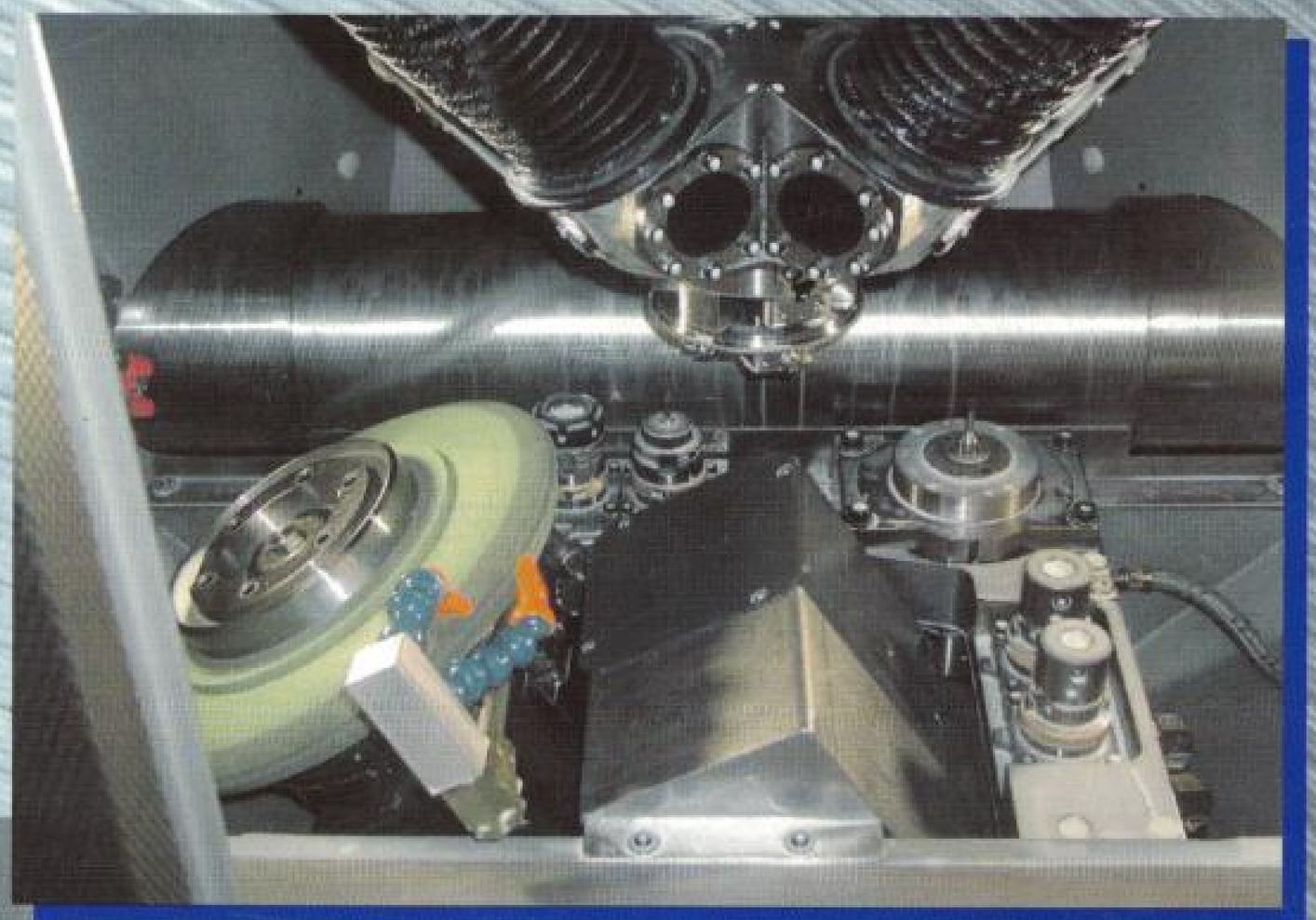
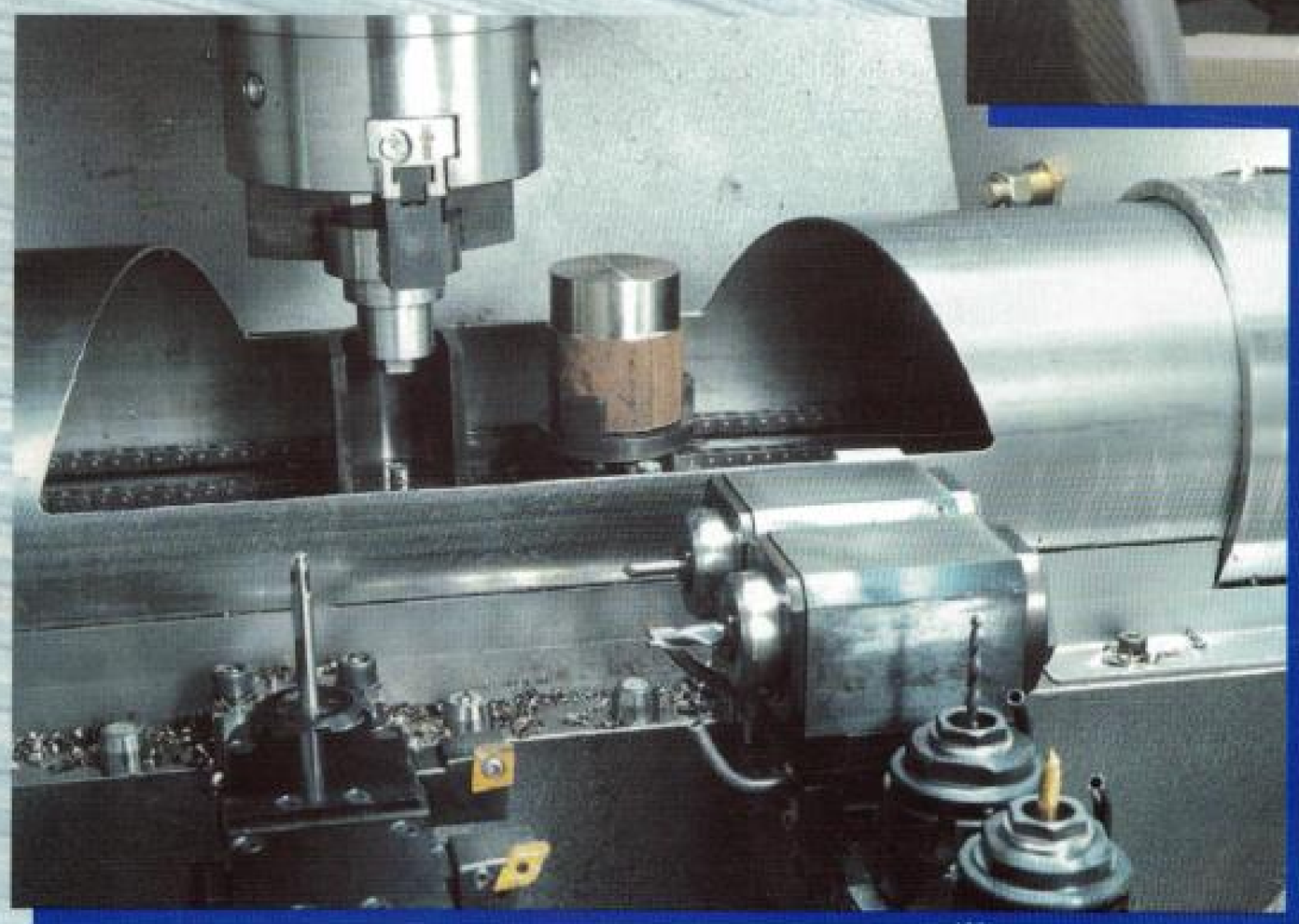
ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ
технология • оборудование • инструменты
научно-технический и производственный журнал
№1(26)/2005

Инструмент
Упрочняющие покрытия
Технология
Оборудование
Коллебание систем
Износостойкость
Трение и износ





Новости от фирмы
Галика

см. стр.37-38, 40

НОВОСИБИРСК • 2005

МЕХАНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

НОВОСИБИРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Готовит инженеров по специальностям:

120100 – Технология машиностроения
120200 – Металлообрабатывающие станки и комплексы
120800 – Материаловедение в машиностроении
121200 – Технология художественной обработки материалов
170500 – Машины и аппараты химических производств
170600 – Машины и аппараты пищевых производств
210200 – Автоматизация технологических процессов и производств (в машиностроении)
230100 – Сервис транспортных и технологических машин и оборудования (автомобильный транспорт)
251800 – Основные процессы химических производств и химическая кибернетика

Основные направления научной и хоздоговорной деятельности:

1. Разработка технологических процессов и оборудования для эффективной обработки твердых сплавов и других труднообрабатываемых материалов.
2. Ультразвуковая поверхностная обработка материалов.
3. Разработка технологических процессов поверхностного упрочнения металлических материалов.
4. Разработка и изготовление виброзащитных платформ различного назначения.
5. Проведение механических расчетов деталей машин и элементов конструкций.
6. Подготовка экспертных заключений о причинах разрушения деталей машин и элементов конструкций.
7. Разработка технических предложений по повышению технологической пластичности и устранению причин разрушения деталей.
8. Проведение всех видов структурных исследований.
9. Проведение всех видов триботехнических испытаний (по определению износостойкости).
10. Проведение всех видов механических испытаний (по определению прочностных свойств, ударной вязкости, трещиностойкости).

Осуществляет переподготовку специалистов, повышение квалификации учителей и преподавателей учебных заведений, обучение студентов и школьников в области компьютерной графики с применением графических систем AutoCAD 2002 RUS, SolidWorks, Intermech, КОМПАС, bCAD, PowerShape и др.

630092, г. Новосибирск, Пр. К. Маркса, 20,
5 учебный корпус, ауд. 5-279, 5-278, 5-267;
декан – Батаев Анатолий Андреевич,
тел. (3832)-46-11-86, 46-51-92,
46-02-12; факс 46-51-92
E-mail:mm@mail.fam.nstu.ru

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Пискунов А.А., ген. директор ОАО НПТ и ЭИ «Оргстанкинпром», член-корр. Международной Академии науковедения, доцент - председатель совета.
Анисименко Г.Е., директор производственно-технологической фирмы «Сигма-инструмент»; **Афанасьев В.К.**, академик РАЕ, профессор, д.т.н., СибГИУ; **Балков В.П.**, зам. ген. директора АО «ВНИИинструмент», к.т.н.; **Батаев А.А.,** профессор, д.т.н., НГТУ; **Герасенко А.Н.,** директор ООО НПКФ «Машсервисприбор»; **Голубев Ю.М.,** директор ООО «Инструмент для автосервиса», доцент, к. т. н.; **Зацепин А.Г.**, первый зам. председателя исполкома МАСС, член-корр. Академии технологических наук, к.т.н; **Кирсанов С.В.,** профессор, д.т.н., ТПУ; **Коган Б.И.,** профессор, д.т.н., КузГТУ; **Коротков А.Н.,** академик РАЕ, профессор, д.т.н., КузГТУ; **Кудряшов Е.А.,** профессор, д.т.н., ЧитГТУ; **Морозов Б.В.,** советник ген. директора ОАО НПТ и ЭИ «Оргстанкинпром», к.т.н.; **Овчаренко А.Г.,** профессор, д.т.н., БТИ АлтГТУ; **Сараев Ю.Н,** профессор, д.т.н., ИФПМ СО РАН; **Смольников Н.Я.,** профессор, д.т.н., ВолгГТУ; **Суслов А.Г.,** профессор, д.т.н., Засл. деятель науки и техники РФ, БрянГТУ; – члены совета.

ИЗДАТЕЛЬ –
ОАО НПТ и ЭИ «Оргстанкинпром»

Главный редактор	МОРОЗОВ Б.В.
Зам. главного редактора	ГЕРАСЕНКО А.Н.
Зам. главного редактора	ГОЛУБЕВ Ю.М.
Редактор	ХОДЫРЕВ В.В.
Вёрстка и дизайн	РУДЕНСКИЙ Д. Е.
Корректура	ШАТРОВ В.А.

Редакция не несет ответственности за достоверность информации в рекламных материалах. Необходимые сертификаты и лицензии обеспечиваются рекламодателями.
Полная или частичная перепечатка материалов, опубликованных в настоящем издании, допускается только с письменного разрешения редакции. Ссылка на журнал обязательна.
Мнение авторов публикаций может не совпадать с мнением редакции. Оригиналы статей не возвращаются.

Подписка осуществляется через редакцию

АДРЕС РЕДАКЦИИ:
630087, г. Новосибирск – 87, пр. К.Маркса, 30,
ОАО НПТ и ЭИ "ОРГСТАНКИНПРОМ"
Тел.: (383-2) 46-37-77, тел./факс: 46-39-11
E-mail: ostp@sibproject.ru

Журнал зарегистрирован 20.12.2002 г.
Министерством РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.
Свидетельство о регистрации ПИ №77-14172.

Отпечатано в типографии «ГРАФОЛИТ»
Подписано в печать 22.03.2005 г.
Тираж 1000 экз.

СОДЕРЖАНИЕ

Юбилей

Кафедре «Металлорежущие станки и инструменты» КУЗГТУ - четверть века..... 4

Интструмент

А. Н. КОРОТКОВ, Г. М. ДУБОВ. Повышение работоспособности отрезных шлифовальных кругов на основе использования шлифовальных зёрен с контролируемой формой..... 6

Е.А. КУДРЯШОВ, С.А. СЕЛЕЗНЕВ, А.А. НИКОЛАЕНКО. Об условиях и технологических особенностях промышленного использования инструментов из композитов..... 8

Упрочняющие покрытия

В.Г.БУРОВ, А.А. БАТАЕВ, А.Г. ТЮРИН, С.В.БУРОВ. Структурообразование твердосплавных покрытий на стальной поверхности..... 9

Технология

А.Н.ПРОКОФЬЕВ. Методы комбинированной обработки резьбовых деталей..... 12

С.Г.БИШУТИН. Особенности формирования волнистости поверхностей деталей при обработке абразивными брусками..... 14

Е.А. КУДРЯШОВ, С.В. ЧЕТВЕРИКОВ. Технология ремонта и восстановления работоспособности деталей машин..... 17

А.А.ЧЕРЕПАНОВ. Совершенствование элементов станочных приспособлений для изготовления нежестких корпусных деталей..... 18

А.В. КОРЧМИТ, Ю.П. ЕГОРОВ. Методика определения скорости охлаждения бронзы БР. ОСЦН 10-13-2-2 при литье в формы с разной теплопроводностью..... 23

INDEX: Технологии, ориентированные на скорость..... 37

Сварные соединения

Ю.Н. САРАЕВ, В.П.БЕЗБОРОДОВ, А.В. ТЮТЕВ, И.В. НИКОНОВА. Влияние режима сварки на формирование структуры и свойства сварных соединений..... 25

Износостойкость

П.В. Бурков. Износостойкость композиционного материала на основе карбида титана..... 27

Колебания системы

В.М. СВИНИН. Исследование условий возбуждения и гашения регенеративных автоколебаний в процессе резания..... 29

В.В. АГАФОНОВ. Влияние внешних источников колебаний на образованием периодических погрешностей при обработке на станках..... 31

Трение и износ

Л.И. ТУШИНСКИЙ, А.В. ПЛОХОВ, В.И. КАПЛИН. Метод диагностики трибосопряжений по частицам износа..... 34

КАФЕДРЕ "МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЕ СТАНКИ И ИНСТРУМЕНТЫ" КУЗГТУ - ЧЕТВЕРТЬ ВЕКА

13 марта 2005 г. исполнилось 25 лет со дня основания кафедры "Металлорежущие станки и инструменты" Кузбасского государственного технического университета. Кафедра была создана в 1980г. на волне быстрого подъема и интенсивного развития в этот период в Кузбассе машиностроения, ввода в эксплуатацию больших объемов нового металлорежущего оборудования и как следствие - возросшего спроса на специалистов, способных грамотно обслуживать активно развивающийся парк станков, комплектуя его необходимой оснасткой и современным режущим инструментом.

С момента своего создания, кафедра ежегодно выпускала для машиностроительных заводов, а также механических цехов и участков многих предприятий Кемеровской области по 40-50 инженеров специальности 120200 "Металлорежущие станки и инструменты". Кафедра "МСиИ" - это единственная в Кузбассе обучающая структура, где готовят специалистов такого профиля. В последние годы, реагируя на запросы рынка, кафедра готовит также специалистов по следующим специализациям:

- 120216 "Оборудование для ремонта автомобилей".

Выпускники этой специализации готовятся для работы в государственных и частных автомастерских, на авторемонтных предприятиях и технических структурах и ГИБДД;

- 120218 "Технический сервис и эксплуатация оборудования";

Инженеры, получившие диплом по данной специализации, ориентированы на поддержание в рабочем состоянии универсального металлорежущего оборудования, станков автоматов и полуавтоматов, станков с ЧПУ, а также электроники и микропроцессорной техники, обеспечивающих функционирование сложного металлорежущего оборудования;

- 120219 "Менеджмент качества, сертификация и лицензирование оборудования".

Потребность в выпускниках данной специализации ощущается практически на каждом предприятии, где есть отделы по качеству, службы метрологии и стандартизации. Кроме того, эти специалисты могут найти достойное применение своим профессиональным знаниям в центрах по сертификации и лицензированию, а также в отделах по разработке и внедрению систем менеджмента качества (СМК);

- 120230 "Исследование процессов формообразования, резания и технология инструментального производства".

В рамках этого направления готовятся специалисты по оптимизации процессов механической обработки, проектированию, производству и рациональному использованию металлорежущего инструмента. Данная специализация является также базой для подготовки кадров с научным уклоном и отбором кандидатов для дальнейшего обучения в аспирантуре.

Практика показала, что из всех перечисленных специализаций наиболее востребованной в последнее время является специализация 120219 "Менеджмент качества, сертификация и лицензирование оборудования". На базе этой специализации отрабатывались образовательные программы, научные подходы к решению задач по проблемам СМК и велась подготовка специалистов, способных на практике решать такие задачи.

