круга (жесткость процесса шлифования C_p) особенно заметно себя проявляют в течении времени, когда $n < n_{ycr}$.

Кроме Π и n в эксперименте записываются на Π К величины составляющих силы резания P_z и P_v в функции времени.

Для того, чтобы перед началом процесса шлифования установить необходимую врезную подачу на оборот и частоту вращения заготовки, изготовлен специальный измерительный прибор (см. рис. 3). Принцип работы прибора основан на счете импульсов, которые подаются от прерывателя (энкодера). Прерыватель представляет собой диск с прорезями, которые с помощью оптопар позволяют генерировать электрические импульсы. На рисунке 4 показан прерыватель, установленный на механизме поперечных подач.







Рису нок 4 — Прерыватель, установленный на механизме поперечных подач

Измерительный прибор также имеет счетчик импульсов, который позволяет определить точное количество оборотов заготовки.

Для измерения диаметра заготовки до и после шлифования изготовлена специальная измерительная скоба с закрепленным на ней микрометрическим стрелочным индикатором.

Описанная методика идентификации СВШ реализована для следующих условий шлифования: материал заготовки сталь 40X незакаленная, ширина шлифования 20 мм, частота вращения заготовки 292 об/мин, состав СОЖ — вода + сода 2% + масло 5%. Результаты пяти опытов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Протокол проведения экспериментальных исследований

№ опыта	Черновая подача на оборот s ₀ , мкм/об	Припуск на обработку Пр, мкм	Число оборотов	Сила резания (P_y) , Н	Установившиеся значения силы (P_z) , Н
1	4,43	66	16	170	80
2	4,42	64	16	165	78
3	4,46	75	18	171	82
4	4,44	70	17	171	80
5	4,3	68	17	155	72

Программа расчета среднего значения K и протокол этого расчета в пакете MathCad приведены на распечатке рис. 5.

Расчет среднего экспериментального значения обобщенного показателя процесса шлифования станка мод. 3Б153У

ORIGIN := 1

Исходные данные:

 $s01 := (4.43 \ 4.42 \ 4.46 \ 4.44 \ 4.30)^{T}$ Черновая подача, мкм/об:

 $n1 := (16 \ 16 \ 18 \ 17 \ 17)^{T}$ $Pr1 := (66 \ 64 \ 75 \ 70 \ 68)^{T}$ Количество полных оборотов:

Припуск на обработку, мкм:

Программный расчет

$$\begin{split} \underset{\text{for } i \in 1...5}{\text{Keye}} &= \begin{vmatrix} \text{Sum} \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 1...5 \end{vmatrix} \\ &= s0 \leftarrow s01_i \\ &= n \leftarrow n1_i \\ &= Pr \leftarrow Pr1_i \\ &= k \leftarrow 0.8 \\ &= f(k) \leftarrow Pr - s0 \cdot \left[n - \frac{k \cdot \left(1 - k^n\right)}{1 - k} \right] \\ &= solution \leftarrow root(f(k), k) \\ &= Sum \leftarrow Sum + solution \\ &= Sol \leftarrow \frac{Sum}{5} \end{split}$$

$$K = 0.553$$

Рисунок 5 – Программный расчет обобщенного показателя процесса врезного шлифования

На рисунке 6 приведены зависимости $P_z(t)$ и $P_v(t)$ для опыта №1 согласно табл. 1.

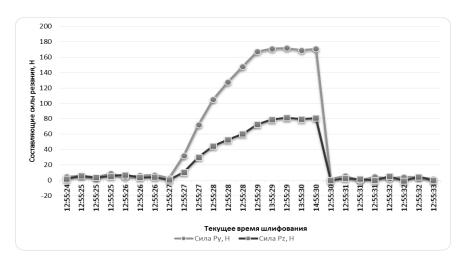


Рисунок 6 – Составляющие силы шлифования P_z и P_y как функции времени для опыта №1 (согласно табл. 1)

Из этих графиков видно, что процесс шлифования от начала касания кругом заготовки до отвода круга равнялся трем секундам. При этом видно, что P_y и P_z приобретают установившиеся значения через две секунды после касания кругом заготовки. При частоте вращения заготовки равной 292 об/мин время одного оборота равно 60/292=0,205 сек. Следовательно, заготовка сделала $2/0,205\approx 10$ оборотов до установившегося значения силы резания.

Установившиеся значения сил P_z , P_y означают, что шлифование производится с постоянной глубиной h_{ycr} равной подаче на оборот S_{0 черн и для рассматриваемого опыта №1 (см. табл. 1) эта глубина $h_{ycr} = 4,43$ мкм.

Зная
$$h_{
m ycr}$$
 можно из (4) найти $C_p = rac{P_y}{h_{ycm}}$, которое для опыта №1 будет

равно 170/0,00443=38374 Н/мм = $3,837\cdot10^7$ Н/м. Зная жесткость процесса шлифования C_p , можно из (3) вычислить жесткость упругой системы «стано к-заготовка».

$$j = C_p \cdot (1 - K) . \tag{8}$$

Для рассматриваемого станка 3Б153 получим

$$j = 3,837 \cdot 10^7 \cdot (1 - 0,553) = 1,715 \cdot 10^7 H_{M}$$

Определив экспериментально C_1 и C_3 , что не представляет сложности, можно из (5) найти C_2 – жесткость связи шлифовального круга на шпинделе с

шлифовальной бабкой, которую, как указано выше, экспериментально определить затруднительно.

Знание составляющих C_1 , C_2 , C_3 общей жесткости технологической системы j дает важную информацию специалисту (конструктору и технологу) для поиска практических решений, позволяющих повысить j и тем самым увеличить производительность процесса шлифования.

Выводы

- 1. Приведена методика идентификации динамической системы круглого наружного врезного шлифования по ее статической характеристике $K = C_p / (j + C_p)$.
- 2. Показан пример применения этой методики для станка с модернизированным приводом врезной подачи, обеспечивающим автоматизированное бесступенчатое изменение ее скорости, а также оборудованного необходимыми средствами измерения.
- 3. Установлено, что статическая характеристика K модернизированного станка $3 \bar{b} 153 V$ при черновой врезной подаче $S_{01} \approx 4,35\,$ мкм/об, материале заготовки сталь 40 X, ширине шлифования $20\,$ мм, составе COЖ: вода + масло 5% + сода 2%, при круге с характеристикой 25 A CM $16\,$ К6, имеет значение равное 0,553. Этот параметр может быть в дальнейшем использован для сравнения по нему эффективности применения СОЖ других составов при прочих неизменных условиях.
- 4. Получив экспериментальную зависимость $P_y(t)$ при постоянной врезной подаче, можно установить значение P_y при установившейся глубине шлифования $h_{\rm ycr}$, которая будет равна подаче на оборот. Зная P_y и $h_{\rm ycr}$, можно вычислить C_p жесткость процесса шлифования и жесткость j всей упругой системы «заготовка-станок».
- 5. Выполнив экспериментальное определение жесткости связей «заготовка станина» и «шпиндельная бабка станина» из (5), можно вычислить жесткость связи шлифовального круга с шлифовальной бабкой и, таким образом, получить важную информацию об упругой системе «станокзаготовка». Эта информация может быть полезной для принятия мер к повышению жесткости системы «станок-заготовка».

Список использованных источников: 1. Сізий Ю.А, Євтухов А.В. Розрахунок основного часу круглого врізного шліфування // «Вісник Сумського національного аграрного університету». — 2004. — №11. — С 82-90. 2. Сизый Ю.А., Евтухов А.В. Статическая и динамическая характеристики технологической системы врезного шлифования // «Резание и инструмент в технологических системах». — 2003. — Вып. 64. — С. 185-192. 3. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике. — М., 1962. — 608 с.

УДК 621.9202

А.А. Симонова, канд. техн. наук, Кременчуг, Украина, Н.В. Верезуб, д-р техн. наук, Харьков, Украина

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ НАСЛЕДОВАНИЕ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ИЗДЕЛИЙ НА СТАДИЯХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

Описано модель еволюції наноструютурного стану на стадіях життєвого циклу деталей. Проаналізовано принципи механіки технологічного наслідування. Розроблено структурно-логічну схему технологічного наслідування нанокристалічного стану поверхневого шару виробу на стадіях життєвого циклу.

Описана модель эволюции наноструктурного состояния на стадиях жизненного цикла деталей. Проанализированы принципы механики технологического наследования. Разработана структурно-логическая схема технологического наследования нанокристаллического состояния поверхностного слоя изделий на стадиях жизненного цикла.

The model of the nanocrystalline state evolution on the life cycle parts is described. The principles of technological inheritance mechanics are analyzed. The structural logic scheme of technological inheritance of the nanocrystalline state of the products surface layer on the life cycle stages is designed.

Качество поверхности деталей определяется методами и режимами формообразования заготовки. Эти показатели формируются на всех технологических этапах преобразования заготовки в деталь, начиная от качества исходного материала до финишных этапов получения детали.

На финишных операциях механической обработки окончательно формируется поверхностный слой деталей. Однако на результат этого формирования оказывают влияние предшествующие операции, включая заготовительные. Это свидетельствует о существовании технологической наследственности.

Технологической наследственностью называют перенесение на готовое изделие в процессе его формообразования погрешностей механических и физико-механических свойств исходной заготовки и свойств и погрешностей, сформированных у заготовки на операциях изготовления детали [1, 2].

В настоящее время очевидным является факт, согласно которому проектирование технологии производства изделий из материалов с нано- и субмикрокристаллической структурой необходимо проводить с учетом явления технологического наследования, что предполагает изменение свойств поверхностного слоя изделия на всех операциях обработки и при последующей эксплуатации изделия.

Особенности структуры нанокристаллических материалов (размер зерен, доля границ раздела и их состояние, пористость и другие дефекты структуры) определяются методами получения заготовки, что оказывает существенное влияние на их свойства. С уменьшением размера зерна повышается прочность, в том числе с сохранением пластичности, однако значительно возрастает объемная доля границ раздела (границ зерен и тройных стыков), они оказывают значительное влияние на свойства наноматериалов [3].

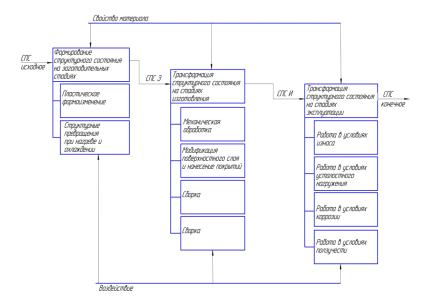
Рост зерна в металлах с НК и СМК-структурой, образованной при большой пластической деформации, начинается при более низких температурах $(0,2-0,3T_{\rm пл}$ [4]), чем в крупнокристаллических металлах. Причиной начала роста зерен в нанокристаллах при относительно низких температурах являются не только малый размер зерен, но, прежде всего, повышенная подвижность границ зерен, обусловленная низкой энергией активации зернограничной диффузии.

В связи с тем, что учет явления технологического наследования требует сквозного описания процессов, происходящих в поверхностном слое, требуется развить положение механики технологического наследования относительно особенностей поведения материалов с объемной нано- и субмикрокристаллической структурой.

Учитывая, что материалы с объемной нано- и субмикрокристаллической структурой имеют размер зерен в нано- и субмикроразмерном диапазоне и специфическую морфологию и текстуру, которые могут меняться зависимости от соответствующих технологических параметров процессов получения наноматериалов, изготовления готовых деталей и условий эксплуатации разработана модель те хно логическое насле дования нанокристаллического состояния повер хнос тного на стадия х жизненного цикла изделий (рис. 1)

Изучение технологии изготовления изделий обычно ограничивается рамками отдельных операций. Однако при использовании заготовок с объемной нано- и субмикрокристаллической структурой необходимо всесторонне исследовать изменение физико-механических свойств, учитывая действие технологической наследственности. Это означает, что метод получения заготовки, все операции и их технологические переходы механической обработки, а также стадии эксплуатации следует рассматривать не изолированно, а во взаимосвязи, так как характеристики обработанных поверхностей формируются всем комплексом технологических воздействий и изменяются в процессе эксплуатации детали.

Для осуществления прогнозирования эволюции структуры наноматериалов на всех этапах жизненного цикла изделия предложена следующая модель взаимосвязи структуры материала (рис. 2).



СПС исходное – состояние повер хностного слоя исходное; СПС 3 – состояние повер хностного слоя заготовки; СПС И – состояние повер хностного слоя изделия; СПС конечное – состояние повер хностного слоя конечное

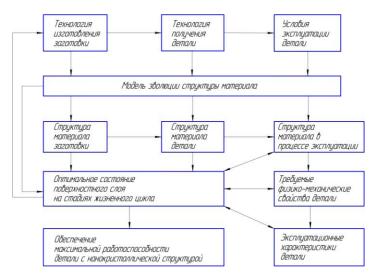
Рису нок 1 — Технологическое наследования нанокристаллического состояния поверхностного слоя на стадиях жизненного цикла изделий

Факторами, оказывающим наибольшее влияние на интенсивность роста размера зерна, являются температура в зоне резания и время воздействия этой температуры. Для начала процесса рекристаллизации важным аспектом является состояние исходной структуры (размер зерна, плотность дислокаций на границах зерен, дально действующие внутренние напряжения, степень искажения кристаллической решетки).

Известно, что в процессе эксплуатации под действием силовых, температурных и других факторов может происходить трансформация структурного состояния. При этом вопросы стабильности наноструктурного состояния, закономерностей его эволюции практически не исследованы.

Взаимосвязь физико-механических и эксплуатационных свойств го товой детали с мето дом получения заготовок с объемной нано и субмикрокристаллической структурой, последовательностью выполнения операций механической обработки и условиями эксплуатации позволит определить оптимальное состояние повер хностного слоя, которое обеспечит

стабильность наноструктуры в требуемых интервалах размера зерна кристаллической решетки. Знание оптимального состояния поверхностного слоя детали, обеспечивающего максимальную работоспособность детали с наноструктурой, дает возможность выбрать рациональный метод получения заготовки, обеспечивающий необходимым и достаточный размер зерна, позволяющий увеличить производительность механической обработки при этом сохраняя требуемые физико-механические и эксплуатационные свойства готового изделия.



Рису нок 2 – М етодология прогнозирования эволюции стру ктуры наноматериалов на стадия x жиз ненного цикла

Таким образом, целенаправленное формирование поверхностного слоя является одной из важнейших задач технологического процесса изготовления деталей с нано- и субмикрокристаллической структурой.

Список используемых источников: 1. *Биоменштейн В.Ю.* Механика технологического наследования на стадиях обработки и эксплуатации деталей машин / В.Ю. Блюменштейн, В.М. Смелянский. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 400 с. 2. *Валиев Р.З.* Наноструктурные материалы, полученые методом интенсивной пластической деформацией / Р.З. Валиев, И.В. Александров. – М.: Логос, 2000. – 272 с. 3. *Ящерицын П.И.* Технологические основы высокоэффективных методов обработки деталей / П.И.Ящерицын, М.Л. Хейфец, Б.П.Чемисов и др. – Новополоцк: ПГУ, 1996.-136 с. 4. *Смирнова Н.А.* Особенности низкотемпературной рекристаллизации никеля и меди / Н.А. Смирнова, В.И. Левит, В.П. Пилюгин и др. // ФММ. – 1986. – Т. 62, Вып. 3. – С. 566-570.

Поступила в редколлегию 27.05.2013

УДК 336.225.674

Р.Ф. Смоловик, канд. экон. наук, Харьков, Украина

НЕКОТОРЫЕ МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СУЩНОСТИ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛИЗАЦИИ

В статье анализируется влияние глобализации на развитие социально-экономических систем; взаимосвязь социального и экономического эффекта и факторы ее определяющие.

У статті аналізується вплив глобалізації на розвиток соціально-економічних систем; взаємозв'язок соціального й економічного ефекту й фактори, що її визначають.

The article analyses the impact of globalization on development of socio-economic systems; the relationship of social and economic determinants and factors of its effect.

Современная цивилизация стран, их хозяйственные механизмы развиваются под влиянием процессов глобализации, основными признаками которой являются: возрастающая взаимозависимость экономики различных государств, возрастающее единство мирового хозяйства, усиление открытости национальных рынков, углубление методов разделения и кооперации труда, возрастание глобальной конкуренции, возникновение глобального стратегического менеджмента способного воздействовать на кризисные ситуации.

Особо необходимо отметить такие процессы как глобализация информации, коммуникаций; увеличение значимости интеллектуального содержания процессов производства, труда и продуктов труда, неуклонной космизации производства и мышления, которая является движущей силой будущей цивилизации.

В этих условиях способность стран, предприятий к выживанию в значительной степени будет завесить от их конкурентного преимущества в достижении более высокой производительности интеллектуального труда.

В современном международном окружении способность любой страны к технологическим нововведениям становится основным источником ее конкурентоспособности. К основным направлениям технологической мониторинг этого периода онжом отнести исследовательских достижений как в данной стране, так и во всем мире; стимулирование постоянного процесса роста интеллектуального потенциала трудовых ресурсов, формирование организационных инновационны х структур управления, обеспечивающие непрерывность инновационных процессов, обеспечения мотивации персонала к инновационной деятельности.

В связи с этим социально-экономическую сущность высоких технологий, как антикризисных мер в условиях глобализации необходимо анализировать, на наш взгляд, учитывая их особенности как на макро, так и на микроуровне. Так, например, социально-экономическая сущность и значение высоких технологий на макроуровне может быть обозначена по нескольким направлениям.

1. Уникальное свойство высоких технологий – конвергентность – позволяет характеризовать все промышленное производство XXI века как социально ориентированное.

Дальнейшее развитие и совершенствование рыночных отношений в условиях глобализации с присущим для них ростом неопределенности внешней среды, расширение норм, методов и содержания экономической деятельности, необходимо анализировать с учетом особенностей развития как производства, так и социальной среды. К таким специфическим особенностям развития следует отнести:

- развитие самого процесса производства, которое будет иметь в большей степени не техническую, а социальную направленность, ориентированную на человека и базирующуюся на основе его интеллекта;
- усложнение процесса производства будет происходить на принципиально новом уровне, требующем в первую очередь, разнообразного интеллектуального труда;
- широкий процесс интеграции и интернационализации всех составляющих элементов производства с использованием инновационных структур менеджмента;
- использование высоких технологий при производстве социально ориентированных товаров, безотходных сырьевых ресурсов, инновационной техники.
- 2. Обеспечивает переход от индустриального к постиндустриальному производству, которое характеризуется следующими признаками: объединяет все сферы производства начиная от научных исследований до процесса депроизводства продукции в единую систему с развитой инфраструктурой; предъявлением особых требований к качеству ресурсов на «входе» системы, что делает такую систему производства мобильной с высоким уровнем стандартизации, унификации восприимчивой к изменению коньюктуры рынка, инновациям, формирует экономику спроса; формирует базу инновационной интеллектуальной экономики, переход к формированию основ ноосферно-космической цивилизации. Позволяет с глобальной точки зрения определить социально-экономическую сущность понятия качества, как качество жизнеобеспечения, жизнеспособности каждой страны в целом.

