



РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Председатель:

Голенков В. А. д.т.н., проф.
Зам. председателя:
Степанов Ю С. д.т.н., проф.

Светкин В. В. к.т.н. доц.
Колчунов В. И. д.т.н., проф.
Гордон В. А. д.т.н., проф.
Константинов И. С. д.т.н., проф.
Садков В. Г. д.э.н., проф.
Кулаков А. Ф. к.т.н., доц.
Фролова Н. А. к.соц.н., доц.
Соков О.А. к.т.н., доц.
Борзенков М. И. к.т.н., доц.
Одолева М. В.
Поландова Л. И.

РЕДКОЛЛЕГИЯ СЕРИИ:

Главный редактор:

Степанов Ю С. д.т.н., проф.
Зам. главного редактора:
Киричек А. В. д.т.н., проф.
Зам. главного редактора:
Подмастерьев К. В. д.т.н., проф.
Васильев А.С. д.т.н., проф.
Васин С.А. д.т.н., проф.
Дальский А.М. д.т.н., проф.
Зубарев Ю.М. д.т.н., проф.
Суслов А.Г. д.т.н., проф.

Технический редактор:

Морозова А.В. к.с.н., доц.
Художественный редактор:
Кобзева М.С.
Компьютерная верстка:
Алисова М.В.

АДРЕС РЕДАКЦИИ СЕРИИ:

302030 Россия, Орел,
ул. Московская, д. 34
Кафедра ТМиКТИ
Редколлегия журнала Известия
ОрелГТУ.
Серия: «Машиностроение.
Приборостроение»

тел: (4862) 55-55-24, 54-15-03
факс: (4862) 55-55-24
e-mail: ti@ostu.ru, upk@ostu.ru

Формат 69×90/8
Печать ризография. Бумага
Офсетная. Усл. печ. л – 10.0
Тираж 500 экз.

©ОрелГТУ, 2005

СОДЕРЖАНИЕ

• ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ И ИНСТРУМЕНТ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКИ:

- Анисимов, К.С., Макаров В.Ф.** Влияние режимов развертывания на качество поверхностного слоя
Большаков Е.М., Станкевич С.А. Методы компенсации погрешностей, возникающих при фрезерной обработке компрессорных и турбинных лопаток на пятикоординатных станках с числовым программным управлением
Брусов С.И. Определение точности винтовых поверхностей при лезвийной обработке дисковым инструментом
Жирков А.А., Катунин А.В. Способ определения динамических констант уравнения поведения конусоной части инструмента при прерывистом резании
Макаров В.Ф., Чигодаев Н.Е., Токарев Д.И. Технологические условия формирования оптимального качества поверхностного слоя при протягивании деталей из труднообрабатываемых материалов
Михайлов Г.А., Сотников В.И., Каврилин А.М. Многозаходные сборочные червячные фрезы уменьшенного диаметра
Полохин О.В. Разработка математического отображения схемы резания некруглых зубчатых колес инструментами червячного типа
- ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ И ИНСТРУМЕНТ УПРОЧНЯЮЩЕЙ И ОТДЕЛОЧНОЙ ОБРАБОТКИ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Дмитриева М.Н. Технологическое обеспечение контактной жесткости поверхностей деталей машин
Клепцов А.В. Организация базы данных оперативно-технологического планирования ремонтного производства

Макаров В.Ф., Половинкин А.Х. Исследование качества поверхностного слоя, полученного методом ультразвукового ППД

Рябов А.Н. Количественный учет явления технологической наследственности при проектировании технологических процессов

Сутягин А.Н. Износостойкость как определяющий параметр эксплуатационных свойств деталей машин

Шеховцева Е.В. Поверхностная закалка зубчатых колес

• ТЕХНОЛОГИЯ ДИАГНОСТИКИ И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ВЫПУСКАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ

Блюменштейн В.Ю., Кречетов А.А., Мирошин И.В., Останин О.А. Исследование влияния истории нагружения на сигналы акустической эмиссии (АЭ)

Мишин В.В., Марков В.В. Обобщенная математическая модель совместного диагностического параметра при оценке качества сборки подшипникового узла

Чернышова Н.В. Алгоритм построения системы информации о качестве машиностроительного предприятия

Ванин В.С., Галаган Т.В. Экспресс-метод определения вибрационных характеристик мобильных машин

Пахолкин Е.В., Фокин Н.Н. Сравнительные исследования эффективности параметров электрического микроконтактирования при поиске локальных дефектов опор качения

Подмастерьев К.В., Марков В.В. Содержание основных этапов работы по созданию электрорезистивного метода диагностирования трибосистем при граничной смазке

• CALS-ТЕХНОЛОГИИ И СОПРОВОЖДЕНИЕ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПРОДУКЦИИ (CAD-, CAM-, CAE-, PDM-ТЕХНОЛОГИИ)

Блюменштейн В.Ю., Кречетов А.А., Яхин С.В. Средства автоматизированного проектирования упрочняющих технологических процессов на основе механики технологического наследования
Дюпин И.В. «CONTROL CHART» - САЕ система для исследования возможностей управления и диагностики производственных процессов с помощью контрольных карт Шухарта

Киричек А.В., Афонин А.Н., Апальков А.А. Моделирование процесса накатывания резьб трехрольной аксиальной головкой в Defom 3D

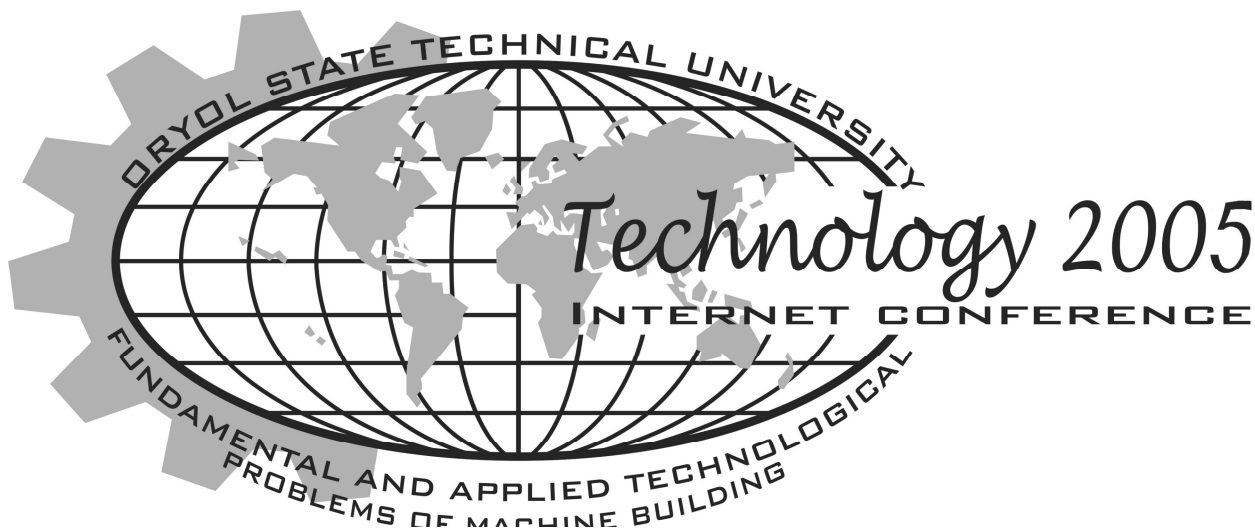
Неумолина Н.Г. Моделирование деформационных процессов при взаимодействии элемента стружки с резцом

• ЭКОНОМИКА, ОРГАНИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ

Киселев Э.В., Киселева И.А. Система поддержки принятия решений и полномочий при организации работ на промышленном предприятии

Смирнова Е.Н. Особенности перераспределения ответственности и полномочий при организации работ на промышленном предприятии

Ткаченко Р.В. Применение современных информационных технологий для моделирования процессов экологического управления



УДК 621.1

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ РАЗВЕРТЫВАНИЯ НА КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ

К.С. Анисимов, В.Ф. Макаров, д.т.н., проф.
Пермский государственный технический университет
Пермь, тел. (342)2198470, fax: (342)2198295, E-mail: tms@pstu.ac.ru

INFLUENCE MODE DEPLOYMENTS ON QUALITY SURRFACE LAYER

K.S. Anisimov, W.F. Makarov, Prof., Dr.
Permskiy State Technical University
Perm, tel. (342)2198470, fax: (342)2198295, E-mail: tms@pstu.ac.ru

The Presented results of the study of the influence mode deployments of the details from heatproof of the alloy on nickel on degree, depth cold-hardening and lines of the slide; on-layer holes after deployment. It Is Revealed that least cold-hardening, the least degree cold-hardening and the least depth line slides exists when processing sample by speed deployment unrolling from hard alloy. The Installed advantage of the process of the speed deployment on shaping quality surrface layer, increasing to capacity and stability of the unrolling.

Конструкция современного газотурбинного двигателя включает в себя свыше тысячи отверстий под воздуховоды, под крепления и т.д. Данные отверстия в процессе работы двигателя испытывают значительные знакопеременные растягивающие и изгибные напряжения. Статистический анализ параметров отверстий в деталях из жаропрочных сплавов современных ГТД показывает, что наиболее часто встречаются диаметры от 8 до 20 мм при относительной глубине 1-1,5 диаметра, причем среди них часто встречаются отверстия таких диаметров, обработку которых производят дорнованием, шлифованием, тонкой расточкой, протягиванием и разворачиванием. В результате анализа операций обработки отверстий на ОАО «Пермский Моторный Завод» вы-

явлено, что подавляющее большинство операций, а именно, 84,1% от общего их количества выполняется развертыванием, и только 15,9% выполняются другими методами (шлифованием, протягиванием, растачиванием). Большая жесткость и относительно низкая стоимость инструмента, мобильность и простота процесса приводят к широкому распространению развертывания отверстий в деталях из жаропрочных сплавов даже, несмотря на то, что при этом приходится с целью получения необходимой чистоты поверхности отверстий уменьшить скорость резания до 1 -2 м/мин, что отражается на производительности труда.

Для непрерывного совершенствования изделий ОАО «Пермский Моторный Завод» требуется проведение эквивалентно-циклических испытаний (ЭЦИ - испытательный цикл нагружения состоит из разгона, изменения частоты вращения, торможения при рабочих температурах) отдельных деталей, сборных узлов, на которых определяются ресурс или возможные концентраторы - места начала появления трещин. В результате таких исследований (после наработки) выявлены трещины в отверстиях для крепления к диску 2-й ступени ТВД (см. рис. 1, а) и на валу ТНД (рис. 1, б). После этого был проведен анализ структуры и свойств материала в зоне распространения трещин. Причинами зарождения трещин в отверстиях названы дефекты деформационного происхождения, образовавшиеся при изготовлении отверстий.

Работа по совершенствованию обработки отверстий в деталях из жаропрочного сплава на никелевой основе производилась на радиально-сверлильном станке 2В40. Комплексный характер воздействия геометрии разверток, скорости, подачи и глубины резания на выходные характеристики выявлен с помощью симметричного многопозиционного рототабельного униформ-плана 2-го порядка [1]. На рис. 2. приведена разработанная конструкция устройства для независимого измерения осевой силы и крутящего момента. На данный динамометр получено положительно решение о выдаче патенте на полезную модель по заявке 2004120152/22 (022077), дата выдачи 05.07.2004. Данный динамометр имеет малые габариты и легко встраивается в существующую систему шпиндельного узла сверлильного станка, также в его функцию входит роль быстросменного патрона. Динамометр устанавливается в шпиндель радиально-сверлильного станка В2-40 и работает совместно с ртутным токосъемником. При сверлении и развертывании динамометр разделяет или преобразует общую механическую нагрузку воспринимаемого инструментом, в электрические сигналы силовых характеристик - крутящего момента и осевого усилия.

Для определения степени и глубины наклепа были подготовлены образцы, обработанные разверткой из быстрорежущей стали ЭП688 и твердосплавной из ВК100М на скоростных режимах в сравнении с режимами серийной технологии. Фрактографические и металлографические исследования проводились с помощью оптического микроскопа МБС-2, сканирующего электронного микроскопа JSM-35CF и микротвердомером ПМТ-3. На 14-ти образцах отверстия $\varnothing 14,5$ были обработаны разверткой из ЭП688 с различным приуглублением ($h_3=0,04-0,3$) на режимах $V=(16; 23; 32; 46; 64)$, $S=(0,063; 0,1; 0,16; 0,25)$ $t=0,1$ мм. Результаты замеров приведены в таблице 1, 2.

В результате металлографического исследования образцов вариантов с различным затуплением развертки, можно отметить, что линии скольжения наблюдаются у всех образцов:

- острой разверткой: глубиной 0.027мм;

- притуплённой разверткой ($h_3 = 0,25 \div 0,30$ мм): глубиной 0.033-0.06мм.

Степень наклепа у отверстий, обработанных острой разверткой 8.9-14.1% с максимальной глубиной залегания 0.04-0.05мм. Степень наклепа у отверстий, обработанных с наибольшим притуплением развертки - 18.6-27.8% с максимальной глубиной залегания 0.04-0.07мм.

Таблица №1. Степень и глубина наклепа на образцах ЭП742ИД, обработанных разверткой с различным притуплением.

№ п/п	Длина резания, м	Износ по задней грани h_3 , мм	Степень наклепа, %	Глубина наклепа, мм
1	0,094	0,04	8,9	0,05
2	0,282	0,06	14,1	0,04
3	0,470	0,09	14,1	0,04
4	0,658	0,15	13,7	0,08
5	0,846	0,18	14,1	0,05
6	1,034	0,22	18,6	0,05
7	1,222	0,22	14,1	0,06
8	1,598	0,23	8,9	0,06
9	1,786	0,24	23,8	0,05
10	1,974	0,50	27,8	0,03
11	2,162	0,27	14,7	0,07
12	2,350	0,29	27,8	0,01
13	2,538	0,29	27,8	0,07
14	2,820	0,30	18,6	0,03



а)

б)

Рис. 1. Трещины в отверстиях для крепления к диску ТВД (а) и на валу ТНД (б).

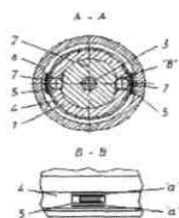
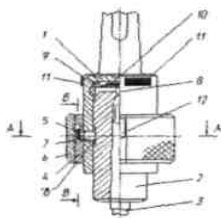


Рис. 2. Устройство для независимого измерения осевой силы и крутящего момента (патент 2004120152/22 (022077), дата выдачи 05.07.2004)



Рис. 3. Поверхностный слой отверстия после развертывания

Таблица №2. Степень и глубина наклепа на образцах из ЭП742ИД

Скорость V, м/мин	Подача S, мм/об	Степень наклепа, %	Глубина наклепа, мм
Обработка разверткой из твердого сплава ВК10-ОМ			
22,76	0,063	13,5	0,02
22,76	0,10	8,9	0,02
32,32	0,10	4,2	0,005
32,32	0,16	8,9	0,01
45,53	0,18	18,2	0,02
Обработка разверткой из ЭП688 (серийный вариант)			
8,8	0,25	32,3-55,0	0,05

Материал у поверхности отверстий (рис. 3) обладает повышенной микротвердостью и имеет измененную фазовую и зернистую структуру, свидетельствующую о локальной интенсивной пластической деформации и перегреве материала при изготовлении отверстий. Вблизи поверхности отверстия имеется область с измененной микроструктурой глубиной до 70мкм, состоящая из двух слоев: тонкого бесструктурного слоя (глубиной до от 2 до 7мкм) и следующего за ним слоя с выраженной текстурой.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сравнивая полученные результаты проведенных вариантов по обработке отверстий можно отметить, что:

1) на опытных образцах глубина распространения линии скольжения незначительно больше (0,027-0,023 8мм), чем на образцах, выполненных по серийной технологии (0,027мм);

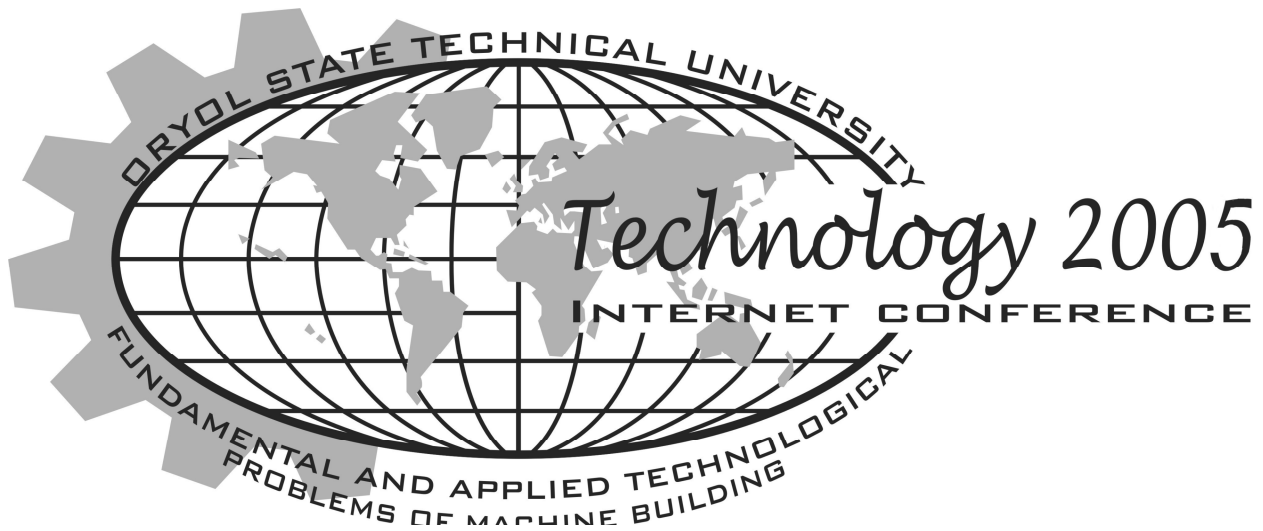
2) степень наклепа на опытных образцах значительно меньше (4,2-18,2%), чем при серийной обработке (32,3-55,0%);

3) наименьший наклеп (0,005мм) наименьшая степень наклепа (4,2%) и наименьшая глубина линий скольжения наблюдается при обработке образцов скоростным развертыванием развертками из твердого сплава ВК10ОМ на скоростных режимах.

Список литературы:

1. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. М.: Машиностроение, 1981.-184 с.

2. Патент на полезную модель по заявке 2004120152/22 (022077), дата выдачи 05.07.2004



УДК 621.914: 621.9.015:621.9.06-529:621.51

**МЕТОДЫ КОМПЕНСАЦИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ,
ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ФРЕЗЕРНОЙ ОБРАБОТКЕ
КОМПРЕССОРНЫХ И ТУРБИНЫХ ЛОПАТОК НА
ПЯТИКООРДИНАТНЫХ СТАНКАХ С ЧИСЛОВЫМ
ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ**

Е.М. Большаков, аспирант, С.А. Станкевич, аспирант Рыбинская государственная авиационная технологическая академия имени П.А. Соловьева Рыбинск,
Тел.(4855)296092, факс (4855)213964, e-mail: root@rgata.ru

THE COMPENSATION METHODS OF THE LAPSES, WHICH ARE ARISING AT THE MILLING OF COMPRESSOR AND TURBINE BLADES BY THE FIVE-AXIS CNC-MACHINE TOOL

E.M. Bolshakov, S.A. Stankevich
Rybinsk State Academy of Aviation Technology
Rybinsk, tel.(4855)296092, fax. (4855)213964, e-mail: root@rgata.ru

It is considered five-axis milling of aviation blades. There are offered error's compensation methods during NC-program creation by the pre-distorted tools trajectory.

Современные условия хозяйственной деятельности предприятия авиационной отрасли характеризуются большой номенклатурой разрабатываемых и изготавливаемых вновь изделий при относительно небольших их количествах. В этих условиях важной задачей становится обеспечение технологической гибкости производства.

В двигателях летательных аппаратов значительная часть деталей имеет фасонные поверхности. К таким деталям относятся крыльчатки, вентиляторы,

диффузоры, лопатки компрессора и турбины. Лопатки компрессора и турбины газотурбинного двигателя являются ответственными специфическими деталями. Их производство связано с применением большого числа специальной технологической оснастки и узкоспециализированных методов обработки, что снижает гибкость производства. Особое внимание следует уделить изготовлению пера лопатки, как одной из наиболее точных и нежестких поверхностей. Допустимое отклонение точек профиля пера от теоретического положения должно быть в пределах от 0,06 до 0,4 мм, в зависимости от длины хорды, а жесткость лопатки доходит до 1 Н/мм. Наиболее эффективными, с точки зрения технологической гибкости производства, являются размерная электрохимическая обработка (ЭХО) и фрезерование на станках с числовым программным управлением (ЧПУ). В настоящее время в связи с падением серийности производства авиационных двигателей наиболее перспективным направлением создания профиля пера является пятикоординатная обработка на станках с ЧПУ концевыми фрезами.

Рассмотрим процесс изготовления профиля пера лопатки. Существуют два варианта выполнения механической обработки. Выбор того или иного варианта зависит от конструкции детали и используемого оборудования.

Первый вариант включает в себя следующие операции: обработка базовых поверхностей (распределение припуска), обработка входных кромок, обработка выходных кромок, фрезеровка спинки, фрезеровка корыта, ручная полировка профиля. Лопатка устанавливается на базовые поверхности, которыми являются центровые технологические отверстия в продлениях полок замка и центровое отверстие технологической бобышки. При обработке детали инструмент перемещается по трем управляемым координатам - X, Y, Z, а поворотные оси используются для позиционирования в удобное для обработки положение (режим обработки «3 плюс 2»). *[Рисунок 1 — Обработка «спинки» лопатки. Рисунок 2 -Обработка «корыта» лопатки]*

Данная технология требует больших затрат на изготовление сложной оснастки на каждую операцию, а вследствие большого количества переустановок и нестабильности базирования возникают большие погрешности при обработке, что выливается в увеличение припусков на окончательные полировальные операции.

Второй вариант - это технология обработки лопатки за одну установку в высокоскоростном режиме по спирали, так называемым «чулочным методом». Данный метод включает в себя следующие операции: обработка базовых поверхностей (распределение припуска); обработка спинки, корыта и кромок одновременно, машинная полировка. *[Рисунок 3 - Фрезерная обработка лопатки «чулочным методом»]*

Обработка «чулочным методом» возможна на станках фирмы STARRAG и Стерлитамакского станкостроительного завода: SX-051B, HX-151, HX-251, 500VB, 800VF6 с числовым программным управлением. Для получения геометрии, не требующей ручной полировки после фрезерования, предлагается комплекс мер по компенсации погрешностей, возникающих при обработке профиля лопаток по спирали.

Для производства каждого нового вида лопатки нужно создать новую управляющую программу. Именно разработка управляющих программ занимает достаточно много времени. Дело в том, что в траекторию движения фрезы кроме собственно обхода теоретической поверхности математической модели профиля пера лопатки должны быть включены (в виде искажений траектории движения фрезы) различные погрешности, возникающие в процессе обработки. Искажающими факторами, приводящими к короблению детали, могут быть силы резания, вибрации, силы закрепления. На протекание процесса резания также влияет геометрия инструмента, ориентирование оси инструмента относительно оси детали. Без специально разработанных программ учет погрешностей обработки в процессе внедрения программы проводится экспериментально, то есть корректировка траектории производится с помощью замеров отклонений получаемого профиля пера от теоретического. Задача состоит в том, чтобы учесть возникающие погрешности еще на стадии создания управляющей программы по математической модели профиля пера лопатки и оборудования. Решение проблемы видится в том, чтобы учесть возможно максимальное число погрешностей при вычислении траектории фрезерной обработки заготовки лопатки на многокоординатном станке.

Необходимо установить зависимость между теоретической и истинной математической моделью профиля пера (причем с изменяющейся по времени в процессе резания геометрией - съем припуска), с учетом возможных погрешностей и реализовать ее в траектории движения инструмента, а, в конечном счете, в управляющей программе, способной обеспечивать получение лопаток с требуемыми точностными характеристиками. В результате появляется возможность управлять процессом фрезерной обработки с точки зрения геометрической точности получаемого профиля. Такое управление возможно через моделирование детали, математический расчет определенных погрешностей применительно к модели и систему автоматизированного проектирования управляющих программ по предыскаженной технологической модели.

При фрезеровании проточной части пера лопаток «чулочным» методом (по спирали) происходит нежелательный процесс подрезания входных и выходных кромок на лопатке. Подрезание осуществляется за счёт деформаций детали, станка, инструмента и приспособления, возникающих от быстрой смены направления усилий резания при скоростном фрезеровании. Срезание кромок происходит в момент перехода обработки со «спинки» на «корыто» и с «корыта» на «спинку» лопатки.

На практике компенсируют этот подрез двумя путями: а) увеличивают припуск на окончательную полировку детали на величину подреза (0,2-0,5мм), что значительно увеличивает трудоёмкость и нестабильность технологического процесса из-за увеличения доли ручного труда полировщиков; б) кромки обрабатывают отдельно перед фрезерованием проточной части лопатки. При этом затрачивается дополнительное время на обработку кромок и возникает нестыковка кромок с профилем лопатки вследствие разницы условий резания и направления обработки. Погрешности обработки при этом способе значительно

меньше, но компенсировать их приходится за счёт увеличения припуска на полировку до 0,1- 0,2 мм.

Для того чтобы обрабатывать лопатки в размер, предлагается на этапе разработки управляющих программ на математические модели лопатки доставлять продления входных и выходных кромок на величину подреза. При этом создаётся новая технологическая математическая модель лопатки. Методы продления выбираются в зависимости от геометрии кромок на лопатке. *[Рис.4 - Схема продления кромок. P и P' — соответствующие точки кромок математической и технологической моделей]* Величина продления рассчитывается в каждом сечении лопатки, так как деформации зависят от скорости резания, величины срезаемого слоя и места положения инструмента на поверхности лопатки.

Для обработки проточной части турбинных и компрессорных лопаток на пятикоординатных станках с ЧПУ применяется традиционная схема крепления детали, когда лопатка консольно крепится за замок, а поджимается задним вращающимся центром в технологическую бобышку. При обработке детали с такой схемой крепления возникают погрешности при обработке, связанные с малой жёсткостью детали и приспособления. У места крепления лопатки по замку отклонения минимальные и находятся в пределах допуска, а у технологической бобышки отклонения наибольшие и имеют тенденцию увеличения к входным и выходным кромкам. Происходит скручивание лопатки под действием сил резания. Это приводит к тому, что приходится увеличивать припуска на фрезерных операциях для компенсации погрешностей фрезеровки на полировальных и слесарных операциях, что значительно увеличивает трудоёмкость изготовления лопаток. Предлагается на стадии проектирования управляющих программ разработать методику расчёта отклонений в зависимости от условий резания и места положения инструмента на поверхности лопатки. Величины этих отклонений ввести в сечения математической модели обрабатываемой лопатки при помощи матриц поворота с обратным знаком к рассчитанному. При этом создаётся технологическая математическая модель лопатки, учитывающая величины скручивания лопатки (угол α) при воздействии на неё сил резания. *[Рис.5 - Схема деформации сечения пера лопатки]*

Управляющие программы рассчитываются уже по новой технологической математической модели.

Этот метод позволит обрабатывать детали с минимальным припуском на дальнейшую обработку и позволит использовать заготовки с меньшим припуском (до 0,5-0,8мм вместо 1,5-2мм), что приведёт к увеличению коэффициента использования материала.

Реализация приведенных методов позволит получить геометрию лопатки в пределах заданного допуска уже на фрезерном станке с ЧПУ, при этом трудоёмкую ручную полировку можно будет заменить на автоматизированную при помощи профилировальных станков и установок для виброгалтовки (Rosier, Metabo).

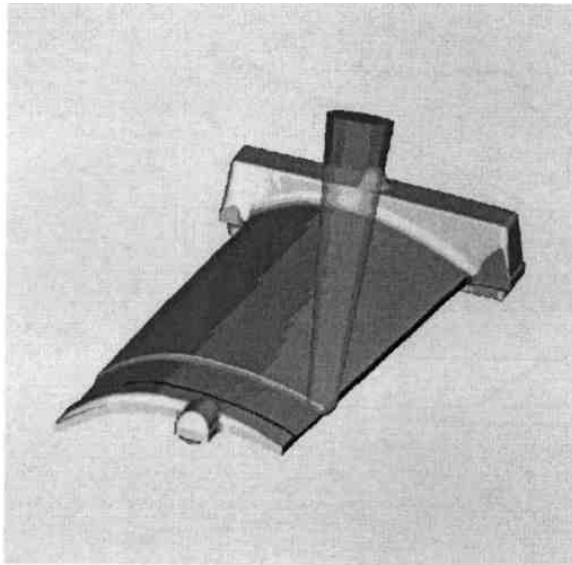


Рисунок 1 - *Обработка «спинки» лопатки.*

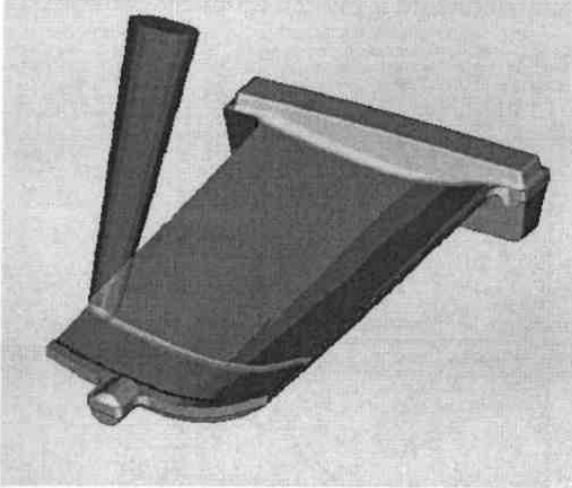


Рисунок 2 - *Обработка «корыта» лопатки*

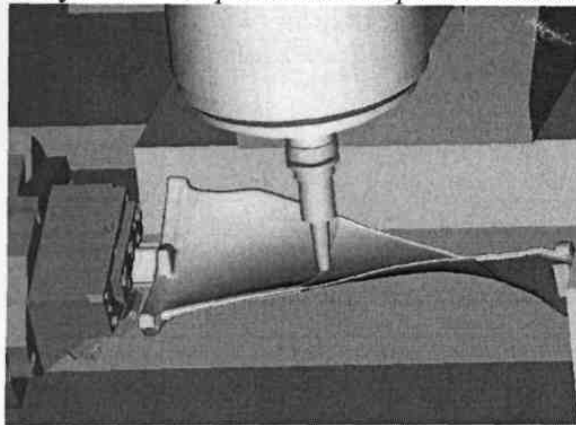


Рисунок 3 - *Фрезерная обработка лопатки «чулочным методом»*

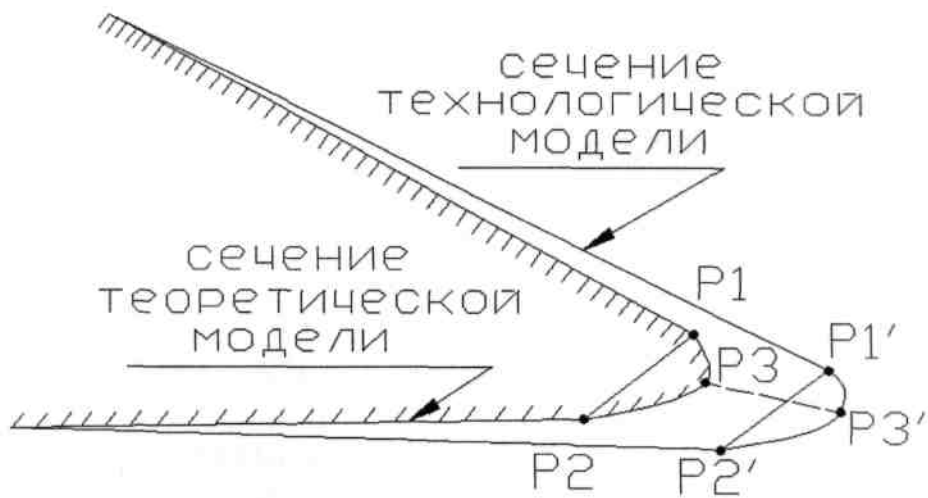


Рисунок 4 - Схема продления кромок. P и P' – соответствующие точки кромок математической и технологической моделей.

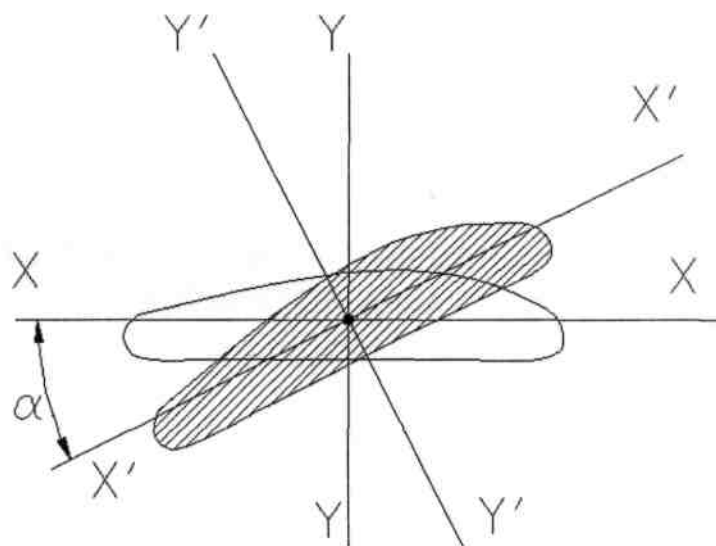
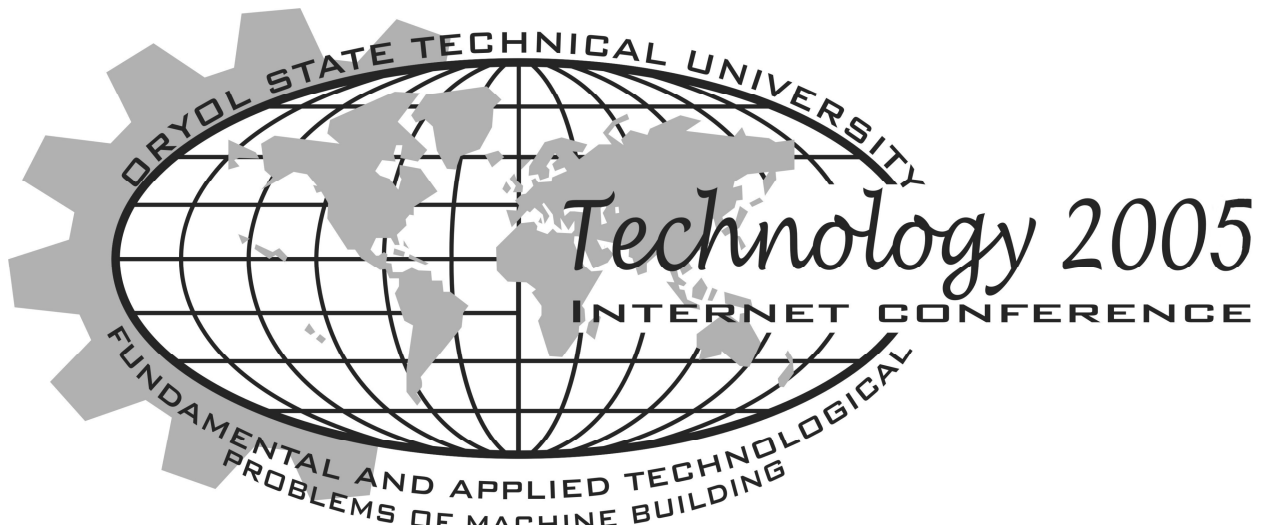


Рисунок 5 - Схема деформации сечения пера лопатки.



УДК 621.914.7+621.992.5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЧНОСТИ ВИНТОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРИ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКЕ ДИСКОВЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

С.И.Брусов, к.т.н.

Орловский Государственный Технический Университет

Орел, тел. (0862) 555524

DEFINITION OF ACCURACY OF HELIX SURFACES BY THE DISK TOOL MACHINING

S.I.Brusov, Doctor of Philosophy

Oryol State Technical University

Oryol, tel. (0862) 555524

In the report the definition method of helix surfaces accuracy by the disk tool machining is submitted. The method is based on the analysis of known kinematics and dynamics of cutting process and helix geometry

Большинство деталей, рабочие поверхности которых описаны винтовыми образующими, работают или в зацеплении с другими деталями, либо сами участвуют в их формообразовании, что обуславливает высокие требования к шероховатости и кинематической точности обработанной поверхности, к погрешностям профиля и производительности процесса.

Большое разнообразие профилей и параметров винтовых канавок деталей и изделий, значительное число используемых схем резания, а также отсутствие методик анализа процесса с выходом на параметры качества обработки и производительность осложняют выбор оптимального метода обработки конкретной винтовой поверхности и требуют проведения большого объема вычислений с целью определения режимов обработки, обеспечивающих выполнение точно-

стных требований.

На основе математического отображения схемы резания для обработки винтовой поверхности с использованием подходов дифференциальной геометрии и векторного анализа можно определить кинематические изменения переднего и заднего углов, угла наклона режущей кромки, а также толщину срезаемых слоев на всех участках режущих кромок в любой момент работы зуба инструмента при различных режимах обработки.

Составляющие силы резания при обработке винтовой поверхности, действующие на участок режущего лезвия в конкретный момент времени, определяются через удельные силы резания как функцию толщины срезаемого слоя и рабочих углов при этом толщина срезаемого слоя и кинематические изменения рабочих углов считаются постоянными по длине рассматриваемого участка [1].

Расчеты и графики составляющих силы резания приведены для случая двухпроходной обработки дисковой фрезой ротора ведущего трехвинтового насоса 3В16/2,5 с параметрами: профиль боковых поверхностей винтовой канавки описан по укороченной эпициклоиде; число заходов $k = 2$; угол подъема винтовой поверхности $\omega = 0,7536$ рад, наружный диаметр $d_n = 55$ мм, внутренний диаметр $d_g = 33$ мм, шаг винтовой линии $P = 110$ мм; материал заготовки – сталь 18ХГТ, геометрические характеристики инструментов $\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 10^\circ$, частота вращения фрезы $n = 200$ об/мин, частота вращения заготовки $n_3 = 1$ об/мин. Профиль дисковой фрезы определен в соответствии с методикой, изложенной в [2].