Подготовленные специалисты послужили кадровой основой для формирования или пополнения отделов по качеству многих предприятий г.Кемерово и Кемеровской области. Кроме того, на их базе был сформирован отдел систем менеджмента качества (ОСМК), на который возложена ведущая роль по разработке и внедрению СМК в КузГТУ в соответствии с международным стандартом ISO 9001-2000г. Важность и необходимость проведения такой работы закреплена и отражена в содержании ряда приказов Федерального агентства по образованию и диктуется предстоящим вступлением страны в ВТО и присоединением к Болонскому процессу.

Наряду с работой в стенах КузГТУ и проведением консультаций в Кемеровском технологическом институте пищевой промышленности, сотрудники ОСМК (состоящие на 100 % из выпускников кафедры "МСиИ") имеют опыт активного участия в разработке и внедрении СМК на следующих предприятиях Кузбасса: ОАО "Химволокно-Амтел-Кузбасс", КОАО "Азот", ООО "Кемеровохиммаш", ЗАО "НеоКор", ОАО "Кемеровский молочный комбинат", ООО "Стройдорэксперт", ОАО "Анжеромаш", ЗАО "Кузбассэлемент".

Активация усилий по формированию более ответственного отношения к проблемам качества со стороны предприятий и учреждений Кузбасса послужила толчком к созданию в феврале 2005 г. на базе кадрового состава кафедры "МСиИ" и ОСМК Кузбасского регионального отделения Академии проблем качества.

В 1995г. при кафедре "МСиИ" открыта очная аспирантура по специальности 05.03.01 "Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки", благодаря чему в Кемеровской области появилась возможность подготовки своих кадров высшей квалификации в сфере обработки материалов резанием, станков и инструментов. С этого времени с периодичностью раз в 3-4 года такие кадры пополняют ряды ученых Кузбасса, плодотворно работая над актуальной для этого региона научной проблематикой. Раньше также вопросы решались исключительно за пределами Кузбасса, главным образом в Москве, в МТТУ "Станкин".

В 1999г. кафедра "МСиИ" заключила договор о сотрудничестве с кафедрой "Станкостроение" Технологического университета г. Кемнитц (ФРГ). Договор охватывал широкий круг вопросов, в числе которых:

- проведение ознакомительных, производственных и преддипломных практик;
- участие в учебном процессе, подготовка дипломных проектов и работ;
- прохождение научных стажировок по станкоинст-

рументальной тематике;

- выступление с лекциями, докладами перед студентами, преподавателями и научными работниками, участие в работе научных конференций;

- публикация результатов совместных научных разработок, подготовка статей по российско-немецкому сотрудничеству.

За истекший период в рамках действовавшей программы прошли разные виды практик 19 студентов (12 - в Германии, 7 - в России), прошли курс обучения и подготовили научные дипломные работы - 8 студентов (4 - в ТУ Кемнитц, 4 - в КузГТУ), прошли научную стажировку 5 аспирантов и преподавателей каф. "МСиИ" (2 аспиранта - дважды), сделано выступлений с лекциями, докладами и принято участие в работе конференций - 11 (5 - в Германии, 6 - в России), опубликовано статей - 12(2 - в Германии, 10 - в России). В целом за годы сотрудничества совершено 42 заграничных визита: 24 - из России в Германию, 18 - из Германии в Россию.

За активное сотрудничество с кафедрой "МСиИ"КузГТУ по учебным и научным вопросам зав. кафедрой "Станкостроение" ТУ Кемнитц (директор института "Станкостроение и техника обработки давлением") проф. Р. Нойгебауер избран 03.12.2001 г. почетным профессором КузГТУ.

На протяжении многих лет кафедра "МСиИ" сотрудничает с межшкольным учебным комбинатом "Школьник" (г.Кемерово) по подготовке учащихся старших классов для поступления в вузы. Тем самым на практике реализуется концепция непрерывного образования, когда учащиеся средних школ целенаправленно формируют контуры своего будущего в плане дальнейшего осознанного обучения в стенах вуза. Многие из них, пройдя обучение в лабораториях кафедры "МСиИ", останавливают затем свой выбор именно на этой кафедре, пополняя ряды абитуриентов по специальности 120200 "Металлорежущие станки и инструменты".

Кафедра "МСиИ" ведет обучение по 37 специальным дисциплинам, имеет 6 специализированных лабораторий, компьютерный класс и 24 металлорежущих станка, используемых в учебном процессе.

Кафедра также активно использует для проведения занятий практик и выполнения научных исследований оборудование, площади и профессиональные возможности сотрудников Кемеровского центра стандартизации и метрологии, Кемеровского авторемзавода, Кемеровского механического завода, ОАО "Кемеровохиммаш".

При поддержке Кемеровского мехзавода подготовлена именная учебная аудитория (имени директора КМЗ Тузкова Г.М.), где размещен компьютерный класс кафедры "МСиИ".

Учебный и научный процессы на кафедре обеспечиваются 17 сотрудниками, 6 аспирантами и 5 соискателями.

Объем учебно-методической литературы, разрабатываемой для обеспечения учебного процесса сотрудниками кафедры "МСиИ", составляет в среднем 17-22 печатных листов в год. По этому показателю кафедра "МСиИ" постоянно находится в лидирующей пятерке среди всех 50 кафедр КузГТУ.

Кафедра, в лице заведующего, входит в состав учебно-методической комиссии Учебно-методического объединения вузов Российской Федерации по образованию в области автоматизированного машиностроения по специальности 120200 "Металлорежущие станки и инструменты".

Традиционно сложившимся научным направлением кафедры является направление, связанное с повышением эффективности металлообработки деталей и узлов изделий машиностроения, совершенствованием конструкций режущих инструментов, модернизацией ремонтом и восстановлением металлорежущих станков. В этом направлении выполнено большинство научных исследований и сконцентрирован основной имеющийся научный задел. Но наряду с этими исследованиями в последнее время появились и успешно выполнены научные работы, находящиеся, по своему содержанию на стыке науки о резании с другими науками. Так, совместно с клиникой "Стоматолог" (г. Кемерово) результативно завершен цикл исследований по оптимизации конструкции и геометрии сверл для формирования отверстий в челюстных костях под устанавливаемые имплантанты зубных протезов. Совместно с кафедрой ортопедии Кемеровской государственной медицинской академии выполнены исследования по изучению травматологических аспектов механической резки костных тканей. По заказу областного кардиоцентра проведен комплекс исследований по совершенствованию конструкций биопротезов клапанов сердца.

Отражением объема научных разработок, выполняемых кафедрой "МСиИ" за год, является опубликование порядка 15-20 научных статей и подача 2-3-х заявок на изобретения.

Кафедра "МСиИ" поддерживает и развивает творческие и научные контакты с коллегами родственных кафедр других вузов страны: МГТУ "Станкин", МГТУ "МАМИ", НИИ механики МГУ, ИрГТУ, ТПУ, НГТУ, АлтГТУ, БТИ, УлГТУ, КГУ, ЧитГТУ, К-на-А ГТУ, ТюмГНТУ и др.

Более 15-ти лет кафедрой руководит доктор технических наук, профессор, член-корреспондент СО АН ВШ, академик РАЕ, академик АПК Коротков Александр Николаевич, который прошел здесь путь от ассистента до заведующего кафедрой и отметил в этом году вместе с кафедрой свое 50-летие.

Коллектив кафедры неоднократно награждался областной, городской администрациями и руководством вуза за успехи в деле подготовки молодых специалистов и выполнения интересных научных исследований.

Несмотря на существующие в настоящее время немалые сложности и трудности в деле профессионального образования по базовым специальностям машиностроения, кафедра "МСиИ" настойчиво и последовательно реализует свое основное предназначение - служение государству, служение Кузбассу путем подготовки высококвалифицированных кадров и засчет общего подъема уровня образованности и компетентности молодого поколения.

Редакция научно-технического и производственного журнала "Обработка металлов" поздравляет коллектив кафедры с 25-летием и желает руководству кафедры, профессорско-преподавательскому составу, докторантам, аспирантам и сотрудникам кафедры больших научных достижений, новых успехов в работе и учёбе.

Повышение работоспособности отрезных шлифовальных кругов на основе использования шлифовальных зёрен с контролируемой формой

А. Н. КОРОТКОВ, профессор, доктор техн. наук,
Г. М. ДУБОВ, канд. техн. наук, КузГТУ, г. Кемерово

Отрезные шлифовальные круги на бакелитовой связке широко используются во многих областях народного хозяйства, в том числе данный тип инструмента нашёл обширное применение на заготовительных операциях при обработке изделий машиностроения. Этому способствует как универсальные возможности данного инструмента, так и относительная доступность абразивных материалов, из которых он изготавливается. В тоже время анализ показывает, что при работе отрезного круга лишь часть микрорежущих элементов - абразивных зёрен, находящихся в его структуре, активно участвует в процессе резания, изнашиваясь по площадке или микроскалываясь. Остальные же зёрна практически не участвуют в процессе резания. Это, наряду с другими факторами, предопределяется тем, что зёрна нормального электрокорунда, используемые при изготовлении отрезных кругов на бакелитовой связке, несмотря на одинаковый номер зернистости, имеют произвольную конфигурацию, и, как следствие, геометрию. [1] Хаотичная форма и геометрия шлифовальных зёрен приводят к тому, что многие из них либо вообще не участвуют в процессе резания, выкрашиваясь и вылетая при этом из связки, либо деформируют и нагревают металл, не срезая его. В связи с этим очевидно, что на сегодняшний день одним из перспективных путей повышения работоспособности шлифовальных инструментов, в том числе и отрезных шлифовальных кругов на бакелитовой связке, является подбор оптимальной и упорядоченной формы, и, как следствие, геометрии шлифовальных зёрен, используемых при изготовлении данного типа инструмента.

Для сравнительной оценки работоспособности отрезных шлифовальных кругов, содержащих в своей структуре шлифовальные зёрна с контролируемой формой с кругами, изготовленными по стандартной технологии, был произведён рассев на модернизированном вибрационном сепараторе [2] шлифовальных зёрен нормального электрокорунда 13А63 по признаку формы. Количественная оценка значений коэффициента формы ($К_ф$) шлифовальных зёрен определялась, как отношение диаметра описанной ($D_{оп}$) вокруг проекции рассматриваемого зерна окружности к диаметру вписанной в проекцию рассматриваемого зерна окружности ($D_{вп}$): $К_ф = D_{оп} / D_{вп}$, [3].

Из классифицированных по форме шлифовальных зёрен была изготовлена партия экспериментальных отрезных кругов 230х3х22 13А63Н [$К_ф$] СТ3 БУ, содержащих в своей структуре зёрна изометрической формы со средним значением коэффициента формы $К_ф \approx 1,2$, промежуточной формы со средним значение $К_ф \approx 1,6$, игольчатой (пластинчатой) формы со средним значением $К_ф \approx 2,2$. Для обеспечения сопоставимости результатов проводимых исследований была также изготовлена партия отрезных кругов из шлифовального зерна, не подвергавшегося предварительной классификации (стандартное зерно) со средним значением коэффициента формы $К_ф \approx 1,75$.

Оценка эксплуатационных характеристик экспериментальных отрезных кругов, содержащих в своей структуре шлифовальные зёрна с контролируемой формой, осуществлялась по специально разработанной методике на спроектированном и созданном для этих целей испытательном комплексе, базой для которого послужил универсально - заточной станок 3А64Д. [4].

Для количественной оценки работоспособности экспериментальных отрезных кругов использовался критерий интенсивности съёма металла (Q_m). В качестве обрабатываемых заготовок использовался круглый прокат Ш20 мм в состоянии поставки из следующих видов сталей: 12Х18Н10Т (НВ 229); ШХ 15 (НВ 183); Сталь 10 (НВ 107). Анализ полученных экспериментальных данных показал, что при изменении формы шлифовального зерна, находящегося в структуре инструмента, от изометрической до игольчатой разновидности, интенсивность съёма металла (Q_m) в единицу времени несколько возрастает, в среднем в 1,19 раза при обработке всех видов сталей (Рис.1). Увеличение твёрдости обрабатываемой заготовки с НВ 107 до НВ 229 приводит к снижению в 1,3 раза интенсивность съёма металла (Q_m).

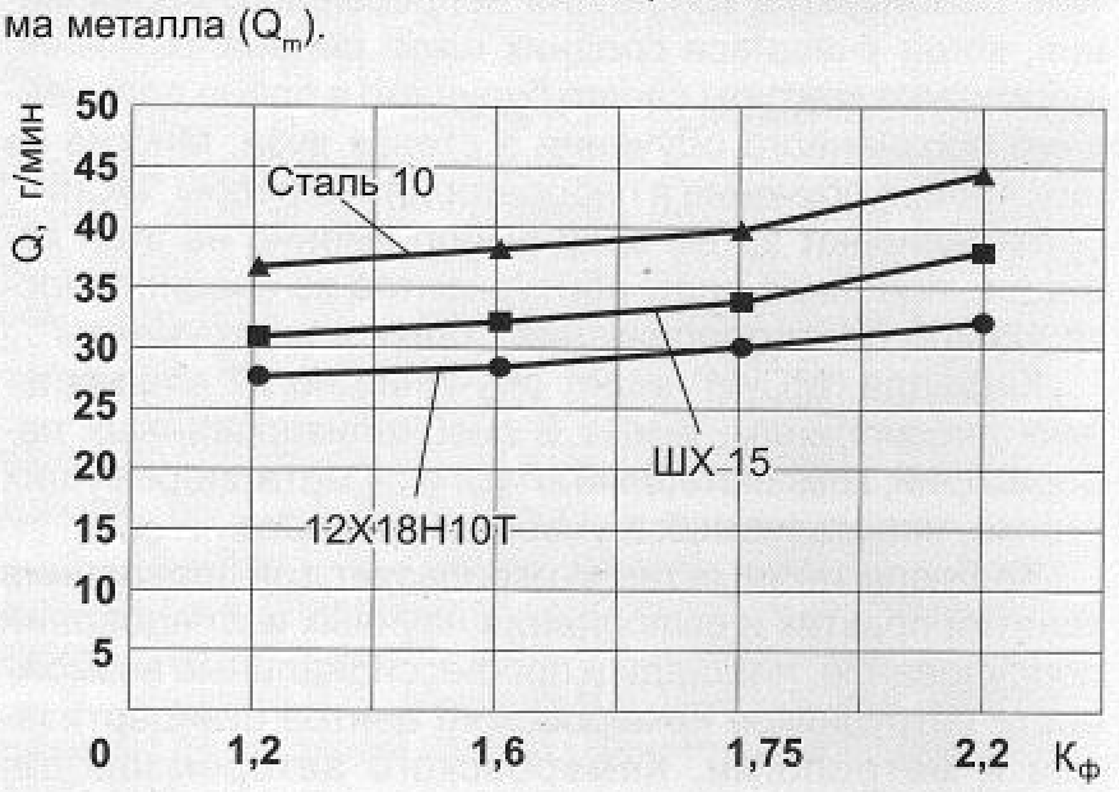


Рис. 1 Влияние коэффициента формы ($К_ф$) шлифовального зерна на интенсивность съёма металла (Q_m); $V_р$ = 80 м/с

Зависимость $Q_m = f(К_ф)$, приведённая на рис.1 при скорости резания $V_р$ = 80 м/с, достаточно адекватно описывается выражением вида:

$$Q_m = 1,3211 + 5,72 \cdot 10^{-1} V_р - 1,6674 \cdot 10 \frac{1}{К_ф}$$

Для качественной оценки работоспособности опытных образцов отрезных кругов использовался предусмотренный для данного типа инструмента действующим ГОСТ 21963 – 82 комплексный параметр – коэффициент шлифования ($К_ш$), напрямую зависящий от износа ($_Δ U$) отрезного круга.

Полученные при проведении исследований данные говорят о том, что коэффициент шлифования ($К_ш$) возраста-

ет в 1,75 – 2 раза при переходе от работы кругами с игольчатой формой зерна к кругам с изометрической разновидностью шлифовальных зёрен (рис. 2), а по отношению к стандартному кругу ($К_ф \approx 1,75$) этот показатель возрастает в среднем в 1,7 раза. Причём, при обработке более твёрдой стали наблюдается снижение значения $К_ш$ в 1,3 раза.

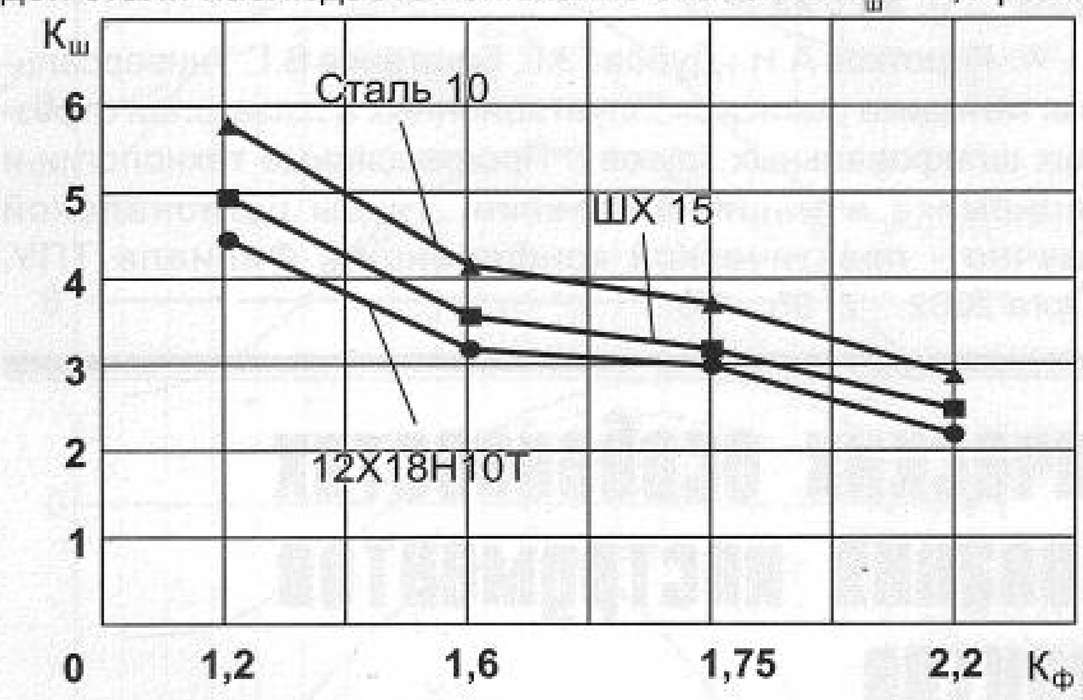


Рис. 2 Влияние коэффициента формы ($К_ф$) шлифовального зерна на коэффициент шлифования ($К_ш$); $V_р$ = 80 м/с

Зависимость $К_ш = f(К_ф)$, приведённая на рис.2, при скорости резания $V_р$ = 80 м/с достаточно адекватно описывается выражением вида:

$$К_ш = -2,8059 + 2,4 \cdot 10^{-2} V_р + 8,0077 \frac{1}{К_ф};$$

Приведённые на рис.2 зависимости $К_ш = f(К_ф)$ указывают на то, что режущая способность отрезных кругов существенно зависит от формы абразивного зерна, находящегося в структуре инструмента. При проведении исследований акцент сделан также на установление взаимосвязи таких параметров, как эффективная мощность (W_e), затрачиваемая на шлифование, и коэффициент формы ($К_ф$) шлифовального зерна (рис. 3).