- 3. Решает задачу перераспределения трудовых ресурсов из сферы производства в сферу обслуживания; подтверждает тем самым известное утверждение о том, что чем богаче страна, тем меньше численность трудовых ресурсов занято непосредственно в сфере производства и больше в сфере обслуживания.
- 4. Выполняет важную социальную роль в процессе увеличения свободного времени населения страны (региона, предприятия), необходимого для непрерывного самообразования, повышения квалификации трудовых ресурсов, развития социально значимых качеств человека (рис. 1).

На микроуровне возможно решение таких социально-экономических задач: создание новых рабочих мест; снижение уровня социальной напряженности, изменение сущности, характеристики самого понятия «содержание процесса труда», снижения удельного веса тяжелого, физического монотонного труда, утомляемости работающих, улучшение условий труда.

Однако социальный эффект на микроуровне может быть рассчитан только при наличии необходимых нормативов.

Социальный аспект улучшения условий труда проявляется в сохранении здоровья работников производства, увеличении периода их активной трудовой деятельности, улучшении показателей качественной характеристики труда.

Экономический аспект инновационных процессов заключается в обеспечении более производительного использования фондов рабочей силы (ее экстенсивной формы – полное использование фонда рабочего времени и интенсивной – рациональное использование этого фонда); снижение уровня текучести кадров, сужение сферы приложения труда с неблагоприятными условиями и сокращении, на этой основе, общей суммы выплат денежных средств по льготным компенсациям.

Кроме того необходимо учитывать, что социальный эффект, имея самостоятельное значение, не всегда может быть определен прямым количественно, прямым счетом, а сведен к экономическому результату только опосредовано, косвенно выражен через рост производительности труда, увеличения объема производства продукции, улучшения ее качества.

Необходимо учитывать и тот факт, что социальный и экономический эффект на ходятся в определенной причинно-следственной взаимосвязи.

Труд работников инновационного производства является непосредственно общественным трудом. В силу этого и его результат не может не носить такого же общественного (социального) характера. Социальный эффект – более широкое понятие, чем эффект экономический. Он распространяется не только на область экономики, но и на элементы надстройки, связанные с гармоническим развитием личности, положением

ISSN 2078-7677. Високі технології в машинобудуванні, 2013, випуск 1 (23)

различных социальных групп, национальными и другими отношениями. В силу этого инновационное производство оказывает глубокое воздействие не только не экономическую жизнь страны, но создает условия для решения важных социальных проблем современного общества.

Социальные результаты

- количество рабочих мест в регионе;
- жилищные и культурно-бытовые условия работников;
- условия труда работников;
- структура производственного персонала;
- надежность снабжения населения регионов или населенных пунктов социальными в идами товаров (для проектов в топливно-энергетическом комплексе топливо и энергия, для проектов в аграрном секторе пищевой промышленности производственные);
- уровень здоровья работников и населения;
- у величение продолжительности свободного времени населения.

Увеличение продолжительности свободного времени работников

- повышение надежности энергоснабжения населенных пунктов;
- выпуск товаров народного потребления, сокращающих затраты труда в домашнем хозяйстве (например, кухонных комбайнов);
- производство новых видов и марок транспортных средств;
- строительство новых автомобильных или железных дорог;
- изменение транспортных схем доставки определенных видов продукции, транспортных схем доставки работников к месту работы;
- совер шенствование размещения торговой сети;
- улучшение торгового обслуживания покупателей;
- развитие телефонной и телефаксной связи, электронной почты и других видов связи;
- улу чшение информационного обслуживания граждан.
- 1. Оценка социальных результатов предполагает, что проект соответствует социальным стандартам и условиям соблюдения прав человека.
- 2. Возможны другие проявления социального эффекта, когда его величина поддается стоимостной оценке: в других случаях социальные результаты могут выступать как граничные условия при анализе эффективности.

Рисунок 1 — Основные направления реализации социальных результатов

Необходимо учитывать, что экономическая эффективность выступает в качестве элемента, с одной стороны, социальной эффективности, а с другой

стороны, подчеркивая приоритет экономической эффективности, неправомерно в то же время упрощает механизм ее взаимодействия с эффективностью социальной. Такие отношения, не укладываются в отношения подчиненности, субординации, ибо практика дает немало убедительных факторов, когда, в силу обратной взаимосвязи, социальная эффективность активно влияет на экономическую.

Однако взаимосвязь и взаимообусловленность экономического и социального эффекта производства не исключают существенных различий во времени, месте, формах, а также целевой направленности их реализации. Экономический эффект, достигнутый в данном году, может быть реализован лишь через определенное время, причем отнюдь не обязательно в том географическом месте (области, крае, экономическом районе), где он был получен. Могут также иметь место случаи, когда целевая направленность реализации экономического эффекта диктуется не задачами улучшения показателей производства, а интересами обеспечения независимости страны. Цель, которую он преследует, и формы реализации экономического эффекта могут либо увеличить, либо, напротив, уменьшить размеры социального эффекта.

В повседневной практике реальное увеличение социального эффекта не всегда на ходит свое о тражение в экономических показателях производства.

В процессе планирования экономического и социального эффекта необходимо правильно учесть не только региональный, местный аспект, но и экономики страны в целом. Эффект, достигнутый в экономическом районе, не обязательно должен быть в нем и реализован, перераспределение полученного эффекта между районами страны является необходимым гармоничного развития экономики страны. положение верно лишь при правильном и постоянном учете местных особенностей, местных условий. Это особенно касается восточного региона страны, который, обеспечивая значительную часть прироста производства топлива, энергии, черных и цветных металлов, химического сырья, обрабатывающей промышленности, должны подобающее им место и в плане создания необходимых условий для людей данного региона.

Все изложенное выше позволяет сделать вывод о особо важном значении не только качественной профессиональной, но и социально ориентированной подготовки будущих специалистов, менеджеров в области инновационных процессов.

Необходимо учитывать тот факт, что процесс интеграции интеллектуального потенциала трудовых ресурсов, производства и методов менеджмента будет в значительной степени зависеть от их способности,

скорости приспособления к изменяющимся требованиям рынка, внешней среды.

Современный специалист в области менеджмента инновационных процессов должен быть не только квалифицированными работниками, но и незаурядной личностью; обладать корпоративным мышлением; уметь ви деть социальные ориентиры и разрабатывать соответствующие им стратегии, на широкого использования достижений мировой цивилизации. основе овладевая международными методами, инструментарием и стандартами учетно-аналитической работы, необходимой для принятия управленческих решений даже при возникновении экстремальных, угрожающих ситуаций в экономической деятельности. Необходимость решения указанных задач определяется еще и тем, что в современных условиях развития глобализации, значение придается общечеловеческим ценностям, цивилизации и самой природы. Следовательно, воспитание таких качеств у будущих специалистов приобретает особо большое значение.

Выводы. Анализ особенностей развития производства на базе высоких технологий в условиях глобализации позволяет сделать выводы.

Инновационным процессам, технологиям принадлежит особая роль в решении задач обеспечения конкурентоспособности стран, регионов, предприятий в силу значимости их влияния на такие важные элементы любой экономической системы, как ее социально-экономическая эффективность. Вместе с тем социально-экономическая сущность инновационных технологий проявляется как выражение сложной системы отношений между работниками производства и непроизводственной сферы, науки, управления.

Инновационные технологии позволяют осуществлять качественные изменения в средствах и предметах труда, увеличивает в структуре затрат на их получение удельный вес интеллектуального труда.

Определяющим признаком инновационных технологий становится возрастание роли и влияния социальных факторов при их активном взаимодействии с экономическими.

Такие современные черты интеллектуального труда как конвергентность – глубокое проникновение его во все элементы сложной системы — «человек – техника — природа» — оказывает активное воздействие на социальный результат производства, на развитие каждого его звена, всей совокупностью научных и производственных подразделений, определяющих постоянный процесс инновационного развития.

Необходимо учитывать также, что темпы инновационного развития на региональном уровне будет определяться природно-географическим, демографическими условиями. Региональный аспект планирования системы инновационного развития должен играть все более важную роль, особенно в решении таких проблем, как рациональное использование сырьевых,

ISSN 2078-7677. Високі технології в машинобудуванні, 2013, випуск 1 (23)

растительных, трудовых ресурсов, охраны окружающей среды, развития производственной и социальной инфраструктуры. Необходимо учитывать, что инновационные технологии как сложное многоплановое, комплексное проявление интенсификации в каждой отрасли проявляется своеобразно в зависимости от особенностей процессов производства — его техники, сырьевой базы, состава трудовых ресурсов.

Именно гуманистическая направленность инновационных технологий в современных условиях глобализации предопределяет необходимость, при анализе ее конечных результатов использования, учитывать не только экономический, но и социальный эффект. Социальная эффективность есть форма реализации экономического эффекта в самом производстве в интересах его совершенствования, обогащения содержания процесса труда, улучшения его условий, а за пределами производства — в связи с формированием всесторонне развитой личности человека, с его многообразными общественными потребностями.

В связи с этим важное значение приобретает совершенствование путей реализации социально-экономического эффекта инновационных технологий в интересах устойчивого инновационного развития хозяйства страны, регионов, предприятия. Более полный учет социальных аспектов инновационных технологий в стратегических планах развития страны и в реализации социальных аспектов развития трудовых коллективов способствует достижению оптимальных сочетаний интересов предприятий, регионов, общества, страны в целом.

С писок исполь зованных источников: 1. *Бутук А.И.* Макроэкономика / А.И. Бутук. – М.: ДИС, 2004. – 514 с. 2. *Добрынин А.И., Тарасевич Л.С.* Экономическая теория / А.И. Добрынин, Л.С. Тарасевич. – СПб: СПбГУЭФ, 2001. – 544 с. 3. *Путятин Ю. А.* Финансовые мероприятия стратегического управления развитием предприятия. – Харьков: «Основа», 1999. – 486 с.

Поступила в редколлегию 04.11.2013

УДК 6.004

А.П. Собчак, канд. техн. наук, Е.С. Алёшина, Харьков, Украина

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУ АЛЬНЫХ СИСТЕМ СБОРА И ОБРАБОТКИ ИНФ ОРМАНИИ

В основі побудови системи управління для інформаційного забезпечення задач контролю і управління станом і режимом мереж та обладнання має лежати створення єдиної інформаційної системи і єдиної системи передачі даних. У будь-якій складній системі завжди має місце сукупність ресурсів збору, передачі, зберігання і обробки інформації, включаючи обмін між додатками та надання інформації кінцевому користувачеві. Все це разом і визначає інформаційний простір системи, який є сукупністю засобів і методів збору, обробки, обміну, зберігання і представлення інформації.

В основе построения системы управления для информационного обеспечения задач контроля и управления состоянием и режимом сетей и оборудования должно лежать создание единой информационной системы и единой системы передачи данных. В любой сложной системе всегда имеет место совокупность ресурсов сбора, передачи, хранения и обработки информации, включая обмен между приложениями и представления информации конечному пользователю. Все это вместе и определяет информационное пространство системы, которое представляет собой совокупность средств и методов сбора, обработки, обмена, хранения и представления информации.

Creation of unified information system and unified system of data transmission should be assumed as a basis for construction of control system in order to provide informational support for tasks on control of state and mode of networks and equipment. In any complex system there is always a resource constellation of collection, transfer, storage and processing of information, including the exchange between applications and submission of information to the end user. It's all together that determines information space of the system, which is a set of tools and methods for collecting, processing, sharing, storage and presentation of information.

Ввеление

Современное развитие различных областей человеческой деятельности ростом В них информационной составляющей, характеризуется представляющей собой опыт, накопленный при решении конкретных задач в прошлом. В настоящее время, структура информационной составляющей такова, что получение на ее основе строгой математической модели посредством методов интерполяции или экстраполяции, сводящихся к задаче построения линейных регрессионных уравнений, весьма затруднительна. В таких условиях хорошо зарекомендовали себя интеллектуальные системы, использование которых оправдывается не то лько хорошими ИΧ аппроксимирующими способностями, но и возможностью построения прозрачных правил вывода решений для эксперта.

1. Этапы развития информационных технологий

Существует несколько возможностей классификации развития ИТ с использованием компьютеров, которые определяются различными качественными признаками деления на этапы. Основной целью применения становится удовлетворение корпоративных персональных потребностей. информационных Ниже приводится несколько таких классификаций [2].

Проблемы, стоящие на пути информатизации общества

1-й этап (до конца 60-х гг. XX века) характеризуется проблемой обработки больших объемов данных в условиях ограниченных возможностей программно-аппаратных средств.

2-й этап (до конца 70-х гг.) связан с распространением ЭВМ серии IBM/360. Проблема этого этапа — возможность использования больших универсальных ЭВМ (Mainframe) только мощными корпорациями ввиду их дороговизны и сложности эксплуатации.

3-й этап (с середины 80-х гг.) – компьютер становится инструментом непрофессионального пользователя (первые персональные компьютеры), а несложные информационные системы (ИС) – средством поддержки принятия решений. Проблемы – необходимость максимального удовлетворения потребностей пользователя и создание соответствующего интерфейса работы в компьютерной среде, разработка приложений для корпоративного и индивидуального пользования.

4-й этап (с начала 90-х гг.) - развитие современных технологий создания больших ИС, локальных, региональных и глобальных сетей. Проблемы этого этапа весьма многочисленны. Наиболее существенными из них являются:

- выработка соглашений и установление стандартов, протоколов для компьютерных разработок и телекоммуникаций;
- необходимость разработки распределенных ИС;
- организация доступа к стратегической информации;
- организация защиты и безопасности корпоративной информации.

Задачи и процессы обработки информации

1-й этап (60-70-е гг. XX века) — обработка данных в вычислительных центрах в режиме коллективного пользования. Основным направлением развития ИТ явилась автоматизация операционных рутинных действий человека и разработка автоматизированных систем управления производством (АСУП) и управления технологическими процессами (АСУП).

2-й этап (80-е — настоящее время) — создание ИТ, направленных на решение стратегических задач и реализацию информационных систем управления процессами (ИСУП) и поддержки принятия делового решения (ИСППР).

Преимущества применения компьютерных технологий

1-й этап (с начала 60-х гг. XX века) характеризуется довольно эффективной обработкой информации при выполнении рутинных операций с ориентацией на централизованное коллективное использование ресурсов вычислительных центров. Основным критерием оценки эффективности создаваемых ИС была разница между затраченными на разработку и сэкономленными в результате внедрения средствами. Основной проблемой на этом этапе была психологическая - трудное взаимодействие пользователей, для которых создавались ИС, и разработчиков из-за различия их взглядов и понимания решаемых проблем. Как следствие этой проблемы, создавались системы, которые пользователи плохо воспринимали и, несмотря на их достаточно большие возможности, не использовали в полной мере. Реализация принципа получение информации "в одном месте и сейчас".

2-й этап (с середины 80-х гг.) связан с появлением персональных компьютеров. Изменился подход к созданию ИС - ориентация смещается в сторону индивидуального пользователя для поддержки принимаемых им решений. Пользователь заинтересован в проводимой разработке, налаживается контакт с разработчиком, возникает взаимопонимание обеих групп специалистов. На этом этапе используются как централизованная обработка данных, характерная для первого этапа, так и децентрализованная, базирующаяся на решении локальных задач и работе с локальными базами данных на рабочем месте пользователя. Реализация принципа "в одном месте и в любое время".

3-й этап (с начала 90-х гг.) связан с пониманием стратегических преимуществ в бизнесе и основан на достижениях телекоммуникационных технологий и распределенной обработке информации. ИС имеют своей целью не просто увеличение эффективности обработки данных и помощь управленцу, а создание высокоэффективного производства. Применяемые ИТ должны помочь компании выстоять в конкурентной борьбе и получить преимущество. Реализация принципа "в любом месте и в любое время".

Инструментальные технологические средства

1-й этап (до второй половины XIX в.) — "ручные" технологии: перо, чернильница, книга, элементарные ручные средства счета. Коммуникации осуществлялись путем доставки конной почтой писем, пакетов, депеш, в европейских странах применялся механический телеграф. Основная цель технологий - представление и передача информации в нужной форме.

2-й этап (конец XIX в. – 40-е гг. XX в.) – "механические" технологии: пишущая машинка, арифмометр, телеграф, телефон, диктофон, оснащенная более совершенными средствами доставки почта. Основная цель технологий представление информации в нужной форме более удобными средствами, сокращение затрат на исправление потерь и искажений.

3-й этап (40-е - 60-е гг. XX в.) — "электрические" технологии: большие ЭВМ и соответствующее программное обеспечение, электрические пишущие машинки, телетайпы (телексы), ксероксы, портативные диктофоны. Организация доставки информации в заданное время. Изменяется цель технологии. Акцент в ИТ начинает перемещаться с формы представления информации на формирование ее содержания.

4-й этап (70-е гг. – середина 80-х гг.) – "электронные" технологии, основным инструментарием которых становятся большие ЭВМ и создаваемые на их базе автоматизированные системы управления (АСУ) и информационно-поисковые системы (ИПС), оснащенные широким спектром базовых и специализированных программных комплексов. "Центр тяжести" технологий еще более смещается на формирование содержательной стороны информации для управленческой среды различных сфер общественной жизни, особенно на организацию аналитической работы. Приобретается опыт формирования содержательной стороны управленческой информации и подготовлена профессиональная, психологическая и социальная базы для перехода на новый этап развития технологий.

