МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
АВТОНОМНОЙ РЕСПУБЛИКИ КРЫМ
РЕСПУБЛИКАНСКОЕ ВЫСШЕЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ
«КРЫМСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ КРЫМСКОГО ИНЖЕНЕРНО-ПЕДАГОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Выпуск 27

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Симферополь
2011

Свидетельство о государственной регистрации печатного средства массовой информации выдано Государственным комитетом телевидения и радиовещания Украины 12.01.2006 г. Серия КВ № 10833.

Сборник включен в перечень научных специальных изданий.
Постановление президиума ВАК Украины № 1-05/2 от 10.03.2010 г.

Редакционная коллегия:

Якубов Ф. Я., д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки и техники Узбекистана, заслуженный работник народного образования Украины (главный редактор)
Кропотова Н. В., к.х.н., доцент, проректор по научной работе (зам. главного редактора)
Абдулгазис У. А., д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки и техники АРК (зам. главного редактора)
Бабицкий Л. Ф., д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки и техники АРК
Подригало М. А., д.т.н., профессор
Шмигальский В. Н., д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки и техники Украины
Волков В. П., д.т.н., профессор

Фазылова А. Р. (ответственный редактор)

Печатается по решению Ученого совета Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет». Протокол № 8 от 28.03.2011 г.

Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. Выпуск 27. Технические науки. – Симферополь : НИЦ КИПУ, 2011. – 168 с.

В сборник включены статьи по инженерно-техническим направлениям научно-исследовательской деятельности, подготовленные профессорско-преподавательским составом, научными работниками, аспирантами и студентами Крымского инженерно-педагогического университета, а также других вузов.

Для научных работников, преподавателей, аспирантов и студентов высших учебных заведений.

Друкується за рішенням Вченої ради Республіканського вищого навчального закладу «Кримський інженерно-педагогічний університет». Протокол № 8 от 28.03.2011 р.

Вчені записки Кримського інженерно-педагогічного університету. Випуск 27. Технічні науки. – Сімферополь : НІЦ КІПУ, 2011. – 168 с.

У збірник вміщено статті з інженерно-технічних напрямів науково-дослідної діяльності, які підготовлені професорсько-викладацьким складом, науковцями, аспірантами, студентами Кримського інженерно-педагогічного університету, а також інших ВНЗ.

Для науковців, викладачів, аспірантів і студентів вищих навчальних закладів.

© НИЦ КИПУ, 2011

СОДЕРЖАНИЕ

Раздел 1. ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Якубов Ф. Я., Ким В. А., Якубов Ч. Ф. Роль воздуха в контактных процессах резания металлов ……..... 5

Новосёлов Ю. К., Тараховский А. Ю. Обоснование требований к механизированному и автоматизированному процессу сборки уплотнительных соединений с внутренними канавками …….. 12

Богуцкий В. Б., Шрон Л. Б. Восстановление размеров деталей малых цилиндрических сопряжений повышенной точности для повторной сборки …… 16

Ягьяев Э. Э., Калюжная Т. В. Структура системы диагностики для круглого наружного шлифования …… 21

Туренко А. Н., Савченков Б. В., Гулевский В. Б., Бороденко Л. Ю. Влияние условий абразивной обработки на качество поверхностей восстанавливаемых деталей ……...….. 24

Хабрат Н. И., Умеров Э. Д. Обоснование основных параметров самонатяжной нереверсивной клиноременной передачи ……..... 29

Хабрат Н. И., Менасанова С. Э., Эреджепов М. К., Абибуллаев Э. А. Расчет и проектирование ограничителя грузоподъемности для автомобильных грузоподъемных кранов …… 33

Усеинов Б. К., Измаилова Г. М., Ниметулаева Г. Ш., Муратов М. А. Расчет сварных соединений в конструкциях из титановых сплавов ……...…… 36

Ветренко Д. В., Шебалков О. В. Підвищення точності профілювання фрез за рахунок заміни теоретично точного синусоїдального черв'яка дугами кіл ...…… 40

Алиев А. И. Исследование влияния СОТС растительной природы на составляющие силы резания ……...… 42

Залога В. А., Зинченко Р. Н, Гонщик А. В. Новая структура системы диагностирования состояния режущего инструмента, основанная на использовании правил нечеткой логики и системы искусственного интеллекта ..…… 46

Раздел 2. АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

Абдулгазис У. А., Абдулгазис А. У., Подригало М. А., Клец Д. М., Назарько О. А. Оценка устойчивости неподвижного автомобильного колеса против бокового скольжения ……..... 53

Подригало М. А., Клец Д. М., Гацько В. И., Тутов М. В. Оценка управляемости трехосного грузового автомобиля Урал-4320 при прямолинейном движении …….. 59

Подригало М. А., Бобошко А. А., Клец Д. М., Гацько В. И. Количественная оценка поворачиваемости автомобилей …… 65

Падалка В. В. Методика пошуку відмов гідравлічної системи автотракторної техніки ……. 69

Савченков Б. В., Леоненко А. Н., Цыбульский В. А. Совершенствование технологии ремонта гильз цилиндров автомобильных двигателей …… 73

Эреджепов М. К., Абдулгазис У. А. Входной и текущий экспресс-контроль коррозионной активности низкозамерзающих охлаждающих жидкостей автомобильных двигателей ……. 76

Асанов А. У., Абдулгазис Д. У., Аблякимов Ф. Ш. Тренажер для подготовки работников, выполняющих работы на высоте ……. 80

Лузан С. А. Обоснование параметров виброобработки газопламенных покрытий, снижающих уровень остаточных напряжений …….. 83

Раздел 3. СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

Бабицкий Л. Ф., Кусенко Ю. Ю. Исследование взаимодействия колебательных рабочих органов с почвой ……...…… 88

Тищенко С. С. Исследование тягового сопротивления двухъярусного плуга с полувинтовыми отвалами …….. 91

Бабицький Л. Ф., Ляшенко С. В., Падалка В. В. Обробіток еродованих ґрунтів активним глибокорозпушувачем …… 93

Бекиров Р. Н. Методология и методика исследования механизированных технологий приготовления рабочих жидкостей опрыскивателей …… 96

Раздел 4. ОХРАНА ТРУДА

Федоркин С. И., Ветрова Н. М. О методе оценки уровня экологической безопасности региона при действии антропогенных факторов……..… 103

Николенко И. В., Скидан В. Ю. Перспективы применения гидродинамических фильтров для обеспечения рационального использования природных ресурсов (при производстве строительных материалов) ……..... 107

Подзноев Г. П. Возможности развития ветроэнергетики в Крыму ……..…..… 113

Муровский С. П., Муровская А. С. Воздействие автомобильного транспорта на загрязнение атмосферного воздуха Феодосии ……... 119

Бекиров Э. А. Анализ работы фотопреобразователей – солнечных батарей – на нагрузку при наличии возмущений и неустойчивостей ...……... 125

Серверієва В. І., Одінцов О. М. Необхідність удосконалення засобів індивідуального захисту людини від поразки електричним струмом ……...……. 129

Раздел 5. МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

Яценко Л. Ф. Вероятностно-имитационная модель технического обслуживания автопарка …… 134

Билялова Л. Р., Ситшаева З. З., Билялова Э. В. Дискретная прогностическая модель оползневого процесса ……...……..…. 138

Большаков А. П., Якубов Ф. Я., Абдулгазис У. А. Инновационный потенциал подготовки конкурентоспособных инженеров …….…... 142

Морква С. С. Опис деяких електродинамічних явищ на основі струму зміщення ...…….. 149

Раздел 6. ТЕХНОЛОГИЯ ШВЕЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Шереметьева Ю. А., Умерова Г. А. Оптимальный выбор материалов для изготовления детского полукомбинезона……... 152

Меметова С. Э. Сравнительный анализ возможностей программных модулей САПР «Технолог» для проектирования одежды……... 157

Сейдаметова З. Н. Возможности параметрического конструирования одежды в САПР «Julivi» ……. 161

РАЗДЕЛ 1. ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

УДК 621.9.026

Якубов Ф. Я., Ким В. А., Якубов Ч. Ф.

РОЛЬ ВОЗДУХА В КОНТАКТНЫХ ПРОЦЕССАХ РЕЗАНИЯ МЕТАЛЛОВ

У представленій статті подається й оцінюється роль повітря в контактних процесах при обробці металів різанням. Наведено результати досліджень щодо впливу повітря на окислювальні процеси інструментальних матеріалів, деформаційні процеси утворення стружки та зношування ріжучих інструментів.

Ключові слова: *міцність, зношувальна стійкість, зміцнення, високошвидкісна пластична деформація, окислювальна активність технологічного середовища.*

В представленной статье рассмотрена и оценена роль воздуха в контактных процессах при обработке металлов резанием. Приведены результаты исследований по влиянию воздуха на окислительные процессы инструментальных материалов, деформационные процессы стружкообразования и изнашивание режущего инструмента.

Ключевые слова: *прочность, износостойкость, упрочнение, высокоскоростная пластическая деформация, окислительная активность технологической среды.*

This article deals with the estimation of air role in contact processes during the cutting treatment of the metal. The research results of air influence on oxidizing process of instrumental materials, deformation processes of chip formation and cutter wearing out are shown.

Key words: *durability, wear ability, strengthening, high-speed plastic deformation, oxidizing ability of technological medium.*

Постановка проблемы. Интенсификация процессов механической обработки резанием продолжает оставаться одной из актуальных проблем машиностроения. На фоне известных проблем, связанных с использованием СОТС, сухая обработка представляет наиболее кардинальное решение проблемы, которое может обеспечить оптимальный баланс между экономическими и экологическими задачами производства. Вместе с тем, окружающий зону резания атмосферный воздух является активной естественной внешней средой, действие которой продолжает широко исследоваться.

Анализ литературы. Обработка металлов резанием сопровождается высокоскоростной пластической деформацией срезаемого слоя, контактных слоев режущего инструмента и обрабатываемой поверхности, при этом работа резания практически вся выделяется в виде тепла [1–3]. Локальная температура и ее градиент на рабочих участках инструмента могут принимать значения близкие к температуре плавления обрабатываемого материала [4; 5].

Процесс резания, как правило, осуществляется в воздушной среде, в которой содержится 20% кислорода. Образование оксидов обрабатываемого и инструментального материалов оказывает влияние на все процессы, сопутствующие резанию металлов. Развитие оксидных структур на рабочих поверхностях режущего инструмента, с одной стороны, активизирует окислительное изнашивание, с другой, – снижает адгезионное взаимодействие обрабатываемого и инструментального материалов [6]. Характер протекания высокоскоростной пластической деформации стружкообразования сильно зависит от окислительной активности технологической среды [7; 8].

Цель статьи – исследование влияния воздуха на окислительные процессы инструментальных материалов, деформационные процессы стружкообразования и изнашивание режущего инструмента.

Изложение основного материала.

Методика исследований. Исследования проводились на отечественных вольфрамосодержащих твердых сплавах трех групп ВК, ТК и ТТК, чистых металлах вольфрама и кобальта, а также карбиде титана.

Исследование жаростойкости или кинетики высокотемпературного окисления выполняли на дериватографе STA 449C в соответствии с ГОСТ 6130-71 и ГОСТ 21910-76 [9] на воздухе в диапазоне температур 20–1000ºС со скоростью нагрева 10–20ºС в минуту с последующим охлаждением вместе с печью. Скорость привеса массы образца рассчитывался по термической кривой по формуле:

$$q = \frac{\Delta m}{F_0 t}, \qquad (1)$$

где q и Δm – удельная скорость и абсолютный привес массы образца;

F_0 – суммарная площадь образца;
t – время выдержки.

Определение химического и фазового состава на поверхности твердосплавных пластин осуществлялось на рентгеновском дифрактометре D8 ADVANCE, микроанализаторе WDS/EDS JXA-8100 и приборе комплексного исследования поверхности SPECS-Lab. Влияние воздуха на процесс резания металлов исследовалось в специальной вакуумной камере, позволяющей производить процесс продольного точения. Принципиальная схема установки представлена на рис. 1 (установка была оснащена системой измерения термо-ЭДС и сил процесса резания).

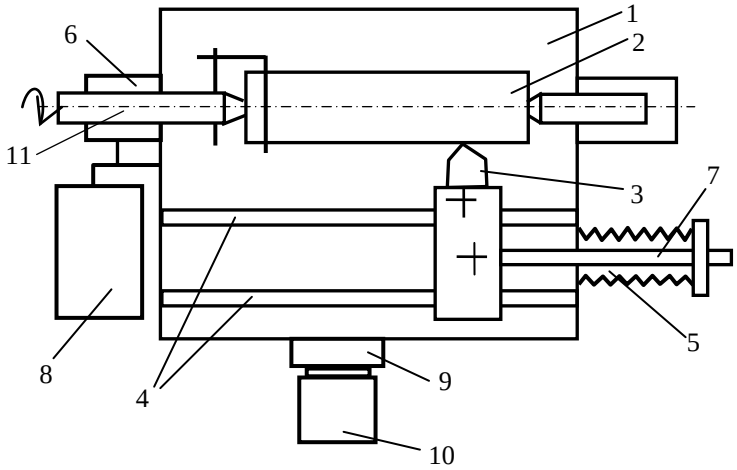


Рис. 1. Принципиальная схема установки для исследования процесса резания в вакууме: 1 – вакуумная камера; 2 – заготовка; 3 – резец; 4 – направляющие штанги; 5 – сельсин; 6 – подшипниковая камера; 7 – штанга; 8 – насос механический ВН-2МГ; 9 – ловушка азотная; 10 – насос диффузионный; 11 – центр передний.

На рис. 2 приведена диаграмма удельной скорости прироста массы материала в результате выдержки при температуре 1000ºС.

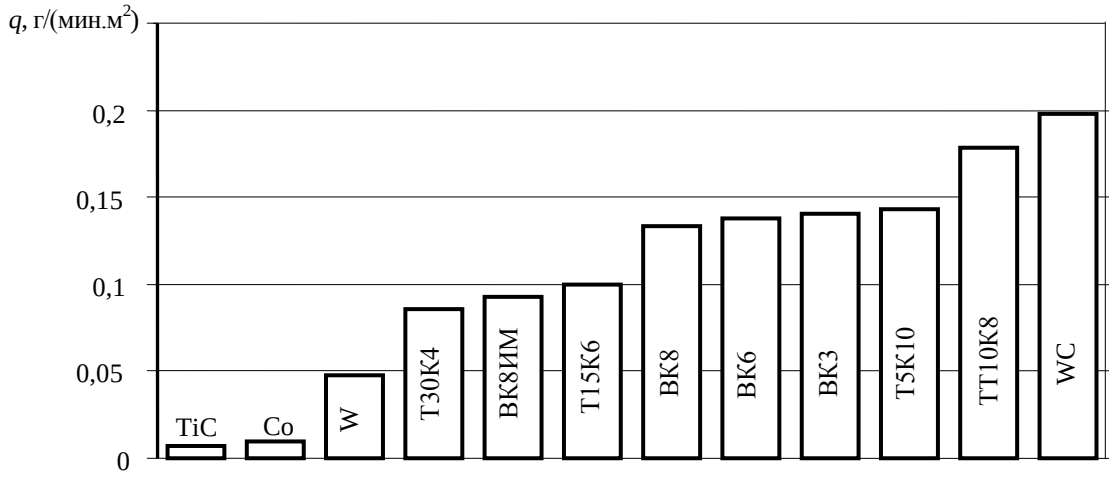


Рис. 2. Скорость удельного привеса при нагревании 1000ºС.

Пониженная жаростойкость WC определяет окислительную активность инструментальных твердых сплавов. С повышением содержания Co и TiC в составах стандартных инструментальных вольфрамосодержащих твердых сплавов их окислительная активность снижается, но остается достаточно высокой.

Окислительная способность рассматриваемых материалов объясняется конфигурационной моделью вещества, разработанной академиком Г. В. Самсоновым. Согласно этой модели, вольфрам характеризуется высоким статистическим весом атомов с устойчивой конфигурацией (СВАСК) d_0^5, поэтому атомы W обладают слабыми донорными свойствами, которые не могут стабилизировать sp^3-конфигурации атомов углерода. В связи с этим WC обладает пониженной жаростойкостью. В то же время большая доля локализованных электронов W обеспечивает карбиду WC относительно повышенную пластичность и более высокий модуль упругости по сравнению с TiC. Высокая жаростойкость TiC объясняется прочной и жесткой ковалентной Ti–C связью за счет большего статистического веса атомов углерода с устойчивой sp^3-конфигурацией. Эти же причины определяют долю связан-

ных электронов кислорода в константах равновесия при высокотемпературном окислении [10].

Кинетику процесса окисления твердого сплава ВК8 можно проследить по штриховым диаграммам (рис. 3 и 4), построенным по результатам рентгенофазового анализа образцов после их выдержки в разных температурных условиях.

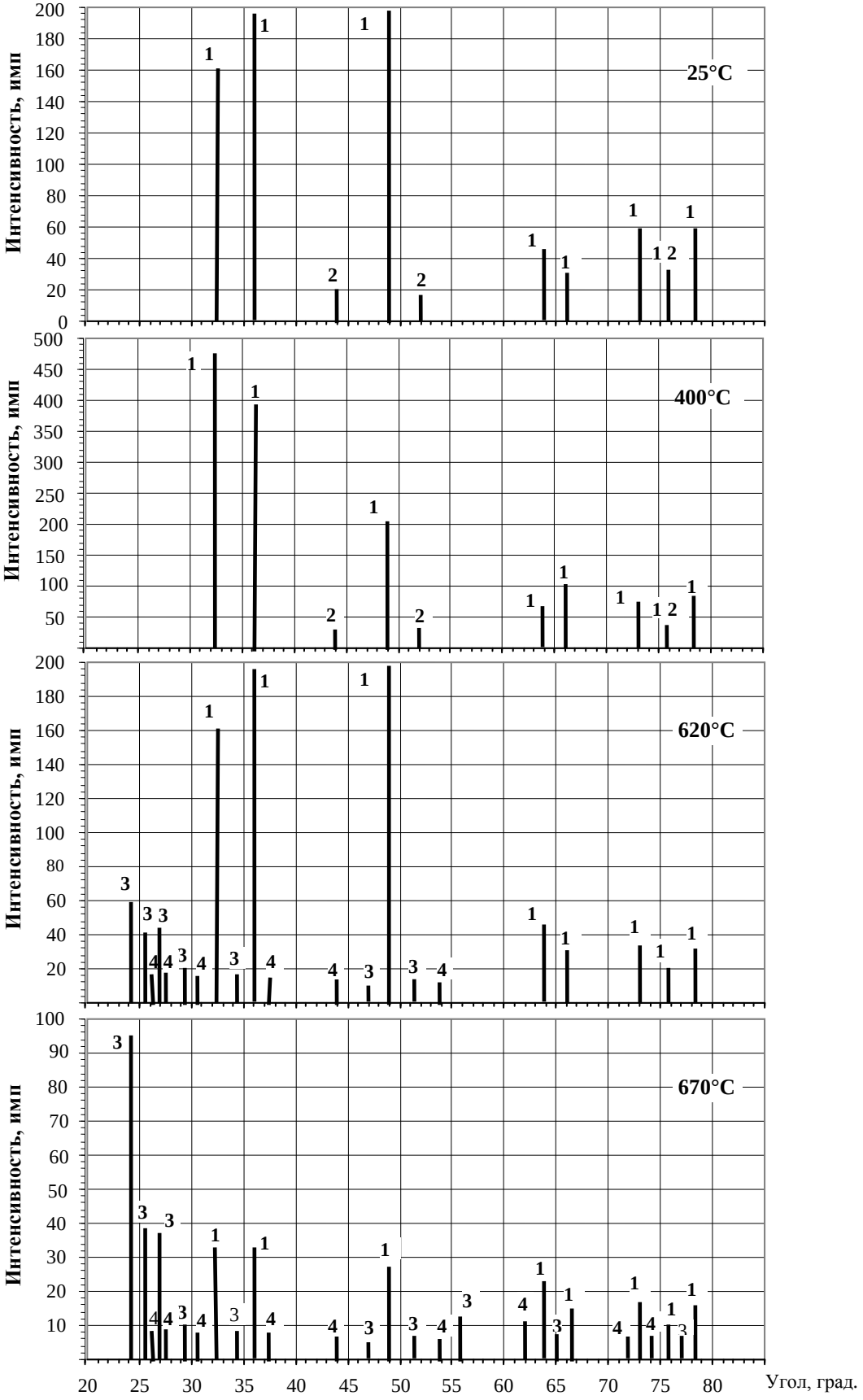


Рис. 3. Фазовые превращения при нагреве ВК8 и выдержке в течение 60 мин.: 1 – WC (гекс.); 2 – Co; 3 – WO_3 (триклин.); 4 – $CoWO_4$.

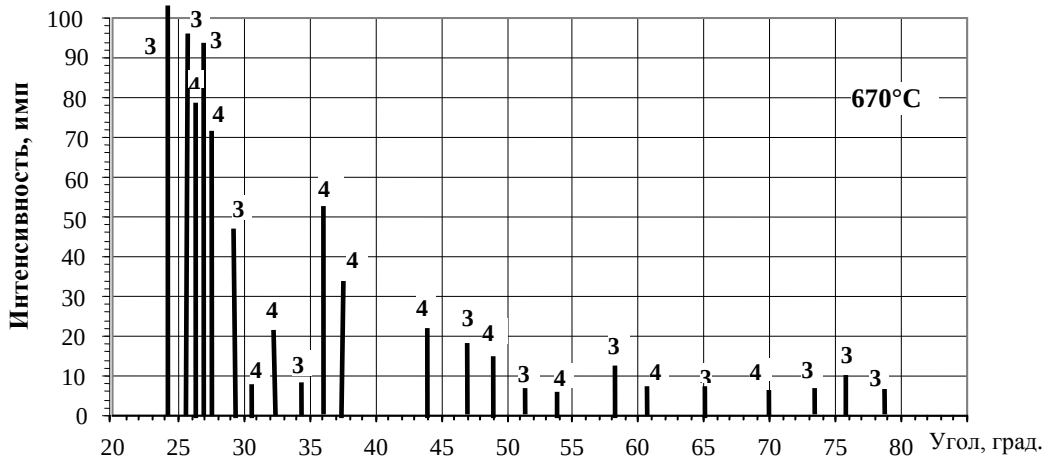


Рис. 4. Фазовые превращения при 2-часовой выдержке ВК8 при 670°С (обозначения как на рис. 3).

Роль воздуха в деформационных процессах стружкообразования. Образование стружки складывается из высокоскоростного деформационного процесса срезаемого слоя, включающего сжатие и сдвиг, и отделения этого слоя по плоскости резания за счет внедрения ассиметричного режущего клина в обрабатываемый материал. Сдвиговые процессы стружкообразования и отделения стружки связаны с возникновением ювенальных поверхностей, обладающих высокой химической адсорбционной активностью, в первую очередь к кислороду.

Влияние кислорода воздуха на процесс пластической деформации срезаемого слоя можно косвенно оценить по характеру изменения усадки стружки.

На рис. 5 и 6 показано влияние скорости резания на усадку стружки при точении нержавеющей стали 12Х18Н10Т и титанового сплава ВТ22 в вакууме и на воздухе.

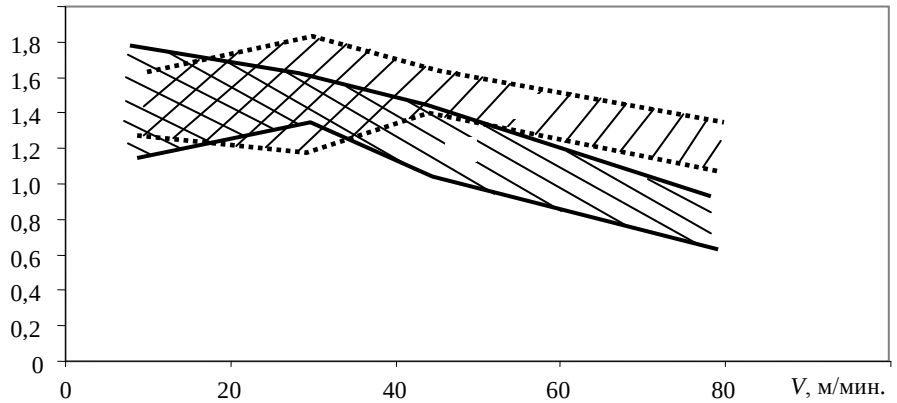


Рис. 5. Влияние скорости резания на усадку стружки при точении титанового сплава ВТ22: 1 – на воздухе; 2 – в вакууме.

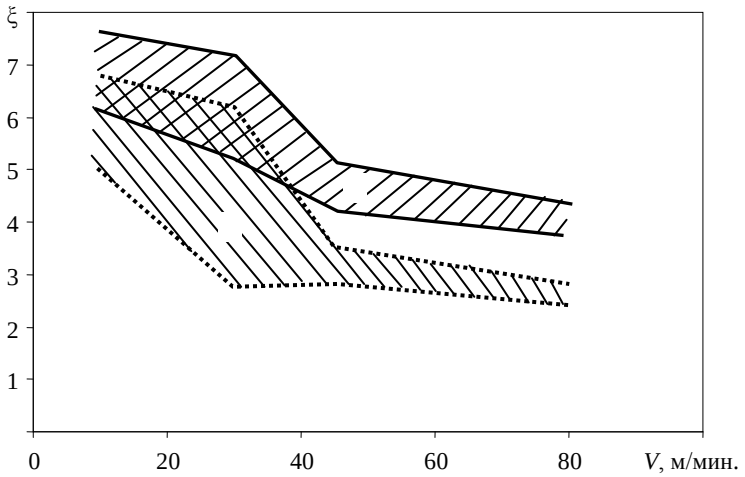


Рис. 6. Влияние скорости резания на усадку стружки при точении нержавеющего сплава 12Х18Н10Т: 1 – на воздухе; 2 – в вакууме.

Указанные материалы ведут себя поразному, что связано с особенностью их химического состава. При резании нержавеющей стали в безвоздушной среде усадка стружки возрастает, а при резании титанового сплава наблюдается противоположная закономерность.

Большинства металлических материалов при резании в безвоздушной среде в большей степени проявляют свои пластичные свойства, поэтому их деформационная фрагментация происходит при более высокой степени пластической деформации. Результатом всех этих процессов является высокая усадка стружки.

Внедрение компонентов воздуха в структуру металлического материала вызывает его упрочнение и охрупчивание. В результате деформационная фрагментация будет происходить при более низкой степени пластической деформации. Присутствие компонентов воздуха в контактном процессе снижает активность вторичной пластической деформации, но это существенно не сказывается на усадке стружки.

Поведение титанового сплава ВТ22 при резании в вакууме и на воздухе отражает особенность его нетипичного взаимодействия с кислородом, которое, с точки зрения электронного строения, является вполне объяснимым (см. рис. 5).

Физическая мезомеханика рассматривает электронное строение материала как «генетический код», определяющий многие его физические, химические и механические свойства. Электронное строение металлов позволяет спрогнозировать их реакцию на деформационные процессы в присутствии газовых сред [11; 12].

Атомы переходных металлов, к которым относится титан и другие тугоплавкие элементы, характеризуются наличием электронных вакансий внутренних электронных *d* и *f* орбиталей. Это делает их весьма восприимчивыми к поглощению электрона от любого элемента, при этом образующиеся соединения отличаются высокой степенью стехиометрии. Согласно правилу Хегга, если отношение радиусов атомов металла и неметалла больше критического значения равного 0,59, то велика вероятность образования простых структур с превалированием металлической связи. Все переходные металлы обладают большими атомарными радиусами, поэтому атомы кислорода, азота, углерода и других неметаллов с относительно небольшими атомарными радиусами при взаимодействии с ними образуют кристаллическую структуру, состоящую из кристаллической решетки металла со вставленными в нее атомами неметалла. Неметалл в таких кристаллических структурах отдает часть своих электронов внутренним орбиталям нескольких атомов переходных металлов, образуя с ними прочные связи. Наличие таких элементов в кристаллической решетке является фактором, повышающим прочность структурных связей между атомами самого переходного металла. Следовательно, при контактном взаимодействии титана и его сплавов процессы адгезионного схватывания могут активизироваться за счет внедрения атомов кислорода и других газов в кристаллическую решетку титана. Это означает, что образующееся атомарная комбинация, содержащая кислород, не является оксидом, и тем более фактором блокирования адгезионных процессов, а наоборот стимулирует развитие прочных электронных соединений. Подобная картина может наблюдаться только при относительно низкой концентрации кислорода и образовании на поверхности переходного металла пленочной структуры толщиной в несколько атомных слоев. Такие условия могут быть достигнуты в области пластического контакта стружки с передней поверхностью инструмента и в застойной зоне, куда доступ кислорода воздуха возможен в небольшом количестве.