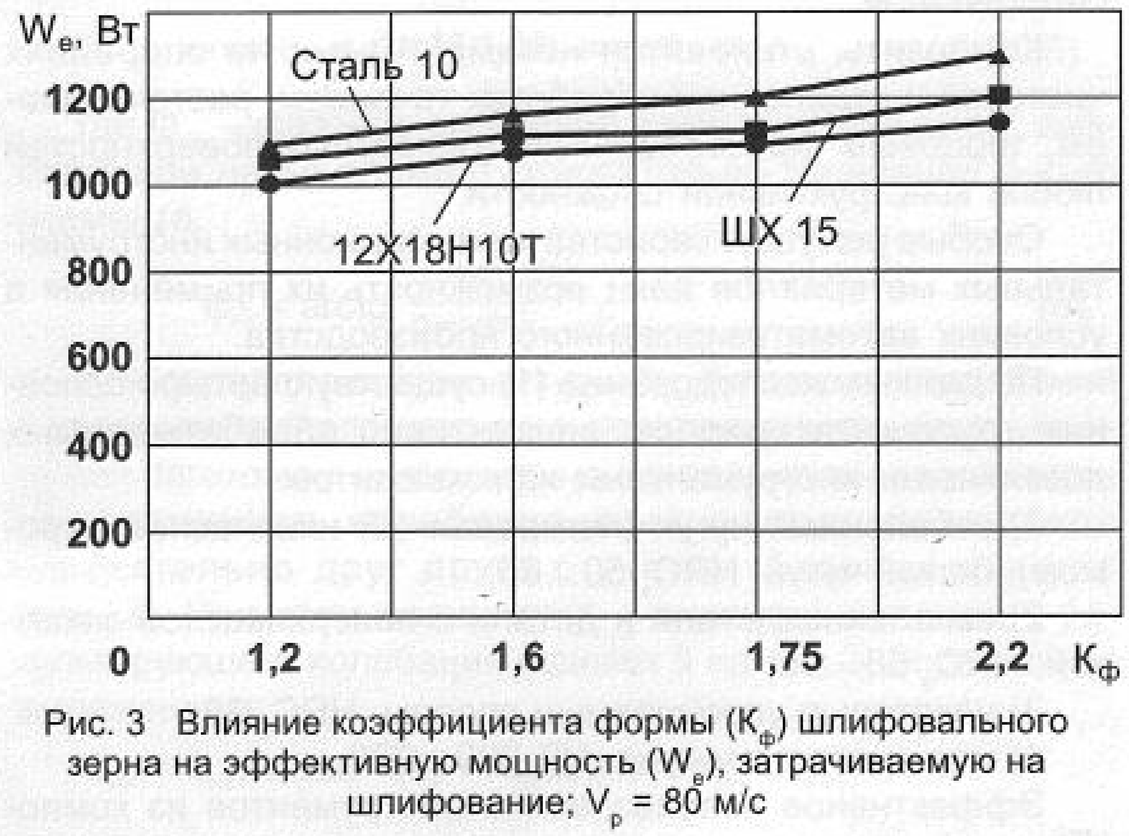


Рис. 3 Влияние коэффициента формы ($К_ф$) шлифовального зерна на эффективную мощность (W_e), затрачиваемую на шлифование; $V_р$ = 80 м/с

Так, при переходе от работы кругами с изометрической формой зёрен к кругам с игольчатой разновидностью шлифовальных зёрен, как показали результаты проведённых исследований, сопровождается ростом в среднем на 15% эффективной мощности (W_e), затрачиваемой на шлифование. При увеличении твёрдости обрабатываемой заготовки эффективная мощность (W_e) снижается в среднем на 11%, в зависимости от вида экспериментального круга.

Зависимость $W_e = f(К_ф)$, приведённая на рис.3, при скорости резания $V_р$ = 80 м/с достаточно адекватно описывается выражением вида:

$$W_e = 1,0661 \cdot 10^2 + 1,553 \cdot 10 V_р - 3,4499 \cdot 10^2 \frac{1}{К_ф}$$

Как показали исследования тепловых явлений при работе отрезного круга, коэффициент формы ($К_ф$) шлифовальных зёрен, находящихся в его структуре, не оказывает значительного влияния на температуру в зоне резания. Так, с увеличением твёрдости обрабатываемой заготовки, а также при переходе от зерна игольчатой формы ($К_ф \approx 2,2$) к зерну изометрической разновидности ($К_ф \approx 1,2$) температура заготовки в зоне резания в процессе отрезки, незначительно возрастает, в среднем на 15 % (рис. 4).

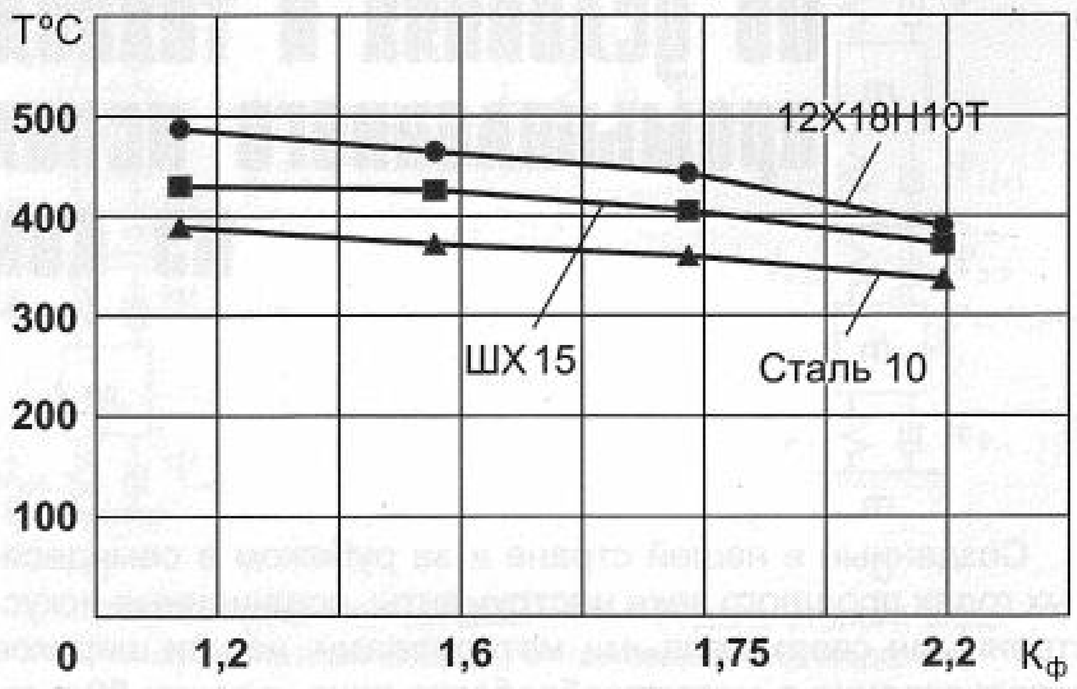


Рис. 4 Влияние коэффициента формы ($К_ф$) шлифовального зерна на температуру (T^0C) в зоне среза; $V_р$ = 80 м/с

Зависимость $T^0C = f(К_ф)$ приведённая на рис.4 при скорости резания $V_р$ = 80 м/с достаточно адекватно описывается выражением вида:

$$T^0C = 181,4795 + 0,6681НВ + 1,7561 \cdot 10^2 \frac{1}{К_ф};$$

Таким образом, в результате проведённых исследований было установлено, что форма шлифовального зерна весьма существенно влияет на отдельные выходные параметры работоспособности отрезных шлифовальных кругов на бакелитовой связке. Так, уменьшение значения коэффициента формы ($К_ф$) шлифовального зерна, находящегося в структуре инструмента приводит к снижению эффективной мощности (W_e), затрачиваемой на шлифование, значительному снижению износа ($_Δ U$) и, как следствие, существенному росту основного комплексного параметра предусмотренного действующим ГОСТ 21963 – 82 для данного типа инструмента – коэффициента шлифования ($К_ш$) при незначительном снижении интенсивности съёма металла (Q_m) и повышении температуры в зоне резания (T^0C). Это в конечном итоге говорит о целесообразности использования при изготовлении отрезных кругов на бакелитовой связке шлифовальных зёрен изометрической формы ($К_ф \approx 1,2$), повышающих в 1,4 – 2,3 раза, по отношению к серийно выпускаемому инструменту, основной показатель работоспособности данного типа инструмента коэффициент шлифования ($К_ш$). Поэтому есть смысл изготавливать шлифовальные инструменты, в том числе и отрезные круги, с учётом показателя коэффициент формы шлифовальных зёрен.

Литература

1. Коротков А.Н., Дубов Г.М. Влияние технологии изготовления шлифовальных зёрен на их эксплуатационные показатели // Труды XIII научной конференции филиала Томского политехнического университета. Юрга 2001.- с. 100 – 102.

2. Коротков А.Н., Дубов Г.М., Баштанов В.Г., Павловец К.А., Шатько Д.Б. Модернизированный вибрационный сепаратор для сортировки абразива по форме. // Ресурсосберегающие технологии в машиностроении. Материалы 2 - й межрегиональной научно – практической конференции с международным участием 2002 г. Алтайский гос. техн. ун – т, БТИ. Бийск. 2002. - с. 65 – 69.

3. Коротков А.Н., Дубов Г.М., Шатько Д.Б. Оценка формы шлифовальных зёрен. // II Всероссийская научно – практическая конференция «Проблемы повышения эффективности металлообработки на современном этапе»: Обработка металлов №2 (23). Новосибирск. 2004. – с. 43 - 44

4. Коротков А.Н., Дубов Г.М., Баштанов В.Г. Универсальная методика оценки эксплуатационных показателей отрезных шлифовальных кругов // Прогрессивные технологии и экономика в машиностроении. Труды региональной научно - практической конференции. Филиала ТПУ. Юрга 2002. - с. 85 – 86.

Об условиях и технологических особенностях промышленного использования инструментов из композитов

Е.А. КУДРЯШОВ, профессор, доктор техн.наук,
С.А. СЕЛЕЗНЕВ, аспирант,
А.А. НИКОЛАЕНКО, аспирант, ЧитГУ, г.Чита

Созданные в нашей стране и за рубежом в семидесятых годах прошлого века инструменты, оснащенные искусственными сверхтвердыми материалами, нашли широкое использование в металлообработке лишь к концу 80-х годов с появлением необходимой информации о рациональной области их применения.

Высокая твердость, теплостойкость и теплопроводность, не снижающиеся при повышении температуры резания, химическая инертность с черными металлами на воздухе и при высокой температуре обуславливает неоспоримые преимущества композитов по сравнению с алмазами и любыми традиционными инструментальными материалами.

Прочность композитов – интегральное понятие, для количественной оценки которого используется ряд физико-механических характеристик (свойств) материала.

Прочность композитов во многом зависит от комплекса технологических факторов, проявляющихся во взаимодействии режущего инструмента с обрабатываемой поверхностью заготовки в процессе резания. Наличие ударно-импульсной нагрузки на твердой и хрупкой вершине инструмента, возникающей при обработке прерывистых поверхностей, проявление циклического характера силы резания и тепловой фактор без знания специфики процесса резания, как правило приводят к разрушению инструмента. Коэффициент трещиностойкости или критический коэффициент интенсивности напряжений является характеристикой сопротивления разрушению материала. Очевидно, чем выше трещиностойкость композиционного инструментального материала, тем выше работоспособность, табл. 1.

Таблица 1

Марка композита	Коэффициент трещиностойкости,ИН/ $м^{1/2}$
Композит 01	3,91
Композит 05	4,58
Композит 09	4,70
Композит 10	5,83

Знание прочностных характеристик композитов позволяет решить ряд вопросов, связанных с работоспособностью лезвийных инструментов - произвести сортировку режущих элементов в зависимости от значений трещиностойкости и обеспечить последующее применение однородных по микротвердости элементов.

Основные области применения композитов: финишная обработка закаленных деталей, в том числе при прерывистом резании, чистовое точение как подготовительная операция под последующую финишную обработку, чистовая обработка поверхностно закаленных материалов с мягкой сердцевиной.

Композиты становятся незаменимыми на операциях чистовой и отделочной обработки точением, растачиванием, торцовым фрезерованием точностных поверхностей любой конструктивной сложности.

Особые режущие свойства композиционных инструментальных материалов дают возможность их применения в условиях автоматизированного производства.

По данным исследований (1) существую четыре основные группы материалов, эффективно обрабатываемых лезвийными инструментами из композитов:

1) отбеленный чугун (легированный никелем или хромом), белый чугун, $HRC_э$ 50…65;

2) закаленные стали и детали с поверхностной закалкой, $HRC_э$ 50…65;

3) некоторые упрочняемые сплавы, $HRC_э$ 38;

4) марки серого чугуна, НВ 200…220.

Эффективное использование инструментов из композитов достигается на высокоточных скоростных станках с частотой вращения шпинделя до 4000 об/мин и небольших продольных подачах 0,10…0,01 мм/об. Такое оборудование должно обладать достаточной жесткостью, так как образование вибраций не только ухудшает шероховатость обрабатываемой поверхности, но и в ряде случаев является причиной выкрашивания режущих кромок.

Высокая стойкость и относительно малый износ инструментов из композитов имеют особое важное значение

при обработке на автоматизированном оборудовании, т.к. число замен инструментов сокращается, а размеры обрабатываемой детали выдерживаются без частого вмешательства оператора.

Композиты 01 и 02 применяют для тонкого и чистового точения, преимущественно без удара, деталей из черных металлов любой твердости; композит 03 – для предварительного и окончательного точения чугунов любой твердости; композиты 05 и 06 – для чистового и получистового точения без ударных нагрузок, закаленных сталей и чугунов любой твердости, для торцового фрезерования чугунов; композит 10 – для предварительного и окончательного точения (растачивания) с ударом и без удара сталей и чугунов любой твердости, для торцового фрезерования закаленных сталей и чугунов, твердых сплавов группы ВК.

Рост производства и применения лезвийных инструментов из композитов объясняется расширением области использования таких инструментов за счет следующих факторов:

1) автоматизации процессов и внедрения высокоскоростного и сверхскоростного резания;

2) увеличения объемов использования труднообрабатываемых материалов;

3) внедрения экологически чистых процессов обработки и применения смазочно-охлаждающих жидкостей.

Детали машиностроительного назначения обладают практически бесконечным разнообразием форм обрабатываемых поверхностей и, следовательно, технологических процессов их производства. Выполнение операций точения и торцового фрезерования сопровождается циклическими быстроменяющимися механическими и тепловыми нагрузками. Наблюдается интенсивное разрушение режущей части инструмента, причем наиболее слабым местом является вершина.

Вопрос повышения работоспособности инструмента засчет оптимального расположения относительно заготовки на примере торцового фрезерования был впервые рассмотрен в отечественной технической литературе профессором Н.И. Резниковым в 1947 году.

В дальнейшем теория и практика оптимального контакта нашли свое отражение в трудах профессоров Н.Н. Зорева, М. Кроненберга, Б.А. Кравченко, В.А. Остафьева, В.Н. Подураева и др. для инструментов, оснащенных твердыми сплавами.

Эта проблема несомненно актуальна и сейчас, когда отечественная металлообрабатывающая отрасль получила разнообразное инструментальное обеспечение.

Многое исследователи предлагают решить проблему повышения стойкости инструмента при обработке прерывистых поверхностей деталей относительно простым путем – применить у режущих композиционных элементов положительный угол наклона главной режущей кромки и тогда врезание в обрабатываемую поверхность заготовки происходит не вершиной, а переферией режущей кромки с постепенным распространением усилий резания по всей ее длине.

Такое решение не всегда обеспечивает удовлетворительную работоспособность, и очень часто низкая стойкость различных марок композитов являлась причиной отказа от их использования в промышленности.

Нами, в рамках научного направления «Совершенствование технологии механической обработки композитами», разработан теоретический метод определения работоспособности инструментов, оснащенных различными марками композитов на операциях чистового точения, растачивания, нарезания резьб и торцового фрезерования поверхностей деталей различной конструктивной и технологической сложности (1-3).

Согласно теоретическим расчетам для нужд предприятий Забайкальского региона изготовлены инструменты с геометрическими параметрами, соответствующими режиму работы в оптимальных условиях, когда первоначальный удар (врезание) смещается от самой слабой части инструмента – вершины, в точку или на плоскость (переднюю поверхность), максимально удаленную от нее.

Полученное условие контакта режущей части инструмента и обрабатываемой поверхности заготовки позволяет достигнуть заданной стойкости и гарантировано обеспечивает высокие качественные и производственные показатели технологического процесса.

Литература

1. Кудряшов Е.А. Технологическое обеспечение процессов обработки прерывистых поверхностей деталей инструментами из сверхтвердых материалов: Автореф. дис.... докт. техн. наук. – Самара, СамГТУ, 1997.