5-й этап (с середины 80-х гг.) — "компьютерные (новые) " технологии, их основным инструментарием является персональный компьютер с широким спектром стандартных и заказных программных продуктов широкого назначения. На этом этапе происходит процесс персонализации автоматизированных систем управления (АСУ), который проявляется в создании систем поддержки принятия решений на различных уровнях управления. Подобные системы имеют встроенные элементы анализа и искусственного интеллекта, реализуются на персональном компьютере и используют сетевые технологии и телекоммуникации для работы в сети.

6-й этап (с середины 90-х гг.) — "Internet/Intranet (новейшие)" технологии. Широко применяются в различных областях науки, техники и бизнеса распределенные системы, глобальные, региональные и локальные компьютерные сети. Развивается электронная коммерция. В связи с переходом на микропроцессорную базу существенным изменением подвергаются технические средства связи, средства бытового, культурного и прочего назначений [6].

Тенденции развития ИТ

При традиционном подходе к организации, когда специализированные функции включаются в дело одна за другой, как в эстафете, высокая эффективность недостижима. Быстрота реагирования на внешние изменения требует постоянного сотрудничества между разными специализированными

отделами и службами. Постоянно общаясь и обмениваясь информацией, они могут действовать быстро, согласованно и одновременно в самых разных направлениях. Информационные технологии исключительно полезны в случае такого координированного процесса.



Рисунок 1.1 – Изменение стиля ведения бизнеса в современной компании

Применение ИТ позволяет радикально изменить стиль управления и сами бизнес-процессы и значительно улучшить основные показатели деятельности компании (рис.1.1). Прежние правила ведения бизнеса стремительно устаревают. Компании, которые не в состоянии "увидеть" значимость этих изменений, рискуют сильно отстать (табл. 1.1).

ИТ-отделы в фирмах и корпорациях стали выдвигаться на первые роли. Этому способствовали три фактора, которые в полной мере проявились в 1990-е годы:

- потребности бизнеса стали оказывать все большее давление на аналитические отделы и отделы ИТ с целью увеличения их вклада в общий результат деятельности компании;
- компьютерная парадигма вычислительных работ, ориентированная на большие ЭВМ и мощные вычислительные центры с огромным персоналом, изживает себя и заменяется новой парадигмой распределенными вычислениями (сети и кластеры), что, в свою очередь, приводит к созданию новых ИТ;
- переориентация с технологии на потребителя привела к необходимости психологической перестройки менеджера и к формированию новой дисциплины стратегического планирования развития корпоративных ИТ для совмещения стратегии бизнеса и информационной стратегии. Таблица 1.1 Информационные технологии, изменяющие правила работы компаний

<u>ISSN 2078-7677. Високі технології в машинобудуванні, 2013, випуск 1 (23)</u>

Прежнее правило	Новое правило	Технология
Информация может появляться в одном месте, в одно время	Информация может появляться и быть востребованной в любом месте, в любое время - когда это необходимо	Распределенные базы и хранилища данных, поисковые системы, технологии поиска заданных данных
Сложную работу по оценке ситуаций могут выполнять только эксперты	Работу эксперта может выполнять специалист общего профиля	Экспертные системы
Необходимо выбирать между централизацией и децентрализацией	Можно одновременно получать преимущества от сочетания двух форм организации управления и производства	Распределенная работа в группах, телекомму никации и сети
Все решения принимают только высшие руководители и ответственные менеджеры	Принятие решений становится частью работы каждого сотрудника, отвечающего за свой участок работы	Средства поддержки принятия решений, доступ к базам и хранилищам знаний, системы знания
Для поиска, получения, анализа, хранения и передачи информации требуются специально обору дованные помещения	Специалисты могут посылать и получать информацию из того места, где они находятся	Интернет/Интранет- технологии, оптоволоконные и спутниковые системы связи, мобильные системы
Лучший контакт с покупателем - личный контакт	Лучший контакт с потенциальным покупателем - эффективное изучение особенностей покупателя	Интерактивное взаимодействие, базы данных, системы опроса и выявления предпочтений
Для того чтобы найти некую сущность, нужно знать, где она находится	Сущности сами говорят вам, где они находятся	Системы поиска. Мобильные агентные системы
Сверстанные планы не пересматриваются или пересматриваются под давлением форс-мажора	Планы пересматриваются и корректиру ются оперативно, по мере необходимости и адекватно требованиям потребителя	Экспертные системы, системы гибкого планирования и управления рисками, высокопроизводительные ЭВМ

ISSN 2078-7677. Високі технології в машинобудуванні, 2013, випуск 1 (23)

В результате этого изменились сами составляющие бизнеса (табл. 2.1). Таблица 2.1

Динамика развития бизнеса	Ускорилась	
Стратегическое планирование и тактические цели	Увеличилась дальность и точность прогноза	
Оперативный простор	Расшир илась область применения	
Управление рисками	Моделирование и оптимизация ситуации	
Гибкость управления	Быстрое маневрирование ресурсами	
Конкурентоспособность	Распространение имеющегося превосходства на весь бизнес	

Стратегическая роль ИТ в современном мире — способствовать менеджменту, адекватно реагировать на динамику рынка, создавать, поддерживать и углублять конкурентное преимущество с целью извлечения максимальной выгоды. Современное состояние ИТ можно охарактеризовать следующими положениями:

- наличие большого количества программно-аппаратных комплексов и платформ для эффективного управления и сопровождения производства, промышленно функционирующих баз данных и хранилищ знаний большого объема, содержащих информацию по всем направлениям деятельности общества;
- наличие технологий, обеспечивающих интерактивный доступ любого пользователя к информации и ресурсам технической основой для этого служат открытые (Free) и корпоративные системы поиска информации (Information Retrieval Systems IRS), государственные и коммерческие системы связи, глобальные (Global Network Systems, GNS), национальные (NNS) и региональные (RNS) информационно-вычислительные сети; международные соглашения, стандарты и протоколы обмена данными;
- расширение функциональных возможностей ИТ, обеспечивающих распределенную работу баз и хранилищ данных с данными разнообразной структуры и со держания, мультиобъектных документов, гиперсред; создание локальных и интегрированных проблемно-ориентированных ИС различного назначения на основе мощных серверов и локально-вычислительных сетей;
- включение в ИС специализированных интерфейсов пользователя для взаимодействия с экспертными системами (Expert System ES), систем поддержки принятия решения (Decision Support System DSS), системы поддержки исполнения (Executive Support System ESS), системы машинного перевода (Translating Computer System TCS) и другие технологии и средства.

ISSN 2078-7677. Високі технології в машинобудуванні, 2013, випуск 1 (23)

В развитии ИТ можно выделить пять основных тенденций.

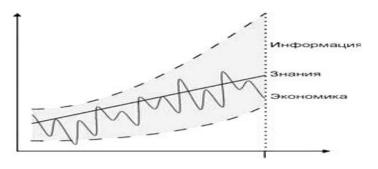
- ➤ Глобализация. Компании могут с помощью ИТ вести дела на мировом рынке, где угодно, немедленно получая исчерпывающую информацию. Происходит интернационализация программных средств и рынка информационного продукта. Получение преимуществ за счет постоянного распределения информационных расходов на более широкий географический регион становится необходимым элементом стратегии.
- ➤ Конвергенция. Стираются различия между промышленными изделиями и услугами, информационным продуктом и средствами его получения, их профессиональным и бытовым использованием. Передача и прием цифровых, звуковых и видеосигналов объединяются в одних устройствах и системах.
- Усложнение информационных продуктов и услуг. Информационный продукт в виде программно-аппаратных средств, баз и хранилищ данных, служб эксплуатации и экспертного обеспечения имеет тенденцию к постоянному развитию и усложнению. В то же время интерфейсная часть ИТ при всей сложности решаемых задач постоянно упрощается, делая все более комфортным интерактивное взаимодействие пользователя и системы.
- ▶ Способность к взаимодействию. Проблемы оптимального обмена данными между компьютерными информационными системами, между системой и пользователями, проблемы обработки и передачи данных и формирование требуемой информации приобрели статус ведущих технологических проблем. Современные программно-аппаратные средства и протоколы обмена данными позволяют решать их во все более полном объёме.

Применительно к бизнесу это означает следующее:

- осуществление распределенной обработки данных, когда на рабочем месте достаточно ресурсов для получения и анализа информации;
- создание развитых систем коммуникации, когда рабочие места объединены для максимально быстрой пересылки сообщений;
- устранение помех в системе интеграции "организация внешняя среда", прямой доступ в мировые информационные потоки;

- создание и развитие систем электронных заказов и торговли;
- поддержка социальных сетей.

За 50 предыдущих лет мир изменился так, как он не изменялся за последние 500 лет, причем скорость этих изменений нарастала в экспоненциальном масштабе. С появлением компьютеров и с началом их использования для сбора, обработки и хранения данных скорость накопления информации во много раз стала превышать динамику развития знания и практической экономики (рис. 1.2, верхняя пунктирная граница).



Рису нок 1.2 — Соотношение скор остей накопления информации, знаний и развития экономики

Внимание к этой проблеме стало особенно велико именно в современный период, когда наиболее отчетливо проявился разрыв между объемом информации в обществе и возможностями отдельного человека в ее освоении.

2.Современные методы и средства проектирования информационных систем. CAS E-технологии

Дальнейшие исследования в области методологии программирования, внедрение сетевой технологии, постоянный рост производительности компьютеров привело к тому, что программирование обрело черты системного подхода. Системный подход характеризуется разработкой и внедрением языков высокого уровня, методов структурного и модульного программирования, языков проектирования и средств их поддержки, формальных и неформальных языков описаний системных требований и спецификаций и т.д.

CASE-технология представляет собой методологию проектирования информационных систем, а также набор инструментальных средств,

позволяющих наглядной форме моделировать предметную область, модель всех этапах разработки анализировать на И сопровождения информационных систем и разрабатывать приложения соответствии с информационными потребностями пользователей.

Современные CASE-средства охватывают обширную область поддержки технологий проектирования информационных систем — от простых средств анализа и документирования до полномасштабных средств автоматизации, покрывающих весь жизненный цикл программного обеспечения. Наиболее трудоемкими этапами разработки информационных систем являются анализ и проектирование, в процессе которых CASE-средства обеспечивают качество принимаемых технических решений и подготовку проектной документации.

К CASE-средствам относится программное средство, автоматизирующее ту или иную совокупность процессов жизненного цикла программного обеспечения и обладающее следующими особенностями:

- мощным графическим средством для описания и документирования информационных систем, которое обеспечивает удобный интерфейс с разработчиком и развивает его творческие возможности;
- интеграцией отдельных компонент, обеспечивающих управляемость процессом разработки информационной системы.

Перед внедрением CASE-средства выполняется пилотный проект, целью которого является экспериментальная проверка правильности решений, принятых на предыдущих этапах, и подготовка к внедрению. Пилотный проект представляет собой первоначальное реальное использование CASE-средства в предназначенной для этого среде и более широкий масштаб использования CASE-средства по отношению к тому, который был достигнут во время оценки [1].

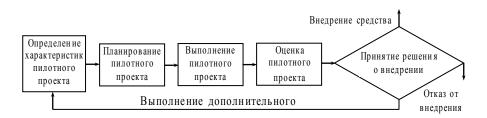


Рисунок 2.1 – Схема реализации пилотного проекта

Реализация плана перехода требует постоянного мониторинга использования CASE-средств, обеспечения текущей поддержки,

сопровождения и обновления средств по мере необходимости. Достигнутые результаты должны периодически подвергаться экспертизе в соответствии с графиком. План перехода при необходимости должен корректироваться. Неотьемлемой частью реализации плана является обучение и переобучение. Обучение представляет собой центральное звено, обеспечивающее нормальное использование CASE-средств в организации. Итогом данного этапа является внедрение CASE-средств в повседневную практику организации. Поддержка CASE-средств включается в план текущей поддержки программного обеспечения в данной организации.

Классификация CAS E-средств

Современные *CASE*-системы классифицируются по следующим признакам:

- средства анализа и проектирования: BPWin, Silverrun, Oracle Designer.
- средства проектирования баз данных в составе CASE-средств: Silverrun, Oracle Designer, Paradig m Plus.
 - средства управления требованиями: RequisitePro, DOORS Dynamic.
 - средства управления конфигурацией: PVCS, Clear Case.
- средства документирования: SoDA Software Document Automation автоматизированное документирование;
 - средства тестирования: Rational Suite TestStudio;
 - -средства управления проектом: Open Plan Professional, Microsoft Project и др.;
 - работающие под управлением WINDOWS;
 - работающие под управлением UNIX.

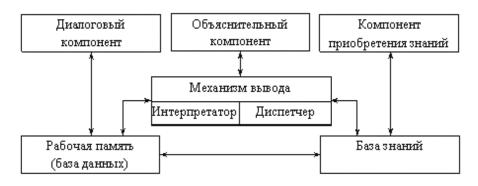
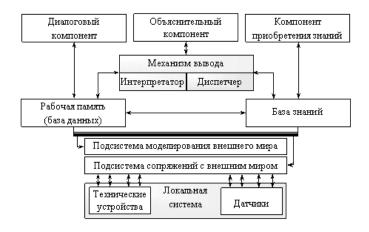


Рисунок 2.2 – Структура статической экспертной системы



Рису нок 2.3 – Стру ктура динамической экспертной системы

3. Назначения и основные свойства экспертных систем

Один из примеров основных свойств экспертных систем можно увидеть на рисунке 3.1

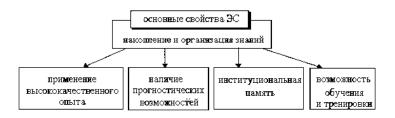


Рисунок 3.1 – Основные свойства экспертных систем

ЭС используются для решения неформализованных задач. Неформализованные задачи обладают ошибочностью, неполнотой, неоднозначностью и противоречивостью, как исходных данных, так и знаний о решаемой задаче. Основу ЭС составляет база знаний (БЗ) о предметной области, которая накапливается в процессе построения и эксплуатации ЭС [7].

К числу основных участников следует отнести саму экспертную систему, экспертов, инженеров знаний, средства построения ЭС и пользователей. Один из примеров состава и взаимодействия участников построения и эксплуатации экспертных систем можно увидеть на рисунке 3.2.

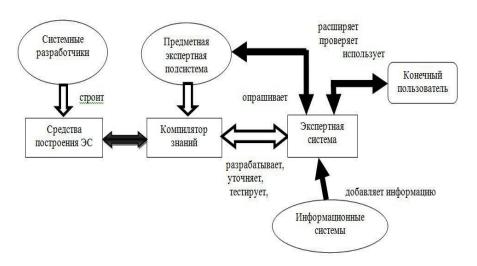


Рисунок 3.2 – Состав и взаимодействие участников построения и эксплуатации экспертных систем

Особенности построения и организации экспертных систем

Основой любой ЭС является совокупность знаний, структурированная в целях упрощения процесса принятия решения. Для специалистов в области искусственного интеллекта термин знания означает информацию, которая необходима программе, чтобы она вела себя "интеллектуально". Эта информация принимает форму фактов и правил. Факты и правила в ЭС не всегда либо истинны, либо ложные. Иногда существует некоторая степень неуверенности в достоверности факта или точности правила. Если это сомнение выражено явно, то оно называется "коэффициентом доверия" [7].

Знания в ЭС организованы так, чтобы знания о предметной области отделить от других типов знаний системы, таких как общие знания о том, как решать задачи или знание о том, как взаимодействовать с пользователем. Выделенные знания о предметной области называются базой знаний, тогда как общие знания о нахождении решений задач называются механизмом вывода. Программные средства, которые работают со знаниями, организованными таким образом, называются системами, основанными на знаниях.

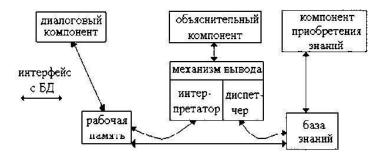
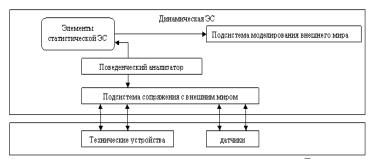


Рисунок 3.3 – Построение и организации экспертных систем

Существует более высокий класс приложений, где требуется учитывать динамику изменения окружающего мира за время исполнения приложения. Такие экспертные системы получили название динамических ЭС и их обобщенная структура будет иметь вид, приведенный на рис.3.4.



Локальная система

Рисунок 3.4 – Динамические экспертные системы

Основные режимы работы экспертных систем

В работе ЭС можно выделить два основных режима: режим приобретения знаний и режим решения задачи (режим консультации или режим использования). В режиме приобретения знаний общение с ЭС осуществляет эксперт (при помощи компилятора знаний). Таким образом, в отличие от традиционного подхода в случае ЭС разработку программ осуществляет не программист, а эксперт, не владею щий программированием.

В режиме консультаций общение с ЭС осуществляет конечный пользователь, которого интересует результат и (или) способ его получения.

Необходимо отметить, что в зависимости от назначения ЭС пользователь может:

- не быть специалистом в данной предметной области, и в этом случае он обращается к ЭС за результатом, который не умеет получить сам;
- быть специалистом, и в этом случае он обращается к ЭС с целью ускорения получения результата, возлагая на ЭС рутинную работу.

Хорошо построенная ЭС имеет возможность самообучаться на решаемых задачах, пополняя автоматически свою БЗ результатами полученных выводов и решений [5], поэтому предлагается применение поведенческого анализатора, который корректирует работу ЭС в зависимости от поведения внешней среды.

Отличие экспертных систем от традиционных программ

Особенности ЭС, отличающие их от обычных программ, заключаются в том, что они должны обладать: компетентностью, возможностью к символьным рассуждениям, глубиной, самосознанием Существует еще одно важное отличие ЭС. Если обычные программы разрабатываются так, чтобы каждый раз порождать правильный результат, то ЭС разработаны с тем, чтобы вести себя как эксперты. Традиционные программы для решения сложных задач, тоже могут делать ошибки. Но их очень трудно исправить, поскольку алгоритмы, лежащие в их основе, явно в них не сформулированы. Следовательно, ошибки нелегко найти и исправить. ЭС, подобно людям, имеют потенциальную возможность учиться на своих ошибках.

Технология разработки экспертных систем

Технология их разработки ЭС, включает в себя шесть этапов (рис. 3.5): этапы идентификации, концептуализации, формализации, выполнения, тестирования, опытной эксплуатации. Рассмотрим более подробно последовательности действий, которые необходимо выполнить на каждом из этапов.