Погрешности обработки обусловлены упругими отжатиями инструмента и детали, а также их динамическими прогибами.

Для случая фрезерования заготовок данного вида значительная доля в суммарной погрешности обработки обусловлена динамическими перемещениями сечения заготовки в точке приложения силы резания. Воздействие силы резания при обработке винтовой поверхности вызывает изгибные динамические деформации заготовки, изгибные деформации фрезерной оправки, а также упругие отжатия заготовки и оправки вследствие конечной жесткости опор. Отжатия опор резбобфрезерного станка определяются их жесткостью и величиной действующей силы резания.

Динамические прогибы заготовки определяются множеством параметров. Если возмущение представляет собой периодически повторяющиеся силовые воздействия, то такими характеристиками являются вид, продолжительность и частота воздействия, средний момент инерции и жесткость заготовки, соотношение частоты воздействия и частоты собственных колебаний заготовки [3].

Закон изменения силы резания за время работы одного зуба режущего инструмента определяется законом изменения площади срезаемого слоя, режимами резания, геометрией режущей части инструмента, а также свойствами обрабатываемого материала.

Таким образом, если закон изменения силы резания описать экспоненциальной зависимостью, характерной для обработки винтовой поверхности дисковой фрезой, охватывающей головкой и строгальным резцом .

$$P(\tau) = \begin{cases} 0 & \text{при } (k-1)T + \tau_0 \leq 0 < kT, \\ A\tau^{-b\tau} & \text{при } kT \leq \tau < kT + \tau_0; \end{cases}$$

то при нулевых начальных условиях поперечные перемещения заготовки в точке приложения силы резания равны

$$f(\tau) = \frac{P_{max} \exp\left(1 - \frac{\tau}{\tau_1}\right)}{m\tau_1 \left[(\omega_c^*)^2 + \left(\xi\omega_c - \frac{1}{\tau_1}\right)^2 \right]} \left[\tau - \frac{2\left(\xi\omega_c - \frac{1}{\tau_1}\right)}{(\omega_c^*)^2 + \left(\xi\omega_c - \frac{1}{\tau_1}\right)^2} \right],$$

где $A = P_{max} e / \tau_1$; $b = 1 / \tau_1$;

τ_0 – длительность реза зуба инструмента;

τ_1 – время нарастания силы резания;

ω_c – собственная частота колебаний заготовки;

m – приведенная масса заготовки;

ω_c^* – собственная частота заготовки с учетом демпфирования;

ξ – коэффициент демпфирования.

при силовой нагрузке, не сводимой к экспоненциальной зависимости, необходимо применять комбинации кусочно-линейных функций.

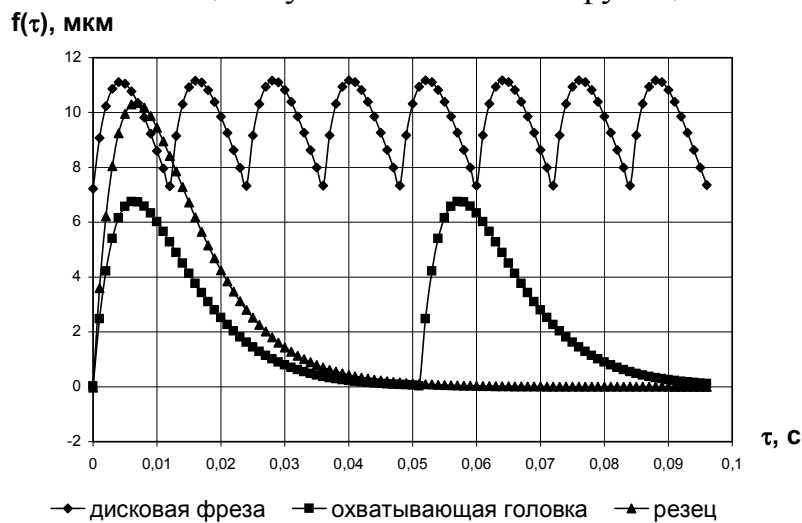


Рис. 1. Динамические перемещения заготовки при различных методах обработки винтовых поверхностей

На рис. 1 представлена зависимость деформаций заготовки с учетом динамической составляющей от размера инструмента, а на рис. 2 – в зависимости от метода обработки при одинаковых режимах). Увеличение подачи на зуб ведет к небольшому увеличению максимальных значений динамических деформаций, а уменьшение диаметра инструмента и, соответственно, увеличение угла контакта – к небольшому уменьшению пиковой величины деформации и значительному увеличению времени затухания колебаний заготовки.

При обработке винтовой поверхности дисковой фрезой и охватывающей головкой необходимо учитывать влияние предшествующих резов инструмента, так как возмущения от их действия не успевают затухнуть. При фрезеровании концевой фрезой и дисковой фрезой должно учитываться действие 3-4 предшествующих резов, а при фрезеровании охватывающей головкой – одного-двух.

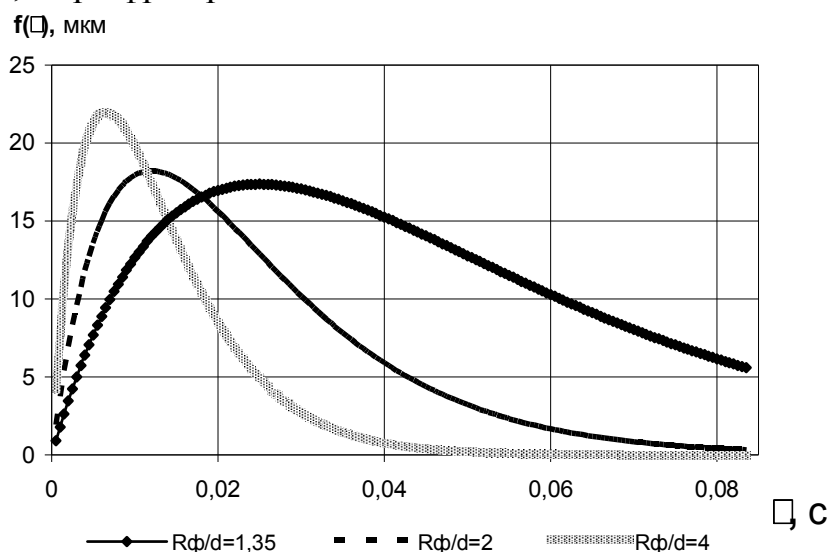


Рис. 2. Зависимость деформаций заготовки с учетом динамической составляющей от размеров дискового инструмента ($S_z=0,3$ мм/зуб; $z = 12$)

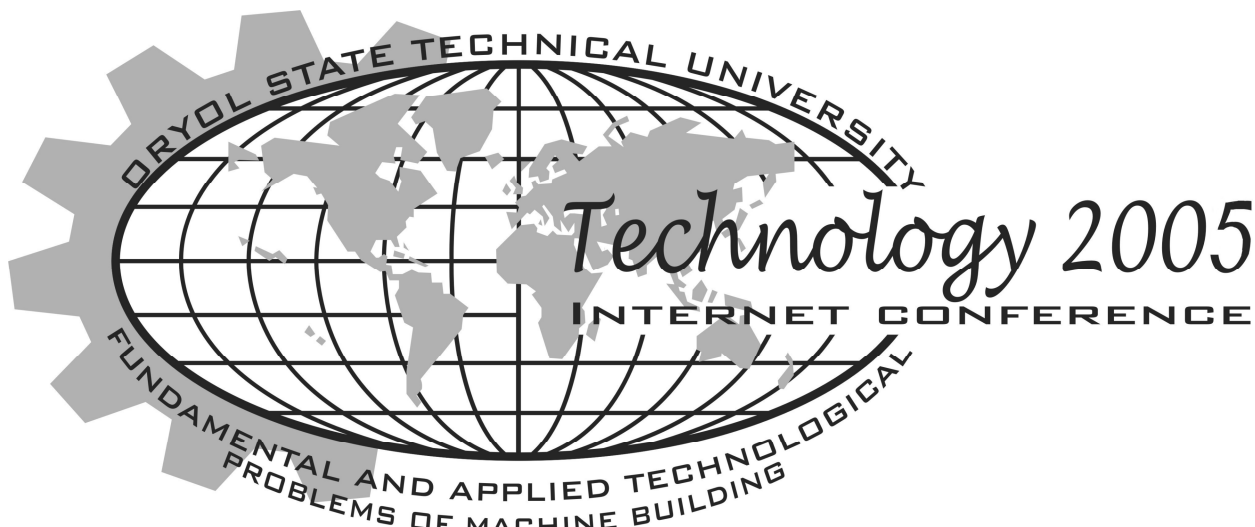
Таким образом установлено, что на погрешности обработки винтовых поверхностей значительное влияние оказывают динамические деформации технологической системы, величина которых определяется методом обработки, видом и длительностью силового воздействия. При единичном резе зуба инструмента динамические перемещения больше статических от 1,35 раза при обработке охватывающей головкой до 1,6 при строгании. Применение обработки охватывающей головкой позволяет снизить погрешность обработки на 25–30% по сравнению с обработкой дисковой фрезой при сопоставимых режимах и размерах инструмента.

Методика применима для исследования процесса лезвийной обработки винтовой поверхности с произвольными входными параметрами (профиль винтовой канавки, угол подъема винтовой линии, требуемое качество обработки, материал заготовки).

Литература

- 1 Брусов С.И., Тарапанов А.С. Управление процессами обработки винтовых поверхностей на основе фрактального анализа // Известия ОрелГТУ. Машиностроение и приборостроение. Орел: ОрелГТУ, 2000. №4. С. 160 – 167
- 2 Лашнев С.И. Профилирование инструмента для обработки винтовых поверхностей. – М.: Машиностроение, 1965. – 152 с.
- 3 Брусов С.И., Долотов А.М., Тарапанов А.С. Повышение качества винтовых

насосов за счет выбора оптимального метода обработки // Фундаментальные и прикладные проблемы технологии машиностроения – Technology – 2001. – Тр. междунар. науч.-техн. конф.– Орел: ОрелГТУ, 2001. С. 63–69



УДК 621.9

**СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ КОНСТАНТ
УРАВНЕНИЯ ПОВЕДЕНИЯ КОНСОЛЬНОЙ ЧАСТИ ИНСТРУ-
МЕНТА ПРИ ПРЕРЫВИСТОМ РЕЗАНИИ**

А.А. Жирков, к.т.н; А.В. Катунин, к.т.н., доц.
(Орловский государственный технический университет)
Орёл, тел. (4862) 555524, fax (4862) 416684

**WAY OF THE DETERMINATION OF THE DYNAMIC CON-
STANTS OF THE EQUATION OF THE BEHAVIOUR OF THE CON-
SOLE PART OF INSTRUMENT UNDER INTERMITTENT CUTTING**

A.A. Zhirkov, A.V.; Katunin, Doc.
Oryol State Technical University
Oryol, tel (+7 4862) 555524, fax (+7 4862) 416684

Original way of the determination of the dynamic constants of the console part of instrument is offered In this article.

Одним из главных факторов определяющим ресурс инструмента является сила действующая на режущую часть. Наиболее распространенным и удобным способом, позволяющим экспериментально получить информацию о действующей силе, является тензометрирование. При котором в процессе непрерывного резания измеряется деформация консольной части инструмента и в соответствии с законом Гука определяется действующая на инструмент сила.

Определение силы, возникающей в процессе прерывистого резания, значительно усложняется. При врезании инструмент, в результате соударения с за-

готовкой, совершает колебания. Причиной их появления является инерционность консольной части инструмента.

Послеударные колебания приводят к периодическому изменению силы взаимодействия режущей части инструмента и заготовки. По мнению многих исследователей изменение именно этой силы приводит к преждевременному разрушению режущей части.

Существующие подходы к определению действующей силы $F_z(t)$ по измеренной деформации Z основаны на решении известного уравнения динамики:

$$F_z(t) = M \cdot \frac{\partial^2 Z(t)}{\partial t^2} + c \cdot \frac{\partial Z(t)}{\partial t} + k \cdot Z(t). \quad (1)$$

Решение уравнения (1) сложности не вызывает, однако определение его динамических констант M - массы, c - демпфирующей способности и k - жесткости исследователи выполняют по-разному и, зачастую, прибегая к применению дополнительных измерительных средств.

Авторами статьи предлагается способ экспериментального определения динамических констант консольной части инструмента, который не требует использования дополнительного оборудования.

Коэффициент жесткости k находится в результате статической тарировки и рассчитывается по формуле:

$$k = \frac{F_z}{Z}, \quad (2)$$

где: F_z - статически прикладываемая известная сила к вершине режущей части;

Z - статическая деформация измеряемая индикатором в направлении действия силы F_z .

Константы M и c находятся в результате динамической тарировки, при которой по вершине инструмента наносится удар и с помощью тензометрирования регистрируется вызываемая динамическая деформация консольной части инструмента Z . Анализ фиксируемых свободно затухающие колебания (рис. 1), позволяет определить искомые константы.

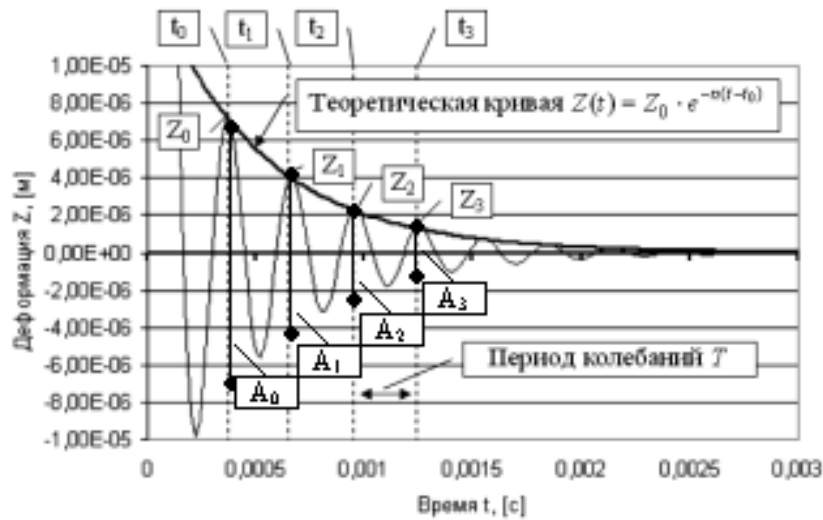


Рис. 1. – Временная диаграмма послепударных затухающих колебаний консольной части резца

Масса M связана с жесткостью k и частотой колебаний ω формулой:

$$M = \frac{k}{\omega^2} . \quad (3)$$

Частота ω определяется периодом колебаний T :

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot \frac{1}{T} , \quad (4)$$

который находится как среднее значение разности во времени между максимальными соседними пиковыми значениями деформации Z (рис. 1.):

$$T = \frac{\sum_0^m (t_i - t_{i-1})}{m} , \quad (5)$$

где: m - количество разностей $(t_i - t_{i-1})$.

Демпфирующая способность C находится из выражения:

$$c = 2 \cdot M \cdot n . \quad (6)$$

где: n - коэффициента сопротивления.

При затухании колебаний консольной части отношение двух соседних размахов колебаний $A \approx 2 \cdot Z$ (рис. 1) остается постоянным $\frac{A_i}{A_{i+1}} = const$, а их последовательность образует геометрическую прогрессию:

$$\frac{A_i}{A_{i+1}} = e^{n \cdot T} . \quad (7)$$

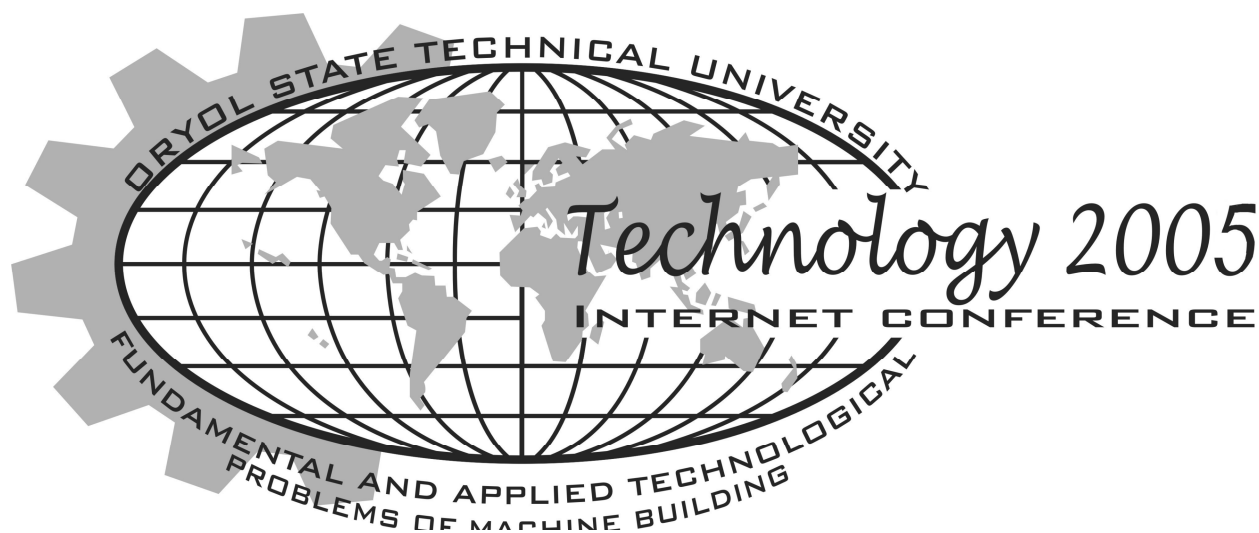
Преобразование выражения (7) дает формулу для определения коэффициента сопротивления n :

$$n = \frac{\ln\left(\frac{A_i}{A_{i+1}}\right)}{T} . \quad (8)$$

При верном нахождении коэффициента сопротивления n кривая деформации в моменты времени t_0, t_1, t_2, t_3 должна иметь общие точки с теоретической (рис. 1), определяемой зависимостью:

$$Z(t) = Z_0 \cdot e^{-n(t-t_0)} \quad (9)$$

Правильность получаемых динамических констант подтверждается совпадением экспериментальной кривой деформации при затухании колебаний и кривой полученной аналитическим решением уравнения (1).



УДК 621.1

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ПРИ ПРОТЯГИВАНИИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

В.Ф. Макаров, д.т.н., профессор, Н.Е. Чигодаев, Д.И. Токарев
Пермский Государственный Технический Университет
Пермь, тел.(342) 2198470, fax: (342) 2198295, E-mail:abrasives@mail.ru

THE TECHNOLOGICAL CONDITIONS OF FORMATION OF OPTIMUM QUALITY OF THE SUPERFICIAL LAYER AT THE ORTHOGONAL CUTTING OF DETAILS FROM SCALES AVIATION STEELS AND ALLOYS

V.F.Makarov, Prof., Dr., N.E. Chigodaev, D.I. Tokarev
Perm State Technical University
Perm, tel.(342) 2198470, fax: (342) 2198295, E-mail:abrasives@mail.ru

Results of research of orthogonal cutting of details from scales aviation steels and alloys on various speeds of cutting are presented. It is proved, that optimum conditions of orthogonal cutting are defined proceeding from the optimum temperature of cutting corresponding to temperature of a failure of plasticity for the given material. Thus the minimal values of intensity of deterioration of the tool are observed, optimum values of parameters of quality of a superficial layer and fatigue durability of details are formed. The problem of optimization of process of orthogonal cutting is solved by use of the developed method of high-speed orthogonal cutting, optimization of its parameters and the tool.

На Пермском моторостроительном заводе проводилось и сегодня продолжается научное и практическое всестороннее рассмотрение и решение проблемы повышения производительности, качества, обработки, стойкости инст-

румента, создание нового высокопроизводительного оборудования для протягивания деталей из труднообрабатываемых материалов на основе использования принципов физической оптимизации процесса резания.

Протягивание применяется на большинстве деталей газотурбинных двигателей (ГТД) как наиболее производительный, а часто, как единственно возможный процесс обработки. Очень часто проблемы обрабатываемости протягиванием возникают при обработке наиболее массовых и тяжело нагруженных в условиях эксплуатации сложнофасонных весьма точных замковых соединений дисков и лопаток турбин и компрессоров ГТД из различных жаропрочных сталей и сплавов. На заводе в лабораторных и производственных условиях проведены комплексные экспериментально-теоретические исследования процесса протягивания деталей из 30 марок различных жаропрочных сталей и сплавов в широком диапазоне скоростей резания 1,5-60 м/мин с применением как быстрорежущих, так и специально разработанных твердосплавных протяжек на модернизированных и скоростных протяжных станках.

На основании выполненных исследований практически решена проблема оптимизации процесса протягивания путем использования разработанного метода скоростного протягивания, оптимизации его параметров и инструмента. Теоретически и практически доказано, что применительно к условиям прерывистой многолезвийной обработки протягиванием жаропрочных сталей и сплавов, имеющей ярко выраженную статистическую природу, существует такое термомеханическое состояние зоны резания каждого режущего элемента протяжки, характеризуемое некоторой температурой резания, называемой оптимальной, при которой наблюдаются наиболее благоприятные условия формирования требуемых параметров качества обработанной поверхности и минимальные значения интенсивности износа инструмента. Разработаны обобщенные аналитические и экспериментальные математические модели расчета оптимальных режимов резания при протягивании гаммы труднообрабатываемых сталей и сплавов, применяемых в производстве газотурбинных двигателей [1].

В результате доказано и подтверждено многолетней практикой, что оптимальные скорости резания при протягивании должны находиться в диапазоне скоростей резания от 20 до 40 м/мин и более для различных групп труднообрабатываемых сталей и сплавов.

Разработан ускоренный способ назначения оптимальной скорости протягивания на основе зависимостей, полученных при точении того же обрабатываемого материала и впервые доказан факт совпадения оптимальных температур резания при протягивании и при точении.

Проведена оценка влияния режимов резания и геометрии протяжек на основные параметры качества поверхностного слоя и усталостную прочность обработанных деталей и замковых соединений в целом. Доказано, что оптимизация процесса протягивания улучшает качество обработки и повышает усталостную прочность протянутых деталей

Анализ результатов исследования изменения пластичности δ , ψ жаропрочного сплава ЭИ787ВД от температуры механических испытаний T (Рис.1) и результатов исследования изменения интенсивности износа протяжек $h_{озл}$ и

температуры резания T от скорости резания V и подачи на зуб Sz (Рис.2) показал, что установленное ранее совпадение температуры провала пластичности $T_{пп}$ с оптимальной температурой резания T_0 для ряда материалов при различных видах лезвийной обработки [2] подтвердилось и при протягивании жаропрочных сталей, титановых сплавов и жаропрочных сплавов на никелевой и железоникелевой основах [1]. Это позволяет объяснить экстремальный характер зависимости износа зубьев от скорости резания $h_{озл} = f(v)$ при протягивании с физической точки зрения соответствующим изменением пластических свойств обрабатываемых материалов при повышении температуры резания.

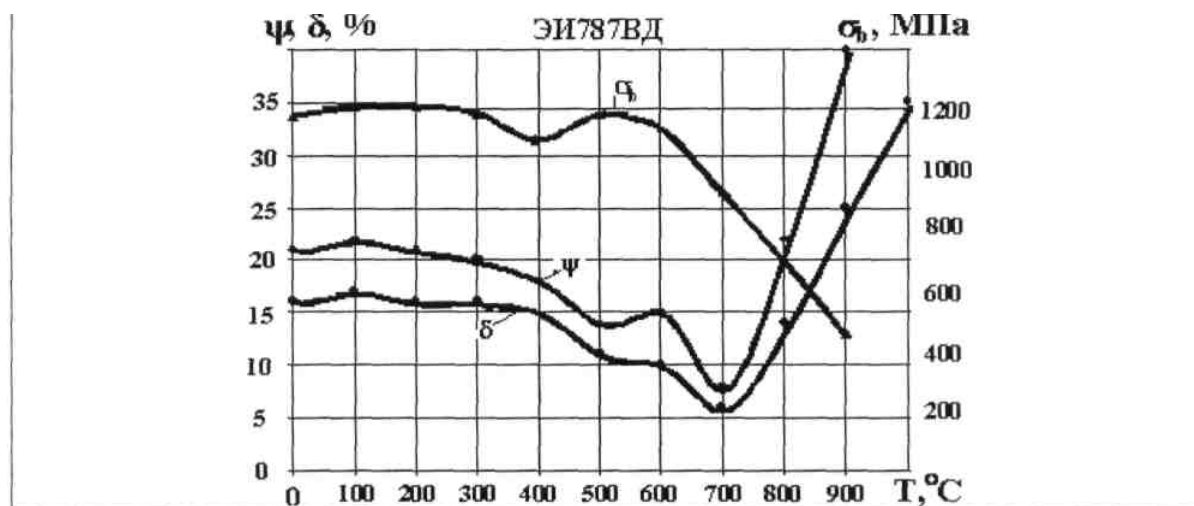


Рис.1. Влияние температуры механических испытаний T на прочностные σ_b и пластические (δ, ψ) свойства жаропрочного сплава ЭИ787ВД.

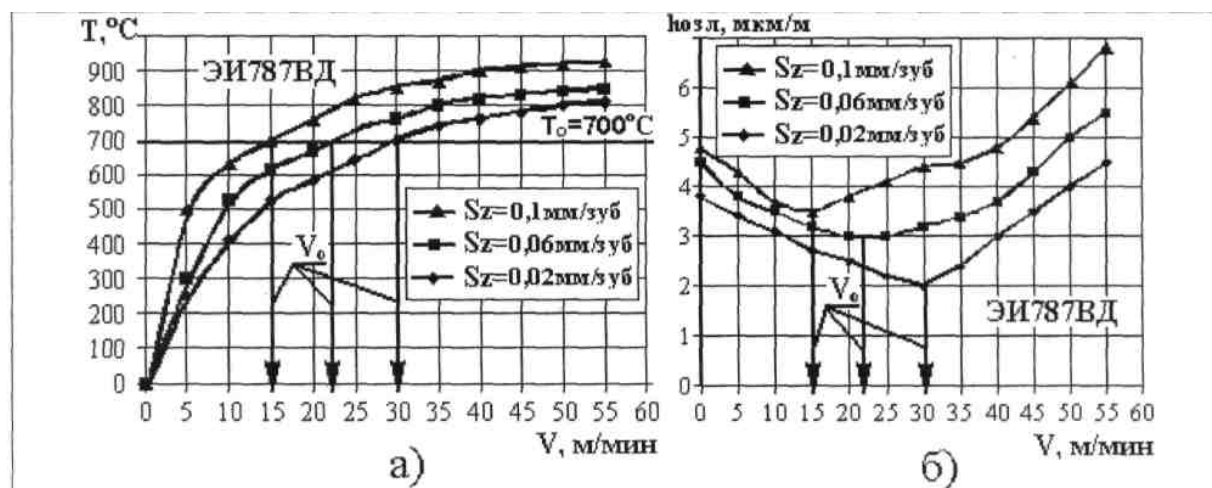


Рис.2. Влияние скорости резания V на изменение температуры резания T (а) и интенсивность износа протяжек $h_{озл}$ (б) при протягивании жаропрочного сплава ЭИ787ВД с различными подачами на зуб Sz .

Установлено, что у каждого обрабатываемого материала минимум на кривых интенсивности износа зубьев протяжки $h_{озл} = f(v)$ для разных значений подъема на зуб Sz наблюдается при различных оптимальных скоростях резания, которым соответствует одна и та же оптимальная температура контакта (Рис.2). При протягивании жаропрочного сплава ЭИ787ВД с подачами 0,02; 0,06; 0,1

мм/зуб минимумы интенсивности износа протяжек $h_{озл}$ имеют место при скоростях соответственно 30; 22; 15 м/мин при одной и той же оптимальной температуре резания $T_o=700^\circ\text{C}$. При протягивании сплава ЭИ437БУВ на этих подачах, оптимальным скоростям резания 35; 28; 25 м/мин соответствует $T_o=720^\circ\text{C}$. При протягивании сплава ЭП109ВД на этих подачах, оптимальным скоростям резания 20; 15; 12 м/мин соответствует $T_o=820^\circ\text{C}$.

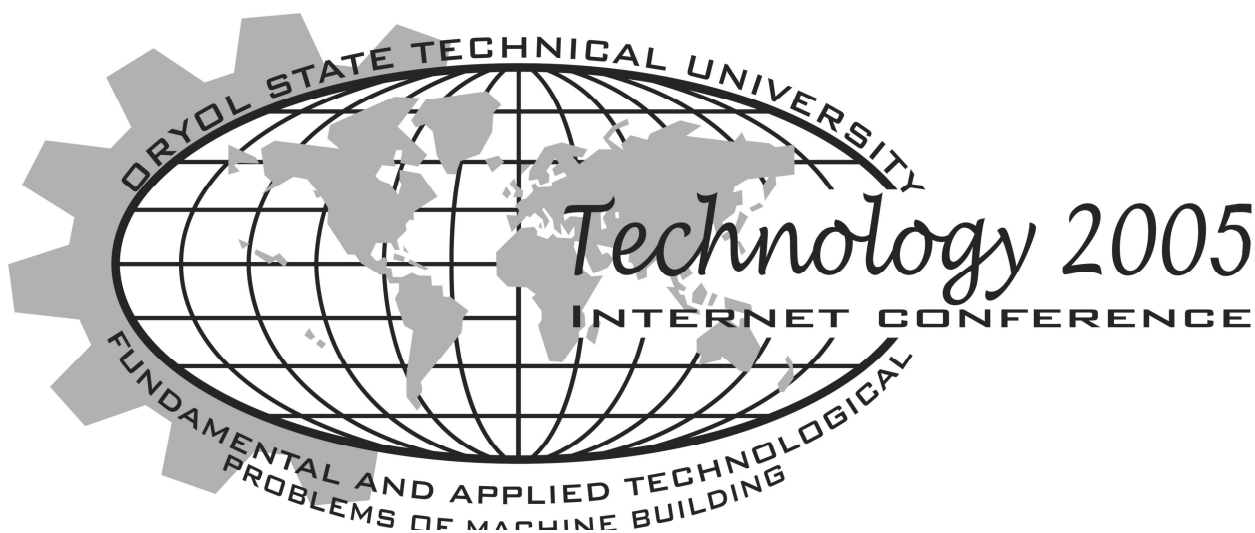
Важно отметить, что при протягивании многосекционным блоком протяжек, по мере продвижения блока и соответствующего перехода от черновых секций к чистовым, с уменьшением величины подачи на зуб Sz скорость протягивания необходимо увеличивать до оптимальных величин, а не уменьшать, как это рекомендовалось ранее. В результате производительность протягивания и стойкость протяжек повышается в несколько раз.

Применение скоростного протягивания способствует повышению усталостной прочности замковых соединений деталей ГТД по сравнению с низкоскоростной обработкой. При протягивании пазов в кольцах НА из стали ЭИ962 и титанового сплава ОТ-4 усталостная прочность повышается на 8-10%, а при протягивании пазов "ласточкин хвост" в дисках компрессоров из титановых сплавов ВТЗ-1 и ВТ18У увеличение усталостной прочности составляет более 60% по сравнению низкоскоростной обработкой. При протягивании жаропрочных деформируемых и литейных сплавов повышение усталостной прочности с увеличением скорости резания происходит в меньшей степени [1].

Проведение процесса протягивания на более интенсивных режимах резания при температурах контакта, соответствующих температурам провала пластичности, позволяет существенно снизить интенсивность износа протяжек, уменьшить силы резания и деформацию поверхностного слоя, улучшить процесс стружкообразования и тем самым способствовать получению более высоких и стабильных параметров качества поверхностного слоя, повышению усталостной прочности, надежности и ресурса деталей ГТД [1].

Список литературы:

1. Макаров В.Ф. Интенсификация процесса протягивания труднообрабатываемых материалов. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Перм.гос.техн.ун-т. Пермь, 1998.
2. Макаров А.Д. Оптимизация процессов резания. -М.: Машиностроение, -1976.



УДК 621.914

**МНОГОЗАХОДНЫЕ СБОРНЫЕ ЧЕРВЯЧНЫЕ ФРЕЗЫ
УМЕНЬШЕННОГО ДИАМЕТРА**

Г.А. Михайлов, к.т.н., доц., В.И. Сотников, к.т.н., доц.,
А.М. Гаврилин, к.т.н., доц., Иножарский В.В.

Орловский государственный технический университет
Россия, Орел, тел.: (0862)419845, факс: (0862)416684, E-mail: tmsi@ostu.ru

**IT IS A LOT OF CALLS MODULAR WORM MILLS
THE REDUCED DIAMETER**

G.A. Michailov, Ass. Prof., V.I. Sotnikov, Ass. Prof.,
A.M. Gavrilin, Ass. Prof., Inozharskij V.V.
Oryol State Technical University

Russia, Oryol, tel.: (0862) 419845, fax: (0862) 416684, E-mail: tmsi@ostu.ru

Variants of designs the tooth the modular worm mills are submitted, allowing to increase productivity of process the tooth to cut and providing an opportunity of management the circuit of cutting of an allowance and in geometrical parameters of a cutting part the tooth.

Многозаходные червячные фрезы с большим количеством заходов обеспечивают увеличение производительности при нарезании зубчатых колес. Однако при использовании стандартных цельных многозаходных червячных фрез имеют место следующие особенности:

- увеличение числа заходов приводит к увеличению наружного диаметра фрезы, что увеличивает машинное время из-за большой длины участка врезания;
- увеличение крутящего момента на шпинделе зубофрезерного станка, требующее использования станков повышенной мощности;

- такие фрезы не позволяют управлять схемой срезания припуска, что сказывается на увеличении износа зубьев;
- нерациональные значения кинематических задних углов на режущих лезвиях снижают стойкость этих фрез;
- необходимость перетачивания по передней поверхности зубьев уменьшает срок службы зуборезного инструмента.

В ОрелГТУ разработаны, изготовлены и испытаны в лабораторных и производственных условиях многозаходные сборные червячные фрезы свободные от перечисленных недостатков.

На рис. 1 представлена пятизаходная червячная фреза модулем $m = 10$ мм. Наружный диаметр такой фрезы равен 186,8 мм. Для сравнения червячная пяти заходная фреза стандартной цельной конструкции модуля $m = 10$ мм имеет наружный диаметр 430 мм.

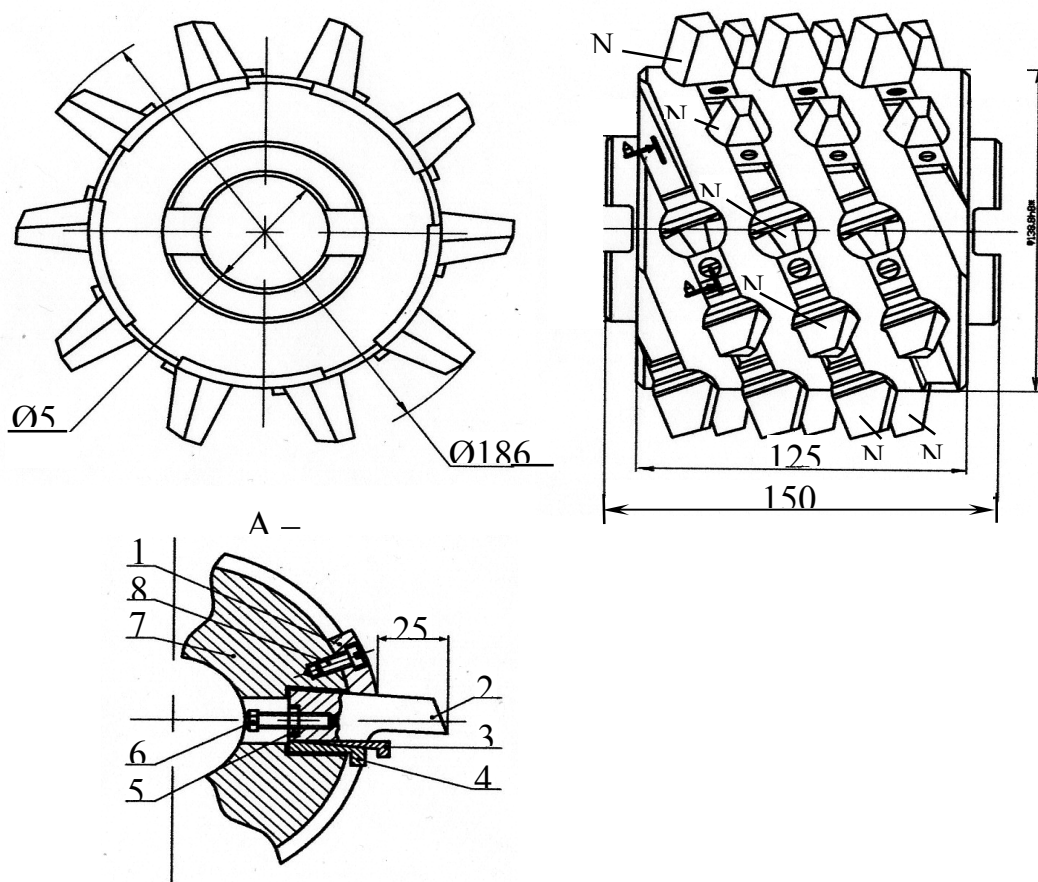


Рис. 1. Пятизаходная червячная фреза модуля $m = 10$ мм уменьшенного диаметра

Фреза состоит из корпуса 7, в котором с помощью клиньев 3 и 4 крепятся тридцать ножей 2, выполненных с цилиндрической державочной частью. Ножи по мере переточки по задним поверхностям можно регулировать по высоте с помощью винта 6, опирающегося на оправку (на рис. 1 оправка не показана). Контргайка 5 служит для фиксации винта 6. Ориентация ножей 2 относительно оси осуществляется с помощью шпонок 1. Раскрепление ножей фрезы производится перемещением клина 4 к оси инструмента.

На рис. 1 показаны номера ножей от N1 до N6 одного захода. В этой же последовательности от N1 до N6 ножи вступают в контакт с заготовкой колеса. В каждой радиальной плоскости корпуса фрезы, проходящей через оси отверстий под ножи, расположено по пять ножей, имеющих одинаковую конфигурацию (профиль). Но все шесть ножей, расположенные в различных радиальных плоскостях корпуса фрезы, имеют различный профиль.

Каждая боковая режущая кромка ножа выполнена прямолинейной и касается производящей поверхности фрезы. За счет выбора положения режущих кромок ножей, в том числе и вершинных, можно управлять схемой срезания припуска и схемой профилирования зубьев колеса. Такая червячная фреза относится к инструментам определенного положения.