Динамика деформационных процессов обрабатываемого материала в области вторичных пластических деформаций стимулирует развитие ротационно-трансляционных вихрей, приводя к механоактивации. В присутствии воздуха механоактивационное легирование включает образование оксида, легирование металла своим оксидом и растворение кислорода и азота. Известно, что из всех примесей, содержащихся в титане, кислород и азот являются наиболее сильными упрочнителями. По данным работы [7] каждая десятая доля процента кислорода и азота повышает прочностные свойства титана примерно на 130,0 МПа, в то время как углерод при аналогичной концентрации только на 50,0–60,0 МПа, а кремний на 20,0–30,0 МПа. Результатом упрочнения материала является развитие высокоэнергетических концентраторов напряжений со всеми вытекающими последствиями.

Отличительной особенностью стружки, образующейся при резании в безвоздушной среде, является увеличенный радиус кривизны. Стружка, как правило, имеет лентообразную форму. Типичная винтовая форма стружки является следствием градиентного распределения скорости пластического течения вдоль плоскости сдвига. Максимальная степень пластической деформации сжатия достигается в слое, расположенном ближе к режущей кромке, в результате фрагментированный элемент стружки в продольном и поперечном сечении приобретает

слегка трапецеидальную форму, суживающуюся в наружной поверхности. Вторичная пластическая деформация охватывает приконтактные слои стружки, при этом сжимающие напряжения, направленные параллельно передней поверхности инструмента, повышают степень сжатия фрагментированного элемента, делая его более плоским в продольном сечении и более трапецеидальным в поперечном. Уменьшение кривизны стружки можно объяснить снижением градиента скорости пластического течения вдоль плоскости сдвига и повышением сжимающих деформаций на внутренней поверхности за счет трения между стружкой и передней поверхностью инструмента.

Изменение усадки стружки является результатом деформационного процесса и реакции обрабатываемого материала на пластическую деформацию. Деформационное упрочнение приводит к повышению упругих свойств срезаемого слоя. С увеличением модуля упругости более высокие напряжения достигаются при меньшей деформации, и это приводит к изменению угла сдвига. С увеличением угла сдвига усадка стружки возрастает, что соответствует повышению модуля сдвига за счет деформационного упрочнения.

Из анализа результатов, представленных на рис. 5 и 6, следует, что деформационное упрочнение срезаемого слоя в безвоздушной среде приводит к ощутимому повышению модуля упругости, но для титанового сплава это проявляется в снижении усадки стружки, а для нержавеющей стали – в повышении.

Износ твердосплавного режущего инструмента. На рис. 7 представлено влияние скорости резания стойкость резца из ВК8 при точении нержавеющей стали 12Х18Н10Т и титанового сплава ВТ22 на воздухе и в вакуумной камере при остаточном давлении 0,2 Па и 0,06 Па.

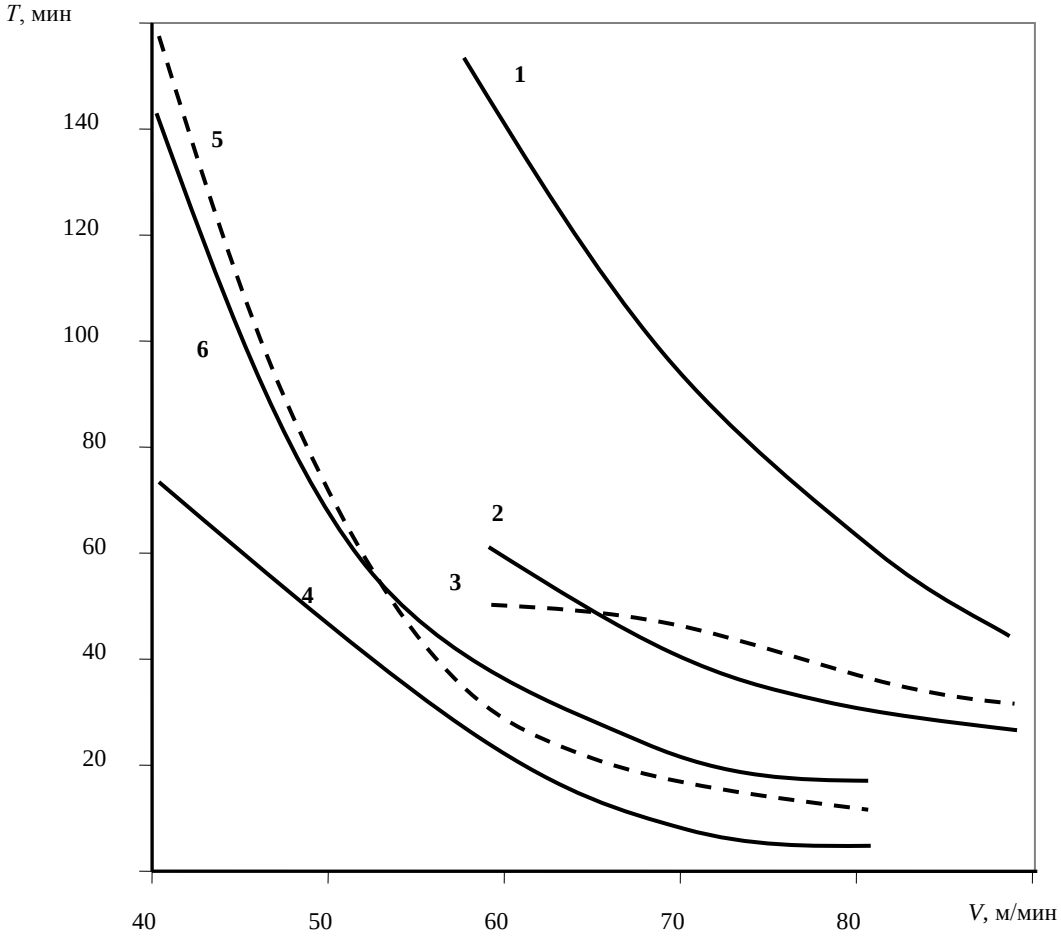


Рис. 7. Влияние скорости точения на стойкость резца из ВК8 при точении 12Х18Н10Т (1, 2, 3) и ВТ22 (3, 4, 5): 1 и 4 – резание на воздухе; 2 и 5 – в вакууме Р = 0,2 Па; 3 и 6 – в вакууме Р = 0,06 Па.

Влияние кислорода воздуха на стойкость режущего инструмента традиционно объясняются следующим образом. Окислительная активность твердого сплава при высокотемпературной выдержке и при резании металлов проявляется по-разному. Если в первом случае оксиды образуются на всей свободной поверхности, то во втором случае, учитывая, что рабочая поверхность инструмента находится в плотном контакте с обрабатываемым материалом, окис-

лительным процессам подвержены отдельные участки, к которым кислород с трудом поступает по различным каналам. В результате оксидные структуры располагаются на поверхности в виде отдельных островков.

Обладая меньшей микротвердостью и более высокой хрупкостью, оксиды активно истираются, и продукты износа могут выполнять функцию твердой смазки. Кроме того, оксиды, обладая большим удельным объемом, возвышаются относительно рабочей поверхности инструмента, и приводят к снижению контактных напряжений между стружкой и передней поверхностью режущего клина.

С повышением уровня вакуума образование оксидов затрудняется, и возрастает активность адгезионных процессов. Подтверждением изложенному является зависимость стойкости твердосплавного резца из ВК8 при точении 12Х18Н10Т на воздухе и вакууме. С повышением уровня вакуума стойкость инструмента снижается.

При точении титанового сплава ВТ22 влияние воздуха на стойкость твердосплавного инструмента проявляется противоположным образом, т. е. с повышением уровня вакуума стойкость инструмента возрастает.

Данное положение характерно не только для твердосплавного инструмента, но и для быстрорежущего инструмента [13].

Объяснение этого явления лежит в особенности взаимодействия титанового сплава с воздухом. Образование тонкой оксидной пленки на титановой поверхности повышает адгезионное схватывание между инструментальным и обрабатываемым материалом. Этот факт также раскрывает причину плохой работы титановых сплавов в узлах трения [12].

Выводы.

Воздух оказывает влияние на все происходящие процессы, сопутствующие резанию металлов.

1. Активность образования оксидных соединений на поверхности вольфрамосодержащих твердых сплавов при высокотемпературном нагреве зависит главным образом от концентрации карбида вольфрама, обладающего наименьшей жаростойкостью из всех компонентов инструментальных материалов.

2. Стойкость режущего инструмента из вольфрамосодержащих твердых сплавов определяется главным образом характером контактного взаимодействия между обрабатываемым и инструментальным материалом, при этом роль оксидных образований на рабочих поверхностях инструмента определяется физико-химическими и механическими свойствами обрабатываемого материала.

3. Наличие оксидных структур на рабочих поверхностях режущего инструмента, как правило, снижает интенсивность адгезионного взаимодействия между инструментальным и обрабатываемым материалами. Исключением из этого правила являются титановые сплавы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Резников А. Н. Теплообмен при резании и охлаждении инструментов / А. Н. Резников. – М. : Машгиз, 1963. – 200 с.
2. Математическое моделирование самоорганизующихся процессов в технологических системах обработки резанием / [Ю. Г. Кабалдин, А. И. Олейников, А. М. Шпилев, А. А. Бурнов]. – Владивосток : Дальнаука, 2000. – 195 с.
3. Буше Н. А. Совместимость трущихся поверхностей / Н. А. Буше, В. В. Копытко. – М. : Наука, 1981. – 128 с.
4. Термодинамические свойства воздуха / [В. В. Сычев и др.]. – М. : Издательство стандартов, 1978. – 276 с. – (ГСССД. Серия монографий).
5. Серега Н. И. Влияние концентрации кислорода, растворенного в СОЖ, на стойкость инструмента / Н. И. Серега, В. П. Белянский // Станки и инструменты. – 1981. – № 4. – С. 28.
6. Поверхностная прочность материалов при трении / Б. И. Костецкий и др. – К. : Техника, 1976. – 292 с.
7. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием : справочник / [под ред. С. Н. Энгелиса, Э. М. Берлинера]. – М. : Машиностроение, 1986. – 352 с.
8. Технологические свойства новых СОЖ для обработки резанием / [под ред. М. И. Клушина]. – М. : Машиностроение, 1979. – 192 с.
9. ГОСТ 6130-71. Металлы. Методы определения жаростойкости. – М. : Издательство стандартов, 1971. – 10 с.
10. Самсонов Г. В. Представления о роли стабильных электронных конфигураций в формировании физико-химических свойств веществ / Г. В. Самсонов // Порошковая металлургия. – 1976. – № 12. – С. 13–28.
11. Панин В. Е. Физическая мезомеханика – новая парадигма на стыке физики и механики деформируемого твердого тела / В. Е. Панин, Ю. В. Гриняев // Физическая мезомеханика. – 2003. – Т. 6. – № 4. – С. 9–36.
12. Титановые сплавы в конструкциях и производстве авиадвигателей и авиационно-космической техники / [Б. А. Колачев, Ю. С. Елисеев, А. Г. Братухин, В. Д. Талалаев]. – М. : Издательство МАИ, 2001. – 412 с.
13. Якубов Ф. Я. Структурно-энергетические аспекты упрочнения и повышения стойкости режущего инструмента / Ф. Я. Якубов, В. А. Ким. – Симферополь : Крымское учебно-педагогическое государственное издательство, 2005. – 300 с.

УДК 621.757

Новосёлов Ю. К., Тараховский А. Ю.

ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К МЕХАНИЗИРОВАННОМУ И АВТОМАТИЗИРОВАННОМУ ПРОЦЕССУ СБОРКИ УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С ВНУТРЕННИМИ КАНАВКАМИ

Проведений аналіз основних вимог до процесу механізованої і автоматизованої збірки з'єднань, ущільнювачів типу «еластичний кільцевий елемент – внутрішня канавка циліндрової поверхні деталі», що забезпечують отримання гарантованої якості.

Ключові слова: *з'єднання, ущільнювачів, еластичний кільцевий елемент, деформація, якість, збірка.*

Произведен анализ основных требований к процессу механизированной и автоматизированной сборки уплотнительных соединений типа «эластичный кольцевой элемент – внутренняя канавка цилиндрической поверхности детали», обеспечивающей получение гарантированного качества.

Ключевые слова: *уплотнительные соединения, эластичный кольцевой элемент, деформация, качество, сборка.*

The analysis of the basic requirements is the process of the mechanized and automated assembling of connections of type «elastic circular element is internal ditch of cylindrical surface of detail» providing the receipt of the assured quality.

Key words: *connections, elastic circular element, deformation, quality, assembling.*

Постановка проблемы. Особенности процесса автоматической сборки уплотнительных соединений с внутренними канавками главным образом определяются геометрическими характеристиками собираемых деталей – базовой и кольца. Деформирование кольца – один из главных элементов процесса сборки уплотнительных соединений. Именно при установке колец в канавки отверстий виды деформаций характеризуются большим разнообразием. Прежде всего, необходимо отождествлять форму деформированного кольца с некоторой цилиндрической ограничивающей поверхностью (ЦОП) перед установкой в канавку. То есть требуется обеспечить деформацию кольцу, при которой его форма вписывается в ЦОП.

Целью статьи является обоснование требований к механизированному и автоматизированному процессу сборки уплотнительных соединений с внутренними канавками.

Изложение основного материала. Наиболее выгодно было бы уменьшить габаритные размеры резинового кольца в его плоскости, равномерно распределенной нагрузкой, чтобы вписать в ЦОП. Однако, как показал анализ, величина сборочной деформации намного превышает значение критической, при которой кольцо теряет устойчивость в своей плоскости. Поэтому ввести кольцо в отверстие можно, обеспечивая лишь большие перемещения в пространстве отдельных его участков, созданием самых разнообразных форм.

Наиболее простой вид деформации, который применяется при ручной сборке – придание кольцу формы эллипса с большой $2C_{1A}$ и малой $2C_{2A}$ осями в его плоскости (рис. 1а).

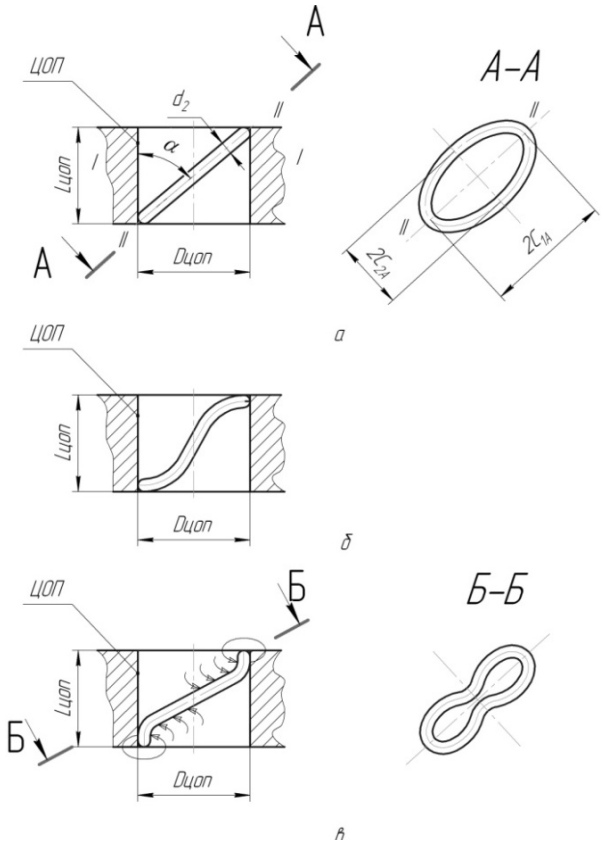


Рис. 1. Виды деформаций колец при сборке.

При этом становиться возможным вписать его в ЦОП, установив под углом α, относительно оси I–I ЦОП большую ось II–II эллипса. Кольцо испытывает минимальные изгибные деформации. При этом должно выполняться следующее условие:

$$\begin{cases} 2C_{1A} = \sqrt{D_{\text{ЦОП}}^2 + L_{\text{ЦОП}}^2} - d_2 \\ 2C_{2A} = D_{\text{ЦОП}} - d_2 \end{cases}. \qquad (1)$$

Длину S образующей эллипса можно вычислить, воспользовавшись известной формулой для вычисления длины плоской кривой [1]:

$$S = \int_{-x_1}^{+x_1} \sqrt{1 + y'^2}\, dx\,, \qquad (2)$$

где y – ординаты множества точек эллипса.

Ординаты множества точек эллипса выражаются следующим уравнением:

$$y = \frac{C_{2A}}{C_{1A}} \cdot \sqrt{C_{1A}^2 - x^2}\ . \qquad (3)$$

Так как

$$y' = \frac{C_{2A}}{C_{1A}} \cdot \frac{x}{\sqrt{1 - \frac{x^2}{C_{1A}}}}\,,$$

то длина эллипса может быть выражена через эллиптические интегралы $E(k, \varphi)$ второго рода, затабулированные, например, в [1]:

$$S = 4 \cdot C_{1A} \cdot E\left(k, \frac{\pi}{2}\right), \qquad (4)$$

где $k = \sin\alpha = \sqrt{1 - \frac{C_{2A}^2}{C_{1A}^2}}$ – параметр.

Из зависимости (4) видно, что длина S эллипса при заданном $D_{\text{ЦОП}}$ зависит только от величины $L_{\text{ЦОП}}$. В виде эллипса кольцо может быть вписано только при условии, если $S \geq S^{\text{кр}}{}_A$ (S – длина образующей эллипса, который может быть вписан в ЦОП; $S^{\text{кр}}{}_A = \pi(d_1 + 2d_2)$ – длина образующей кольца по наружному диаметру).

В случае невыполнения этого условия приходиться деформировать дополнительно кольцо в пространстве (рис. 1б), так как деформацию в одной плоскости осуществить невозможно. Такую деформацию в автоматическом режиме создать затруднительно. Кроме того, трудно осуществить контроль полученной формы на всех этапах сборки.

Используя вышеописанные формы деформации, к краю канавки можно подать лишь часть кольца. Остальные участки кольца досылаются в канавку дополнительным воздействием.

Безусловным требованием к сборочной операции является обеспечение высокого качества собранных изделий при высокой производительности процесса сборки.

Качество уплотнительных соединений регламентируется комплексом стандартов ИСО, в которых предусмотрено более 30 показателей. Большая часть из них определяет требования к сопрягаемым поверхностям цилиндра и штока (допуски на размеры поверхностей, отклонений формы, шероховатость и волнистость поверхности и т. п.). Но можно выделить и параметры качества, которые определяются особенностями и условиями выполнения сборочных операций. К основным из них относят:

1) отсутствие повреждений на поверхности уплотнительного элемента;
2) отсутствие закручивания (спирального скручивания) уплотнительного элемента;
3) отсутствие при сборке деформаций уплотнительного элемента, превышающих допустимый предел, при котором полное восстановление формы кольца становиться невозможным;
4) отсутствие перекоса уплотнительного элемента в канавке;
5) отсутствие разрушения уплотнительного элемента.

Особенностью процесса сборки уплотнительных соединений является то, что контроль качества соединения после сборки практически невозможен. Для оценки качества используют данные стендовых испытаний, а также данные по эксплуатации изделий, содержащих такие соединения. Для разработки же требований к процессу механизированной и автоматизированной сборки необходима численная оценка вероятности появления брака при использовании того или иного метода сборки.

Рассмотрим вероятность повреждения уплотнительного элемента для рассмотренных условий сборки при деформации кольца в виде эллипса (рис. 2).

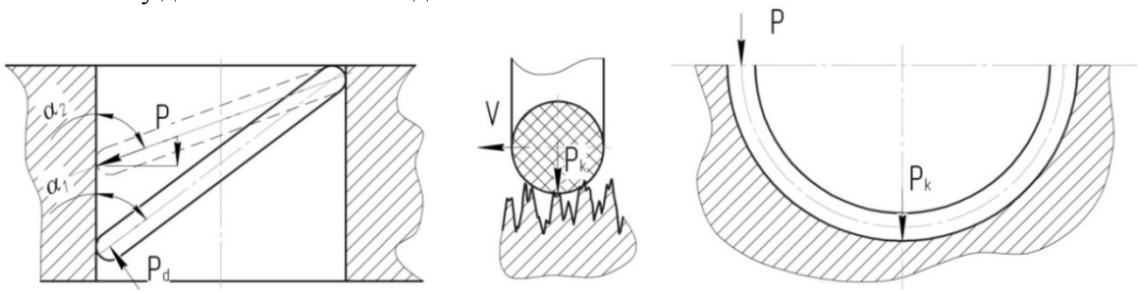


Рис. 2. Распределение сил, действующих на кольцо при деформации его в виде эллипса.

Сила Pd, которая прикладывается к элементу при досылке, приводит к деформации кольца. При деформации кольца появляется давление кольца на поверхность Pk, которое можно определить, зная деформацию кольца ε. При досылке кольца при $L > D_k$ необходимо применять раз-

личного рода оправки, что не исключает достижение степени деформации кольца, при которой α = 90°.

При этом ε определяется по уравнению:

$$\varepsilon = \frac{d_1 + 2 \times d_2 - D_k}{d_1 + 2 \times d_2}.$$

Поверхность отверстия не имеет регулярной геометрии, вершины микропрофиля расположены на различной высоте и геометрия вершин определяется методом обработки. Так для токарной обработки и шлифования они острые. Вследствие этого вероятность появления повреждения, учитывая многочисленность актов контакта поверхности кольца с гребешками шероховатости, всегда больше нуля. Она возрастает при движении кольца перпендикулярно рискам. Следовательно, гарантированное обеспечение соединения при рассматриваемом методе сборки невозможно. Оно может быть обеспечено только при отсутствии контакта кольца с поверхностью базовой детали, т. е. при $Pk = 0$.

При перемещении кольца с контактом об уплотняемую поверхность возникает крутящий момент (рис. 3) $M_{кр} = Fr$, под действием которого происходит закручивание кольца.

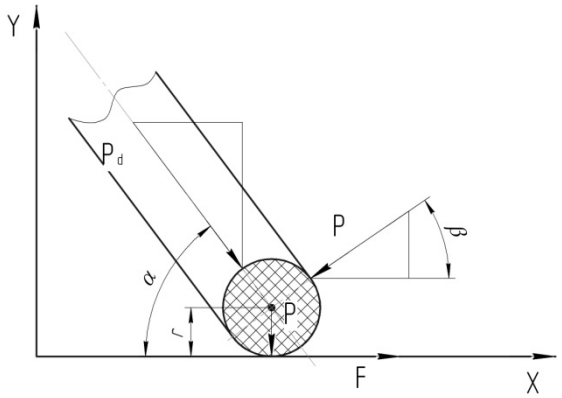


Рис. 3. Перемещение кольца с контактом об уплотняемую поверхность.

Если $M_{кр} > M_{доп}$, то элемент закручивается на 180° и принимает новое устойчивое положение. Зависимость между моментом $M_{кр}$ и углом закручивания φ получаем, суммируя моменты всех элементарных сил $\tau_{r\theta} dF$ на одной из цилиндрических поверхностей [2]:

$$M_{кр} = \int_F R_2 \times \tau_{r\theta}(R_2) dF =$$

$$= \frac{2R_2^2 \times \varphi \times G}{1 - \alpha^2} \int_0^{2\pi} d\theta \, dz = \frac{4 \times \pi^2 \times R_2^2 \times G}{1 - \alpha^2} \varphi,$$

где R_2 – внутренний радиус уплотнительного кольца ($R_2 = \frac{d_1}{2}$);

G – модуль сдвига;

$\alpha = \frac{R_2}{R_1}$, где $R_1 = \frac{d_1 + 2d_2}{2}$.

Зависимость между моментом и напряжением:

$$\tau_{r\theta} = \frac{M_{кр}}{2\pi d_2 R_2^2}.$$

Особенно вероятно закручивание элементов круглого и *X*-образного сечения. Учитывая пульсирующую нагрузку (зависит от микро- и макрогеометрии уплотняемой поверхности) вероятность закручивания кольца всегда больше 0, а для соблюдения качества сборки уплотнительного узла необходимо стремиться к $M_{кр} = 0$.

При установке кольца с контактом об уплотняемую поверхность кольцо деформируется, т. е. изменяются его геометрические характеристики.

Оценим относительную величину ε изменения диаметра $D_{ср}$ оси кольца при установке в канавки радиального уплотнения.

Наибольшую относительную величину ε будем вычислять при α = 90° (рис. 4) по следующей зависимости:

$$\varepsilon = \frac{d_1 + 2d_2 - D_k}{d_1 + 2d_2}, \qquad (6)$$

где d_1 – внутренний диаметр кольца;
D_k – диаметр уплотняемой поверхности отверстия (цилиндра).

Формула для расчета критической деформации $\varepsilon_к$ сжатия кольца в канавке имеет следующий вид [3]:

$$\varepsilon_к = 0{,}65 \cdot \left(\frac{d_2}{D_н} - 0{,}01 \right),$$

где d_2 – диаметр сечения кольца, мм;
$D_н$ – наружный диаметр кольца, мм.

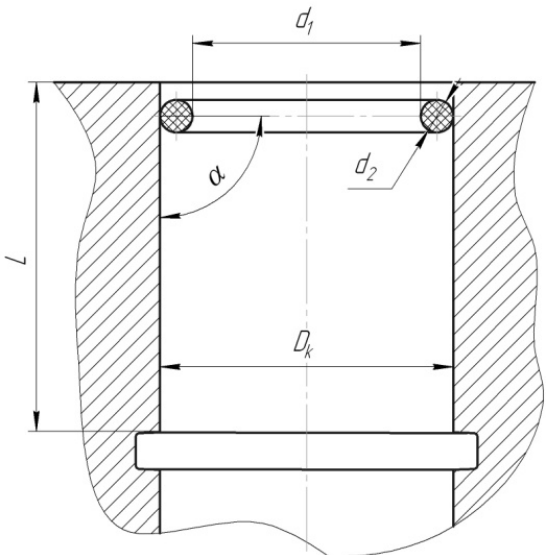


Рис. 4. Кольцо при установке в канавки радиального уплотнения.

Из условия получения заданного качества уплотнительного узла необходимо, чтобы $\varepsilon < \varepsilon_к$.

Оценка показывает, что это не всегда возможно. В табл. 1 приведены величины ε и $\varepsilon_к$, вычисленные для различных типоразмеров колец.

Из табл. видно, что эластичные кольца при установке в канавки радиальных уплотнительных соединений испытывают большие радиальные деформации – до 70–80%, хотя величина деформации и уменьшается с увеличением типоразмера колец.

Таблица 1.

Относительная радиальная и критическая деформации колец при установке в канавки уплотнительных соединений.

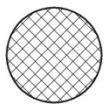
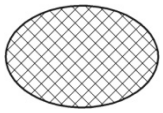
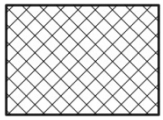
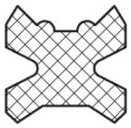
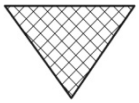
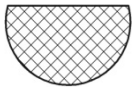
№ п/п	Обозначение кольца	Относительная радиальная деформация ε	Критическая деформации $\varepsilon_к$
1	050-060-58	0,422	0,524
2	056-066-58	0,43	0,535
3	061-071-58	0,436	0,543
4	071-081-58	0,444	0,555
5	078-088-58	0,446	0,559
6	080-090-58	0,447	0,56
7	090-100-58	0,453	0,569
8	095-105-58	0,453	0,569
9	105-115-58	0,457	0,576
10	110-120-58	0,459	0,579

Учитывая отсутствие в реальном процессе данных о значении параметров, определяющих качество, выполнена экспертная оценка значений вероятности появления брака при ручной сборке уплотнительных соединений гидроаппаратуры. Экспертам было предложено произвести количественную оценку по шкале отношений вероятности появления дефектов (повреждение поверхности, скручивание, деформация) при ручной сборке уплотнительных узлов, содержащих уплотнительные элементы в виде колец различных сечений.