2. Кудряшов Е.А. Обработка деталей инструментом из композитов в осложненных технологических условиях. – Чита, ЧитГТУ, 2002. Том 1. – 257 с.

3. Кудряшов Е.А. Обработка деталей инструментом из композитов в осложненных технологических условиях. – Чита, ЧитГТУ, 2002. Том 2. – 290 с.

Структурообразование твердосплавных покрытий на стальной поверхности

В.Г. БУРОВ, профессор, канд. техн. наук,
А.А. БАТАЕВ, профессор, доктор техн. наук,
А.Г. ТЮРИН, ассистент,
С.В.БУРОВ, ассистент, НГТУ, г. Новосибирск

В основе технологии изготовления твердых сплавов лежит пропитка расплавом матричного материала каркаса из частиц карбида тугоплавкого металла, в частности карбида вольфрама. Механические и эксплуатационные свойства вольфрамокобальтовых твердых сплавов в большой степени зависят от их строения. При формировании твердого сплава важнейшую роль играет соотношение между кобальтом и углеродом (связанным и свободным). Недостаток углерода в спекаемой композиции приводит к образованию сложных карбидов, резко снижающих меха-

нические характеристики и эксплуатационные свойства твердого сплава. Избыток углерода приводит к выделению свободного графита, снижающего твердость материала и являющегося источником зарождения трещин. Не менее важны размеры частиц карбида вольфрама, а также равномерность толщины кобальтовых прослоек между частицами карбида.

В случае использования твердых сплавов для упрочнения поверхностей стальных изделий сложность протекающих процессов возрастает. Эксплуатационные свойства изделий в значительной мере определяются структурой поверхностного слоя, состоящего из покрытия, переходной зоны и основного металла с измененной структурой. Структура материала поверхностного слоя характеризуется:

- на макроуровне толщиной покрытия переходной зоны и зоны измененного основного металла, наличием дефектов в виде пор и трещин;
- на мезоуровне формой и размерами фаз, геометрией их взаимного расположения, наличием дефектов на межфазных границах;
- на микроуровне внутризеренной структурой, дефектами кристаллического строения.

Проведены исследования влияния технологических режимов формирования на стальных поверхностях твердосплавных покрытий из вольфрамокобальтовых твердосплавных порошковых смесей на структуру и свойства формируемых поверхностных слоев. Процесс формирования твердосплавного покрытия из порошковой смеси можно рассматривать как совокупность процессов доставки частиц на покрываемую поверхность и процессов формирования поверхностного слоя. Имеются технологии, позволяющие сочетать доставку частиц на покрываемую поверхность с формированием физико-механического состояния твердого сплава. К ним можно отнести: детонационно-газовое напыление, плазменное напыление, электроискровое легирование, комбинированное электролитическое осаждение. Вторая группа технологий предусматривает спекание твердосплавной смеси на упрочняемой поверхности после предварительного формирования порошкового слоя, который должен иметь плотность и прочность, достаточные для последующей термической обработки.

Технологические процессы первой группы позволяют получать поверхностные слои с покрытиями, свойства которых соответствуют спеченным твердым сплавам. Однако имеются ограничения, которые не позволяют в полной мере управлять их составом и структурой. Так при детонационно-газовом напылении твердосплавных порошковых смесей на сталь переходный слой образуется засчет взаимодействия подплавленных частиц Co с поверхностью стали и имеет протяженность не более 20 – 25 мкм. При нанесении покрытий на стали с высокой температурой плавления переходный слой между покрытием и основным металлом уменьшается до 10 – 15 мкм. Химический и фазовый состав покрытия в значительной степени зависят от состава газовой смеси. Применяемые смеси приводят к увеличению содержания свободного углерода, с одной стороны, и, с другой - к его выгоранию, что приводит к появлению пористости в покрытиях до 5,3...10,7 %. В структуре покрытия кроме WC и Co фаз присутствуют η_1 (Co_3W_3C) в количестве до 5 %, W_2C и W. Наличие частиц двойного карбида Co_3W_3C и пористость приводят к снижению прочностных характеристик твердосплавного покрытия. Микротвердость покрытий находится в пределах 9000...12000 МПа. Плазменный метод характеризуется возможностью процессов окисления и обезуглероживания частиц карбида вольфрама, что приводит к образованию частиц η_1-фазы (Co_3W_3C) в структуре покрытия и появлению высокой пористости (до 20 %). Толщина получаемых покрытий - до 0,15 мм, прочность сцепления - от 6 до 21 МПа, твердость по Виккерсу 10000 – 18000 МПа. Электроискровое легирование твердыми сплавами типа ВК приводит к образованию покрытия толщиной 30 – 50 мкм, отличающегося по фазовому составу от материала анода. При электроискровом легировании фаза WC теряет часть углерода, в результате чего образуется фаза W_2C, имеющая отличные от WC свойства. Кроме W_2C образуется сложный карбид Fe_3W_3C в результате взаимодействия WC с железом основного металла, что ухудшает свойства покрытия. Микротвердость покрытий находится в пределах 3800 – 20000 МПа в зависимости от химического состава стали. Комбинированное электролитическое осаждение твердых сплавов основано на одновременном осаждении металла-связки (гальванически) и частиц дисперсной фазы (электрофоретически, конвективно, седиментационно). Преимущество метода заключается в возможности управлять составом и структурой в процессе осаждения. Однако, метод не позволяет формировать покрытия с высокой объемной долей частиц карбидной фазы и покрытия не имеют переходной зоны к основному металлу.

Вторая группа технологий в отличие от первой получила более ограниченное распространение вследствие наличия технологических затруднений, связанных с активным взаимодействием частиц карбида вольфрама с железом основного металла в присутствии жидкой фазы и сложностью управления составом и структурой формируемых поверхностных слоев. В качестве способов доставки частиц твердосплавной порошковой смеси на упрочняемую поверхность могут использоваться электрофоретическое осаждение и шликерное литье с последующим выпариванием материала-посредника. Спекание можно проводить как в защитной газовой атмосфере, так и в вакууме.

Преимущество формирования твердосплавных покрытий жидкофазным спеканием заключается в том же, в чем и недостаток – в возможности растворения частиц упрочняющей фазы в расплавленной матрице с образованием новых химических соединений. Важнейший вопрос – это возможность протекания обратной реакции выделения карбида вольфрама из расплава при затвердевании матричного материала.

При спекании вольфрамокобальтовой порошковой смеси на сталях жидкая фаза начинает образовываться в местах контакта частиц карбида вольфрама со сталью при температуре 1150 ^{0}C. Затем диффузия кобальта в жидкую фазу приводит к уменьшению ее количества, так как для системы Co-WC и Fe-Co ее существование соответствует более высоким температурам. Дальнейшее повышение температуры приводит к увеличению скорости диффузионных процессов и стабильному появлению жидкой фазы при температуре 1300…1310 °C, что значительно ниже температуры спекания твердых сплавов. Структура покрытия и переходного слоя позволяют сделать заключение, что происходит растворение карбидов вольфрама с образованием эвтектических фаз. При спекании тонких порошковых слоев (до 200 мкм) на поверхности углеродистых сталей не удается сформировать покрытие ввиду высоких скоростей взаимодействия компонентов покрытия и железа основного металла. Образовавшийся проплавленный слой содержит хрупкие эвтектики, в которых обнаружен сложный карбид W_3Fe_3C, образующий дендритный скелет.

Обратного распада двойного карбида не происходит вследствие недостатка углерода в зоне взаимодействия.

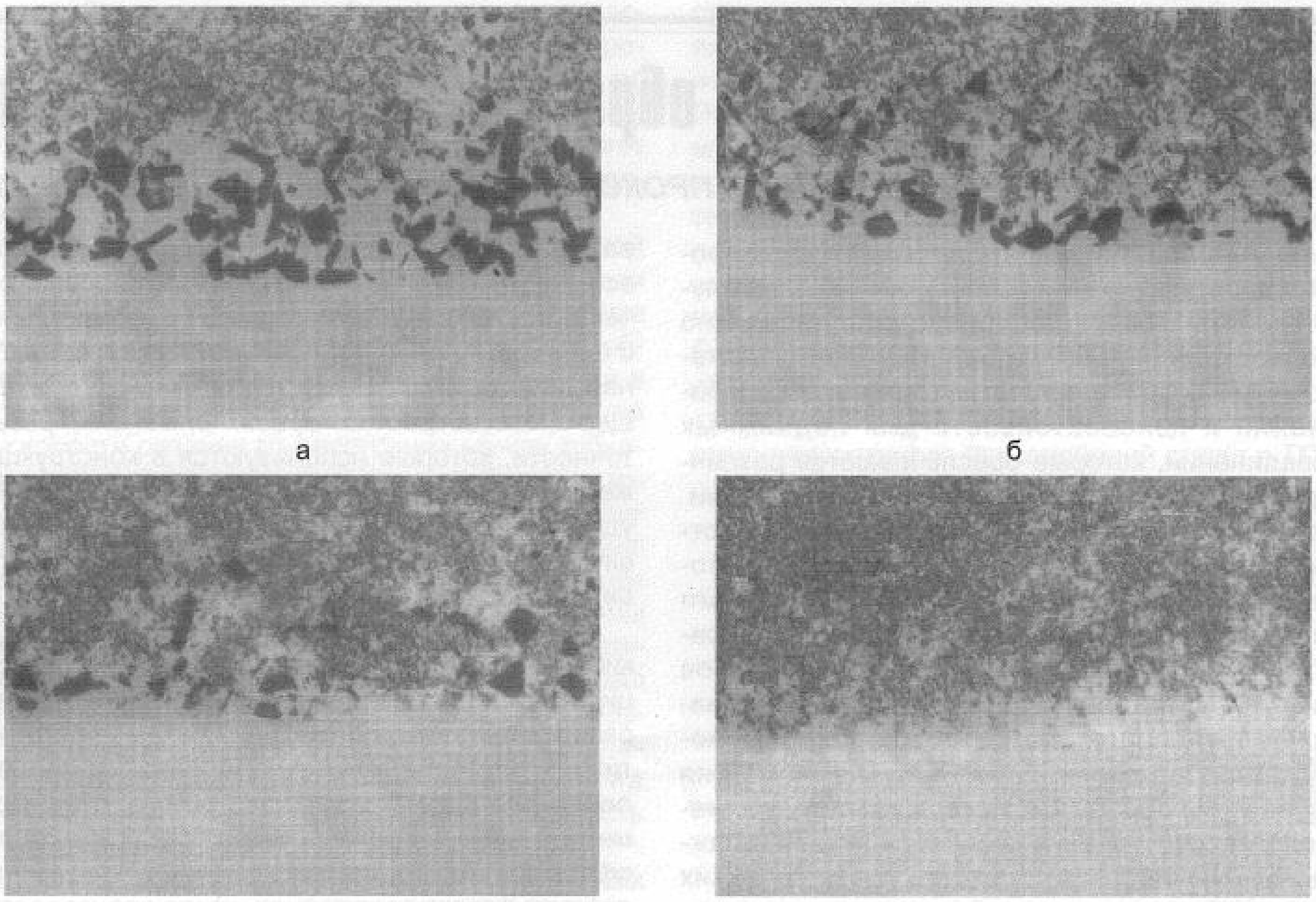
Это предположение, сделанное в результате термодинамического анализа, было подтверждено введением дополнительного углерода в зону спекания путем предварительной цементации поверхностного слоя основного металла. Экспериментально было установлено, что в процессе спекания вольфрамокобальтовой порошковой смеси на углеродистых сталях после высокотемпературного насыщения их поверхности углеродом (при T = 1100^{0}C в течение 1, 2, 4 и 6 часов), жидкая фаза появляется при температуре 1250 ^{0}C. Металлографические и дифрактометрические исследования полученных покрытий показали, что увеличение продолжительности предварительной цементации до 6 часов приводит к уменьшению количества частиц Fe_3W_3C в переходном слое, вплоть до полного их исчезновения (рис.1). Матричный материал содержит железо, кобальт и вольфрам.

Доставка углерода в зону существования жидкой фазы требует знания его необходимого количества с учетом химического состава твердосплавной смеси, скорости взаимодиффузии компонентов покрытия и основного металла в присутствии жидкой фазы, температуры и времени спекания (времени существования жидкой фазы).

Другим способом управления структурой поверхностного слоя со спеченным твердосплавным покрытием является уменьшение скорости протекания химического взаимодействия компонентов покрытия и основного металла засчет снижения температуры появления жидкой фазы. Этого можно добиться изменением химического состава матричного материала посредством легирования бором. Учитывая, что спекание твердосплавного слоя проводится в присутствии жидкой фазы, достаточно введения бора в виде порошка в состав твердосплавной смеси. Диффузионное взаимодействие компонентов покрытия и основного металла сохраняется, но протекает с меньшей скоростью, так как жидкая фаза начинает появляться при температуре 1102 ^{0}C засчет образования эвтектики Co-Co_2B. При минимизации времени присутствия жидкой фазы в переходном слое отсутствуют сложные карбиды, покрытие имеет свойства близкие к свойствам спеченных твердых сплавов. Оптимизация режимов спекания не позволяет управлять толщиной переходной зоны, которая соизмерима с толщиной сформированного покрытия (рис.2). Матрица покрытия содержит эвтектики Co-Co_2B и Fe-Fe_2B.

Управление толщиной переходной зоны может быть обеспечено предварительным введением бора в поверхностный слой основного металла. В этом случае жидкая фаза появляется на границе раздела «порошковая смесь - основной металл», после чего протекание диффузионных процессов обеспечивает взаимодействие частиц кобальта с жидкой фазой и смачивание ею частиц упрочняющей фазы. Толщина переходной зоны определяется режимами предварительного борирования и последующего спекания, ее минимальное значение может составлять единицы микрометров. Структура покрытия представлена на рис. 3. Время борирования стальной основы не оказывает существенного влияния на твердость и износостойкость покрытия. В то время как с повышением температуры предварительного борирования от 850^{0}C до 1000^{0}C растет толщина переходного слоя между покрытием и основным металлом от 25 до 150 мкм, повышается значение микротвердости покрытий от 11700 до 15500 МПа, увеличивается износостойкость покрытий о закрепленные частицы абразива, составляя 80...90 % от износостойкости твердого сплава ВК 20, и резко снижается ударная вязкость разрушения композиции «сталь-покрытие» от 39 до 6 Дж/см^2.

Оптимизация температуры борирования основы и жид-



а б в г

Рис. 1. Структура поверхностного слоя после жидкофазного спекания покрытия из вольфрамокобальтовой порошковой смеси на углеродистой стали после предварительной цементации при температуре 1100 ^{0}C в течение: а – 1 часа, б – 2 часов, в – 4 часов, г - 6 часов. Покрытие вверху, темная фаза – сложный карбид W_3Fe_3C

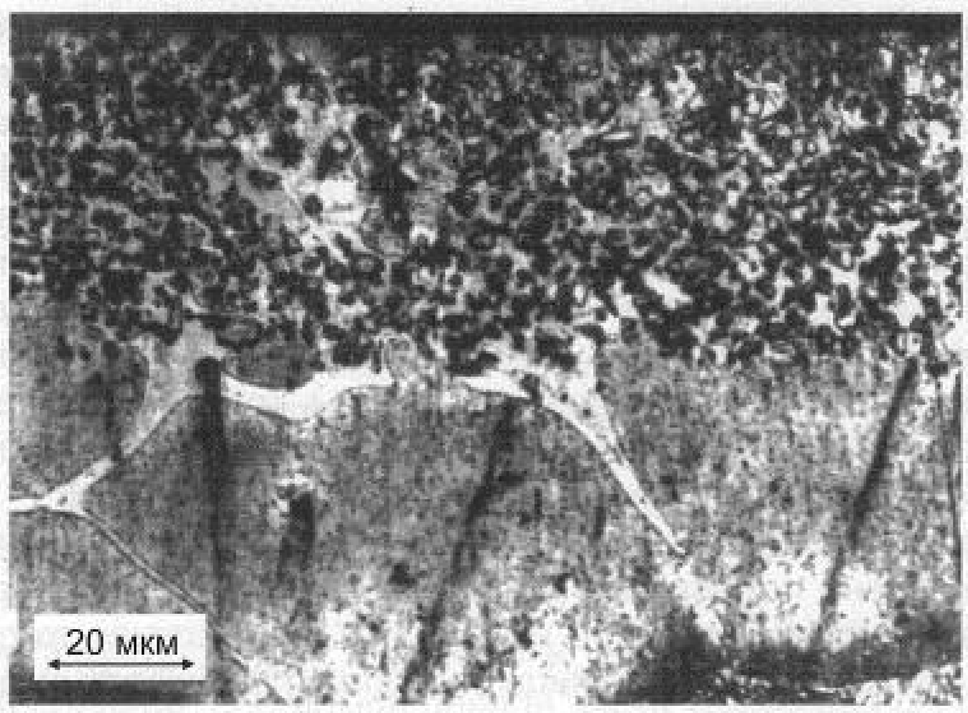


Рис. 2. Поперечный шлиф покрытия на основе порошковой смеси WC-Co(ВК15)+2%В после жидкофазного спекания на подложке из стали У10

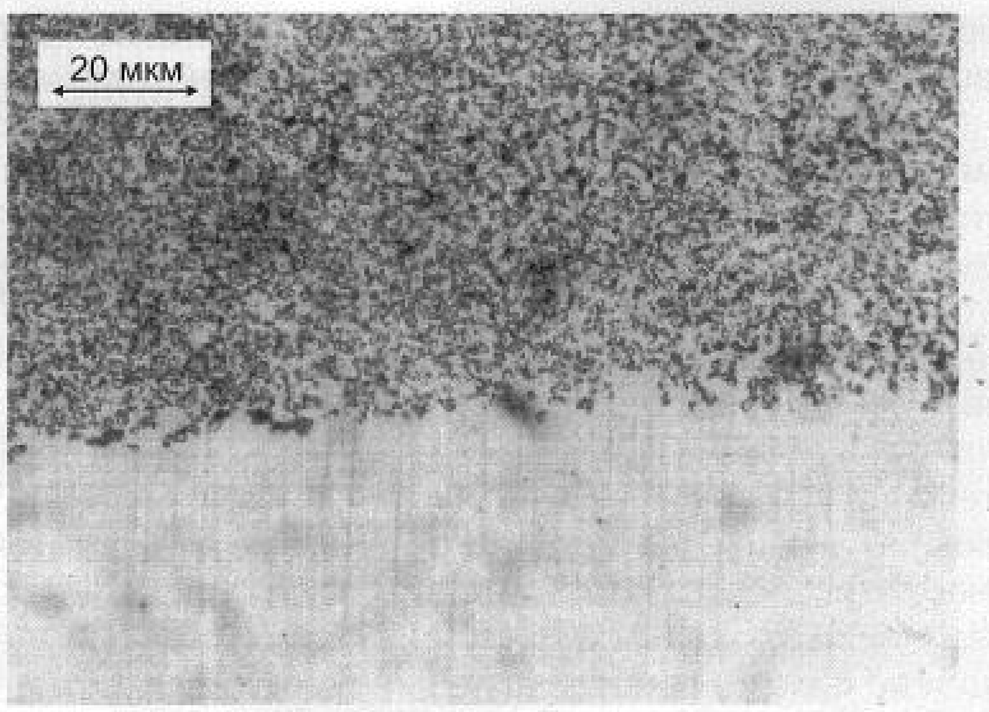


Рис. 3. Поперечный шлиф покрытия на основе порошковой смеси WC-Co(ВК8) после жидкофазного спекания на подложке из стали 45 после борирования при температуре 900 ^{0}С в течение 6 часов

кофазного спекания порошковой смеси в сочетании с последующей термической обработкой позволяют достичь высоких показателей конструктивной прочности композиции.