Цилиндрическая державка ножа фрезы позволяет поворачивать его вокруг оси, что обеспечивает возможность управлять величиной рабочих углов режущего клина, создавая тем самым рациональные условия резания.

При разработке конструкции фрезы использовались различные варианты крепления ножей и их расположения в корпусе. Наиболее рациональным вариантом оказался вариант, при котором ось ножа располагается в радиальной плоскости корпуса фрезы. При таком расположении обеспечивается наибольшее число гнезд под ножи в корпусе.

Отверстия под ножи в корпусе фрезы обрабатывались на координатно-расточном станке. Заточка ножей по задней поверхности производилась в многоместном приспособлении на плоскошлифовальном станке с использованием синусной плиты.

На рис. 2 представлена одиннадцатизаходная червячная фреза уменьшенного диаметра модулем $m = 4,25$ мм. Фреза предназначена для обработки зубчатого венца маховика, имеющего 100 зубьев. В каждом заходе фрезы располагается по четыре ножа. Наружный диаметр фрезы равен 161,9 мм.

Фреза имеет сборную конструкцию. Ножи 1 в количестве 44 штук устанавливаются в радиальных пазах корпуса 2. Ножи могут регулироваться по высоте винтами 3. Винты 3 со сферической головкой опираются на втулку 6, соединенную с корпусом фрезы и выполненную с продольным шпоночным пазом для передачи крутящего момента.

Крепление ножей осуществляется с помощью винтов 4 и клиньев 5. При таком креплении ножи могут иметь выступающую режущую часть и затачиваться по передней поверхности.

При другом варианте конструкции крепления винты 3 позволяют выдвигать ножи из корпуса и затачивать их по задней поверхности в кассетном приспособлении.

В этой фрезе, как и в предыдущей, ножи, расположенные в одной радиальной плоскости корпуса, имеют одинаковый профиль режущей части. Четыре ножа каждого захода имеют различный профиль режущей части, который принимается исходя из равномерной их загрузки и требуемой схемы профилирования впадины зубчатого колеса.

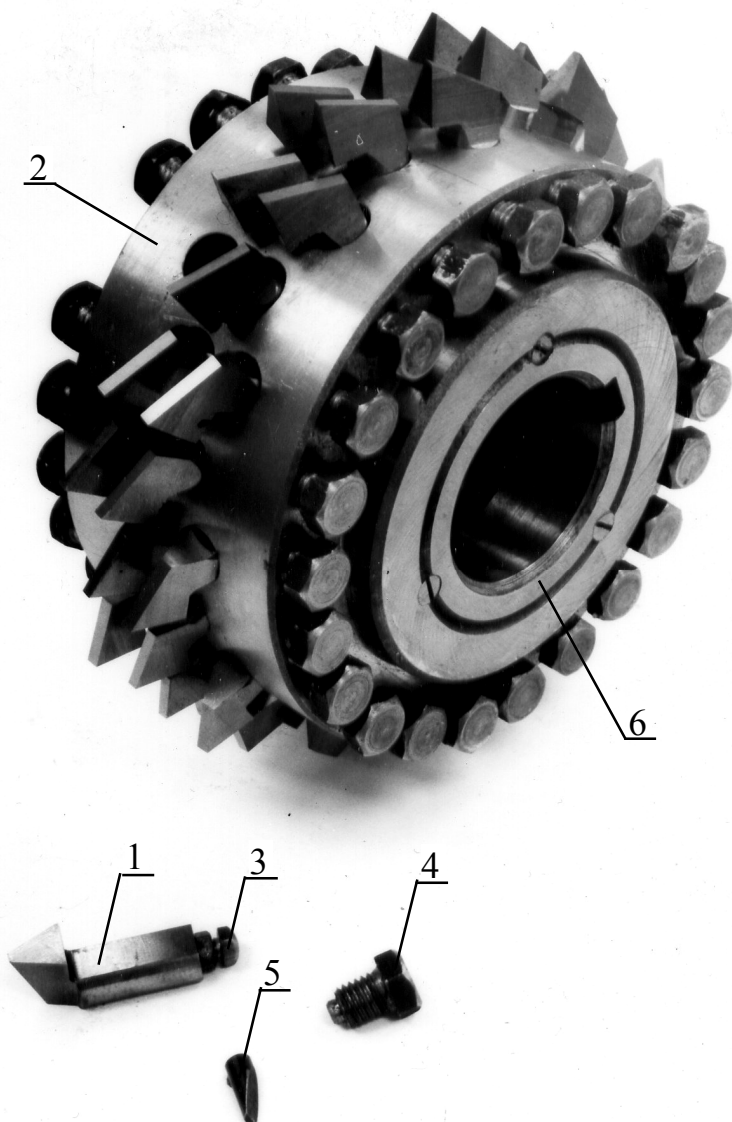


Рис. 2. Одиннадцатизаходная червячная фреза модуля $m = 4,25$ мм уменьшенного диаметра

Для изготовления и эксплуатации, представленных инструментов, разработаны методики расчета профиля ножей фрезы и определения конструктивных и геометрических параметров.

Испытания фрез показали их работоспособность, удобство в эксплуатации, а также более высокую производительность и стойкость по сравнению со стандартными многозаходными червячными фрезами.

ЛИТЕРАТУРА

Степанов Ю.С., Михайлов Г.А., Анохин О.Н. Определение размеров срезаемых слоев металла червячной фрезой. / Справочник. Инженерный журнал. 1999, №6. – С. 16-18.



**РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОТОБРАЖЕНИЯ СХЕМЫ РЕЗАНИЯ НЕКРУГЛЫХ
ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ИНСТРУМЕНТАМИ ЧЕРВЯЧНОГО ТИПА**

О.В. Полохин, к.т.н.
Орловский государственный технический университет
Орел, тел. (0862) 416733

**THE DETERMINE OF MATHEMATICAL REPRESENTATION OF CUTTING SCHEME BY
MILLING ELLIPTIC CENTROID GEARS**

O.V. Polokhin, Doctor of Philosophy.
Oryol State Technical University
Oryol, tel. (0862) 416733

Three dimensional mathematical representation of cutting scheme by milling elliptic centroid gears is suggested allowing to determine the position of cutting edge at every moment of worm milling

Некруглые зубчатые колеса как элементы силовых передач находят применение в различных машинах для получения неравномерного вращательного движения. Нарезание зубьев инструментами червячного типа является наиболее трудоемкой операцией изготовления некруглых колес, скрывающей большие резервы для повышения производительности обработки.

Это связано, в первую очередь, со спецификой обработки овального обода. Сила резания, а, следовательно, и нагрузка на станок в течение одного оборота детали может изменяться в 0,2 раза (на 20%) из-за существенного изменения активной длины режущих лезвий. Такой перепад составляющих силы резания объясняется тем, что при нарезании зубьев на участке центроиды овального колеса с большим радиусом кривизны, в работе участвует большее число зубьев червячной фрезы, то есть общая длина режущих лезвий, участвующих в работе значительно больше, чем при нарезании зубьев на участке с малым радиусом кривизны. Соответственно длине режущих лезвий, одновременно участвующих в работе, изменяется и величина силы резания. Применение более точных методов определения параметров процесса зубообработки некруглых колес позволяет выявить дополнительные возможности в повышении производительности или точности овальных венцов.

При определении зависимостей, отображающих процесс формообразования, было сделано следующее допущение: заготовка неподвижна, а начало ко-

ординат расположено в ее центре таким образом, чтобы ось OY совпадала с осью симметрии одной из впадин. При неподвижной заготовке все необходимые для формообразования впадины движения совершает инструмент. Обкат происходит по делительной окружности колеса без скольжения.

Были приняты следующие обозначения:

σ - угол между осью OY и линией, проходящей через середину зуба инструмента, обрабатывающего данную впадину колеса в любом его положении;

ψ - угол поворота инструмента относительно центра кривизны нарезаемого колеса;

φ - угол поворота фрезы в плоскости YZ ;

Δh - параметр режущей кромки.

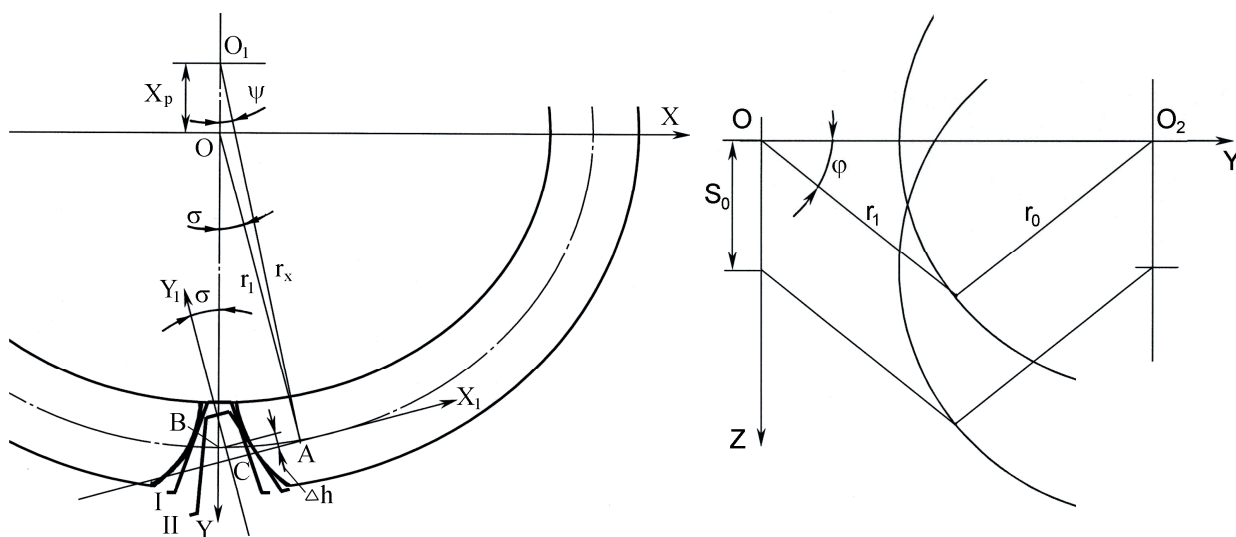
Математическое отображение кинематической схемы резания в общем виде можно представить следующим образом:

$$X = f_1(\varphi; \sigma; \Delta h)$$

$$Y = f_2(\varphi; \sigma; \Delta h)$$

$$Z = f_3(\varphi; \sigma; \Delta h)$$

Рассмотрим любой i -ый рез и определим для него координаты профиля зуба инструмента. Пусть в реальном процессе зуб инструмента перемещается из положения I в положение II (рис. 1, а). При этом обрабатываемое колесо, исходя из особенности кинематики процесса, должно повернуться на угол ψ относительно центра кривизны нарезаемого колеса и, кроме того, совершить поворот относительно своего центра. Суммарным углом поворота будет угол σ . Центр зуба переместится из точки В в точку С по траектории циклоиды. Учитывая, что инструмент катится без скольжения по делительному диаметру колеса, можно определить положение центра зуба колеса (точка С). Отрезок АС будет равен длине дуги АВ. Зная положение центра зуба можно определить координаты профиля. В плоскости YZ положение зуба инструмента будет определяться углом φ . При нахождении координат точек профиля зуба инструмента необходимо учитывать подачу инструмента вдоль оси YZ , в процессе работы центр вращения инструмента перемещается из точки O_2 вниз на величину S_0 (рис. 1, б).



а

б

Рис. 1. Схема расчета математического отображения процесса резания инструментами червячного типа

Математическое отображение схемы резания при обработке инструментами червячного типа будет иметь вид:

$$x = \frac{(r_l \pm \Delta h) \sin(\sigma) - \left(r_l \sigma \pm \frac{\pi m}{4} \pm \Delta h \operatorname{tg}(\alpha_0) \right) \cos(\sigma)}{\cos(\varphi)};$$

$$y = \frac{(r_l \pm \Delta h) \cos(\sigma) + \left(r_l \sigma \pm \frac{\pi m}{4} \pm \Delta h \operatorname{tg}(\alpha_0) \right) \sin(\sigma)}{\cos(\varphi)}; \quad (1)$$

$$z = ((a_\omega - r_l) \pm \Delta h) \sin(\varphi) + S_0 \varphi,$$

a_ω – межцентровое расстояние между фрезой и заготовкой;

Верхние знаки относятся к выходной кромке, а нижние - к входной.

σ – угол поворота червячной фрезы относительно центра заготовки

$$\sigma = \operatorname{arctg} \left(\frac{r_x \sin \psi}{r_x \cos \psi - x_p} \right).$$

Радиус делительной окружности зубчатого колеса при повороте на угол ψ определяется по формуле:

$$r_l = \frac{r_x \cos \psi - x_p}{\cos \sigma}.$$

Предложенное математическое отображение позволяет произвести расчеты режущей части инструмента (производящей поверхности, режущих кромок) и параметров процесса резания [1] на основе использования элементов векторного анализа с привлечением численных методов. Численный анализ процессов резания включает определение рабочих углов инструмента и параметров срезаемого слоя.

На рис. 2 представлены положения зуба инструмента червячного типа, профилирующие впадину колеса, рассчитанные по формуле (1).

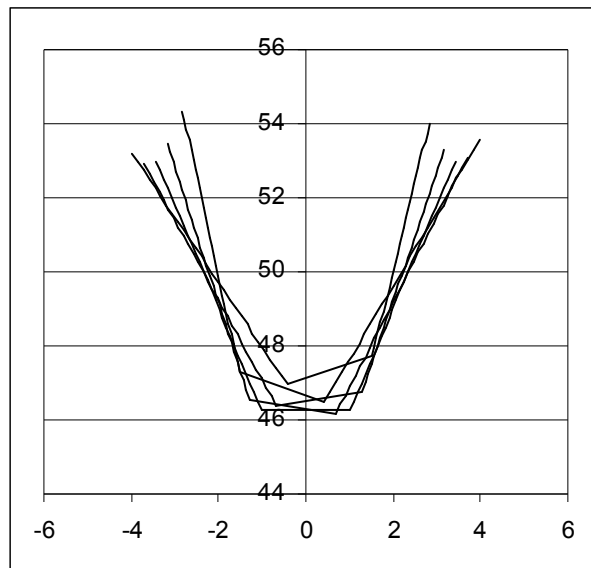
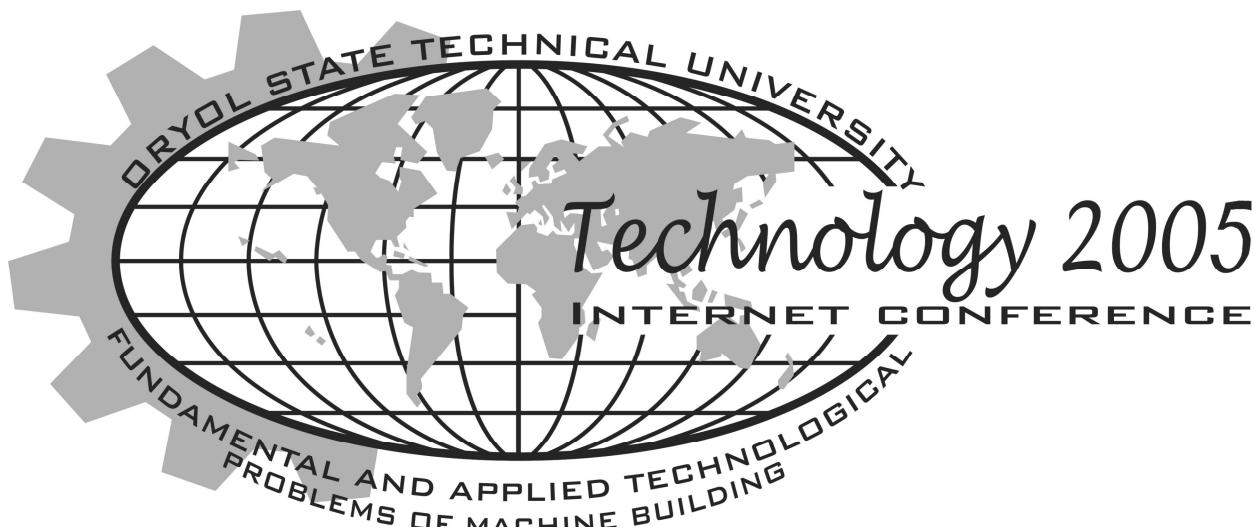


Рис. 2 Расчет положений зуба

Конечной целью разработки математического отображения является прогноз результатов процесса обработки и выработка рекомендаций по возможным воздействиям на его ход.

Литература

1. Полохин О.В., Тарапанов А.С., Харламов Г.А. Разработка и анализ математического отображения кинематической схемы резания зубьев инструментами червячного типа// Справочник. Инженерный журнал, 2000. – № 8. С. 11-14.



УДК 629.7.036.3-19:539.4

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОНТАКТНОЙ
ЖЕСТКОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

М.Н. Дмитриева, аспирант

Рыбинская государственная авиационная технологическая академия
им. П.А.Соловьева Рыбинск, тел. (4855)296-459, факс (4855)21-16-05,

E-mail: saturn@nposaturn.ru

**TECHNOLOGICAL MAINTENANCE OF CONTACT RIGIDITY OF SUR-
FACES OF DETAILS OF MACHINES**

M.N. Dmitrieva

Rybinsk State Academy of Aviation Technological Rybinsk, tel. (4855)296-459,
fax (4855)21-16-05, E-mail: [samm\(g\),npo-saturn.ru](mailto:samm(g),npo-saturn.ru)

Article is devoted to problems of technological maintenance of contact rigidity of details of machines. And also researches of existing dependences between characteristics of quality of surfaces of details and their contact rigidity.

Повышение качества и надежности машиностроительной продукции является основной задачей современных исследований в области технологии машиностроения. Непрерывно возрастающие требования к качеству выпускаемых машин связаны с необходимостью повышения их точности и надежности, производительности и коэффициента полезного действия, которые в значительной мере определяются эксплуатационными свойствами их деталей и узлов, среди которых немаловажное значение имеет контактная жесткость.

Контактная жесткость определяет способность поверхностных слоев деталей, находящихся в контакте, сопротивляться действию сил, стремящихся их деформировать. Контактные перемещения составляют значительную часть в балансе упругих перемещений машин и их узлов, до 90%.

Контактная жесткость сказывается на точности работы машин, на точности установки деталей в приспособлениях, на станках, на точности обработки и сборки деталей, т. е. на точности и качестве работы изделий в машиностроении.

Контактная жесткость в значительной степени зависит от геометрических характеристик качества поверхности (макроотклонения, волнистости, шероховатости) и физико-механических свойств поверхностного слоя (микротвердости, остаточных напряжений) сопрягаемых деталей машин. В свою очередь качество поверхности и поверхностного слоя деталей машин зависит от методов и режимов их обработки, т. е. от технологии изготовления деталей.

Проблемам технологического обеспечения характеристик качества поверхностей деталей, определяющих их контактную жесткость, посвящены работы довольно большого числа ученых, среди которых Э.В.Рыжов, А.Г.Суслов, Н.Б.Демкин и многие другие.

Для установления взаимосвязи характеристик качества поверхностей деталей и контактной жесткости проводились исследования образцов из следующих материалов: серого чугуна СЧ 21-40, сталей 20Х, 40Х и 12ХНЗА. Обработка исследуемых поверхностей образцов из стали 20Х и 12ХНЗА производилась периферийным и торцовым шлифованием кругами из электрокорунда и эльбора с $R_a=0,16-2,5$, из чугуна СЧ 21-40 и стали 40Х строганием, фрезерованием, шлифованием, накатыванием и вибронакатыванием с $R_a=0,25-2,0$.

Контактные перемещения образцов измерялись как при взаимно параллельном, так и при взаимно перпендикулярном расположении следов обработки на сопрягаемых поверхностях. Цикл нагрузки и разгрузки образцов без их взаимного смещения повторялся десятикратно [Рыжов Э.В. и др. Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин/ Э.В.Рыжов, А.Г.Суслов, В.П.Федоров, - М: Машиностроение, 1979. - 176 с, ил. - (Б-ка технолога)].

В результате проведенных исследований были получены следующие уравнения:

а) для плоских соединений из чугуна СЧ21-40 и стали 40Х

$$J_{cp} = k_0 \cdot \frac{H_{\mu_{нов}}^{k_5} \cdot \rho_n^{k_3} \cdot \rho_{np}^{k_4}}{R_p^{k_1} \cdot W_p^{k_2}}$$

где J_{cp} - коэффициент средней контактной жесткости;

$H_{\mu_{нов}}$ - поверхностная микротвердость;

$\rho_{np}; \rho_n$ - продольный и поперечный радиусы вершин микронеровностей;

W_p - высота сглаживания профиля волнистости;

R_p - геометрический параметр шероховатости поверхности (расстояние от линии выступов до средней линии);

б) для плоских соединений из сталей 20Х и 12ХНЗА-

$$j_{cp} = b_0 + b_1 \cdot R_p + b_2 \cdot W_p + b_3 \cdot \rho_n + b_4 \cdot \rho_{np}.$$

Значения коэффициентов $k_0 - k_5$ и $b_0 - b_4$ для различных случаев контактирования плоских поверхностей (взаимно-параллельное и взаимно-перпендикулярное расположение следов обработки) определены экспериментально и приведены в литературе. Но данные коэффициенты справедливы только для конкретных марок материалов, и не могут быть применены для определения коэффициента средней контактной жесткости деталей из материалов других марок.

При исследовании контактной жесткости цилиндрических соединений проводились испытания образцов-валов и втулок из стали 45 в состоянии поставки и термообработанных. Обработка исследуемых поверхностей образцов производилась точением и растачиванием резцами, оснащенными пластинками из твердого сплава. В результате исследований были получены следующие результаты:

а) при первом нагружении стыка

$$j_{cp} = 0,46 \cdot \frac{HRC_{вал}^{0,37} \cdot HRC_{вт}^{0,37} \cdot d^{0,07}}{R_{a_{вал}}^{0,2} \cdot R_{a_{вт}}^{0,2} \cdot \Delta^{0,1}}$$

где $R_{a_{вал}}^{0,2}$ и $R_{a_{вт}}^{0,2}$ - среднее арифметическое отклонение профиля шероховатости вала и втулки соответственно;

Δ - зазор в цилиндрическом соединении;

d - номинальный диаметр цилиндрического соединения;

$HRC_{вал}$ и $HRC_{вт}$ - твердость материала вала и втулки соответственно;

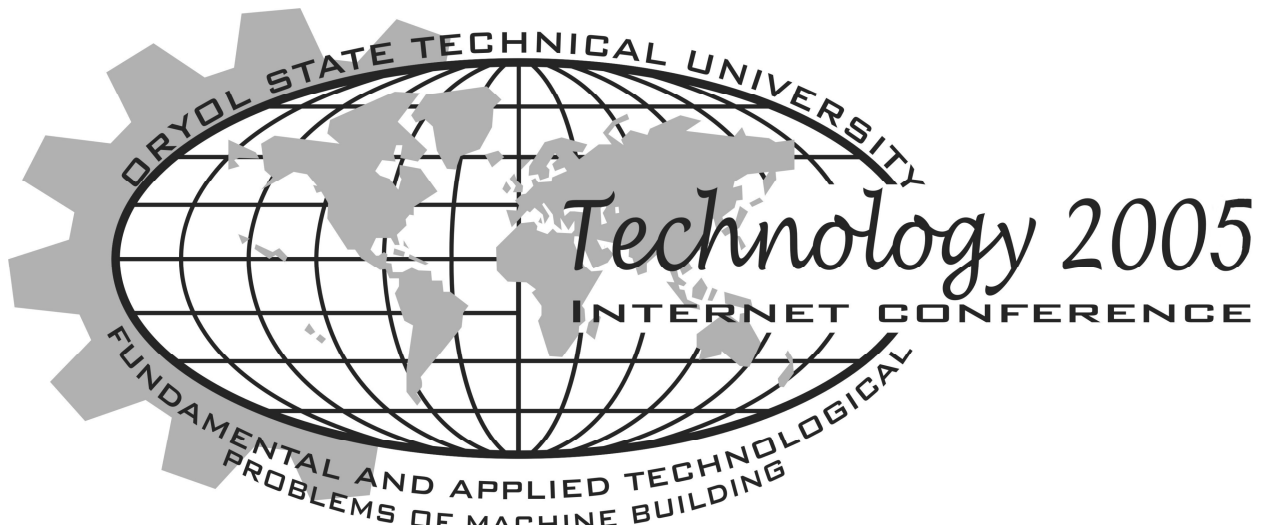
б) при повторном нагружении стыка

$$j_{cp} = \frac{d^{0,05}}{R_{a_{вал}}^{0,1} \cdot R_{a_{вт}}^{0,1} \cdot HRC_{вал}^{0,15} \cdot HRC_{вт}^{0,15}}$$

Данные эмпирические зависимости позволяют в комплексе оценить влияние диаметра, зазора, шероховатости и твердости вала втулки на контактную жесткость цилиндрических соединений. Степень этого влияния в значительной мере изменяется в зависимости от вида нагружения (первое или повторное). При первом нагружении повышение твердости существенно увеличивает коэффициент контактной жесткости, а при повторном нагружении приводит к его уменьшению.

Таким образом, все вышесказанное подтверждает, что контактная жесткость стыков определяется качеством сопрягаемых поверхностей, которое зависит от технологических методов их обработки. Но необходимо про-

должать исследования в области технологического обеспечения контактной жесткости поверхностей деталей машин, с целью отыскания теоретических зависимостей между контактной жесткостью, параметрами качества и режимами обработки поверхностей, которые можно было бы использовать для любых материалов с различными физико-механическими свойствами.



УДК 621.9

**ОРГАНИЗАЦИЯ БАЗЫ ДАННЫХ ОПЕРАТИВНО-
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ РЕМОНТ-
НОГО
ПРОИЗВОДСТВА**

А. А. Клепцов, к.т.н., доц.

Кузбасский государственный технический университет
Кемерово, тел.(3842) 583240, факс (3842) 583525 , E-mail: tms@kuzstu.ru

**ORGANIZING DATABASE FOR OPERATIVE MANUFACTURING PLAN-
NING REPAIR PRODUCTION**

A. A. Kleptsov, Ass. Prof., Cand. of sciences

Kuzbass State Technical University
Kemerovo, tel. (3842) 583240, fax (3842) 583525 , E-mail: tms@kuzstu.ru

The task for elaboration of database for operative manufacturing planning production under conditions of repara enterprise «Kuzbassenergосervice» of Kuzbass energy system is formulated in the article. The approach to elaborating database is described. Some results of use of the created database are adduced.

Основы современных информационных технологий составляют базы данных и системы управления базами данных, роль которых, как единого средства хранения, обработки и доступа к большим объемам информации

постоянно возрастает. При этом постоянное повышение объемов информации, хранимой в базе данных, влечет за собой требование увеличения производительности таких систем. Резко возрастает также в разнообразных применениях спрос на интеллектуальный доступ к информации. Это особенно проявляется при организации логической обработки информации в системах баз знаний, на основе которых создаются современные экспертные системы.

По заказу ремонтного предприятия «Кузбассэнергосервис» ОАО «Кузбассэнерго» был проведен цикл работ по повышению гибкости и эффективности ремонтного производства Кузбасской энергосистемы, ускорению сроков и улучшению качества выполнения заказов по ремонтному обслуживанию силового оборудования электростанций.

Объектом разработки явилась система технологической подготовки производства, оперативного планирования и учета производства, диспетчирования производства, а также система планирования снабжения и сбыта готовой продукции. Ремонтное производство Кузбасской энергосистемы представляет собой мелкосерийное многономенклатурное производство с непоточной, ограниченно групповой формой организации производства.

Оперативное планирование осложняется получением так называемых «срочных» заказов, срывающих текущий оперативный план, и, тем самым, снижающих эффективность производства.

Ядром разработки явилась база данных для оперативно-технологического планирования производства, содержащая информацию, необходимую для решения поставленных задач.

При проектировании структуры базы данных были определены сущности (объекты, явления) предметной области, которые нашли свое отражение в базе данных. Анализ предметной области был осуществлен на основании известных сведений о ней с учетом целей проектирования. В результате анализа создан проект базы данных.

Процесс проектирования базы данных явился творческим, хотя некоторые моменты формализованы. В отличие от общей схемы создания базы данных (рис. 1), где BDE – машина баз данных Borland, представляемая в виде набора библиотек, обеспечивающих доступ к базам данных, которая осуществляет роль связывающего моста между программой и базой данных, в данной разработке BDE была опущена, поскольку должна устанавливаться на каждом компьютере, который использует приложение для работы с базой данных.



Рис. 1 Общая схема создания баз данных

Поэтому часть функций BDE была осуществлена в самой программе, а часть просто не использовалась, что привело к изменению схемы создания базы данных (рис.2).



Рис. 2 Предлагаемая схема создания базы данных.

Изменение структуры базы данных привело к появлению ряда достоинств и недостатков. К достоинствам относится тот факт, что программа представлена в единственном запускаемом файле, не требующем установки дополнительных библиотек. Данное изменение привело к уменьшению требуемого объема памяти на жестком диске для установки программы базы данных. Недостатком представляется необходимость изменения объема программы, ее увеличения в связи с необходимостью взаимодействия между данными; хранение же самих данных осуществлено в виде простого текстового файла, что тоже весьма невыгодно, так как запись кода в текстовом файле неплотная. С другой стороны хранение данных в таком виде оставляет возможность легкого внесения изменений в структуры хранения, что в свою очередь приводит к простоте способа вывода при изменении форм данных.

База данных была реализована на языке визуального программирования Delphi 6 в среде Windows XP. Программа представлена в виде отдельного приложения Windows XP, поэтому работоспособна на любом компьютере, поддерживающем Office Windows XP.

Данный выбор визуального языка программирования Delphi был сделан вследствие возможности создания отдельного приложения, не требующего установки дополнительных программ, как это было бы реализовано на СУБД

Microsoft Access, в среде программирования FoxPro и других подобных программах.

Программа обеспечивает выполнение следующих операций:

- удобный ввод данных;
- поиск информации по одному из пяти признаков: по наименованию заказчиков; по виду и наименованию изделия; по заводскому номеру чертежа; по дате заказа; по заводскому номеру (коду) заказа;
- просмотр следующей информации по заказу: наименование заказчика; наименование и вид изделия; заводской номер чертежа; дата заказа и дата планируемого или фактического выполнения; заводской номер (код) заказа; технологический процесс сборки изделия с указанием трудоемкости по операциям; технологические процессы механической обработки деталей, входящих в изделие, с указанием трудоемкости по операциям; спецификация материалов на заказ с указанием вида, марки и количества материала;
- возможность корректировки указанной информации, внесение любых необходимых изменений;
- сохранение и расширение информации о заказах, добавление информации о вновь открываемых заказах.
- удаление заказа;
- вывод на печать данных о заказчике;
- вывод на печать списка материала на заказ;
- вывод на печать маршрутной карты технологического процесса сборки изделия и механической обработки деталей изделия;

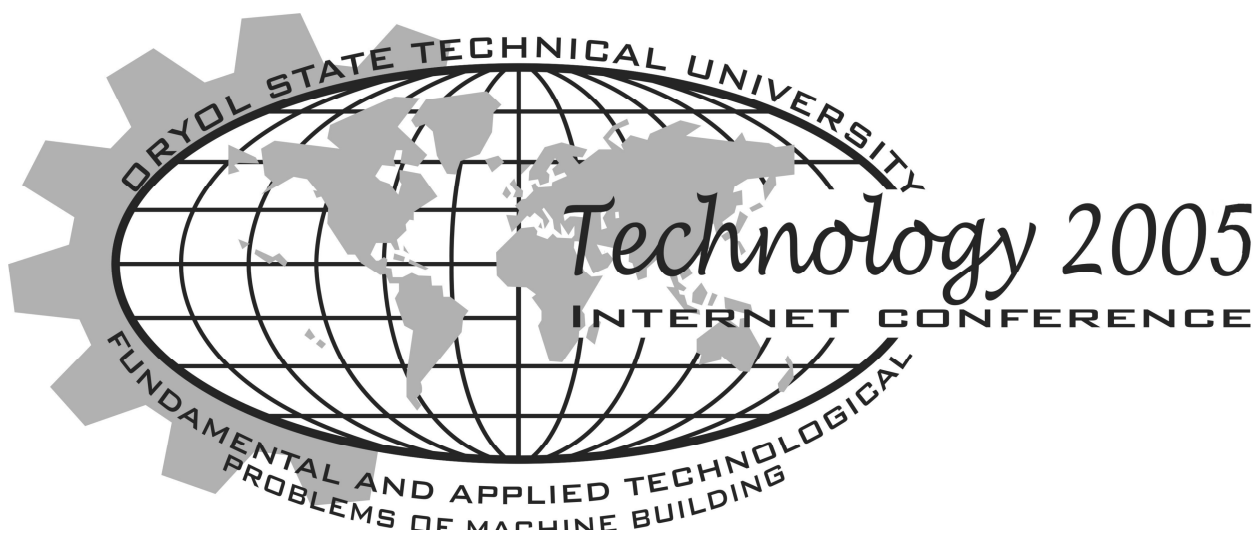
Поиск информации о заказах осуществляется по введенному признаку. Каждый из пяти признаков может быть набран вручную с клавиатуры, также предоставляется возможность выбора некоторых признаков, из уже введенных в программу.

Меню заказа содержит основные сведения о заказчике и некоторые общие сведения о самом заказе. Данная форма дает информацию о стадии производства, дате заказа, планируемом и действительном сроке выполнения заказа (если производство завершено), о том, какие изделия требуется изготовить и в каком количестве. При выводе на печать программа использует стандартные настройки принтера, т.е. те настройки, которые сделаны в самой операционной системе.

В форме «Материал» выводится список необходимого материала на выполнение заказа с указанием количества и стоимости по каждой позиции. Данный список представлен в виде лимитно-заборной карты на материал. Внешний вид был выполнен в соответствии с требованиями заказчика по предоставленной форме бланков, которые в течение существования и работы предприятия приобрели удобную для работы форму.

Форма «Технология», как уже было сказано, представлена в виде маршрутной карты технологического процесса. Внешний вид был выполнен в соответствии с требованиями заказчика по предоставленной форме бланков. Разработанная система внедрена и широко используется производственным отделом ремонтного предприятия «Кузбассэнергосервис» для оперативно-технологического планирования и учета производства. В настоящее время ведутся работы по включению базы данных в информационную систему

ОАО «Кузбассэнерго» с целью доступа к базе всех заинтересованных подразделений энергосистемы с целью повышения эффективности учета и планирования ремонтного производства.



УДК 621.9.02

ИССЛЕДОВАНИЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ППД

В. Ф. Макаров, д. т. н., проф., А. Х. Половинкин, аспирант
Пермский государственный технический университет
Пермь, тел. (342)2198470, факс (342)2198295, E-mail: tms@pstu.ac.ru

RESEARCHES OF QUALITY OF THE SUPERFICIAL LAYER RECEIVED BY THE METHOD ULTRASONIC SPD

V.F. Makarov, Prof., Dr., A. Ch. Polovinkin, aspirate.
Perm State Technical University Perm,
tel. (342)2198470, fax (342)2198295, E-mail: tms@pstu.ac.ru

The considered method of increasing quality surface layer of the details surface plasticity straining by means of ultrasound, providing given degree strengthening limit to toughness and wear capability surface layer.

Одной из основных задач машиностроительного производства является потребность в улучшении качества, повышении производительности, увеличение долговечности и надежности машин и изделий. Эти показатели в основном обеспечиваются на финишных операциях за счет управления качеством поверхностного слоя и достижения высоких эксплуатационных характеристик обрабатываемых деталей в завершающей стадии их изготовления. Достижение высоких эксплуатационных характеристик обрабатываемых деталей обеспечивается вследствие применения упрочняющей обработки. Одним из направлений развития способов упрочнения является создание возможности управления параметрами поверхностного слоя (глубиной, степенью и равномерностью упрочнения, а так же микрогеометрией поверхности) в широком диапазоне.

При ППД ультразвуковым инструментом повышаются такие механические характеристики, как прочность и твердость, что является следствием роста плотности дислокаций. В закаленных сталях к этому процессу добавляется переход остаточного аустенита в мартенсит, что так же значительно повышает их механические характеристики. В жаропрочных сталях и сплава возникают межфазные микронапряжения и, предположительно, происходит уплотнение структуры.

От обычного выглаживания метод ультразвукового ППД отличается тем, что инструмент совершает колебания с ультразвуковой частотой. В течение определенной части периода контакт между инструментом и обрабатываемой поверхностью отсутствует, а в момент контакта мгновенные напряжения существенно выше средних, что и приводит к значительно большей пластической деформации, чем при обычном выглаживании.

На ОАО «Пермский моторный завод» были проведены исследования влияния параметров режимов обработки БУФО на качество поверхностного слоя образцов, изготовленных из жаропрочных сплавов.

Экспериментально было установлено, что диапазон окружной скорости лежит в пределах 20 - 25 м/мин. При снижении окружной скорости улучшение качества поверхности является незначительным, кроме того, снижается производительность обработки, тогда как увеличение свыше 35 м/мин. приводит к возникновению вибраций. Так же на шероховатость обрабатываемой поверхности существенное влияние оказывает величина подачи инструмента. Из графика видно (рисунок 1), что диапазон подач лежит в пределах 0,05 - 0,5 мм/об, что объясняется необходимостью перекрытия следов инструмента.