Для анализа заключений экспертов, выраженных в количественном виде, использовались одновременно два метода: метод средних арифметических рангов (баллов) и метод медианных рангов. Данные экспертных оценок приведены в табл. 2.

Таблица 2.

Данные экспертных оценок.

Вид сечения резиновых эластичных колец		Вероятность появления дефектов при ручной сборке			Требования к механизированной и автоматизированной сборке
		Повреждение поверхности	Скручивание	Деформация	
		0,25	0,1	0,15	1. Отсутствие контакта. 2. Угловая и продольная ориентация относительно канавки. 3. Отсутствие остаточных деформаций.
		0,15	0,05	0,12	1. Отсутствие контакта. 2. Более жесткие требования к угловой и продольной ориентации относительно канавки. 3. Отсутствие остаточных деформаций.
		0,3	0,15	0,12	1. Отсутствие контакта. 2. Угловая и продольная ориентация относительно канавки. 3. Отсутствие остаточных деформаций. 4. Угловая ориентация при деформировании в сборочном устройстве.
		0,3	0,05	0,15	1. Отсутствие контакта. 2. Более жесткие требования к угловой и продольной ориентации относительно канавки. 3. Отсутствие остаточных деформаций. 4. Угловая ориентация при деформировании в сборочном устройстве.

Согласно заключению экспертов, наиболее подверженными спиральному скручиванию при ручном способе установки оказались кольца *X*-образного сечения. За счет своей формы они быстрее переходят в новое устойчивое (деформированное, скрученное) состояние. Наименее подвержены скручиванию кольца квадратного и прямоугольного сечения. Большее повреждение поверхности при контакте кольца с уплотняемой поверхностью наблюдается у колец с сечением дельта-ринг. Здесь чаще наблюдается повреждение уплотняющей кромки. Остаточная деформация чаще встречается у колец круглого сечения.

Экспертиза подтвердила, что для получения гарантированного качества уплотнительного соединения, сборка должна происходить без контакта уплотнительного кольца с уплотняемой поверхностью.

Выводы. Выполненный анализ позволяет сформулировать основные требования к процессу механизированной и автоматизированной сборки, обеспечивающей получение гарантированного качества.

Отсутствие контакта уплотнительного кольца с уплотняемой поверхностью в процессе сборки позволяет избежать повреждения поверхности кольца.

Угловая и продольная ориентация уплотнительного кольца относительно канавки позволяет избежать остаточной деформации ($\varepsilon < \varepsilon_к$). Для эластичных элементов *X*-образного сечения, а также сечений дельта- и *D*-ринг необходима угловая ориентация в момент деформирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бронштейн И. Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендляев. – М. : Наука, 1980. – 976 с.
2. Лавендел Э. Э. Расчет резинотехнических изделий / Э. Э. Лавендел. – М. : Машиностроение, 1976. – 232 с.
3. Селедков Ю. А. Условия монтажа резиновых колец круглого сечения в прямоугольные канавки фланцевых уплотнений / Ю. А. Селедков, Э. А. Савостьянова, В. В. Некрасова // Каучук и резина. – 1974. – № 10. – С. 42–44.

УДК 621.99.02

Богуцкий В. Б., Шрон Л. Б.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ДЕТАЛЕЙ МАЛЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СОПРЯЖЕНИЙ ПОВЫШЕННОЙ ТОЧНОСТИ ДЛЯ ПОВТОРНОЙ СБОРКИ

Приведені результати експериментальних досліджень доведення точних поверхонь методом нанесення вторинного мікрорельєфу пластичною поверхневою деформацією і показано, що сполучення по поверхнях, відновленим даним методом, відповідають встановленим експлуатаційним вимогам.

Ключові слова: *точні поверхні, вторинний мікрорельєф, пластична поверхня.*

Приведены результаты экспериментальных исследований доводки точных поверхностей методом нанесения вторичного микрорельефа пластическим поверхностным деформированием и показано, что сопряжения по поверхностям, восстановленным данным методом, отвечают установленным эксплуатационным требованиям.

Ключевые слова: *точные поверхности, вторичный микрорельеф, пластичная поверхность.*

The results of experimental researches of polishing of exact surfaces are resulted by the method of causing second microrelief by plastic superficial deformation and it is shown that interfaces on surfaces, by recovered this method, answer the set operating requirements.

Key words: *accurate surface, second microrelief, plastic superfic.*

Постановка проблемы. В процессе подгонки деталей прецизионной пары с малыми припусками (1–2 мкм) возможны случаи снятия слоя, превышающего припуск. В результате этого при оборке компонентов не удается получить нужный натяг (зазор). Стоимость таких отказов высока из-за большой себестоимости подготовленных к сборке деталей. В этой связи экономически целесообразно восстанавливать заниженные размеры деталей для селективной сборки.

Анализ литературы. Из известных методов восстановления размеров [1] для малых диаметров сопрягаемых поверхностей часто используют гальванопокрытия, но их применение ограничивается эксплуатационными требованиями, например, для восстановления шеек (цапф) узлов электромеханических приборов, но выделяемый при гальванопокрытиях пар и сопутствующий нагрев могут изменить электромагнитные характеристики узла. В связи с этим возникает необходимость использования других методов восстановления.

Для восстановления размеров посадочных мест можно использовать метод поверхностного

пластического деформирования. Суть метода заключается в способности материала поверхностного слоя при пластическом деформировании перераспределяться по высоте. Высотные характеристики образующегося при деформировании вторичного микропрофиля превышают аналогичные параметры исходной поверхности, обуславливая увеличение ее геометрического зазора. Вторичным микропрофилем может служить резьба неполного профиля или кольцевые канавки, накатываемые с помощью соответствующих рифленых роликов и обкатанные гладкими роликами, либо притертые. По данным [2], высота наплывов при нанесении вторичных микрорельефов в среднем равна половине глубины выдавленных канавок (при их глубине до 10 мкм).

Расчеты по формулам, рекомендованные [3] для накатывания профиля резьбонакатными роликами с шагом 0,15–0,25 мм, показывают необходимость приложения радиальных усилий порядка 100 Н. Аналогичные результаты получаются при экстраполяции табличных данных в работе П. Д. Ермолаева [4]. Использование накатных роликов с шагом свыше 0,25 мм приводит к увеличению усилия накатки, которое может привести к деформации детали. Имеющиеся в литературе сведения не раскрывают в полной мере количественных характеристик микрорельефа, образующегося при накатывании неполной резьбы опорных поверхностей.

Цель статьи – описать и проанализировать восстановление размеров деталей малых цилиндрических сопряжений повышенной точности для повторной сборки.

Изложение основного материала. Одним из критериев для выбора условий восстановления размеров при накатке служит принятое на приборостроительных заводах положение о том, что контурная поверхность на уровне натяга посадки должна быть не менее 2/3 от номинальной. Эксперименты по восстановлению размеров на валах проводились на разработанной установке, позволяющей проводить доводку и восстановление цапф роторов. Схема обкатки позволяет одновременно с поднятием рельефа при накатке производить обкатку цапфы гладкими роликами, что сохраняет контурную поверхность на уровне натяга посадки не менее 2/3 от номинальной [5].

На рис. 1 показана схема нанесения вторичного микрорельефа на восстанавливаемой поверхности сопряжения цапфы путем обкатывания последней одновременно одним рифленым и двумя гладкими роликами.

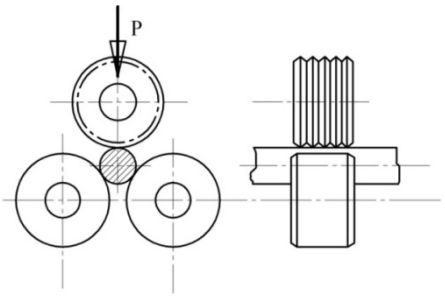


Рис. 1. Схема нанесения вторичного микропрофиля с целью восстановления тремя роликами.

Рабочая поверхность рифленого ролика выполняется в виде кольцевых канавок треугольного профиля или в виде резьбы. В последнем случае может быть обработан валик (цапфа) любой длины, поскольку его подача в осевом направлении будет осуществляться самим рифленым роликом.

При этом профиль поднятой поверхности будет иметь вид, показанный на рис. 2, где F_1 – площадь сечения, образованная внедренным инструментом, F_2 – площадь сечения, обусловленная поднятым слоем. Очевидно, без учета усадки, $F_1 = F_2$.

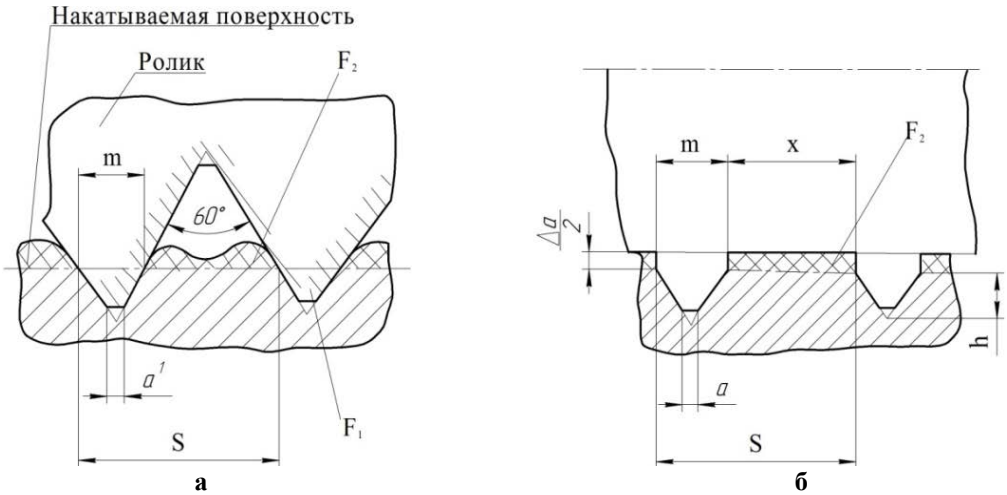


Рис. 2. Схема профиля поднятой поверхности: а – после обкатки рифленым роликом, б – после обкатки гладким роликом.

Из рис. 2б:

$$m + x = S;\ x \times \frac{\Delta d}{2} = F_2;\ x = \frac{2}{3}S;\ \frac{S \times \Delta d}{3} = F_2.$$

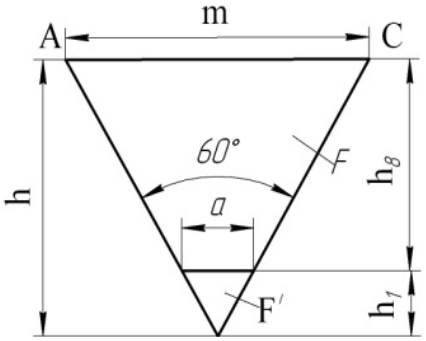


Рис. 3. Схема профиля выдавливаемой впадины на восстанавливаемой поверхности.

Из рис. 3:

$$h_1 = \sqrt{d^2 - \frac{d^2}{4}} = a\frac{\sqrt{3}}{2} = 0{,}87a.$$

Примем притупление вершины инструмента a = 5 мкм, тогда

$$h_1 = 0{,}87 \times 5 = 4{,}34.$$

Аналогично: $h = 0{,}87m$; $m = \dfrac{h}{0{,}87}$.

$$F' = \frac{1}{2}a \times h_1 = \frac{1}{2} \times 5 \times 4{,}34 = 10\,\text{мкм}^2 \approx 11\,\text{мкм}^2.$$

Площадь всего треугольника АВС:

$$F'' = \frac{1}{2}m \times h = \frac{1}{2} \times \frac{h}{0{,}87} \times h \approx \frac{h^2}{1{,}7}.$$

$$F_1 = F'' - F' = \frac{h^2}{1{,}7} - 11.$$

Исходя из условия, что $F_1 = F_2$, можем записать:

$$\frac{h^2}{1{,}7} - 11 = \frac{1}{3}S \times \Delta d. \qquad (1).$$

По данным [6], радиальная сила для накатывания резьбы равна:

$$\rho = 35\sqrt{\frac{\sigma_S^3}{E} \times \frac{D_р}{D_р \times d_1}} \times d_1 \left(a + \frac{d_з - d_1}{\cos\frac{\alpha}{2}} \right) \times n,\ \text{Н},$$

где σ_S – предел текучести металла в момент накатывания резьбы в Н/мм^2;
$D_р$ – наружный диаметр накатного ролика в мм;
a – ширина вершины и впадины резьбы в мм;
$d_з$ – диаметр заготовки в мм;
d_1 – внутренний диаметр резьбы в мм;
n – число накатываемых ниток резьбы;
E – модуль упругости, принят $2{,}0 \cdot 10^5$ Н/мм^2.

Преобразуя это выражение к виду, использующему удобные для данного случая параметры, получим:

$$\rho = 3{,}5\sqrt{\frac{\sigma_S^3}{E} \times \frac{D_р}{D_р \cdot (d_з - 2h)}} \times$$
$$\times (d_з - 2h)\left(a + \frac{d_з - d_1}{\cos\frac{\alpha}{2}} \right) \times n \times 9{,}8H. \qquad (2)$$

где h – глубина внедрения инструмента в мм (рис. 4); так как значение $h_1 \approx 4$ мкм при a = 5 мкм очень мало, принимаем $h_в = h$ (см. рис. 3).

Эта формула позволяет получить силовые зависимости для выбора целесообразных границ h и S по формуле (1).

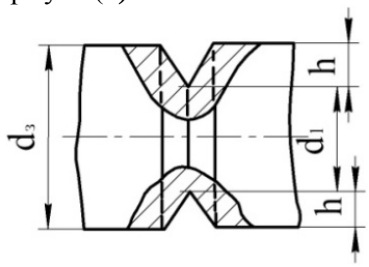


Рис. 4. Схема единичной кольцевой канавки на восстанавливаемой поверхности.

Совместное решение (1) и (2) показано на номограмме (рис. 5), которая представляет собой графические зависимости, состоящие из трех частей.

Первая часть показывает зависимость между глубиной внедрения инструмента в обрабатываемую поверхность и увеличением диаметра Δd восстановленной цапфы при использовании накатных роликов с разным шагом канавок треугольного профиля (S = 100…400 мкм).

Вторая часть отражает зависимость между глубиной внедрения h инструмента в обрабатываемую поверхность и радиальной силой P из расчета на одну кольцевую канавку (одну нитку накатываемой резьбы) для восстанавливаемых цапф диаметрами $d_з$ = 3…6 мм (материал σ_s = 220 МПа, например 2Х18Н9) накатными роликами $D_р$ = 25 мм.

Третья часть дает соотношение между радиальной силой P_1 на одну кольцевую канавку (нитку накатываемой резьбы) и радиальной силой P на одновременно накатываемых n = 10…60 кольцевых канавок (ниток резьбы). Количество канавок (ниток) взято как частное от деления B – ширины накатного ролика на S – шаг кольцевых канавок (ниток резьбы).

Особенность схемы накатывания вторичного профиля на цапфах для восстановления заключается в том, что нужный вторичный микропрофиль создается за счет одновременного обкатывания цапф тремя роликами (один из которых – рифленый, а два – гладких), с одинаковой для всех радиальной силой P. Ширина роли-

ка B и шаг канавок (ниток) S на нем определяется в зависимости от величины изменения диаметра цапфы Δd, на которую нам нужно восстановить цапфу и от диаметра цапфы $d_з$.

На номограмме (см. рис. 5) показан пример определения радиальной силы P для увеличения диаметра цапфы на Δd = 5 мкм, если $d_з$ = 6 мм, S = 150 мкм, B = 6 мм.

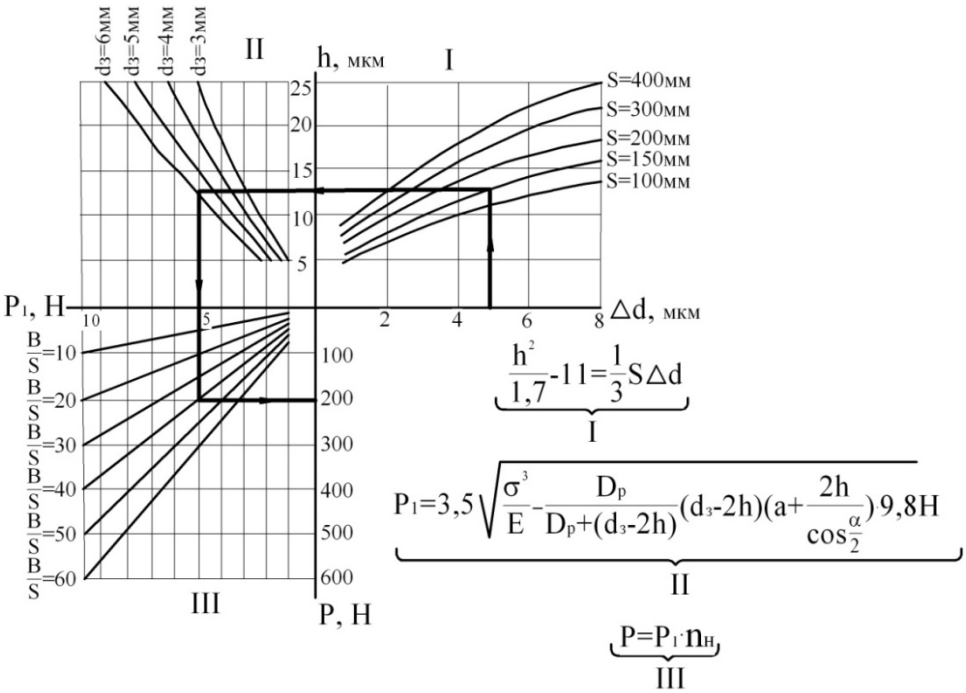


Рис. 5. Зависимость увеличения диаметра Δd восстанавливаемой поверхности от шага канавок S накатного ролика, количества одновременно накатываемых ниток n, диаметра восстанавливаемой поверхности $d_з$ и усилия накатывания P.

Номограмма позволяет связать основные условия восстановления размеров деталей при сохранении контурной поверхности не менее 2/3 номинальной с величиной подъема профиля, шага накатных роликов, глубину их внедрения и радиального усилия. Анализ номограммы показывает, что для восстановления размеров в соответствии со схемой, приведенной на рис. 2, потребуются накатные ролики с шагом канавок 0,15…0,25 мм и усилия не более 300 Н. Такие усилия вполне допустимы при обработке роторов и не производят их ощутимых деформаций.

На рис. 6 показаны результаты экспериментального восстановления размеров цапф валов диаметром 4…6 мм из стали 2Х18Н9, 1Х17Н2, 3Х13.

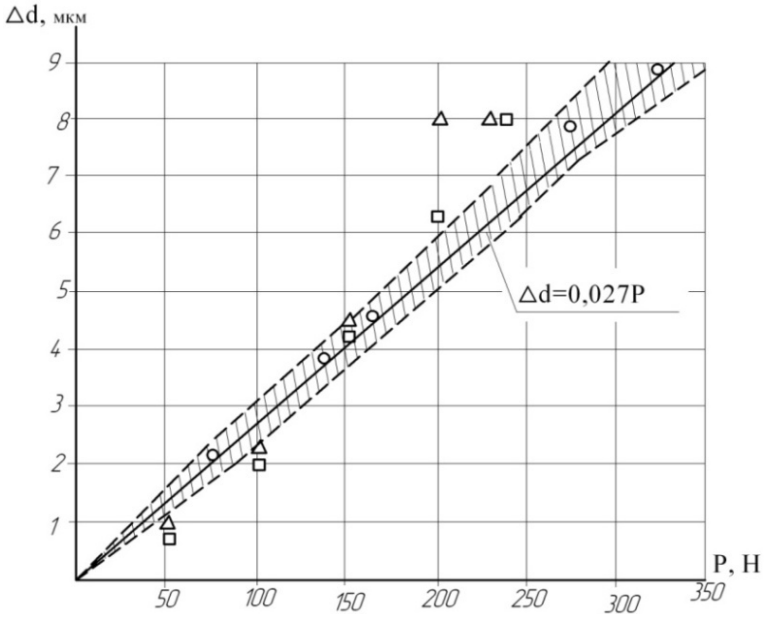


Рис. 6. Зависимость подъема размера от радиального усилия, ○ – экспериментально, Δ – по номограмме для $d_з$=4 мм, □ – по номограмме для $d_з$ = 5 мм.

Кружочками отмечены значения, полученные экспериментально, треугольниками – по номограмме (см. рис. 5). Прямая линия отражает функциональную зависимость подъема размера от радиального усилия. Штриховыми линиями показаны доверительные пределы значений Δdc доверительной вероятностью 0,9. Средняя ошибка ординат не превышает 6%.

На рис. 7 показана профилограмма восстановленной поверхности. Там же отмечена опорная длина профиля t_y на уровне натяга на сторону 0,25…0,5 мкм.

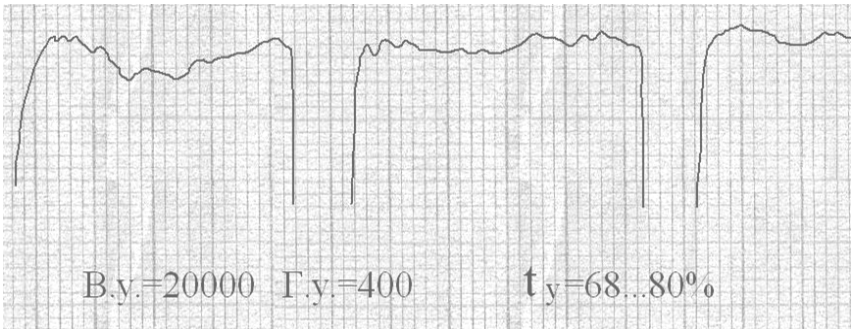


Рис. 7. Профилограмма восстановленной поверхности.

Экспериментальные исследования показали, что микрогеометрия, макрогеоматрия и микротвердость восстановленных поверхностей такие же, как и шеек, обкатанных после чистового точения. В табл. 1 приведены характеристики прилегания восстановленных, а затем притертых и обкатанных поверхностей на различных уровнях натяга, а на рис. 8 – графическая зависимость между относительной опорной длиной и абсолютным сближением для этого случая.

Таблица 1.

Опорные поверхности для абсолютных сближений восстановленных, а затем доведенных деталей.

Натяг цилиндрического сопряжения в мкм на сторону		**0,125**	**0,25**	**0,375**	**0,5**	**0,75**	**1,0**
Относительная опорная длина в %	Поверхность восстановления	35	68	74	76	78	80
	Поверхность восстановления после обкатывания	42	69	77	78	79	82
	Поверхность восстановления после притирки	9	31	60	68	75	80

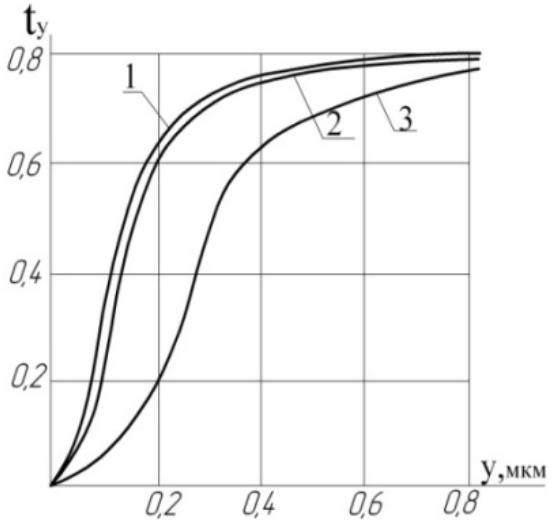


Рис. 8. Кривые опорных поверхностей для абсолютного сближения: 1 – поверхность восстановленная, затем обкатанная; 2 – поверхность восстановленная; 3 – поверхность восстановленная, затем притертая.

На рис. 9 приведены зависимости средних значений изменения осевого усилия при повторных касательных нагружениях подшипниковых прецизионных сопряжений с использованием восстановленных цапф роторов микромашин. Штриховыми линиями показаны доверительные пределы значений с доверительной вероятностью 0,9.

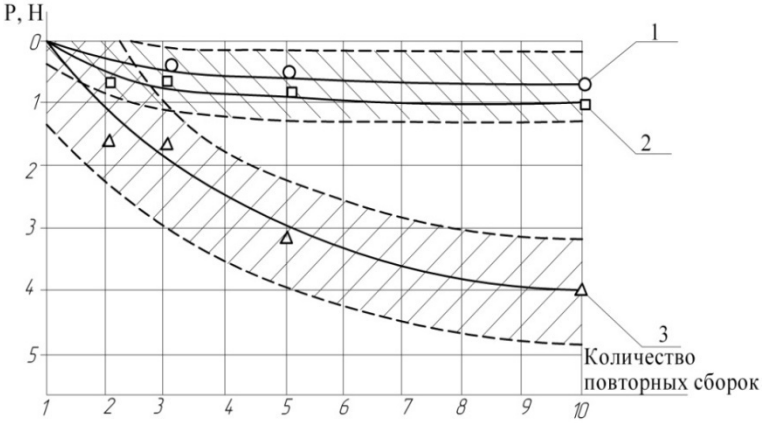


Рис. 9. Изменение средних значений усилия сборки при повторных сборках подшипниковых сопряжений повышенной точности с использованием восстановленных цапф роторов микромашин: 1 – цапфа восстановленная и затем обкатанная; 2 – восстановленная, 3 – восстановленная и затем притертая.

Выводы. Полученные результаты показывают, что сопряжения по поверхностям, восстановленным методом нанесения вторичного микрорельефа пластическим поверхностным деформированием, отвечают установленным эксплуатационным требованиям и соответствуют поверхностям, обкатанным гладким роликом после чистового точения. Кроме этого, после обкатки и притирки усилие сборки восстановленных деталей значительно ниже. Построенная номограмма позволяет использовать результаты исследований для инженерных расчетов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гельберг Б. Т. Вопросы технологии и организации ремонта оборудования / Б. Т. Гельберг, Г. Д. Пекелис. – М. : Профтехиздат, 1960. – 288 с.
2. Шнейдер Ю. Г. Образование регулярных микрорельефов на деталях и их эксплуатационные свойства / Ю. Г. Шнейдер. – Л. : Машиностроение, 1972. – 185 с.
3. Справочник технолога-машиностроителя / [под ред. А. К. Малова]. – М. : Машиностроение, 1972. – Т. 2. – 658 с.
4. Ермолаев П. Д. Обработка давлением деталей приборов / П. Д. Ермолаев. – Л. : Изд-во «Судпромгиз», 1960. – 185 с.
5. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / [Ю. П. Адлери и др.]. – М. : Наука, 1971. – 285 с.
6. Никифоров А. Д. Точность и технология изготовления метрических резьб / А. Д. Никифоров. – М. : Высшая школа, 1963. – 180 с.

УДК 621.923

Ягьяев Э. Э., Калюжная Т. В.

СТРУКТУРА СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ДЛЯ КРУГЛОГО НАРУЖНОГО ШЛИФОВАНИЯ

У статті запропонована структура системи діагностики для круглого зовнішнього шліфування на основі аналізу зміни вихідних змінних і параметрів технологічної системи. Використання такого підходу діагностики і управління забезпечить підвищення продуктивності і якості обробки.

Ключові слова: *шліфування, діагностика, прогнозування, алгоритм, точність, якість.*

В статье предложена структура системы диагностики для круглого наружного шлифования на основе анализа изменения выходных переменных и параметров состояния технологической системы. Применение такого подхода диагностики и управления обеспечит повышение производительности и качества обработки.