Выводы

1. Цементация основного металла до жидкофазного спекания вольфрамокобальтовой порошковой смеси на углеродистых сталях обеспечивает протекание реакций распада сложных карбидов при затвердевании. Поверхностный слой имеет структуру твердого сплава с развитой переходной зоной и без макродефектов.

2. Введение легирующего порошкового бора в состав спекаемой вольфрамокобальтовой порошковой смеси создает условия для:

- формирования развитой переходной зоны,
- исключения образования сложных карбидов, ухудшающих свойства сформированного поверхностного слоя,
- исключения образования макродефектов в виде пор и трещин.

3. Химико-термическое борирование углеродистой стали позволяет управлять структурой покрытия и переходной зоны с исключением образования макродефектов.

4. Результаты проведенных исследований можно использовать для разработки технологии улучшения физико-механических и эксплуатационных свойств твердосплавных покрытий, полученных детонационно-газовым, плазменным, электроискровым и комбинированным электролитическим методами.

Методы комбинированной обработки резьбовых деталей

А.Н.ПРОКОФЬЕВ, доцент, канд.техн.наук, БГТУ, г.Брянск

Надежность выполнения резьбовым соединением своего функционального назначения зависит от ряда эксплуатационных свойств, все многообразие которых можно выразить посредством двух основных качественных показателей - прочности соединения для неподвижных резьбовых соединений и износостойкости для подвижных резьбовых соединений, которые обеспечиваются различными конструкторскими и технологическими методами. Данные показатели в значительной степени определяются точностью соединения, шероховатостью боковых сторон профиля, физико-механическими свойствами поверхностного слоя, формируемыми на стадии изготовления резьбы. Обеспечение качественных параметров резьбы при изготовлении зависит как от свойств материала, так и от ряда технологических факторов, таких как метод и схема формообразования, конструкция и геометрия инструмента, режимы обработки. Исходя из этого, применяемая технология изготовления резьбовой детали, должна стабильно обеспечивать комплекс ее геометрических параметров и параметров состояния поверхностного слоя, определяющих эксплуатационные показатели соединения исходя из его функционального назначения.

Анализ методов обработки внутренних резьб показывает, что широко распространенные методы обработки не всегда дают необходимые результаты, особенно при получении точных внутренних резьб (4 степени точности и выше) с шероховатостью поверхности витков Ra < 2,5 мкм. Данная проблема является достаточно острой, т.к. в настоящее время возрастает объем применения резьб указанной точности, которые используются в конструкциях, подверженных вибрациям, в которых по условиям компоновки не удается установка стопорящих элементов, в соединениях шпилька-корпус, в тонкостенных деталях, подвергающихся термической обработке и т.п.

С учётом вышеизложенного, опираясь на теоритические основы технологии машиностроения и исходя из функционального назначения точных резьбовых соединений [1], разработана новая структурная схема проектирования оптимального варианта технологического процесса изготовления резьбовых отверстий, в которой выбор чистового метода формообразования резьбы производится с учетом сформированного комплекса эксплуатационных показателей резьбового соединения и типа производства. При этом было установлено, что для крепежных резьб основополагающими следует считать такие эксплуатационные свойства, как статическая и усталостная прочность, отсутствие

самоотвинчивания и сохранение усилия затяжки. Установлено также, что на эти свойства в соединении основное влияние оказывают точность резьбового отверстия (комплексный параметр, представленный в виде приведенного среднего диаметра и конусности резьбового отверстия), шероховатость и степень упрочнения рабочих поверхностей резьбового соединения.

Этими факторами в значительной степени можно управлять посредством технологических методов (метод формообразования резьбы, параметры резьбового инструмента, режимы обработки). Кроме этого необходимо учитывать ряд таких условий, как тип производства, механические свойства резьбовых деталей и др. Таким образом, для выбора оптимального технологического метода получения ответственного резьбового отверстия необходимо предварительно организовать комплекс параметров и условий, обеспечивающих основные эксплуатационные требования, исходя из функционального назначения резьбового соединения и учитывающий конкретные условия формообразования.

Выбор оптимального технологического метода обработки резьбы является сложной многофакторной задачей. При его назначении, наряду с эксплуатационными и точностными характеристиками, предусмотренными техническим заданием, необходимо учитывать возможности производства, уровень технологии, наличие оборудования и инструментов, серийность, экономические показатели и т.п. Уменьшить влияние субъективного подхода к выбору технологического метода позволяет метод оптимизации параметров. При неполной информации этот метод также предполагает применение волевых решений, основанных на инженерной интуиции, опыте, однако преимущества того или иного технологического метода представляются с большей определенностью.

Оптимизация заключается в выборе технологического метода с параметрами, при которых достигается максимальный эффект при заданных затратах, либо заданный эффект при минимальных затратах. Математическая модель оптимизации, описывающая функционирование рассматриваемого объекта, состоит из целевой функции и ограничений, под которыми понимаются условия изготовления и эксплуатации резьбового соединения.

Такой системный подход позволяет на основе анализа уже на стадии проектирования и оснащения технологического процесса выявить условия гарантированного обеспечения требуемой точности обработки, определить оптимальные технические требования на параметры точности элементов технологической системы (станка, приспособления, инструмента) для конкретных условий обработки. В этом случае может решаться и так называемая "обратная задача", которая заключается в исследовании возможности обработки заданной поверхности уже известным инструментом по параметрам точности.

Среди трех основных методов изготовления резьбовых деталей: резание, деформирование и комбинированная обработка, два последних обладают рядом преимуществ с точки зрения обеспечения основных качественных показателей неподвижных и подвижных резьбовых соединений. Это объясняется более высокой степенью твердости поверхностного слоя витков резьбы, положительным влиянием остаточных сжимающих напряжений, стабильно высокой точностью и чистотой поверхности.

В настоящее время деформирование и комбинированная обработка наружных резьб получили достаточно широкое распространение, а для ряда крепежных резьбовых деталей являются преобладающими. Однако для изготовления внутренних резьб, отличающихся меньшей технологичностью, данные способы резьбоформирования, несмотря на очевидные преимущества, применяются недостаточно широко.

На основании разработанной структурной схемы, исходя из условия обеспечения равномерного распределения нагрузки по виткам резьбового соединения, разработана технология обработки точных резьбовых отверстий комбинированными метчиками. Исследование процесса резьбообработки комбинированным режуще-деформирующим инструментом позволило получить зависимость для расчета оптимальной величины припуска, суммарных усилий и крутящих моментов, установить значения параметров, регламентирующих соотношение режущих и деформирующих элементов комбинированных инструментов для принятого диапазона размеров резьб и обрабатываемых материалов [2].

Свое место в вопросах технологического обеспечения качества резьбовых соединений заняли бесстружечные метчики и одинарные комбинированные метчики для резьб М6...М36 с шагом до 2,5 мм в корпусных деталях из алюминиевых и магниевых сплавов для серийного производства при обработке на агрегатных и сверлильных станках с ЧПУ. Наличие в конструкции метчика режущих и деформирующих зубьев позволяет стабильно получать резьбу точности 4Н и шероховатости Ra до 0,32 мкм.

Помимо этого, с целью повышения качественных показателей резьбовых соединений рекомендуются следующие методы:

- технология обработки и конструкция комбинированных метчиков с винтовым затылованием по профилю резьбы (из быстрорежущей стали и оснащенных твердосплавными пластинками) для резьб М6...М36 в материалах средней пластичности при обработке их как на универсальном оборудовании, так и на автоматах;
- технология обработки и конструкция комбинированных метчиков- протяжек для резьб диаметром свыше 40 мм с крупным шагом в различных материалах при обработке их на универсальных станках в условиях мелкосерийного и серийного производства. Засчет наличия в конструкции режущей и режущедеформирующей секции таким инструментом можно получать резьбу точности 4Н и шероховатости Ra=0,5...0,8мкм.

Особое место в вопросе повышения прочности неразъемных резьбовых соединений дает применение гладкорезьбовых соединений [4] в корпусных деталях из легких (алюминиевых или магниевых) сплавов, т.е. соединений, полученных ввертыванием шпильки в гладкое цилиндрическое отверстие. Данный метод изготовления резьбовых соединений позволяет, наряду с простой технологией изготовления, добиться существенных преимуществ по сравнению с традиционными способами посадок шпилек в корпусные детали. А именно – надежными стопорящим свойствами как в статике, так и их стабильностью после воздействия циклических нагрузок. Это определяется технологией их изготовления посредством пластического деформирования и переносом пластических деформаций из эксплуатации в технологию.

Актуальной проблемой машиностроения в настоящее время является также повышение качества резьбовых изделий с крупным шагом, к которым относятся ходовые винты скольжения и качения и ряд других изделий, работающих в сложных условиях эксплуатации. С целью повышения износостойкости винтов и гаек с промежуточными телами качения (шариковинтовые передачи) необходима оптими-

зация формы винтовых канавок. Для изготовления резьб с крупным шагом используют самые различные технологические операции. Выбор конкретных операций обработки зависит от типа производства, размеров изделия, номенклатуры и др. Традиционными методами получения таких резьб являются: нарезание резцом, фрезерование дисковыми фрезами, нарезание вихревыми головками, шлифование. Как правило, резьбы с шагом от 4 мм обрабатывают фрезерованием дисковыми фрезами или вихревыми головками. Во многом качество изготовленной резьбы определяется точностью резьбообрабатывающего инструмента. Для повышения износостойкости деталей после предварительного формирования винтовой поверхности их подвергают термической обработке, после которой следуют операции чистовой обработки. На этих операциях окончательно формируются размеры и качество винтовых поверхностей. Однако при термической обработке изделий с винтовыми канавками возникают деформации, которые впоследствии необходимо устранить на чистовых операциях технологического процесса или вводить дополнительные операции. Все это увеличивает трудоемкость и себестоимость изготовления деталей. Применяя электромеханическую обработку можно придать требуемым участкам винтовой поверхности необходимые физико-механические и геометрические свойства, исключить дополнительные чистовые операции и термическую обработку.

Для электромеханической обработки винтовых поверхностей ходового винта спроектировано и изготовлено специальное приспособление, устанавливаемое в резцедержателе токарного станка [3]. Для сообщения требуемого усилия накатывания при электромеханической обработке в державке приспособления установлена пружина, под действием которой ролик прижимается к детали. Также само приспособление в державке поворачивается на угол подъема винтовой канавки для более точного контакта ролика и обрабатываемой поверхности.

Литература

1. Суслов А.Г., Стешков А.Е., Прокофьев А.Н. Разработка научных основ технологии обработки высокоточных внутренних резьб. //Актуальные проблемы повышения качества машиностроительной продукции. Тез. Долк. Всероссийской научно-технической конференции. Владимир, 1999, с.128-129.

2. Прокофьев А.Н. Прогрессивные технологические методы изготовления резьбовых соединений. «Справочник. Инженерный журнал», 2000, №2(35), с.9-12.

3. Дарковский Ю.В., Прокофьев А.Н., Хандожко А.В. Повышение качества винтовых канавок путем профилирования инструмента и электромеханической обработки. «Материалы. Технологии. Инструмент» №3,1999, Могилев, с.101-104.

4. Прокофьев А.Н. Технология гладкорезьбовых соединений. «Обработка металлов», Новосибирск, 2002, №2(15), с.12-14.

Особенности формирования волнистости поверхностей деталей при обработке абразивными брусками

С.Г. БИШУТИН, доцент, канд. техн. наук, БГТУ, г.Брянск

Традиционные методы финишной обработки поверхностей деталей, как правило, приводят к образованию на них волнистости, которая в большинстве случаев негативно отражается на эксплуатационных показателях деталей машин. Значительно снизить волнистость обрабатываемой поверхности можно, если подвергнуть ее дополнительной обработке абразивными брусками, которая из-за невысоких скоростей резания не вызывает прижогов и способствует формированию в поверхностном слое сжимающих остаточных напряжений [1, 2, 3]. Рабочая поверхность абразивного бруска контактирует с несколькими вершинами волн обрабатываемой поверхности. В связи с этим съем металла происходит только по вершинам волн, что в конечном итоге может привести к практически полному исчезновению волнистости на обрабатываемой детали, в поверхностном слое которой будут сформированы остаточные напряжения сжатия. Поэтому исследования формирования волнистости поверхностей деталей при данном методе их обработки являются актуальными.

В основу исследования данного процесса может быть положено соотношение, полученное М.М. Хрущевым и М.А. Бабичевым при изучении абразивного изнашивания путем трения испытуемого образца по абразивной шкурке [4]:

$$\frac{dQ_л}{dL} = C_p, \qquad (1)$$

где $Q_л$ – износ образца (линейный съем металла); L – путь трения (длина контакта рассматриваемого участка поверхности заготовки с абразивным инструментом); C – коэффициент пропорциональности, p – контактное давление:

$$p = P_c/S_{бр}, \qquad (2)$$

здесь P_c – сила прижатия абразивного инструмента (бруска) к обрабатываемой поверхности; $S_{бр}$ – площадь рабочей поверхности бруска.

Уравнение (1) можно представить несколько иначе, учитывая, что $dL = Vd\tau$, где V – скорость перемещения абразивного инструмента относительно обрабатываемой поверхности, $d\tau$ – промежуток времени, в течение которого происходит перемещение dL:

$$\frac{dQ_л}{d\tau} = V_Q = CVp, \qquad (3)$$

где V_Q – скорость съема металла при установившемся процессе обработки (при отсутствии волн на обрабатываемой поверхности).

При наличии волнистости на обрабатываемой поверхности уравнение (3) будет выглядеть следующим образом:

$$\frac{dQ^*}{d\tau} = Cvp^*, \qquad (4)$$

где Q^* – линейный съем металла при наличии волнистости поверхности; p^* – давление бруска на вершины волн:

$$p^* = \frac{P_c}{S_{бр}(Q^*/Wmax_м)^{y^*}} \qquad (5)$$

здесь $Wmax_и$ – максимальная высота исходной волнистости обрабатываемой поверхности, y* – параметр интерполяции кривой относительных опорных длин профиля волнистой поверхности заготовки.

Анализируя формулы (3) и (4) приходим к выводу, что

$$\frac{dQ^*}{d\tau} = V_Q \frac{p^*}{p} \quad (6)$$

Подставляя уравнение (2) и (5) в (6), получим:

$$\frac{dQ^*}{d\tau} = V_Q (Q^*/Wmax_и)^{\gamma^*} \quad (7)$$

При независимости V_Q от τ решение уравнения (7) следующее:

$$Q^* = [(y^* + 1)\, V_Q (Wmax_и)^{\gamma^*} \tau]^{\frac{1}{\gamma^*+1}} \quad (8)$$

Следует отметить, что в формуле (7) вместо τ можно подставлять любую другую пропорциональную ей величину (длину контакта обрабатываемого участка поверхности заготовки с бруском, число рабочих ходов бруска и т.п.). Однако в этом случае скорость съема металла V_Q должна быть определена в зависимости от интересуемой нас величины.

Графически скорость съема металла $\frac{dQ}{d\tau}$ и съем металла Q во времени можно представить следующим образом (рис. 1).