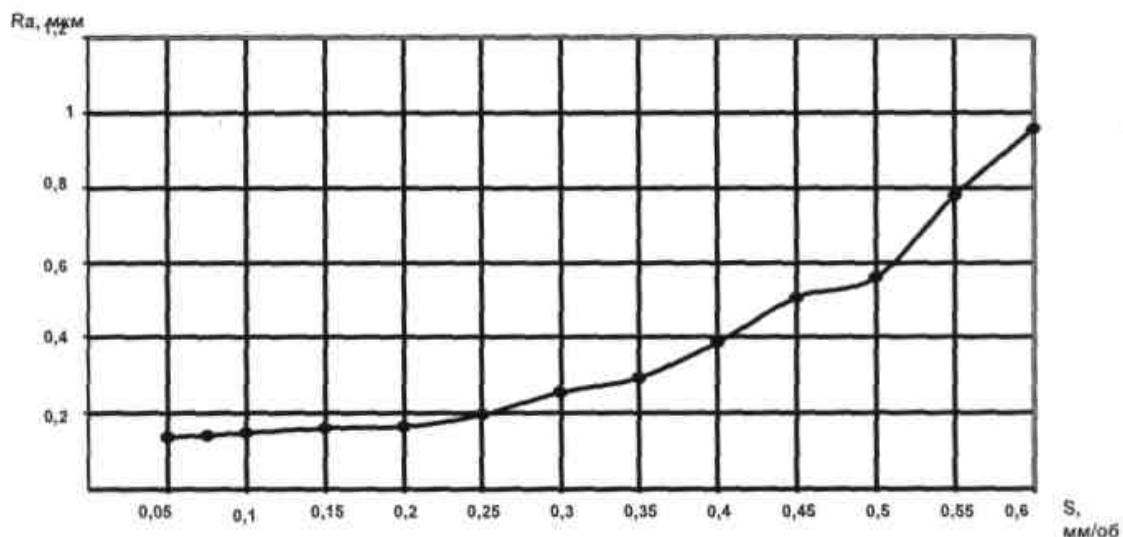


Рисунок 1. Характер зависимости шероховатости обрабатываемой поверхности от величины подачи ($Ra_{н} = 0,64$ мкм).

Обычно чем ниже величина подачи, тем меньше высота микронеровностей выглаживаемой поверхности. Однако при очень малых значениях подачи

качество поверхности ухудшается вследствие большой кратности приложения нагрузки (переупрочнения), кроме того, снижается производительность.

При ультразвуковой финишной обработке в поверхностном слое возникают сжимающие остаточные напряжения. Определение величин этих напряжений необходимо для того, чтобы оценить степень упрочнения поверхностного слоя и выявить, какой уровень внутренних напряжений является критическим, то есть при каких напряжениях происходит усталостное разрушение поверхностного слоя обрабатываемой детали. Как показали исследования, глубина упрочненного слоя составляет 0,2 - 0,25 мм (рисунок 2).

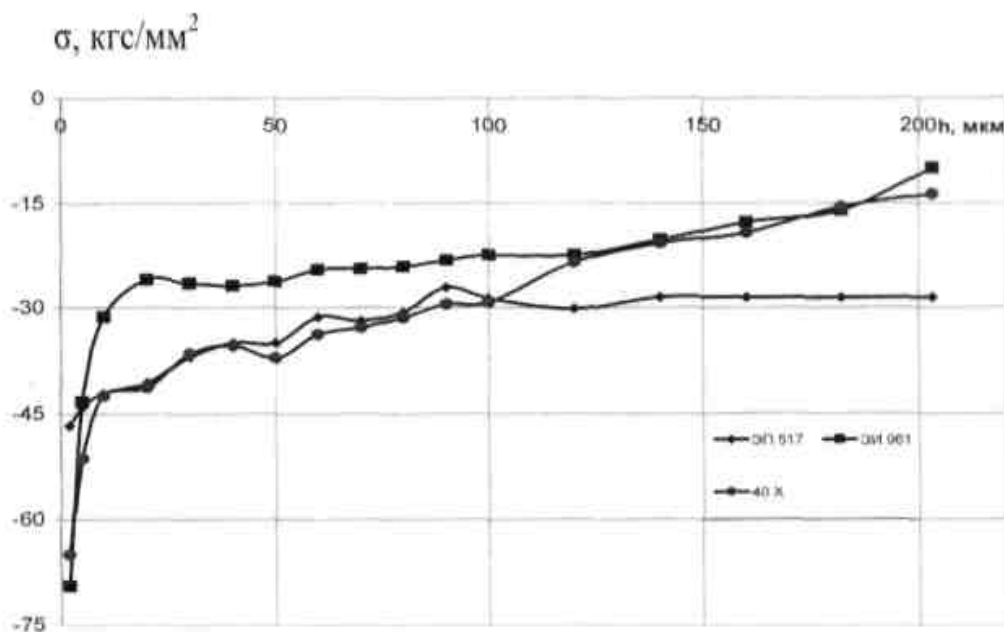


Рисунок 2. Распределение остаточных напряжений σ по глубине h поверхностного слоя.

Выводы:

1. Применение ультразвукового воздействия в процессе ППД позволяет существенно улучшить показатели качества поверхностного слоя по сравнению с традиционными способами упрочнения. В частности, формируются благоприятные распределение остаточных напряжений и микрорельеф поверхности.

2. Анализ полученных результатов показал, что применение ультразвуковой обработки после предварительной операции шлифования снижает высоту микронеровностей по Ra с 0,74-0,80 мкм до 0,11- 0,25 мкм. При этом изменение величины диаметра происходит в пределах 0,001- 0,011 мм. Применение БУФО после предварительной токарной операции обеспечивает снижение высоты микронеровностей с 6,0-0,85 мкм до 0,5-0,35 мкм, при этом изменение величины диаметра колеблется от 0,001 до 0,066 мм для разных марок сплавов. Следует учесть, что величина микронеровностей и изменение величины регулируется соответствующими режимами обработки (см. табл.).

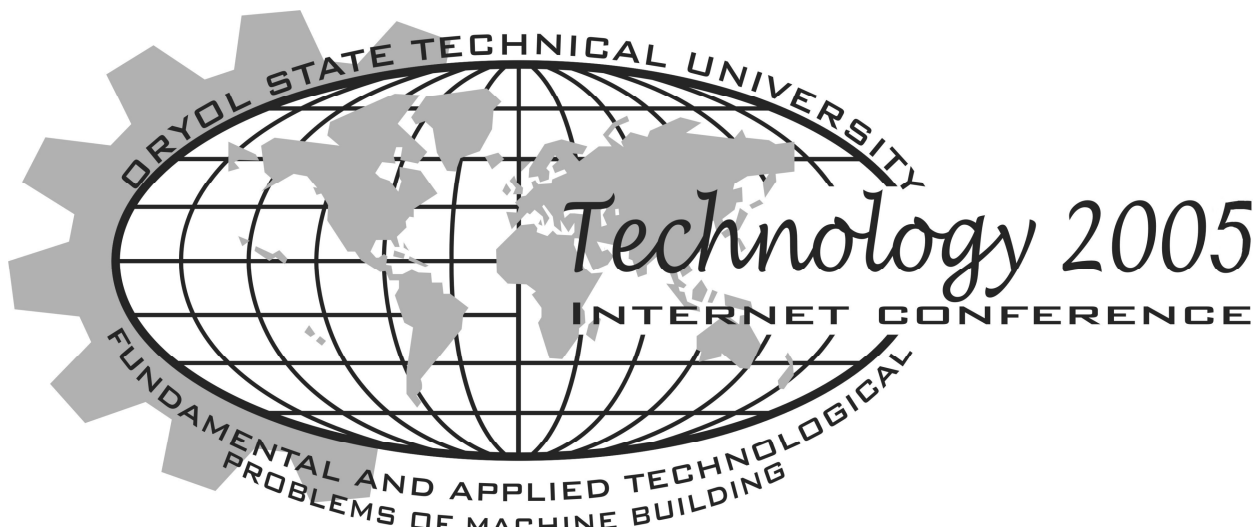
Результаты обработки образцов методом ультразвукового ППД

№ п/п	Материал образца	Диаметр образца, мм			Ra, мкм		Hv _{0,05}		Режим обработки
		до обработки УФО	после обработки УФО	Величина изменения диаметра, мм	до обработки УФО	после обработки УФО	до обработки УФО	после обработки УФО	
1	ОТ4	12,087	12,079	-0,008	0,74	0,11	367, 367, 367	367, 381, 381	V _{дет} = 250 об/мин. S=0,05м/мин натяг=0,05- 0,1 мм Охлаждение- вода, Смазка- И8А
2	ВТ8	11,988	11,992	-0,006	0,56	0,16	367	354, 367, 367, 367	
3	ЭИ961 (13X11H2B2MФ)	11,988	11,987	-0,001	0,85	0,11	341	341	
4	ЖС-26	11,926	11,928	+0,002	0,80	0,11	510, 510, 510	530, 530, 555	
5	ЭИ437Б (ХН77ТЮ)	11,043	12,044	+0,001	0,71	0,11	510, 510, 466, 510	510, 510, 466, 510, 510	
6	ЭИ-787 (ХН35ВТЮ)	12,289	12,292	+0,003	0,80	0,22	429, 429, 447, 447, 447	466, 412, 447, 412, 447	
7	Я1Т (12X18Н9Т)	11,786	11,787	+0,001	0,84	0,15	328, 341, 341	447, 429, 412, 429, 429	
8	ЭП-517 (15X12H2MBФАБ)	11,689	11,693	+0,004	0,70	0,25	354, 354, 354	341, 367, 354, 354	

3. Ультразвуковая финишная обработка в тех случаях, когда не требуется исправления погрешности формы, способна заменить собою процесс шлифования.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Одинцов Л.Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием. Справочник. - М.: Машиностроение, 1987 - 328 с.
2. Олейник Н.В., Кычин В.П., Луговский А.Л. Поверхностное динамическое упрочнение деталей машин. - Киев: Техника, 1984. - 151 с.
3. Пановко Я.Г. Основы прикладной теории колебаний и удара. Л.: Машиностроение, 1976 - 324 с.
4. Киричек А.В., Соловьев Д.Л. Технология и режимы упрочнения статико-импульсной обработкой У/Справочник. Инженерный журнал. - М.: 2003. №2.-С. 17-19
5. Соловьев Д.Л. Деформационное упрочнение способом статико-импульсного нагружения./УУпрочняющие технологии и покрытия.- М.: 2005. №10.-С. 3-6



УДК 621.7

КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ УЧЕТ ЯВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

А.Н.Рябов, аспирант

Рыбинская государственная авиационная технологическая академия
Рыбинск, тел. (4855)524516, E-mail: ryabov_an@hotmail.com

QUANTITATIVE ACCOUNT OF TECHNOLOGICAL INHERITANCE PHENOMENA IN TECHNOLOGICAL PROCESSES DESIGNING

A.N.Ryabov,

Rybinsk state academy of aviation technology
Rybinsk, tel. (4855)524516, E-mail: ryabov_an@hotmail.com

This article is about taking into account the phenomena of technological inheritance in technological processes designing. It is offered algorithm of the technological inheritance quantitative relationships determination for creating the mathematical model of changing quality parameters during technological process.

Для всех технологических процессов механической обработки характерно явление передачи основных параметров качества детали и их изменение в ходе технологического процесса. Причем изменение одного из параметров может приводить к количественному и/или качественному изменению других параметров. Визуально процесс наследования в общем виде и взаимосвязь параметров качества объекта в ходе технологического процесса можно представить в виде ориентированного ациклического графа, предложенного А. М. Дальским и А. С. Васильевым. Граф обобщенного технологического процесса изготовления точных деталей представлен на рисунке 1. Каждое ребро данного графа ха-

рактируется передачей ребра k . Свойство x_0 , выраженное любой вершиной графа, изменяется в ходе технологического процесса и характеризуется величиной x_1 . Таким образом, $x_1 = (1/k)x_0$, $x_1 = x_0 / k$, а значит, передача представляет собой некоторый коэффициент, показывающий количественное изменение какого-либо свойства.

Данный граф предусматривает, с одной стороны, последовательность операций технологического процесса, а с другой – основные параметры качества детали, их изменение и взаимосвязь в ходе технологического процесса изготовления, а также сборки и эксплуатации изделия.

Для того, чтобы стал возможным учет явления технологической наследственности, помимо графического представления данного процесса требуется определение его количественной стороны. С помощью количественных связей технологического наследования возможно определить насколько велико влияние наследственных погрешностей технологического процесса механической обработки на качество окончательно обработанной детали и надежность ее работы в собранной машине.

А. С. Васильевым предложен один из вариантов представления технологических процессов. Общая структура технологического процесса представляется в виде последовательности изменения основных параметров качества детали, как сложная многомерная система. На вход данной системы поступают различные характеристики заготовки $\{R_{10}, R_{20}, \dots, R_{m0}\}$, а на выходе обеспечивается соответствующий набор тех же характеристик для готовой детали $\{R_{1p}, R_{2p}, \dots, R_{mp}\}$. Эти изменения определяются действием совокупных технологических $\{t_{11}, t_{12}, \dots, t_{ln}\}$ факторов для каждой операции технологического процесса.

Учитывая то, что изменение отдельного параметра R_j на операции может быть описано с помощью соотношения

$$R_{jl} = a_{jl} R_{j(l-1)}^{b_{jl}}, \quad (1)$$

где a_{jl}, b_{jl} – коэффициенты технологической наследственности для параметра R_j , на операции φ_l , представляется возможным показать изменение параметров R на протяжении всего технологического процесса в виде набора коэффициентов технологической наследственности a и b . Количественные связи технологической наследственности, зависящие от выбора метода обработки, определяются коэффициентами b , а основные условия обработки внутри этого метода коэффициентами a .

Так для одного из параметров качества R после окончательной обработки получаем

$$R_p = a_p R_{p-1}^{b_p}. \quad (2)$$

Выполнив преобразования для предшествующих операций $\varphi_{p-1}, \varphi_{p-2}, \dots, \varphi_1$, находим общую математическую модель изменения параметра качества для всего технологического процесса

$$R_p = a_p a_{p-1}^{b_p} a_{p-1}^{(b_p b_{p-1})} \times \dots \times a_1^{(b_p b_{p-1} \times \dots \times b_2)} R_0^{(b_p b_{p-1} \times \dots \times b_1)} \quad (3)$$

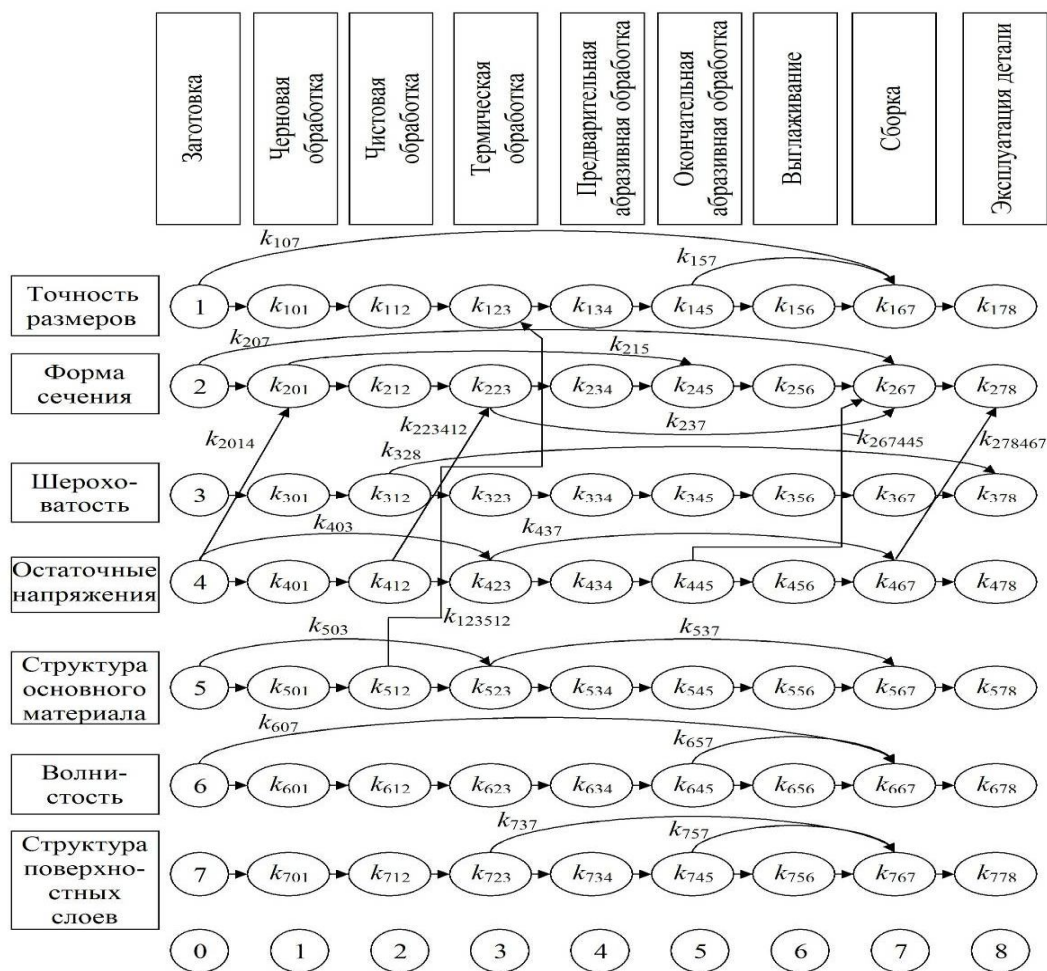


Рисунок 1 - Граф различных параметров технологического процесса

Прологарифмировав, получим следующее выражение

$$\ln R_p = \ln a_p + b_p \ln a_{p-1} + (b_p b_{p-1}) \ln a_{p-2} + \dots + (b_p b_{p-1} \times \dots \times b_2) \ln a_1 + (b_p b_{p-1} \times \dots \times b_1) \ln R_0. \quad (4)$$

Коэффициент наследственности a_l описывает влияние технологических факторов $t_{l1}, t_{l2}, \dots, t_{ln}$ на рассматриваемый параметр качества R_j для операции

φ_l и может быть представлен в виде

$$a_l = k_{l0} t_{l1}^{k_{l1}} t_{l2}^{k_{l2}} \times \dots \times t_{ln}^{k_{ln}}, \quad (5)$$

где $k_{l0}, k_{l1}, k_{l2}, \dots, k_{ln}$ – эмпирические коэффициенты влияния технологических факторов.

Тогда получаем:

$$\begin{aligned} \ln R_p = & [\ln k_{p0} + k_{p1} \ln t_{p1} + k_{p2} \ln t_{p2} + \dots + k_{pn} \ln t_{pn}] + \\ & + b_p [\ln k_{(p-1)0} + k_{(p-1)1} \ln t_{(p-1)1} + \dots + k_{(p-1)n} \ln t_{(p-1)n}] + \dots + \\ & + (b_p b_{p-1} \times \dots \times b_2) [\ln k_{10} + k_{11} \ln t_{11} + \dots + k_{1n} \ln t_{1n}] + (b_p b_{p-1} \times \dots \times b_1) \ln R_0. \end{aligned} \quad (6)$$

Анализ выражения (6) показывает, что весь технологический процесс может быть выражен в виде суммы действия окончательной операции и определенной доли влияния предшествующих операций и исходного состояния за-

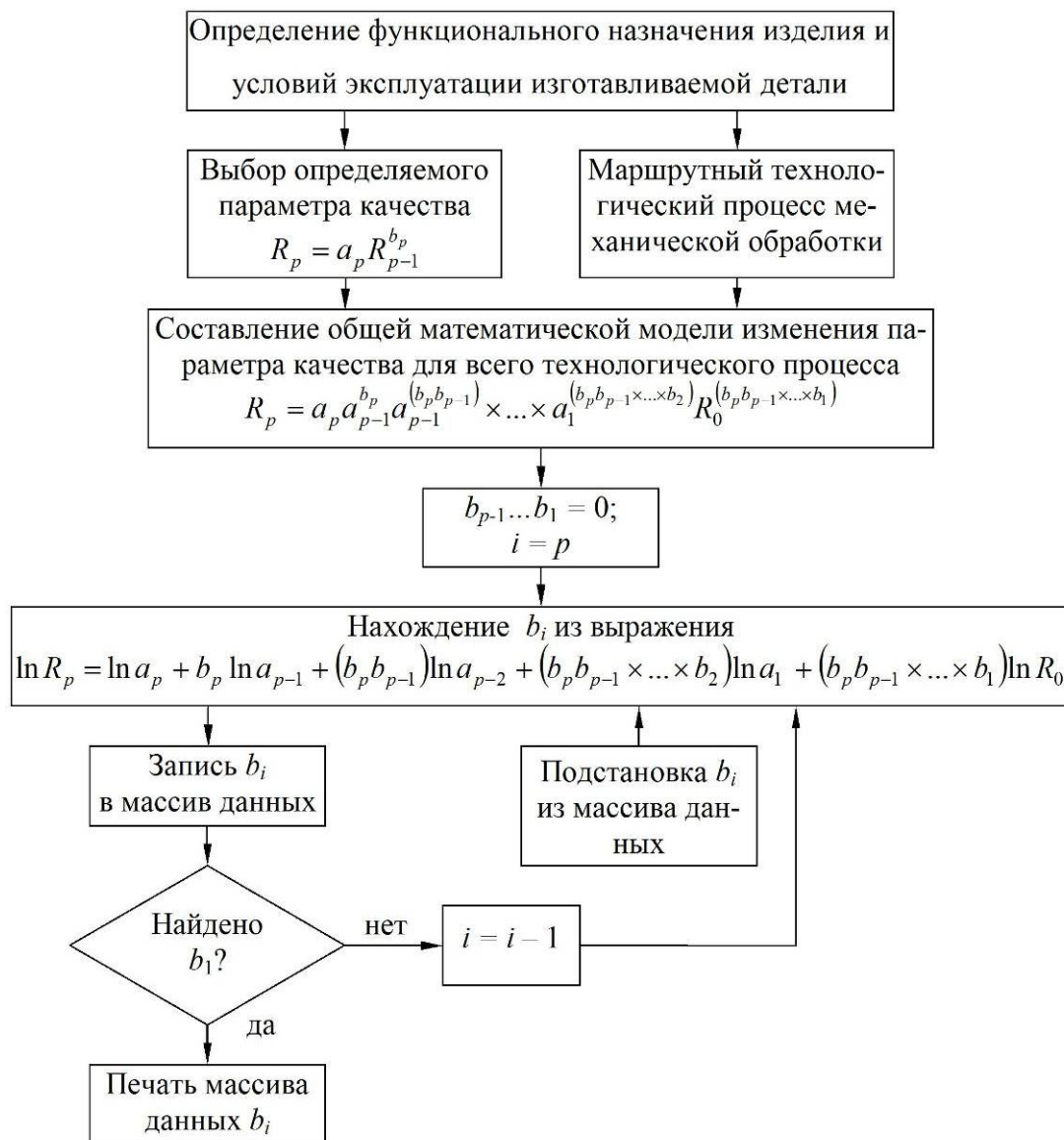
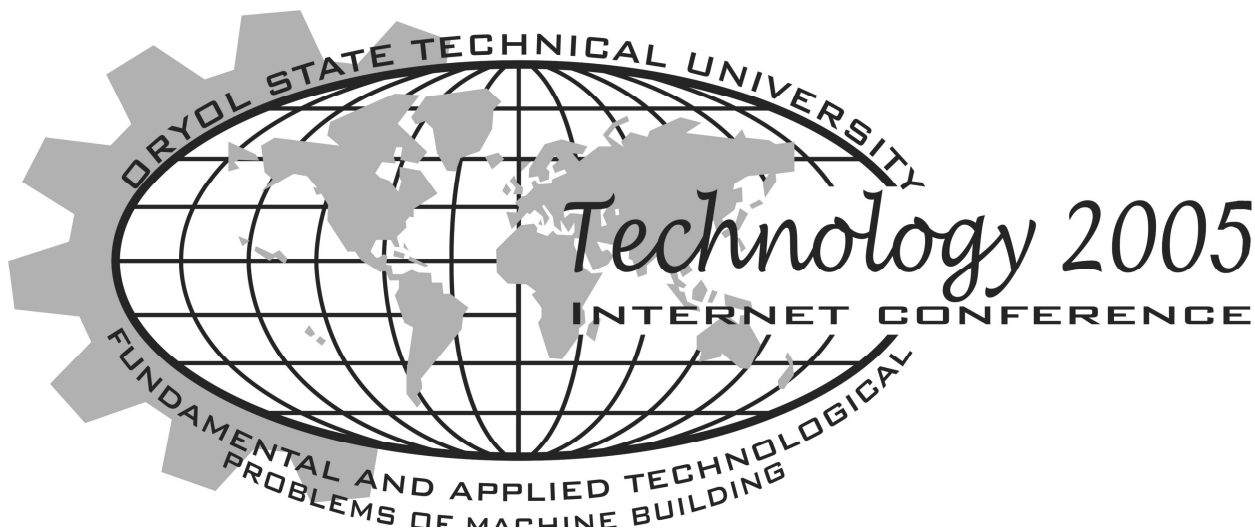


Рисунок 2 – Алгоритм нахождения количественных связей технологической наследственности, зависящих от метода обработки

готовки R_0 , которые определяются коэффициентами наследственности b_1, b_2, \dots, b_p .

В связи с большим числом переменных решение такой системы связано со значительными трудностями. При определенных допущениях данная задача может быть решена методами динамического программирования. Автором предлагается алгоритм нахождения количественных связей технологической наследственности, зависящих от метода обработки, изображенный на рисунке 2.

Основываясь на выражении 1 можно найти количественные связи технологической наследственности представленные коэффициентами b в последовательности, изображенной на рисунке 2, для каждой операции технологического процесса. Таким образом, возможен полный расчет всех значений b_i для составленной математической модели изменения рассматриваемого параметра качества в ходе технологического процесса.



УДК 658.58

ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ КАК ОПРЕДЕЛЯЮЩИЙ ПАРАМЕТР ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

А. Н. Сутягин, аспирант Рыбинская государственная авиационная технологическая академия

им. П. А. Соловьева

Рыбинск, тел. (4855) 285421, fax (4855) 213964, E-mail: root@rgata.ru

WEAR RESISTANCE AS A DEFINING PARAMETER OF MACHINE DETAILS PERFORMANCES

A. N. Sutyagin

Rybinsk State Academy of Aviation Technology

Rybinsk, tel. (4855) 280470, fax (4855) 213964, E-mail: root@rgata.ru

New details production needs to develop technological conditions methods of machining estimation. Therefore technological conditions method of machining estimation depending on the given wear resistance can be considered as a promising one for aviation and engineering industries.

Характеристики любой машины закладываются при проектировании, формируются при изготовлении и реализуются в процессе эксплуатации. Знания эксплуатационных факторов и степени их влияния на долговечность деталей позволяет управлять показателями качества машин. Многочисленные исследования показывают, что до 80% случаев выхода из строя машин при эксплуатации происходит из-за износа в сопряжениях узлов трения. Износ деталей машин приводит к потере точности, понижению КПД, понижению прочности, увеличению динамических нагрузок, которые являются следствием увеличения зазоров в сопряжениях, а также к повышению уровня шума.

Трение и изнашивание обуславливаются взаимодействием соприкасающихся деталей, которые находятся под действием нагрузки и перемещаются по отношению друг к другу. Эксплуатационные свойства деталей и узлов машин (износостойкость, контактная жесткость, плотность соединений и прочность посадок) существенно зависят от качества их сопрягающихся поверхностей (характера контакта, сближения, фактической площади контакта и динамических характеристик стыков поверхностей) и поверхностного слоя, которые определяются геометрическими (макроотклонение, волнистость, шероховатость) и физико-механическими (микротвердость, остаточные напряжения, структура) характеристиками и взаимным расположением микронеровностей на сопрягаемых элементах. Все эти параметры зависят от технологии обработки деталей и сборки машин.

Износ деталей машин характеризуется разрушением контактного поверхностного слоя, в котором в результате взаимодействия сопрягающихся поверхностей происходят физико-химические, усталостные изменения. Изменение физико-механических свойств поверхностного слоя по результатам теоретических исследований порождает изменение критического сближения и фактической площади контакта сопрягаемых поверхностей. Все это приводит к большим контактными деформациям поверхностных слоев, их пластическому течению со всеми вытекающими последствиями, в значительной степени определяющими эксплуатационные свойства деталей машин (износостойкость, контактную жесткость и т. д.)

Трение представляет собой чрезвычайно сложное явление, определяемое совокупностью разнообразных механических и физико-химических процессов. Эти процессы могут протекать различным образом в зависимости от рода трущихся пар, окружающей среды, температуры и многих других параметров.

Существуют в основном три типа узлов трения. К первому типу относятся узлы, в которых требуется иметь минимально возможный в данных условиях коэффициент трения, например, в подшипниках скольжения, в направляющих, зубчатых передачах, в различных технологических процессах при обработке металлов резанием и давлением. В этих случаях между телами проявляется трение скольжения.

Ко второму типу узлов относятся пары трения, в которых требуется значительный коэффициент трения и в то же время небольшой износ трущихся деталей (фрикционные муфты сцепления, тормоза, фрикционные вариаторы). Износ деталей является функцией коэффициента трения и возрастает при увеличении последнего. Поэтому в данных условиях коэффициент трения должен быть оптимальным и обеспечивать, с одной стороны, небольшой износ, с другой - достаточную силу трения.

К третьему наиболее распространенному типу относятся пары трения, в которых требуется максимальный в данных условиях коэффициент трения. К этому типу относятся все сочленения, в которых внешнее трение используется для предотвращения относительного скольжения деталей, например, соединения прессовые, с натягом, болтовые, заклепочные, устройства для передачи движения с помощью сил трения (ременная, фрикционная передачи) и т. д.

Остановимся подробнее на первом типе, а именно, рассмотрим процесс механической обработки металлов резанием. Резание металлов - очень сложный процесс, часто протекающий при высоких скоростях, температурах и давлении. При работе режущего инструмента происходит значительное трение между стружкой и обрабатываемым материалом, с одной стороны, и инструментом - с другой. Трение оказывает огромное влияние на весь процесс резания, так как оно в значительной мере определяет деформацию снимаемого слоя и, следовательно, нагрузку на инструмент, его стойкость и качество обработанной поверхности.

Снимаемый слой металла подвергается значительным упругим и пластическим деформациям в результате взаимодействия его с режущим инструментом. Это сопровождается структурными изменениями, течением и разрушением снимаемого слоя, трением, большой усадкой стружки, образованием налипа, нароста на режущем инструменте.

Законы трения при резании еще более усложняются, поскольку контактные процессы протекают при изменяющихся в большом диапазоне нагрузках, скоростях, пластических деформациях и других явлениях кинематического и динамического порядка.

Это способствует тому, что поверхностное скольжение сопровождается внутренним пластическим течением и, следовательно, при резании возможно большое сопротивление движению стружки и поверхности резания по инструменту, т. е. очень высокие коэффициенты внешнего трения.

Большие изменения претерпевает обработанная поверхность изделия и подповерхностный слой, где возникают остаточные напряжения различных знаков и интенсивности, а также наклеп, определяющие их геометрические и физико-механические свойства и тем самым ресурсы изготавливаемых машин и приборов.

Эффективное управление процессом механической обработки деталей возможно лишь при реализации комплексного системного подхода. Необходимость быстрого освоения производства новых изделий требует разрабатывать расчетные методы определения технологических условий обработки, позволяющих на стадии проектирования технологического процесса изготовления изделий закладывать решения, обеспечивающие при минимальных затратах заданные величины эксплуатационных показателей (усталостной прочности, контактной жесткости, износостойкости и т. д.), которые определяют надежность и долговечность выпускаемой продукции.

Однако, как показывают результаты анализа технологических процессов изготовления деталей, в настоящее время назначение технологических условий обработки осуществляется только исходя из требуемой шероховатости поверхности и точности обработки. При этом эксплуатационные показатели не учитываются, что приводит, как правило, к удорожанию выпускаемых изделий без должного повышения их надежности. В этой связи актуальным является разработка научно обоснованной методики определения технологических условий обработки поверхности деталей в зависимости от заданных эксплуатационных свойств.

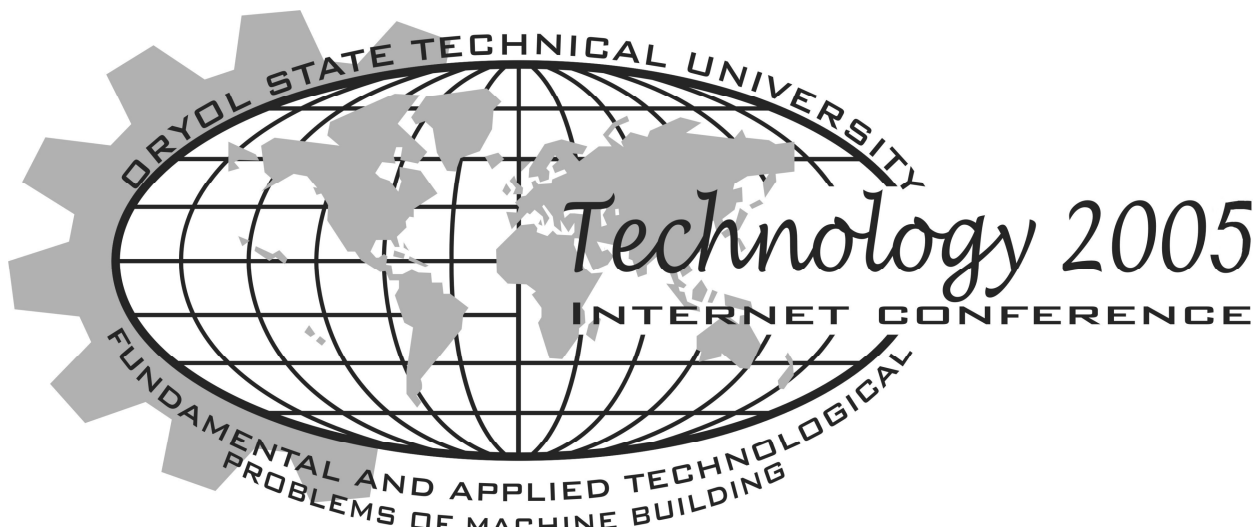
При выборе режима резания с учетом стойкости инструмента, требуемой точности и качества обработанной поверхности нужно учитывать то, что элементы режима резания в различной степени влияют на температуру, силу резания и стойкость инструмента, которые в конечном итоге определяют точность обработки и характеристики поверхностного слоя. Этим объясняется тот факт, что при различных оптимальных с точки зрения износа инструментальных сочетаниях режимов резания получаются различные значения высоты неровностей, остаточных напряжений, глубины и степени износа. Поэтому если требуется обеспечить заданные значения тех или иных характеристик поверхностного слоя, необходимо определить соответствующее сочетание элементов режима резания.

Для достижения поставленной цели необходимо установить зависимости между параметрами поверхностного слоя и технологическими условиями обработки, в том числе режимами резания.

Проблема повышения износостойкости деталей машин применительно к требованиям технического прогресса нуждается в дальнейшем развитии исследований в области трения и изнашивания, методов расчета на трение и изнашивание, в создании новых методов и средств испытаний.

На основе теоретических исследований представляется возможным расчетным путем определять триботехнические характеристики обработанных поверхностей или технологические условия обработки, обеспечивающие заданные эксплуатационные свойства, а именно износостойкость.

Разработка методики и алгоритма расчета режима и обработки, обеспечивающего заданную износостойкость деталей и узлов новой техники, позволит контролировать процесс механообработки, что обеспечит получение надежной и долговечной продукции, а сам процесс изготовления -наукоемким и рентабельным.



УДК 621.787:621.83

ПОВЕРХНОСТНАЯ ЗАКАЛКА ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Е.В. Шеховцева

Рыбинская государственная авиационная
технологическая академия им. П.А. Соловьева
Рыбинск, тел. (4855) 296-459, факс: (4855) 21-16-05,
E-mail: saturn@npo-saturn.ru

CASE HARDENING OF GEAR WHEELS

E.V. Shehovtseva

Rybinsk State Academy of Aviation Technological
Rybinsk, tel. (4855) 296-459, fax: (4855) 21-16-05,
E-mail: saturn@npo-saturn.ru

Estimation of the main indices of quality - reliability and long life — acquires great significance taking into account the requirements of increasing the loading capacity of gearing, speed indices as well as producing, compact constructions of reducing gears of modern aircraft building. At present active attempts are being taken for increasing loading characteristics of gear drives of different types without changing their size and reducing their reliability indices.

Одним из перспективных методов повышения износостойкости поверхностного слоя зубчатых колес и деталей машин в целом являются термомеханические способы упрочнения. К преимуществам метода отнесется то, что подвергаются нагреву только отдельные участки детали, требующие упрочнения, а также простота оборудования и легкость выполнения операции закалки, минимальное коробление и отсутствие окисления поверхности после закалки, возможность получения однородного слоя с постепенным изменением твердости по глубине. Твердость слоя зависит от качества материала и режимов обработки. В поверхностном слое закаленных стальных деталей при правильном ведении процесса удается

получить мелкоигольчатый мартенсит, а в переходной зоне - троостит, сорбит, перлит. Под влиянием структурных изменений, происходящих с увеличением объема, в поверхностном слое возникают большие остаточные напряжения сжатия. Указанные свойства поверхностного слоя после поверхностной закалки обеспечивают высокую износостойкость и усталостную прочность деталей машин.

Поверхностная закалка с нагревом газовым пламенем в зависимости от требований, предъявляемых к деталям, и конструктивных особенностей деталей на практике применяют три метода пламенной поверхностной закалки - циклический, непрерывный и комбинированный. Каждый из них осуществляется несколькими способами.

Циклическую закалку можно производить путем нагрева неподвижной детали (стационарный способ) или детали, вращающейся со скоростью 10-20 м/мин (вращательно-циклический способ), до температуры закалки с последующим немедленным охлаждением.

Циклическим способом закаливают шейки коленчатых валов диаметром до 100 мм, ролики небольшого диаметра, шестерни малого диаметра и с малым модулем зуба, цапфы валов. При этом способе достигается равномерность закаленного слоя во всех точках по твердости и глубине.

При комбинированном методе применяется несколько способов. Плоские детали закаливают плоскопоступательным способом, путем прямолинейного движения детали относительно горелки или горелки относительно детали со скоростью 60-300 мм/мин и последовательного движения с этой же скоростью на расстоянии 10-20 мм от пламени охлаждающего источника. Операция выполняется обычно за один проход с применением нескольких горелок.

Для деталей с небольшой шириной закалки и большого диаметра (ходовые колеса кранов, бегуны, бандажи) успешно применяется вращательно-поступательный способ, при котором деталь медленно вращается, а горелка, закрепленная на месте, нагревает ее поверхность. Охлаждение идет непрерывно на расстоянии 10-20 мм от горелки. При этом способе закалку осуществляют за один оборот. По краям закаленного слоя остается полоска шириной 6-10 мм с пониженной твердостью, что является недостатком способа.