Ключевые слова: *шлифование, диагностика, прогнозирование, алгоритм, точность, качество.*

The structure system of diagnostics for the round outward polishing on the basis of analysis change output variables and parameters state of the technological system is offered in the article. Application such approach of diagnostics and management will provide the increase of productivity and quality of treatment.

Key words: *grinding, diagnostics, forecasting, technical system, prognostication, quality.*

Постановка проблемы Повышение производительности технологических операций круглого наружного шлифования требует высокоэффективной диагностики и управления процессами обработки с учетом изменений состояния технологической системы.

Анализ литературы. В условиях автоматизированного производства перспективным направлением повышения эффективности процессов круглого наружного шлифования является диагностика и управление на основе анализа динамики изменения выходных переменных и параметров состояния технологической системы [1]. Применение такого подхода диагностики и управления обеспечит повышение производительности и качества обработки.

Цель статьи – описать формирование структуры системы диагностики процесса круглого наружного шлифования, позволяющий при различных вариантах изменения режимных параметров иметь возможность надежного обнаружения отклонений выходных переменных и определения параметра состояния и вида возмущений технологической системы.

Изложение основного материала. В соответствии с разработанной в исследованиях [1; 2] функциональной схемой системы диагностики ее основными задачами являются установление изменений параметров состояний технологической системы по текущим значениям и скоростным параметрам изменений выходных переменных.

Алгоритм работы такой системы диагностики рассмотрен на рис. 1.

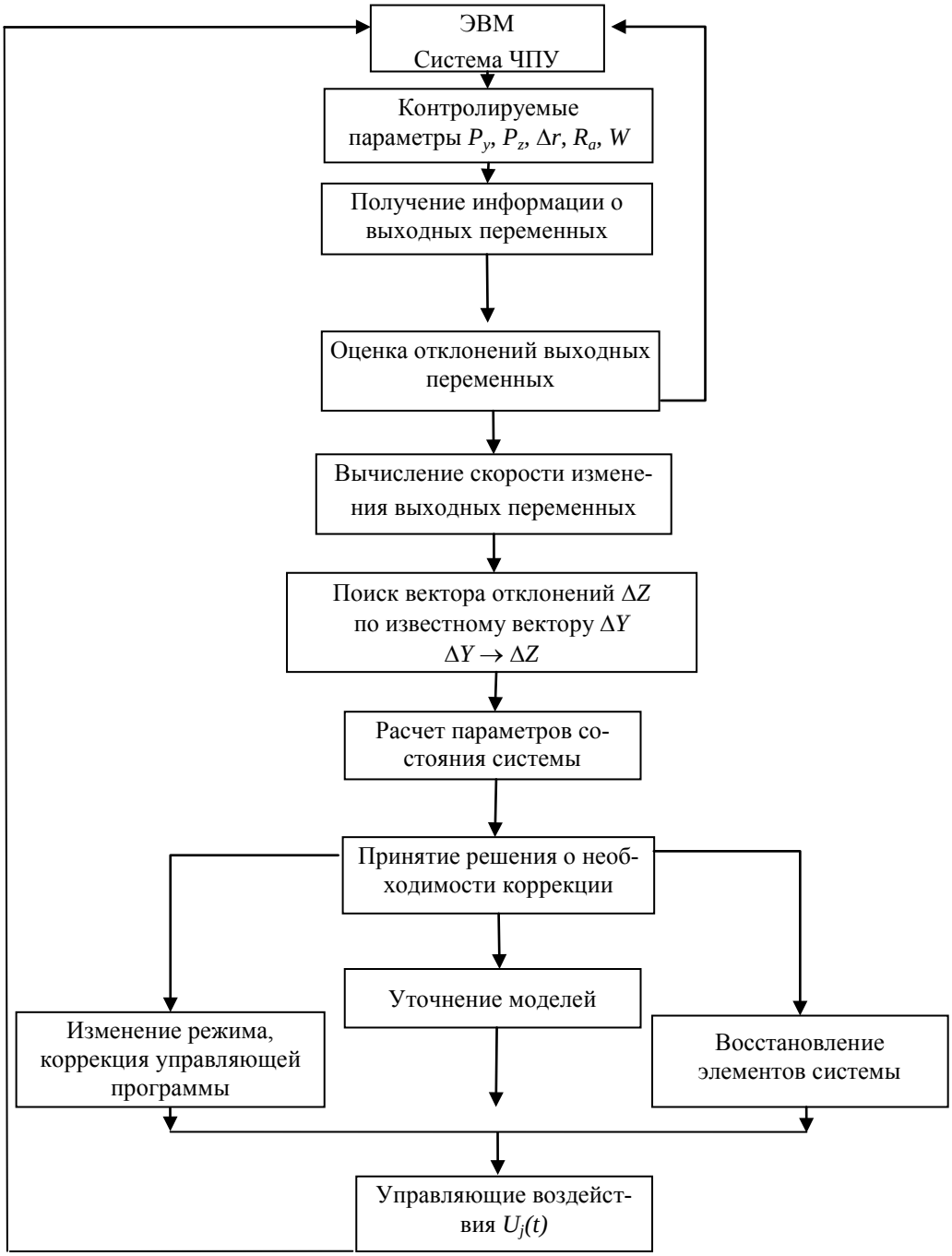


Рис. 1. Блок-схема системы диагностики операции шлифования.

Алгоритм включает в себя следующие модули:

- обнаружение отклонений выходных переменных;
- оценка отклонений выходных переменных;
- вычисление скорости изменения выходных переменных;
- выявление причин отклонений;
- расчет параметров состояния системы;
- принятия решений о необходимости проведения и вида коррекции.

При разработке управляющих программ возможны два варианта:

- первый вариант – управляющая программа разрабатывается без учета изменений в технологической системе;
- второй вариант – при разработке управляющей программы система имеет математическую модель, описывающую работу технологической системы с учетом возникающих изменений; на основе ее производиться прогнозирование, рассчитывается текущее состояние параметров.

Как в первом, так и во втором варианте возникает задача обнаружения отклонений выходных переменных.

Необходимость модуля выявления отклонений выходных переменных вызвано наличием изменений параметров состояния и возмущающих воздействий технологической системы, в результате которых выходные переменные непостоянные. Задача сводится к оценке отклонений вектора наблюдаемых значений выходных переменных от вектора прогнозируемых. В общем виде зависимость запишется:

$$|\Delta Y| = |Y(t) - \hat{Y}(t)| \geq |\Delta Y_{\text{пор}}|, \qquad (1)$$

где $Y(t)$ – наблюдаемые значения выходных переменных;

$\hat{Y}(t)$ – прогнозируемые значения выходных переменных;

$\Delta Y_{\text{пор}}$ – пороговый уровень обнаружения отклонений, вызванный ошибками измерений.

Задача обнаружения отклонений осложняется большой задержкой во времени результатов обработки и получения необходимой для анализа информации, что связано со сложностью ее накопления непосредственно на рабочем месте. Например, размер обработанной поверхности может быть определен прибором активного контроля на станке или сразу же после обработки. Измерения же шероховатости, эксцентриситета, волнистости поверхности производятся на специальных установках в лабораторных условиях.

Модуль выявления причин отклонений выходных переменных от параметров состояния технологической системы является одним из наиболее сложных. Ставится и решается задача поиска вектора отклонений ΔZ по известному вектору ΔY:

$$\Delta Y \rightarrow \Delta Z. \qquad (2)$$

В модуле принятия решения устанавливается вид коррекции и производится оценка необходимости ее проведения. Вид коррекции устанавливается на основе анализа вектора отклонений ΔZ. При оценке необходимости проведения коррекции возможны две ситуации. Если отклонения ΔY выходят за пределы допустимых техническими требованиями, то коррекция, безусловно, должна быть проведена. Если отклонения ΔY не выходят за пределы допустимых, то коррекция выполняется, если затраты на ее осуществление оказываются меньше выигрыша (прибыли), получаемого при проведении коррекции, что может быть выражено соотношением:

$$K(\Delta Y) = \begin{cases} 1, C_{\text{з}} > C_{\text{кор}} \\ 0, C_{\text{з}} \leq C_{\text{кор}} \end{cases}, \qquad (3)$$

где $C_{\text{кор}}$ и $C_{\text{з}}$ – соответственно стоимость коррекции и прибыль, получаемая в результате ее проведения.

Коррекция параметров цикла может проводиться как при настройке системы на обработку партии заготовок, так и в процессе обработки.

Оценка отклонений фактических значений выходных переменных при изменении параметров состояния технологической системы включает в себя два основных этапа:

- обнаружение отклонений и установление их наиболее вероятных значений;
- установление причин появления таких отклонений.

Рассмотрим постановку задач решения этих этапов для анализируемого процесса диагностики. Определим отклонения фактических значений ($y(t)$) от расчетных ($\bar{y}(t)$) зависимостью

$$\Delta y(t) = y(t) - \bar{y}(t). \qquad (4)$$

Если замеры выходной переменной проводятся периодически на ограниченном интервале времени и в течение этого времени не наблюдается значительных изменений $y(t)$, то наличие отклонений может быть с любой доверительной вероятностью определено методами анализа выборочных наблюдений. При сравнении выборочных средних выдвигается нулевая гипотеза о равенстве генеральных средних. Она отвергается, если

$$|\bar{y}_1 - \bar{y}_2| \geq t_{1-\frac{\alpha}{2}} \times S\sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}, \qquad (5)$$

где $\bar{y}_1$ и $\bar{y}_2$ – сравниваемые выборочные средние;

n_1 и n_2 – объемы первой и второй выборок;

$t_{1-\frac{\alpha}{2}}$ – критерий Стьюдента, определяемый при доверительной вероятности $1-\frac{\alpha}{2}$ и числе степеней свободы $f = n_1 + n_2 - 2$;

S^2 – средневзвешенная дисперсия, вычисляемая по дисперсиям выборок:

$$S^2 = \frac{(n_1-1)S_1^2 + (n_2-1)S_2^2}{n_1+n_2-2}. \qquad (6)$$

Для рассматриваемого процесса роль первой выборки играет подмножество расчетных значений, второй – измеренных значений выходной переменной.

Соответственно $S_1{}^2$ и $S_2{}^2$ рассматриваются как дисперсии расчетных и фактических значений y. При заданных условиях $n_1 = n_2$ неравенство (5) принимает вид:

$$\left|\hat{y}(t) - \bar{y}(t)\right| \geq t_{1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{S_1^2 + S_2^2}{n}}. \qquad (7)$$

При сравнении дисперсии выдвигается нулевая гипотеза о равенстве генеральных дисперсий. Гипотеза отвергается, если расчетные значения критерия Фишера больше табличного при заданном значении доверительной вероятности. Расчетный критерий определяется из соотношения:

$$F = \frac{S_2^2}{S_1^2}. \qquad (8)$$

Если выходная переменная непостоянна во времени, но не имеет закономерных высокочастотных отклонений, то на ограниченном интервале времени также можно воспользоваться зависимостями (7) и (8), предварительно проведя аппроксимацию экспериментальных данных (например, с помощью полинома k-той степени) и заменив в уравнении (7) левую часть на разность расчетных значений по теоретическим и эмпирическим зависимостям.

Если выходная переменная имеет высокочастотные закономерные модуляции, то применение зависимостей (7) и (8) невозможно, так как в рассмотренной методике не предусматривается разделение отклонений на закономерные и случайные, и все они учитываются при расчете дисперсий.

Выводы.

1. Анализ поставленных задач позволяет сделать заключение о возможности надежного обнаружения отклонений выходных переменных и определения параметра состояния и вида возмущений технологической системы, которыми они вызваны.

2. Разработанная структура и алгоритм диагностики позволяет по динамике изменения выходных переменных устанавливать причины отклонений и давать рекомендации о необходимости проведения замены элемента системы или коррекции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новоселов Ю. К. Диагностика операций чистового шлифования по динамике изменения выходных переменных и параметров состояния технологической системы / Ю. К. Новоселов, Э. Э. Ягьяев, Н. Р. Кириенко // Вестник СевНТУ : сборник научных трудов. – Севастополь, 2010. – Вып. 107. – С. 170–173.
2. Ягьяев Э. Э. Повышение точности чистового шлифования на основе диагностики и управления состояния технической системы / Э. Э. Ягьяев, Ю. К. Новоселов, Л. Б. Шрон // Материалы международной научно-технической конференции «Стратегия качества в промышленности и образовании». – Варна, 2009. – Том 1. – С. 317–319.

УДК 621

Туренко А. Н., Савченков Б. В.,
Гулевский В. Б., Бороденко Л. Ю.

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ НА КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТЕЙ ВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ

В роботі запропоновано підвищення ефективності абразивної обробки відновлюваних деталей автомобілів вдосконаленням очищення МОР.

Ключові слова: *МОР, відновлення, обробка, деталь.*

В работе предложено повышение эффективности абразивной обработки восстанавливаемых деталей автомобилей совершенствованием очистки СОЖ.

Ключевые слова: *СОЖ, восстановление, обработка, деталь.*

Increase of abrasive treatment efficiency of automobiles refurbish able details by perfection of lubricant-cooling liquid cleaning is offered.

Key words: *LCF, recovery, treatment, detail.*

Постановка проблемы. В ремонтном производстве встречаются практически все виды механической обработки резанием (шлифование, хонингование, полирование и т. д.), применяемые на машиностроительных заводах. Эффективность процесса механической обработки деталей, интенсивность изнашивания режущего инструмента, качество обработанной поверхности и другие характеристики, сопровождающие процесс резания, зависят от свойств внешней среды, в которой происходит резание. В качестве внешней среды, благотворно влияющей на процесс резания и изнашивания режущего инструмента, используют различные смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ). Роль смазочно-охлаждающих жидкостей в современных процессах восстановления деталей средств транспорта столь велика, что их называют «жидким инструментом». СОЖ предназначена для смазки поверхности трения, охлаждения режущего инструмента и обрабатываемой детали, облегчения процессов деформирования металла, своевременного удаления из зоны обработки стружки и продуктов износа инструментов, а также для кратковременной защиты изделий и оборудования от коррозии [1]. При этом одним из главных показателей качества самой СОЖ является степень чистоты по отношению к разного рода примесям. Поэтому возникает острая необходимость осуществления качественной очистки или доочистки СОЖ, в частности на различных этапах ремонта деталей средств транспорта. Это в достаточной степени позволит повысить эффективность абразивной обработки восстанавливаемых деталей транспортной техники.

Анализ литературы. В настоящее время, большая часть оборудования для абразивной обработки при ремонте деталей средств транспорта укомплектована магнитными очистителями СОЖ, снабженными постоянными магнитами или электромагнитами, которые, как показала практика, работают неэффективно, так как требуют дополнительных затрат в процессе очистки СОЖ при обработке деталей, а так же конструктивно несовершенны.

При этом значительная часть энергозатрат в процессе ремонта деталей транспортных средств связана с необходимостью обеспечить нужное качество смазочных, технологических и гидравлических жидкостей. Одним из источников снижения этих затрат является очистка и регенерация СОЖ, которая проводится в процессе эксплуатации СОЖ, пока ресурс работоспособности ее окончательно не исчерпан.

Проведенными ранее исследованиями установлено, что механические загрязнения при обработке деталей резанием состоят преимущественно из мелкой металлической стружки размером 5–150 мкм, частиц абразива и связки круга размерами 20–250 мкм, причем на долю металлических частиц приходится 80–98% от всей массы шлама [2], что позволяет рекомендовать магнитные очистители СОЖ.

Основное преимущество применения магнитной очистки состоит в отказе от использования громоздких сооружений для обеспечения чистоты СОЖ.

Многолетний опыт эксплуатации автотранспортной техники отечественного и зарубежного производства деталей показал широкое применение деталей изготовленных, как из стали, так и из высокопрочного чугуна. Например, коленчатые валы автомобильных двигателей моделей ЯМЗ, ЗИЛ изготавливаются из сталей 50 и 45 соответственно, а ЗМЗ из чугуна. Применение новых технологий литья позволяет применение коленчатых валов (в частности для автомобиля КамАЗ) из высокопрочного чугуна [3].

Цель статьи – повысить эффективность абразивной обработки восстанавливаемых деталей автомобилей совершенствованием очистки СОЖ.

Изложение основного материала. Исходя из вышеизложенного, для изучения влияния СОЖ на качество шлифованной поверхности восстановленных деталей средств транспорта исследовались коленчатые валы из стали 45 и из высокопрочного чугуна ВЧ50.

Оценку эффективности абразивной обработки определяли по следующим основным критериям: стойкость шлифовального круга $T_{кр}$, (мин.) и уровень шероховатости восстановленной поверхности, параметр R_a, (мкм). Образцы обрабатывались на круглошлифовальном станке модели 3А151. При этом использовались шлифовальные круги 24А40С1К5 и 24А40СМ2К, рекомендованные для шлифования стальных и чугунных деталей. Требуемая величина параметра шероховатости поверхности детали составляла R_a = 0,63–0,32 мкм. Рабочая скорость круга установлена $v_{кр}$ = 35 м/с; скорость вращения детали $v_д$ = 25,0 м/мин., глубина резания $t_р$ находилась в диапазоне 0,001–0,006 мм. В качестве СОЖ использовали 2%-ную эмульсию Укринол-1, расход которой составлял 10–12 л/мин. Качество шлифованной поверхности и оценка состояния поверхности круга производилась визуально с помощью микроскопа МИМ-6, оснащенного цифровой камерой.

В результате проведенного эксперимента установлено, что при обработке коленчатых валов с загрязненной СОЖ шлам, состоящий из стружки, металлической окалины и осколков

шлифовального круга, вместе с СОЖ попадает в зону шлифования и вступает в контакт с абразивными зернами, связкой и рельефом поверхности шлифуемой детали. При этом происходит снижение стойкости шлифовального круга (см. рис. 1), искажение исходной (правильной) геометрической формы шлифовального круга, что, в свою очередь, интенсифицирует вибрации технологической системы и приводит к увеличению погрешностей формы детали.

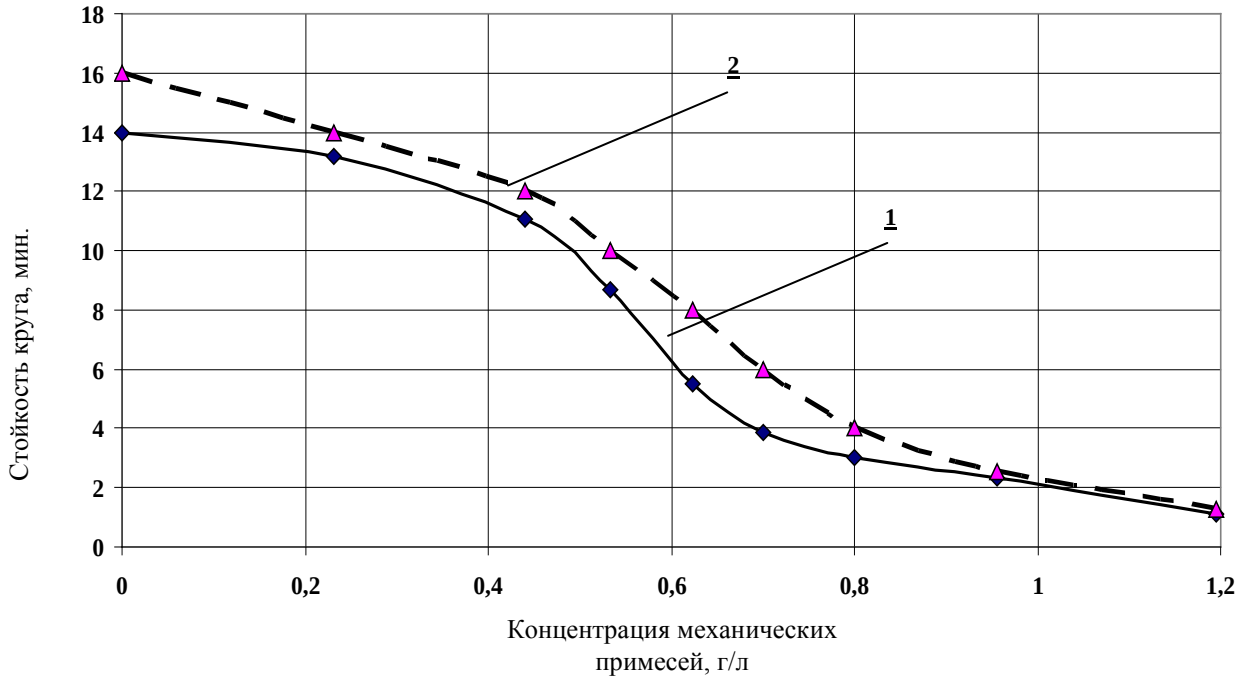


Рис. 1. Влияние концентрации механических примесей в СОЖ на стойкость шлифовального круга: 1) сталь 45; 2) высокопрочный чугун ВЧ 50.

В зависимости от концентрации и размеров частиц механических примесей в СОЖ на обрабатываемых поверхностях деталей появляются такие дефекты, как царапины (рис. 2), что приводит к повышению параметра шероховатости поверхности деталей (рис. 3). Постепенное увеличение параметра шероховатости объясняется возрастанием вероятности попадания в зону контакта крупных частиц металла и абразива в связи с увеличением их количества.

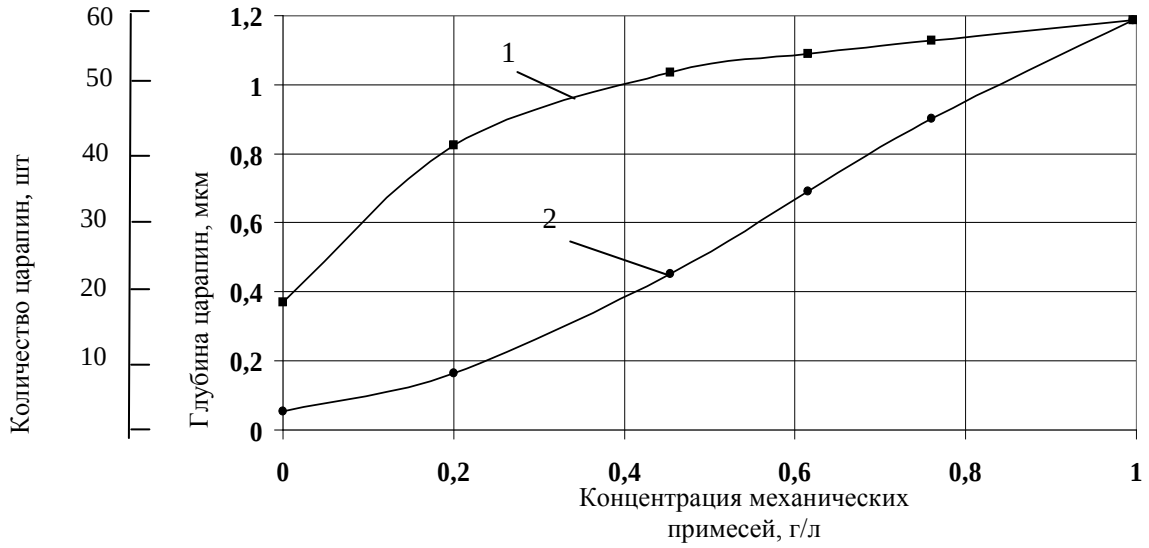


Рис. 2. Влияние концентрации механических примесей в СОЖ на глубину (1) и количество царапин (2) на поверхности деталей.

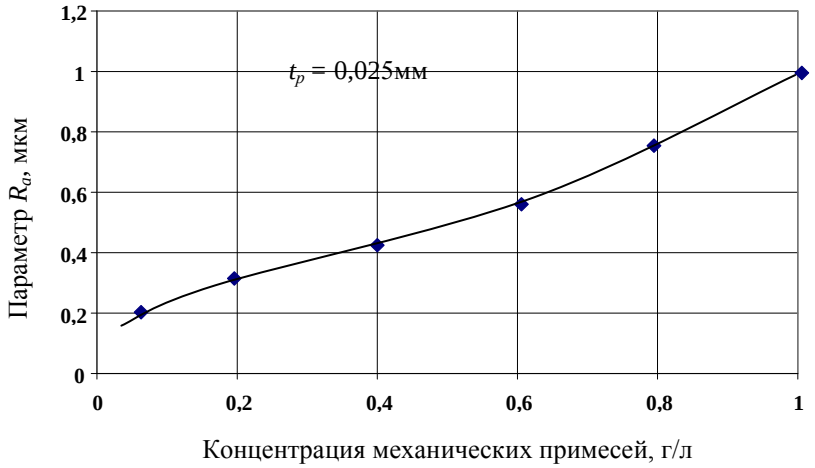


Рис. 3. Влияние концентрации механических примесей в СОЖ на шероховатость поверхности деталей.

Из полученных результатов следует, что снижение износа шлифовальных зерен круга при абразивной обработке вследствие очистки СОЖ от механических примесей приводит к уменьшению до 35% параметра шероховатости поверхности детали. При этом почти в 2 раза снижается скорость ее изнашивания, что является одной из характеристик качества восстановления деталей автомобилей.

Для установления наиболее значимых элементов режима резания при обработке цилиндрических наружных поверхностей деталей, (шеек распределительных валов, коленчатых валов и др.) влияющих на концентрацию механических примесей в СОЖ, определяем по формуле (1):

$$\tau_{маш} = \frac{l_{х\ ст} \times h_{пр}}{1000 \times s_{пр} \times t_р} \times k_ш, \qquad (1)$$

где $\tau_{маш}$ – время на технологическую операцию обработки детали, мин;
$l_{х\ ст}$ – величина хода стола, мм;
$h_{пр}$ – величина припуска на сторону, мм;
$k_ш$ – коэффициент, учитывающий выхаживание, $k_ш$ = 1,1 – при предварительном шлифовании, $k_ш$ = 1,4 – при чистовом шлифовании.

Для теоретического определения объема снятого материала m_m за период обработки детали используем следующую зависимость:

$$m_m = \frac{\pi \times l_д}{4} \times (D_д^2 - D_н^2) \times \rho_м, \qquad (2)$$

где $\rho_м$ – плотность материала детали, кг/м^3;
$l_д$ – длина детали мм;
$D_д$ и $D_н$ – действительный и номинальный размер детали, мм;
$t_р$ – глубина резания, мм.

Так как количество двойных ходов стола $n_{дв\ х}$ равно:

$$n_{дв\ х} = \frac{h_{пр}}{t_р}, \qquad (3)$$

а разность между действительным и номинальным размерами детали равно $2h_{пр}$, тогда

$$m_n = \frac{\pi \times l_д}{4} \times \rho_м \times \times \left[t_р \times n_{дв.х} \times \left(2D - 2t_р \times n_{дв.х}\right)\right] \qquad (4)$$

Это указывает на то, что наиболее значимым элементом режима резания при шлифовании, влияющим на объем снятого металла, является глубина резания $t_р$.

Ориентировочно количество подаваемой жидкости $Q_ж$ зависит от ширины шлифовального круга: на каждые 10 мм ширины круга расходуют примерно 10–30 л/мин. жидкости.

Для оценки влияния на производительность процесса шлифования восстанавливаемых деталей изменений параметров режима резания определяли объем снятого металла за одну минуту обработки $\tau_{маш}$ детали. Например, для наплавленных шеек коленчатых валов автомобильного двигателя ЗИЛ (толщина наплавленного слоя – 1,6–2,0 мм) в сравнении с обработкой изготовленного коленчатого вала из поковки с последующей объемной штамповкой в закрытых штампах (величина припуска – 0,2–0,3 мм) и восстановленного коленчатого вала металлизацией напылением (величина припуска – 0,4–0,6 мм). В качестве СОЖ принимаем 3%-ную эмульсию Укринол-1. Расчеты проводились на ПЭВМ в Microsoft Office Excel.

Установлено, что в той или иной мере каждый элемент режима резания при шлифовании приводит к изменению объема снятого материала. Однако глубина резания, основной элемент режима обработки, а также способ наращивания поверхности детали с последующей абразивной обработкой оказывают влияние на концентрацию механических примесей в СОЖ (рис. 4, 5).