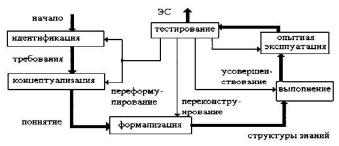


Рисунок 3.5 – Технология разработки экспертных систем

4. Тенденция развития информационных систем

Как утверждается на сайте cybersecurity.ru, в 2015 году любую поверхность можно будет использовать в качестве дисплея. Повсеместное распространение получит видеосвязь, и на нее придется 400 экзобайт трафика. Объем скачиваемых фильмов и файлов составит 100 экзабайт. Объем данных, генерируемых телефонной связью, Интернетом, электронной почтой и прочим – возрастет до 50 экзобайт. В середине 2020 го да появится в продаже появится первый квантовый компьютер. Каждое электронное устройство будет снабжено универсальным приложением для перевода с большинства языков мира. Персональный компьютер стоимостью в одну долларов сравняется ПО вычислительным способностям тысячу человеческим мозгом. В 2025 году будут проведены эксперименты по телепортации на уровне элементарных частиц. Иначе можно сказать, что 95% знаний, которыми человечество будет владеть к 2060 году, станет результатом научных открытий в следующие 50 лет.

Компания Gartner — один из ведущих мировых аналитических центров использует при подготовке отчетов форму новых технологий, получившую название Hype Cycle (рис. 4), что можно перевести как «цикл ажиотажа». Данное представление предполагает, что каждая новая технология проходит пять стадий развития:

- 1. Technology Trigger (запуск технологии) появление первых сведений о технологии или некое событие, привлекающее внимание общественности к данной технологии.
- 2. Peak of Inflated Expectations (пик завышенных ожиданий) общественность и пресса интересуются технологией и начинают возлагать на нее чрезмерно большие надежды.
- 3. Trough of Disillusionment (впадина разочарования) пользователи понимают, что их надежды на технологию не оправдались, а специалистов, которые могли бы доказать преимущество данной технологии, еще нет, да и положительных примеров ее внедрения слишком мало. На этой стадии пресса обычно перестает писать о технологии, вследствие чего создается впечатление, что она ушла со сцены.
- 4. Slope of Enlightenment (подъем осведомленности) по мере того как люди адаптируются к новой технологии, узнают о способах ее применения и появляется больше сведущих в ней специалистов, осознается ее полезность.
- 5. Plateau of Productivity (плато продуктивности) технология становится стабильной, общепризнанной и широко применяемой.

ISSN 2078-7677. Високі технології в машинобудуванні, 2013, випуск 1 (23)

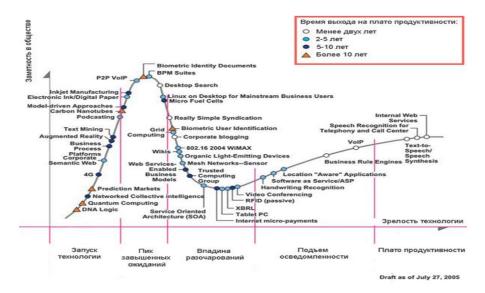


Рисунок 4 – Перспективные информационные технологии

Вывод

В результате проанализированы существующие модели и методы построения интеллектуальных систем сбора и обработки информации. Рассмотрен алгоритм построения, а также технология разработки экспертных систем, в структуре которой инженер знаний (классическая структура) заменен на компилятор знаний. Предложено применение в структуре динамической экспертной системы поведенческого анализатора. Сделан анализ результатов тенденций развития информационных систем.

Список использованных источников: 1. Айвазян С.А., Ешоков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика. Основы моделированиями первичная обработка данных. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 471 с. 2. Гаврилов А.В. Системы искусственного интеллекта. Уч. пособие, Ч. 1. Новосибирск, НГТ У, 2000. 3. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. СПб: Питер, 2000. 4. Гайдышев И. Анализ и обработка данных: специальный справочник СПб: Питер, 2001. – 752 с. 5. Попов Э.В. Экспертные системы. М: Наука, 1987. – 254 с. 6. Поспелов Д.А. История искусственного интеллекта до середины 80-х годов// Новости искусственного интеллекта. 1994. – №4. – С.70-90. 7. Уотерман Д. Руководство по экспертным системам. М.: Мир, 1989. –474 с.

Поступила в редколлегию 05.11.2013

УДК621.951

В.М. Тонконогий, д-р техн. наук, Т.Г. Джугурян, д-р техн. наук, А.М. Голобородько, Л.М. Перпери, канд техн. наук, Одесса, Украина

СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ КОНИЧЕСКИХ ОТВЕРСТИЙ АБРАЗИВНО-ВЫГЛАЖИВАЮЩИМИ РАЗВЕРТКАМИ

У статті розглянут о вплив конструктивно-технологічних параметрів при структурному аналізі та математичному моделюванні процесу обробки конічних отворів та визначено завдання адаптивного управління абразивно-вигладжувальним розгортанням.

В статье рассмотрено влияние конструктивно-технологических параметров при структурном анализе и математическом моделировании процесса обработки конических отверстий и определены задачи адаптивного управления абразивно-выглаживающим развертыванием.

The article considering the impact of design and technological parameters for the structural analysis and mathematical modeling of the conical holes processing and identified the problems of abrasive smoothes deployment adaptive control.

При изготовлении шпинделей металлорежущих станков в качестве чистовой обработки конической поверхности перспективным представляется использование абразивно-выглаживающего развертывания взамен операции шлифования. В процессе абразивно-выглаживающего развертывания осуществляется не только размерная обработка со снятием припуска, но и отделочно-упрочняющая обработка без снятия припуска, направленная на улучшение качества поверхностного слоя (повышение твердости, снижение шероховатости, создание сжимающих напряжений) [1].

Процесс обработки точных конических отверстий абразивновыглаживающим развертыванием целесообразно рассматривать не только как механизм образования новой поверхности с целью получения ее заданной размерной точности и качества, но и как сложный механизм взаимодействия инструмента с обрабатываемым материалом в условиях изменяющихся свойств элементов технологической системы резания.

Целью работы является определение влияния конструктивнотехнологических параметров и факторов при структурном анализе и математическом моделировании процесса обработки конических отверс тий абразивно-выглаживающим развертыванием.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- рассмотреть конструктивно-технологические параметры и факторы, влияющие на точность и качество обрабатываемой поверхности и определить структурную модель;
- определить задачи адаптивного управления на основе диагностики состояния технологической системы обработки абразивно-выглаживающего развертывания.

Известно, что точность и качество поверхностей деталей зависит от большого количества технологических факторов обработки, конструктивных параметров рабочих элементов инструмента и типоразмеров деталей [2]. Основными технологическими факторами параметрами обработки И являются: глубина резания, подача, скорость, геометрия и конструктивные размеры рабочих элементов, усилие резания, температура, стойкость инструмента, исходная шероховатость, твердость материала и некоторые другие величины. Точность обработки во многом зависит от точности предшествующей операции, и вида термической обработки, которой подвергается обрабатываемая поверхность. Большое количество параметров, обработки абразивно-выглаживающим процесс развертыванием, затрудняет выбор их рационального сочетания. Для управления процессом резания необходимо рассмотреть взаимовлияние этих параметров, и определить условия их стабилизации. В общем виде структурная модель процесса абразивно-выглаживающего развертывания представлена на рис. 1.

ис хо дным параметрам процесса абразивно-выглаживаю щего развертывания можно отнести марку обрабатываемого материала, требования к точности и качеству обрабатываемой поверхности. К управляемым или контролируемым параметрам относят марку инструментального материала, геометрические и конструктивные параметры режущего инструмента, режимы резания и вид смазывающе-о хлаждающей технологической среды. К возмущающим систематическим параметрам процесса резания можно отнести закономерное изменение скорости резания v = f(d) при n = const, глубины резания, подачи. К возмущающим случайным параметрам можно отнести неконтролируемые изменения физико-механических свойств детали и инструмента, величины припуска. Из перечисленных выше параметров видно, что не только большое число технологических и геометрических, конструктивных параметров, а также состояние поверхности детали определяют физико-механические явления, происходящие в зоне контакта инструмент – обрабатываемая деталь. Все эти параметры в комплексе будут оказывать влияние на выходные параметры.

К выходным параметрам процесса резания при абразивновыглаживающей обработке можно отнести производительность, точность и качество обработки, свойства поверхностного слоя.

Процесс абразивно-выглаживающего развертывания относится к дискретно-стохастическому резанию, т.к. съем материала осуществляется статически неопределенными режущими зернами абразивных брусков [3].

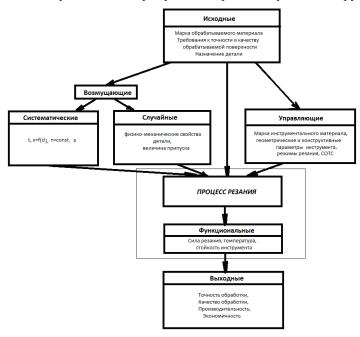


Рисунок 1 — Структурная модель процесса абразивно-выглаживающего развертывания.

прогнозирования вы хо дны х параметров процесса необходимо учитывать наряду с исходными и управляющими параметрами влияние, оказываемое возмущающими параметрами. Действие возмущающих параметров, а именно изменение скорости резания, глубины резания, подачи, физико-механических свойств детали и инструмента, величины припуска параметров, характеризующих приводит изменению технологической системы (силы резания, крутящий момент, интенсивность износа инструмента). Контроль процесса резания можно производить с помощью корректировки составляющих режима резания для стабилизации (крутящего момента) силовы х характеристик или интенсивности изнашивания инструмента.

Таким образом, в соответствии со структурной моделью процесса абразивно-выглаживающего развертывания задачу повышения точности и

качества обработки можно рассматривать, как задачу организации адаптивного управления при обработке на станке.

Задача адаптивного управления включает в себя активный контроль состояния абразивно-выглаживающей развертки и корректирование режимов обработки по результатам диагностики. Диагностика предельных состояний технологической системы может осуществляться на основе контроля режущего инструмента датчиками крутящего момента и мощности.

Контроль в системе производится по нагрузке привода шпинделя путем сравнения фактической силы тока с величиной, введенной в память ЭВМ в ходе обучения. Обучение системы адаптивного управления осуществляется на основе математической модели, связывающей предельное значение крутящего момента привода главного движения с величинами удельных давлений рабочих элементов на обрабатываемую поверхность.

При абразивно-выглаживающем развертывании существуют предельные нагрузки на рабочие элементы, выше которых вести обработку не рекомендуется из-за их интенсивного износа, возможных поломок и засаливания рабочей поверхности абразивных элементов. С другой стороны, недостаточные нагрузки на абразивные элементы снижают эффективность съема припуска при обработке. Поэтому как для абразивных, так и для направляющих элементов существуют рекомендуемые диапазоны удельных давлений на обрабатываемую поверхность, при которых обеспечивается эффективное абразивно-выглаживающее развертывание.

При абразивном развертывании, как и при хонинговании, удельное давление брусков на обрабатываемую поверхность, как правило, находится в пределах $0.2-1.5\,$ МПа [4]. Однако, в отличие от хонингования при абразивном развертывании нагрузка на рабочей поверхности абразивного элемента распределяется неравномерно. Наиболее нагруженным при развертывании является начальный и конечный участки рабочего элемента, положение которого определяется осевым смещением l_S переднего торца абразивного элемента 5 относительно вершины опорного направляющего элемента 3 (рис. 2). Это связанно с тем, что при контакте направляющих элементов с обрабатываемой поверхностью именно этот участок первым вступает во взаимодействие с обрабатываемой поверхностью. Поэтому для эффективной размерной обработки давление на этом участке абразивного элемента не должно превышать предельной величины из рекомендуемых значений, то есть должно выполняться следующее условие:

$$p_{P.S} \le p_{Pmax}$$
,

где $p_{P.S}$ — текущее давление на переднем участке абразивного элемента длиной l_S при контакте развертки с обрабатываемым отверстием, МПа;

 $p_{P\, max}$ — предельно допустимое давление на переднем участке абразивного элемента длиной I_S .

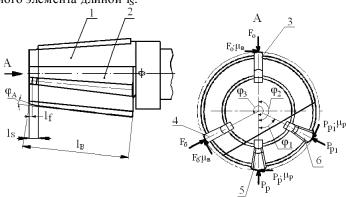


Рисунок 2 – Схема абразивно-выглаживающей развертки:

1 — кор пус, 2 — плавающая пластина, 3, 4 — направляющие элементы, 5, 6 — абразивные элементы; l_f — длина заходной фаски абразивного элемента, ϕ_a — угол наклона в плане заходной фаски, l_s — осевое смещение вершины абразивного элемента относительно вершины направляющего элемента, l_B — длина основной рабочей поверхности абразивных элементов, установленных в продольном пазу

В момент времени, когда вершины всех направляющих элементов вошли в обрабатываемое отверстие, наблюдается максимальное значение крутящего момента M_{Pmax} привода главного движения, значение которого должно удовлетворять условию:

$$M_{P \max} \leq M_{\Pi P}$$
,

где $\,M_{Pmax}\,$ -максимальное значение крутящего момента, $H\cdot \! m;$

 $\mathbf{M}_{\text{пр}}$ – предельное значение крутящего момента, $\mathbf{H}\cdot\mathbf{m}$.

Значение предельного момента привода главного движения $\, M_{\text{пр}} \,$ можно определить, как:

$$M_{\Pi P} = M_{XP} + 0.5 d_{max} \left[\mu_P \Big(P_{pmax} + P_{p1max} \Big) + \mu_B (F_o + F_6) \right],$$

где $\,M_{XP}\,$ – момент холостого хода главного движения, $\,H\cdot$ м;

 P_{pmax} , P_{p1max} — максимально допустимые радиальные составляющие сил, действующих на абразивные элементы 5, 6 в процессе обработки, H;

 F_{o} , F_{6} — радиальные составляющие сил, действующих на направляющие элементы 3, 4 в процессе обработки, H;

d_{max} – максимальный диаметр конической развертки, м;

 μ_P , μ_B — коэффициенты трения между абразивными элементами 5, 6, направляющими элементами 3, 4 и повер хностью отверстия соответственно.

Значения составляющих сил резания P_{pmax} , P_{plmax} , находят из условия статического равновесия инструмента. При этом необходимо учитывать, что при введении предельного значения крутящего момента для адаптивной системы значение составляющей силы резания P_{pmax} находят с учетом конической повер хности инструмента:

$$\begin{split} P_{p\,\text{max}} &= 2\pi \cdot \cos^2\alpha \cdot \int_{y_{min}}^{y_{max}} p_{p_{max}} \, y \, dy \; ; \\ y_{min} &= \frac{0.5 d_{min}}{\cos\alpha}, \quad y_{max} = \frac{0.5 d_{max}}{\cos\alpha}, \end{split}$$

где α – угол конуса,

 $d_{min},\ d_{max}$ — минимальный и максимальный диаметры конической развертки.

Использование математических моделей дает возможность выполнения коррекции погрешностей обработки, необходимой для повышения точности и качества обработки, а также предотвращения поломок инструмента.

Диагностика состояния инструмента предусматривает выполнение следующих этапов:

- 1) ввод исходных данных;
- 2) обработка данных по принятой математической модели;
- 3) расчет основных параметров процесса (радиальных составляющих сил резания и крутящих моментов);
- 4) расчет погрешностей обработки (по величине износа) и сравнение их с заданными параметрами точности;
- 5) принятие технических решений при невыполнении условия $M_{\text{Pmax}} \leq M_{\Pi P}$, возврат к исходным данным и отладка программы;
- проверка обеспечения заданной точности по скорректированным параметрам процесса.

Использование моделирования возможно на этапе проектирования технологических процессов в режиме прогноза точности и качества обработки.

Список использованных источников: 1. Джугурян Т.Г. Абразивно-выглаживающий инструмент для обработки точных конических отверстий / Джугурян Т.Г., Линчевский П.А. и др. — Резание и инструмент в технологических системах: НГУ "ХПИ". — 2008. — Вып. 75. — С.103 — 106. 2. Джугурян Т.Г. Комбинированная обработка точных координированных отверстий. — Одесса: АО БАХВА, 2003. — 108 с. 3. Старков В.К. Физика и оптимизация резания материалов / М.: Машиностроение, 2009. — 640 с. 4. Абразивная и алмазная обработка материалов / Справочник под общей ред. А.Н. Резникова — М.: Машиностроение, 1977. — 390 с.

УДК 332.145

Ю.В.Фадеева, Харьков, Украина

ОПТИМИЗАЦИЯ СОДЕРЖАНИЯ ПРОЕКТА И МИНИМИЗАЦИЯ РИСКА

В даній роботі розглядається етап у процесі оптимізації змісту проекту, що відповідає за мінімізацію ризиків. Також розглянута безпосередня підготовка інформації для методу оптимізації ризику.

В данной работе рассматривается этап в процессе оптимизации содержания проекта, отвечающий за минимизацию рисков. Также рассмотрена непосредственная подготовка информации для метода оптимизации риска.

In this paper we consider the stage in the process of optimizing the content of the project, is responsible for minimizing risks. Also considered is the direct preparation of information for the optimization method of risk.

Для решения задачи оптимизации содержания проекта по критериям прибыль, сроки, стоимость, качество и риски проекта с помощью метода, основанного на применении обобщенного критерия и неявного перебора необходимо иметь решение однокритериальных задач. В том числе задачи оптимизации рисков проекта при наличии ограничений и заданных альтернативных вариантах выполнения работ или их комплексов, представленных в виде сетевых моделей. Решение данной задачи во многих случаях может иметь и самостоятельное значение.

Причиной возникновения риска является неопределенность, которая присутствует во всех проектах. Существуют известные риски и неизвестные. Известные — это те риски, которые идентифицированы и подвергнуты анализу. В отношение таких рисков можно спланировать ответные действия. Но для неизвестных рисков спланировать ответные действия невозможно. В таких случаях разумным решением для команды проекта является выделение общего резерва. Хотя специфические риски и условия их возникновения не определены, менеджеры проекта знают, исходя из прошлого опыта, что большую часть рисков можно предвидеть. Однако, часто лица, принимающие решения, предпочитают формировать содержание проекта, не задавая веса рисковым событиям.