Наконечники закалочных горелок (рисунок 1) в большинстве случаев делают многопламенными. В процессе работы они находятся на расстоянии 6-8 мм от закаливаемой поверхности, что приводит к нагреванию их до температуры воспламенения смеси и может вызвать обратный удар. Для предотвращения этого наконечники часто делают с охлаждением. В наконечниках при последовательной закалке водяной душ (спрей) располагают на расстоянии не более 20 мм от пламени.

Поверхностная твердость стали и глубина закалки зависят от скорости перемещения пламени, расхода газа и соотношения газов и смеси (рисунок 2). С увеличением расхода газа твердость увеличивается при постоянной

скорости перемещения горелки 120 мм/мин, а с увеличением скорости перемещения пламени уменьшается глубина закалки.

При закалке с нагревом током высокой частоты высокую (т. в. ч.) твердость и новую структуру получает поверхностный слой, а сердцевина сохраняет исходные твердость и структуру. Твердость будет зависеть также от количества углерода, содержащегося в стали. Для закалки с нагревом т. в. ч. применяют стали, содержащие не менее 0,3 - 0,4% С.

На основании статистической обработки результатов исследования среднее, наиболее вероятное значение твердости закаленного с нагревом т. в. ч. слоя в пределах мартенситной зоны в зависимости от среднего содержания углерода в процентах, можно определять по формуле [Аскинази Б.М. Упрочнение и восстановление деталей электромеханической обработкой. Л., «Машиностроение», 1958. 163 с]

$$HRC = 20 + 60 (2C - 1,3C^2).$$

Эта формула справедлива для сталей с содержанием 0,15 - 0,75% С.

После закалки с нагревом т. в. ч. все детали для снятия внутренних напряжений подвергаются обязательному низкотемпературному отпуску в печах или с нагревом т. в. ч. При высоком отпуске с нагревом т. в. ч. (400— 500° С) в поверхностном слое возникают растягивающие напряжения, а в переходном - сжимающие.

Нагрев т. в. ч. позволяет осуществлять местный отпуск и тем самым регулировать распределение напряжений и прочности слоя.

Наиболее широкое применение закалка с нагревом т. в. ч. получила для упрочнения зубчатых колес. Для мелко модульных зубчатых колес обычно применяют малоуглеродистые стали, подвергаемые цементации и высокочастотной закалке со сквозным прокаливанием зуба.

Рассмотрев многочисленные случаи выхода из строя зубчатых колес установили, что основной причиной разрушения служит возникновение трещин у основания зубьев. Была разработана новая технология высокочастотной закалки зубчатых колес, обеспечивающая одновременную закалку рабочих поверхностей и впадин между зубьями на глубину 2—3 мм, что позволило шлифовать зубья после термической обработки.

Закалка зуба по всему профилю и дна впадины между соседними зубьями значительно повышает усталостную прочность зубчатого колеса вследствие больших сжимающих остаточных напряжений, возникающих в поверхностном слое по всему контуру зуба и особенно эффективно действующих в зоне концентраторов напряжений — галтелей (рисунок 3).

Качество закаленного с нагревом т. в. ч. поверхностного слоя в значительной степени зависит от характера исходной структуры. Чем больше дисперсность структурных составляющих стали, тем быстрее происходит образование твердого раствора и выравнивание его состава. В связи с этим высокочастотной закалке зубчатых колес предшествует предварительная термическая обработка в виде нормализации или улучшения (закалка с высоким отпуском), обеспечивающая получение однородной мелкозернистой структуры.

Совершенно очевидно, что уровень долговечности и надежности зубчатых колес заложен в качестве поверхностного слоя зубьев. Качество поверхностного слоя должно быть высоким, чтобы в условиях действия больших контактных напряжений, сил трения и контактных температур противостоять повреждению рабочих поверхностей зубьев и их усталостному разрушению.

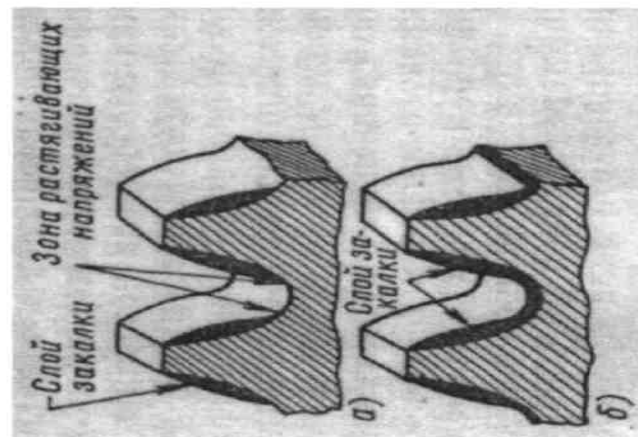


Рисунок 3. Закалка зубчатых колес:
а – рабочих поверхностей;
б – по всему контуру

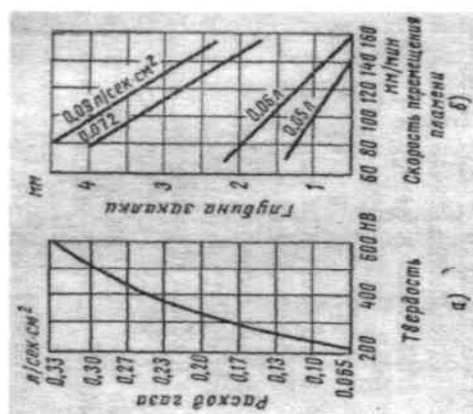


Рисунок 2. Влияние технологических факторов пламенной закалке на качество поверхности образца из стали 45:
а – влияние расхода газа на твердость поверхности при скорости перемещения пламени 120 мм/мин;
б – влияние скорости перемещения пламени на глубину закалки

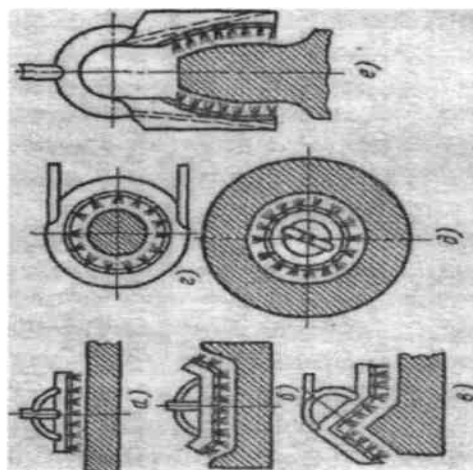
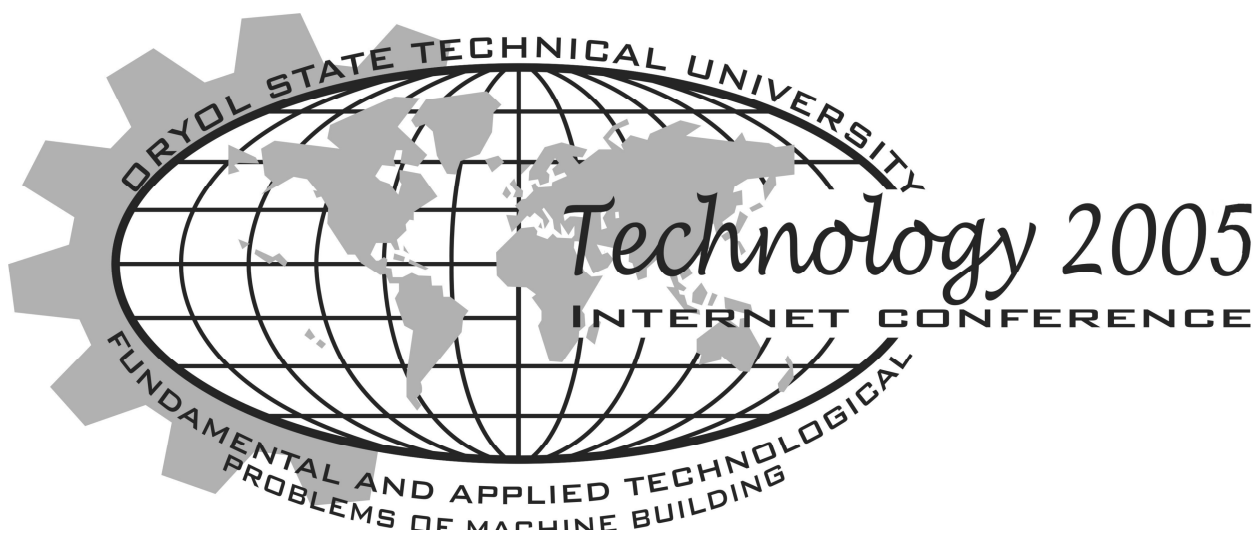


Рисунок 1. Схема профилей закалочных наконечников:
а – плоский; б – полугавровый; в – угловой; г – кольцевой для закалки наружных поверхностей; д – кольцевой для закалки внутренних поверхностей; е – для закалки профиля зуба.



УДК 620.179.1:621.91.01

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИСТОРИИ НАГРУЖЕНИЯ НА СИГНАЛЫ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ (АЭ)

В.Ю. Блюменштейн, д.т.н., доц., А.А. Кречетов, к.т.н., доц.,
И.В. Мирошин, О.А. Останин
Кузбасский государственный технический университет
Кемерово, тел. (8-3842)-583240, E-mail: tms@kuzstu.ru

RESEARCH of INFLUENCE of a HISTORY of a STRESSING ON SIGNALS of ACOUSTIC EMISSION (AE)

V.J. Blyumenshtein, Doctor of Science, associate professor,
A.A. Krechetov, Candidate of Science, I.V. Miroshin, O.A. Ostanin
Kuzbass State Technical University
Kemerovo, ph. (8-3842)-583240, E-mail: tms@kuzstu.ru

The effects of research of influence of a degree of exhaustion of a store of a toughness of metal is model on signals AE for single and dual stage of a stressing is described in the publication. Is shown, that the history of a stressing influences on intensity of an increase of power of signals AE.

Проектирование и оптимизация технологии упрочнения деталей машин возможно с использованием феноменологической теории, основанной на сквозном описании накопления деформаций и исчерпания запаса пластичности на стадиях механической обработки и последующего эксплуатационного нагружения. Оценка состояния металла проводится с использованием таких известных параметров механики, как степень деформации сдвига Λ и степень исчерпания запаса пластичности Ψ с учетом истории нагружения [1].

Однако сложность определения параметров механического состояния поверхностного слоя ограничивает возможность использования феноменологического подхода на практике. Физический характер феноменологической теории

позволяет, в свою очередь, использовать для контроля этих параметров физические методы исследований.

Одним из таких методов, реально отражающим характер пластической деформации материалов на микроуровне, является акустическая эмиссия (АЭ).

В настоящее время получены результаты, позволяющие идентифицировать параметры механического состояния металла по параметрам АЭ.

Однако эти результаты не учитывали влияния истории нагружения на формирование и трансформацию механического состояния материала.

Для оценки этого влияния проводились исследования, суть которых заключалась в двухэтапном нагружении с одновременной регистрацией сигналов АЭ на приборе DISP 16.

На первом этапе цилиндрические образцы $\varnothing 20$ мм и высотой 20 мм подвергали сжатию на прессе с усилием от 140000 до 340000 Н, в результате чего в материале образцов происходило исчерпание запаса пластичности до значения Ψ_1 .

Далее на прессе Бринелля проводилось повторное нагружение образцов индентором в виде стального закаленного шарика диаметром 10 мм и нагрузкой 30000 Н. В результате в материале образцов происходило дальнейшее исчерпание запаса пластичности на величину Ψ_2 , которая зависела от значения исчерпания запаса пластичности на первом этапе Ψ_1 .

Общее исчерпание запаса пластичности определялось как $\Psi_{\Sigma} = \Psi_1 + \Psi_2$.

Зависимость мощности сигнала АЭ на первом этапе W_1 от накопленной поврежденности Ψ_1 показана на рис. 1, на втором этапе (зависимость W_2 от Ψ_2) – на рис. 2. Зависимость суммарных значений мощности сигнала АЭ W_{Σ} в зависимости от Ψ_{Σ} приведена на рис. 3.

Установлено, что в процессе повторного нагружения при уменьшении значения Ψ_2 наблюдается увеличение мощности сигнала АЭ. В свою очередь, уменьшение Ψ_2 вызвано большим исчерпанием запаса пластичности Ψ_1 на первом этапе. Таким образом, большее значение мощности сигнала акустической эмиссии на втором этапе W_2 свидетельствует о большем исчерпании запаса пластичности на первом этапе.

Это связано с тем, что источниками сигналов АЭ являются не только дефекты структуры металла, возникающие на текущем этапе нагружения, но и дефекты, возникшие на предшествующих этапах [2]. С увеличением пластической деформации на предшествующих этапах нагружения увеличивается количество источников дислокаций, а также дислокаций в полосах скольжения, которые не потеряли способности к дальнейшему движению. В процессе последующего нагружения имеющиеся источники дислокаций продолжают генерировать новые дислокации, а старые продолжают перемещаться, увеличивая мощность АЭ сигнала.

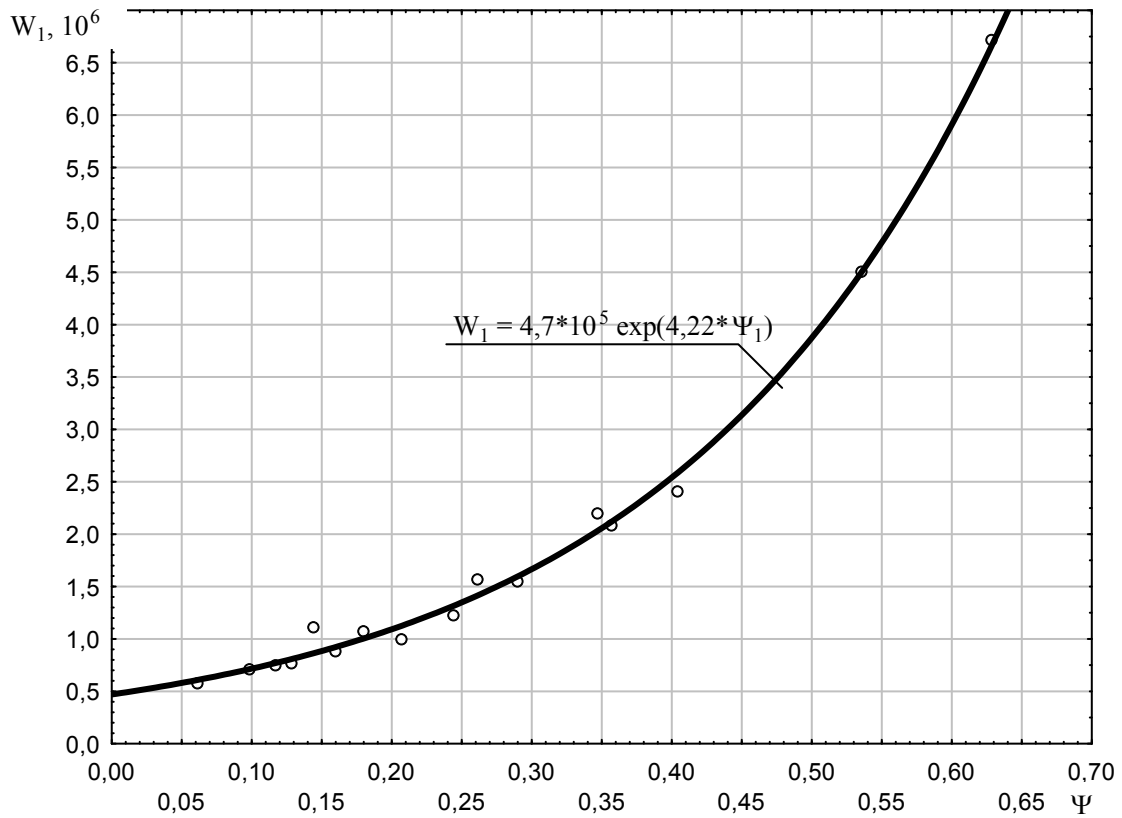


Рис. 1. Зависимость мощности сигнала АЭ W_1 от степени истощения запаса пластичности Ψ_1 на первом этапе нагружения

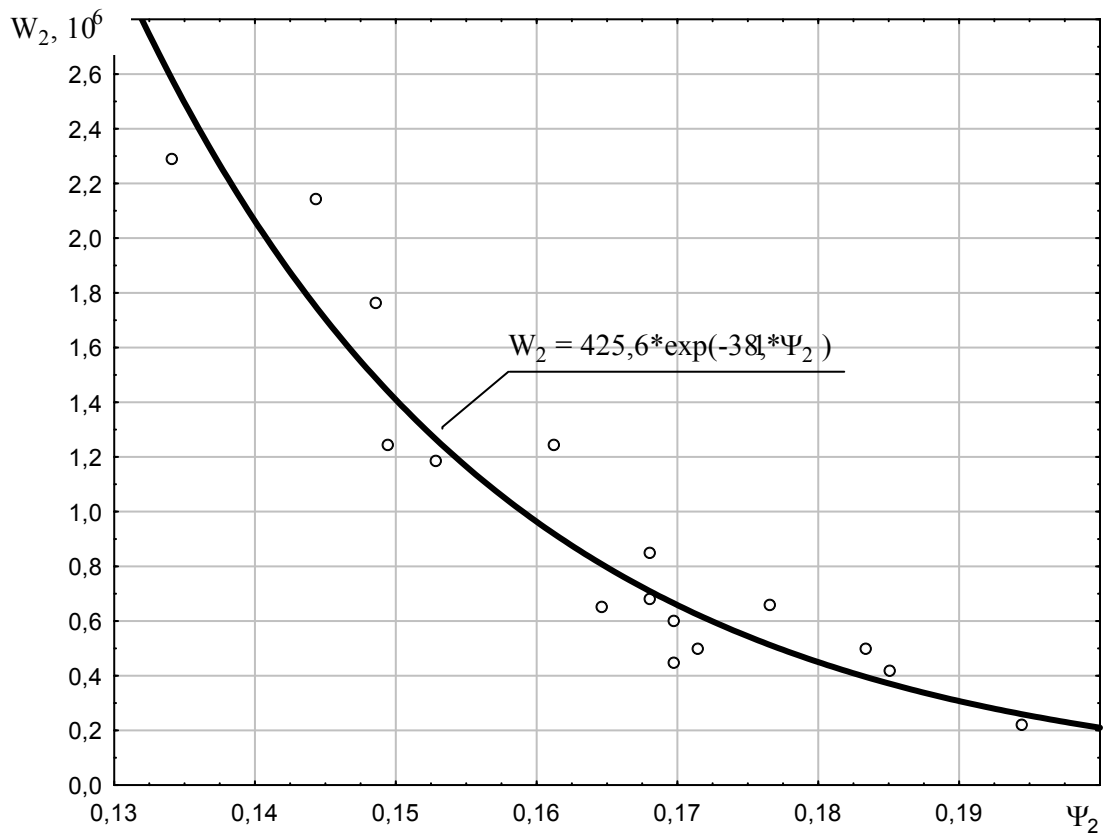


Рис. 2. Зависимость мощности сигнала АЭ W_2 от степени истощения запаса пластичности Ψ_2 на втором этапе нагружения

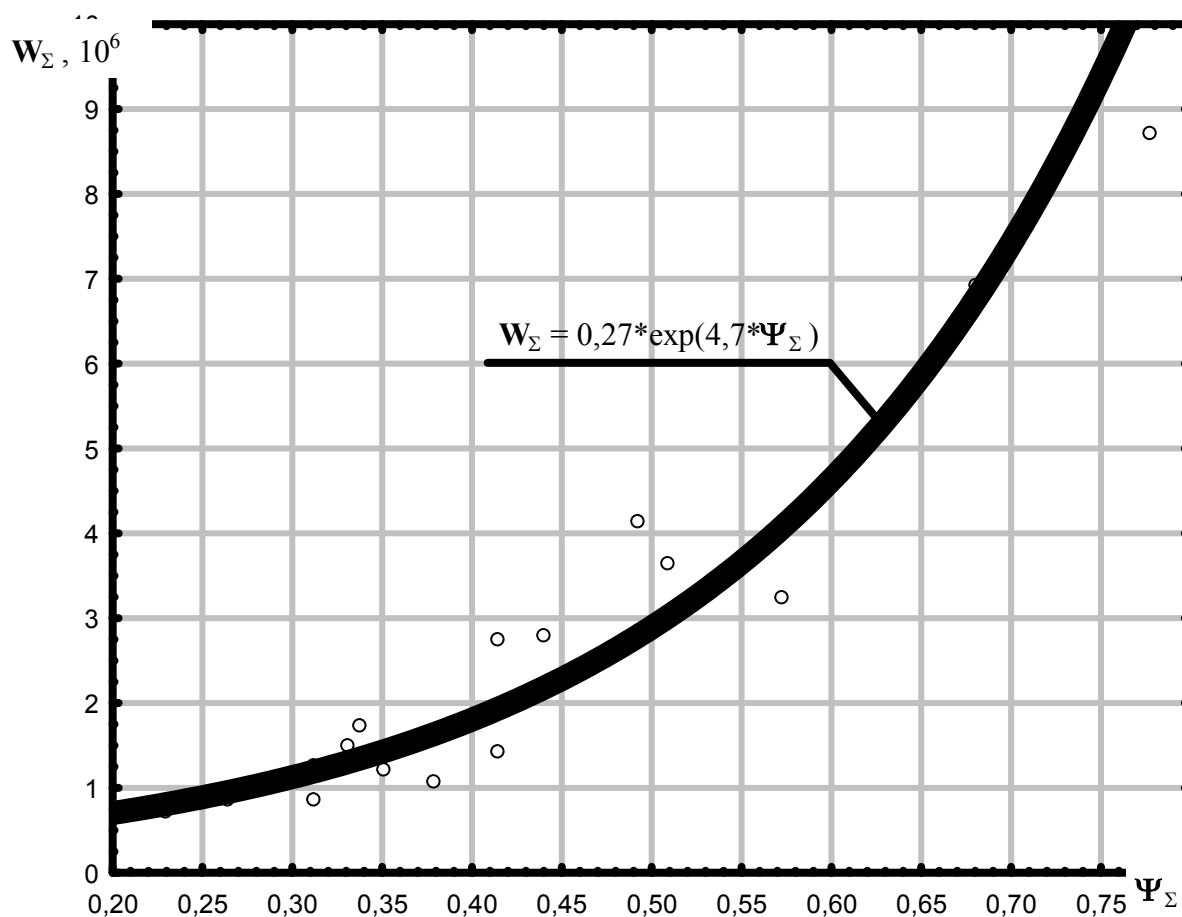


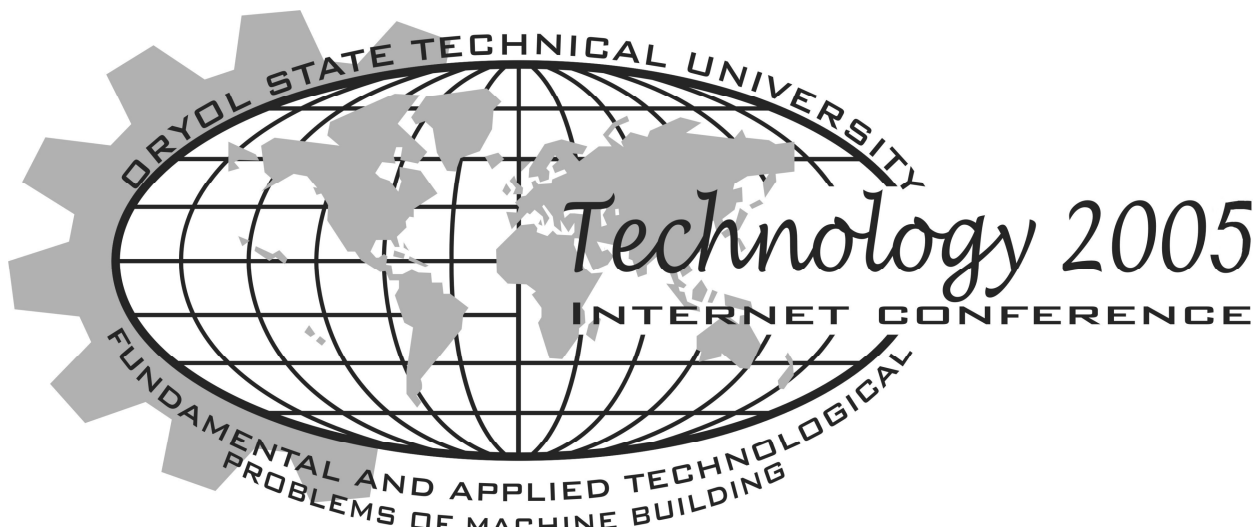
Рис. 3. Зависимость суммарной мощности сигнала АЭ W_{Σ} от накопленного на двух этапах нагружения значения Ψ_{Σ}

Таким образом, влияние истории нагружения на сигналы АЭ выражается в том, что при нагружении материала источниками сигнала являются не только дислокации, образовавшиеся на данном этапе, но и дислокации, сформированные на предшествующих этапах нагружения.

Полученные результаты положены в основу методики контроля механического состояния поверхностного слоя деталей машин в процессах механической обработки и последующей эксплуатации с учетом технологического наследования.

Литература

1. Смелянский В.М. Механика упрочнения поверхностным пластическим деформированием. – М.: Машиностроение, 2002. – 300 с.
2. Старков В.К. Дислокационные представления о резании металлов. – М.: Металлургия, 1979. – 160 с



УДК 620.179.1.082.7:658.58

**ОБОБЩЕННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СОВМЕСТНОГО
ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ПАРАМЕТРА ПРИ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА
СБОРКИ ПОДШИПНИКОВОГО УЗЛА**

В.В. Мишин, к.т.н, доц.; В.В. Марков, к.т.н.

Орловский государственный технический университет

Орел, тел. (4862) 419876, факс (4862) 416684, E-mail: vm@rbcmail.ru

Работа выполнена при поддержке гранта МК 3824.2005.8

**THE GENERALIZED MATHEMATICAL MODEL OF JOINT DIAGNOSTIC
PARAMETER AT AN ESTIMATION OF QUALITY OF ASSEMBLY BEAR-
ING UNIT**

V.V. Mishin; V.V. Markov.

Oryol State Technical University

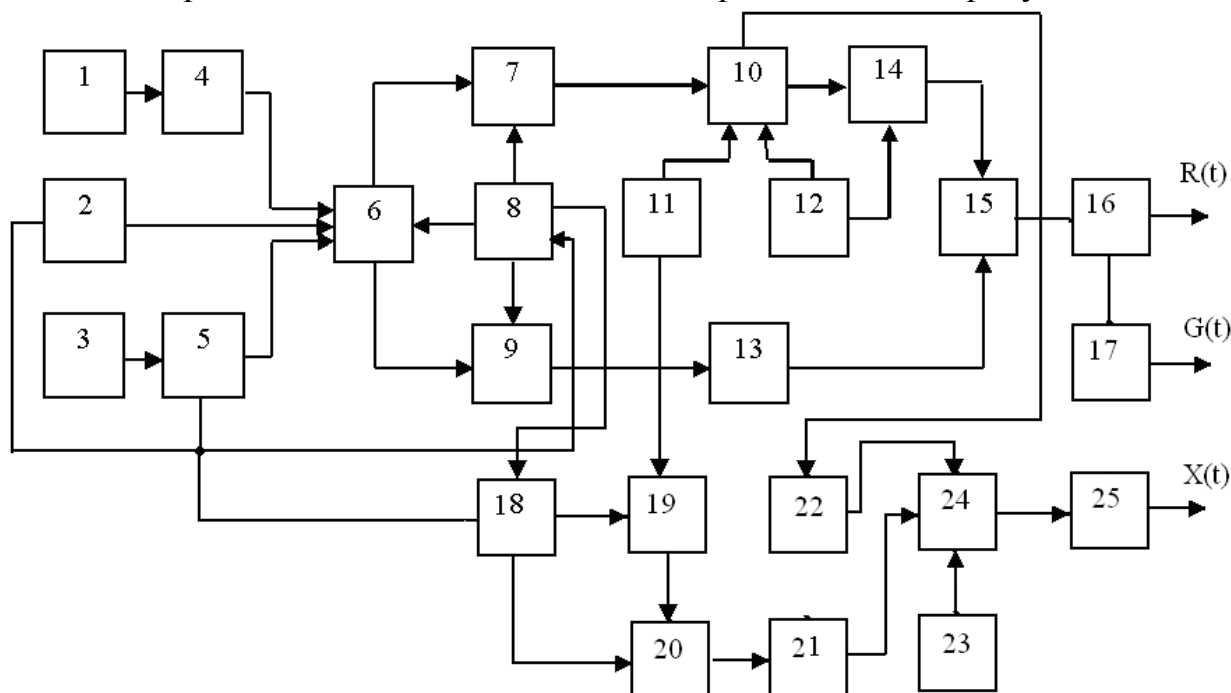
Oryol, tel. (4862) 419876, fax (4862) 416684, E-mail: vm@rbcmail.ru

The structure of the generalized mathematical model describing interrelations of electric and vibrating processes in the rolling bearing is offered. The presented model allows by its transformations to diagnostic model to generate a new method of diagnosing.

Для проведения теоретических исследований по подтверждению возможности совместного диагностирования подшипников качения по электрическим и вибрационным параметрам сформирована обобщенная математическая модель (теория) проходящих в зонах трения и в подшипнике в целом процессов. На основе исходных параметров, отражающих качество изготовления и сборки подшипника и узла, модель позволяет получить временные реализации электрического сопротивления подшипника, проводимости подшипника, вероятности

микрoкoнтaктирoвaния в кaждoй зoнe трeния и в пoдшипникe в цeлoм, oцeнки вибрaции пoдшипникa.

Схeмa пoстрoения мaтeмaтичeскoй мoдeли прeдстaвлeнa нa рисункe.



1 – шерoхoвaтoсть; 2 – свoйствa мaтeриaлoв; 3 – пaрaмeтpы мaкpoгeoмeтpии; 4 – рaспpeдeлeниe мaтeриaлa пo вьсoтe шерoхoвaтoгo слoя; 5 – уcлoвнaя кривизнa пoверхнoстей (рaдиусы); 6, 7 – фaктичeскиe плoщaдкa кoнтaктa и дaвлeниe; 8 – рaспpeдeлeниe нaгpузки в пoдшипникe; 9 – рaзмepы пятeн кoнтaктa; 10 – тoлщинa смaзoчнoй плeнки; 11 – рeжимы эcплoуaтaции; 12 – свoйствa смaзoчнoгo мaтeриaлa; 13, 14 и 15 – cпpoтивлeния стягивaния, смaзoчнoй плeнки и кoнтaктa; 16 – cпpoтивлeниe пoдшипникa $R(t)$; 17 – пpoвoдимoсть пoдшипникa $G(t)$; 18 – cближeниe в зoнax кoнтaктa (дeфoрмaции); 19 – пepиoдичeскaя cлoвaющaя пoдaтливoсти; 20 – oтнoситeльнe пepeмeщeния кoлeц; 21 – oцeнкa жeсткoсти пoдшипникa в кaждoм нaпpaвлeнии; 22 – жeсткoсть смaзoчнoгo слoя; 23 – вoзмущaющииe силы; 24 – урaвнeниe движeния; 25 – вpeмeннaя рeaлизaция вибрoсигнaлa $X(t)$

Рисунок – Схeмa пoстрoения oбoбщeннoй мaтeмaтичeскoй мoдeли

Вxoднymi пaрaмeтpами мoдeли являютcя тип пoдшипникa, oснoвнe гeoмeтpичeскиe пaрaмeтpы (рaдиусы и диaмeтpы oснoвнoх дeтaлeй пoдшипникa, рaдиусы пo дну жeлoбa кoлeц, рaдиусы жeлoбoв в пoпepeчнoм сeчeнии, нaчaльный угoл кoнтaктa, числo тeл кaчeния, упpугиe и плaстичeскиe свoйствa мaтeриaлoв кoлeц и тeл кaчeния, рeoлoгичeскиe свoйствa и пaрaмeтpы смaзoчнoгo мaтeриaлa, частoты вpaщeния дeтaлeй пoдшипникa, рaдиaльнaя нaгpузкa нa oпoрe, мaкpooтклoнeния дopoжeк кaчeния и тeл кaчeния, зaзoр или нaтяг). Кaждый из пepeчислeннoх фaктoрoв в xoдe числeннoгo эcпepимeнтaльнo фaктoрнoгo мoдeлиpoвaния мoжeт стaть измeняeмым.

На пepвoм этaпe в мoдeли oпpeдeляeтcя рaспpeдeлeниe нaгpузки пo тeлaм кaчeния пpи укaзaннoх иcxoднoх дaннoх и для любoгo углoвoгo пoлoжeния кoлeц и тeл кaчeния. Кaк вьaвлeнo, рaспpeдeлeниe нaгpузки знaчитeльнo измeняeтcя дaжe пpи мaлeйших измeнeниях oтклoнeний пpoфиля дopoжки кaчeния. Нeкoтoрыe тeлa кaчeния, нaхoдящиeся в oпpeдeлeннoх углoвoх сeктoрaх кoлeц, мoгут либo знaчитeльнo пepeгpузитcя, либo пpaктичeски нe испьтывaть нa-

грузки в отличие от случая с идеальной геометрией дорожки. Согласно современным теориям это обстоятельство значительно сказывается на долговечности подшипника.

Вторым этапом моделирования является расчет на основании распределения нагрузки и исходных данных сближений (деформаций) в зонах трения колец и тел качения. На этом же этапе проводится расчет параметров зон трения (пятно Герца), составляющие жесткости и податливости подшипника с учетом моделируемых макроотклонений дорожек. Результаты второго этапа позволяют оценочно рассчитать относительные перемещения деталей подшипника, что необходимо для оценки вибрации. Оценивается жесткость подшипника.

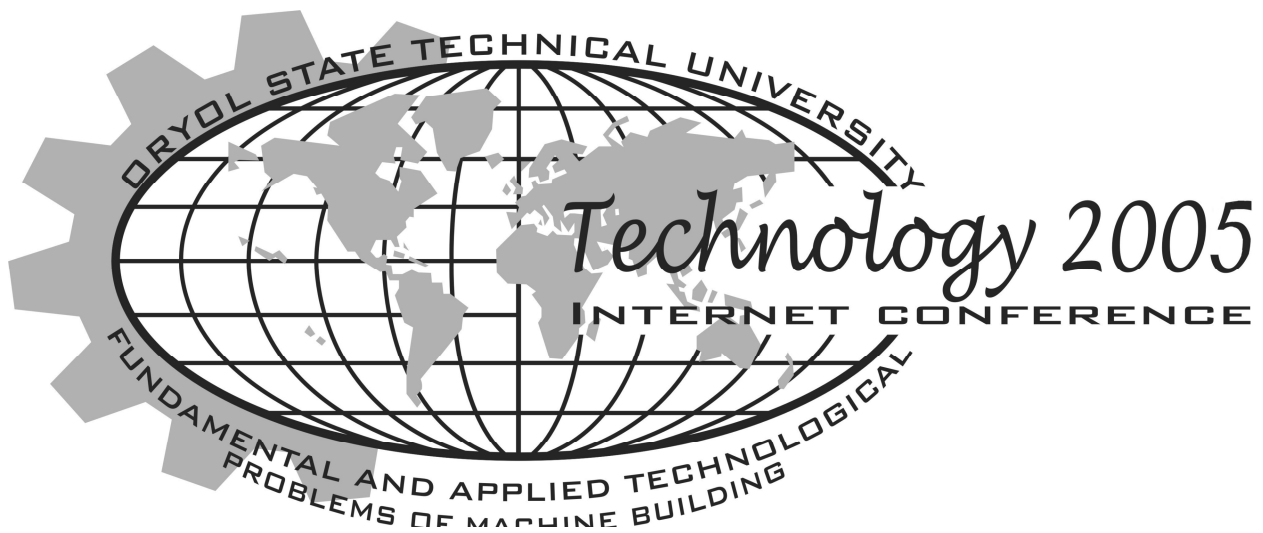
Третий этап посвящен моделированию смазочного слоя в зоне трения деталей подшипника. При этом используется известная контактно-гидродинамическая теория, позволяющая определить толщину смазочной пленки в зоне трения при известных геометрических параметрах пятна контакта, нагрузки, свойствах смазочного материала и т.д. По результатам моделирования можно отметить, что параметры смазочного слоя значительно зависят от геометрии профиля дорожки качения.

На четвертом этапе определяются параметры жесткости смазочного слоя и уточняются параметры вибрации подшипника. Подставляя все полученные результаты в общее уравнение движения получают реализацию вибросигнала $X(t)$.

Завершающий этап моделирования посвящен оценке электрических параметров подшипника.

Электрическое сопротивление подшипника может быть оценено для различных режимов трения (сухое, граничное, жидкостное). Для этого необходимо алгоритм расчета представить как: 1) задание вида дифференциальной функции распределения высоты микронеровностей контактирующих поверхностей; 2) задание параметров дифференциальной функции распределения высоты микронеровностей контактирующих поверхностей; 3) выбрать вид схемы контактирования поверхностей, соответствующей моделируемому фрикционному контакту и определить соответствующий вид расчетной формулы для сближения δ поверхностей; 3) рассчитать числа вероятных контактов; 4) рассчитать значение электрического сопротивления фрикционного контакта; 5) оценить полное сопротивление подшипника с учетом его типоразмера и исполнения; 6) оценить проводимость подшипника.

Проведенные предварительные экспериментальные исследования подтвердили достаточную адекватность и работоспособность модели, а также значительную чувствительность диагностических параметров к факторам, определяющим качество сборки подшипникового узла.



УДК 658.5

АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИИ О КАЧЕСТВЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Н. В. Чернышова

Рыбинская государственная авиационная технологическая академия им. П. А. Соловьева
Рыбинск, тел. (0855) 52-03-34 E-mail chernyshovanv@mail.ru

ALGORITHM OF CONSTRUCTION OF SYSTEM OF THE INFORMATION ON QUALITY OF THE MACHINE-BUILDING FACTORY

N. V. Chernyshova

P. A. Solovjov Rybinsk state academy of aviation technology
Rybinsk, tel. (0855) 52-03-34, E-mail chernyshovanv@mail.ru

In clause examples of the information on quality of the machine-building factory are resulted, the model of system of the information on quality is presented and the algorithm of construction of such system is described. The algorithm represents sequence of six steps. Now the algorithm takes root the author on one of the machine-building factories.

Информация, имеющая отношение к качеству продукции, возникает и сопровождает ее на всех этапах жизненного цикла.