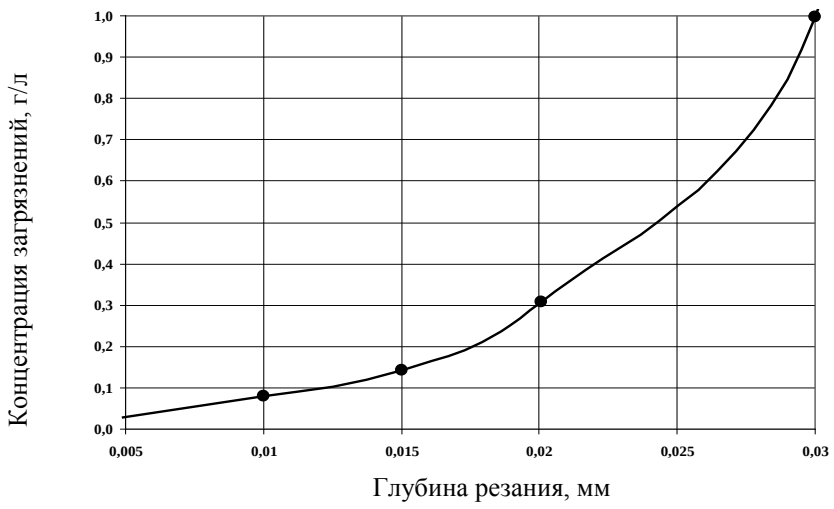


Рис. 4. Зависимость концентрации примесей в СОЖ от глубины резания.

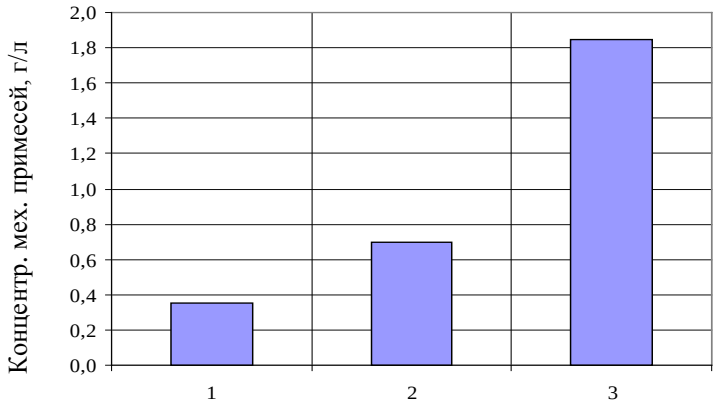


Рис. 5. Распределение загрязненности СОЖ: 1 – штамповка; 2 – восстановленная металлизацией; 3 – восстановленная наплавкой.

При решении задачи по оценке эффективности абразивной обработки восстановленных деталей для прогнозирования повышения качества деталей средств транспорта, использовалась зависимость, предложенная в работе [4] и разработанная на основании формирования параметра шероховатости поверхности от величины износа абразивного зерна. Предложенная математическая модель позволяет определять сочетания технологических факторов, обеспечивающих достижение заданных характеристик качества восстанавливаемой базовой поверхности.

Прогнозирование формирования параметра шероховатости R_a поверхности выполнялось для шеек коленчатого вала автомобильного двигателя ЗИЛ, обработанных шлифовальным кругом 24А40С1К5, v_k = 35 м/с, $v_д$ = 15 м/мин.

На рис. 6 представлена зависимость параметра шероховатости R_a от величины износа абразивного зерна шлифовального круга.

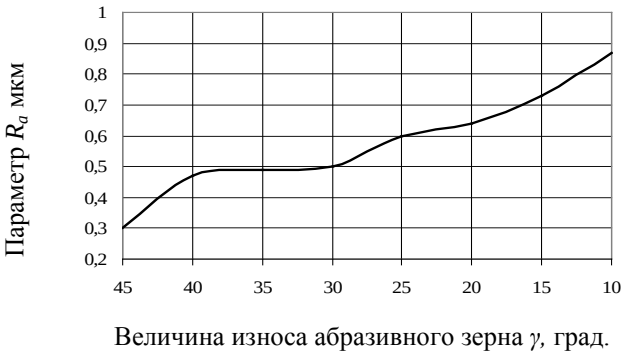


Рис. 6. Зависимость параметра шероховатости R_a от величины износа абразивного зерна шлифовального круга.

Следовательно, во избежание влияния загрязненности СОЖ на снижение износа шлифовальных зерен круга при абразивной обработке, а также для получения требуемого параметра поверхности восстановленных деталей, необходимо тщательно очищать СОЖ, особенно от металлической составляющей загрязнителя.

Выводы.

1. На качество поверхности детали при абразивной обработке значительное влияние оказывает чистота СОЖ. Однако при шлифовании восстановленного вала наплавкой или металлизацией напылением значение показателя чистоты СОЖ ухудшается в 2–3 раза в сравнении с механической обработкой заготовки вала.

2. Установлено, что снижение износа зерен шлифовального круга при абразивной обработке восстанавливаемых деталей вследствие очистки СОЖ от механических примесей приводит к уменьшению до 35% параметра шероховатости детали. При этом почти в 2 раза снижается скорость её изнашивания, что является одной из характеристик качества восстановления деталей автомобилей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Латышев В. Н. Повышение эффективности СОЖ / В. Н. Латышев. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М. : Машиностроение, 1985. – 64 с.
2. Костюк В. И. Очистка СОЖ на машиностроительных предприятиях / В. И. Костюк. – К. : Техника, 1990. – 436 с.
3. Шинский О. И. Технологический процесс получения литых заготовок коленвалов автомобилей КАМАЗ по газифицируемым моделям с кристаллизацией металла под давлением / О. И. Шинский, Н. И. Бех, И. О. Шинский // Металл и литье Украины. – 1994. – № 11–12. – С. 16–19.
4. Дитиненко С. О. Підвищення ефективності технології фінішної обробки циліндричних поверхонь твердосплавних виробів : автореф. дис. на здобуття наук. ступ. канд. тех. наук : спец. 05.02.08 / С. О. Дитиненко ; НТУ «ХПІ». – Харків : 2005. – 26 с.

УДК 621.85.058.2(088.8)

Хабрат Н. И., Умеров Э. Д.

ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ САМОНАТЯЖНОЙ НЕРЕВЕРСИВНОЙ КЛИНОРЕМЕННОЙ ПЕРЕДАЧИ

З урахуванням умови рівноваги моментів сил щодо осі хитання ведучого шківа, закономірностей розподілів натягів в гілках передачі і з використанням нормативних довідкових матеріалів несучої здатності передачі розроблена послідовність розрахунку ексцентриситету осі хитання ведучого шківа горизонтальної самонатяжної нереверсивної пасової передачі.

Ключові слова: *самонатяжний пасовий привід, автоматичне натягнення пасів, передача типу Sespa.*

С учетом условия равновесия моментов сил относительно оси качания ведущего шкива, закономерностей распределений натяжений в ветвях передачи и с использованием нормативных справочных материалов несущей способности передачи разработана последовательность расчета эксцентриситета оси качания ведущего шкива горизонтальной самонатяжной нереверсивной клиноременной передачи.

Ключевые слова: *самонатяжной ременной привод, автоматическое натяжение ремней, передача типа Sespa.*

In view of a condition of balance of the moments of forces concerning an axis oscillation a leading pulley, laws of distributions of tension in branches of transfer and with use of normative help materials of bearing ability of transfer, the sequence of calculation eccentricity axes oscillation a conducting pulley horizontal self-tension irreversible belt transfers is developed.

Key words: *a self-tension belt drive, an automatic tension of belts, transfer such as Sespa.*

Постановка проблемы. В приводах машин практически всех видов производств широкое применение получил клиноременный привод [1]. Это обусловлено его простотой конструктивного исполнения, возможностью передавать нагрузку на значительные расстояния, в ряде случаев предохранять рабочие органы машин от перегрузок за счет пробуксовки ремня [2] и во многих других случаях.

Наряду с отмеченными выше достоинствами клиноременного привода существенным его недостатком является необходимость в процессе эксплуатации контролировать и постоянно восстанавливать установленное расчетом начальное натяжение гибкой связи. Экспериментально установлено, что при снижении начального натяжения ремней происходит повышенное их проскальзывание, приводящее к перегреву и значи-

тельному сокращению срока службы [3]. Создание избыточного начального натяжения ремней приводит также к снижению их срока службы. Установлено, что увеличение суммарных напряжений в ремне всего лишь на 4% приводит к снижению долговечности приводных ремней на 25–56% в зависимости от их конструкции [4]. Натяжение приводным ремням в известных конструкциях создается либо различными видами натяжных устройств [1], либо автоматически за счет реактивного момента, например, приводного электродвигателя, либо элементами, воспринимающими нагрузку от ведомого шкива. Передачи, в которых натяжение приводному ремню создается за счет реактивного момента, получили название самонатяжных. Эти передачи широко известны по материалам научной литературы и по патентным источникам (этих конструкций известно более 40). Использование этих передач освобождает эксплуатационников от постоянного контроля за натяжением приводных ремней, в которых при передаче любой по величине нагрузки гибкой связью автоматически создается оптимальное натяжение при правильно выбранных ее конструктивных параметрах. Несмотря на такие положительные качества данных конструкций, эти ременные привода не получили применение в приводах машин из-за отсутствия в справочной литературе основных параметров.

Анализ источников информации. В работах [5; 6 и др.] графически отображаются натяжения в ветвях самонатяжной ременной передачи при передаче различных нагрузок. Однако эти работы не дают необходимой информации для создания конструкций самонатяжной клиноременной передачи.

В работе [7] достаточно глубоко в аналитическом плане рассматриваются такие передачи с учетом коэффициента трения ремня по шкиву при передаче нагрузки. Однако известен и тот факт, что в связи с весьма высокой сложностью процесса передачи нагрузки от ведущего шкива на ремень и далее от ремня на ведомый шкив [8] расчет клиноременной передачи ведется по нормативным таблицам [9], учитывающим основные параметры передачи, частоту вращения шкивов, режим работы и др.

В работе [10] экспериментально определен основной параметр самонатяжной передачи с качающимся закреплением приводного электродвигателя, т. е. величина эксцентриситета оси качания ведущего шкива для горизонтальной передачи. Оптимальная величина этого параметра получена путем наложения типовой кривой скольжения обычной передачи на кривые скольжения самонатяжной передачи при различных величинах эксцентриситета оси качания ведущего шкива. Полученный результат имеет единичный характер и не может быть всеобщим для выполнения других самонатяжных клиноременных передач с иными диаметрами шкивов, частотами их вращения, различными сечениями ремня и др.

Цель работы – разработка последовательности расчета определения величины эксцентриситета оси качания ведущего шкива горизонтальной самонатяжной клиноременной передачи с учетом нормативных рекомендаций [9].

Изложение основного материала. На рис. 1 представлена горизонтальная самонатяжная клиноременная передача с качающимся закреплением оси ведущего шкива.

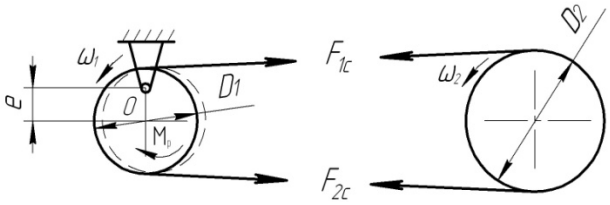


Рис. 1. Схема самонатяжной клиноременной передачи.

Составив уравнение равновесия моментов сил относительно оси качания ведущего шкива, имеем:

$$\sum M_0 = F_{1c}(0{,}5D_1 - e) - F_{2c}(0{,}5D_1 + e) = 0, \quad (1)$$

где F_{1c} и F_{2c} – натяжение ремня, соответственно в ведущей и ведомой ветвях при передаче окружного усилия F_{ti};

e – величина эксцентриситета оси качания ведущего шкива с расчетным диаметром D_1.

Преобразуем уравнение (1) к виду:

$$\frac{F_{1c}}{F_{2c}} = \frac{0{,}5D_1 + e}{0{,}5D_1 - e} \quad (2)$$

Заменив в уравнении (2) $\frac{F_{1c}}{F_{2c}} = m$ и $\frac{e}{0{,}5D_1} = \psi$ и решив его относительно ψ, получим:

$$\psi = \frac{m-1}{m+1} \quad (3)$$

На рис. 2 лучами прямых 1 отражаются зависимости изменения натяжений в ветвях обычной клиноременной передачи с плавающим закреплением осей шкивов при передаче ею различных окружных усилий F_{ti} и начальном натяжении ремней F_0 по источникам информации [5; 6]. На том же графике лучами 2 отображаются натяжения в ведущей F_{1c} и ведомой F_{2c} ветвях самонатяжной передачи.

При передаче оптимального окружного усилия F_{to} натяжение в ветвях обычной и самонатяжной передачах передачи составят:

ведущей $F_1 = F_{1c} = F_0 + 0{,}5\,F_{to}$, (4)

ведомой $F_2 = F_{2c} = F_0 - 0{,}5\,F_{to}$. (5)

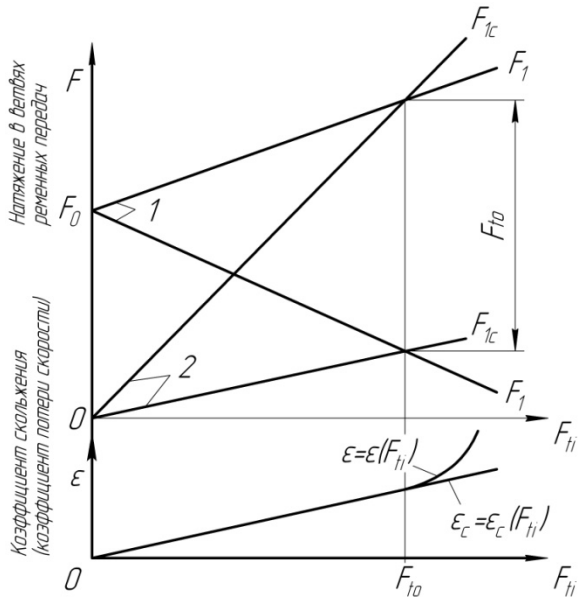


Рис. 2. Зависимости распределения натяжений в ветвях и коэффициенты скольжения самонатяжной и обычной ременной передач от передаваемой окружной силы F_{ti}.

Определим параметры, входящие в уравнения (4) и (5). Исходя из рекомендаций [9], определим величину начального натяжения F_0 приводного ремня при передаче номинальной мощности $P_{ном}$ и плавающем закреплении оси одного из шкивов по зависимости:

$$F_0 = 500\frac{(2{,}5 - C_\alpha)P_{ном}C_р}{C_\alpha VK}, \qquad (6)$$

где C_α – коэффициент угла обхвата, определяемый по материалам [9];

$C_р$ – коэффициент динамичности и режима работы передачи, определяемый по материалам [9];

V – скорость ремня;

K – количество ремней в передаче, определяемое по материалам [9]:

$$K = \frac{P_{ном}C_р}{P_0 C_\alpha C_L C_к}, \qquad (7)$$

где P_0 – номинальная мощность, передаваемая одним ремнем определенного сечения при стандартных условиях [9];

C_L – коэффициент, учитывающий длину ремня;

$C_к$ – коэффициент, учитывающий количество ремней в передаче, определяемый по материалам [9].

Расчетное оптимальное передаваемое окружное усилие одним ремнем:

$$F_{to} = \frac{F_{ном}}{KV}. \qquad (8)$$

Используя зависимости (4), (5) и (6), находим параметр m, представляющий собой отношение натяжений в ветвях самонатяжной и обычной передачи при передаче окружного усилия F_{to}, а по зависимости (3) параметр относительного эксцентриситета оси качания ведущего шкива самонатяжной передачи.

Рассмотрим на примере расчет по определению величины относительного эксцентриситета оси качания для горизонтальной самонатяжной клиноременной одноручьевой передачи с ремнем сечения А, диаметрах шкивов $D_1 = D_2 = 125$ мм и их частотой вращения $n = 950$ мин$^{-1}$. По справочным материалам [9] находим для этой передачи $P_{ном} = P_0 = 1{,}37$ кВт, $C_\alpha = 1$, $K = 1$, $C_p = 1$ (при спокойной нагрузке) и окружной скорости:

$$V = \frac{\pi D_1 n_1}{60000} = \frac{3{,}14 \times 125 \times 950}{60000} = 6{,}28 \text{ м/с}.$$

Начальное натяжение F_0 приводного ремня для обычной передачи при плавающем закреплении одной из осей шкивов определяем по зависимости (6):

$$F_0 = \frac{500\,(2{,}5 - 1) \times 1{,}37 \times 1}{1 \times 6{,}28 \times 1} = 163{,}6 \text{ Н}.$$

Передаваемое окружное усилие F_t по зависимости (8):

$$F_{t0} = \frac{1370}{1 \times 6{,}28} = 218{,}2 \text{ Н}.$$

Усилие в ветвях ременной передачи при оптимальной передаваемой нагрузке по зависимостям (4) и (5):

$F_1 = 163{,}6 + 0{,}5 \times 218{,}2 = 272{,}7$ Н,

$F_2 = 163{,}6 - 0{,}5 \times 218{,}2 = 54{,}5$ Н.

Величина параметра $m = 272{,}7/54{,}5 = 5{,}00$.

Относительная величина эксцентриситета ψ оси качания шкива по зависимости (3):

$\psi = (5 - 1)/(5 + 1) = 0{,}667$.

Абсолютная величина эксцентриситета оси качания шкива по зависимости (2):

$e = 0{,}5 \cdot 125 \cdot 0{,}667 \approx 41{,}7$ мм.

Как было отмечено выше, в работе [10] была определена экспериментально величина от-

носительного эксцентриситета оси качания шкива горизонтальной самонатяжной клиноременной передачи с ремнем сечения А при диаметрах шкивов $D_1 = D_2 = 125$ мм, частотой вращения $n_1 = 980$ мин$^{-1}$ и передаваемой мощности $P_0 = 1{,}18$ кВт. При этом относительная величина эксцентриситета оси качания шкива находилась в пределах $\psi = 0{,}64\ldots0{,}72$. Эта ранее проведенная экспериментальная работа подтвердила настоящую аналитическую разработку.

Отметим также, что в результате обобщения различных способов создания начального натяжения приводным клиновым ремням при различных расчетных диаметрах шкивов установлено, что параметр m находится в диапазоне от 3 до 9 [11] по результатам исследований отечественных ученых [12; 13]. В нормативных документах [9] в угоду ISO параметр m при любых величинах диаметров шкивов передач принят равным пяти. Такой подход приводит к созданию избыточного начального натяжения ремням, что, как отмечалось выше, приводит к снижению долговечности приводных ремней. По нашему мнению, расчет начального натяжения приводным клиновым ремням следует проводить по допускаемым при этом нагрузкам с учетом диаметральных размеров шкивов, как это приведено в работе [13; 14].

При монтаже описанной выше самонатяжной передачи для обеспечения стабильного запуска привода рекомендуется приводной электродвигатель устанавливать на раме так, чтобы ось вращения ведущего шкива была бы смещена по горизонтали в сторону ведомого шкива.

Расчет величины эксцентриситета оси качания ведущего шкива самонатяжной клиноременной передачи, а также относительной величины ψ по коэффициенту трения, как отмечалось выше нами, проводить нецелесообразно, так как, например, при средней величине коэффициента трения $f = 0{,}32$ [13] и угле желоба шкивов 36° и диаметрах шкивов $D_1 = D_2$, величина параметра m составляет:

$$m = F_1/F_2 = e^{\frac{\alpha f}{\sin\varphi/2}} = 2{,}718^{\frac{3{,}14\times0{,}32}{\sin 36/2}} = 5{,}527 \text{ и}$$

$$\psi = (5{,}527 - 1)/(5{,}527 + 1) = 0{,}693.$$

При проведении эксперимента по тяговой способности самонатяжной клиноременной передачи при $\psi = 0{,}86$ [10] передача работает крайне неустойчиво, а при больших величинах ψ работа передачи становится невозможной.

Выводы.

1. Разработана последовательность расчета относительной величины эксцентриситета оси качания для ведущего шкива горизонтальной самонатяжной клиноременной передачи с использованием нормативных материалов для расчета обычных клиноременных передач.

2. Проведенные расчеты достаточно точно согласуются с ранее полученными экспериментальными данными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Машиностроение. Энциклопедия : в 40 т. – Т. IV-I. Детали машин. Конструкционная прочность. Трение, износ, смазка / под общей редакцией Д. Н. Решетова. – М. : Машиностроение, 1995. – 864 с.
2. Хабрат Н. И. К вопросу о предохранении рабочих органов машин от перегрузок путем пробуксовывания приводного ремня / Н.И. Хабрат // Повышение работоспособности деталей сельскохозяйственных машин : научные труды УСХА. – К. : УСХА, 1971. – С. 141–149.
3. Поляков В. С. Передаточные механизмы / В. С. Поляков, В. М. Кугушева // О нагреве приводных ремней при работе и влияние его на срок службы ремней. – М. : Машгиз, 1963. – С. 117–123.
4. Хабрат Н. И. О контроле натяжения приводных ремней сельскохозяйственных машин / Н. И. Хабрат // Повышение эффективности использования широкозахватных и скоростных машинно-тракторных агрегатов : научные труды УСХА. – К. : УСХА, 1977. – Вып. 141. – С. 40–45.
5. Ниберг Н. Я. Самонатяжные ременные передачи / Н. Я. Ниберг // Вестник машиностроения. – 1977. – № 7. – С. 38–42.
6. Ялпачик Г. С. Натяжение ветвей многошкивных клиноременных передач / Г. С. Ялпачик // Повышение работоспособности деталей сельскохозяйственных машин : научные труды УСХА. – К. : УСХА, 1971. – Вып. 51. – С. 67–84.
7. Светлицкий В. А. Передачи с гибкой связью / В. А. Светлицкий. – М. : Машиностроение, 1967. – 156 с.
8. Вирабов Р. В. Тяговые свойства фрикционных передач / Р. В. Вирабов. – М. : Машиностроение, 1982. – 263 с.
9. Ремни приводные клиновые нормальных сечений. Передаваемая мощность : ГОСТ 1284.3-96. – М. : Издательство стандартов, 1997. – 59 с. – (Межгосударственный стандарт).
10. Хабрат Н. И. Обоснование величин эксцентриситета оси качания шкива самонатяжной ременной передачи / Н. И. Хабрат // Детали машин. Республиканский научно-технический сборник. – К. : Техника, 1980. – Вып. 30. – С. 30–33.
11. Поляков В. С. О методиках расчета начального натяжения приводных клиновых ремней / В. С. Поляков, Н. И. Хабрат // Детали машин. Республиканский межведомственный научно-технический сборник. – К. : Техника, 1981. – Вып. 33. – С. 35–37.
12. Пронин Б. А. Бесступенчатые клиноременные и фрикционные передачи (вариаторы) / Б. А. Пронин, Г. А. Ревков. – М. : Машиностроение, 1967. – 404 с.
13. Детали машин. Расчет и конструирование : справочник в 3 т. – М. : Машиностроение, 1969. – Т. 3. – 472 с.
14. Справочник машиностроителя в 6 т. – М. : Маш-

гиз, 1956. – Т. 4. – 852 с.
УДК 621.86/87(075)

Хабрат Н. И., Менасанова С. Э.,
Эреджепов М. К., Абибуллаев Э. А.

РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОГРАНИЧИТЕЛЯ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ КРАНОВ

Приведені опис конструкції обмежувача вантажопідйомності для автомобільних кранів та послідовність розрахунку і проектування його основних параметрів.
Ключові слова: *вантажопідйомні крани, обмежувачі вантажопідйомності, покажчики нахилу стріли, вимірювачі вантажопідйомності.*

Приведены описание конструкции ограничителя грузоподъемности для автомобильных кранов и последовательность расчета и проектирования его основных параметров.
Ключевые слова: *грузоподъемные краны, ограничители грузоподъемности, указатели наклона стрелы, измерители грузоподъемности.*

Presented are the description of construction design of the load limiter for the automotive-type cranes and step-by-step procedure of calculating and designing its basic parameters.
Key words: *hoisting cranes, load limiter, hoisting weight limiter, lifting arm slope meter, hoisting capacity indicator.*

Постановка проблемы. Автомобильные грузоподъемные краны широко используются в производственных условиях при проведении различного рода строительных, монтажных, демонтажных и других видов работ. Эти краны устанавливаются на раму автомобиля, имеют все механизмы, присущие грузоподъемным кранам. Грузовая стрела их имеет возможность вертикального подъема относительно своей оси на одном из ее концов. При подъеме стрелы ее вылет изменяется, что позволяет при постоянстве опрокидывающего грузового момента увеличивать грузоподъемность крана.

Для обеспечения безопасной работоспособности автомобильных кранов нормативными документами [1] предусматривается установка на них средств, информирующих оператора крана о степени загруженности крана с учетом угла подъема стрелы.

Анализ литературы. На современных автомобильных кранах устанавливаются различные типы технических средств для контроля за режимами работы крана: визуальные и автоматические [2; 3].

Визуальные указатели угла подъема стрелы гравитационного типа устанавливаются на стреле крана в непосредственной близости от рабочего места оператора крана и показывают величину угла наклона грузовой стрелы и допустимую при этом величину грузоподъемности. Эти указатели отличаются весьма невысокой точностью определения указанных выше параметров.

Автоматические ограничители грузоподъемности механического типа предотвращают подъем грузов, превышающих допустимую грузоподъемность, и отличаются сложностью в конструктивном исполнении, невысокой точностью информативности и безопасности.

Целью работы является разработка конструкции и последовательности расчета и проектирования основных параметров ограничителя грузоподъемности автомобильного крана, обеспечивающего высокую точность информативности режимов работы крана.

Изложение основного материала. На рис. 1 представлена схема ограничителя грузоподъемности высокой точности информативности [4], устанавливаемого на грузовой стреле 1 автомобильного крана.

Гибкий орган 2 механизма подъема кинематически соединен одним концом с барабаном механизма подъема крана, другим – с цепью 3, находящейся в зацеплении со звездочкой 4. Другим концом цепь 3 соединена с динамометрической пружиной сжатия 5, находящейся в некотором предварительном сжатии между упорами 6 и 7.

Звездочка 4 устанавливается концентрично оси качания грузовой стрелы и жестко соединяется с грузовым кулачком 8, параллельно которому устанавливается кулачок 9 положения грузовой стрелы, жестко соединенный с нею. Кулачки 8 и 9 взаимодействуют соответственно с толкателями 10 и 11, установленными в контактной коробке. Толкатели 10 и 11 поджимаются к кулачкам 8 и 9 соответственно пружинами 12 и 13. На толкателе 11, регистрирующем положение угла наклона грузовой стрелы, расположен конечный выключатель 14, который срабатывает от толкателя 10, регистрирующего допускаемую величину грузоподъемности крана при любом из углов наклона грузовой стрелы.

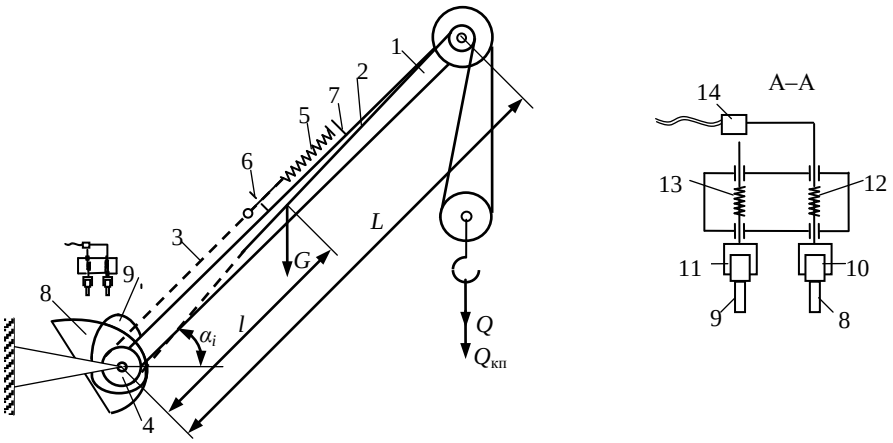


Рис. 1. Расчетная схема нагружения грузовой стрелы.