Формирование содержания проекта традиционно осуществляется на эвристическом уровне. Часто работы или комплексы работ включаются в состав проекта без достаточного анализа их влияния на другие работы. При этом количество рассматриваемых альтернатив обычно невелико. Данная

ситуация объясняется большой трудоемкостью анализа альтернативных вариантов работ или их комплексов в многоэтапных проектах. В работе [2] предложены модель и метод оптимизации содержания проекта с точки зрения времени его выполнения. В работе [3] рассматриваются модель и метод оптимизации содержания проекта по критерию затраты на его осуществление при наличии ограничений на сроки. В работе [4] впервые предложена многокритериальная модель задачи оптимизации содержания проекта по критериям время и стоимость при наличии альтернативных вариантов выполнения работ или их комплексов, заданных в виде сетевых моделей. В работе [5] предложены модель и метод оптимизации содержания проекта по срокам и стоимости его выполнения при наличии ограничений на качество продукта после выполнения определенных этапов проекта.

Управление рисками проекта включает в себя процессы, относящиеся к управления рисками, их идентификации планированию анализу. реагированию на риски, мониторингу и управления рисками проекта. Большинство из этих процессов подлежат обновлению в ходе проекта. Цели управления рисками проекта - повышение вероятности возникновения и воздействия благоприятных событий и снижение вероятности возникновения и воздействия неблагоприятных для проекта событий. Для достижения успеха на протяжении всего проекта организация должна предпринимать заранее и последовательно предупредительные меры по управлению рисками. В данной работе рассматривается непосредственно этап планирования рисков, на котором происходят процессы выбора подхода, планирование и выполнение операций по управлению рисками проекта.

Целью работы является создание модели и метода решения задачи оптимизации содержания проекта, с точки зрения рисков, связанных с его осуществлением, при наличии ограничений.

Подготовка информации начинается с формирования целевой функции, которая отражает оптимизацию рисков (1). Далее представлена последовательность действий, необходимых к осуществлению. Ниже представлена математическая модель задачи оптимизации содержания проекта.

$$\sum_{h=1}^{H} \sum_{j=1}^{M_h} \sum_{i=1}^{I} P_{hj} v_{hji} x_{hj} = R_{\text{пед}} \to \min_{x_{hj}};$$
(1)

$$T_{\text{проекта}} \leq T^{\text{задан}}, T_{\text{проекта}} = \phi(x_{hj});$$
 (2)

$$S_h = S_{h-1} + K_h - \sum_{j=1}^{M_h} w_{hj} x_{hj}, \quad S_h \ge 0, h = \overline{1, H};$$
 (3)

$$\sum_{j=1}^{N_{h}} x_{hj} = 1, h = \overline{1, H}, \ x_{hj} \in \{0,1\}, j = \overline{1, M_{h}}, h = \overline{1, H}.$$
(4)

- 1. Альтернативные варианты выполнения работ по проекту, а также их взаимосвязи друг с другом следует представить в виде сетевой модели. Необходимо определить стоимость и длительности работ каждой из альтернатив.
- 2. Осуществить анализ, с целью выявления альтернатив, которые охватывают несколько этапов. Если определенная альтернатива охватывает более одного этапа, то эти этапы объединить в один.
- 3. Оценить нижние границы для риска проекта, который возникает при выполнении операций на каждом h-м этапе, $h=\overline{1,H}$. Для оценивания указанных нижних границ произвести следующие действия:
- 3.1. Для каждого этапа h=1,H задать фиктивные вершины начала S(start) и окончания T(target).
- 3.2. Оценить риски, связанные с выполнением операций на каждом hтом этапе, в соответствии с каждой j-ой альтернативой.

$$R_{hj}^{neg} = \sum_{i=1}^{l} P_{hji} V_{hji}.$$

Определить минимальный риск, который может сопутствовать выполнению работ на каждом h-том этапе, $h=\overline{1,H}$.

$$R_{h_{min}}^{neg} = \min \Big\{ R_{hj}^{neg} \Big\}_{j=1}^{M_h}.$$

И так подготовка информации закончена, приступаем непосредственно к этапу оптимизации рисков, а точнее — минимизации, которая представлена в виде последовательности действий.

1. $R_H := 0$, где R_H — множество вариантов j, выбранных на всех H этапах проекта;

$$R_{min} = \left\{R_{h_{min}}^{neg}\right\}_{h=1}^{H};$$

$$h := 1; f := 0; f^* := +\infty.$$

- 2. Начинаем рассмотрение с 1-го варианта, т.е. $j_h = 1$.
- 3. Проверяем, выполняются ли ограничения задачи на h-том этапе.

- 3.1 Проверяем выполнение ограничения (2). Для этого на каждом этапе h вводим фиктивную вершину «финиш».
- 3.2 Определяем с помощью метода критического пути время t_h выполнения всех операций от 1-го до h-го этапа включительно.

$$T_{\text{проекта}} = t_h.$$

Проверяем $T_{\text{проекта}} \leq T^{\text{задан}}$.

Если ограничение не выполняется, переходим к шагу 8.

3.3 Проверяем выполнение ограничения (3)

$$S_h = S_{h-1} + K_h - \sum_{i=1}^{M_h} w_{hj} x_{hj}, \ S_h \ge 0, h = \overline{1, H}.$$

Если оно не выполняется, переходим к шагу 8.

4. Определяем риски, которые возникают при выполнении операций на всех этапах от 1-го до h-го включительно.

$$q'_h = \sum_{k=1}^h \sum_{j=1}^{M_h} \sum_{r=1}^R b_r \Psi_{kjr} x_{kj}.$$

Присваиваем значение $f := q'_h$.

5. Оцениваем нижнюю границу для значения обобщенного показателя качества продукта, которое может быть получено в результате выполнения всех оставшихся этапов, т.е. начинается от h+1 – го этапа до H включительно.

$$Q'_{est_h} = Q_{h+1_{min}} + Q_{h+2_{min}} + \cdots + Q_{H_{min}}.$$

Значения $Q_{h+1_{min}}, Q_{h+2_{min}}, \dots, Q_{H_{min}}$ были определены на этапе подготовки информации.

Если $f + Q'_{est_h} \ge f^*$, то использование j-го варианта не приведет к решению лучшему, чем рекордное, переходим к шагу 8.

- 6. Если h < H, рассмотрим следующий этап проекта, $h \coloneqq h + 1$ и возвращаемся к шагу 2.
- 7. Задаем новое значение рекорда $f^* = f$ и запоминаем множество $Q_H \coloneqq \{j_h\}_{h=1}^H.$ Осуществляем редукцию $f \coloneqq q'_{H-1}.$
- 8. Если $j_h < M_h$, анализируем следующий вариант, т.е. $j_h \coloneqq j_h + 1$ и возвращаемся к шагу 3.
- 9. Если h > H, возвращаемся на предыдущий этап, т.е. $h \coloneqq h-1$ и изменяем значение $f \coloneqq q_{h-1}$.Извлекаем из памяти значение j_h и возвращаемся к шагу 8. Если h=1 и $Q_H \coloneqq \{ \circlearrowleft \}$, задача не имеет решения, иначе получено оптимальное решение.

Значение целевой функции $Q = f^*$.

Таким образом, в работе получила дальнейшее развитие модель задачи оптимизации содержания проекта, разработан этап в процессе оптимизации содержания проекта, отвечающий за минимизацию рисков. Также

ISSN 2078-7677. Високі технології в машинобудуванні, 2013, випуск 1 (23)

разработана непосредственная методология подготовки информации для метода оптимизации риска.

Список использованных источников: 1. A Guide to the Project Management Body of Knowledge / by Project Management Institute, 2004. — 402 р. 2. Кононенко И.В. Математическая модель и метод минимизации сроков выполнения работ по проекту / И.В. Кононенко, Е.В. Емельянова, А.И. Грицай // Восточно-европейский журнал передовых технологий. — 2007. — №2/6 (26). — С. 35–40. 3. Кононенко И.В. Математическая модель и метод минимизации затрат по проекту при ограничениях на сроки выполнения работ / И.В. Кононенко, Е.В. Емельянова // Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический институт»: сб. науч. тр. Темат. вып. : Системный анализ, управление и информационные технологии. — № 4. — Х., 2009. — С. 46—53. 4. Кононенко И.В., Мироненко В.А. Математическая модель и метод оптимизации содержания проекта с точки зрения времени и стоимости его выполнения. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 1 / 2 (43) 2010 С. 12-17. 5. Кононенко И.В. Двухкритериальная оптимизация содержания проекта при ограничениях на качество продукта / И. В. Кононенко, И. В. Протасов // Восточно-европейский журнал передовых технологий. — 2010. — №5/4 (47). - С. 57-60.

Поступила в редколлегию 05.11.2013

УДК 621.9

А.В. Фадеев, канд. тех. наук, Харьков, Украина

АНАЛИЗ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ДЕФЕКТОВ — ИНСТРУМЕНТ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ В ПРОИЗВОДСТВЕ

У статті розглядається метод аналізу форм дефектів та наслідків потенційних дефектів, який є ефективним інструментом підвищення якості розроблюємих технічних об'єктів, направлений на запобігання дефектів або зниження негативних наслідків від них.

В статье рассматривается метод анализа форм дефектов и последствий потенциальных дефектов, который является эффективным инструментом повышения качества разрабатываемых технических объектов, направленный на предотвращение дефектов или снижение негативных последствий от них.

The paper discusses a method of analysis forms the defects and consequences of potential defects, which is an effective tool for improving the quality of developed technical facilities aimed at preventing defects or reduce the negative effects on them.

Качество является одной из сложнейших и многоплановых категорий, с которыми приходится сталкиваться человеку в жизни. По мере развития производства изменялись формы и методы организации работ по качеству. Современное управление качеством исходит из положения, что деятельность по управлению качеством не может быть эффективной после того, как продукция произведена, эта деятельность должна осуществляться в ходе производства продукции. Важна также деятельность по обеспечению качества, которая предшествует процессу производства.

При построении системы управления качеством ставится задача организационного объединения всех управленческих функций, от реализации которых зависят обеспечение и повышение качества. В рамках структур такого типа необходимо координирование всех работ связанных с исследованиями, разработками и методиками для освоения новой продукции, повышения производительности труда и эффективности производства.

Целью работы является использование метода анализа видов и последствий потенциальных дефектов как инструмента управления качеством производства изделий. Суть этого метода заключается в следующем: за основу берется дефект, определяются причины возникновения и последствия данного дефекта. Далее выставляются балы значимости для каждой причины и последствия, и вычисляется ПЧР (приоритетное число риска). После этого ПЧР сравнивается с критической границей и если ПЧР больше ПЧР

критического, то происходит доработка технологического процесса, если же ПЧР меньше критического значения, то технологический процесс считается удовлетворительным. В заключении проведения данного анализа необходимо составить таблицу, куда вносятся все необходимые данные и изменения, связанные с нашим дефектом.

Рассмотрим метод более подробно. Метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов позволяет проанализировать потенциальные дефекты, их причины и последствия, оценить риски их появления и принять меры для устранения или снижения вероятности и ущерба от их появления. Это один из наиболее эффективных методов доработки конструкции технологических объектов и процессов, их изготовления на таких важнейших стадиях жизненного цикла продукции, как ее разработка и подготовка к производству.

В процессе метода решают следующие задачи:

- составляют перечень всех потенциально возможных видов дефектов технического объекта или процесса его производства, при этом учитывают как опыт изготовления и испытаний аналогичных объектов, так и опыт реальных действий и возможных ошибок персонала в процессе производства, эксплуатации, при техническом обслуживании и ремонте аналогичных технических объектов;
- определяют возможные неблагоприятные последствия от каждого потенциального дефекта, проводят качественный анализ тяжести последствий и количественную оценку их значимости;
- определяют причины каждого потенциального дефекта и оценивают частоту возникновения каждой причины в соответствии с предлагаемыми конструкцией и процессом изготовления, а также в соответствии с предполагаемыми условиями эксплуатации, обслуживания, ремонта;
- оценивают достаточность предусмотренных в технологическом цикле операций, направленных на предупреждение дефектов в эксплуатации, и достаточность методов предотвращения дефектов при техническом обслуживании и ремонте;
- количественно оценивают возможность предотвращения дефекта путем предусмотренных операций по обнаружению причин дефектов на стадии изготовления объекта и признаков дефектов на стадии эксплуатации объекта;
- количественно оценивают критичность каждого дефекта (с его причиной) приоритетным числом риска ПЧР и при высоком ПЧР ведут доработку конструкции и производственного процесса, а также требований и правил эксплуатации с целью снижения критичности данного дефекта.

Рассмотрим анализ видов и последствий потенциальных дефектов для нашего дефекта, т.е. шероховатости поверхности. Определим последствия данного дефекта, ими могут быть:

- 1) износостойкость;
- 2) усталостная прочность;
- 3) контактная жесткость;
- 4) антикоррозионная стойкость;
- 5) зарождение трещин усталости.

Далее для каждого последствия дефекта определим бал значимости S при помощи таблицы балов значимости. Бал значимости изменяется от 1 для менее значимых по ущербу дефектов, до 10 — для более значимых по ущербу дефектов.

Для каждой потенциальной причины возникновения дефекта экспертно определяем бал возникновения О. При этом рассматривается предлагаемый процесс изготовления и экспертно оценивается частота данной причины, приводящей к рассматриваемому дефекту. Бал изменяется от 1 для самых редко возникающих дефектов до 10 — для дефектов, возникающих почти часто.

Для данного дефекта и каждой отдельной причины определяют балл обнаружения D для данного дефекта или его причины в ходе предполагаемого процесса изготовления.

Балл обнаружения изменяется от 10 для практически не обнаруживаемых дефектов (причин) до 1- для практически достоверно обнаруживаемых дефектов (причин).

После получения экспертных оценок S, O, D вычисляют приоритетное число риска ПЧР по формуле:

$$\Pi \Psi P = S \times O \times D. \tag{1}$$

Для приоритетного числа риска должна быть заранее установлена критическая граница ($\Pi \Psi P_{rp}$) в пределах от 100 до 125, принимаем $\Pi \Psi P_{rp} = 125$. Снижение $\Pi \Psi P_{rp}$ соответствует созданию более высококачественных и надежных объектов и процессов.

Составляют перечень дефектов/причин, для которых значение ПЧР превышает Π ЧР $_{rp}$. Именно для них и следует далее вести доработку конструкции и (или) производственного процесса.

Для каждого дефекта/причины с ПЧР > ПЧР_{гр} предпринимаются усилия к снижению этого расчетного показателя посредством доработки конструкции и (или) производственного процесса.

Проанализировав первоначальные меры по обнаружению дефекта, вносим некоторые изменения и снова выставляем баллы S, O и D.

После того, как действия по доработке определены, необходимо оценить и записать значения баллов значимости s, возникновения о и обнаружения d для нового предложенного варианта конструкции и производственного процесса. следует проанализировать новый предложенный вариант и подсчитать и записать значение нового ПЧР.

	зния	ПЧР	108	96	32	2	30
74	Новые значения баллов	Ω	3	2	2	ю	7
аботь	OBENC	0	4	∞	4	4	3
TA	Ħ	S	6	9	4	7	8
Результаты работы	Принятые действия (изменения)		Применение принудительной перезаточки	Применяется неразрушающий контроль	Для расчетов режимов резания применяется САПР	Производится периодический хонтроль консистенции СОЖ	Контроль партии деталей производится раз в пол часа
	Рекоменлуемое изменсиис		Принудительная персзаточка	Оставить тоже самое	Автоматизировать расчет режимов резания	Регламентированный контроль состояния СОЖ	Производить партии деталей раз в пол часа
	ПЧР		405	96	192	350	245
	Балл		5	2	9	8	7
	Первоначальные предложенные меры по предложенные меры по префекта		Применение износостойкого Р.И. с упрочнениями	Неразрушающий контроль	Расчет режимов резания вручную	Регламентированная замена СОЖ	Контроль при сдаче всей партии деталей
	Балл		6	00	· 00	10	7
Потенциальные причины дефекта		причины дефекта	1.Износ режущего инструмента	2.Деформация материала	3.Неправильные режимы резания	4.Загрязнение СОЖ	5.Недостаточный контроль
	Балл		6	9	4	7	· v
	Последствия	дефекта	1.Снижение износостойкости детали	2.Снижение антикоррозионно й стойкости	3.Уменьшение контактной прочности	4.Уменьшение усталостной прочности	5.Зарождение трещин усталости
	Вид	потенциального дефекта	Шероховатость поверхности				
	The second	изделис	Деталь	41,	er er fer Er anger		

Результаты. В результате проведенной работы, проанализировав наш потенциальный дефект, причины, последствия и меры для его обнаружения и устранения, мы предложили некоторые изменения в технологическом процессе для устранения данного дефекта. Применение данного метода поможет снизить количество брака, увеличить рентабельность производства.

Список использованных источников: 1. ГОСТ Р 51814.2-2001. Системы качества в автомобилестроении. Метод анализа видов последствий потенциальных дефектов. 2. Мхитарян В.С. / Статистические методы управления качеством продукции. — М.: Финансы и статистика, 1982. — 119 с. 3. Применение метода анализа видов, причин и последствий потенциальных несоответствий (FMEA) на различных этапах жизненного цикла автомобильной продукции / Годлевский В.Е., Дмитриев А.Я., Юнак Г.Л. / Под ред. Кокотова В.Я. — Самара: Ги-«Перспектива», 2002. — 160 с. 4. Василевская И.В. / Управление качеством: Учеб. пособие.- М.: РИОР, 2005. — 79 с. 5. Акимов Д.А., Карпов Э.А., Крахт В.Б., Масалытина О.В. / Анализ затрат на повышение качества продукции.. ХV Международная конференция «Новые технологии в машиностроении». — Харьков-Рыбачье, сентябрь 2005.

Поступила в редколлегию 05.11.2013

УДК 62-868.8

В.Л. Хавин, канд. техн. наук, И.С. Лавриненко, Харьков, Украина

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЬ ЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИВОДА ДЛЯ КОМПЕНСАЦИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПРЕЦИЗИОННОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ БИОПОЛИМЕРОВ

У даній роботі описана гістерезисна модель п'єзоелектричного приводу, яка за обраним домінуючим оператором відображає поведінку прецизійного актуатора у реальному часі при компенсації помилок в процесі механічної обробки біоінженерних полімерів. Результати чисельного моделювання нелінійного поводження п'єзоелектричного приводу підтверджуються даними експериментальних досліджень.