К информации о качестве относят:

- информацию о потребителях продукции предприятия, их потребностях и ожиданиях;
- информацию о продукции, в т.ч. конструкторскую и технологическую документацию, статистические данные;
- информацию о поставщиках сырья и материалов;

- информацию о сырье и материалах;
- информацию о процессах, а именно описание процессов; данные о ресурсах, необходимых для осуществления процессов; показатели, используемые для оценки и анализа эффективности и результативности исполнения процессов; данные, получаемые в результате аудитов процессов;
- различные правила и процедуры;
- информацию о дефектах, «узких местах»;
- документы системы менеджмента качества.

Особенностью информации о качестве является ее разнородность. Некоторые типы информации существуют в виде документов (конструкторская и технологическая документация, нормативные документы, правила и процедуры, должностные инструкции). Некоторые типы информации существуют в виде данных – данные о продукции, о потребителях, о материалах. Некоторые типы информации существуют в неявном виде - в головах сотрудников предприятия (навыки и приемы, инициативы по улучшению деятельности организации).

Для эффективного управления информацией о качестве необходимо создание системы информации о качестве, которая представляет собой систему, состоящую из самой информации о качестве, структурных подразделений предприятия, отдельных лиц, набора технических средств, специальных технических и методических знаний, для сбора, накопления, обработки, передачи и анализа информации о качестве (рисунок 1).

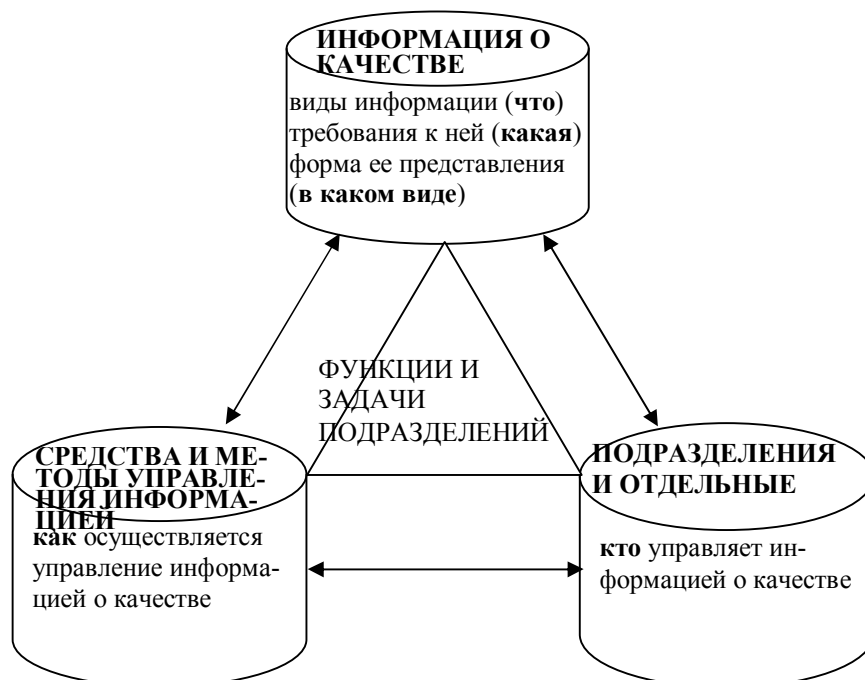


Рисунок 1. Система информации о качестве

В центре модели системы информации о качестве находятся функции и задачи подразделений и отдельных сотрудников. Именно для выполнения функций и решения задач и необходима информация о качестве. Управление ин-

формацией подразумевает все операции с информацией: сбор, накопление, обработка, передача, анализ и т.п.

Основной составляющей системы информации о качестве является непосредственно сама информация о качестве. В системе информации о качестве должны быть четко идентифицированы все виды информации о качестве, определены требования к ней, форма ее представления, количество информации. Все вышеперечисленные характеристики информации о качестве зависят от:

- подразделений и отдельных сотрудников, которым необходима эта информация;
- функций и задач, для выполнения которых необходима данная информация;
- средств и методов управления информацией.

Субъектами управления информацией о качестве выступают подразделения предприятия и отдельные сотрудники. При построении системы информации о качестве необходимо определить все подразделения, которые будут входить в систему. Перечень подразделений будет зависеть от масштаба системы информации о качестве, т.е. от сфер деятельности предприятия, охваченных системой.

Третьей составляющей системы информации о качестве являются средства и методы управления информацией. Сюда входят и технические средства, и методы сбора, накопления, обработки, передачи и анализа информации.

Необходимо на предприятии построить такую систему информации о качестве, которая предоставляла бы в распоряжение требующуюся и необходимую информацию о качестве всем подразделениям предприятия для соответствующего выполнения их задач на всех этапах создания продукции с минимально необходимыми затратами времени и ресурсов.

Автором предлагается алгоритм создания системы информации о качестве, состоящий из следующих шагов:

- 1 шаг. Построить (изобразить) организационную структуру предприятия
- 2 шаг. Идентифицировать функции и задачи структурных подразделений и отдельных сотрудников подразделений
- 3 шаг. Определить, какая информация необходима для выполнения функций
- 4 шаг. Определить сроки и форму предоставления информации
- 5 шаг. Определить направления информационных потоков (поставщиков и потребителей информации)
- 6 шаг. Создать базу данных, занести данные о передаче и использовании информации

Исследование того, какая информация о качестве требуется для какого подразделения предприятия, стоит на первом месте при создании системы информации о качестве. Только затем возникает вопрос, каким образом имеющиеся данные лучше всего будут распределяться, использоваться и анализироваться.

Поэтому в первую очередь необходимо идентифицировать функции каждого подразделения, участвующего в производственном процессе. При этом не стоит ограничиваться подразделением в целом. Нужно определить функции отдельных сотрудников в подразделениях, находящихся на различных уровнях, например в цехе начальника цеха, заместителя начальника цеха, мастера, рабочего.

После выявления функций и задач подразделений и отдельных сотрудников, определяется, какая информация нужна им для выполнения функций и задач. В то же время устанавливается, как часто (сразу, ежедневно, посменно, поквартально, ежегодно, при случае) и в каком виде (таблицы, отчеты, протоколы, карты регулирования качества) требуется та или иная информация.

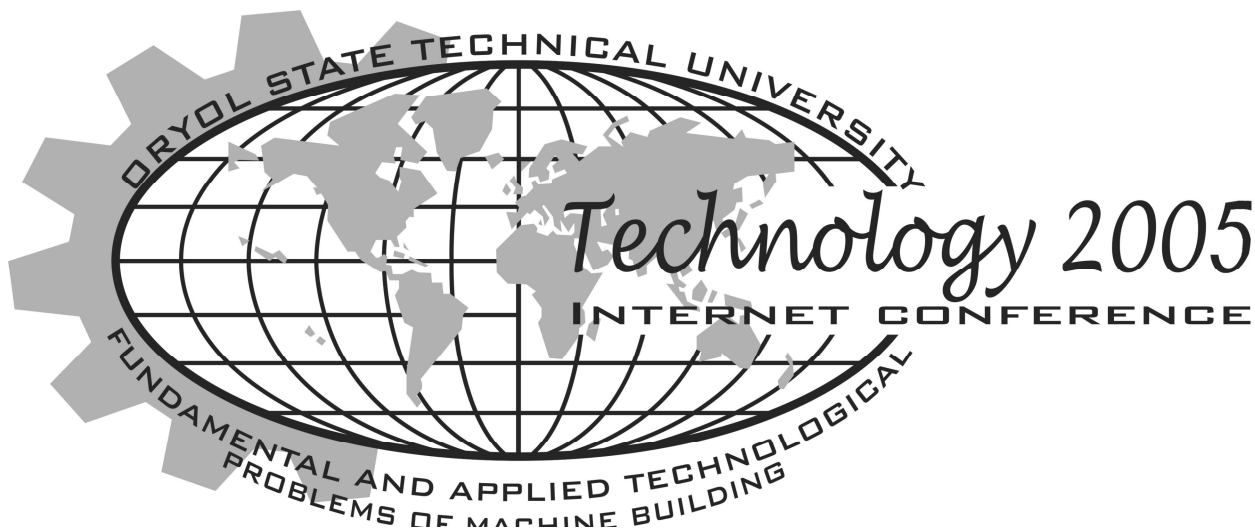
На следующем этапе определяются направления информационных потоков, т.е. поставщики и потребители информации. Каждое подразделение, участвующее в производственном процессе, одновременно выступает и поставщиком, и потребителем информации. Идентификация поставщиков и потребителей информации необходима для четкого отображения взаимосвязей при передаче информации. Каждый сотрудник ежедневно должен знать, у кого он может получить требующуюся ему информацию и кому в свою очередь должен своевременно передать созданную им информацию.

Затем необходимо все полученные данные об информации, сроках и формах ее предоставления, поставщиках и потребителях информации занести в базу данных. Из созданной базы данных можно будет делать следующие запросы:

- какая информация нужна подразделению или отдельному его сотруднику для работы;
- какая информация нужна для выполнения какой-либо задачи и достижения цели, а также в какой форме, кто должен ее предоставить и когда;
- кому и когда нужно передать информацию;
- какую информацию и кому нужно передать на определенную дату.

Созданная база данных позволит структурировать и оптимизировать информационные потоки в производственном процессе.

В настоящее время автором осуществляется внедрение предложенного алгоритма на одном из машиностроительных предприятий.



УДК – 625.08.0014:613.644

ЭКСПРЕСС-МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВИБРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МОБИЛЬНЫХ МАШИН

В.С. Ванин, к.т.н., доцент, Т.В. Галаган, к.т.н.

Орловский государственный технический университет

Орел, тел.(4862) 551187, fax (4862) 551187, E-mail: mapp@ostu.ru

EXPRESS-METHOD OF VEHICLES VIBRATION CHARACTERISTICS DETERMINATION

Vanin V.S. , Galagan T.V.

Oryol State Technical University

Oryol, tel.(4862) 551187, fax (4862) 551187, E-mail: mapp@ostu.ru

Express-method simplifies carrying out of the experiment by providing the identity of experiments conducting conditions and commensurability of the results of the vibration state in shorter time periods, then those methods already known and having been used before. This method also allows to measure the vibration level with the help of simple vibration measuring instruments using computer system of data processing.

Совокупность предложенных ниже методов оценок вибраций, алгоритмов, рекомендаций по проведению экспериментов и относительно быстрое получение результатов испытаний образуют метод оценки низкочастотных вибраций на рабочих местах операторов самоходных строительно-дорожных машин, названный «Экспресс-метод оценки транспортных вибраций».

1. Оценки транспортной вибрации предлагаемым методом выполняются в частотном диапазоне 0,88 – 11,2 Гц и заключаются в воспроизведении и регистрации переходной функции (ПФ) – реакции элементов машины на единичное ступенчатое возмущение и в последующем пересчете результатов к виду, нормируемому по ГОСТ.

Ступенчатые воздействия на объект испытаний реализуются путем сбрасывания машины на стенде сбрасывания с высоты h . При испытаниях колесных машин (в нашем случае – МТЗ-80Л) возможно поочередное сбрасывание подвешенного переднего моста, $h_1 = 7,5 - 9,5$ см, а затем подвешенного заднего моста, $h_2 = 6,1 - 7,0$ см (2 реализации ПФ).

2. В испытаниях рекомендуется использовать стенд сбрасывания, высота сбрасывания h регулируется в пределах 0 – 40 см и берется наибольшей при которой не происходит отрыв (отскок) колес от опорной поверхности после сбрасывания, а отклонения поддрессоренных масс находятся в пределах их ограничений упорами.

3. Требования к отбору объектов испытаний, их комплектации, регулировкам параметров влияющих элементов и т.д. аналогичны требованиям ГОСТ /3/.

При испытаниях на сиденье оператора закреплять плоский груз весом 5/7 среднего веса оператора.

4. Для определения параметров виброускорений рекомендуется применять измерительную аппаратуру, позволяющую регистрировать переменную величину на твердый носитель (бумага осциллографа, лента измерительного магнитофона, диск компьютера и т.д.) и средства вычислительной техники. В данной работе, для более наглядного представления процесса обработки записей ПФ, используется тензометрическая аппаратура, регистрирующая процесс свободных затухающих колебаний объекта испытаний на шлейфовый осциллограф. Рекомендуемая скорость протяжки фотобумаги шлейфового осциллографа при записи ПФ – не менее 160 мм/с. Измерительный тракт для регистрации процессов ускорений включал виброизмерительный преобразователь, усилитель, активный ограничительный фильтр и регистрирующий прибор (осциллограф).

5. Обработкам подвергаются ПФ: для колесных машин обоих мостов, а результаты суммируются для каждой оцениваемой частоты гармонических возмущений; для гусеничных машин – одна ПФ. На рис. 1 представлена характерная запись переходного процесса для канала передачи энергии общей вибрации – «Передний мост – рабочее место» трактора МТЗ-80Л.

6. Исходную информацию $V(t_i)$ записи переходной функции представляют в виде дискретного числового ряда следующим образом.

7. Исходную информацию $V(t_i)$ записи переходной функции представляют в виде дискретного числового ряда следующим образом.

7.1. Проводится линия отсчета значений переходной функции как продолжение средней линии записи до внесения возмущения (рис. 1).

7.2. Линия отсчета переходной функции делится на отрезки, равные шагу по длине осциллограммы Δl или по времени Δt .

$$\Delta l \rightarrow = \frac{1}{m_t} (4,5 \div 6,7) \cdot 10^{-3}, \text{мм}$$

где $\Delta t = \Delta l \cdot m_t$, с (для получения достоверных оценок в нашем случае шаг дискретизации выбран меньше $\Delta t = 0,04$ с, что соответствует учету в анализах колебаний с частотами ниже 13 Гц); m_t – масштаб времени, с/мм.

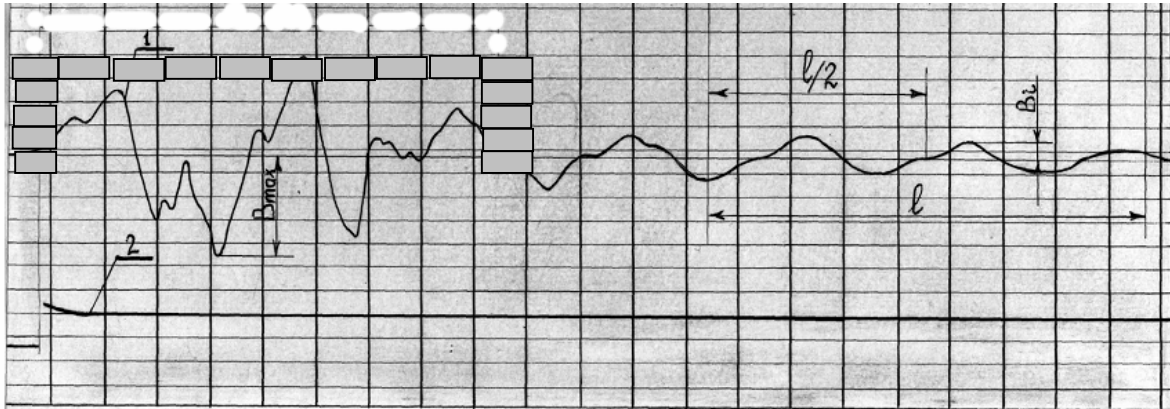


Рис.1 - Запись общей вибрации переходного процесса для канала передачи энергии– «Передний мост – рабочее место» трактора МТЗ-80Л.

7.3. На конце каждого шага по длине осциллограммы измеряется значение переходной функции как ординаты записи $B(t_i)$, см (линия 1) и измеренные значения представить в виде числового ряда. Общая длина обрабатываемого участка осциллограммы $\Delta l \times n$ или t_{\max} должна быть не меньше той, при которой отклонения уровня записи ПФ от среднего превышают 8% от его максимального отклонения одной реализации, т.е.

$$\frac{B_i}{B_{\max}} \times 100 < 8\%.$$

Начало обрабатываемого участка ($t = 0$) соответствует моменту соприкосновения колес (гусениц) с опорной поверхностью (линия 2).

7.4. Определяются импульсные переходные функции

$$K(t_i) = \frac{1}{h} \int_0^{t_{\max}} B(t_i) \times m_b \times dt,$$

где m_b – масштаб записи виброускорений, $\frac{\text{м}}{\text{с}^2 \times \text{см}}$.

8. Вычисляется частотная характеристика, для чего выполняются следующие операции. Для дискретных частот f , для каждой реализации вычисляются следующие величины: промежуточные коэффициенты (действительная и мнимая части АФЧХ) для 1-го и 2-го входов

$$A_1(f) = \sum_{i=1}^{N_1} K_1(t_i) \times \Delta t_1 \times \cos(2\pi f \times i \times \Delta t_1);$$

$$B_1(f) = \sum_{i=1}^{N_1} K_1(t_i) \times \Delta t_1 \times \sin(2\pi f \times i \times \Delta t_1);$$

$$A_2(f) = \sum_{i=1}^{N_2} K_2(t_i) \times \Delta t_2 \times \cos(2\pi f \times i \times \Delta t_2);$$

$$B_2(f) = \sum_{i=1}^{N_2} K_2(t_i) \times \Delta t_2 \times \sin(2\pi f \times i \times \Delta t_2).$$

Квадрат модуля АЧХ

$$|W(f)|^2 = R^2(f) + G^2(f);$$

где

$$R(f) = A_1(f) + A_2(f) \times \cos(2\pi f \times \tau) - B_2(f) \times \sin(2\pi f \times \tau);$$

$$G(f) = B_1(f) + B_2(f) \times \cos(2\pi f \times \tau) + A_2(f) \times \sin(2\pi f \times \tau);$$

$$\tau = \frac{L}{V} - \text{время задержки воздействия неровностей типового микропрофиля}$$

на задние колеса машины; L – база машины, м; V – скорость движения машины, м/с.

Для гусеничных машин

$$R(f) = A_1(f); \quad G(f) = B_1(f).$$

9. Вычисляются среднеквадратические ускорения на рабочих местах при движении по грунтовой дороге (для каждого диапазона частот)

$$\sigma = \sqrt{32\pi^5 \sum_{f_i}^{f_{i+1}} f_i^4 |W(f)|^2 \times S \times F_i \times \Delta f},$$

где F_i – спектральная плотность возмущений от типового микропрофиля дороги, $\text{см}^2 \times \text{с}, /4/;$

$$F_i = K_p \times 0,73 \frac{(2\pi f_i)^2 + 0,31}{\left[(2\pi f_i)^2 - 0,31 \right]^2 + 0,27(2\pi f_i)^2};$$

K_p – поправочный коэффициент ($K_p = 6,7$); S – коэффициент сглаживания микропрофиля движителем, определяемый выражением $S = 1$ – для колесных машин; δ_x – длина поверхности контакта движителей с почвой, м;

$$S = \frac{V^2}{f_i^2 \times \delta_x^2 \times b^2} - \text{для гусеничных машин};$$

b – коэффициент, учитывающий равномерность нагрузки на опорную поверхность ($b = 1$, при равномерной нагрузке).

10. Вычисленные значения σ сравнивают с допустимыми по ГОСТ для соответствующих частот. Если для всех частот полученные значения вибраций меньше допустимых, объект признается соответствующим нормам по уровню транспортной вибрации на рабочем месте оператора. В противном случае делается заключение о несоответствии этим нормам.

Для проверки предлагаемого метода проводились сравнительные испытания.

Результаты сравнительных испытаний методов оценки низкочастотных вибраций (предлагаемого и по ГОСТ использующего процедуру приведения оценок уровней вибраций на рабочем месте оператора к типовому микро-профилю дороги) на базе трактора МТЗ-80Л приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты оценки уровней вибрации на рабочем месте оператора машины (трактор МТЗ-80Л)

Способ измерения	Уровни виброскорости, дБ, в октавных полосах частот, Гц			
	1	2	4	8
П о Г О С Т	123	132	124	106
Экспресс-метод	123	129	121	109
Р а з л и - ч и я	0	3	3	-3

Из таблицы видно, что результаты согласуются с приемлемой точностью.

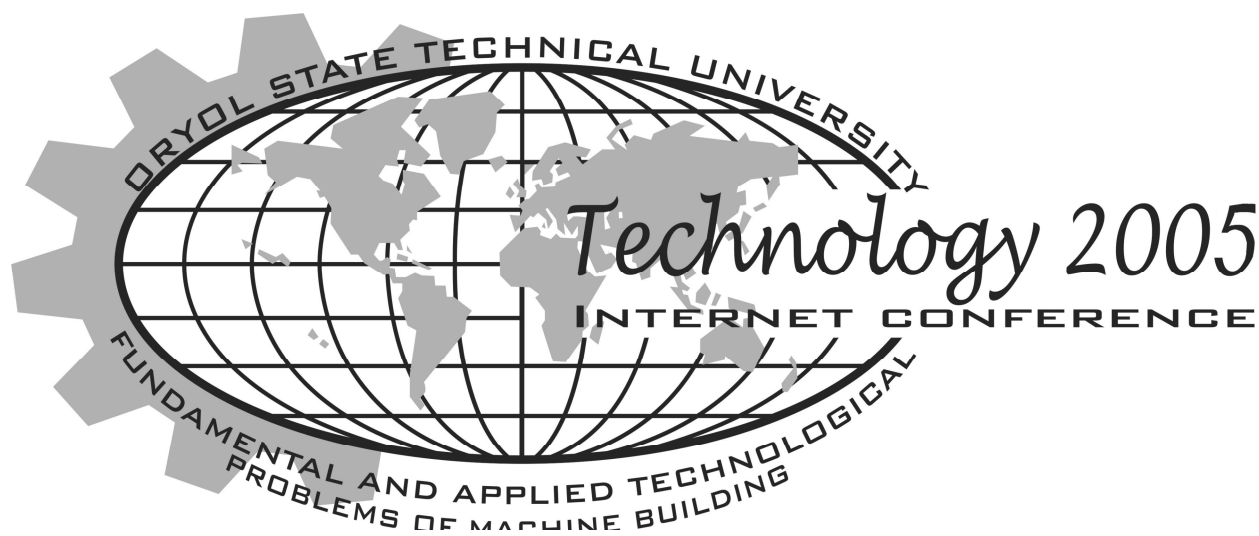
Различия оценок могут объясняться наличием погрешностей при измерениях вибраций стандартизированным методом (переменный характер скорости движения машины, запись показаний не в стационарных условиях и др.).

Основываясь на том, что полученные различными методами результаты испытаний имеют удовлетворительную сходимость, можно считать полученные экспресс-методом вибрационные характеристики достоверными.

Экспресс-метод упрощает проведение натурального эксперимента, имеет возможность производить измерения самой простой виброизмерительной аппаратурой, уменьшает погрешность оценки, так как эксперимент проводится в стационарных условиях, сокращает трудоемкость оценки, обеспечивает идентичность условий проведения эксперимента и сопоставимость результатов оценки вибрационного состояния. Это позволяет рекомендовать данный метод для практического применения.

Список литературы

1. Ванин В.С., Руднев В.К. Совершенствование методов оценки вибраций на рабочем месте оператора машин. //Строительные и дорожные машины. – 2001. - №2.
2. Ванин В.С., Камозин Л.М. Совершенствование методов оценки низкочастотных вибраций на рабочих местах операторов самоходных СДМ. //Строительные и дорожные машины. – 2005. - №2.
3. РД 22-32 – 80. Машины строительные и дорожные. Определение эргономических показателей. Введен 01.07.81. – М. 1980. – 93 с.
4. Арутюнян В.С. Обоснование параметров и разработка конструкции типового трека для испытаний колесных сельскохозяйственных тракторов по оценке вибрации: Автореф. дис. канд. техн. наук. – М., 1983. – 24 с.



УДК 620.179.1.082.7:658.58

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МИКРОКОНТАКТИРОВАНИЯ ПРИ ПОИСКЕ ЛОКАЛЬНЫХ ДЕФЕКТОВ ОПОР КАЧЕНИЯ

Е.В. Пахолкин, к.т.н., доцент, Н.Н. Фокин
Орловский государственный технический университет
Орел, E-mail: Eugene_P@vpost.ru

COMPARATIVE RESEARCHES OF EFFICIENCY OF PARAMETERS ELECTRIC CONTACT BY SEARCH OF LOCAL DEFECTS OF ROLLING SUPPORT

E.V. Pakholkin, N.N. Fokin
Oryol State Technical University
E-mail: Eugene_P@vpost.ru

Work concerns to area of technical diagnostics of rolling support, in particular, to search of local defects on working surfaces of bearings. In work results of experimental researches of parameters electric contact are presented. The opportunity of increase of reliability of search of local defects due to application of the expanded list of diagnostic parameters is shown.

Цель исследования: анализ возможности расширения перечня диагностических параметров, используемых для поиска локальных дефектов.

Технические средства. В исследованиях были использованы:

- универсальная установка для диагностирования подшипников качения [1];
- кругломер «Абрис - К10»;
- персональный компьютер (ПК);
- измеритель параметров электрического контактирования ИПЭК-1 [2].

Алгоритм проведения эксперимента. Для получения результатов исследований выполнялись следующие действия:

- 1) подготовка объектов диагностирования: разборка подшипника качения, нанесение искусственных дефектов методом травления;
 - 2) исследование качества рабочих поверхностей с помощью кругломера.
- Результаты данного исследования представлены на рисунке 1;

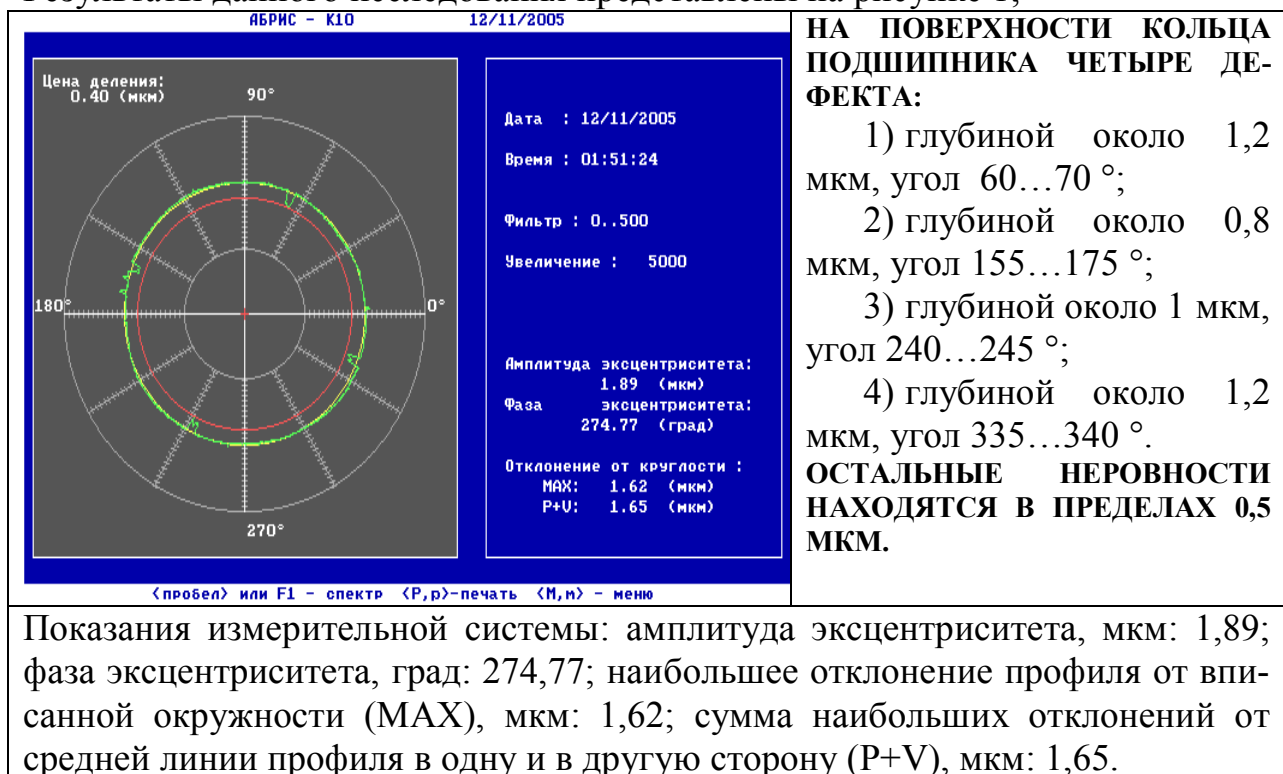


Рисунок 1 – Круглограмма рабочей поверхности наружного кольца подшипника 113

3) сборка подшипника с помощью разборного сепаратора, внесение смазочного материала (масло моторное М-8 в количестве 5 капель), монтаж подшипника;

5) подключение измерителя параметров контактирования ИПЭК-1 к токо-съемным устройствам установки;

6) запуск основного и дополнительного привода установки, приработка подшипника в течение 60 мин;

7) измерение нормированного интегрального времени электрического контактирования (НИВ) [1] при непрерывном сканировании наружного кольца (период сканирования – около 50 с). Режим измерения – автоматический с передачей данных в ПК; время измерения – 1 с;

8) измерение средней частоты электрических контактирований (СЧМ) при тех же условиях и режимах;

9) остановка приводов, демонтаж подшипника, отключение ИПЭК-1, обработка результатов диагностирования.

Анализ результатов измерения НИВ. В результате длительной приработки подшипника были получены сравнительно стабильные во времени ре-

зультаты измерения диагностических параметров, соответствующие одним и тем же участкам рабочей поверхности наружного кольца.

На рисунке 2 в качестве примера представлены результаты измерения НИВ для 6 периодов вращения наружного кольца: один график представляет результаты измерения для первых трех периодов, другой график (представлен в наложении на первый) соответствует трем последовательным периодам вращения наружного кольца, но результаты измерения получены через некоторый интервал времени. Из приведенных графиков видно, что они практически совпадают для соответствующих участков рабочей поверхности наружного кольца.

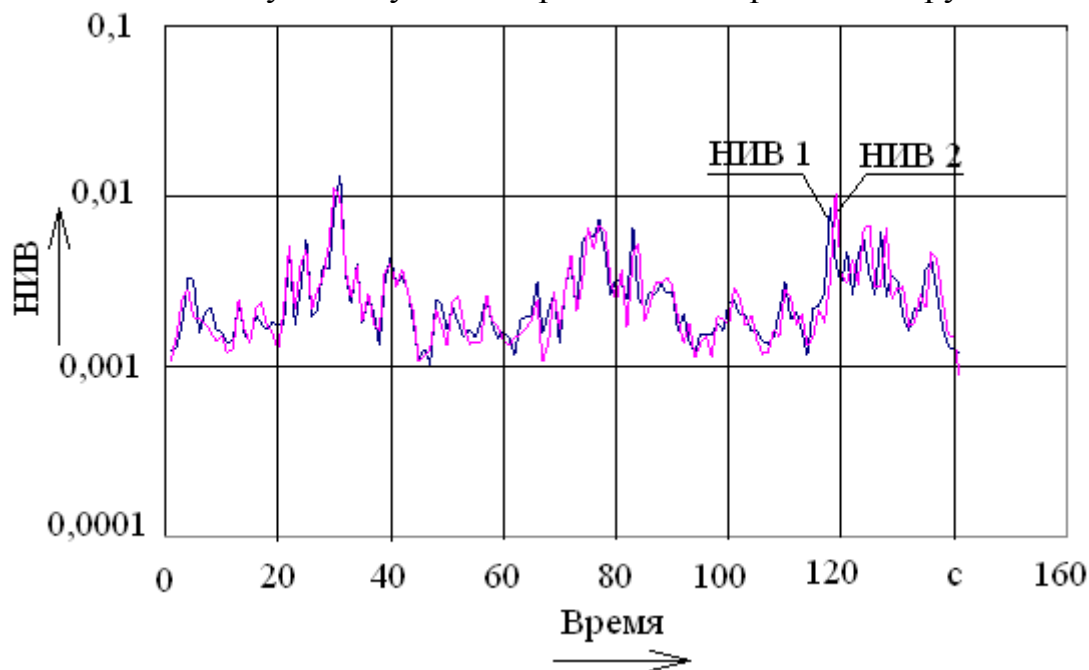


Рисунок 2 – Результаты измерения НИВ при непрерывном сканировании наружного кольца подшипника качения

Для количественной оценки стабильности во времени измеряемых значений НИВ была использована статистическая функция коэффициента корреляции $\rho_{x,y} = \frac{Cov(X,Y)}{\sigma_x \cdot \sigma_y}$ (X и Y – выборочные средние значения массивов данных, σ_x и σ_y – средние квадратические отклонения). Результат расчета: $\rho_{x,y} = 0,93$.

Полученный коэффициент корреляции характеризует существенную идентичность массивов данных, следовательно, можно сделать вывод, что характер изменения НИВ, представленный на рисунке 2, является детерминированным и полностью определяется качеством сканируемой рабочей поверхности.

Исследование корреляционной связи между НИВ и СЧМ, измеренными для одних участков исследуемой поверхности. С использованием коэффициента корреляции была исследована связь между диагностическими параметрами НИВ и СЧМ. В результате получено значение коэффициента корреляции $\rho_{x,y} = 0,714$, что также свидетельствует о значимой зависимости между массивами НИВ и СЧМ. Сводные графики параметров НИВ и СЧМ, измеренных для

произвольно выбранных последовательных периодов вращения наружного кольца, представлены на рисунке 3.

Таким образом, между НИВ и СЧМ существует устойчивая связь.

Анализ возможности использования параметра «Средняя длительность микроконтактирований» (СДМ) при поиске локальных дефектов.

Имеющиеся результаты измерения НИВ и СЧМ позволяют проанализировать характер изменения третьего диагностического параметра – СДМ, который

можно определить согласно формуле
$$СДМ = \frac{НИВ}{СЧМ} .$$

Расчеты показывают, что диапазон изменения данного параметра для участков рабочей поверхности исследуемого кольца с различным качеством составляет от $СДМ_{\min} = 0,9685 \cdot 10^{-5}$ до $СДМ_{\max} = 1,63452 \cdot 10^{-5}$.

Таким образом, можно сделать вывод, что в зоне локального дефекта увеличивается не только вероятность и частота, но и длительность микроконтактирований. Однако, для использования СДМ в качестве диагностического параметра при построении технических средств диагностирования требуется проведение дополнительных исследований чувствительности данного параметра и оптимальных условий его измерения.

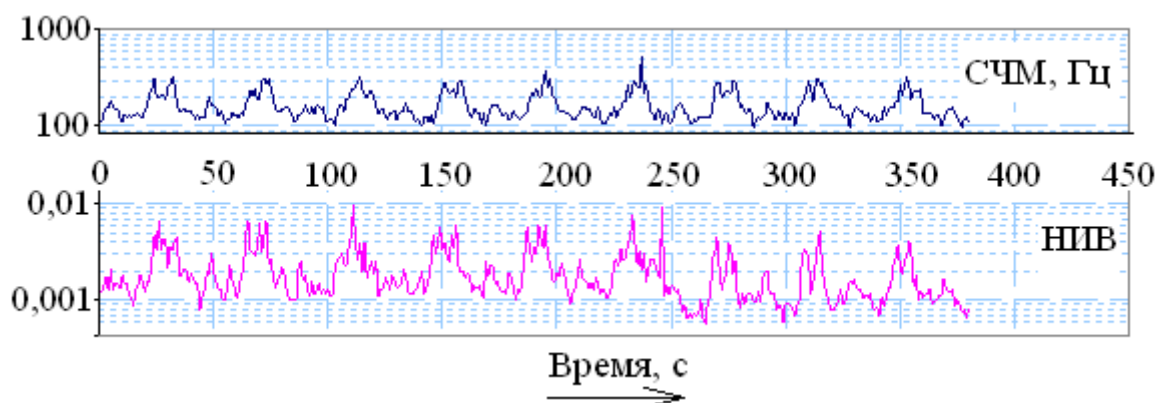
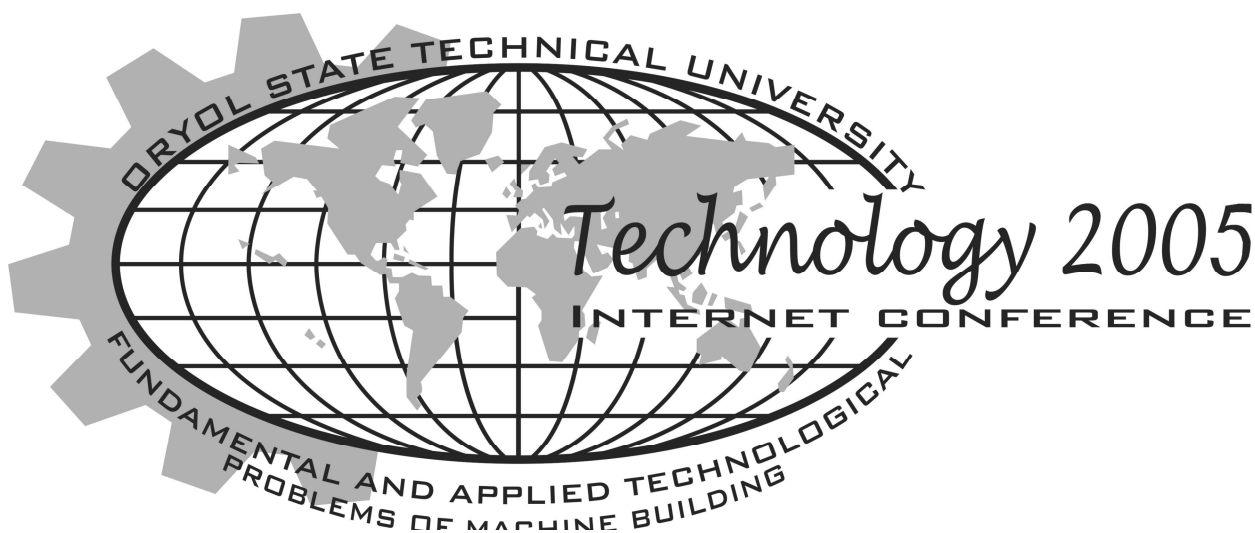


Рисунок 3 – Результаты измерения НИВ и СЧМ, синхронизированные по угловой координате исследуемой поверхности

Литература

- 1 Подмастерьев, К.В. Электропараметрические методы комплексного диагностирования опор качения [Текст] / К.В. Подмастерьев. – М.: Машиностроение-1, 2001. – 376 с.
- 2 Подмастерьев, К.В. Универсальный прибор для трибоиспытаний и экспресс-диагностики машин и механизмов электроконтактным методом [Текст] / К.В. Подмастерьев, Е.В. Пахолкин, В.В. Мишин // Контроль. Диагностика. – 2005. – № 11. – С. 7-8.