Работает ограничитель грузоподъемности описанной выше конструкции следующим образом. При любом текущем положении грузовой стрелы крана кулачок положения стрелы, воздействуя на толкатель, перемещает его вместе с конечным выключателем до установленной позиции. При нагружении грузовой стрелы крана грузом усилие от последней передается на гибкий орган и далее через цепь на динамометрическую пружину, приводя при этом в движение грузовой кулачок, воздействующий на соответствующий толкатель. При этом в случае превышения допустимой грузоподъемности для соответствующего положения грузовой стрелы толкатель грузового кулачка воздействует на конечный выключатель на толкателе положения грузовой стрелы, который подает соответствующий сигнал оператору крана, принимающего решение о дальнейшей безопасной работе крана.

Для определения основных размеров и параметров описанной выше конструкции ограничителя грузоподъемности необходимо иметь следующие исходные данные: усилия номинальной грузоподъемности Q и крюковой подвески $Q_{кп}$; максимальный вылет грузовой стрелы L при ее горизонтальном положении; силу тяжести грузовой стрелы G и координату l ее центра тяжести; углы подъема грузовой стрелы α и опускание β от горизонтального положения; кратность полиспаста m и его количественный состав a.

Последовательность расчета и проектирования:

1. Усилие F_1 в динамометрической пружине при горизонтальном положении грузовой стрелы крана и его номинальном усилии грузоподъемности Q:

$$F_1 = \frac{Q + Q_{кп}}{ma\eta}, \qquad (1)$$

где η – общий коэффициент полезного действия полиспаста, цепной передачи и потерь в обводном блоке.

2. Усилие F_n предварительного сжатия пружины между упорами 6 и 7, обеспечивающее минимальный габарит грузового кулачка:

$$F_n = 0{,}9F_1. \qquad (2)$$

3. Опрокидывающий момент $M_о$ грузовой стрелы с грузом при ее горизонтальном положении:

$$M_о = (Q + Q_{кп})L + Gl \qquad (3)$$

4. Максимальная величина силы тяжести Q_{max} при максимальном угле подъема α грузовой стрелы, используя уравнение (3):

$$Q_{max} = \frac{M_о}{L\cos\alpha} - Q_{кп} - G\frac{l}{L}. \qquad (4)$$

5. Максимальное рабочее усилие F_2 в динамометрической пружине при максимальном угле подъема α грузовой стрелы:

$$F_2 = \frac{(Q_{max} + Q_{кп})}{ma\eta}. \qquad (5)$$

6. Предельное расчетное усилие $F_{3р}$ сжатия динамометрической пружины:

$$F_{3р} = \frac{F_2}{0{,}8}. \qquad (6)$$

7. Выбор цепи к динамометрической пружине.

Рационально принимать цепь втулочно-роликовую или втулочную многорядную с минимальным шагом с тем, чтобы звездочка была минимальных размеров, а угол поворота грузового кулачка был бы значителен при сравнительно небольшой деформации динамометрической пружины. Цепь выбирается по разрывному усилию $F_{раз}$, задавшись коэффициентом запаса прочности n по рекомендациям [1]:

$$F_{раз} \geq F_2 n. \qquad (7)$$

По таблицам ГОСТ 13568-75 принимается цепь с шагом p, удовлетворяющая условию (7).

8. Выбор угла поворота звездочки.

Полный угол поворота звездочки принимается равным углу поворота грузового кулачка из конструктивных соображений $\alpha = (240 – 260)°$.

9. Определение параметров пружины.

Деформация динамометрической пружины λ определяется по зависимости:

$$\lambda = \frac{\alpha z p}{2\pi}, \qquad (8)$$

где α – задаваемый угол поворота грузового кулачка в радианах;

z – принятое число зубьев звездочки с шагом p.

10. Построение профиля грузового кулачка. В диапазоне изменения усилий в пружине от F_1 до $F_{\min}$ грузовой кулачок выполняется по дуге окружности с радиусом R_0 на углу α_0. Этой поверхностью кулачка автоматически обеспечивается номинальная грузоподъемность крана. Радиус окружности R_0 кулачка принимается конструктивно, а угол дуги окружности α_0 рассчитывается по зависимости:

$$\alpha_0 = \frac{F_{\min} - F_1}{z_n R_0}. \qquad (9).$$

На оставшейся рабочей части угла α_p грузового кулачка $\alpha_p = \alpha - \alpha_0$ его рабочая поверхность выполняется по кривой спирали Архимеда.

При этом максимальный радиус $R_{\max}$ рекомендуется принимать $R_{\max} = 2R_0$. Текущие величины радиуса R_i грузового кулачка в полярной системе координат определяются по зависимости:

$$R_i = \frac{(R_{\max} - R_0)\alpha_{pi}}{\alpha_p} + R_0. \qquad (10)$$

На рис. 2 представлен профиль грузового кулачка.

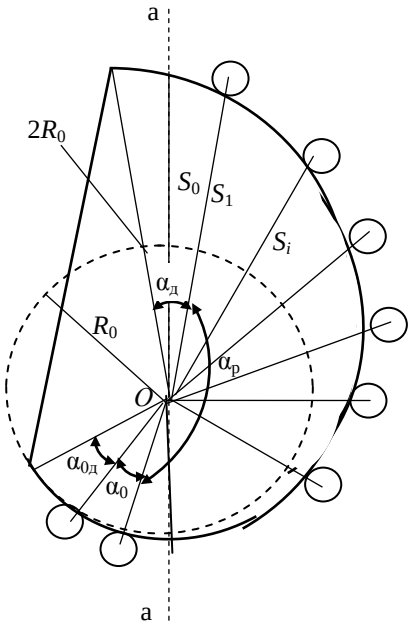


Рис. 2. Построение профиля грузового кулачка.

Для построения полного рабочего профиля грузового кулачка выбирается его центр вращения О, через который проводится вертикаль а–а. Радиусом R_0 прочерчивается дуга окружности, на которой отмечается угол α_0 и в его продолжение дополнительный угол $\alpha_{0д} = 10°$. Затем от вертикали а–а откладывается угол α_p, который делится лучами прямых на равные углы, например с шагом $\alpha_{pд} = 10°$. Определяется координата S_i положения оси ролика грузового толкателя:

$$S_i = R_i + R_р \qquad (11)$$

при текущих координатах α_{pi}, где $R_р$ – радиус ролика грузового толкателя. На лучах с координатами S_i проводятся окружности радиусом $R_р$.

Используя принцип обращения движения [5], вычерчивается вписанная огибающая кривая рабочего профиля грузового кулачка, которая плавно соединяется по концам с дугами окружностей с радиусами R_0 и $R_{\max.}$ Профиль кулачка с радиусом окружности $R_{\max.}$ выполняется на дуге окружности $\alpha_{pд} = (10–15)°$ и затем концы дуг с радиусами R_0 и $R_{\max}$ соединяются прямой линией.

11. Построение профиля кулачка положения грузовой стрелы грузового крана.

При подъеме грузовой стрелы от горизонтального положения до ее крайнего верхнего на угол α текущее значение усилия грузоподъемности $Q_{\alpha i}$ для текущих значений α_i при постоянстве опрокидывающего момента M_0 с учетом зависимости (4) составит:

$$Q_{\alpha i} = \frac{M_0}{L\cos\alpha_i} - Q_{кп} - \frac{Gl}{L}. \qquad (12)$$

Построение рабочего профиля кулачка положения грузовой стрелы представлено на рис. 3.

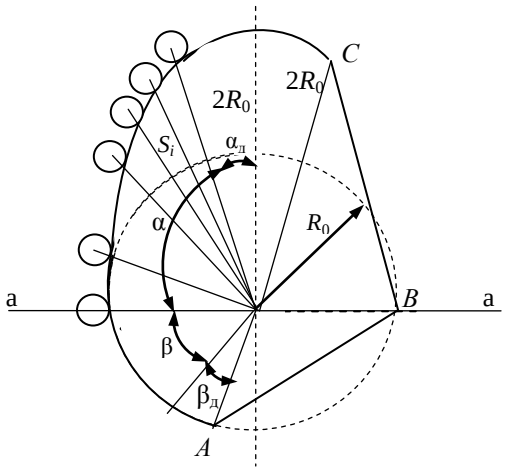


Рис. 3. Построение рабочего профиля кулачка положения грузовой стрелы.

Выбрав положение оси поворота кулачка грузовой стрелы O, проводим через нее горизонталь а–а. Минимальный радиус рабочей поверх-

ности кулачка R_0 принимается равным минимальному радиусу грузового кулачка, и этим радиусом описывается окружность с центром в точке *O*. От горизонтали а–а откладывается угол поворота грузовой стрелы α по направлению часовой стрелки, который лучами делится ориентировочно на 10–12 равных частей. На этих лучах откладываются от точки *O* отрезки длиной S_i, определяемые по зависимости:

$$S_i = R_0 + \Delta R_{\alpha i} + R_T, \qquad (13)$$

где $\Delta R_{\alpha i}$ – текущие приращения радиуса кулачка, определяемые по формуле:

$$\Delta R_{\alpha i} = R_0 \frac{Q_{\alpha i} - Q}{Q_{\max} - Q} = R_0 \frac{1 - \cos\alpha}{1 - \cos\alpha_i}, \qquad (14)$$

где R_T – радиус ролика толкателя положения грузовой стрелы.

Затем вычерчиваются окружности радиусом R_T на концах лучей S_i и к ним проводится касательная в виде вписанной огибающей кривой, которая является рабочей поверхностью кулачка положения грузовой стрелы при ее подъеме.

С целью исключения провала толкателя положения грузовой стрелы по кулачку, его рабочая поверхность удлиняется в виде дуги на (15–20)° с радиусом $2R_0$.

В сторону противоположную от вписанной огибающей кривой от горизонтали а–а, т. е. против движения часовой стрелки прочерчивается дуга радиусом окружности с центром в точке *O* на угол равный сумме углов поворота грузовой стрелы на опускание от горизонтального положения β и дополнительный угол β_∂ равный (15–20)°. Назначение этого угла такое же, как α_∂, – предотвращение провала толкателя положения грузовой стрелы. Затем концы дуг с радиусами R_0 и $2R_0$ соединяются между собой, например, посредством ломаной линии *ABC*.

В случае если угол подъема грузовой стрелы невелик и находится в диапазоне значительных изменений допускаемой грузоподъемности, возможно заклинивание толкателей положения грузовой стрелы в его опорах. Этого можно избежать путем введения передаточного механизма в виде, например, зубчатой передачи, кинематически связанной с грузовой осью грузовой стрелы и передаточным числом меньше единицы. Это позволяет увеличить угол поворота кулачка в положение грузовой стрелы до необходимой величины. При этом расчет и проектирование профиля рабочей поверхности ведется по описанной выше последовательности.

При монтаже ограничителя грузоподъемности на автомобильном кране его грузовая стрела устанавливается в горизонтальное положение, кулачки грузовой и положения грузовой стрелы устанавливаются соосно, а их радиусы *ON* и *OK* должны находиться в одной плоскости, проходящей через их оси вращения.

Вывод. Разработана конструкция, последовательность расчета и проектирования основных размеров и параметров ограничителя грузоподъемности для мобильного крана, позволяющая точно устанавливать допустимую грузоподъемность в зависимости от угла наклона грузовой стрелы с информацией об этом в виде звукового или светового сигнала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зайцев Л. В. Автомобильные краны / Л. В. Зайцев, М. Д. Полосин. – М. : Высшая школа, 2004. – 328 с.
2. Левицкий Н. И. Теория механизмов и машин / Н. И. Левицкий. – М. : Наука: Главная редакция физико-математической литературы, 1979. – 576 с.
3. Пат. № 32014 МПК B66C 23/90, Украина. Пружинный ограничитель грузоподъемности стрелового крана / Н. И. Хабрат, С. Э. Менасанова. – № u 200800623 ; заявл. 18.01.2008 ; опубл. 25.04.2008, Бюл. № 8. – 3 с.
4. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов. – Харьков : Форт, 2002. – 416 с.
5. Проектирование механических передач / [С. А. Чернавский, Г. М. Ицкович, В. А. Киселев и др.]. – М. : Машиностроение, 1976. – 608 с.
6. Федосеев В. Н. Приборы и устройства безопасности грузоподъемных машин : справочник / В. Н. Федосеев. – М. : Машиностроение, 1990. – 320 с.

УДК 624.014.25

Усеинов Б. К., Измаилова Г. М.,
Ниметулаева Г. Ш., Муратов М. А.

РАСЧЕТ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В КОНСТРУКЦИЯХ ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

У статті розглядаються питання визначення механічних характеристик титанового сплаву ОТ4 і розрахунок зварених з'єднань у конструкціях типу оболонок із цього ж сплаву.

Ключові слова: *зварене з'єднання, діаграма розтягання, апроксимація діаграми, поздовжній і поперечний шви, пружний-пластичний матеріал, оболонка, тонкостінна посудина, титановий сплав ОТ4.*

В статье рассматриваются вопросы определения механических характеристик титанового сплава ОТ4 и расчет сварных соединений в конструкциях типа оболочек из этого же сплава.

Ключевые слова: *сварное соединение, диаграмма растяжения, аппроксимация диаграммы, продольный и поперечный швы, упруго-пластический материал, оболочка, тонкостенный сосуд, титановый сплав ОТ4.*

Questions of the determination of the mechanical features of the titanium alloy are considered in article OT4 and calculation of the welded join in design of the type shell thereof alloy.

Key words: *welded join, diagram of the sprain, approximation diagrams, longitudinal and transverse seams, springy-plastic material, shell, thinwallary container, titanium alloy are considered in article OT4.*

Постановка проблемы. Титан и титановые сплавы широко применяются в современном машиностроении, так как обладают высокой прочностью, коррозионной стойкостью, хорошо свариваются. Однако изготовление сварных конструкций из них требуют серьезной защиты от азота, кислорода и водорода. Кроме того, сварные швы обладают высокой чувствительностью к термическому циклу сварки, что приводит к образованию крупнозернистой структуры в шве и зоне термического влияния, образованию хрупких фаз. Газонасыщение способствует замедленному разрушению сварного шва.

При подготовке кромок заготовки также возникают серьезные трудности. Поэтому важно сравнение механических свойств сварных швов титановых сплавов при использовании различных способов сварки и обработки кромок, свариваемых элементов.

Анализ публикаций. В [1] приведены сведения о процессе сварки титановых сплавов, способы и режимы сварки, обеспечивающие наиболее оптимальные параметры сварных соединений. В [2] приводятся сведения по аппроксимации экспериментальных кривых напряжения – деформации и на их основе оценке напряжений в сварном шве, обеспечению прочности тонкостенных сосудов. В [3] разработана технология лазерной сварки по кромкам, полученным лазерной резкой, результаты испытаний образцов с поперечным и продольным швом с использованием различных видов сварки.

Целью статьи является сравнительный анализ механических свойств поперечных и продольных сварных швов на примере тонколистового титанового сплава ОТ4 с использованием результатов для оценки прочности оболочечных конструкций, работающих под внутренним давлением.

Изложение основного материала. Методами сварки получают изделия разнообразной сложности с высокими эксплуатационными характеристиками.

Качество сварных соединений достигается рациональным конструированием, совершенствованием технологических процессов сборки и сварки, созданием новых технологичных приемов сварки, установлением рациональных форм соединений, совершенствованием методов их расчета на прочность.

В последние годы для изготовления особо ответственных конструкций нашли широкое применение титан и титановые сплавы, которые обладают высокой удельной прочностью, стойкостью к высоким температурам коррозии. Однако наряду с достоинствами они обладают и рядом существенных недостатков технологического характера, связанных с процессом сварки и в заготовительном производстве [1]. Большинство этих недостатков можно избежать, применяя лазерную резку и лазерную сварку с использованием инертных газов, при контроле качества и механических свойств, получаемого сварного шва.

В данной работе мы рассматриваем вопросы, касающиеся конструкционных материалов, прочности сварных соединений и их механических свойств. В частности, нами проведены испытания на растяжение образцов из тонколистовой конструкции с продольным и поперечным расположением швов. Материал образцов – сплав ОТ4, легированный незначительным, до 0,8% алюминия и марганца. Данный сплав относится к псевдо-α-титановым сплавам и применяется в химическом машиностроении, в летательных аппаратах, в судостроении, приборостроении и пр. Механические свойства этих материалов зависят от степени загрязнения газами и скорости охлаждения сварных швов с образованием мелкоигольчатой мартенситной структуры. Были соблюдены требования к качеству кромок свариваемых половинок в двух случаях: механической обработке кромок и газолазерной резке кромок.

Проведена сравнительная оценка механических свойств сварных соединений, полученных

автоматической аргонодуговой (ААрДС), плазменно-дуговой (ПДС) и лазерной (ЛС) сварками по газолазерному резу. Первые 2 вида сварки проводились по штатной технологии [2]. Лазерная сварка (ЛС) и газолазерная резка (ГЛР) производились быстропроточным газоразрядным CO_2 – лазером ЛСУ 5 с мощностью излучения 5 кВт с двухзеркальным внеосевым объективом Кассегрена с углом сходимости пучка излучения 6°. Сварка производилась в защитной газовой среде гелия [3]. Результаты испытаний приведены на рис. 1.

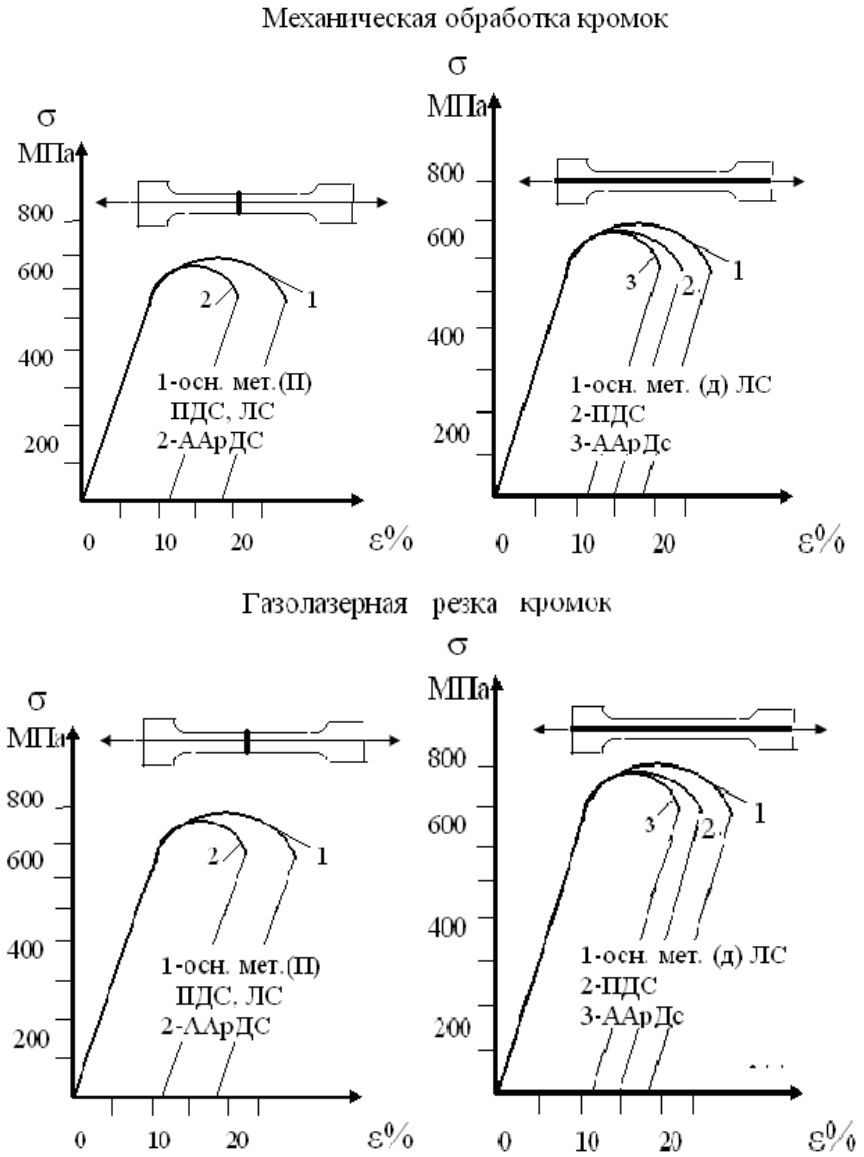
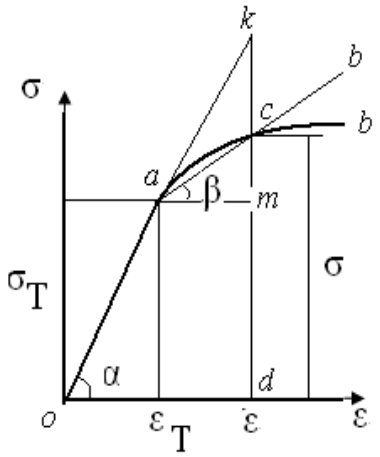


Рис. 1. Диаграммы растяжения образцов с поперечным и продольным швами.

Характер диаграмм растяжения показывает, что и материал, и сварные швы не имеют явно выраженной площадки текучести, и за начало пластических деформаций можно принять переходную точку прямолинейного участка диаграммы в криволинейную, а сам материал явно относится к упруго-пластическим. Диаграмма растяжения таких материалов аппроксимируется ломаной линией с двумя угловыми коэффициентами α и β в упругой и пластической стадии работы (рис. 2).



Точка перегиба *a* принимается за условный предел текучести. С позиций теории пластично-

сти для конструкций из рассматриваемых материалов можно ставить и решать две задачи:

1. Изучение всего процесса деформирования.
2. Определение несущей способности.

Рис. 2. Аппроксимация диаграммы упруго-пластического материала.

На участке диаграммы *oacb* ввиду роста напряжений деформации будут активными.

На экспериментальных диаграммах, представленных на рис. 1, активной деформации будут соответствовать восходящие участки диаграмм, и их описание будет соответствовать упруго-пластичному материалу. Нисходящие ветви будут соответствовать пассивной деформации в связи с уменьшением напряжений, и процесс будет плохо описуем, т. к. в конечном счете, это приводит к разрушению образца после неконтролируемого роста деформации. Описанное выше относится к качественной стороне проблемы. Количественная сторона приведена в работе [3] и дает возможность оценки прочности сварных швов в реальных конструкциях.

В качестве примера рассмотрим сварные швы тонкостенного сосуда, находящегося под внутренним давлением (рис. 3). Система напряжений в этих сосудах определяется безмоментной теорией оболочек, а сварные швы, соединяющие отдельные фрагменты оболочки соответствуют направлениям *m* и *t*. Они работают на растяжение, как образцы с поперечным и продольным швами и для их оценки можно применить результаты экспериментальных исследований, описанные выше.

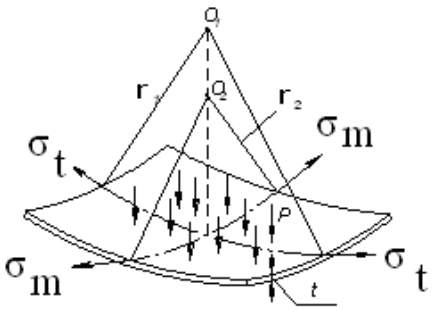


Рис. 3. Фрагмент безмоментной оболочки, находящейся под внутренним давлением *p*.

Поле напряжений в стенках тонкостенных сосудов обычно считается двухосным, с равномерным распределением по толщине.

Т. к. расчет ведется по безмоментной теории, и напряжения распределены по толщине равномерно, то, очевидно, что нормальные напряжения σ_t, σ_m и, будут главными напряжениями $\sigma_t = \sigma_1$, $\sigma_m = \sigma_2$, $\sigma_3 = p$, т. е. напряжение на внутренней поверхности будет равно внутреннему давлению *p*, а на наружной поверхности – будет равно нулю.

Согласно СНИП II-23-81 (Строительные нормы и правила) для тонкостенных сосудов величина внутреннего давления *p* на стенку сосуда не превышает 1–2% от величин σ_1 и σ_2, поэтому σ_3 можно считать равным нулю, а материал оболочки считать находящимся в плоском напряженном состоянии. При расчете на прочность пользуются IV теорией прочности, согласно которой условие прочности будет иметь вид:

$$\sigma_{экв} = \sqrt{\sigma^2{}_1 + \sigma^2{}_2 - \sigma_1\sigma_2} \le R, \qquad (1)$$

где *R* – расчетное сопротивление для материала сварного шва или материала сосуда.

Для цилиндрических сосудов радиус кривизны образующей цилиндра равен ∞, а радиус кривизны обечайки R_1, толщина стенки сосуда *t*, *p* – внутреннее давление, и соответственно напряжения будут:

$$\sigma_1 = \frac{pR_1}{t};\ \sigma_2 = \frac{pR_1}{2t}, \qquad (2)$$

т. е. окружное напряжение превышает осевое в 2 раза, иными словами поперечные сварные швы обечаек находятся в более напряженном состоянии, чем продольные швы.

Для сферического сосуда:

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \frac{pR_1}{2t}, \qquad (3)$$

где *p* – внутреннее давление в сосуде;
R_1 – радиус сферы.

Подставляя (2) и (3) в условие прочности (1) получим:

- для цилиндрической оболочки:

$$\sigma_{экв.} = \frac{\sqrt{3}}{2}\frac{pR_1}{t} \le R\cdot \qquad (4)$$

- для сферической оболочки:

$$\sigma_{экв.} = \sigma_1 = \frac{pR_1}{t} \le R. \qquad (5)$$

В [3] приводятся экспериментальные данные по механическим свойствам сварных соединений сплава ОТ 4, полученных различными видами сварки. Так для поперечного шва, полученного лазерной сваркой по фрезерованным кромкам, предел прочности составил $\sigma_в$ = 789 ±3 МПа, при относительной остаточной деформации 19,2 ± 0,7%, что не отличается от основного металла. Для продольного шва $\sigma_в$ = 796 ±7 МПа, что даже больше, чем в основном металле.

С учетом результатов испытаний предел текучести будет на 19,2% меньше и составит $\sigma_т$ = 637,5 МПа.

При проектировании резервуаров применяют метод расчета прочности по предельному состоянию, согласно которого расчетное сопротивление в сварном шве R_y определяют:

$$R_y = \sigma_т \frac{\gamma_c}{n}, \qquad (6)$$

где γ_c = 0,8 – коэффициент условий работы;
n – коэффициент перегрузки, принимаемый:
- 1,1 – для гидростатического давления жидкости;
- 1,2 – при учете избыточного давления газов и вакуума;
- 1,4 – при учете снеговой нагрузки.

Предельная прочность предполагает идеальную форму сосуда в отличие от реальной, имеющей отклонения от идеала. Поэтому реальная прочность сосуда ниже предельной. В расчетах это отличие учитывают назначением (нормированием) величины расчетного сопротивления R или увеличением коэффициента запаса.

Пример расчета. Баллон из титанового сплава ОТ4 находится под внутренним давлением. Диаметр баллона D = 30 см = 0,3 м. Толщина стенки баллона t =2 мм = 2×10^{-3} м. Определить давление газа, которое можно хранить в баллоне.

Для сплава ОТ4: $\sigma_т$ = 637,5 МПа. Согласно правил Госгортехнадзора [2], параметры баллонов подлежат проверке с таким расчетом, чтобы при гидростатическом испытании напряжения в его стенках не превышали 85% предела текучести, т. е. 542 МПа.

При гидростатическом испытании давление в баллоне доводят до $2p$, тогда на основании аормул (4) и (5), полагая R_y = 542 МПа, получим:
- для цилиндрического сосуда:

$$2p \le \frac{2t\times R_y}{R_1\sqrt{3}} = \frac{2\times10^{-3}\times542}{0{,}15\times\sqrt{3}} = 8{,}4\text{МПа};\ p=4{,}2\ \text{МПа}.$$

- для сферического сосуда:

$$p \le \frac{t\times R_y}{R_1} = \frac{2\times10^{-3}\times543}{0{,}15} = 7{,}2\text{МПа}.$$

Таким образом, сферический сосуд позволяет хранить газ под давлением в $\frac{7{,}2}{4{,}2}=1{,}7$ раза большим, чем в цилиндрическом сосуде из сплава ОТ4.