В работе представлена математическая гистерезисная модель пьезоэлектрического привода, которая по выбранному доминирующему оператору отражает поведение прецизионного актуатора в режиме реального времени при компенсации ошибок позиционирования в процессах механической обработки биополимеров. Результаты численного моделирования нелинейного поведения пьезоэлектрического привода подтверждаются данными экспериментальных исследований.

This paper describes a piezoelectric actuator hysteresis model, which is chosen reflects the behavior of precision actuator with dominant operator in a real time scale for compensation errors in machining of bioengineered polymers. The results of numerical modeling of the nonlinear behavior of piezoelectric actuator are confirmed by experimental studies.

Постановка проблемы. Изделия из пьезоэлектрической керамики находят все более широкое применение для применения в системах управления исполнительными элементами механических систем. При этом, наряду с ультрапрецизионной точностью, достигается очень быстродействие (вплоть до гиперзвуковой скорости воздействия). Одной из областей применений таких элементов является обеспечение контроля и корректировки прецизионных и ультрапрецизионных исполнительных механизмов, например, ультрапрецизионных механизмов подач на станках высокой и сверхвысокой точности [1, 2]. При этом наличие гистерезисной нелинейности между входным напряжением и смещением на выходе сигнала создает инерционность и, следовательно, остаточное смещение относительно нулевого положения, значительно понижая точность приводов механизмов подач Компенсация гистерезисной прешизионных станков. пьезоэлектрического привода является очень важной задачей, решение которой позволит повысить точность работы исполнительных механизмов и других ультрапрецизионных устройств.

Анализ литературы. Исходя из результатов обзора литературных источников по проблеме корреляционных воздействий на элементы прецизионных механических систем, изделия из пьезоэлектрической керамики являются наиболее эффективными для приведения в действие различных рабочих элементов прецизионных и ультрапрецизионных исполнительных механизмов, которые требуют особо высоких показателей точности и быстродействия. Наиболее типичными представителями таких изделий являются пьезоелектрические актуаторы [3, 4].

Существует несколько методов снижения гистерезисной нелинейности пьезоэлектрического привода. При отображении гистерезисной нелинейности как постоянного отставания по фазе можно, например, использовать компенсатор опережения по фазе, который обеспечивает постоянную опережающую составляющую фазы в определенном диапазоне частот, компенсаторы с прямой связью, параллельные компенсаторы и др. [5 - 9].

Цель статьи – разработка новой математической модели, которая более полно учитывает характеристики гистерезисной нелинейности параметрический пьезоэлектрических приводов. Применен планирования, который позволяет восстанавливать инерционность гистерезисных операторов, при изменении направления входного напряжения. При идентификации параметров модели для различных форм волны входного напряжения результаты моделирования полностью подтверждаются экспериментом. Предложенная модель включает все основные особенности гистерезисной нелинейности, включая главные и второстепенные циклы поведения пьезоэлектрического привода.

Модель пьезоэлектрического привода. На рис. 1 схематично показан пьезоэлектрический стандартный актуатор модели АП-К 20/2 АП ОАО "ВЗРД "Монолит", неизолированный защищенный, с влагостойким покрытием в металлическом корпусе, исполнение УХЛ.

Гистерезисная нелинейность привода моделируется в виде линейной и нелинейной части, в форме каскадной модели (рис. 2).

Механическая часть этого привода является линейным динамическим усилителем второго порядка. Предложенная модель пьезоэлектрического привода объединяет динамику актуатора с каскадной гистерезисной нелинейностью для пьезоэлектрического привода, $V_{\rm off}$ и $L_{\rm off}$ — начальное минимальное подаваемое напряжение и первоначальная длина пьезоэлемента соответственно

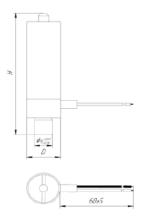
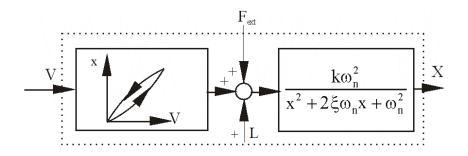


Рисунок 1 – Схема пьезоэлектрического акту атора модели АП-К 20/2



Рису нок 2 – Каскадная модель пьезоэлектрического привода

Уравнение каскадной модели имеет вид:

$$\ddot{x} + 2\xi \varpi_n \dot{x} + \omega_n^2 x = k \varpi_n \left(F_{ext} + L \left(V, V_{off}, L_{off} \right) \right), \tag{1}$$

где х - перемещение;

k – корректирующий параметр;

 $\varpi_n = m^{-1}$

 ω_n – частота системы;

 ξ – коэффициентом затухания;

V – по даваемое напряжение;

F_{ext} - нормализованная внешняя сила, подаваемая на привод;

 $L\!\left(V,V_{\mathrm{off}},L_{\mathrm{off}}\right)$ – каскадная нелинейная часть гистерезиса.

Смещение вывода L каскадной нелинейной части гистерезиса пьезоэлектрического привода может быть выражено следующим образом:

$$L = \sum_{i} k_{i} \left(I - e^{-\tau_{i} |V - V_{\text{off}}|} \right) \left(V - V_{\text{off}} \right) + L_{\text{off}} , \qquad (2)$$

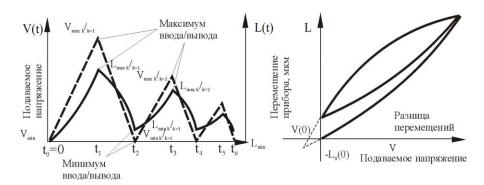
где L_{off} – начальное положение системы;

 V_{off} – начальное минимальное значение входного напряжения;

ті – фазовый коэффициент;

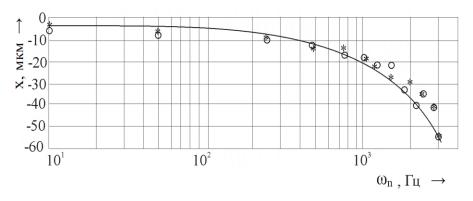
 k_i — представляет минимальное (максимальное) гистерезисное смещение привода. Большая петля гистерезиса имеет k_1 =1 и k_2 = 2, что соответствует первому циклу низшего порядка, второму и так далее (как показано на рис. 3).

Сравнение текущего входного напряжения с входными крайними членами пропорции предыдущего цикла показывает, выполнил ли привод пропуск предыдущего максимального или минимального экстремального значения входного напряжения. Если траектория входного напряжения передается сквозь один из предыдущих входных крайних членов пропорции, то гистерезис включает повтор предыдущего цикла, то есть будет продолжен текущий цикл.



Рису нок 3 — Определение крайних членов пропорции ввода-вывода гистерезисной модели

На рис. 4 представлена графическая интерпретация полученных результатов моделирования в виде частотно-фазовой диаграммы работы привода, связанного с усилителем.



Рису нок 4 — Диаграмма линейной динамики работы привода \circ — V = 25B; * - V = 50B

Выводы.

- 1. Создана новая гистерезисная модель пьезоэлектрического актуатора, которая более полно учитывает характеристики гистерезисной нелинейности пьезоэлектрических приводов актуаторов за счет того, что базируется на ряде гистерезисных операторов.
- 2. При идентификации параметров модели для различных форм волны входного напряжения моделирование полностью подтверждает экспериментальные результаты.

Список исполь зованных источников: 1. Ерофеев А.А. Пьезоэлекпрические устройства автоматики / А.А. Ерофеев — Л.: Машино-строение,1982. — 212с. 2. Смирнов А.Б. Мехатроника и робототехника. Системы микропере-мещений с пьезоэлекприческими приводами; Учеб. пособие / А.Б. Смирнов — СПб.: Изд-во СПбПТУ, 2003. — 160 с. 3. Шарапов В.М. Пьезоэлекпрические датчики / В.М. Шарапов, М.П. Мусиенко, Е.В. Шарапова. — М.: Техносфера, 2006. — 632 с. 4. Бобцов А.А. Исполнительные устройства и системы для микроперемещений / Бобцов А.А., Бойков В.И., Быстров С.В., Григорьев В.В. — СПБ ГУ ИТМО, 2011. — 131 с. 5. Бойков В.И. Экспериментальное исследование характеристик пьезоприводов нового поколения / Бойков В.И., Быстров С.В., Коровьяков А.Н., Салмыгин И.П. — Изв.вузов. Приборостроение, 2009. — Т.52. — №11. — С.77—82. 6. Липанов А.М. Инерционный пьезоэлектрический шаговый привод субнанометровой точности / Липанов А.М., Гуляев П.В., Иелковников Е.Ю., Тюриков А.В. // ПТЭ. — 2009. — №5. — С. 121—122. 7. Advances in Optimization and Control / В.А. Eiselt and G. Pederoli. Berlin: Springer, 1988. — 437 р. 8. The NanoPositioning Book / Т.Я. Ніскя, Р.D., Atherton, Y. Xu, M. McConnell. — Queensgate Instruments Ltd., 1997. — 119 р. 9. Chang S.H. Tseng C.K. Chien H.C. An ultra-precision XYC-) piezo-micropositioner // IEEE Trans Ultrasonic Ferroelectrics Frequency Control — Part I: Design and Analysis, 1999. — 46(4). — P. 897—905.

Поступила в редколлегию 19.06.2013

УДК 621.9

О.М. Шелковий, д-р техн. наук, В.С. Грушко, Харків, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ТРИВИМІРНОГО ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФ ЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ МАСОВОГО ВИРОБНИЦТВА

У даній статті на прикладі обробки деталі «Корпус редуктора» досліджується можливість використання гнучкого обладнання, що переналагоджується, в умовах масового виробництва на основі порівняльного аналізу ефективності його експлуатації по відношенню до автоматичних ліній з жорстким міжагрегатним зв'язком.

В данной статье на примере обработки детали «Корпус редуктора» исследуется возможность использования гибкого переналаживаемого оборудования в условиях мас сового производства на основе сравнительного анализа эффективности его эксплуат ации по отношению к автоматическим линиям с жест кой межагрегатной связью.

In this article on the example of treatment of detail «Gearcase» is investigated possibility of the use of flexible equipment in the conditions of mass production on the basis of comparative analysis of efficiency of his exploitation in relation to automatic transfer lines with hard interaggregate connection.

Вступ. Сучасною тенденцією металообробки ϵ обробка невеликих партій виробів з продуктивністю близькою до продуктивності систем масової обробки.

У цих умовах найбільш прийнятним варіантом буде використання гнучких переналагоджуваних систем, які можуть дати можливість отримання необхідної якості, завдяки використанню багато інструментальної обробки, а також скоротити час, що витрачається на налагодження, при використанні переналагоджуваного устаткування і оснащення, а також скоротити кошти, які використовуються на створення декількох автоматичних потокових ліній.

Найважливішими характеристиками гнучкого автоматизованого виробництва є продуктивність, гнучкість та ефективність, які визначаються характеристиками основного та допоміжного обладнання, та правильним вибором конструкторсько-технологічних та організаційних схем. Спробуємо оцінити, наскільки ефективним та доцільним буде використання гнучкого обладнання в умовах масового виробництва.

Продуктивність є безперечно найважливішим показником ефективності виробничого процесу. Найбільш надійним і зручним кіль кісним критерієм продуктивності була продуктивність, яка вимірюється кіль кістю виробів, вироблених в одиницю часу (шт./год.), або її зворотна величина — трудомісткість виготовлення конкретного виробу. Прив'язка цих показників

до конкретного виробу робить їх малоефективними для оцінки продуктивності процесу, який здатен випускати різні вироби. ГВС має здатність виробляти не тільки різні деталі, але і різне їх число в одиницю часу.

Гнучкість ГВС у порівнянні з потоковим виробництвом полягає у тому, що система з ЧПК на виробничому рівні власними зусиллями спроможна:

- виконувати різні операції для однієї і тієї ж деталі;
- виконувати однакові або різні операції для різних деталей;
- самоналагоджуватись при виникненні критичної ситуації (наприклад, зміни товщини зрізаного металу, поломка ріжучого інструменту і т.д.).
- проводити самоконтроль виконаних операцій (наприклад, діаметр отворів) і подальшого прийняття рішень;
 - замінювати ті модулі обробки, які вийшли з ладу;
- керувати деякими із загальноприйнятих пристроїв (електронний щуп, пристрій контролю інструменту, пристрій очищення палет і т.д.);
 - обслуговувати різні пункти в різних послідовностях;
 - функціонувати як автоматично, так і в ручному режимі.

Очевидно, що кошти, які витрачені на обладнання в умовах використання ГВС у масовому виробництві, будуть значно менші ніж у потовому виробництві, але економічний ефект впровадження ГВС не завжди можна визначити простим порівнянням тільки вартості та інших показників основного обладнання та агрегатів. Спроби застосувати традиційні формули для підрахунку економічної ефективності впровадження ГВС часто призводять до негативного результату. Об'єднання в одній системі металообробки, контролю якості, транспортування, та інше, не просто складає, а нелінійно збільшує економічний ефект.

Досвід показує, що витрати з впровадження перших ГВС значно вище і скорочуються з впровадженням кожної наступної системи. Повністю оцінити ефективність впровадження ГВС можливо тільки за всебічної оцінки їх технічних, організаційних, економічних переваг та соціальних наслідків.

Мета дослідження та постановка задачі. Основною метою роботи ε дослідження продуктивності обробки типових корпусних деталей в умовах масового гнучкого виробництва та аналіз її ефективності у порівнянні з автоматизованим потоковим виробниц твом.

Матеріали дослідження. У якості матеріалів дослідження використовуються деталь «Корпус редуктора» (рис.1), універсальний вертикально-фрезерний верстат моделі 6Т13-1 (рис.2, а), а також верстат з ЧПК моделі MA2765M3Ф4 (рис.2, б).

Деталь «Корпус редуктора» виготовлена з чавуну марки СЧ 15-32, має габаритні розміри 403×487×450 мм, квалітети точності оброблюваних поверхонь знаходяться в межах від ІТ 14 до ІТ 7, шорсткість поверхонь

знаходиться в межах від Ra 6.3 до Ra 1.6, більшість оброблюваних поверхонь діаметральні і кріпильні.

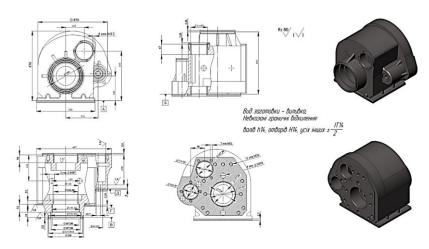
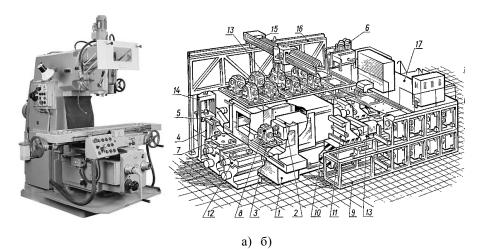


Рисунок 1 – Ескіз та 3D - модель деталі «Корпус редуктора»

Універсальний вертикально-фрезерний верстат моделі 6Т13-1, призначений для обробки базових поверхонь деталі. Він має 18 швидкостей обертання шпинделя, потужність головного двигуна 10 кВт, а також межі чисел оборотів шпинделя 63 - 3150 об./хв.

Фрезерно-свердлильно-розточувальний верстат моделі МА2765М3Ф4— це багатоцільовий комплекс з ЧПК типу 2Р32, який складається з оброблюваного обладнання та транспортної системи. Він призначений для комплексної обробки деталі і має потужність головного двигуна 20 кВт, межі робочих подач столу 10-4000 мм/хв., найбільшу вихідну потужність на головному валу 14.8 кВт.

Оброблювальне устаткування верстата складається з багатоцільового верстата моделі МА2765М3Ф4, а також з трьох стелажних складів зі змінними багатошпиндельними коробками, розташованими вздовж і позаду верстата. Загальний об'єм складу становить 36 осередків з обробними багатошпиндельними коробками. Транспортна система верстата складається з транспортних візків, за допомогою яких багатошпиндельні коробки переміщуються від складу в робочу позицію верстата, а також станції завантаження-розвантаження, які завантажують заготівку у робочу зону обробки, та розвантажують оброблену деталь. Верстат має систему ЧПУ, завдяки чому він переналагоджується на обробку різноманітних деталей, габарити яких можуть складати до 500×500×500 мм.



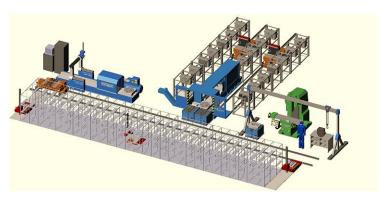


Рисунок 2 – Структура ГВС: (а,б) оброблювальне устаткування ГВС; (в) планування ГВС

B)

При обробці деталі «Корпус редуктора» на верстаті МА2765М3Ф4 виконуються наступні операції: фрезерування, свердління, розточування і нарізування різьби. Для обробки деталі було обрано різальний та до поміжний інструмент компанії «Sandvik Coromant», бо ця фірма пропонує широкий діапазон металорізальних інструментів для обробки як звичайних сталей і чавунів, так і специфічних матеріалів (алюміній, титан, жароміцні і нержавіючі сплави), також інструмент оптимізований для досягнення вищої

продуктивності та ефективності виробництва. Вона також пропонує різноманітний допоміжний інструмент, який дозволяє виконувати обробку на різноманітному обладнанні.

Розрахунок режимів різання проведено в програмі «Coro Guide - 2007», що розроблена спеціально для інструментів та інструментальних матеріалів фірми «Sandvik Coromant». Діапазони режимів різання для обробки деталі знаходяться у межах: подача (S, мм/об) 0,047 – 6,08 мм/об, подача (S, мм/хв) 16,45 –608 мм/хв., швидкість різання (V, м/хв.) 104 – 305 м/хв., потужність різання (N, кВт) 1,1 – 11 кВт, що дозволило використати при обробці всі технологічні можливості верстата мод. МА2765МЗФ4.

У MES – системі «TehnoPro 5+» сформовано груповий технологічний процес (рис. 3), який став інформаційною базою для 3D та 2D - моделювання обробки деталі «Корпус».