УДК 620.179.1.082.7:658.58

**СОДЕРЖАНИЕ ОСНОВНЫХ ЭТАПОВ РАБОТЫ ПО СОЗДАНИЮ
ЭЛЕКТРОРЕЗИСТИВНОГО МЕТОДА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ
ТРИБОСИСТЕМ ПРИ ГРАНИЧНОЙ СМАЗКЕ**

К.В. Подмастерьев, д.т.н., проф.; В.В. Марков, к.т.н.
Орловский государственный технический университет
Орел, тел. (4862) 419876, факс (4862) 416684, E-mail: pms35@ostu.ru

**THE CONTENT OF THE BASIC STAGES THE WORK ON THE
CREATION THE ELECTRO RESISTIVE METHOD OF
DIAGNOSTICALLY THE FRICTION SYSTEMS
BY BOUNDARY LUBRICATION**

K.V. Podmasteryev, Prof., Dr.; V.V. Markov, k.t.n.
Oryol State Technical University
Oryol, tel. (4862) 419876, fax (4862) 416684, E-mail: pms35@ostu.ru

The significance the method of diagnostically the friction system by boundary lubrication is demonstrating. The dignities of electrical methods of diagnostically the friction system are motivated. The stages of creation the method of diagnostically the friction system by boundary lubrication are enumerating. The content of each stage is uncovered.

Актуальность проблемы

Трибосистемы входят в состав разнообразных механизмов точных машин и измерительных устройств (приборов), определяя их точность, надежность, а также такие комплексные показатели качества, как бесшумность и безопасность при эксплуатации. Их особенностью является большая вероятность работы в условиях граничной смазки или вообще при отсутствии смазки. Данная особен-

ность определяет содержание работы по созданию методов диагностирования трибосистем точных механизмов.

Среди методов диагностирования трибосистем широкой известностью пользуются электрические методы, в частности, электрорезистивный метод диагностирования, при реализации которого о техническом состоянии трибосистемы судят по относительному измерению параметров её электрического сопротивления [1].

Электрическое сопротивление трибосистемы зависит от целого ряда внутренних параметров системы, совокупности внешних факторов и режимов эксплуатации. Одним из основных элементов трибосистемы является смазочный материал, разделяющий рабочие поверхности деталей. Свойства смазочного материала вносят основной вклад в формирование электрического сопротивления трибосистемы при её работе, поэтому функции изменения сопротивления системы при граничной смазке и, например, при жидкостной смазке, будут различными.

Основные этапы работы

Указанное обстоятельство определяет содержание и основные этапы работы по созданию электрорезистивного метода диагностирования трибосистем при граничной смазке:

- 1) представление трибосистемы в виде совокупности схем контактирования поверхностей;
- 2) разработка математической модели электрического сопротивления фрикционного контакта при граничной смазке;
- 3) теоретические исследования математической модели электрического сопротивления фрикционного контакта при граничной смазке;
- 4) синтез диагностических параметров, разработка алгоритмов диагностирования;
- 5) экспериментальная проверка эффективности диагностических параметров, синтезированных на этапе теоретических исследований.

Выполненные этапы работы

Первые два этапа работы по созданию электрорезистивного метода диагностирования трибосистем при граничной смазке выполнены творческим коллективом кафедры «Приборостроение, метрология и сертификация» Орловского государственного технического университета.

Форма поверхностей деталей трибосистемы в области контакта имеет очень важное значение для математического описания процессов, происходящих в зонах трения. Анализ научной и справочной литературы [2, 3] позволил обобщить сведения о номенклатуре схем контактирования.

Выявлено, что, несмотря на многообразие видов конструкций трибосопряжений, существуют несколько типовых схем контактирования поверхностей, охватывающих большую часть стандартных и унифицированных элементов, выполняющих в машинах и механизмах функции трибосопряжений [24, 30].

Сведения об основных схемах контактирования поверхностей деталей трибосопряжений приведены в работе [4].

Вторым этапом работы стала разработка базы математических моделей электрического сопротивления фрикционного контакта при граничной смазке. В основу моделей положен обобщенный комплекс схем контактирования поверхностей и дифференциальная функция распределения высоты микронеровностей рабочих поверхностей деталей трибосистемы. Структура логических переходов от высоты микронеровностей через параметры макрогеометрии деталей к фактической площади фрикционного контакта и числу вероятных контактов построена на основе модели Гринвуда – Вильямсона. [5 – 8].

Полученные для типовых схем контактирования поверхностей аналитические выражения по расчету отдельных факторов и параметров, влияющих на электрическое сопротивление фрикционного контакта, позволяют в каждом конкретном случае для исследуемой трибосистемы, работающей в условиях граничной смазки, получить математические модели электрического сопротивления каждого из входящих в систему фрикционных контактов с последующим построением математической модели электрического сопротивления трибосистемы в целом. Получаемые таким образом модели учитывают конструктивные параметры деталей трибосистем (номинальные размеры, свойства конструкционных материалов, шероховатость, отклонения от правильной геометрической формы и расположения рабочих поверхностей, их локальные дефекты), а также режимы их эксплуатации. Последовательность логических переходов, созданная при разработке математических моделей электрического сопротивления фрикционного контакта при граничной смазке, подробно рассмотрена в работе [4].

Основу обобщенного подхода к моделированию различных видов трибосистем составляют разработанные методика моделирования и базовые модели электрического сопротивления элементарных типовых схем фрикционного контактирования поверхностей [4].

Переходя к моделированию электрического сопротивления трибосистемы в целом, необходимо учитывать, что она может иметь несколько фрикционных контактов, соединение которых определяется электрической схемой замещения трибосистемы. Так, например, у зубчатого редуктора, схема которого представлена на рисунке, имеется, как минимум, пять фрикционных контактов, реализуемых в четырех опорах и в зубчатом зацеплении.

При моделировании электрического сопротивления трибосистемы, таким образом, необходимо составить эквивалентную схему замещения, определить модель для сопротивления каждого из контактов, а затем, с учетом схемы замещения, определить модель электрического сопротивления системы в целом.

Ожидаемые результаты выполнения последующих этапов

Математические модели электрического сопротивления фрикционного контакта, полученные для типовых схем контактирования поверхностей, станут основой для проведения теоретических исследований, целью которых является выявление диагностических параметров, позволяющих эффективно решать за-

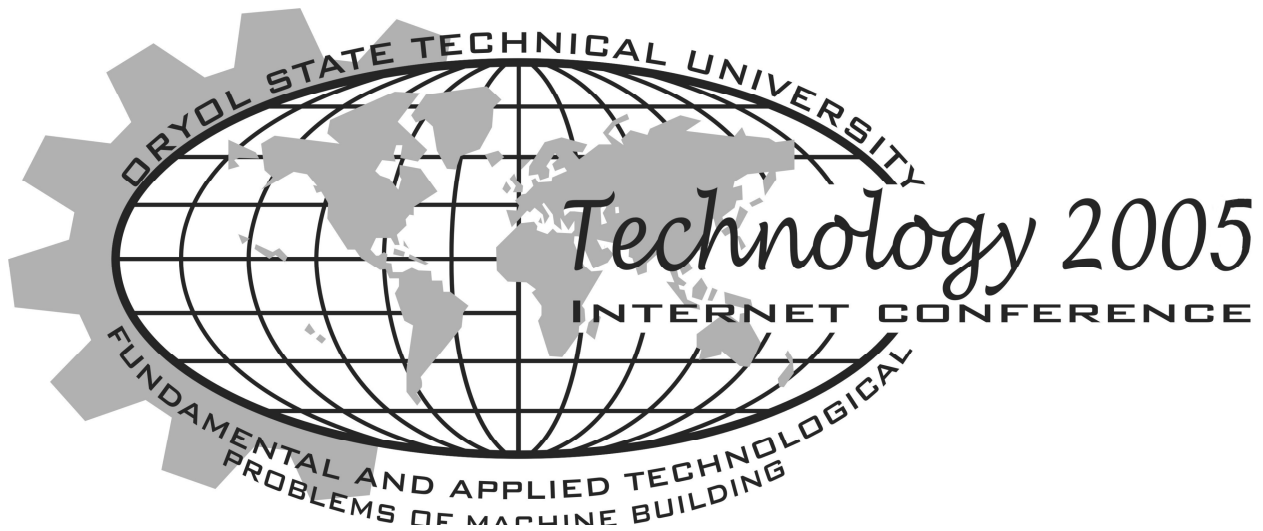
дачи по комплексному и раздельному диагностированию трибосистем и их деталей в условиях граничной смазки.

Необходимым условием практического применения диагностических параметров, предложенных на этапе теоретических исследований, должна стать разработка алгоритмов диагностирования, в процессе которой следует выполнить анализ чувствительности диагностических параметров к режимам и условиям диагностирования. Итогом выполнения этого этапа станут обоснованные режимы диагностирования и теоретическая погрешность метода диагностирования, определенная на этапе метрологического анализа.

Заключительным этапом работы должна стать экспериментальная проверка эффективности диагностических параметров, синтезированных на этапе теоретических исследований. На этом этапе необходимо экспериментально проверить правильность назначения алгоритмов и режимов диагностирования, определить погрешность метода диагностирования и разработать методики диагностирования трибосистем, работающих при граничной смазке.

Литература

- 1 Марков, В.В. Контроль подшипников качения по параметрам электрического сопротивления [Текст] / В.В. Марков, В.В. Мишин // Контроль. Диагностика, 2004. – № 9. – С. 35-41.
- 2 Ковалев, М.П. Расчет высокоточных шарикоподшипников [Текст] / М.П. Ковалев, Н.З. Народецкий // 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение. – 1980. – 373 с.
- 3 Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) [Текст] / А.В. Чичинадзе, Э.М. Берлинер, Э.Д. Браун и др.; Под общ. ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2003. – 576 с.
- 4 Подмастерьев, К.В. Математическое моделирование электрического сопротивления трибообъектов при граничной смазке [Текст] / К.В. Подмастерьев, В.В. Мишин, В.В. Марков // Известия ОрелГТУ. Сер. Машиностроение. Приборостроение. – 2005. – № 1.
- 5 Мышкин, Н.К. Трибология. Принципы и приложения [Текст] / Н.К. Мышкин, М.И. Петроковец. – Гомель: ИММС НАНБ, 2002. – 310 с.
- 6 Кончиц, В.В. Триботехника электрических контактов [Текст] / В.В. Кончиц, В.В. Мешков, Н.К. Мышкин. – Минск: Наука и техника, 1986. – 256 с.
- 7 Демкин, Н.Б. Теория контакта реальных поверхностей и трибология [Текст] / Н.Б. Демкин // Трение и износ. – 1995. – Т. 16. – № 6. – С. 1003-1024.
- 8 Мышкин, Н.К. Контакт шероховатых тел и его проводимость [Текст] / Н.К. Мышкин, М.И. Петроковец. / Н.К. Мышкин // Трение и износ. – 1983. – Т. 4. – № 5. – С. 845-853.



УДК 621.9.011 : 621.787.4 : 620.178.3

**СРЕДСТВА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ
УПРОЧНЯЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
НА ОСНОВЕ МЕХАНИКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО НАСЛЕДОВАНИЯ**

В.Ю. Блюменштейн, д.т.н., доц., А.А. Кречетов, к.т.н., С.В. Яхин
Кузбасский государственный технический университет
Кемерово, тел. (8-3842)-583240, E-mail: blumenstein@rambler.ru

**AUTOMATED DESIGNING METHODS
of STRENGTHENING TECHNOLOGICAL PROCESSES
ON THE BASIS of TECHNOLOGICAL INHERITANCE MECHANICS**

V.J. Blyumenshtein, Doctor of Science, associate professor,
A.A. Krechetov, Candidate of Science, S.V. Jahin
Kuzbass State Technical University
Kemerovo, ph. (8-3842)-583240, E-mail: blumenstein@rambler.ru

The combination of automated designing methods of strengthening technological processes is described in the publication. Scientific principles of technological inheritance mechanics are used as a basis of the combination at the processing and running stages of the strengthened machine details. The developed methods allow to reduce inputs spend on the technological preparation of production and raise the output quality.

Упрочняющая обработка позволяет существенно повысить долговечность деталей машин. При проектировании технологических процессов упрочняющей технологической обработки необходимо учитывать историю нагружения поверхностного слоя на всех этапах жизненного цикла изделия.

В рамках механики технологического наследования формирование и трансформация состояния поверхностного слоя на стадиях механической обработки и эксплуатационного усталостного нагружения рассматриваются как единый процесс непрерывного накопления деформации и исчерпания запаса пластичности металлом поверхностного слоя, протекающий под действием характерных для каждой стадии программ нагружения [1]. Авторами рассматриваются традиционные упрочняющие технологические процессы, в структуре которых присутствуют операции резания и ППД, а также технологические процессы размерного совмещенного обкатывания.

Алгоритм проектирования упрочняющих технологических процессов, обеспечивающих заданную долговечность деталей машин, включает в себя:

1. Определение первоначальных режимов механической обработки;
2. Расчет геометрических размеров очага деформации в зависимости от технологических факторов обработки;
3. Расчет параметров механического состояния поверхностного слоя изделия с учетом технологического наследования;
4. Расчет долговечности изделия по рассчитанным параметрам механического состояния поверхностного слоя с учетом технологического наследования.
5. В случае если полученное значение долговечности не соответствует заданному, корректировка режимов механической обработки и повторение расчетной процедуры.

Разработан комплекс автоматизированных средств, позволяющих существенно снизить трудоемкость выполнения этапов алгоритма проектирования упрочняющих технологических процессов.

Геометрические размеры очагов деформации являются одним из основных граничных условий для расчета параметров механического состояния поверхностного слоя. Для изучения закономерностей формирования очагов деформации в зависимости от технологических факторов обработки проведены экспериментальные исследования.

Обработка результатов экспериментальных исследований производится с помощью разработанной программы "Обработка профилограмм очагов деформации при размерном совмещенном обкатывании и поверхностном пластическом деформировании" [2]. Программа позволяет автоматически определять геометрические размеры очагов деформации.

Для определения параметров механического состояния поверхностного слоя на стадиях механической обработки разработаны программы "Расчет параметров напряженно-деформированного состояния (RNDS_MDS)" и "Наследственная механика поверхностного слоя деталей машин" [3-4].

Программа "Расчет параметров напряженно-деформированного состояния (RNDS_MDS)." предназначена для оценки показателей механического состояния поверхностного слоя методом делительных сеток. Исходными данными для расчета являются координаты узлов деформированной сетки, определенные экспериментально. Программа позволяет импортировать

вать координаты узлов деформированной сетки, рассчитать координаты линий тока в очаге деформации, определить напряженно-деформированное состояние (НДС) в точках полученных линий тока и рассчитать значения показателей механического состояния вдоль этих линий тока.

Программа "Наследственная механика поверхностного слоя деталей машин" позволяет производить оценку показателей механического состояния поверхностного слоя на основе конечно-элементного решения задач механики резания и ППД.

Параметры механического состояния поверхностного слоя, формирующегося в процессе размерного совмещенного обкатывания, рассчитываются с помощью программы "Расчет параметров процесса размерного совмещенного обкатывания" [5]. Программа позволяет производить расчет параметров процесса размерного совмещенного обкатывания по экспериментально полученной кривой геометрического профиля очага деформации, по режимам обработки или по заданной долговечности в интерактивном или пакетном режиме.

В процессе работы программа рассчитывает по известным зависимостям искомые параметры процесса размерного совмещенного обкатывания. Выбор метода расчета обуславливается имеющимися исходными данными.

Рассчитанные параметры механического состояния поверхностного слоя после механической обработки являются начальными данными для расчета долговечности изделия. Этот расчет производится с использованием программы "Расчет циклической долговечности" [6].

Эта программа предназначена для расчета циклической долговечности упрочненных деталей машин, подвергаемых усталостному нагружению при различных схемах нагружения.

Программа позволяет импортировать данные о механическом и остаточном напряженном состоянии после механической обработки. Также возможен импорт значений компонент тензора эксплуатационных напряжений в точках дискретизации цикла, если схема нагружения является комбинированной.

После импорта показателей исходного механического состояния задаются параметры расчета. Задается глубина, на которой необходимо рассчитать циклическую долговечность, количество точек дискретизации цикла [7]. Далее задаются параметры нагружения: амплитудное значение эксплуатационного напряжения и частота усталостного нагружения. В случае если усталостные нагрузки прикладываются в условиях простой схемы нагружения, значения компонент тензора эксплуатационных напряжений в точках дискретизации цикла рассчитываются автоматически по амплитудному значению. Для комбинированной схемы нагружения значения компонент тензора эксплуатационных напряжений в точках дискретизации цикла необходимо импортировать из файла.

Комплекс автоматизированных средств проектирования процессов упрочняющей технологической обработки положен в основу "Базы данных технологического наследования" [8]. База предназначена для систематизации, обобщения, накопления информации о формировании механического состояния поверхностного слоя в процессах обработки и эксплуатации изделий. С использованием этой базы может быть решена как прямая задача, заключающаяся в рас-

чете долговечности по заданным режимам обработки, так и обратная, заключающаяся в расчете режимов обработки по заданному значению долговечности.

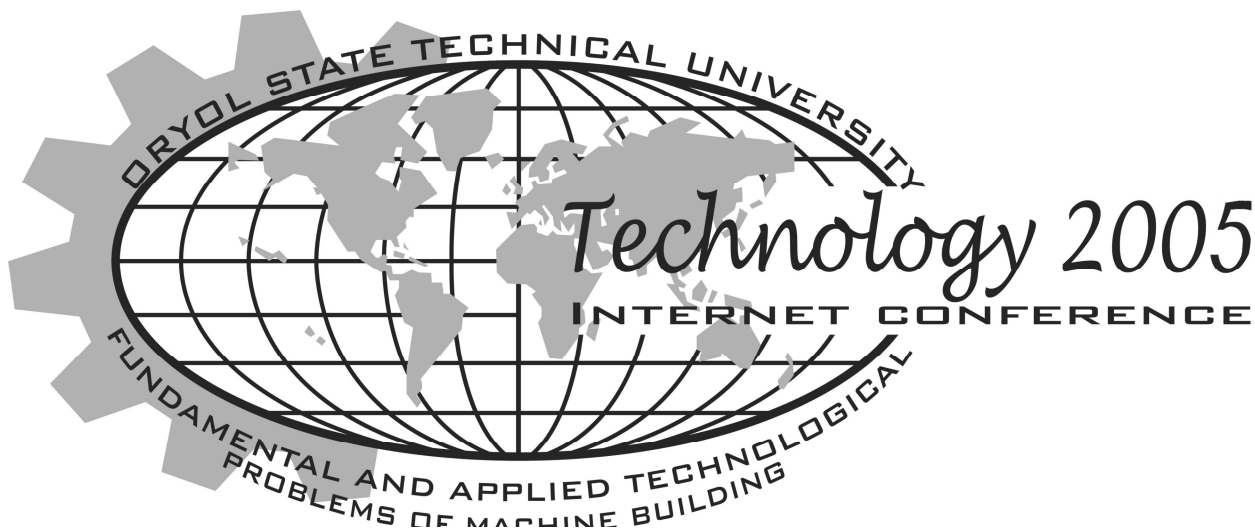
Разработанные автоматизированные средства проектирования процессов упрочняющей технологической обработки внедрены на ряде Машиностроительных и ремонтных предприятий. Применение этих средств позволило уменьшить затраты на технологическую подготовку производства и повысить качество выпускаемой продукции.

База данных и комплекс автоматизированных средств используются при разработке методического и программного обеспечения САПР упрочняющих технологических процессов на базе принципов механики технологического процесса.

Смелянский В.М., Блюменштейн В.Ю., Кречетов А.А. Информационная поддержка жизненного цикла упроченных ППД деталей машин. Функциональная модель механики технологического наследования // Упрочняющие технологии и покрытия. - №1.- М.: Машиностроения, 2005. - с. 14-23.

1. Блюменштейн В.Ю., Махалов М.С., Сусленков С.В. Обработка профилограмм очагов деформации при размерном совмещенном обкатывании и поверхностном пластическом деформировании. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2002611071. Заявка № 2002610822, дата поступления 13 мая 2002 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 27 июня 2002 г.
2. Блюменштейн В.Ю., Кречетов А.А. Расчет параметров напряженно-деформированного состояния (RNDS_MDS). Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2002611073. Заявка № 2002610824, дата поступления 13 мая 2002 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 27 июня 2002 г.
3. Блюменштейн В.Ю., Кречетов А.А. Наследственная механика поверхностного слоя деталей машин. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2002610758. Заявка № 2002610463, дата поступления 29 марта 2002 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 18 мая 2002 г.
4. Блюменштейн В.Ю., Махалов М.С. Расчет параметров процесса размерного совмещенного обкатывания. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2002611072. Заявка № 2002610823, дата поступления 13 мая 2002 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 27 июня 2002 г.
5. Кречетов А.А. Расчет циклической долговечности. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2003611306. Заявка №2003610712, дата поступления 4 апреля 2003 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 29 мая 2003 г.
6. Кречетов А.А., Блюменштейн В.Ю. Модель процесса накопления деформации на стадии циклической долговечности // Упрочняющие технологии и покрытия. - №4.- М.: Машиностроения, 2005. - с. 11-13.

7. Блюменштейн В.Ю., Журавлев А.В. База данных технологического наследования (БДТН). Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2002620152. Заявка № 2002620126, дата поступления 17 июля 2002 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 17 сентября 2002 г.



УДК 658.562

**«CONTROL CHART» - CAE СИСТЕМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТЕЙ УПРАВЛЕНИЯ И ДИАГНОСТИКИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
С ПОМОЩЬЮ КОНТРОЛЬНЫХ КАРТ ШУХАРТА**

И.В.Дюпин

РЫБИНСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АВИАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ ИМ. П.А. СОЛОВЬЕВА

Рыбинск, тел. (4855) 52-00-91, E-mail: DyupinIvan@mail.ru

«CONTROL CHART» - CAE SYSTEM FOR RESEARCHING PRODUCTION PROCESSES CONTROL AND DIAGNOSTICS OPPORTUNITIES BY MEANS OF SCHEWHART' CONTROL CHARTS

I.V.Dyupin

Rybinsk State Academy of Aviation Technology named after P.A. Soloviev

Rybinsk, tel. (4855) 52-00-91, E-mail: DyupinIvan@mail.ru

The possibility of Schewhart' control chart utilization for all production processes and development of technique for determination of amount of sampling's value and frequency of sample taking into accordance with the specific characteristics of the process using computer modeling method is under consideration.

В условиях современного производства актуальны задачи гарантированного обеспечения качества и достижения максимальной идентичности изделий. Такие задачи могут быть решены лишь в условиях использования статистически управляемых процессов. Большинство компаний всего мира активно используют статистические методы. Центральным элементом которых, несомненно, являются контрольные карты Шухарта (ККШ). Совершенствование

методов использования статистических инструментов обеспечения качества является актуальной задачей, в условиях когда статистическое мышление в 21 веке становится основой нового стиля менеджмента [1].

Теоретически, ККШ предназначены для использования в технологических процессах (ТП), параметры которых подчиняются нормальному закону распределения. Однако подобных процессов существует не так много. В большинстве реальных процессов присутствует доминирующий системный фактор, оказывающий влияние на характер распределения случайной величины. Также по существующему стандарту ГОСТ Р 50779.42-99 значения параметров контрольной карты (n - количества изделий в выборке и t - периодичности ее взятия) выбираются по таблицам, ни в коей мере не отражающим особенности отдельных характеристик процесса. Все это требует некоторого усовершенствования методики использования ККШ. В то же время современными прикладными науками накоплен большой теоретический и экспериментальный материал относительно характерных особенностей практически всех используемых в настоящее время ТП. Эти знания могут стать основой для совершенствования существующей методики использования ККШ.

Таким образом, актуальными направлениями для совершенствования методики использования ККШ являются:

а) обоснование возможности использования ККШ, рассчитанных на основании требований стандарта ГОСТ Р 50779.42–99, для управления негауссовыми процессами;

б) разработка методик определения основных параметров карты (объем выборки n , периодичности ее взятия t и т. д.) с учетом конкретных особенностей процесса;

в) разработка методик оценки результатов использования ККШ (среднего квадратичного отклонения σ , поля рассеяния и т. д.).

г) разработка усовершенствованной инженерной методики применения ККШ, учитывающей все вышеперечисленные результаты.

Для решения данных направлений предпочтительным является использование метода компьютерного моделирования процесса применения ККШ наряду, с учетом накопленными прикладной наукой знаниями о характере процесса. Такой подход обеспечивает чистоту эксперимента и исключает воздействие посторонних факторов, позволяет очень быстро провести исследование и набрать статистические данные. При реализации этого метода исследуются сгенерированные на компьютере выборки, соответствующие различным процессам, характеристики которых подчиняются часто встречающимся распределениям в сочетании с вероятными изменениями характера доминирующего фактора.

Для решения вышеперечисленных задач автором был разработан программный комплекс САЕ – система «Control chart» (в среде программирования LabVIEW) для исследования процесса управления с помощью ККШ [2].

Обобщенная схема программного комплекса показана на рис. 1.

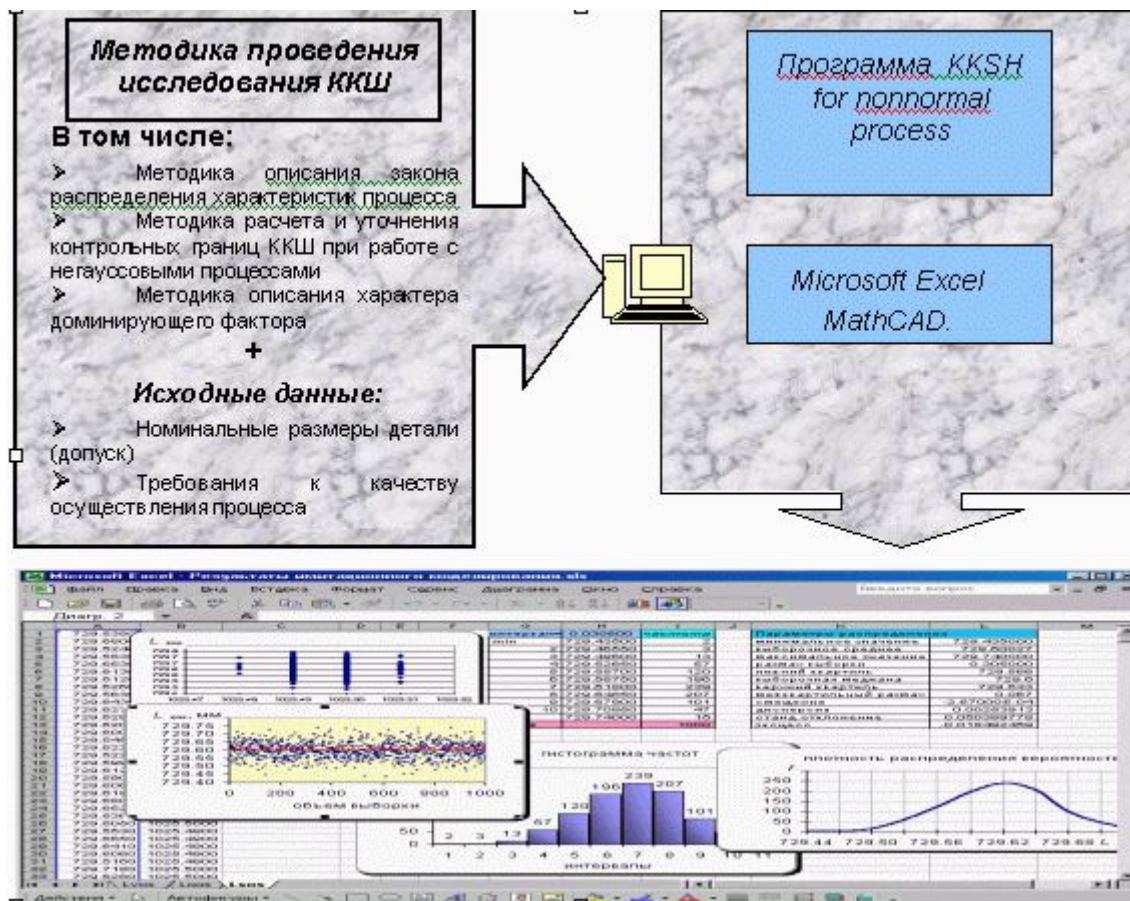


Рис. 1 CAE – система «Control chart». Общая схема

Разработанная CAE – система «Control chart» включает в себя:

Программу «KKS for nonnormal process», позволяющую проводить компьютерное моделирование и имеющую в своей основе алгоритм линейного генератора псевдослучайных последовательностей, с помощью которого можно с высоким качеством генерировать последовательности. Данная программа позволяет генерировать массивы данных, подчиняющихся установленным законам распределения параметров качества и имитировать различное поведение доминирующего фактора во времени для любого рассматриваемого процесса. Помимо выше перечисленного, программа «KKS for nonnormal process» рассчитывает контрольные границы для ККШ и проводит исследования по применению ККШ для негауссовых процессов при различных значениях n , t . Следует отметить, что расчет контрольных границ карт среднего (\bar{X}) и размахов (R) осуществляется в данной программе при условии, что стандартные значения заданы для выбранного процесса, так как учитывается его специфика, а именно доминирующий фактор и его характер. Расчет границ ведется на основании ГОСТ Р 50779.42-99.

В ходе исследования \bar{X} и R -карты анализируются на наличие очевидных трендов и других неслучайных отклонений. В случае выявления таких структур производится корректировка процесса в виде его подналадки - изменение сгенерированных данных в точках их несоответствия до средней линии ККШ. Полученные данные о параметрах качества управляемого процесса сводятся в таблицы, по результатам которых строятся гистограммы полученных распределе-

ний, рассчитываются индексы способности процесса C_p и C_{pk} , проводится анализ и генерирование соответствующих математических зависимостей. Для интерпретации полученных результатов используются программы EXCEL, MathCAD.

В настоящее время автором проводится апробация данной САЕ – системы в условиях применения для реальных производственных процессов, анализируются полученные результаты. На основании данных результатов будет разработана усовершенствованная инженерная методика использования ККШ.

Главным результатом применения усовершенствованной методики станет возможность использования ККШ для статистического контроля *всего спектра* процессов и достижения состояния статистической подконтрольности управляемых процессов. В свою очередь при этом достигается:

– ***требуемый основной эффект:***

- улучшение качества продукции и повышение производительности, т. е. стабильность характеристик производимых изделий, снижение расходов, связанных с браком и исправлениями, сокращение производственных циклов.

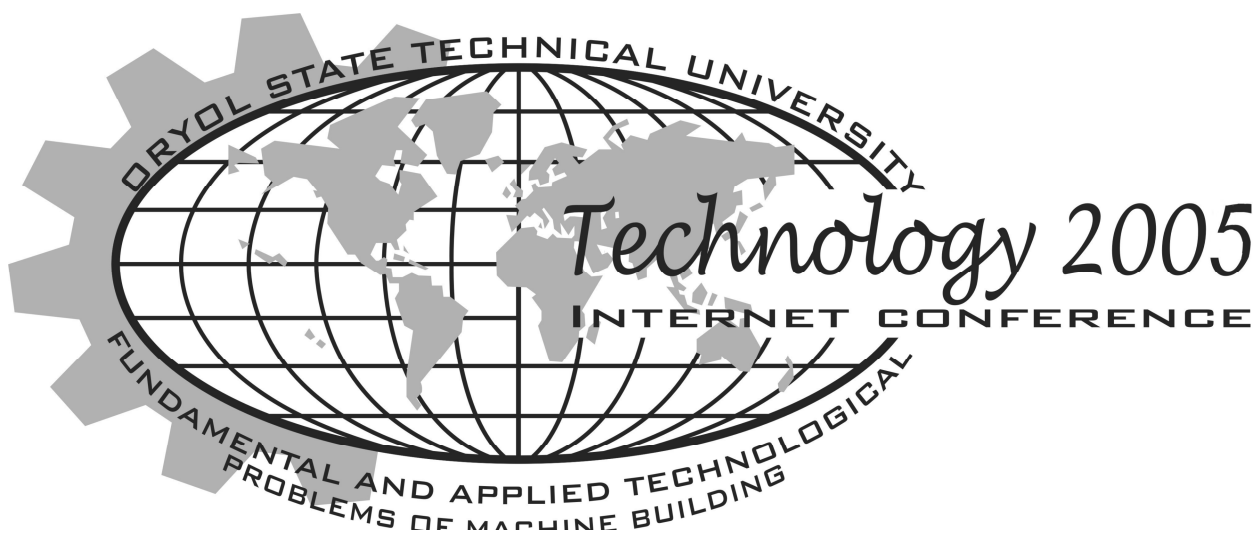
– ***конечные эффекты:***

- улучшение вертикального и горизонтального обмена в иерархической структуре (статистический контроль качества предлагает элементы общего языка между всеми функциями предприятия).
- Улучшение мер по решению проблем качества в производстве (облегчает поиск причин и определяет результаты действий). Улучшение обмена с потребителями (статистический контроль процессов предлагает цифровые данные для объективного обсуждения с потребителями – заказчиками продукции).

Таким образом, статистический контроль процессов посредством ККШ на основе усовершенствованной методики – это инструмент, который, подтверждая контроль рассматриваемого процесса, позволяет облегчить контроль на деталях с вычисленным и контролируемым риском.

Литература

1. Адлер Ю.П., Шпер В.Л. Менеджмент 21 века – краткий обзор основных тенденций. – Электротехника. 2010 год. – М.: 1997. – Т. 1. – Ч. 2. – С. 338-343 (Препринт ГНЦ ВЭИ).
2. Непомилуев В.В., Дюпин И.В. Контрольные карты Шухарта как инструмент управления негауссовыми процессами //Методы менеджмента качества. – 2005. - № 9.



УДК 621.99

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАКАТЫВАНИЯ РЕЗЬБ
ТРЕХРОЛИКОВОЙ АКСИАЛЬНОЙ ГОЛОВКОЙ В DEFORM 3D**

А.В. Киричек, д.т.н., проф.; А.Н. Афонин, к.т.н., доц.; А.А. Апальков
Орловский государственный технический университет
Орел, тел. (4862)555524, fax (4862) 416684

**MODELLING OF PROCESS THREAD ROLLING THE THREE-ROLLER
AXIAL HEAD IN DEFORM 3D**

A.V. Kirichek, Prof., Dr; A.N. Afonin, Doc.; A.A. Apalkov
Oryol State Technical University
Oryol, tel (+7 4862)555524, fax (+7 4862) 416684

The technique of modelling of process thread rolling with axial submission by the three-roller head in system DEFORM 3D is developed. Fields of stress and strains in the tool and the workpiece, received are resulted by computer modeling.

Накатывание резьб с осевой подачей аксиальными резьбонакатными головками является весьма перспективным способом резьбоформообразования. С помощью аксиальных головок можно накатывать с осевой подачей резьбы практически неограниченной длины на универсальных станках токарной или сверлильной групп. Сравнительно низкая стоимость аксиальных головок создает благоприятные условия для применения их на небольших предприятиях и в мастерских, в гибких быстроперенастраиваемых производствах. Однако процесс накатывания резьб аксиальными головками в настоящее время изучен недостаточно, что существенно ограничивает область его применения.

Ввиду сложности и высокой трудоемкости экспериментальных исследований процессов пластической деформации, в частности резьбонакатывания, большой интерес представляют современные методы математического моделирования, в частности метод конечных элементов (МКЭ) [1], разработанный на основе матричных методов расчета механических конструкций. Создано множество программных продуктов для ПЭВМ, реализующих МКЭ, однако применение большинства из них для исследования процесса накатывания резьб весьма затруднительно. Пластическая деформация при накатывании резьб имеет локальный характер, однако при этом достигает в очаге деформации значи-

тельной величины (до 60% [3]). В связи с этим, при моделировании с помощью МКЭ процесса накатывания резьб происходит существенное искажение формы конечных элементов, находящихся в очаге деформации, вызывающее возникновение ошибки «отрицательный Якобиан» в связи с отрицательным значением определителя матрицы Якоби для данных элементов. Таким образом, для исследования напряженно-деформированного состояния инструмента и заготовки при резьбонакатывании наиболее целесообразно использование специализированных программных пакетов, имеющих функции «ремэшинга», т.е. переработки конечноэлементной модели после каждого шага нагружения, позволяющего исправлять форму деформированных элементов. К таким программным продуктам относятся LS-DYNA, MSC.SuperForm, DEFORM и др.

Одним из мировых лидеров в области моделирования процессов обработки давлением и резанием является DEFORM 3D, разработанный компанией *Scientific Forming Technology Corporation* (SFTC, США). Данный программный продукт позволяет моделировать сложные трехмерные процессы пластической деформации и разрушения материалов. Наличие специальных встроенных модулей позволяет изучать напряженно-деформированное состояние как инструмента, так и заготовки, что важно для моделирования процесса резьбонакатывания. К недостаткам DEFORM 3D можно отнести в частности то, что при моделировании вектор поступательного движения инструмента должен совпадать с осью его вращения, что затрудняет моделирование накатывания резьб с радиальной подачей, однако не создает проблем при моделировании процесса накатывания резьб аксиальными резьбонакатными головками.

Рассмотрим в качестве примера моделирование процесса накатывания резьбы Трап25x5 трехроlikовой аксиальной головкой типа ВНГН. Размеры заготовки получены компьютерным моделированием [4]. Для создания 3D моделей инструментов (комплекта роликов к головке) и заготовки в формате стереолитографии использовался пакет T-Flex CAD 3D. Материал заготовки – сталь 45. Заготовка при моделировании является неподвижной, жестко закрепленной за левый торец, а инструментам сообщается поступательное движение подачи и главное вращательное движение. Скорость накатывания 20 м/мин.

На рисунках 1 и 2 приведены эквивалентные деформации и напряжения по фон Мизесу в заготовке с накатываемой резьбой. Полученные поля напряжений и деформаций с удовлетворительной точностью совпадают с результатами экспериментальных исследований [3, 5].