Выводы. Предлагаемое исследование позволяет оценить прочность сварных швов в конструкциях из титанового сплава ОТ4, выполненных лазерной сваркой, обеспечивающей равнопрочность с основным металлом.

На примере расчета цилиндрического и сферического сосудов показана методика определения безопасного давления в них; установлено, что сварной сферический сосуд из титанового сплава ОТ4 позволяет хранить газ под давлением в 1,7 раз большим, чем в цилиндрическом сосуде.

ЛИТЕРАТУРА

1. Моисеев В. Н. Сварные соединения титановых сплавов / В. Н. Моисеев, Ф. Р. Куликов, Ю. Г. Кириллов. – М. : Металлургия, 1979. – 248 с.
2. Усеинов Б. К. Сварные конструкции. Расчет и проектирование / Б. К. Усеинов. – Симферополь : Вперед, 2007. – 206 с.
3. Гаврилюк В. С. Лазерная сварка титанового сплава ОТ4 по лазерному резу / В. С. Гаврилюк, Г. М. Измаилова // Технология металлов. – 2005. – № 1. – С. 23–26.

УДК 621.83

Ветренко Д. В., Шебалков О. В.

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ПРОФІЛЮВАННЯ ФРЕЗ ЗА РАХУНОК ЗАМІНИ ТЕОРЕТИЧНО ТОЧНОГО СИНУСОЇДАЛЬНОГО ЧЕРВ'ЯКА ДУГАМИ КІЛ

Стаття висвітлює питання заміни теоретично точного синусоїдального черв'яка дугами кіл при проектуванні синусоїдальних черв'ячних фрез.

Ключові слова: *синусоїда, дуга кола, заміна, черв'як.*

Статья освещает вопросы замены теоретически точного синусоидального червяка дугами окружностей при проектировании синусоидальных червячных фрез.

Ключевые слова: *синусоида, дуга окружности, замена, червяк.*

Article takes up questions of replacement of theoretically exact sinusoidal worm arches of circles at designing of sinusoidal worm mills.

Key words: *a sinusoid, a circle arch, replacement, a worm.*

Постановка проблеми. Точність профілю зубчастого колеса характеризується максимальним значенням похибки на профілі його зуба і, як показав аналіз, при нарізанні коліс стандартними фрезами вона нерівномірна вздовж профілю зуба колеса. Для того щоб у голівки та ніжки профілю зуба колеса, що нарізується, вирівняти відхилення профілю від теоретично точного си-

нусоїдального профілю, а також для можливості виготовлення та контролю такого профілю пропонуються контури вихідного утворюючого контуру вибирати за різноманітними критеріями. У сучасної науці є багато підходів до цієї проблеми. Однак ці підходи відносяться до евольвентних зубчастих коліс. Для синусоїдальних коліс це питання не достатньо вивчено.

Аналіз літератури. В роботі [1] наводяться формули для розрахунку геометричних параметрів синусоїдальних зубчастих передач, однак не приведені розрахунки заміни теоретично точного синусоїдального черв'яка. В роботі [2] приведена уточнена методика розрахунку синусоїдального профілю зуба. У роботі [3] пропонується заміна теоретично точного евольвентного черв'яка прямими за критерієм мінімальної площі. Однак ця робота посвячена евольвентним зачепленням і не розглядує питання синусоїдальних зачеплень. У роботах українських дослідників Е. М. Благута, І. Є. Грицая [4; 5] – другий підхід до проблеми впровадження синусоїдальних передач та способу їх нарізання. В цих роботах наведена синусоїдальна зубчата передача, що містить зубчаті колеса з криволінійними боковими профілями зубів, яка відрізняється тим, що профіль зуба окреслений синусоїдою, віссю абсцис якої є коло певного радіуса, причому в зчепленні бере участь не вся синусоїда, а тільки нижня частина її верхньої (додатної) вітки, і тільки на цій частині синусоїда збігається з евольвентою. Однак у приведених роботах не розглядаються питання виготовлення синусоїдальних зубчастих коліс зуборізними черв'ячними фрезами. У підручнику [6] відображений спосіб заміни теоретичної кривої будь-якого профілю одній чи двома спряженими дугами кіл. Однак цій спосіб не враховує особливості синусоїдальних коліс.

Мета статті – надати подальший розвиток теорії синусоїдальних зубчастих передач в галузі підвищення точності профілювання синусоїдальних черв'ячних фрез за рахунок заміни теоретично точного синусоїдального черв'яка дугами кіл.

Викладення основного матеріалу. Для того щоб у голівки та ніжки профілю зуба колеса, що нарізується, вирівняти відхилення профілю від теоретично точного синусоїдального профілю, пропонується контур вихідного утворюючого контуру вибирати за критерієм мінімальної площі, обмеженої теоретично-точним черв'яком та його заміною.

Заміна теоретично точного синусоїдного черв'яка за критерієм мінімальної площі показана на рис. 1.

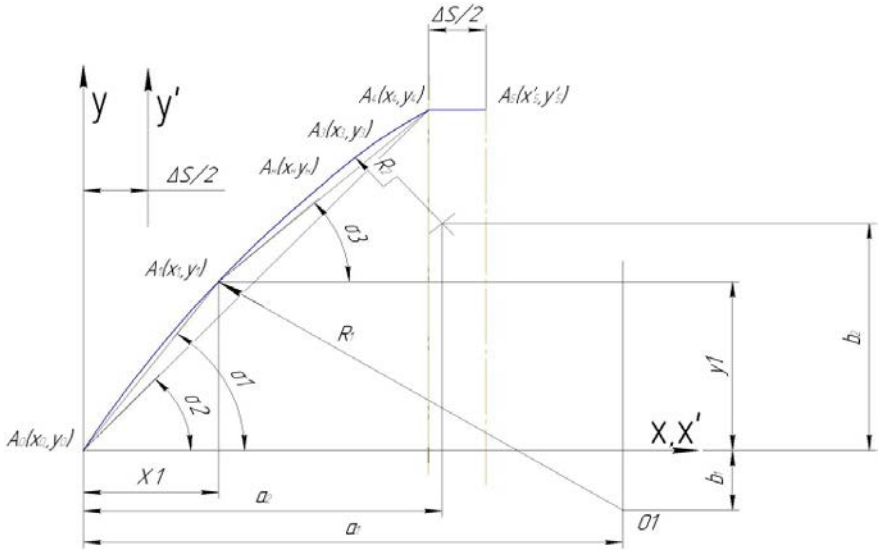


Рис. 1. Заміна теоретично точного синусоїдного черв'яка за критерієм мінімальної площі.

При такій заміні обов'язковою умовою є контакт профілів, що замінюються у точках $A_н$ початку та кінця контакту, та у точці A_0, котра є полюсом зачеплення. Тоді залежності розрахунків для синусоїдальних черв'яків будуть:

$$\begin{cases} S = \int\limits_{X_0}^{X_h} (r \times \sin(2\pi x / p_\Sigma) - \sqrt{R_1^2 - (x_1 - a_1)} + b_2)dx - \int\limits_{X_h}^{X_k} (r \times \sin(2\pi x / p_\Sigma) - \sqrt{R_1^2 - (x_2 - a_2)} + b_2)dx \\ \dfrac{\partial S}{\partial x_н} = 0 \quad \dfrac{\partial S}{\partial y_н} = 0 \\ \dfrac{\partial S}{\partial x_0} = 0 \quad \dfrac{\partial S}{\partial y_0} = 0 \end{cases}, \qquad (1)$$

де $x_н$, $y_н$ – координати точок контакту профілів; R_i – радіус кола, котрий заміняє синусоїдну твірну.

Розв'язок системи (1) отримуємо чисельним методом, так як дана система не має аналітичного розв'язку.

Розв'язок рівняння заміни теоретично точного синусоїдального черв'яка дугами окружностей. Розглянемо частку синусоїди $A_0A_1A_н$. Проведем хорду $A_0A_н$ (рис. 2).

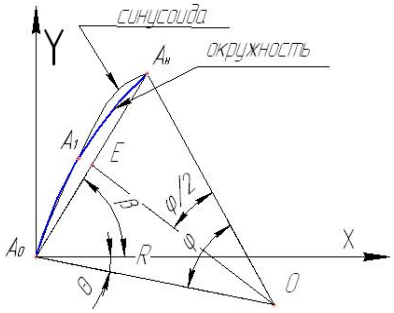


Рис. 2. Розв'язок рівняння заміни теоретично точного синусоїдного черв'яка.

Знаходимо площину $A_0A_1A_н$, тобто площину, котра утворюється хордою та синусоїдою:

$$S_{A_0A_1A_н \sin} = \int\limits_0^{x_н} r \sin(\frac{2\pi x}{p_{\sin}})dx . \qquad (2)$$

$$S_{A_0A_1A_н \text{ окр}} = \frac{R^2\varphi}{2} - \frac{R^2 \sin\varphi}{2} \qquad (3)$$

По критерію мінімальної площі $\Delta S \to 0$, тобто:

$$S_{A_0A_1A_н \sin} = \int\limits_0^{x_н} r \sin(\frac{2\pi x}{p_{\sin}})dx = S_{A_0A_1A_н \text{ окр}} = \frac{R^2\varphi}{2} - \frac{R^2 \sin\varphi}{2}. \qquad (4)$$

Будемо уявляти, що нам відомі радіус твірного кола синусоїди r та координати точки $A_н$ ($X_н$, $Y_н$).

Рівняння для знаходження φ та R:

$$y = \frac{\varphi}{2\sin^2(\frac{\varphi}{2})} - \text{ctg}\frac{\varphi}{2} - 4\frac{\frac{rl}{2\pi}(1 - \cos\frac{2\pi X_н}{P_{\sin}}) - \frac{X_н Y_н}{2}}{X_н^2 + Y_н^2}. \qquad (5)$$

$$R = \frac{\sqrt{X_н^2 + Y_н^2}}{2\sin\frac{\varphi}{2}}, \qquad (6)$$

де $P_{\sin} = \pi m$ – крок синусоїди;

m – модуль зачеплення.

Рівняння (5) будемо вирішувати за допомогою одного із приблизних методів, наприклад, метода хорд. Після знаходження φ та R проведемо побудову синусоїдального твірного профілю. Профіль будуємо у програмі КОМПАС-3D.

Висновки. Таким чином, розглянуто питання підвищення точності профілювання синусоїдальних черв'ячних фрез за рахунок заміни теоретично точного синусоїдального черв'яка дугами кіл за критерієм мінімальної площі.

Також розглянуто розв'язок рівняння заміни теоретично точного синусоїдального черв'яка дугами кіл.

ЛІТЕРАТУРА

1. Аникин Ю. В. Синусоидальное зацепление. Основы геометрокинематической теории / Ю. В. Аникин. – Воронеж : Изд-во Воронежского ун-та, 1975. – 60 с.
2. Баталин А. С. Методика расчета профиля зуба синусоидального зубчатого колеса / А. С. Баталин, Д. В. Ветренко // Збірник наукових праць Севастопольського військово-морського ордена Червоної зірки інституту ім. П. С. Нахімова. – Севастополь : СВМІ ім. П.С. Рахімова, 2008. – Вип. I(14). – С. 58–63.
3. Охріменко О. А. Підвищення точності та працездатності черв'ячних зуборізних фрез : автореф. дис. на здобуття наукового ступеня канд. тех. наук / О. А. Охріменко. – К., 2006. – 21 с.
4. Пат. 73550 Україна, МПК В 23 Р 15/14. Спосіб нарізки зубчастих коліс синусоїдальної передачі Благута / Е. М. Благут (Україна). – № 2002097213 ; заявл. 15.09.2002 ; опубл. 15.08.2005 ; Бюл. № 8/2005.
5. Пат. 24173 Україна, МПК В 23 F 21/00. Спосіб нарізання циліндричних синусоїдальних зубчастих коліс / І. Є. Грицай, А. М. Кук, Ю. В. Франт (Україна); заявник та патентовласник – Національний університет «Львівська Політехніка». – № u200700138 ; заявл. 04.01.2007 ; опубл. 25.06.2007 ; Бюл. № 9/2007.
6. Металлорежущие инструменты : учебник для вузов по специальностям «Технология машиностроения», «Металлорежущие станки и инструменты» / [Г. Н. Сахаров, О. Б. Арбузов, Ю. Л. Боровой и др.]. – М. : Машиностроение, 1989. – 328 с.

УДК 621.9

Алиев А. И.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОТС РАСТИТЕЛЬНОЙ ПРИРОДЫ НА СОСТАВЛЯЮЩИЕ СИЛЫ РЕЗАНИЯ

У статті розглянуто вплив рослинних олій, що використовуються в якості ЗОТЗ, на складові сили різання при вільному точінні конструкційної сталі, корозійностійкої сталі і титанового сплаву. Показана ефективність рослинних олій при різанні сталей.

Ключові слова: *рослинна олія, адгезійна активність, сила різання, стабілізація.*

В статье рассмотрено влияние растительных масел, используемых в качестве СОТС, на составляющие силы резания при свободном точении конструкционной стали, коррозионно-стойкой стали и титанового сплава. Показана эффективность растительных масел при резании сталей.

Ключевые слова: *растительное масло, адгезионная активность, сила резания, стабилизация.*

In clause influence of the vegetable oils used as lubricant means on components of cutting force is considered at free turning of constructional steel and titanic alloy. Efficiency of vegetable oils is shown at cutting of steels.

Key words: *vegetable oil, adhesive activity, cutting force, stabilization.*

Постановка проблемы. Тенденция экологической ориентированности современного производства, снижение норм расхода за счет применения техники минимальной смазки, повышенные смазочные свойства, явились основными причинами обращения к растительным маслам как к смазочно-охлаждающим технологическим средствам.

Анализ литературы. Исследования в области изыскания возможностей наиболее рационального применения растительных масел в механической обработке достаточно популярны в настоящее время [1; 2]. При этом биомасла могут быть использованы как в натуральном, так и в модифицированном виде. Созданы системы экономически оправданной подачи масел в зону резания [3]. Однако до конца неопределенными остаются вопросы выбора подходящих растительных масел для различных технологических операций и разных групп обрабатываемых материалов. Нами проведен ряд моделирующих экспериментов, направленных на изучение влияния растительных масел на адгезионные характеристики процесса трения, неизменно сопровождающего процесс резания. Результаты этих экспериментов [4] показали эффективность биомасел по отношению к минеральным, являющимся основой производства масляных СОТС.

Наиболее интересным результатом представляется факт увеличения прочности адгезионных связей на срез (до 40%) при использовании минерального масла И-30 по отношению к сухому трению в паре: быстрорежущая сталь Р6М5 – титановый сплав ВТ1-0.

На основании вышеизложенного было выдвинуто предположение, что наиболее эффективными растительные масла будут на операциях с низкими скоростями резания в условиях выраженного адгезионного износа и наростообразования. Стало объективной необходимостью проведение станочных экспериментов с целью сравнения результатов моделирующих экспериментов с практическими результатами.

Целью статьи является определение влияния смазочных свойств масел на изменении значений проекций силы резания.

Изложение основного материала. Для простоты и точности проводимого эксперимента мы обратились к операции свободного точения проходными упорными резцами из быстрорежущей стали Р6М5. В качестве обрабатываемых материалов были выбраны сталь 45, коррозионно-стойкая сталь 08Х18Н10Т и титановый сплав ВТ1-0. Геометрия режущего клина оставалась постоянной на всех резцах: $\varphi = 90^o$, $\gamma = 15^o$, $\alpha = 12^o$.

Резание осуществлялось всухую и с применением СОТС, подаваемого в зону резания под давлением 232 кПа. Расход СОТС составлял 80 г/ч с учетом различий в динамической вязкости используемых жидкостей. Рассматривалось действие следующих СОТС: растительные масла, относящиеся к различным группам окисляемости (рапсовое, подсолнечное и касторовое), минеральное масло И-30 (основа масляной СОТС), масляная СОТС МР-17М и эфир пальмового масла. Испытания проводились на токарно-винторезном станке повышенной точности SAMAT 400S. Для измерения составляющих силы резания использовался универсальный динамометр УДМ-600 и цифровой осциллограф GDS-830.

Уже первые опытные кривые, полученные

при обработке конструкционной стали показали, что применяемые растительные масла не только уменьшают значения составляющих силы резания, но и улучшают динамику контактных процессов, стабилизируя их (рис. 1). Кроме того, «заваливание» стружки, наблюдаемое при обработке всухую, с применением минерального масла снижается, а с использованием растительных масел полностью исчезает (рис. 2). Устранение «заваливания» свидетельствует о существенном снижении сил трения на передней поверхности, способствующем более эффективному удалению стружки из контактной зоны.

В ходе проведенных экспериментов были получены зависимости составляющих силы резания от скорости резания и подачи. Анализ этих зависимостей показал, что СОТС растительной природы заметно влияют на изменения сил резания, понижая их численные значения на относительно низких скоростях, а с увеличением скорости резания и подачи это различие практически нивелируется. Наименьшая разница в действии сред была замечена при обработке титанового сплава.

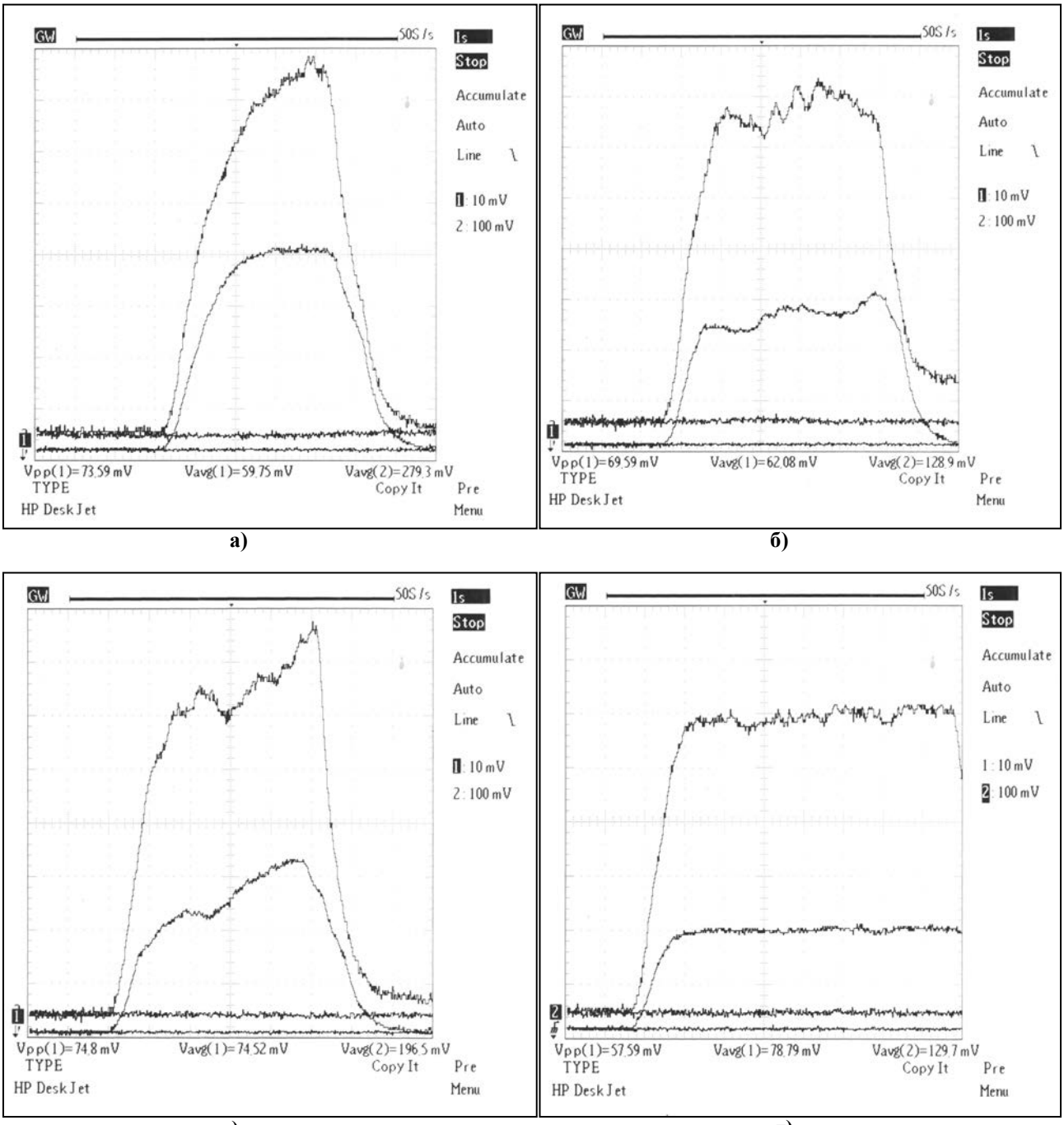
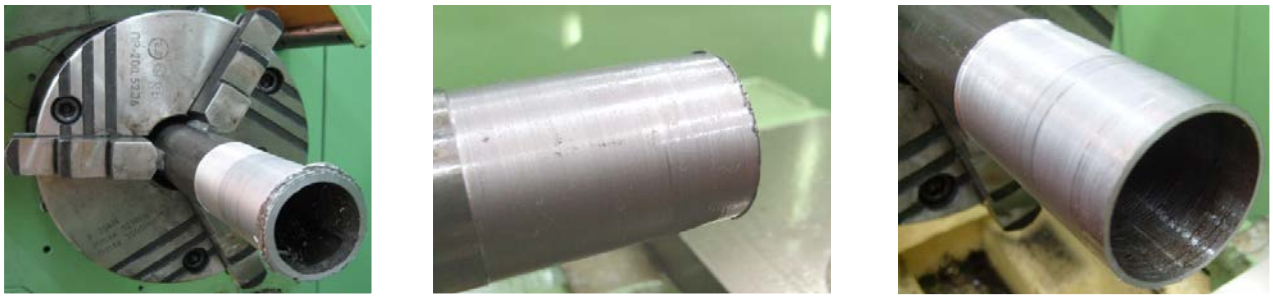


Рис. 1. Экспериментальные графики измерения сил резания: а) сухое резание; б) минеральное масло И-30; в) МР-17М; г) подсолнечное масло.



а) б) в)

Рис. 2. Образование «заваливаний» при обработке: а) сухое резание; б) минеральное масло И-30; в) подсолнечное масло.

В табл. 1 представлены результаты измерений, проведенных при режимах резания, обеспечивающих наиболее выраженное различие в действии сред при обработке исследуемых в настоящей работе материалов (в числителе – тангенциальная составляющая P_z, в знаменателе – осевая составляющая P_x.

Таблица 1.

Значения составляющих силы резания при свободном точении с СОТС.

	Сталь 45 (V = 24,6 м/мин., t = 1,5 мм, S = 0,2 мм/об.)	**08Х18Н10Т (V = 13,9 м/мин., t = 1,75 мм, S = 0,2 мм/об.)**	**ВТ1-0 (V = 7,1 м/мин., t = 1,75 мм, S = 0,2 мм/об.)**
Сухое резание	507/596	601/888,5	398/183
Минеральное И-30	424/468	554/751	427/177
Рапсовое	343,5/333	476/682	392/159
Подсолнечное	369/338	476/665	382/156
Касторовое	384/361	485/712	417/175
Эфир пальмового масла	335/320	398/647,5	367/148
МР-17М	398/441	460,5/682	413/166

Отметим наиболее принципиальные факты, обнаруженные в результате эксперимента:

1) растительные масла, используемые в качестве СОТС, не уступают (обработка коррозионно-стойкой стали), а ряде случаев (обработка конструкционной стали и титанового сплава) превосходят традиционно применяемую масляную СОТС;
2) при точении конструкционной стали в среде растительных масел силы резания снижаются в 1,3–1,5 раз по отношению к резанию всухую, тогда как минеральное масло И-30 и приготовленная на его основе СОТС МР-17М снизили значение сил в 1,2 и 1,25 раза соответственно;
3) растительные масла, оказавшиеся в моделирующих экспериментах по трению наиболее эффективными для отдельных материалов, остаются таковыми и при резании (так, рапсовое масло при свободном точении конструкционной стали показало более низкие значения составляющих силы резания, чем подсолнечное и касторовое масла); в экспериментах по определению адгезионных характеристик значения силы трения в присутствии рапсового масла также были минимальными;
4) касторовое масло, заметно снижавшее значение силы трения в моделирующих экспериментах, при резании оказалось малоэффективным, по-видимому, это связанно с высокой вязкостью касторового масла, затрудняющей проникновение смазочного материала в контактную зону;
5) обработка коррозионно-стойкой стали 08Х18Н10Т характеризуется изменением соотношения между тангенциальной P_z и осевой P_x составляющими силы резания по

сравнению с обработкой конструкционной стали; превалирующие значения составляющей P_x связаны с увеличением угла сдвига и повышением работы пластического деформирования; применение СОТС также в большей степени оказывает влияние именно на снижение составляющей P_x;

6) при точении титанового сплава СОТС слабо влияет на изменение сил резания ввиду того, что высокий уровень контактных нагрузок снижает вклад силы трения в общую силу резания; тем не менее, можно наблюдать некоторое понижение численных значений проекции силы резания (на 4–5%); ожидаемого по результатам моделирующих экспериментов существенного увеличения сил резания при подаче минерального масла замечено не было, однако возрастание значений осевой составляющей P_z на 8% в свою очередь может отражать усиление адгезионных процессов.

Выводы.

1. Влияние СОТС растительной природы на величины проекций силы резания наиболее ощутимо в условиях наростообразования и активизации деформационных процессов на передней поверхности.

2. Показана возможность подбора наиболее эффективной для конкретного обрабатываемого материала СОТС на растительной основе в ходе моделирующих экспериментов по трению.

Таким образом, появляется необходимость дальнейших исследований по определению наиболее приемлемых норм расхода и давления подаваемых растительных СОТС.

Также интересным представляется влияние изменения условий трения на температурное состояние контактной зоны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Якубов Ч. Ф. Повышение износостойкости быстрорежущих инструментов путем направленной трансформации их исходных свойств : дис. на соискание ученой степени канд. тех. наук : спец. 05.03.01 «Процессы механической и физико-технической обработки, станки и инструменты» / Чингиз Февзиевич Якубов. – Харьков, 2004. – 153 с.
2. Schmidt H.-G. Komplexester aus pflanzlichen Ölen / H.-G. Schmidt // 9th International Colloquium. – Eslingen, 1994. – Vol II. – P. 2.2.-1–2.2-9.
3. Einsatz der Minimalmengenschmierung in der Zerspanung / [autorenkollektiv] ; Niedersächsische Gessellshaft zur Endablagerung von Sonderabfall mbH. – Projektbericht Nr 9. – Hannover, 1996.
4. Алиев А. И. Влияние масел растительной природы на адгезионные процессы при различных температурах / А. И. Алиев, Ч. Ф. Якубов // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2002. – Вып. 61. – С. 3–5.
5. Капустин А. С. Исследование эффективности действия СОТС в парообразном состоянии при обработке металлов резанием : автореф. дис. на соискание ученой степени канд. тех. наук : спец. 05.03.01 «Процессы механической и физико-технической обработки, станки и инструменты» / А. С. Капустин. – Иваново, 1997. – 18 с.
6. Внуков Ю. Н. Повышение износостойкости быстрорежущих инструментов на основе исследования условий их трения с обрабатываемыми материалами и реализация новых технологических возможностей : дис. на соискание ученой степени докт. тех. наук : спец. 05.03.01 «Процессы механической и физико-технической обработки, станки и инструменты» / Юрий Николаевич Внуков. – М., 1995. – 378 с.

УДК 004.891:621.9.02:681.518.54

Залога В. А., Зинченко Р. Н, Гонщик А. В.

НОВАЯ СТРУКТУРА СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА, ОСНОВАННАЯ НА ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРАВИЛ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ И СИСТЕМЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

У статті запропоновано нову структуру системи діагностики стану різального інструменту, а також розглянуто доцільність в подальших дослідженнях з питання використання у якості експертної підсистеми системи діагностики стану різального інструменту нейронні мережі, а також системи нечіткої логіки.