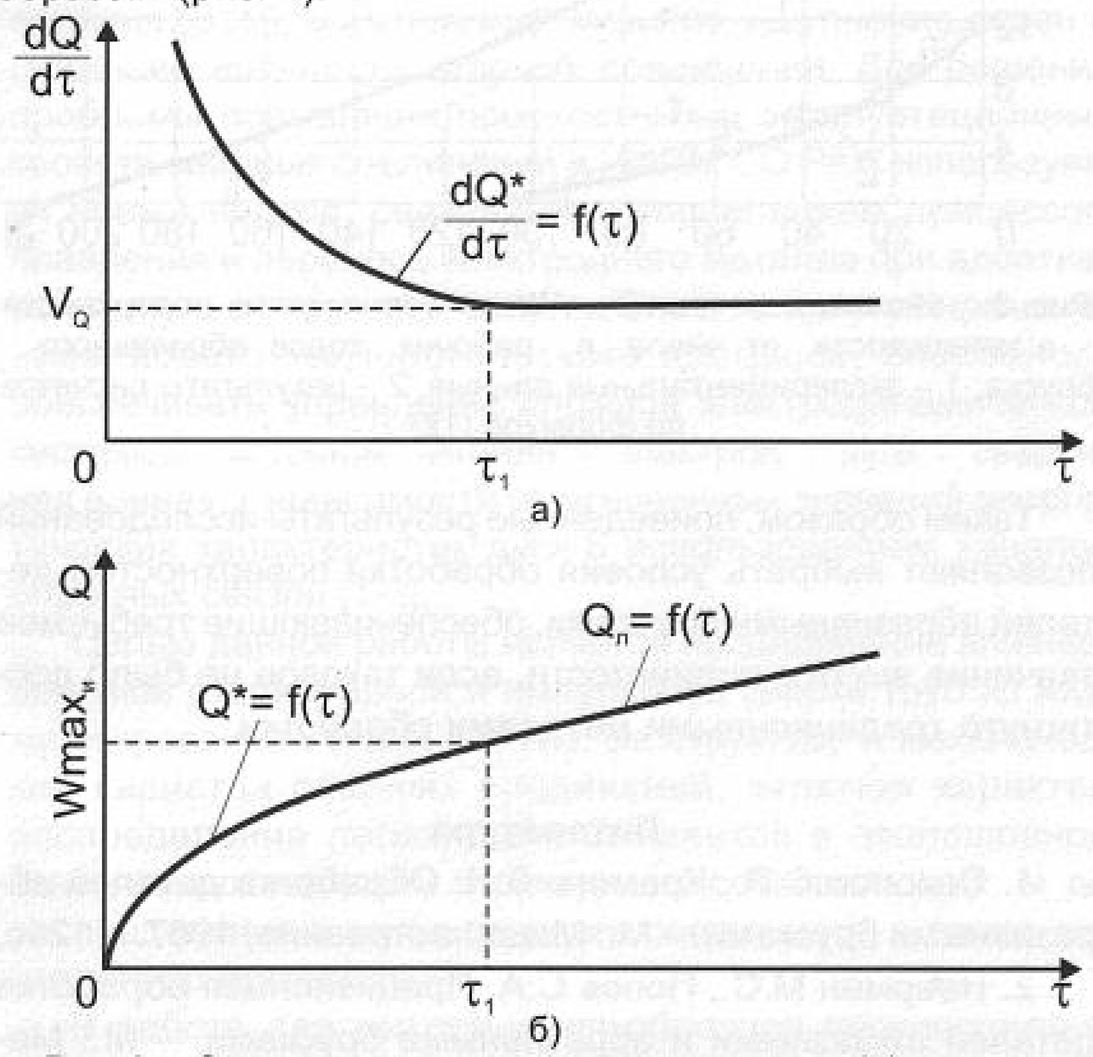


Рис. 1. Зависимости скорости съема металла (а) и съема металла (б) во времени

Из рисунка видно, что до момента времени τ_1 (где τ_1 – время, за которое удаляются волнистость с обрабатываемой поверхности) происходит непрерывное снижение скорости съема металла, которая затем стабилизируется и принимает значение равное V_Q. Это приведет к тому, что в начале процесса обработки будет наблюдаться наиболее интенсивный съем металла. В дальнейшем активность рассматриваемого процесса снижается и становится равномерной во времени.

Структуру формулы для расчета съема металла при установившемся процессе обработки можно определить из уравнения (1) путем его интегрирования:

$$Qл = CpL$$

В этой формуле неизвестно значение коэффициента C, которое зависит от конкретных условий обработки. Автором было получено следующее аналитическое выражение для этого коэффициента:

$$C = 0{,}27 k_Q \frac{l_з}{HB\rho},$$

где k_Q – расчетный коэффициент, учитывающий условия взаимодействия вершин зерен с металлом; $l_з$ – расстояние между вершинами зерен на рабочей поверхности бруска; HB – твердость обрабатываемого материала по Бринеллю; ρ – радиус округления вершин зерен.

Зависимости для расчета величин L можно получить, проанализировав возможные траектории перемещения абразивного бруска (брусков) относительно обрабатываемой поверхности (рис.2).

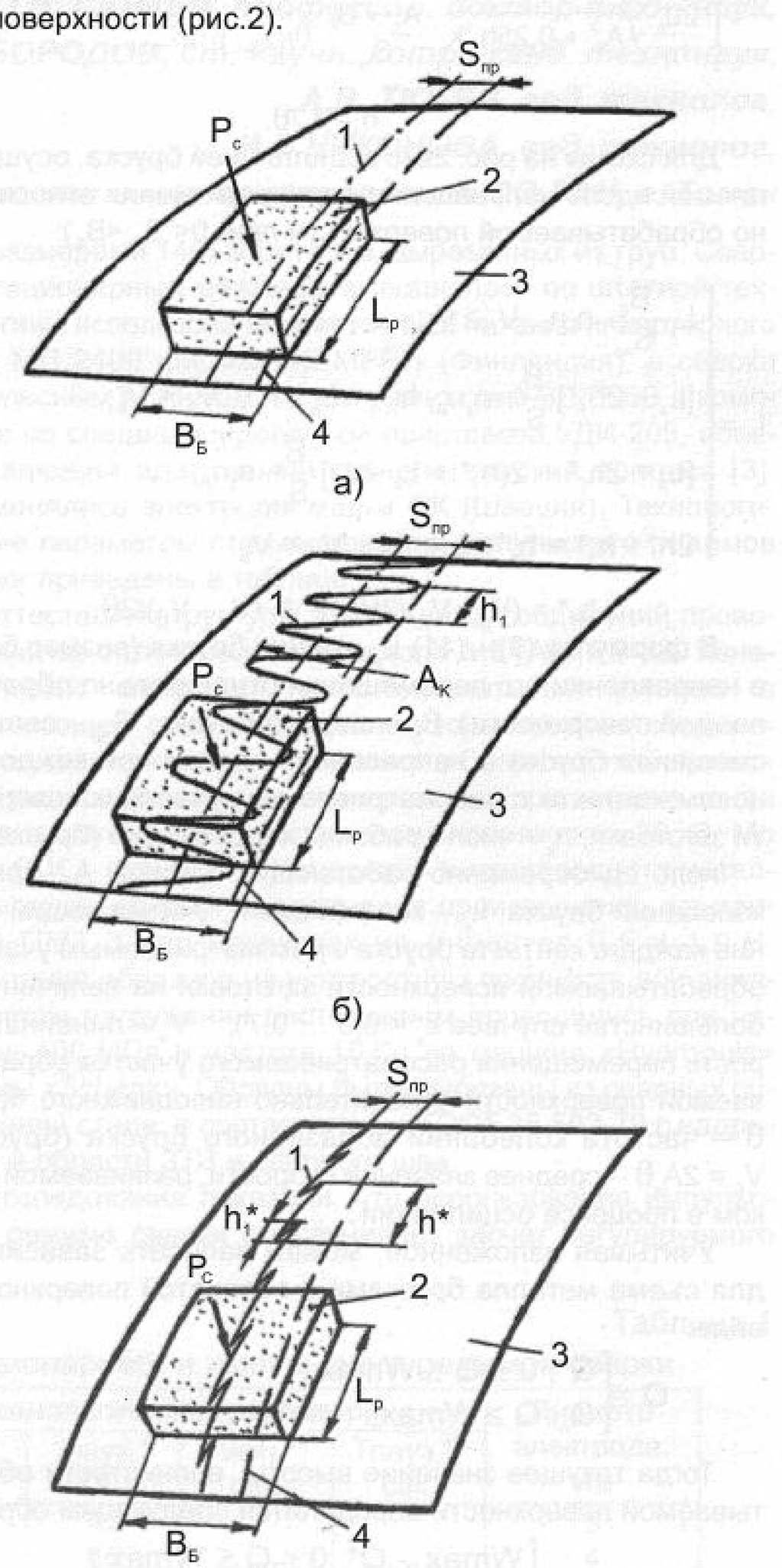


Рис. 2. Возможные траектории (1) перемещений бруска (2) относительно обрабатываемой поверхности (3): 4 – линия, вдоль которой перемещался брусок на предыдущем рабочем ходе; а – обработка без осцилляции бруска; б, в – обработка с осцилляцией бруска, осуществляемой соответственно перпендикулярно и вдоль направления его перемещения относительно заготовки

Для схемы на рис. 2а (без осцилляции бруска):

$$L = L_р \frac{B_Б}{S_{пр}} n_x n_Б,\ 0<S_{пр}<B_Б. \quad (9)$$

Для схемы на рис. 2б (с осцилляцией бруска, осуществляемой перпендикулярно направлению его перемещения относительно обрабатываемой поверхности, при $0< S_{пр}<B_Б$):

$$L = \begin{cases} 2\sqrt{A_к^2 + 0{,}25h_1^2 k_x}\ \dfrac{A_к + B_Б}{S_{пр}} \dfrac{L_р}{V_п} \theta n_x n_Б A_к \le B_Б,\ h_1<L_р; \\ \dfrac{2B_Б\sqrt{A_к^2 + 0{,}25h_1^2}}{A_к} k_x \dfrac{A_к + B_Б}{S_{пр}} \dfrac{L_р}{V_п} \theta n_x n_Б A_к \ge B_Б,\ h_1<L_р; \\ \dfrac{2L_р}{h_1}\sqrt{A_к^2 + 0{,}25h_1^2 k_x}\ \dfrac{A_к + B_Б}{S_{пр}} \theta n_x n_Б,\ h_1 \ge L_р. \end{cases} \quad (10)$$

$$h_1 = V_п/\theta.$$

Для схемы на рис. 2в (с осцилляцией бруска, осуществляемой вдоль направления его перемещения относительно обрабатываемой поверхности при $0< S_{пр}<B_Б$):

$$L = \begin{cases} L_р \dfrac{B_Б}{S_{пр}} n_x n_Б,\ V_п \ge V_Б; \\ [L_р + 2h_1^*]\dfrac{B_Б}{S_{пр}} n_x n_Б,\ h_1^* + L_р \le h^*,\ V_п < V_Б; \\ [L_р + 2h_1^* + 2(h_1^* + L_р - h^*)]\dfrac{B_Б}{S_{пр}} n_x n_Б, \\ 2h^* - h_1^* > h_1^* + L_р \ge h^*,\ V_п < V_Б. \end{cases} \quad (11)$$

$$h_1^* = (V_Б - V_п)/2\theta;\ h^* = (V_Б - V_п)/2\theta.$$

В формулах (9) – (11) $L_р$ – длина бруска (размер бруска в направлении его перемещения относительно обрабатываемой поверхности); $B_Б$ – ширина бруска; $S_{пр}$ – величина смещения бруска в направлении подачи при каждом его новом контакте с рассматриваемым участком поверхности заготовки; n_x – число рабочих ходов бруска (брусков); $n_Б$ – число одновременно работающих брусков; $A_к$ – размах колебаний бруска; k_x – коэффициент, учитывающий влияние каждого контакта бруска с рассматриваемым участком обрабатываемой поверхности заготовки на величину L (в большинстве случаев k_x = 0,5 … 0,7); $V_п$ – линейная скорость перемещения рассматриваемого участка обрабатываемой поверхности относительно неподвижного бруска; θ – частота колебаний абразивного бруска (брусков); $V_Б = 2A_к\theta$ – среднее значение скорости, развиваемой бруском в процессе осцилляции.

Учитывая изложенное, можем записать зависимость для съема металла брусками с волнистой поверхности в виде:

$$Q = \begin{cases} Q^*,\ 0 \le Q \le Wmax_и; \\ Q_л,\ Q \ge Wmax_и. \end{cases}$$

Тогда текущее значение высоты волнистости обрабатываемой поверхности определится следующим образом:

$$Wmax = \begin{cases} Wmax_и - Q^*,\ 0 \le Q \le Wmax_и; \\ 0,\ Q > Wmax_и. \end{cases} \quad (12)$$

Для подтверждения правомерности проведенных исследований были проведены эксперименты. На установке для шлифования плоских поверхностей абразивными брусками [5] обрабатывались призматические образцы из стали 9ХС (46…50 HRC), на которых была сформирована волнистость высотой 35 и 13 мкм. Обработка производилась по схеме на рис. 2б с усилием прижатия бруска к обрабатываемой поверхности 30Н и частотой колебаний 1300 мин$^{-1}$. Площадь рабочей поверхности бруска составляла около 30 мм^2, материал бруска – 25А40СТ18К. В экспериментах варьировалось число рабочих ходов бруска. После этого на профилографе-профилометре мод. 170311 измерялась высота волнистости поверхностей образцов и определялись её расчетные значения по приведенным зависимостям. Результаты сопоставления расчетных и экспериментальных значений высоты волнистости представлены на рис.3. Верхние кривые на этом рисунке относятся к образцам с большей исходной волнистостью, нижние – с меньшей исходной волнистостью. Видим, что наблюдается достаточно хорошее соответствие теоретических данных экспериментальным.

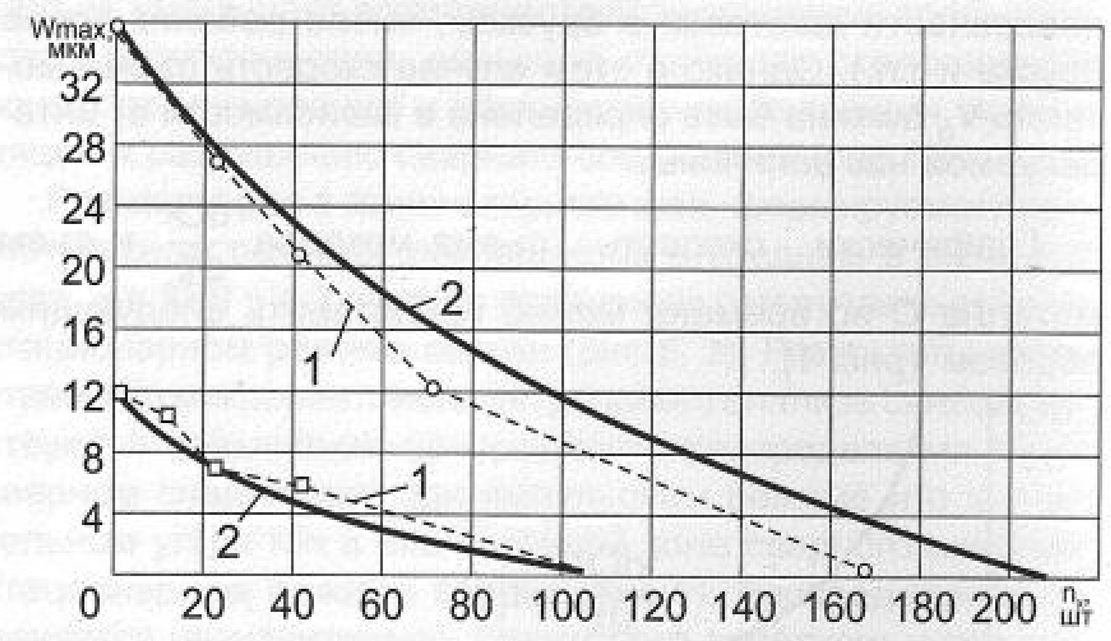


Рис. 3. Изменение высоты Wmax волнистости поверхности в зависимости от числа n_x рабочих ходов абразивного бруска: 1 – экспериментальные данные; 2 – результаты расчетов по формуле (12)

Таким образом, приведенные результаты исследований позволяют выбрать условия обработки поверхностей деталей абразивными брусками, обеспечивающие требуемое значение высоты волнистости, если таковое не было достигнуто традиционными методами обработки.

Литература

1. Соколов С.П., Кремень З.И. Обработка деталей абразивными брусками. – М.: Машиностроение, 1967. – 124с.

2. Наерман М.С., Попов С.А. Прецизионная обработка деталей алмазными и абразивными брусками. – М.: Машиностроение, 1971. – 224с.

3. Бишутин С.Г. Обеспечение требуемой совокупности параметров качества поверхностных слоев деталей при шлифовании: Монография. – М.: Машиностроение-1, 2004. – 144с.

4. Хрущев М.М., Бабичев М.А. Некоторые итоги изучения абразивного изнашивания материалов//Теория трения и износа: Сб. науч. тр. – М.: Наука, 1965. – С.138-142.

5. Бишутин С. Г., Захаров Л. А. Обеспечение требуемых параметров качества поверхностного слоя плоских поверхностей при обработке абразивными брусками// Контактная жёсткость. Износостойкость. Технологическое обеспечение: Сб. тр. междунар. науч. – техн. конф. посвящ. памяти д. т. н., проф. Рыжова Э. В. / Под общ. ред. д.т.н., проф. А. Г. Суслова. – Брянск, 2003. – С. 239 - 242.

Технология ремонта и восстановления работоспособности деталей машин

Е.А. КУДРЯШОВ, профессор, доктор техн. наук,
С.В. ЧЕТВЕРИКОВ, аспирант, ЧитГУ, г.Чита

Опыт работы машиностроительных предприятий Забайкалья свидетельствует о том, что сдерживающим фактором развития технологии ремонта изношенных деталей машин является отсутствие эффективных методик не только повторного использования большинства деталей после восстановления, но и самого изделия.

Известно, что восстановление изношенных поверхностей деталей является одним из важнейших показателей хозяйственной деятельности машиностроительных предприятий. Вторичное потребление восстановленных деталей, как правило, эффективнее, чем изготовление новых. Современная восстановительная технология располагает достаточным объемом средств и методов, с помощью которых изношенным деталям машин практически полностью возвращаются свойства новой детали.

В технологии машиностроения при ремонте деталей машин нашли применение технологические методы, которые можно разделить на две группы:

1) методы восстановления изношенных поверхностей металлов покрытиями;

2) восстановление изношенных поверхностей деталей без добавленного металла. Реализация технологических методов позволяет получить на изношенной поверхности детали слой необходимой толщины и химического состава, твердости и износостойкости при относительно невысокой себестоимости наращивания.

Традиционно восстановление размера, точности и твердости, а также износостойкости рабочих поверхностей деталей чаще всего достигается наплавкой материалов с заданными свойствами. Доля наплавочных способов составляет до 80 процентов валового объема и до 95 процентов номенклатуры восстанавливаемых деталей. Однако, несмотря на ряд достоинств, недостатком всех методов наплавки является термическое воздействие на металл детали, вызывающее ухудшение механических свойств металла в зоне термического воздействия.