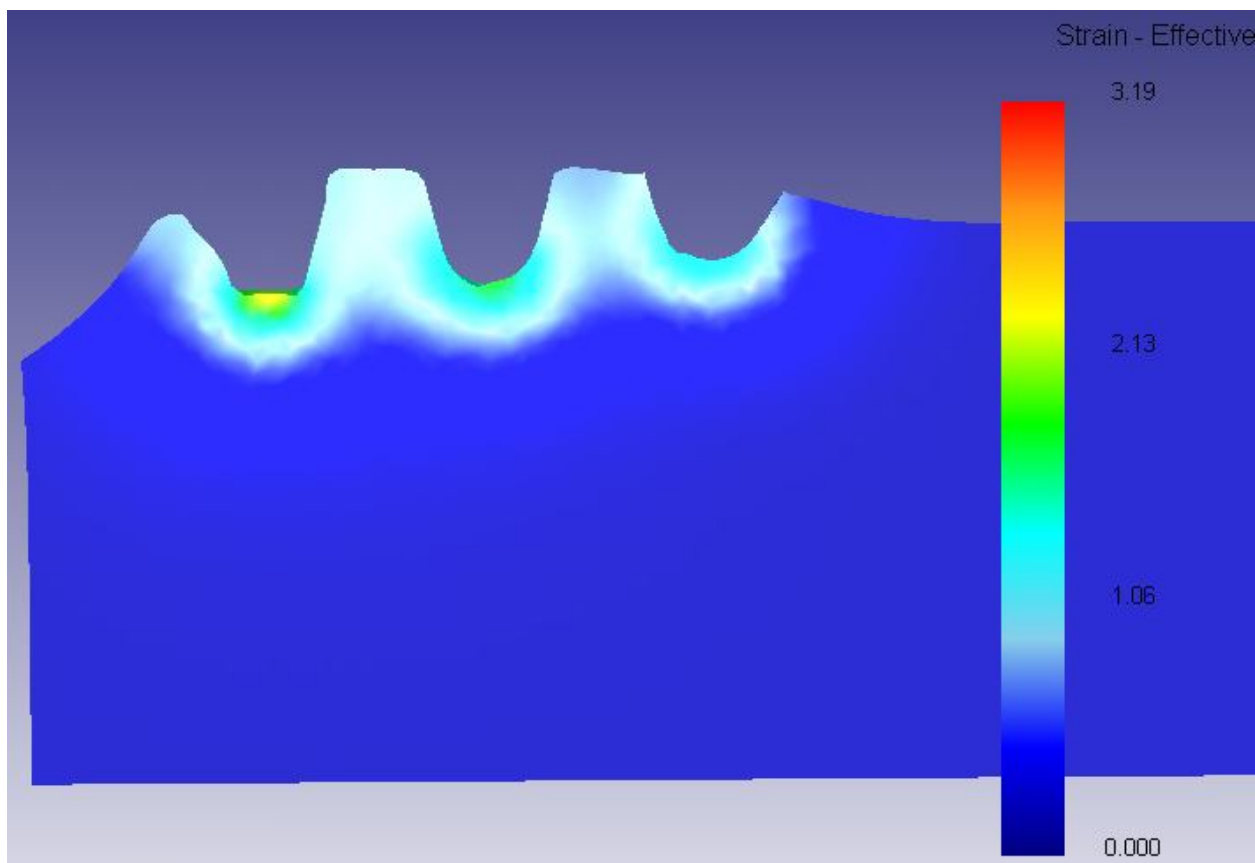


Рис. 1. – Распределение эквивалентных деформаций по фон Мизесу в заготовке с накатываемой резьбой.

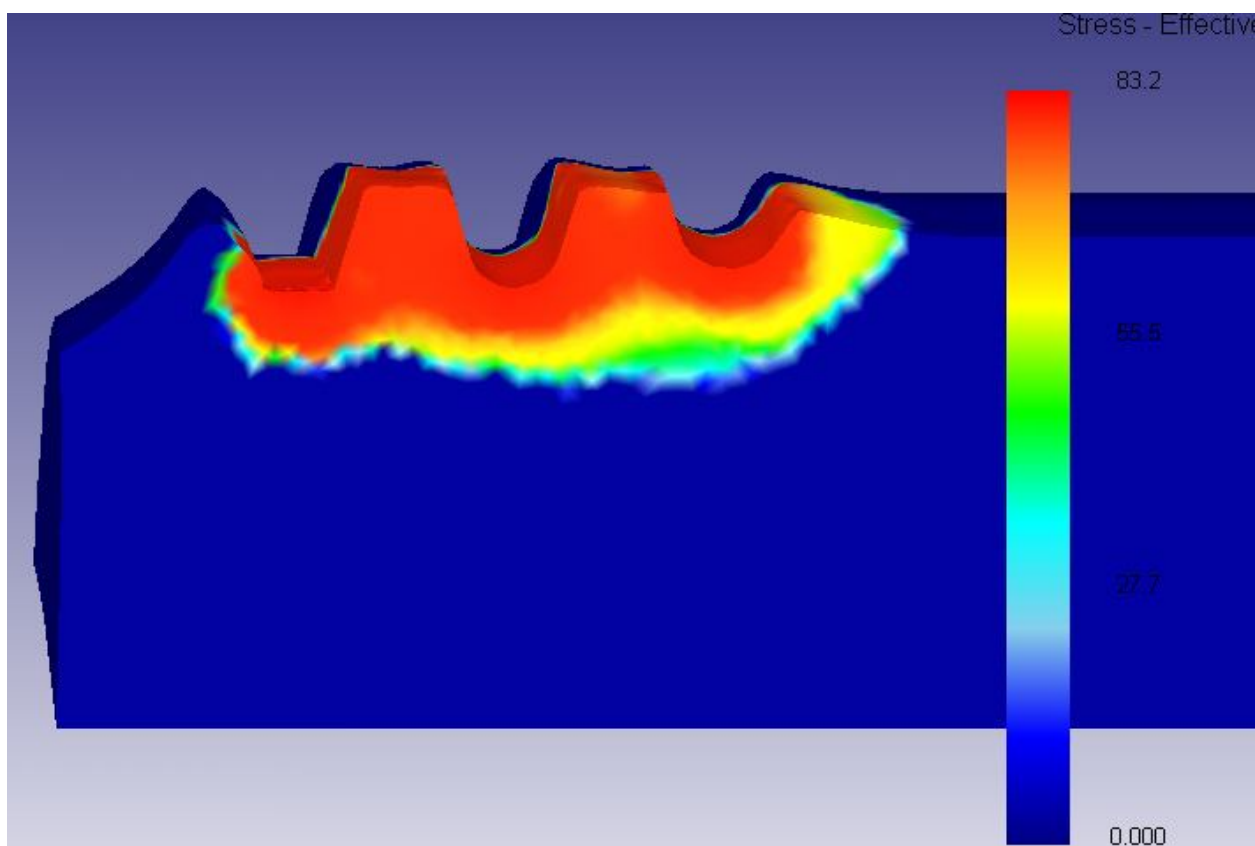


Рис. 2. – Распределение эквивалентных напряжений по фон Мизесу в заготовке с накатываемой резьбой.

На рисунке 3 приведен график изменения во времени силы деформирования по оси z на первом ролике комплекта. В целом полученные значения соответствуют известным экспериментальным данным [2, 3].

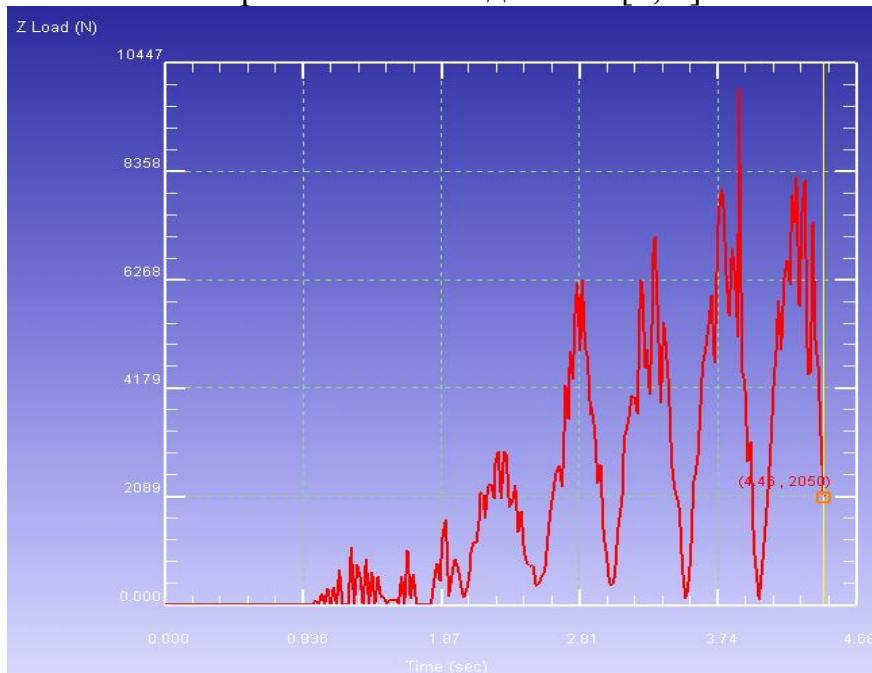


Рис. 3. – Зависимость силы деформирования по оси z на первом ролике комплекта от времени.

На рисунке 4 приведены эквивалентные напряжения по фон Мизесу в первом ролике комплекта. Из рисунка видно, что наиболее нагруженным является переходный виток между заборной и калибрующей частями роликов комплекта, что подтверждается результатами экспериментальных исследований и производственным опытом.

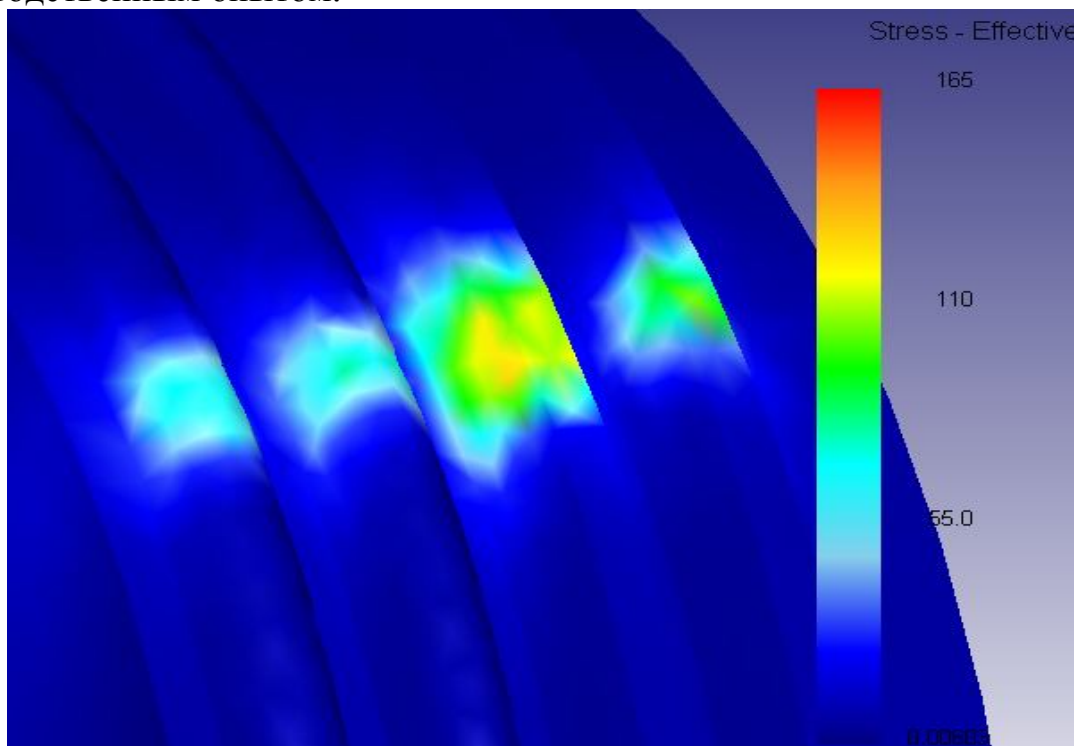


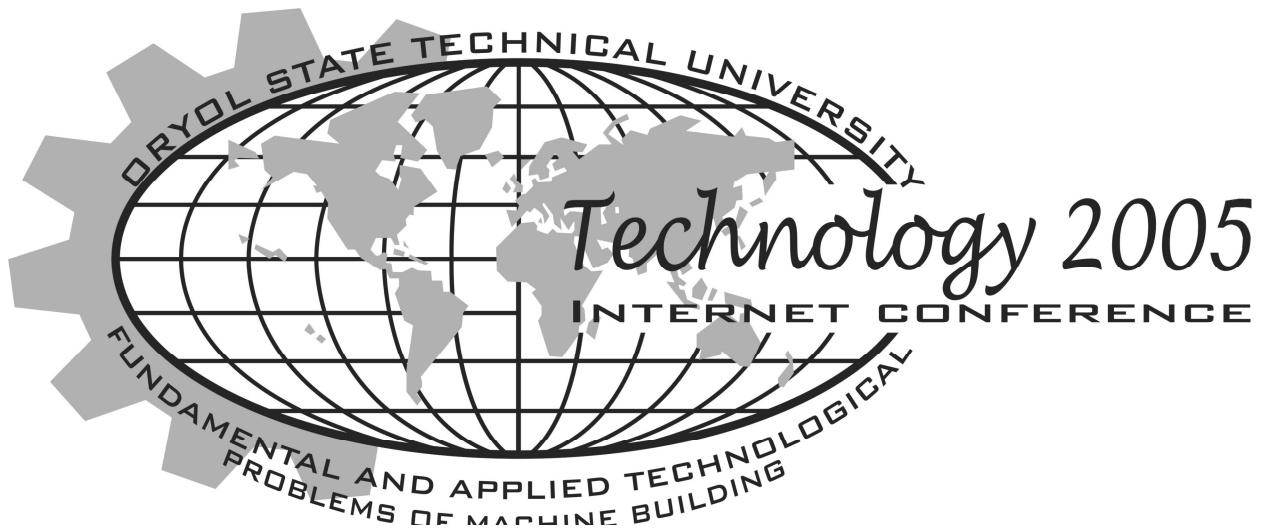
Рис. 4. – Распределение эквивалентных напряжений по фон Мизесу в первом ролике комплекта.

Таким образом, сравнение результатов моделирования с экспериментальными данными свидетельствует о их достаточно высокой достоверности и позволяет сделать вывод о том, что пакет DEFORM 3D обеспечивает приемлемую точность при моделировании такого сложного процесса пластической деформации как резбонакатывание.

Использование пакета DEFORM 3D для моделирования процесса накатывания резьб аксиальными резбонакатными головками позволит определять рациональную технологию накатывания и конструкцию резбонакатного инструмента, обеспечивающие снижение напряжений и деформаций в инструменте и заготовке и исключающие возможность их разрушения, существенно сократив объем дорогостоящих и трудоемких экспериментальных исследований. Исследования проводятся при поддержке гранта президента Российской Федерации МК-2575.2005.8.

Литература

1. Воронцов А.Л. Сопоставление применения метода конечных элементов и аналитических методов решения задач обработки давлением. // Вестник машиностроения, 2003, №4. – С.67-71.
2. Миропольский Ю.А., Луговой Э.П. Накатывание резьб и профилей. - М.: Машиностроение, 1976 - 175 с.
3. Накатывание резьб, червяков, шлицев и зубьев. / В.В. Лапин, М.И. Писаревский, В.В. Самсонов, Ю.И. Сизов. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1986. – 228 с.
4. Киричек А.В., Афонин А.Н. Определение диаметра заготовок под накатывание резьбы с помощью систем 3D моделирования. // СТИН. 2005, №6. – С. 28-30.
5. Мосталыгин Г.П., Герасимова О.В. Определение полей напряжений и деформаций по профилю резьбы, накатанной на стержневых крепежных изделиях. // Вестник машиностроения, 2001, №4. – С. 25-26.



УДК 621.91:519.87

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ЭЛЕМЕНТА СТРУЖКИ С РЕЗЦОМ

Н. Г. Неумоина, к. т. н., доц., А. П. Иващенко, студент
Камышинский технологический институт (филиал)
Волгоградского государственного технического университета
Камышин Волгоградской области,
тел. (84457)93009, fax (84457)94362, E-mail: fpt@kti.ru

SIMULATING OF DEFORMED PROCESSORS WITH INTERACTION ELEMENTS SHAVING WITH CUTTER

N. G. Neumoina, Cand. of techn. s., ass. prof., A. P. Ivashenko, student
Kamishin Technological Institute (branch)
of the Volgograd State Technical University
Kamishin, Volgograd Region
tel (84457)93009, fax (84457)94362, E-mail: fpt@kti.ru

In our work we decided the flat contact task of interaction elements shaving with cutter, consisting of three types, the method of final elements realized in ANSYS programmer. We consider that this process is spatial and this volume is as isotropic medium, which has linear-deformed and glutinousplastic characteristics. Modelling of deformed processors was defined, that the process of contact interaction on the front surface of cutter characterized the plastic contact, which consists of upfirmness and downfirmness places and glutinous contact. The stressed and deformed condition in element of shaving in cutting materials was also modeled by us.

Многие задачи, с которыми приходится в настоящее время сталкиваться исследователям, тяжело поддаются аналитическому решению либо требуют огромных затрат на экспериментальную реализацию. Зачастую единственной

возможностью экспрессного анализа является компьютерное математическое моделирование. Решение упомянутых задач возможно только на основе глубокого познания физических процессов, протекающих в зоне резания, механизмов и закономерностей контактного взаимодействия.

В работе с помощью метода конечных элементов, реализованного в программе ANSYS, рассмотрена плоская контактная задача взаимодействия резца с элементом стружки, состоящая из трех этапов.

В отличие от обычных задач, в данной задаче область приложения контактных давлений заранее неизвестна. Она определяется в процессе итерационного решения соответствующих уравнений.

При составлении моделей предполагается, что процесс является пространственным и рассматриваемый объем представляется в виде изотропной среды, обладающей свойствами линейно-деформируемого и вязкопластического тела.

На всех этапах моделирования рассматривается элемент стружки, который принимается прямоугольной формы 6x3 мм с постоянной толщиной 1 мм. Материал заготовки – сталь 35 с пределом прочности 1005 МПа. Резец принят жестким прямоугольной формы, но с возможной деформацией. Тип контакта поверхность-поверхность, коэффициент трения 0,15

На первом этапе при деформации элемента стружки используется ограничение только с одной стороны, слева, как жесткозакрепленная «стенка».

В результате первого этапа моделирования было получено:

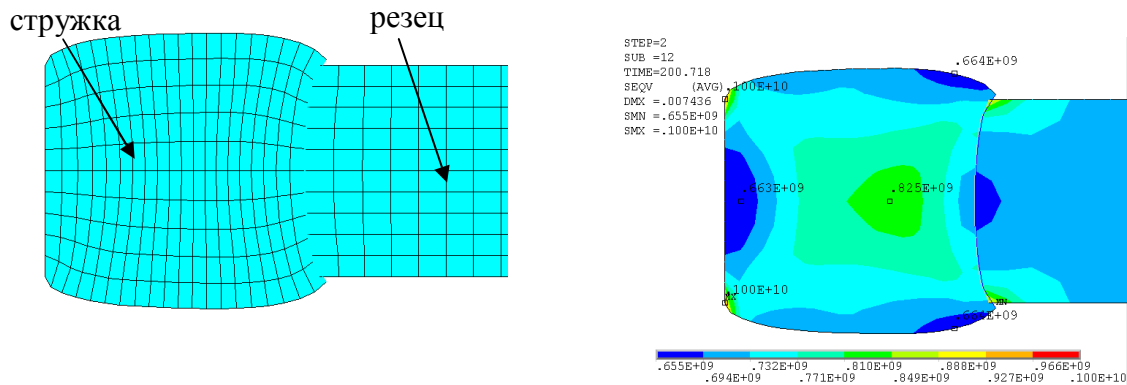


Рис.1 Деформация и напряженно-деформированное состояние элемента стружки на первом этапе

Таким образом, на первом этапе можно увидеть, что элемент стружки под действием резца деформируется симметрично относительно средней линии (рис. 1) и весь объем металла так же равномерно распределяется. Напряжения, возникающие при деформации, так же симметрично распределяются и максимальные напряжения возникают на концах жесткой заделки, при этом напряжения уменьшаются к краям элемента стружки и увеличиваются к середине. Кроме того, можно заметить, что резец тоже подвергается незначительной деформации, а так же присутствует прилипание элемента стружки к резцу в области контакта.

На втором этапе при деформации элемента стружки используется ограничение с двух сторон: боковая сторона, слева, как жесткозакрепленная «стен-

ка», а на основании разрешаем перемещения вдоль оси OY на величину 0,015 мм, а по оси OX ограничения не вводятся.

В результате на втором этапе моделирования было получено:

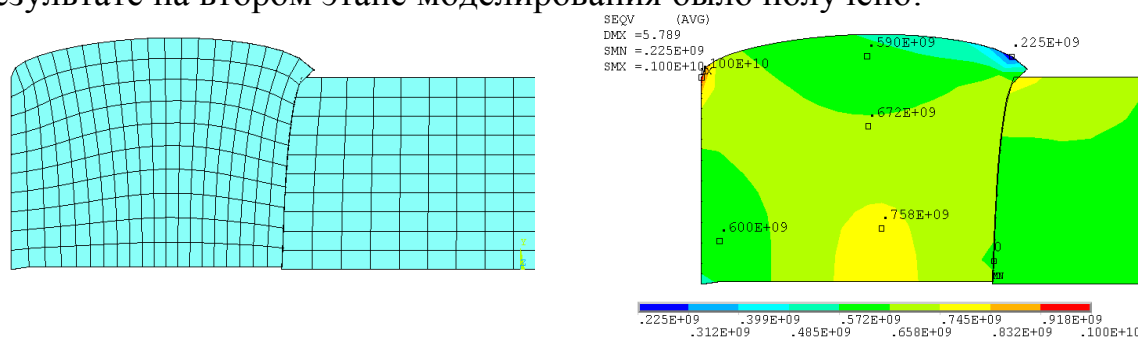


Рис.2 Деформация и напряженно-деформированное состояние элемента стружки на втором этапе

Таким образом, можно заметить, что металл подвергается пластическому деформированию в большей степени, чем на первом этапе моделирования за счет установленных ограничений. Так же можно наблюдать как металл элемента стружки, контактируя с резцом, перемещается в сторону большей деформации. Максимальные напряжения возникают в ходе деформации в средней части нижней границы элемента, а так же у верхнего конца жесткой заделки. Это можно объяснить тем, что происходит разрыв связей между элементом стружки и деталью, а так же контакт элементов между собой при деформировании, тем самым происходит постепенное завивание стружки.

На третьем этапе при деформации элемента стружки используется ограничение с двух сторон, с одной, слева, как жесткозакрепленная «стенка», а на основании ограничиваем перемещения вдоль оси OY на величину 0 мм, а по оси OX ограничения не вводятся. Сторону, которая контактирует с резцом, а так же резец наклоняем под небольшим углом, приближая к реальному процессу резания.

В результате третьего этапа моделирования было получено:

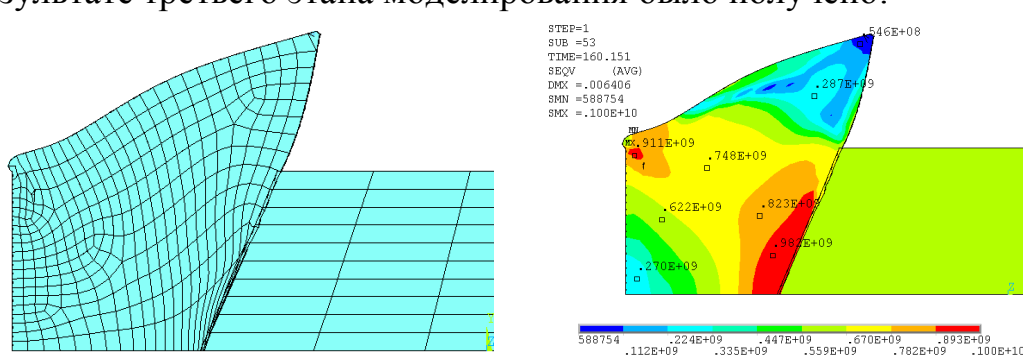


Рис.3 Деформация и напряженно-деформированное состояние элемента стружки на третьем этапе

Как и в предыдущих двух случаях здесь присутствует пластическая деформация металла, возникновение напряжений в ходе деформации, а так же прилипание металла к резцу в области контакта. Установлено, что существование полного контактного прилипания характеризуется формированием на границе инструментального и обрабатываемого материалов устойчивой адгезионной связи по всей действительной поверхности инструмента, при которой кон-

тактные касательные силы адгезионных связей превышают силы сопротивления пластическому течению в расположенных выше слоях зоны контактных пластических деформаций [1]. Это связано с особыми условиями контактного взаимодействия при стружкообразовании. К таким условиям следует отнести высокий уровень давлений и температур, а также взаимодействие контактирующих поверхностей в ювенильном состоянии. Ювенильное состояние на участке пластического контакта, прежде всего, объясняется тем, что одна из поверхностей (поверхность формируемой стружки) непрерывно образуется при деформации элементов (рис. 3), расположенных у основания стружки в результате разрыва когезионных связей между деталью и стружкой у острия резца, при этом напряжения достигают максимальной величины (рис. 3). Полное прилипание подтверждается характером разрушения контактирующих тел при стружкообразовании. В большинстве случаев при стружкообразовании происходят: отрыв части твердого сплава от пластинки и прочное удержание ее на стружке.

Подводя итог всему вышесказанному, можно сделать вывод о том, что процесс контактного взаимодействия по передней поверхности резца характеризуется следующим. Общая длина контакта L элемента стружки с передней поверхностью разделяется на участки пластического L_1 и вязкого L_2 контактов. Пластический контакт состоит из участков упрочнения и разупрочнения, имеющих соответственно размеры L_3 и L_4 (рис.4). Кроме того, увеличение напряжений (рис.3), необходимых для реализации пластического деформирования

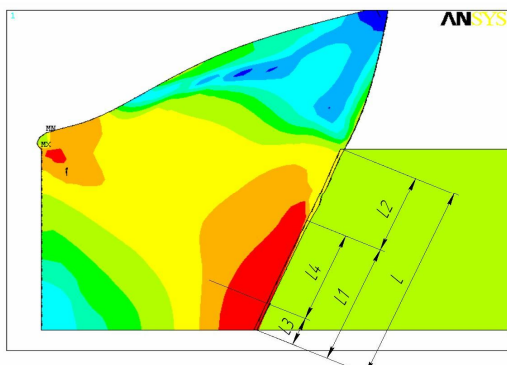
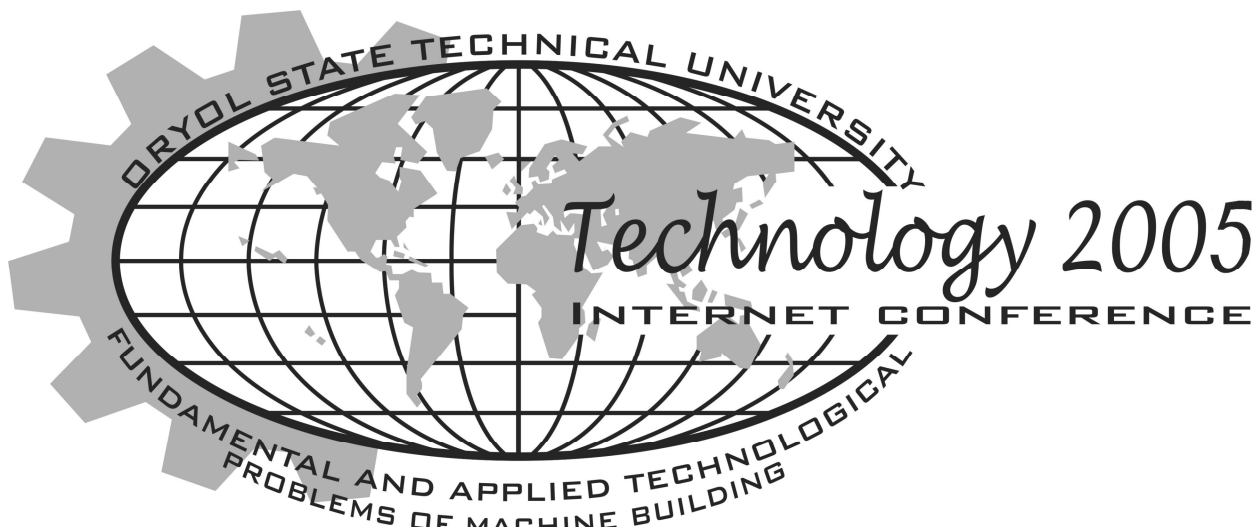


Рис. 4 Процесс контактного взаимодействия

в зоне стружкообразования в условиях роста степени упрочнения, по мере перемещения металла через эту зону обеспечивается ростом сопротивления пластическому деформированию, то есть ростом степени упрочнения. Далее, по длине контакта в зоне контактных деформаций происходит снижение степени упрочнения металла. Следствием этого является отсутствие роста напряжений и прекращение процесса пластического деформирования в вышележащих объемах

элементов стружки.

Следовательно, процесс отделения срезаемого слоя и превращение его в стружку происходит за счет пластического деформирования металла в зоне стружкообразования. Параллельно со стружкообразованием протекают процессы контактного взаимодействия формируемых элементов стружки с передней поверхностью инструмента, а также между собой. Таким образом, произведено моделирование образования элемента стружки в квазистатической постановке задачи.



УДК 681;658.562

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СИСТЕМЕ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА

Э.В. Киселев, доц., к.т.н., И.А. Киселева

Рыбинская государственная авиационная технологическая академия
им. П.А. Соловьева

г. Рыбинск, Ярославской обл., ул. Пушкина, 53,

тел.: (4855) 52-00-91, факс (4855) 21-39-64, e-mail: kev@rgata.ru

SYSTEM OF SUPPORT THE DECISION MAKING IN THE QUALITY MANAGEMENT SYSTEM

E.V. Kiselev, senior lecturer, Dr, I.A. Kiseleva

Rybinsk State Technological Academy of Aviation

Rybinsk, tel. (4855) 52-00-91, fax (4855)21-39-64, e-mail: kev@rgata.ru

This article consider creation problems of the system of support the decision making (SSDM) in the Quality Management System, formulate developing of SSDM concepts. There is shown the system management scheme.

Управлению качеством в последнее время отводится важное место в общей системе менеджмента предприятия. Сегодня, благодаря получившим международное признание стандартам ISO серии 9000, система менеджмента качества (СМК) проявляется, пожалуй, как наиболее полно регламентированная подсистема управления предприятием.

Все процессы функционирования СМК тесно взаимосвязаны и требуют четкого централизованного управления. Развивающаяся СМК характеризуется, в первую очередь, резким увеличением количества обрабатываемой информации, необходимой для принятия тактических, оперативных и стратегических решений как технического, так и управленческого характера. В результате сни-

жается оперативность и качество принимаемых решений, в основном по следующим причинам:

- зависимость принимаемых решений от большого числа внутренних и внешних факторов;
- неправильная организация процедур выработки решений;
- многовариантность решения поставленной проблемы (большое число возможных альтернатив решений).

Основные решения, принимаемые в процессе разработки, внедрения и совершенствования СМК, невозможно реализовать без развитой информационной инфраструктуры. Качество информационного обеспечения управления – один из важных факторов, определяющих действенность принимаемых управленческих решений. Отсутствие слаженной системы информационного обеспечения управления приводит к вероятностному характеру принимаемых управленческих решений, дублированию в сборе информации, потерям нужной информации и, как следствие, невысокой эффективности управления. Создание систем поддержки принятия решений (СППР) позволяет оптимизировать сложившиеся каналы сбора информации и обеспечить более полное удовлетворение информационных потребностей в рамках СМК.

Многие ведущие специалисты компаний-разработчиков САД/САМ/САЕ-и ERP-систем в России и за рубежом говорят о необходимости для улучшения качества принимаемых решений разработки функционала, который позволял бы специалистам различных подразделений предприятия не только работать в едином информационном пространстве, но и принимать индивидуальные и совместные решения. Однако под термином «принятие решений» они понимают механизмы выработки данных для дальнейшего их анализа и обработки. Фактически, на сегодняшний день не существует полноценной системы поддержки принятия решений применительно к СМК, реализующей процедуры обработки данных с целью выработки решений.

В настоящее время в Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П.А. Соловьева в рамках работ по гранту № 0120.0 503848 на тему: «Изучение принципов и возможностей применения информационных технологий для повышения эффективности процессов менеджмента качества наукоемких производств» проводятся работы, связанные с разработкой СППР в системах качества. Данная СППР ориентированна не только на обеспечение процессов СМК необходимой информацией о прошлом, настоящем и будущем, но и на интеллектуальное обеспечение процесса принятия решения (СППР ставит целью поддержку всех процессов СМК). Наглядную укрупненную модель системы можно представить в виде взаимодействия трех подсистем (рисунок 1).

Необходимость автоматизации процессов принятия решений в области управления качеством предопределена возможностью возложить на ЭВМ роль консультанта по синтезу решений, обеспечить конфиденциальность информации, учесть способности каждого лица, принимающего решения (ЛПР), рационально распределить функции между ЛПР и ЭВМ, обеспечить сбор, накопле-

ние, хранение и коррекцию экспертной информации при необходимости повторного решения задач в области качества.

Работа СППР предусматривает три этапа: совершенствование и развитие действующей системы сбора и обработки информации по критерию максимального и оперативного обеспечения лица, принимающего решение, всей необходимой и достоверной информацией в необходимые сроки; автоматизация поддержки принятия решений; построение стратегической информационно-управляющей подсистемы.

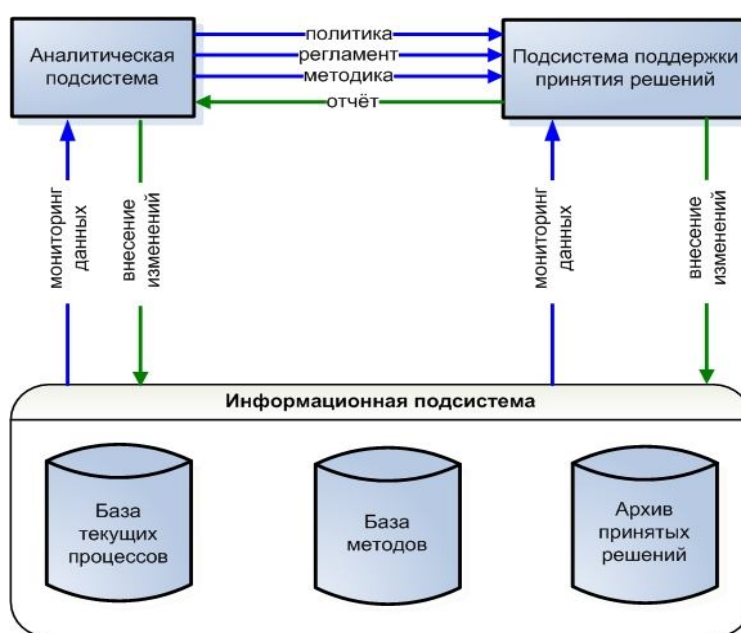


Рисунок 1 – Модель системы поддержки принятия решений в системе менеджмента качества

Цель разработки и внедрения СППР в СМК – информационная поддержка оперативных возможностей и необходимых условий для высшего руководства и ведущих специалистов для принятия обоснованных решений, соответствующих политике предприятия в области качества, а также его стратегическим и тактическим целям.

Основой такой системы являются:

- анализ проблемной ситуации;
- генерация возможных вариантов управленческих решений;
- оценка этих вариантов и выбор наилучшего;
- обеспечение постоянного обмена информацией между специалистами о принимаемых ими решениях и помощь в согласовании групповых решений;
- моделирование принимаемых решений (в тех случаях, когда это возможно), в т. ч. осуществление компьютерного анализа возможных последствий принимаемых решений;
- оценка соответствия выполнения принятых решений намеченным целям включая сбор данных о результатах реализации принятых решений.

Практика показывает, что менее 50% лиц, принимающих решение в области качества, имеют необходимый для принятия оптимального решения объем информации, именно по этому базам данных в СППР в системе качества предприятия уделяется особое внимание.

Базы данных в составе СППР имеют значительно больший набор источников данных о качестве, включая внешние источники, особенно важные для принятия решений на высоких уровнях управления, а также источники зарегистрированных, но некомпьютеризованных данных. Другой особенностью является возможность предварительного «сжатия» данных, поступающих из многочисленных источников, путем их предварительной совместной обработки процедурами агрегирования и фильтрации.

Данные играют в СППР важную роль. Они могут использоваться непосредственно пользователем или как исходные данные для расчета при помощи математических моделей.

К информационной системе, входящей в состав СППР, предъявляются следующие требования:

- способность составления комбинаций данных, получаемых из различных источников, посредством использования процедур агрегирования и фильтрации;
- быстрое прибавление или исключение того или иного источника данных;
- построение логической структуры данных в терминах пользователя;
- использование и манипулирование неофициальными данными для экспериментальной проверки рабочих альтернатив пользователя;
- управление данными при помощи широкого спектра функций управления;
- обеспечение полной логической независимости базы данных, входящей в подсистему данных СППР, от других операционных баз данных, функционирующих в рамках предприятия.

Компьютерные СППР вводят новую составляющую в искусство принятия решений: искусство использования средств вычислительной техники, которое должно сочетать оценки и решения, полученные уже устоявшимися математическими методами с субъективными оценками, сделанными на основе знаний, опыта и интуиции руководителя. СППР компенсируют слабые стороны человека, освобождая его от рутинной предварительной обработки информации, и обеспечивают ему комфортную информационную среду, в которой он может лучше проявить свои сильные стороны. Эти системы ориентированы не на автоматизацию функций лица, принимающего решения (и, как следствие, отчуждение от него этих функций, а значит и ответственности за принятые решения, что часто вообще является неприемлемым), а на предоставлении ему помощи в поиске хорошего решения.

Таким образом, наличие на предприятии эффективно работающей системы менеджмента качества является залогом его экономической устойчивости. Поэтому не стоит забывать, о том, что результативность данной системы зависит не только от оптимальной структуры, четкого распределения обязанностей и задач между подразделениями и исполнителями, но главным образом от того, как в системе обстоит дело с принятием и исполнением решений.