Ключові слова: *система діагностики, знос інструменту, штучна нейронна мережа, нечітка логіка.*

В статье предложена новая структура системы диагностики состояния режущего инструмента, а также рассмотрена необходимость в дальнейших исследованиях по вопросу использования в качестве экспертной подсистемы системы диагностики состояния режущего инструмента искусственные нейронные сети, а также системы нечеткой логики.

Ключевые слова: *система диагностики, износ инструмента, искусственная нейронная сеть, нечеткая логика.*

The new structure of the system of cutting tool condition diagnosis is suggested in the article. It is also considered the necessity of utilization the artificial neural networks and the systems of fuzzy logic as the expert subsystems of the systems of cutting tool condition diagnosis in further investigations.

Keywords: *system of diagnosis, tool wear, artificial neural network, fuzzy logic.*

Постановка проблемы. В современном машиностроении, несмотря на внедрение и широкое распространение различных способов формообразования, обработка резанием все еще остается преобладающим способом, на долю которой приходится более трети общей трудоемкости изготовления изделий [1]. Наиболее слабым звеном при такой обработке является инструмент, работающий в условиях сложных температурно-силовых режимов нагружения и априорной неопределенности изменения внешних и внутренних воздействий.

При механообработке лезвийным инструментом, особенно труднообрабатываемых материалов, инструмент подвержен процессу интенсивного изнашивания. Дороговизна режущего инструмента требует максимального использования ресурса его работы, поскольку только в этом случае возможно получение экономического эффекта от его использования, т. е. задача повышения износостойкости режущего инструмента и полного использования его ресурса на сегодняшний день является одной из актуальных, поскольку только гарантированная стойкость при рационально подобранных режимах резания позволяют достичь заданной производительности.

Износ режущего инструмента, а также поломки, связанные с его резким затуплением, могут привести к остановке выполнения операции технологического процесса, а в некоторых случаях и к появлению неисправимого брака [2]. Часто невозможность надежного прогнозирования текущего состояния инструмента, а следовательно, гарантии надежного осуществления процесса резания, обуславливается нестабильностью свойств инструментального и обрабатываемого материалов.

Для решения этой проблемы должна быть применена такая диагностика процесса обработки и, в частности, диагностика состояния режущего инструмента, которая позволяла бы определять и предсказывать текущее состояние инструмента в тот или иной промежуток времени.

Анализ литературы. Использование систем диагностики состояния режущего инструмента как в автоматизированном, так и в неавтоматизированном производстве позволяет [3] увеличить производительность и снизить себестоимость обработки за счет повышения надежности обработки на более жестких режимах резания (увеличенные скорости резания, подачи и др.); сокращения брака изделий и расхода инструмента; повысить надежность работы обрабатывающих систем за счет своевременной замены предельно изношенного или поломанного инструмента на инструмент-дублер; повысить точность обработки благодаря вводу коррекции положения исполнительного органа станка с учетом степени износа инструмента; предохранить механизмы и узлы станка от поломок и преждевременной потери их точности и т. п.

Несмотря на уже достаточно распространенное к настоящему времени применения средств и методов диагностики состояния режущего инструмента [2; 3 и др.], они все еще требуют постоянного развития и совершенствования с целью повышения их разрешающей способности, снижения стоимости внедрения и использования, а также снижения степени влияния сложностей, связанных с внедрением и настройкой систем, разработанных для решения конкретных производственных задач. Решение этих проблем невозможно без дальнейшего исследования процессов резания и изнашивания инструментов, установления взаимосвязи явлений, обуславливающих требуемое состояние режущего инструмента, а также совершенствования самих систем диагностики, особенно, разрабатываемых с использованием современных информационных технологий.

Цель статьи – разработка новой структуры диагностирования состояния режущего инструмента с использованием экспертных подсистем системы диагностирования режущего инструмента, искусственного интеллекта и нечеткой логики.

Изложение основного материала. Известно [4], что процесс резания, как правило, является нестационарным процессом, на ход протекания которого влияет много факторов [5]: геометрия лезвия, режим резания, сам рабочий процесс резания со стружкообразованием и многие др., которые необходимо учитывать в процессе диагностирования с целью обеспечения как можно более правильной оценки состояния режущего инструмента по тому или иному диагностическому показателю.

Система диагностики инструмента должна своевременно выявлять дефекты режущей части инструмента, распознавать их вид, то есть принадлежность к одному из классов, идентифицировать соответствующую модель отказа режущего инструмента и прогнозировать его остаточный ресурс [6].

Однако на практике не всегда удается достаточно точно идентифицировать текущее состояние инструмента. Это происходит вследствие того, что процесс резания чаще всего не может быть стационарным процессом, когда при определенном сочетании «обрабатываемый материал – инструментальный материал – режимы обработки» будет только одно возможное значение силы резания, мощности, температуры и т. д.

В реальности такого никогда не происходит, поскольку структура и характеристики одного и того же обрабатываемого материала всегда различны, так же, как и свойства инструмента, погрешности его геометрии, а также то, что на рабочий процесс всегда будут влиять различные возмущающие факторы (рис. 1), которые будут стремиться изменить характер протекания процесса обработки.

Вследствие этого для одних и тех же условий обработки имеют место не какие-то конкретные стабильные значения того или иного показателя, а диапазон значений, например, силы, мощности, температуры и др.

Примерами таких ситуаций могут служить результаты, представленные на рис. 2–4, из которых видно, что при одних и тех же значениях параметров режимов обработки и других условий имеют место некоторые, а в отдельных случаях, и существенные разбросы контролируемых выходных параметров за период (время) протекания диагностируемого процесса (явления).

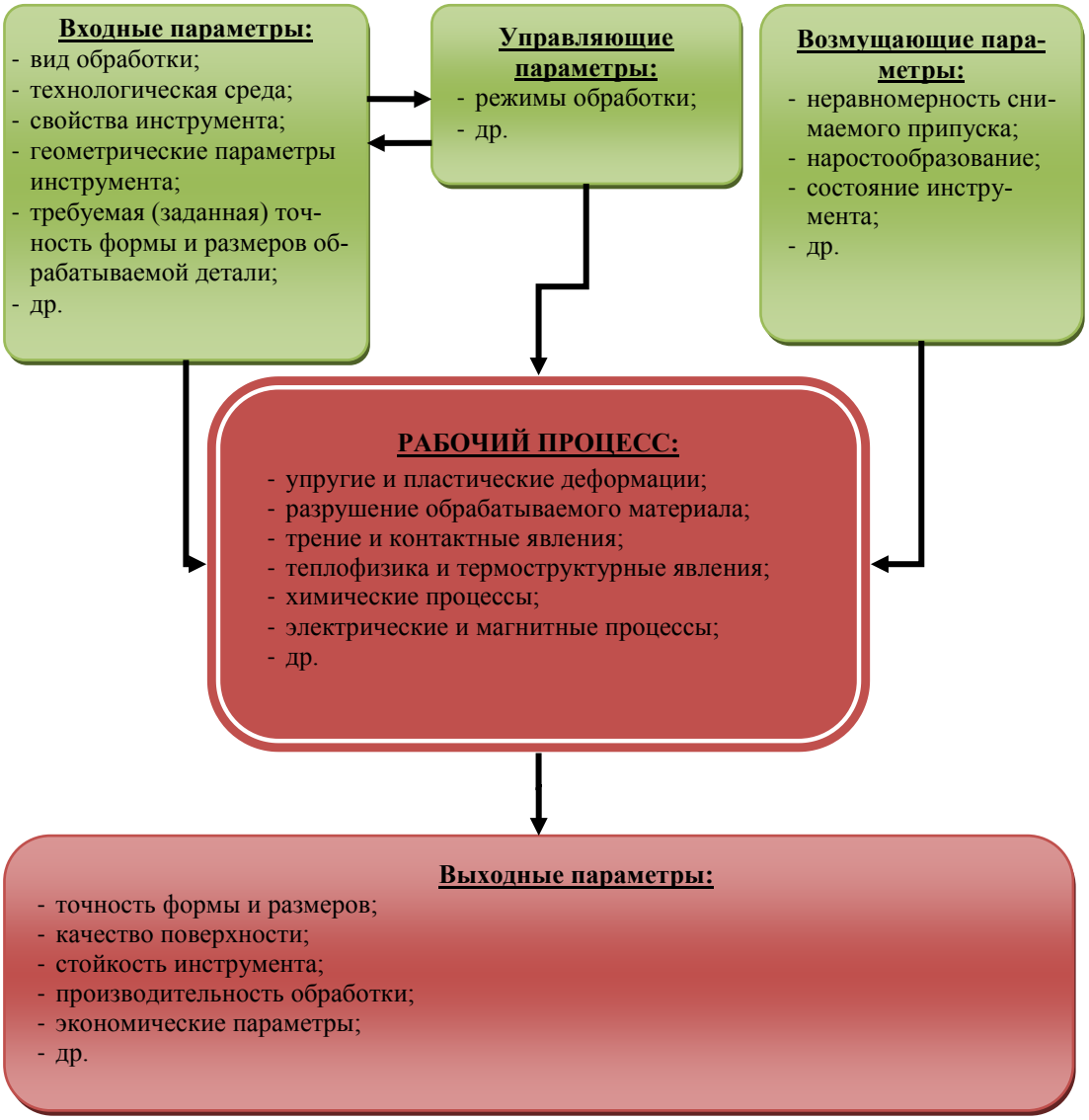


Рис. 1. Структурная схема технологической системы обработки резанием.

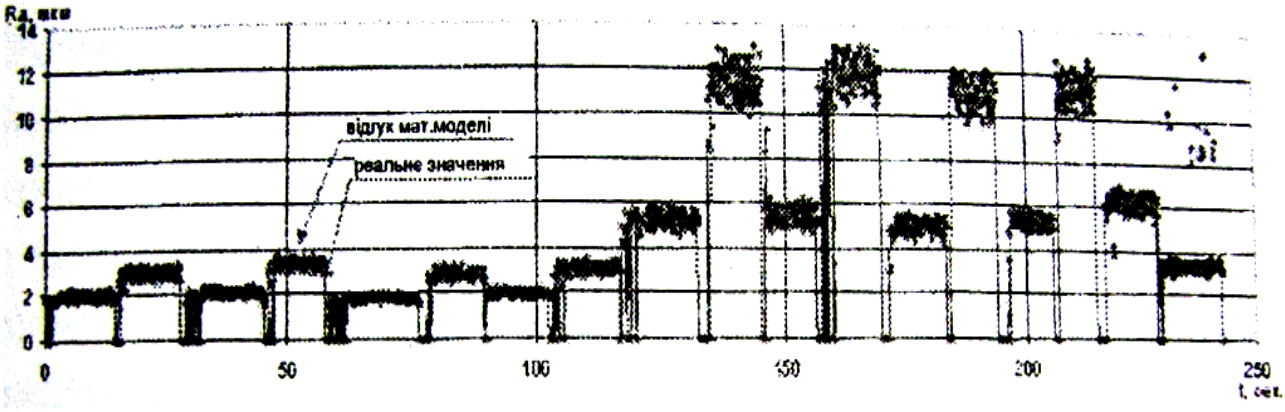


Рис. 2. Значення шероховатости поверхности при обработке детали [7].

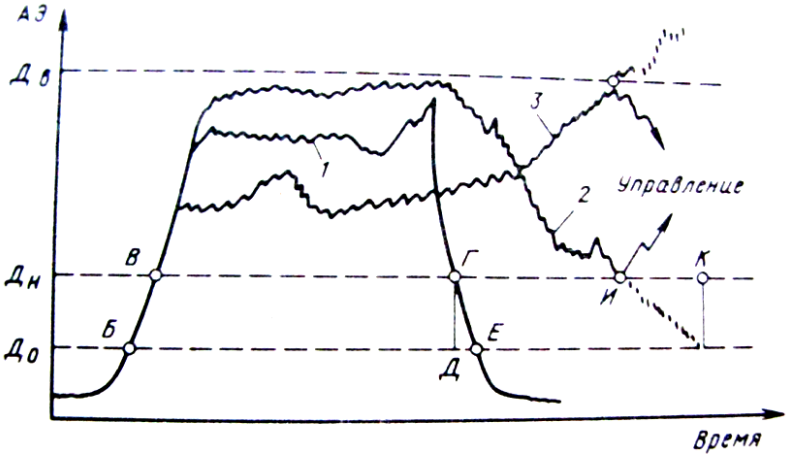


Рис. 3. Изменение сигнала акустической эмиссии при обработке резанием [8] (1 – нормальная работа; 2, 3 – нерасчетный режим функционирования технологического процесса).

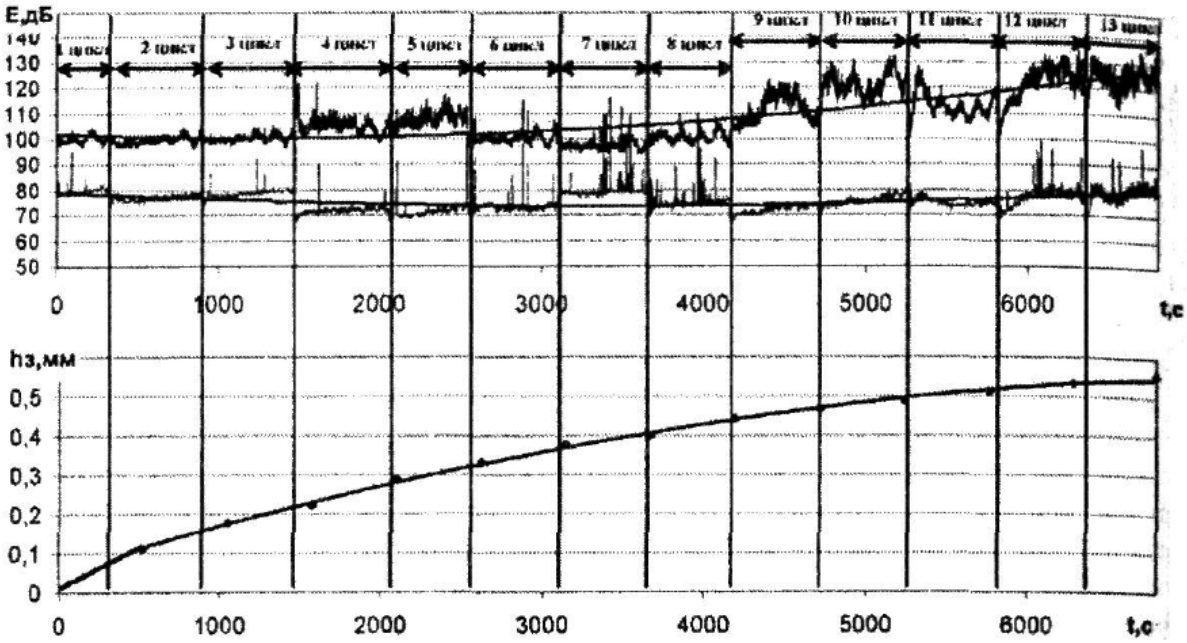


Рис. 4. Изменение сигнала акустического излучения при обработке резанием [9].

Для нормальной работы любой системы диагностики сначала в ее базе данных должна быть накоплена необходимая для диагностирования информация (рис. 5), которая позволяла бы ей принимать решение, соответствующее действительному состоянию инструмента или технической системы в целом.

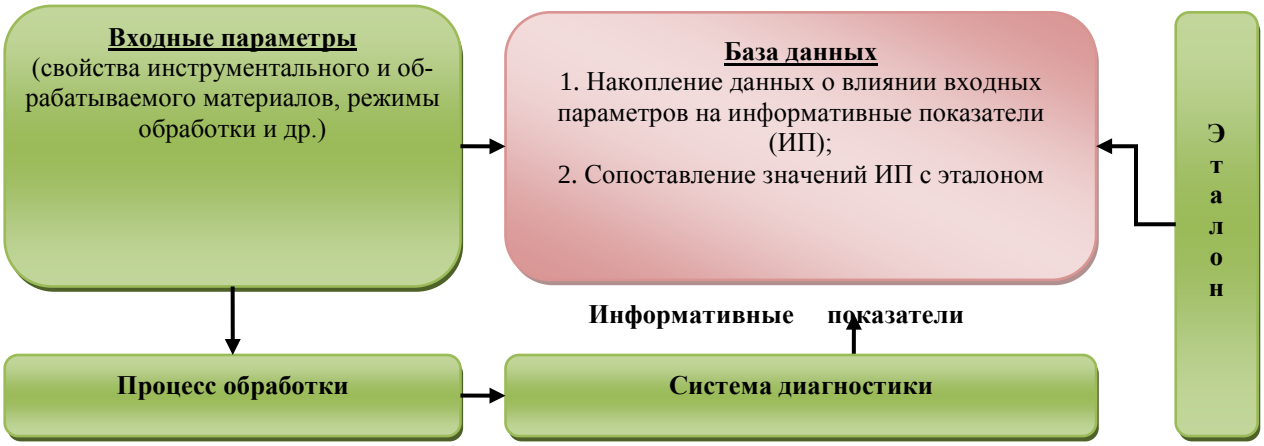


Рис. 5. Схема создания базы данных в системе диагностики.

Вместе с тем даже в том случае, когда имеется достаточно полная информация для прогнозирования, классическая схема работы системы диагностики (рис. 6) не всегда может работать эффективно, особенно там, где нужна большая точность идентификации того или иного состояния инструмента, например, при чистовой окончательной обработке, или какой-либо другой технической системы в связи с тем, что может иметь место двойственности данных, когда одному и тому же состоянию системы (входные параметры) может соответствовать несколько отличающихся информативных показателей системы диагностики, и наоборот, когда для двух отличающихся состояний системы будут соответствовать одни и те же значения информативных показателей. В этом случае перед системой диагностики станет вопрос, какое заключение дать о состоянии технической системы: два разных или, если одно, то, какое?

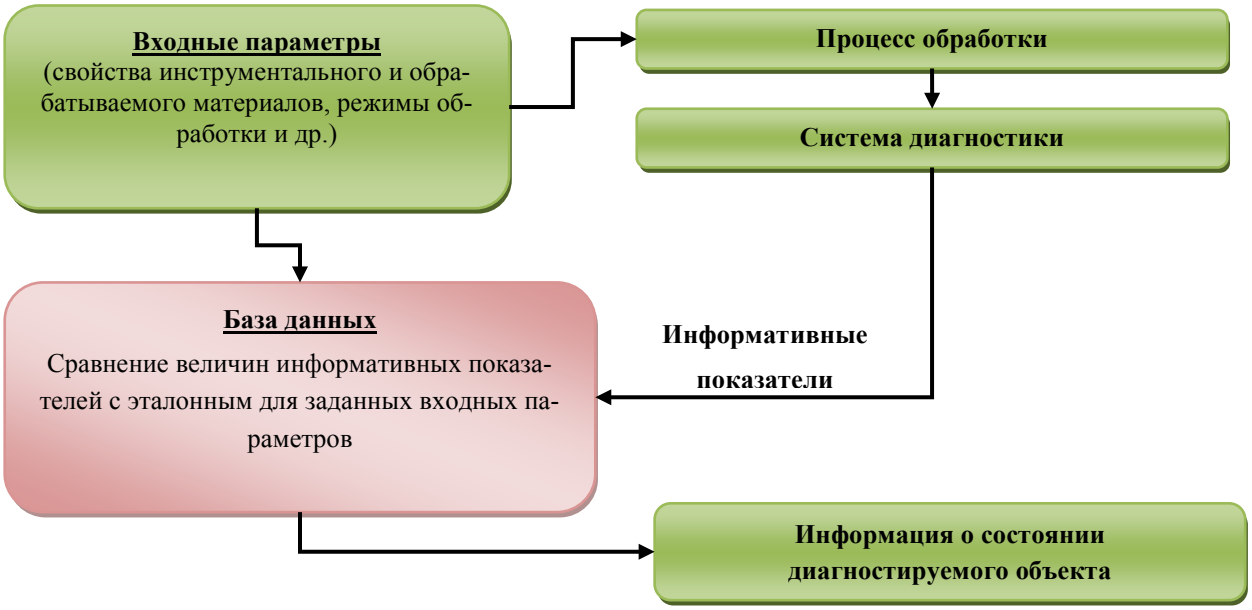


Рис. 6. Схема работы системы диагностирования.

Как следствие, для решения поставленной задачи применительно к таким сложным и многофакторным процессам, каким является процесс резания, для поддержания высокой работоспособности режущих инструментов появляется необходимость создания интеллектуальных систем, которые обеспечивают автоматический контроль, диагностирование состояний и прогнозирование отказов инструментов. В этом случае особое внимание должно уделяться проблеме создания интеллектуальных систем, обладающих развитыми свойствами самоприспосабливаемости к изменению условий работы инструмента и его диагностирования.

В соответствии с таким подходом структура системы диагностики должна качественно измениться и содержать в своем составе аппарат принятия интеллектуальных решений – экспертную систему (рис. 7).

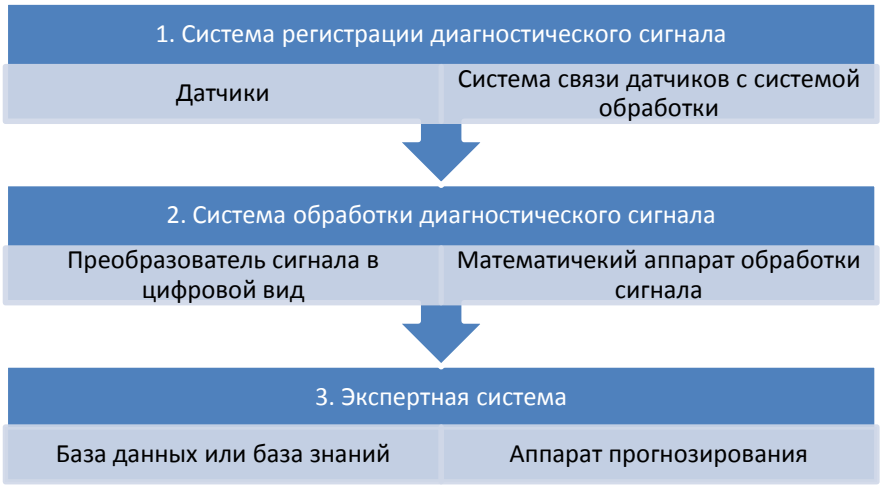


Рис. 7. Структура экспертной системы диагностики.

Первая составляющая системы диагностирования – это система регистрации диагностического сигнала. Она включает в себя собственно датчик, выбор которого зависит от метода диагностики и диагностируемого параметра, и систему его связи с системой обработки. Эта связь предполагает наличие связей не только информационных, но и физических, которые могут включать в себя и механические доработки контролируемого объекта. Например, при пневматическом методе необходимо модернизировать инструмент и снабдить его специальными каналами, которые и обеспечивают ту связь, без которой не может быть передачи диагностической информации от датчика к системе обработки информации.

Вторая составляющая – это система обработки диагностического сигнала, которая состоит из двух элементов: первый – это преобразователь сигнала в цифровой вид, что нужно для дальнейшей его обработки во втором элементе – математическом аппарате обработки диагностического сигнала, в частности, процессы сглаживания, фильтрации и т. п.

Третья составляющая включает в себя базу знаний или базу данных, в которой хранятся свойства диагностируемого объекта, соответствующие различным его состояниям, а также включает аппарат прогнозирования состояний объекта диагностики, который в зависимости от диагностируемого процесса может разделяться на краткосрочный и долгосрочный. Это разделение напрямую зависит от скорости изменения состояния диагностируемого объекта.

В качестве экспертных систем могут быть использованы системы с применением методов искусственного интеллекта и систем нечеткой логики, так как применение только одних баз данных (см. рис. 5) в их традиционном понимании практически не может справиться с задачей достоверного накопления и сравнения данных. Ведь создаваемая база данных для некоторого (заданного) ряда режимов обработки, информативных показателей и значений эталонов должна хранить огромную по своему объему информацию, которая при последующем наполнении может вводить определенные неясности, особенно тогда, когда одному и тому же состоянию системы может соответствовать два и более вариантов идентификации этого состояния. Даже применение традиционных искусственных нейронных сетей, которые могут не только посредством обучения накапливать знания обо всех значениях базы данных, но и корректировать свои знания при дальнейшем их обучении – тоже не выход, так как одним из основных недостатков нейронных систем является необходимость составления при обучении обучающей выборки, которая не должна иметь противоречий, т. е. такие системы не могут обработать задачу типа «исключающего ИЛИ». Использование же в нейронной сети системы нечетких знаний (нечеткой логики) позволяет дополнительно решить и задачу «исключающего ИЛИ». После обучения нейронной сети с нечеткой системой, т. е. составления в ней определенных правил, она может достаточно просто идентифицировать то или иное состояние практически любой технической системы. При этом формируемый нечеткой системой ответ может иметь, например, такой формат: «вероятность того, что инструмент выработал половину своего ресурса - 90%».

Учитывая тот факт, что нечеткие системы в принципе могут аппроксимировать любую математическую функцию какой бы то ни было сложности [9], можем предположить, что разработка систем диагностирования, обладающих экспертными системами (см. рис. 7) на базе искусственного интеллекта, созданных путем комбинированного использования искусственных нейронных сетей и систем нечеткой логики, является перспективным направлением при созда-

нии прогрессивных систем диагностирования состояний режущих инструментов с эффективным использованием современных информационных технологий.

Вывод. Предложенная новая структура системы диагностирования режущего инструмента включает в себя экспертную подсистему, состоящую из базы знаний или данных и аппарата прогнозирования. Также выявлена целесообразность использования в качестве экспертной подсистемы искусственного интеллекта и нечеткой логики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Present Situation and Future Trends in Modeling of Machining Operations : Progress Report of the CIRP Working Group Modeling of Operations // Annals of CIRP. – 1998. – Вып. 47. – № 2. – С. 587–621.
2. Петров В. М. Комплексный подход при диагностике режущей способности лезвийного инструмента и оценке обрабатываемости конструкционных материалов / В. М. Петров, Н. Ю. Сойту, А. В. Чеботарев // Инструмент и технологии. – СПб. : ПИМаш, 2004. – № 13–14. – С. 66–67.
3. Залога В. А. Исследование возможности применения метода диагностики по акустическому излучению при чистовом точении титанового сплава. Часть 1 / В. А. Залога, Р. Н. Зинченко // Вісник СумДУ. Технічні науки. – 2008. – № 4. – С. 118–125.
4. Залога В. А. Разработка научных основ и принципов практического применения нестационарных видов обработки резанием на базе попутного тангенциального точения : дис. на соискание ученой степени докт. тех. наук : спец. 05.03.01 «Процессы механической и физико-технической обработки, станки и инструменты» / Вильям Александрович Залога. – Сумы, 2000. – 327 с.
5. Основи теорії різання матеріалів : підручник для вищ. навч. закладів / [М. П. Мазур, Ю. М. Внуков, В. Л. Доброскок, В. О. Залога, Ю. К. Новоселов, Ф. Я. Якубов] ; під заг. ред. М. П. Мазура. – Львів : Новий Світ-2000, 2010. – 422 с.
6. Деревянченко А. Г. Использование средств искусственного интеллекта при создании системы поддержания работоспособности режущих инструментов / А. Г. Деревянченко, Д. А. Криницин, Р. Г. Долищинский // Вісник ЖДТУ. Технічні науки. – 2009. – № 3 (50). – С. 32–37.
7. Медведєв В. В. Підвищення стабільності якості механообробки деталей на основі удосконалення методів діагностики технологічних процесів : автореф. дис. на здобуття наукового ступеня канд. тех. наук : спец. 05.02.08 «Технологія машинобудування» / В. В. Медведєв. – Донецьк, 2010. – 24 с.
8. Подураев В. Н. Технологическая диагностика резания методом акустической эмиссии / В. Н. Подураев, А. А. Барзов, В. А. Горелов. – М. : Машиностроение, 1988. - 56 с.
9. Залога В. А. Методология мониторинга инструмента при точении по акустическому излучению / В. А. Залога, Д. В. Криворучко, Р. Н. Зинченко // Надежность инструмента и оптимизация технологических систем : сборник научных трудов. – Краматорск : ДГМА, 2005. – Вып. 17. – С. 273–281.
10. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами Matlab / С. Д. Штовба. – М. : Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.