Технологический процесс восстановления изношенной поверхности необходимо разделить на два самостоятельных этапа:

1) подготовительный – заключающийся в обработке изношенной поверхности для придания ей правильной геометрической формы путем удаления механических повреждений и дефектного слоя под последующее наращивание;

2) завершающий – восстановление утраченных качественных и точностных параметров обработкой наращенной поверхности.

Оба этапа механической обработки реализуются в сложных технологических условиях.

При подготовке изношенной поверхности под наплавку, процесс резания происходит при неравномерных припусках, в условиях ударной нагрузки, вибрации (на изношенной поверхности, как правило, находятся многочисленные раковины, макро- и микровыкрашивания, что создает прерывистость резания). В зависимости от характера дефектов изношенной поверхности и величины припуска может быть применена обработка на станках токарной, фрезерной, строгальной и шлифовальной группы. Методы, приемы и режимы обработки изношенных поверхностей деталей практически без особых изменений могут быть перенесены из традиционных технологических процессов изготовления в область ремонтных технологий, с учетом характера и состояния прерывистости обрабатываемой поверхности. Следует учитывать и специфические особенности технологии, присущие только ремонтному производству, а именно: технологический процесс механической обработки восстанавливаемой поверхности до, и особенно после наплавки, как правило, приходится осуществлять при смене первичных технологических баз, принятых при изготовлении деталей. Смена баз приводит к дополнительным погрешностям обработки, а нестабильность физико-механических свойств и величины припуска создают ряд проблем в достижении заданных качественных и точностных параметров.

На завершающем этапе восстановительного технологического процесса ограничением применения лезвийной механической обработки, по данным литературных источников, является предельно допустимая для традиционных инструментальных материалов (твердые сплавы) твердость наращенного слоя (HRCэ ≤ 40), а также неравномерный припуск, наплывы, неоднородность наплавленного металла, неметаллические включения. Процессы шлифования имеют ряд существенных недостатков, а именно: сложность сохранения размерной стойкости инструмента, невозможность обработки сложных конструктивных элементов наплавленной поверхности, шаржирование.

Производственные испытания свидетельствуют о перспективности применения на втором этапе лезвийных сверхтвердых материалов (композиты). Точение наплавленных поверхностей, предварительно обработанных твердосплавным инструментом, гарантировано обеспечивает точностные и качественные характеристики процесса.

Перспективным направлением повышения надежности и износостойкости деталей машин является применение геоактиваторов, которые вводятся в зону трения узлов механизмов машин через систему обеспечения топливом. Геоактиваторы или РВС (ремонтно-восстановительные составы) представляют собой мелкодисперсный порошок, изготовленный из геологических пород. Механизм воздействия суспензии на основе порошка на металлическую поверхность заключается в образовании металлокерамического защитного покрытия с лучшими антифрикционными свойствами и повышенной микротвердостью.

Для проверки эффективности РВС – технологии на Читинском машиностроительном заводе проведены испытания шарикоподшипника.

Подшипник поступил на испытания с пятнами коррозии по внутренней и внешней обоймам, сепаратору, дорожкам качения и телам качения. Очистка подшипника от коррозии не производилась, кроме продувки сжатым воздухом для ужесточения условий восстановления. При прокрутке подшипник издавал шумы с треском и характерным скрипом. Радиальный зазор по четырем диаметрально проти-

воположным точкам составил 25,0; 22,0; 23,0; 21,5 мкм. Средний радиальный зазор составил 22,875 мкм.

Процедура проверки эффективности РВС заключалась в нанесении на дорожку качения подшипника рабочей смазки: 3 мл. масла веретенного, 7 гр. литола и 0,3 гр. РВС. Подшипник устанавливался внутренним кольцом в патрон токарного станка, нагрузка на внешнюю обойму передавалась через латунную оправку резцедержателем станка.

Обкатка подшипника производилась при средней нагрузке на оборотах 710 в течение 15 мин; на оборотах 1000 в течение 15 мин.; на оборотах 1600 в течение 15 мин. После повторной набивки смазкой обкатка производилась на оборотах 710 в течение 5 мин.; на оборотах 1600 в течение 10 мин. После обкатки подшипник промывался в дизельном топливе и продувался сжатым воздухом.

Лабораторные испытания подтвердили эффективность применения РВС-технологий. После обработки дорожки качения очистились полностью от коррозии, вращение обоймы стало плавным без шумов. Радиальный зазор по четырем диаметрально противоположным точкам составил 21,0; 18,5; 19,0; 17,0 мкм.

Таким образом, обработка по РВС – технологии позволила компенсировать износ дорожек качения 17%, снизить трение и очистить поверхности качения и тела качения от коррозии.

Результаты исследования позволяют сформулировать основные требования к порядку разработки технологии ремонта и восстановления работоспособности деталей машин. В зависимости от физического состояния изношенной поверхности следует провести сортировку деталей на две группы:

1) детали с износом рабочих поверхностей в пределах допуска;

2) детали с износом рабочих поверхностей и механическими дефектами. Детали первой группы подвергаются восстановлению РВС – технологиями, детали второй группы обрабатываются твердыми сплавами под ремонтный размер, после наплавки проводится чистовая лезвийная обработка инструментами из композитов под рабочие размеры чертежа.

Литература

1. Кудряшов Е.А. Обработка деталей инструментом из композитов в осложненных технологических условиях – Чита: ЧитГУ, 2002. Том 1. – 257 с.

2. Кудряшов Е.А. Обработка деталей инструментом из композитов в осложненных технологических условиях – Чита: ЧитГУ, 2002. Том 2. – 290 с.

Совершенствование элементов станочных приспособлений для изготовления нежестких корпусных деталей

А.А.ЧЕРЕПАНОВ, доцент, канд. техн. наук, АлтГТУ им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

Основной причиной технологических трудностей при обработке нежестких деталей являются сравнительно высокие упругие свойства материалов, которые вызывают деформации на всех стадиях обработки, сборки и эксплуатации деталей. В свою очередь, упругие деформации приводят к нарушению технологических баз, погрешностям формы и размеров деталей, ограничению режимов резания. Данное обстоятельство обусловливает необходимость использования специализированных станочных приспособлений, повышающих жесткость технологической системы. Традиционно, для повышения жесткости при обработке тонкостенных корпусных деталей в рамках станочных приспособлений используют систему подводимых домкратов. Основным недостатком этих станочных приспособлений является значительное время на подготовку производства, обусловленное необходимостью настройки подво- димых домкратов на каждую заготовку и их фиксацию.

Сокращение времени на подготовку производства становится возможным с применением гибкой системы подводимых домкратов, обеспечивающих самоустановку и фиксацию домкратов в процессе обработки. Для эффективного конструирования такой технологической оснастки целесообразно использовать методологию поискового конструирования, позволяющую значительно интенсифицировать поисковые работы

На этапе предварительной постановки задачи предусматриваются ряд операций, включающих в себя: описание проблемной ситуации с указанием путей ее устранения; описание функции (назначения) технического объекта; выбор прототипа и формирование списка требований; составление списка недостатков прототипов; предварительная формулировка задачи, кратко обобщающая результаты, полученные при выполнении предыдущих операций.

Описание функции технического объекта содержит четкую и краткую характеристику технического средства, с помощью которого можно удовлетворить возникшую потребность.

Описание функции можно представить в виде трех компонент:

$$P = (D, G, H) \quad (1)$$

где D – указание действия, производимого рассматриваемым объектом и приводящего к желаемому результату; G – указание объекта, или предмета обработки, на который направлено действие D; H – указание особых условий и ограничений, при которых выполняется действие.

Для рассматриваемой проблемной ситуации, описание и пути решения которой приведены в начале статьи, описание функции выглядит следующим образом: «Приспособление, содержащее гибкую систему домкратов, позволяющих повысить жесткость технологической системы, устанавливает (базирует и закрепляет) (D) нежесткую заготовку корпусной детали (G) с габаритными размерами 300х200х100 с погрешностью установки не более 0,02 мм (H)».

В описании проблемной ситуации часто указывают прототипы, которые требуется усовершенствовать. При выборе прототипов рекомендуется использовать словари технических функций, международную классификацию изобретений, патентные описания, справочники, техническую литературу и т.п.

При разработке и проектировании технического объекта всегда имеет место определенный список требований, которым технический объект должен удовлетворять. Если

в таком наборе не будет учтено и выполнено хотя бы одно требование, то в созданном техническом объекте проявится хотя бы один существенный недостаток или он будет неработоспособен. Отсюда следует важность необходимого и достаточного списка требований. Список требований должен содержать:

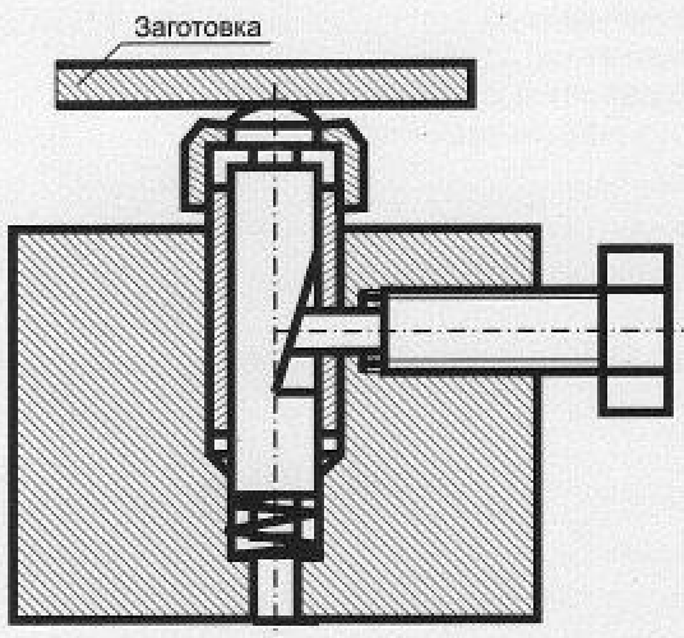
- функциональные требования, т.е. перечень количественных показателей производимого действия, количественных показателей объекта (предмета обработки), на который направлено действие технического объекта [1];

- требования и условия к выбору потоков веществ, энергии, сигналов на входе и выходе технического объекта; значения физических величин, характеризующих потоки; условия и ограничения на потоки, вызванные взаимодействием технического объекта с надсистемой и окружающей средой; условия и ограничения на потоки, связанные с их преобразованием внутри технического объекта;

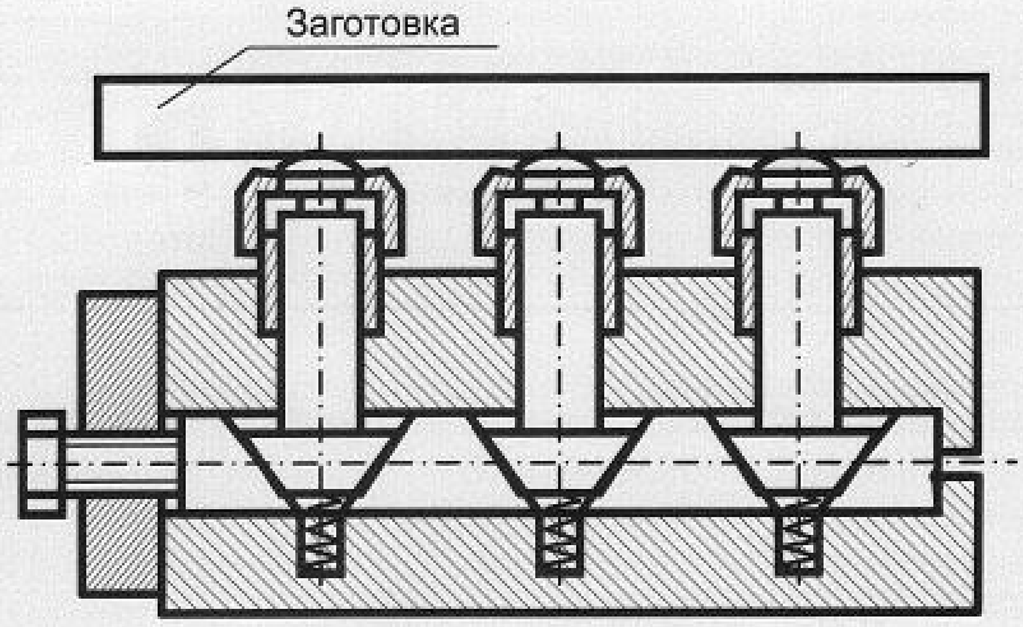
- требования, условия и ограничения, накладываемые на выбор основных материалов, используемых при реализации физико-технических эффектов;

- требования по массе, форме, габаритным размерам и компоновке; выбору используемых материалов и комплектующих изделий; способам и средствам соединения и связи элементов между собой; управлению и регулированию; безопасности эксплуатации; патентоспособности; лимитной цене и т. д.

В качестве прототипов были выбраны самоустанавливающийся пружинный домкрат и блок самоустанавливающихся пружинных домкратов (рис. 1).



а) Самоустанавливающийся пружинный домкрат
(Применяют для крепления нетяжелых и нежестких заготовок)



б) Блок самоустанавливающихся пружинных домкратов
(Применяют для подвода нескольких опор, расположенных на одной линии. В установленном положении опоры закрепляются болтом)

Рис.1. Эскизы прототипов

Недостатками прототипов являются: невысокая производительность обработки, обусловленная дополнительными затратами времени на фиксацию опор вручную до начала обработки; невысокая точность обработки маложестких деталей, объясняющаяся ненадежной фиксацией опор (самоотвинчивание болта), а также неплотным прилеганием опор к поверхности (прототип № 2), что вызывает вибрацию поверхности в ходе обработки; ограниченные технологические возможности, обусловленные расположением подводимых опор на одной линии (прототип № 2), что препятствует установки в приспособлении деталей сложной конфигурации.

Главная цель решения задачи – устранение недостатков.

Предварительная формулировка задачи содержит две части: «дано» и «требуется». Такое обобщение дает комплексное и легко обозримое представление о задаче.

Дано: а) Приспособление, содержащие пружинные домкраты, которое устанавливает (закрепляет и базирует) маложесткую заготовку корпусной детали с габаритными размерами 300Х200Х100 с погрешностью установки не более 0,02 мм.; б) перечень и описание возможных прототипов; в) списки недостатков прототипов.

Требуется так изменить существующие приспособления, чтобы:

1) Приспособление с установленными в нем подводимыми домкратами должно обеспечивать: точность обработки тонкостенной поверхности по 8 квалитету (толщина стенки); шероховатость R_a=2,5; время установки заготовки не более 0,6 мин;

2) Подводимая опора должна быть компактной, а ее конструкция и физический принцип действия должны позволять произвольное расположение в корпусе в зависимости от конфигурации нежесткой детали.

3) Стоимость приспособления с подводимыми опорами не должна превышать 2% стоимости оборудования.

На следующем этапе конструирования предусматривается анализ функций прототипов и построение улучшенной конструктивной функциональной структуры. Анализ функций прототипа осуществляется через построение конструктивной функциональной структуры.

Приведем пример построения конструктивной функциональной структуры для самоустанавливающегося пружинного домкрата (прототип № 1).

Построение конструктивной функциональной структуры проводится в следующей последовательности:

1) Разделение технического объекта на элементы;

2) Описание функций элементов;

3) Построение конструктивной функциональной структуры. Конструктивная функциональная структура представляет собой ориентированный граф, вершинами которого являются наименование элементов технического объекта и окружающей среды, а ребрами функции элементов.

В таблице 1 приведены конструктивные элементы пружинного домкрата и выполняемые ими функции, а на рисунке 2 – конструктивная функциональная структура домкрата.

Корректировка (улучшение) функциональной структуры обеспечивается благодаря: поиску новых функциональных элементов, обеспечивающих устранение недостатков прототипа или существенное повышение эффективности и качества технического объекта; исключению элементов для устранения недостатков прототипа; поиску элементов, которые целесообразно исключить и передать их функции другим элементам; поиску многофункциональных элементов, функций которых целесообразно разделить и

(Продолжение на 22 стр.)

НОВОСИБИРСКАЯ
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ
КОММЕРЧЕСКАЯ ФИРМА

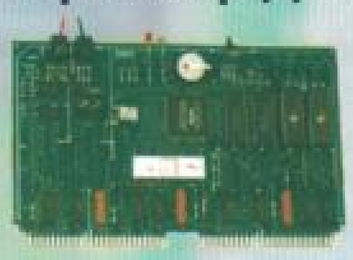
МАШСЕРВИСПРИБОР

630087, г. Новосибирск, пр. К. Маркса 30,офис 309.
Тел. (383-2) 46-37-79, e-mail: Msp@chpu.ru

НПКФ "Машсервисприбор" и ООО Станки РТМ предлагают за минимальную плату максимально повысить надёжность систем ЧПУ, путём уменьшения количества субблоков за счёт использования современной элементной базы. Результаты модернизации более двух сотен систем ЧПУ на десятках предприятий России подтвердили высокую надёжность и экономическую эффективность этого направления. Гарантия 3 года. **Подробности на сайте www.chpu.ru**

Варианты модернизации УЧПУ

Контроллер Д60.2

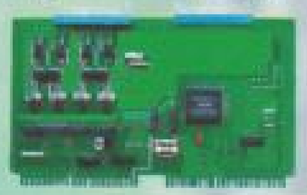


ЗАМЕНЯЕТ: в УЧПУ 2С42-65: МС1201.02, SB067, SB935(232), SB978(234) -3 шт, SB473, SB086, SB454, SB445, источник питания СН-12, "корзину" ЭВМ;
в УЧПУ 2Р22: МС1201.02(М2), SB978(046) -3шт, SB884,SB757, SB473,SB047,SB454, источник питания СН-12, "корзину" ЭВМ

Контроллер Д52.1

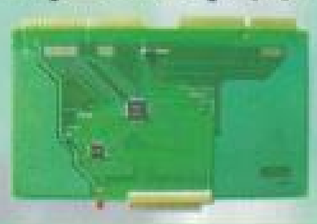
ЗАМЕНЯЕТ: в УЧПУ 2С42-65: Субблоки SB440, SB441, SB442, SB443, SB463, SB464, SB004, SB054(780), SB781, SB782, SB783, SB058;
в Учпу 2Р22: Субблоки SB443, SB463, SB464(050), SB058, SB780(054), SB781, SB782, SB783

Контроллер Д49.4



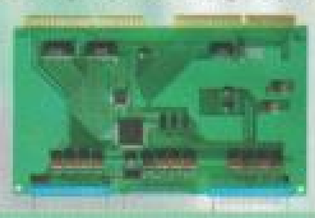
ЗАМЕНЯЕТ: 2 блока SB-449 в составе УЧПУ 2С42-65, 2Р22 и рекомендуется для восстановления и модернизации этих систем. Разработан на новой элементной базе

Контроллер Д70.1



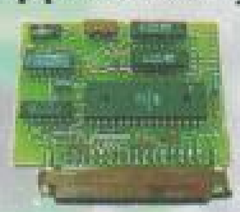
ЗАМЕНЯЕТ: в УЧПУ 2С42-65, 2Р22: субблоки SB-466, SB-465, SB-976, SB-775 Д70.1 работает с электронными картриджами ЭК64,ЭК256 на запись и считывание управляющих программ УЧПУ.