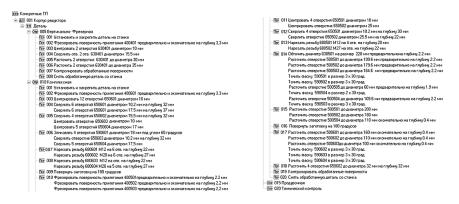


Рисунок 3 – Гру повий технологічний процес для обробки деталі «Корпус редуктора»

Розробка імітаційної моделі ГВС для обробки деталі «Корпус редуктора» та моделювання обробки в ній здійснювались за допомогою програм Solid Works і GPS 3D. Було модельовано обробку деталі «Корпус редуктора» на ГВС в умовах масового виробництва малими партіями деталей з урахуванням технічних, організаційних та технологічних особливостей процесу обробки.

В результаті математичного експерименту було отримано циклограму роботи обладнання (рис. 4), яка відображає стан модулів виробничої системи і дозволяє аналізувати послідовність обробки деталі окремими модулями (чорний кольором на діаграмі позначено очікування модуля, червоним – робота модуля, помаранчевим - розвантаження модуля, блакитним - завантаження модуля). Визначено загальний часу обробки партії деталей з

8 штук, який склав 3.8 години.

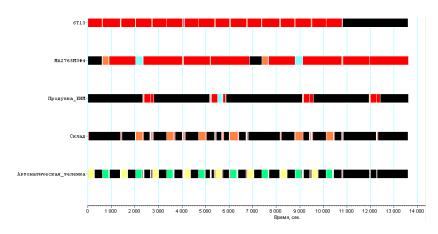
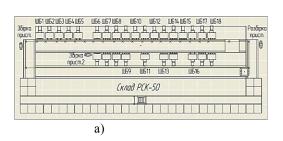


Рисунок 4 – Циклограма обробки деталі «Корпус редуктора»

В системі «GPS» розроблено імітаційні 2D-моделі гнучкої (б) та потокової (а) виробничих системи, які складаються з обробних та транспортно-на копичувальних модулів (рис. 5), що дало можливість виконати порівняльну оцінку ефективності обробки в ГВС через рівень її завантаження, енергетичні витрати, та коефіцієнт корисної дії при виготовленні деталі «Корпус редуктора».

З графіка «Завантаження виробничих систем у часі» (рис. 6) видно, що максимальний рівень завантаження виробничої системи базового варіанта складає майже 60%, проте к кінцю обробки падає до 25%, у свою чергу, максимальний рівень завантаження виробничої системи основного варіанта складає 50%, та к кінцю обробки складає 45%. Це означає, що при обробці невеликої партії деталей конструкція модуля мод. МА 2765МЗФ4 дозволяє виконувати операції обробки більш синхронно, ніж це робить автоматична лінія (АЛ) тому, що в ГВС є всього один оброблювальний модуль, який налагоджується на оптимальні режими різання.

З графіку «Витрати енергії у виробничій системі у часі» (рис. 7) видно, що найбільший рівень енергетичних витрат має виробнича система досліджуваного варіанту (14500 кДж), в порівнянні базовим (понад 7000 кДж). Це можна пояснити декількома причинами: більш значними, ніж потрібно для обробки деталі «Корпус редуктора» енергетичними параметрами силових устаткувань, що обумовлено необхідністю обробки в широкому діапазоні розмірів и матеріалів; наявністю енергомістких транспортно-на копичувальної та вимірювальної системи.



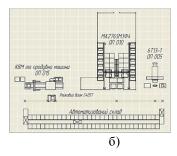


Рисунок 5 – 2D – моделі систем обробки деталі «Корпус»: а) для базового варіанту на основі автоматичної лінії з жорстким міжагрегатним зв'язком; б) для досліджуваної системи

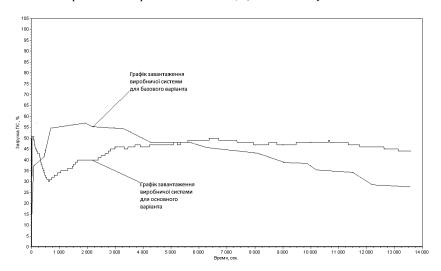


Рисунок 6 – Графік «Завантаження виробничих систем у часі»

З графіку «Витрати потужності приводів виробничих систем у часі» (рис. 8) видно, що для досліджуваного варіанта максимальна питома потужність складає 17 кВт, для базового — 11 кВт. При цьому, питома потужність у сталому режимі для ГВС складає біля 12 кВт, а для АЛ — біля 10 кВт. Велику розбіжність між сталою потужністю енергетичного обладнання та піковим навантаженням пояснюється необхідністю в більш енергомісткім етапі завантаження оброблювального устаткування у ГВС ніж у АЛ. В той же час, основне обладнання в обох випадках працює з приблизно однаковими затратами потужності. А враховуючи те, що ця потужність, в першому

випадку, забезпечується одним силовим агрегатом, а в другому — вісімнадцятою, то для ГВС ϵ наявним виграш у надійності обробки та капітальних затратах на обладнання виробничої системи.

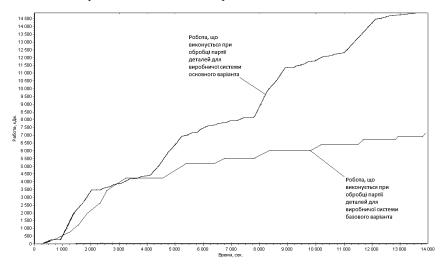
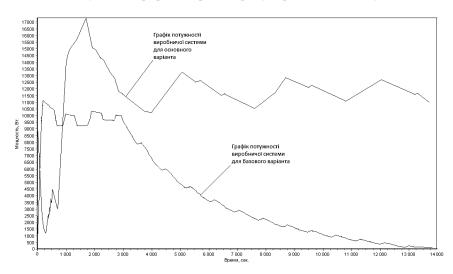


Рисунок 7 – Графік «Витрати енергії у виробничій системі у часі»



Рису нок 8 – Графік «Витрати потужності приводів виробничих систем у часі»

Оцінюючи комплексний ефект від затрат енергії в у ГВС та АЛ (графік «Зміна коефіцієнту корисної дії в виробничих системах у часі» (рис. 9) можна прийти до таких висновків: що рівень коефіцієнту корисної дії за енергетичними затратами (ККД - на графіку - КПД) досліджуваної системи на початку часового інтервалу досягає 88%, що обумовлено оптимальними транспортними переміщеннями, але у подальшому в процесі обробки він знижується і в кінці складає приблизно 25%. Максимальний рівень ККД базового варіанта складає 53%, у процесі обробки знижується до 5%. Отже, за енергетичними показниками процесу обробки та транспортування ККД ГВС значно більше (майже в 5 разів), ніж ККД АЛ. Це пояснюється великими енергетичними затратами входження автоматичної лінії в процес обробки, та виходом з неї (коли більшість силових агрегатів працює «в холосту»).

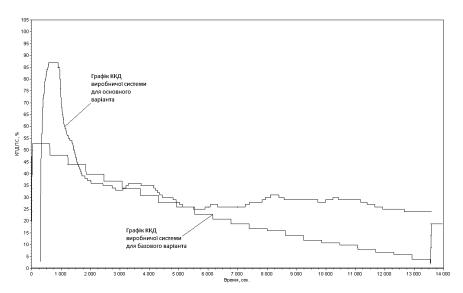


Рисунок 9 — Графік «Зміна коефіцієнту корисної дії в виробничих системах у часі»

Висновки. З'ясувалось, що за рівнем завантаження та витратами потужності на процес обробки ГВМ більш прийнятні, ніж АЛ. Що обумовлено наявністю більш гнучкої системи налагодження на процес обробки.

В той же час, за загальними затратами енергії на процес обробки виробу ГВМ менш ефективна ніж АЛ. Тому більш повне використання енергетичних можливостей ГВС у масовому виробництві ε актуальним завданням. Цього

можна досягти, використовуючи швидкозмінне технологічне оснащення в наступних напрямках:

- підбір шпиндельних коробок для групової обробки з максимальною потужністю;
- розробка шпиндельних коробок зі змінними параметрами налаго дження (за діаметром обробки та міжвісьовою відстанню).

Список використаних джерел: 1. Шелковой А.Н., Грушко В.С. Исследование продуктивности и надежности обработки корпусных деталей в ГПС крупносерийного производства //Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні. — Х.: НТУ «ХПІ», 2012. — № 53(959). — С.175-177.

2. Автоматы и автоматические линии. Ч. І. Основы проектирования. Под ред. Шаумяна Г.А. Учеб. пособие для вузов. М: Высшая школа, 1976. — 230 с. 3. Роботизированные технологические комплексы и гибкие производственные системы в машиностроении: Альбом схем и чертежей: Учеб пособие для втузов /Под общ. ред. Соломенцева Ю.М. - М.: Машиностроение, 1989. —192 с.

Надійшла до редколегії 22.05.2013

УДК621.92.01

А.А. Якимов, канд. техн. наук, Одесса, Украина

РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУР, ФОРМИРУЕМЫХ ПРИЗУБОШЛИФОВАНИИ ТАРЕЛЬЧАТЫМИ КРУГАМИ НУЛЬ-ГРАДУСНЫМ МЕТОДОМ, С УЧЕТОМ МНОГОПРОХОДНОСТИ

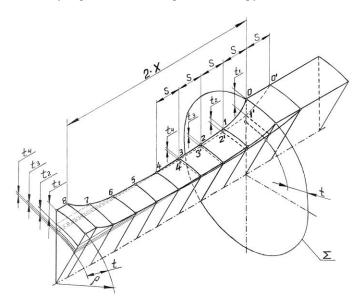
Уперше теоретично обтрунтована відмінність температур, формованих при зубошліфуванні тарілчастими кругами в різних точках оброблюваного эвольвентного профілю.

Впервые теоретически обосновано различие температур, формируемых при зубошлифовании тарельчатыми кругами, в разных точках обрабатываемого эвольвентного профиля.

Firstly in theory a distinction of the temperatures formed in the gear grinding by the dish wheels in the different points of a processed in volute profile is grounded.

1. Постановка проблемы. Одной из основных тенденций современного машиностроения является стремление уменьшить габариты зубчатых передач за счет увеличения нагрузочной способности их зубьев. Это возможно осуществить за счет повышения точности изготовления зубчатых колес. В редукторах авиационных двигателей применяются колеса 3-4 степеней Третья степень точности. точности может быть достигнута шлифованием на станках, работающих двумя тарельчатыми кругами нульградусным методом. Обработка на этих станках сопровождается высокой теплонапряженностью, как осуществляется без принудительного так охлаждения и каждая точка обрабатываемой поверхности подвергается воздействию. многократному тепловому Высокая теплонапряженность зубошлифования оказывает существенное влияние на свойства поверхностного слоя контактную выносливость зубьев. Экспериментальным путем установлено [1], что глубина структурноизмененного слоя различна по высоте и в большинстве случаев максимальна на его головке. По высоте зуба от головки к ножке существенно уменьшается теоретического отпущенного слоя. Для обоснования закономерности необходимо иметь аналитические зависимости для расчета возникающих при шлифовании тарельчатыми нульградусным методом, с учетом многократного теплового воздействия, воспринимаемого каждой точкой боковой поверхности зуба. Существующие аналитические выражения для определения температур проходном шлифовании [2], [3], [4] не позволяют производить расчеты температур в разных точках профиля зуба, так как предназначены для других схем шлифования.

- 2. <u>Цель исследования.</u> Целью настоящей работы является выявление причин и закономерностей изменения глубин распределения структурно измененных слоев по высоте зуба, образующихся при шлифовании на станках, работающих тарельчатыми кругами нульградусным методом. Для этого необходимо разработать математические модели для определения температур на разных участках обрабатываемого профиля зуба.
- 3. Основные материалы исследования. Шлифование зубчатых колес на станках 5851, 5853, МААГ осуществляется кругами-тарелками на керамической связке. На рис. 1 показан фрагмент поверхности, сформированной на цилиндре, фрагмент которого имитирует участок обрабатываемой поверхности зуба, после одностороннего обкаточного движения по нему тарельчатого шлифовального круга.



Рису нок 1 — Фрагмент повер хности, сформированной конической частью тар ель чатого шлифовального круга при его обкаточном движении от впадины к головке зу ба

Если допустить, что при шлифовании на станках 5851, 5853, МААГ с нулевой настройкой кругов за одно одностороннее обкаточное движение тарельчатый круг сформирует канавку с профилем 0-1-2-3-4-5-6-7-8, то на обратном пути из-за смещения вдоль обрабатываемого зуба на величину

продольной подачи S им будет сформирована поверхность с профилем 0'-1'-2'-3'-4'. Из-за того, что шлифование на станке МААГ с нулевой настройкой кругов осуществляется с продольной подачей S, реальная длина зоны контакта будет в два раза меньше ширины канавки с профилем 8-7-6-5-4-3-2-1-0.

При шлифовании на станках МААГ, 5851. 5853 с нулевой настройкой тарельчатых кругов абразивный инструмент неоднократно проходит над каждой точкой боковой поверхности обрабатываемого зуба и тепловой источник при своем движении встречается с участками теплопроводящего предварительно нагретыми на пространства, предыдущих обкаточных движениях. Размеры пятна контакта зуба шестерни абразивным инструментом непрерывно меняются в процессе перемещения последнего от впадины до вершины зуба и назад. При движении шлифовального круга от впадины к вершине зуба длина и ширина пятна контакта непрерывно увеличиваются, а при движении в обратном направлении – уменьшаются. Это объясняется тем, что радиус кривизны эвольвенты вблизи впадины од имеет наименьшую величину, а на вершине зуба ρ_{Γ} – наибольшую.

На рис. 2 показаны зоны контакта тарельчатого шлифовального круга с двумя цилиндрами, один из которых имитирует участок эвольвентного профиля вблизи впадины, а другой — в районе линии пересечения обрабатываемой поверхности с делительным цилиндром зубчатого колеса.

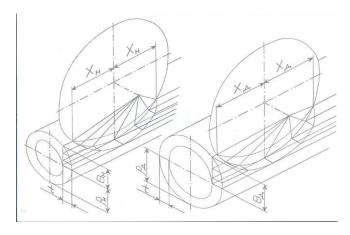


Рисунок 2 — Схема, которая раскрывает причины увеличения длины зоны контакта (Xд > Xн) при росте радиу сов цилиндров ($\rho_{\mathcal{I}} > \rho_{\mathcal{H}}$), которые имитируют участка эвольвентного профиля зуба на ножке и в районе делительной окружности

Из рисунка видно, что при одной и той же глубине резания t длины пятен контакта Xн и Xд разные: Xн < Xд.

На рис. З показана схема снятия металла абразивным инструментом с боковой поверхности зуба шестерни на станках 5851, 5853, МААГ с нулевой настройкой тарельчатых кругов.

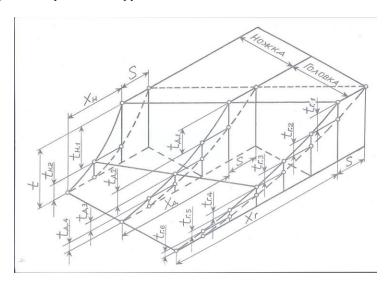


Рисунок 3 — Схема, которая иллюстрирует увеличение длины пятна контакта обрабатываемой поверхности с тарельчатым шлифовальным кругом по мере приближения последнего к вершине зуба

Из схемы видно, что в процессе обкаточного движения шлифовального круга по зубу от его вершины до впадины длина пятна контакта уменьшается: $X_{\Gamma} > X_{\Gamma} >$

Из схемы, приведенной на рис. З видно, что точки, расположенные у вершины зуба, в средней части зуба и вблизи впадины будут воспринимать соответственно шесть, четыре и два тепловых воздействия.

В основу моделирования температурных полей при многопроходном шлифовании положим одномерную теплофизическую схему, в которой точка теплопроводящей среды подвергается многократному нагреву в результате ее периодического прохождения под неподвижным плоским тепловым источником, расположенным в нижней (рис. 4,а), средней (рис. 4,б) и верхней (рис. 4,в) частях эвольвентного профиля обрабатываемого зуба.

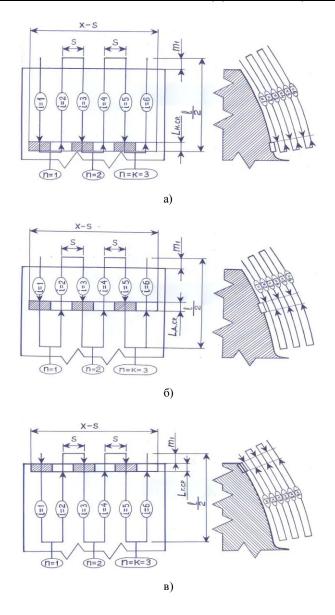


Рисунок 4 — Схема многократного прохождения точки под тепловым источником, расположенным в нижней (a), средней (б) и верхней частя х обрабатываемого зуба (в)

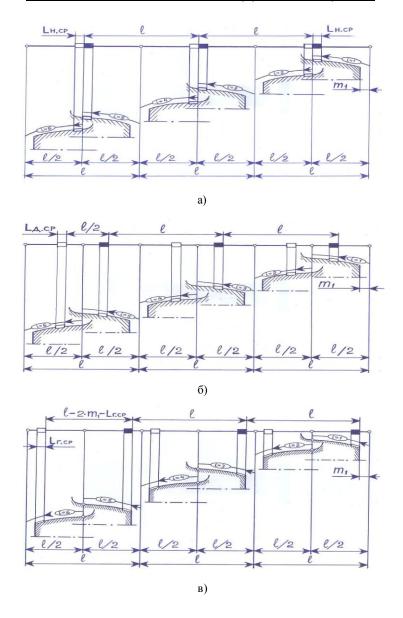
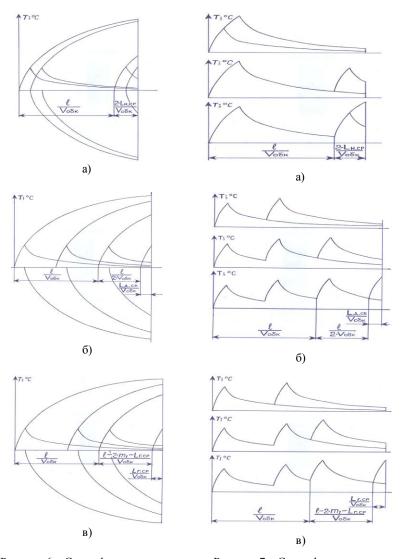


Рисунок 5 — Схема прохождения точки при трех прямых и трех обратных ходах под тепловым источником, расположенным в нижней (а), средней (б) и верхней (в) частях эвольвентного профиля зуба



Рису нок 6 — Схема формирования тепловых импульсов при прохождении точки под тепловым источником, расположенным в нижней (а), средней (б) и верхней (в) частях эвольвентного профиля зуба

Рису нок 7 — Схема формирования результиру ющей температуры в точке, расположенной в нижней (а), средней (б) и верхней (в) частя х эвольвентного профиля зуба, после двух прямых и двух обратных ходов

Результирующее температурное поле представляет собой наложение температурных полей. образующихся при прохождении обрабатываемой поверхности под тепловыми источниками при прямых ходах (на рис.5 источники выглядят в виде закрашенных прямоугольников) и при обратных ходах (тепловые источники выглядят в виде незакрашенных прямоугольников). Каждые отдельно взятые температурные поля, из которых образуются складывается результирующее поле, суперпозицией (наложением) двух полей от двух тепловых источников: положительного и отрицательного. Эти источники имеют одинаковые интенсивности теплового потока, но продолжительность действия отрицательного источника меньшая, чем положительного. Разность времен действия этих источников равна отношению ширины пятна контакта шлифовального круга с обрабатываемым зубом к скорости обкатывания. На рис. 6 показано формирование температурных полей методом суперпозиции на разных участках обрабатываемой боковой поверхности зуба, а на рис. 7 приведены схемы формирования результирующих температур.

Применением принципа суперпозиции, были получены формулы (1), (2), (3) для определения температур в нижней, средней и верхней частях евольвентного профиля зуба соответственно.

$$T_{k} = \frac{2 \cdot \psi \cdot q_{_{\mathrm{H}}}}{\sqrt{\mathbf{c} \cdot \mathbf{p}_{_{\mathrm{M}}} \cdot \lambda}} \cdot \sum_{n=1}^{k} \left[\sqrt{(k-n) \cdot \frac{l}{V_{o \delta \kappa}} + 2 \cdot \frac{L_{\mathrm{H.cp}}}{V_{o \delta \kappa}}} \cdot i erfc \left(\frac{t}{\sqrt{(k-n) \cdot \frac{l}{V_{o \delta \kappa}} + 2 \cdot \frac{L_{\mathrm{H.cp}}}{V_{o \delta \kappa}}}} \right) - \sqrt{(k-n) \cdot \frac{l}{V_{o \delta \kappa}} + \frac{L_{\mathrm{H.cp}}}{V_{o \delta \kappa}}} \cdot i erfc \left(\frac{t}{\sqrt{(k-n) \cdot \frac{l}{V_{o \delta \kappa}} + \frac{L_{\mathrm{H.cp}}}{V_{o \delta \kappa}}}} \right) \right] + \frac{2 \cdot \psi \cdot q_{_{\mathrm{H}}}}{\sqrt{\mathbf{c} \cdot \mathbf{p}_{_{\mathrm{M}}} \cdot \lambda}} \cdot \sum_{n=1}^{k} \left[\sqrt{(k-n) \cdot \frac{l}{V_{o \delta \kappa}} + \frac{L_{\mathrm{H.cp}}}{V_{o \delta \kappa}}} \cdot i erfc \left(\frac{t}{\sqrt{(k-n) \cdot \frac{l}{V_{o \delta \kappa}} + \frac{L_{\mathrm{H.cp}}}{V_{o \delta \kappa}}}} \right) - \sqrt{(k-n) \cdot \frac{l}{V_{o \delta \kappa}}} \cdot i erfc \left(\frac{t}{\sqrt{(k-n) \cdot \frac{l}{V_{o \delta \kappa}}}} \right) \right]$$

$$T_{k} = \frac{2 \cdot \psi \cdot q_{_{\mathrm{H}}}}{\sqrt{\mathbf{c} \cdot \mathbf{p}_{_{\mathrm{M}}} \cdot \lambda}} \cdot \sum_{n=1}^{k} \left[\sqrt{(k-n) \cdot \frac{l}{V_{o \delta \kappa}} + \frac{l}{2 \cdot V_{o \delta \kappa}}} + \frac{l}{V_{o \delta \kappa}}} \cdot i erfc \left(\frac{t}{\sqrt{(k-n) \cdot \frac{l}{V_{o \delta \kappa}}} + \frac{l}{2 \cdot V_{o \delta \kappa}}} + \frac{l}{2 \cdot V_{o \delta \kappa}}} \right) - \frac{t}{\sqrt{(k-n) \cdot \frac{l}{V_{o \delta \kappa}} + \frac{l}{2 \cdot V_{o \delta \kappa}}}} \right]$$

$$-\sqrt{(k-n)\cdot\frac{l}{V_{o\delta\kappa}} + \frac{l}{2\cdot V_{o\delta\kappa}}} \cdot ierfc\left(\frac{t}{\sqrt{(k-n)\cdot\frac{l}{V_{o\delta\kappa}} + \frac{l}{2\cdot V_{o\delta\kappa}}}}\right)\right] + \frac{1}{\sqrt{(k-n)\cdot\frac{l}{V_{o\delta\kappa}} + \frac{l}{2\cdot V_{o\delta\kappa}}}} \cdot ierfc\left(\frac{t}{\sqrt{(k-n)\cdot\frac{l}{V_{o\delta\kappa}} + \frac{l}{V_{o\delta\kappa}}}}\right) - \frac{1}{\sqrt{(k-n)\cdot\frac{l}{V_{o\delta\kappa}} + \frac{l}{V_{o\delta\kappa}}}} \cdot ierfc\left(\frac{t}{\sqrt{(k-n)\cdot\frac{l}{V_{o\delta\kappa}} + \frac{l}{V_{o\delta\kappa}}}}\right)\right)$$

$$-\sqrt{(k-n)\cdot\frac{l}{V_{o\delta\kappa}}} \cdot ierfc\left(\frac{t}{\sqrt{(k-n)\cdot\frac{l}{V_{o\delta\kappa}}}}\right)$$

$$T_k = \frac{2\cdot \psi \cdot q_{\Gamma}}{\sqrt{c\cdot \rho_{M}\cdot \lambda}} \cdot \sum_{n=1}^{k} \left[\sqrt{(k-n)\cdot\frac{l}{V_{o\delta\kappa}} + \frac{(l-2\cdot m_{1})}{V_{o\delta\kappa}}} \cdot ierfc\left(\frac{t}{\sqrt{(k-n)\cdot\frac{l}{V_{o\delta\kappa}} + \frac{(l-2\cdot m_{1}-l_{\Gamma,cp})}{V_{o\delta\kappa}}}}\right) - \frac{l}{\sqrt{(k-n)\cdot\frac{l}{V_{o\delta\kappa}} + \frac{(l-2\cdot m_{1}-l_{\Gamma,cp})}{V_{o\delta\kappa}}}}\right] + \frac{2\cdot \psi \cdot q_{\Gamma}}{\sqrt{c\cdot \rho_{M}\cdot \lambda}} \cdot \sum_{n=1}^{k} \left[\sqrt{(k-n)\cdot\frac{l}{V_{o\delta\kappa}} + \frac{l_{\Gamma,cp}}{V_{o\delta\kappa}}} \cdot ierfc\left(\frac{t}{\sqrt{(k-n)\cdot\frac{l}{V_{o\delta\kappa}} + \frac{l_{\Gamma,cp}}{V_{o\delta\kappa}}}}\right) - \frac{l}{\sqrt{(k-n)\cdot\frac{l}{V_{o\delta\kappa}} + \frac{l_{\Gamma,cp}}{V_{o\delta\kappa}}}}\right) - \frac{l}{\sqrt{(k-n)\cdot\frac{l}{V_{o\delta\kappa}} + \frac{l_{\Gamma,cp}}{V_{o\delta\kappa}}}}\right] - \frac{l}{\sqrt{(k-n)\cdot\frac{l}{V_{o\delta\kappa}} + \frac{l_{\Gamma,cp}}{V_{o\delta\kappa}}}}}$$

где $V'_{oб\kappa}$ – средняя скорость обкатывания; $V_{oб\kappa} = \frac{V'_{oб\kappa\, {
m max}}}{2}$;

 $V_{o \delta \kappa \, {
m max}}^{\prime} \,$ – скорость обкатывания посреди обрабатываемого профиля зуба;

$$V'_{o \delta \kappa, \mathcal{I}} = \frac{2 \cdot n'}{1000} \cdot tg \left(\arccos \frac{r_{\omega} \cdot \cos \alpha_{t \omega}}{r_{\omega} + 1, 2 \cdot m + m_{1}}\right) \cdot R_{p}$$

n' – число двойных обкаточных движений в минуту; R_p – радиус ролика обкатывания; r_{ω} – радиус делительной окружности;

$$r_{\omega} = R_p = \frac{r_o}{\cos 20^{\circ}} = \frac{m \cdot z_1}{2}$$

 z_1 — количество зубьев на обрабатываемом колесе; m — модуль зубчатого колеса; r_o — радиус основной окружности зубчатого колеса; $\alpha_{t\omega}$ — угол зацепления; m_1 — величина выхода шлифовального круга за границы головки обрабатываемого зуба; l — длина обратного движения;

$$l = 2 \cdot (m+1,25 \cdot m + m_1)$$

K – количество двойных обкаточных движений, оказываемых в пределах длины зоны контакта;

$$K_{H} = \frac{X_{H} - S}{2 \cdot S}; \quad K_{\mathcal{A}} = \frac{X_{\mathcal{A}} - S}{2 \cdot S}; \quad K_{\Gamma} = \frac{X_{\Gamma} - S}{2 \cdot S};$$

 X_H , $X_{\mathcal{I}}$, $X_{\mathcal{I}}$ – длина пятна контакта шлифовального круга с обрабатываемым зубом в нижней, средней и верхней частях обрабатываемого профиля соответственно; S – величина продольной подачи;

$$L_{cp,H} = \frac{\sum\limits_{i=1}^{2\cdot K} L_{i,H}}{2\cdot K}\;;\;\; L_{cp,\mathcal{A}} = \frac{\sum\limits_{i=1}^{2\cdot K} L_{i,\mathcal{A}}}{2\cdot K}\;;\;\; L_{cp,\Gamma} = \frac{\sum\limits_{i=1}^{2\cdot K} L_{i,\Gamma}}{2\cdot K}\;;$$

 $L_{cp.H}$, $L_{cp.\mathcal{I}}$, $L_{cp.\mathcal{\Gamma}}$ – средние значения ширины пятна контакта абразивного круга с обрабатываемым зубом в нижней, средней и верхней частях обрабатываемого профиля соответственно;

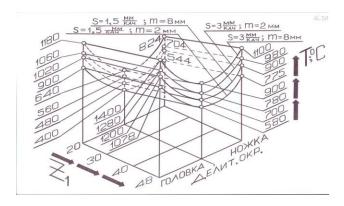
 $L_{i.H}$, $L_{i.\mathcal{I}}$, $L_{i.\mathcal{I}}$ – размеры пятна контакта в его поперечных перерезах, которые отстоят друг от вторая на величину продольной подачи, на нижней, среднем и верхнем участках обрабатываемого зуба соответственно;

$$q_{H} = \frac{P_{z.H} \cdot V_{kp}}{\Phi_{H}} \; ; \; q_{\mathcal{I}} = \frac{P_{z.\mathcal{I}} \cdot V_{kp}}{\Phi_{\mathcal{I}}} \; ; \; q_{\Gamma} = \frac{P_{z.\Gamma} \cdot V_{kp}}{\Phi_{\Gamma}} \; ;$$

 $q_H,\,P_{z,H}\,,\Phi_H\,$, $q_{\mathcal{I}}\,$, $P_{z,\mathcal{I}}\,$, $\Phi_{\mathcal{I}}\,$, $q_{\Gamma}\,$, $P_{z,\Gamma}\,$, $\Phi_{\Gamma}\,$ – плотности тепловы х потоков q, тангенциальные составные силы резания P_z и площади пятен контакта абразивного инструмента с обрабатываемым зубом Φ в нижней, средней и верхней частях эволь вентного профиля соответственно.

Каждая из формул (1), (2) и (3) содержит две суммы. Первая сумма учитывает возрастание температур в фиксированной точке теплопроводящей среды, формирующихся при прохождении этой точки под тепловым источником при прямых ходах. Вторая сумма учитывает возрастание температур, формирующихся при обратных ходах. Расчеты температур по

формулам (1), (2) и (3) показали, что температура в средней части профиля зуба на 40% меньше, чем на головке и на 20% меньше, чем на ножке (рис. 8).



Рису нок 8 — Расчетные температуры, которые образовались при шлифовании зубчатых колес (m=2 гг; m=8 мм; $z_1=20$; 30; 40; 48) из цементиру емой стали 12X2H4A ($\alpha=0.05$ див 2 /сек) на станке МААГ с нулевой настройкой кругов на режимах: t=0.05 мм; n'=112 кач/мин; S=1.5 мм/кач

4. Выводы. Разработаны математические модели (1), (2), (3) для определения температур на разных участках обрабатываемого эвольвентного профиля зуба. Расчеты температур показали, что температура в средней части профиля зуба на 40% меньше, чем на головке и на 20% меньше, чем на ножке. Различие температур объясняется тем, что в разных точках эвольвентных профилей, обрабатываемых тарельчатыми шлифовальными кругами по нулевой схеме, протекают различные тепловые процессы, обусловленные разным количеством тепловых воздействий, воспринимаемых каждой из этих точек, разными временными интервалами между этими воздействиями, разными временами действия тепловых источников.

Список исполь зованных источников: 1. Генкин М.Д., Рыжов М.А., Рыжов Н.М. Повышение надежности тяжело нагруженных зубчатых передач. М.: «Машиностроение», 1981. – 232 с. 2. Сипайлов В.А. Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности. –М.: «Машиностроение», 1978. – 167 с. 3. Сипайлов В.А. Расчет температурного поля при многопроходном шлифовании торцом круга //Повышение надежности и долговечности изделий машиностроения: докл. конф./ Перм. политехн. ин-т. – Пермь, 1972. – С.139-143. 4. Свирщев В.И. Расчет температурного поля в детали при круглом торцовом шлифовании //Совершенствование процессов абразивно-алмазной и упрочняющей обработки в машиностроении/ – Пермь: ПГТУ, 2012. – С.58-65.

СОДЕРЖАНИЕ

Алиев А.И. Шеро хова тость повер хнос ти при обработке в среде	
различных СОТС на операциях с тяжелыми условиями работы сил трения	3
Братан С.М., Новоселов Ю.К., Столяров Н.Н. Моделирование состояния рабочей поверхности абразивного инструмента за период его стойкости	10
Булыгина С.Л., Хавин Г.Л. Учет анизотропии свойств в модели межслойного разрушения при сверлении композиционных материалов	23
Гуцаленко Ю.Г. Организация технических систем и технологические перспективы алмазно-искрового шлифования	30
Дядюра К.А., Залога В.А. Эффективное использование технико- экономической информации для обеспечения качества сложных изделий	40
Залога В.А., Зинченко Р.Н. Разработка методики предварительной настройки системы диагностики состояния режущего инструмента	52
Запорожченко Е.Е., Сазонова М.С., Лавриненко С.Н., Лавриненко И.С. Оперирование вероятностными характеристиками повышения качественных показателей процесса производства биоинженерных изделий	61
Клименко В.Г., Пыжов И.Н. Совершенствование процесса плоского торцового шлифования	68
Кравченко Ю.Г. Совершенствование теоретического определения контактных температур при резании	80
Кривошея А.В., Мельник В.Е., Микищенко А.А., Мироненко А.Л., Гуцаленко Ю.Г., Третяк Т.Е. Унификация обозначений параметров и операторов при разработке обобщенных структурных математических моделей формообразования зубчатых звеньев	90
Ламнауэр Н.Ю., Костюк Е.Г. Прогнозирование качества изделий машиностроения по параметру линейного размера	104
Марчук В.И., Ткачук А.А. Технологические методы упрочнения функциональных поверхностей деталей	113

Мицык А.В., Федорович В.А. Опыт внедрения и особенности	
проектирования планировки участка отделочно-зачистной	
виброобработки	119
Набока Е.В., Колесник М.Э. Информационная наследственность	
и качество технологического процесса	125
Немировский Я.Б. Погрешности наружной поверхности заготовок,	
обработанных деформирующим протягиванием	130
Носов П.С., Яковенко В.Д., Тонконогий В.М. Устройство для	
компьютерной коррекции отклонений осанки	137
Раджаб Заде Мортеза, Залога В.А., Бятова Н.А., Ивченко А.В.,	
Нематне жад Мохаммад Махди Исследование и анализ методов	
преподавания в университетах – зарубежный опыт: университеты	
Ирана	146
Ромашов Д.В., Федоренко Д.О., Федорович В.А. Исследование	
прочностных свойств конструкции круга для высокоскоростного	
алмазного шлифования	155
Сафонов М.С., Яковенко А.Е., Тонконогий В.М. Математическое	
обеспечение метода управления потоками данных	161
Сизый Ю.А., Фесенко А.В., Любимый Ю.Н. Идентификация	
системы врезного шлифования на круглошлифовальном станке	
модели 3Б153У	166
Симонова А.А., Верезуб Н.В. Технологическое наследование	
нанокристаллического состояния поверхностного слоя изделий	
на стадиях жизненного цикла	176
Смоловик Р.Ф. Некоторые методологические аспекты социально-	
экономической сущности инновационных технологий в условиях	
глобализации	180
Собчак А.П., Алешина Е.С. Анализ существующих моделей и методов	
построения интеллектуальных систем сбора и обработки информации	187
Тонконогий В.М., Джугурян Т.Г., Голобородько А.М., Перпери Л.М.	
Структурный анализ и математическое моделирование процесса	

.204
.210
.215
да
.220
.225
.235

Наукове видання

Високі технології в машинобудуванні

Збірник наукових праць

Упорядник *проф. Грабченко А. І.* Оригінал-макет *Крюкова Н.В.*

В авторській редакції

Підп. до друку Формат 60х84 1/16. Папір Сору Рарег. Друк - ризографія. Гарнитура Таймс. Умов.друк.арк. 10,0. Облік.вид.арк. 11,0. Наклад 300 прим. 1-й завод 1-100. Зам. № 1149 Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ «ХПІ» Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 116 від 10.07.2000 р. 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

Друкарня ДП XM3 "ФЕД", 61023, Харків, вул. Сумська, 132