Контроллер Д893



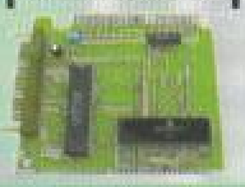
ЗАМЕНЯЕТ: в УЧПУ 2С42-65, 2Р22: субблоки SB893 - 3 шт.

Картридж ЭК64,ЭК256



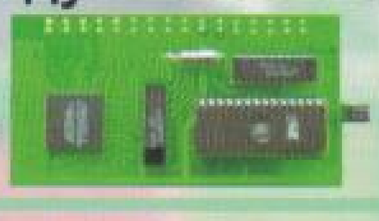
ПРЕДНАЗНАЧЕН для ввода и хранения управляющих программ, функционального программного обеспечения ЧПУ, параметров ЧПУ, корректоров и нулей станка, ввода тестов аппаратной части ЧПУ.

Программатор ЭПЗ



Плата программатора для записи управляющих программ в электронный картридж из персонального компьютера

Модуль 3500. ПЗУ



ЗАМЕНЯЕТ: в УЧПУ НЦ-31 ПЗУ в модуле ОЗУ (3500) позволяет простым переключением джампера устанавливать любую версию НЦ-31

ООО «СТАНКИ РТМ»

630087,г. Новосибирск,пр. К. Маркса 30,офис 316-1.
Тел.\Факс: (383-2) 46-39-81, e-mail: Msp@chpu.ru

Издательство «ИТО»

предлагает подписку
на «Комплект: ИТО»
через редакцию

В «Комплектах: ИТО» рассказывается о последних технологических достижениях в машиностроении.
Они предназначены для широкого круга руководителей и специалистов машиностроительных предприятий России и других стран СНГ

Каждый «Комплект: ИТО» включает:
журнал «ИТО: инструмент, технология, оборудование»,
газету «ИТОновости» о машиностроении, рынке оборудования и выставках по этой тематике.
В год выходит 12 «Комплектов: ИТО»

www.ito-news.ru

Стоимость подписки на один «Комплект: ИТО» через редакцию – 450 руб., включая НДС и почтовые расходы.
Подписку через редакцию можно осуществлять с любого номера.
Для этого необходимо отправить заявку по факсу (095) 366-98-00 или 369-57-08 или по E-mail: post@ito-news.ru
Бланк заявки Вы можете взять на сайте «Издательства: ИТО» – http://www.ito-news.ru в разделе «подписка»

«Комплекты: ИТО» будут направляться Вам ежемесячно заказной бандеролью

MVK

www.MVK.ru

105-34-97

МЕЖДУНАРОДНАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ НЕДЕЛЯ В «СОКОЛЬНИКАХ»

30 мая – 03 июня

МАШИНОСТРОЕНИЕ 2005

WWW.MASHEX.RU

ДИРЕКЦИЯ ВЫСТАВОК:
Тел.: (095) 105-34-97,
268-95-11, 268-99-14
E-mail: rlv@mvk.ru, info@mvk.ru

Российская ассоциация
«СТАНКОИНСТРУМЕНТ»
Тел.: (095) 209-57-43,
209-56-69, 209-59-21
Факс: (095) 209-38-11
E-mail: siass@tsr.ru

Соорганизатор выставки
«Подъемно-транспортное
и складское оборудование»:
MIZUNOV MEDIA GROUP
Тел./факс: (095) 730-09-95;
www.skladcom.ru

МОСКВА, КВЦ «СОКОЛЬНИКИ»

ВЫСТАВКИ:

MASHEX
МАШИНОСТРОЕНИЕ

РЕТЕКМАШ

МАШКОМП

ИНТЕХМАШ

МЕТРМАШ

ЭЛЕКМАШ

ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНОЕ
И СКЛАДСКОЕ
ОБОРУДОВАНИЕ

ПОДШИПНИКИ
(ИНБЕТЕК)

ЛИТЭКСПО

Организаторы:

Выставочный холдинг MVK

РОССИЙСКАЯ АССОЦИАЦИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ СТАНКОИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ «СТАНКОИНСТРУМЕНТ»

При содействии:

Mizunov Media Group

ВИРА МАЙНА

СОКОЛЬНИКИ

Информационный спонсор:

ИТО

(Продолжение, начало на 19 стр.)

Таблица 1

Конструктивные элементы пружинного домкрата и выполняемые ими функции

Элемент		Функция	
Обозначение	Наименование	Обозначение	Описание
E_0	Домкрат пружинный	F_0	Повышает жесткость заготовки (V_1), установленной в приспособление
E_1	Корпус	F_1^1 F_1^2 F_1^3	Базирует втулку (E_5) Базирует и перемещает болт (E_{32}) Базирует пружину (E_4)
E_2	Подводимая опора	F_2^1 F_2^2	Повышает жесткость заготовки (V_1), установленной в приспособление Размещает крышку (E_6)
E_3 E_{31} E_{32}	Фиксатор Сухарь Болт	F_3^1 F_{31}^1 F_{32}^1	Фиксирует подводимую опору (E_2) Фиксирует подводимую опору (E_2) Передает воздействие гаечного ключа (V_2) на сухарь (E_{31})
E_4	Пружина	F_4^1	Поджимает подводимую опору (E_2) к заготовке (V_1)
E_5	Втулка	F_5^1 F_5^2 F_5^3	Защищает корпус (E_1) от износа Направляет движение подводимой опоры (E_2) Размещает крышку (E_6)
E_6	Крышка	F_6^1	Препятствует проникновению пыли и стружки в зазор между втулкой (E_5) и опорой подводимой (E_2)

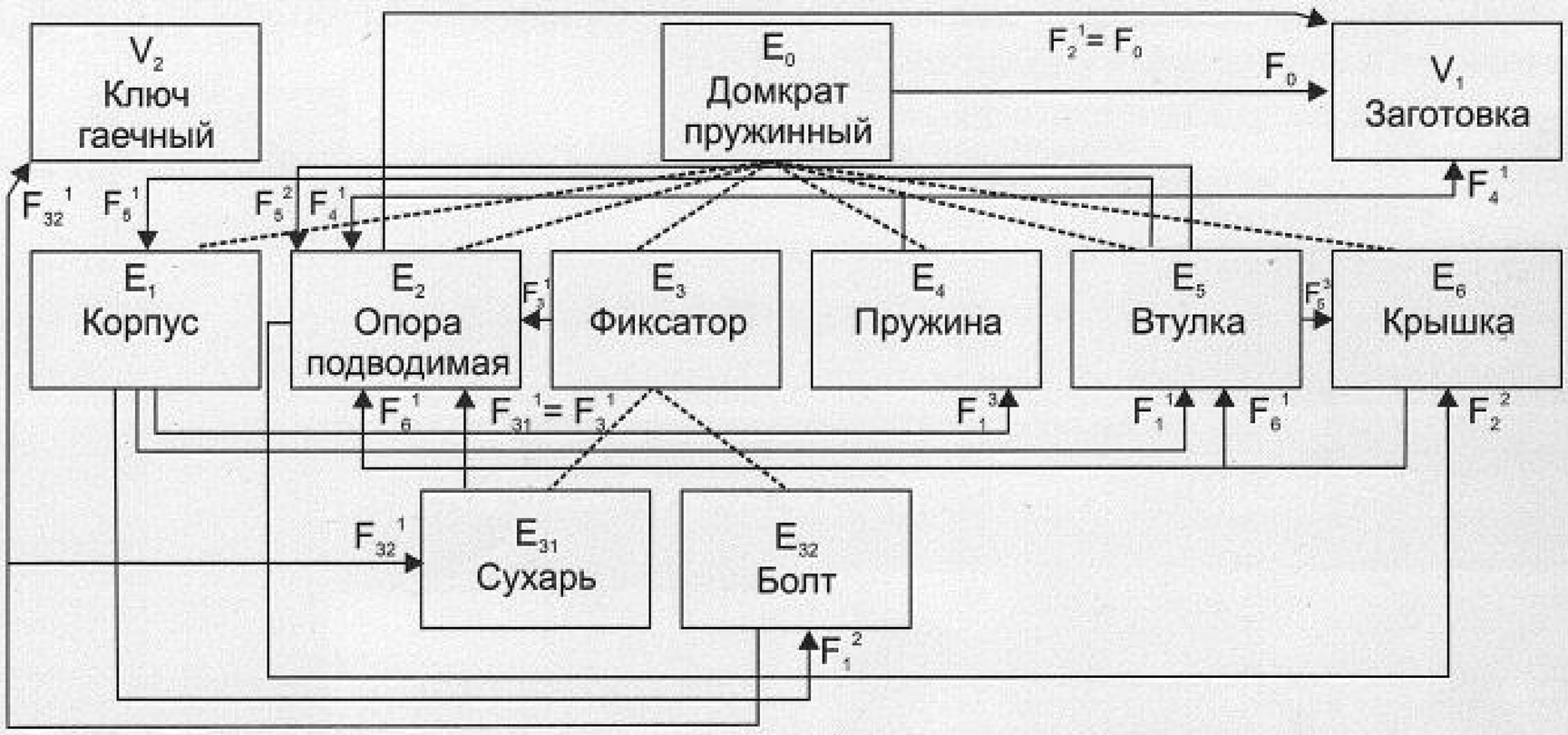


Рис. 2. Конструктивная функциональная структура пружинного самоустанавливающегося домкрата

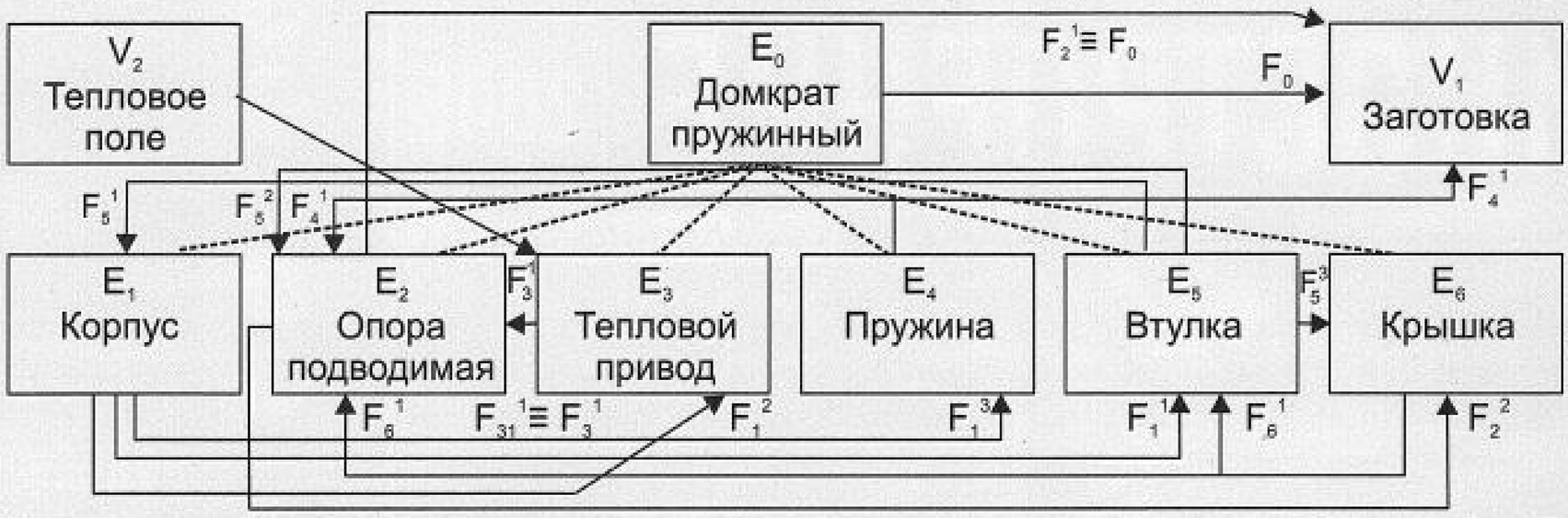


Рис. 3. Улучшенная конструктивная функциональная структура пружинного самоустанавливающегося домкрата

ввести вместо одного два и более элементов. При корректировке структуры могут предлагаться новые физические принципы действия, с помощью которых становится возможным устранение недостатков прототипов или повышение их эффективности.

После проведения поисковых исследований строят улучшенную конструктивную функциональную структуру. На рисунке 3 приведен пример улучшенной конструктивной функциональной структуры для пружинного самоустанавливающегося домкрата (прототип 1).

Из рисунка 3 видно, что в структуре применяется новый физический принцип действия, основанный на использовании тепловой энергии для управления жесткостью технологической системы. Реализация данного принципа обусловливает появление в структуре новых элементов (тепловой привод), исключение ряда существующих элементов (сухарь, болт и т.д.) и появление новых функций:

- F_3^1 – адаптивно менять силу прижима подводимой опоры (E_2) к заготовке;
- F_1^2 – базировать тепловой привод (E_3).

На рассматриваемом этапе конструирования могут предлагаться множество улучшенных конструктивных функциональных структур и вариантов их реализации. Фактически на этом этапе определяется перечень необходимых и достаточных функций, которыми должен обладать технический объект, предлагается список физических принципов действия, которые способны реализовывать функции, уточняется список недостатков, подлежащих устранению.

Следующим этапом конструирования является материальная реализация конструктивно-функциональных структур, отвечающим поставленным требованиям.

На рис.4 схематично представлено одно из возможных технических решений, отражающих приведенную на рис.3 конструктивную функциональную структуру домкрата.

Блок пружинных домкратов с тепловым приводом для обработки маложестких деталей работает следующим образом. Перед началом работы заготовка 7 устанавливается в приспособление на опоры 4, положение которых задается условиями обработки. В процессе обработки

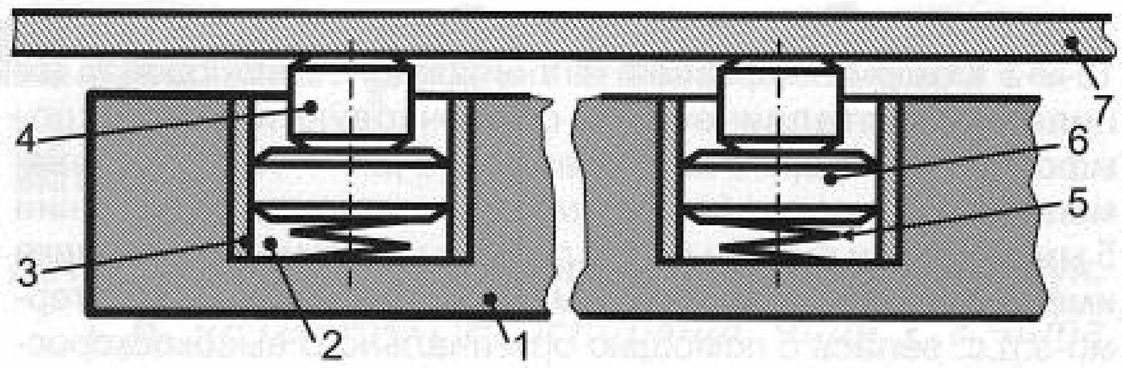


Рис.4. Блок пружинных домкратов с тепловым приводом

(например, фрезерования плоскости) усиливается тепловыделение в зоне резания и увеличивается нагрев тонкой стенки заготовки. Опора 4, выполненная из материала с высоким коэффициентом линейного расширения (например, нитинола), под действием температуры удлиняется, что приводит к сжатию упругого элемента 5. При этом увеличивается сила прижима данной опоры 4 к поверхности обрабатываемой детали 7 и, следовательно, жесткость технологической системы. Происходит уравновешивание силы резания силой прижима. Регулирование силы прижима для различных условий обработки осуществляется выбором жесткости упругих элементов 5, материала с высоким коэффициентом линейного расширения, из которого выполнены опоры 4, и высотой дисков 6. Недостатком описанного технического решения является высокая инерция срабатывания подводимой опоры.

Литература

1. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с., ил.

Методика определения скорости охлаждения бронзы Бр. ОСЦН 10-13-2-2 при литье в формы с разной теплопроводностью

А.В. КОРЧМИТ, ассистент,
Ю.П. ЕГОРОВ, доцент, канд. техн. наук.,ТПУ, г. Томск

Оловянистые бронзы относятся к металлическим материалам, известным с давних времен, однако, несмотря на это, их строение и свойства изучены еще недостаточно. Особенно мало исследованы применяемые в промышленности сложные бронзы, в состав которых кроме олова входят цинк, свинец, никель и другие элементы [1].

Закономерности формирования структуры и свойств от условий литья у большинства оловянисто-свинцовистых бронз схожи. Поэтому в качестве основного материала для исследований принята пятикомпонентная оловянистая бронза Бр. ОСЦН 10-13-2-2, применяемая для изготовления сегментных уплотнений компрессора для сжатия этилена. Химический состав бронзы Бр. ОСЦН 10-13-2-2 приведен в таблице 1.

Таблица 1

Sn	Pb	Zn	Ni	Cu
9,5-10	12-13	2-3	2	остальное

Химический состав Бр. ОСЦН 10-13-2-2, % (по массе)

На формирование структуры и свойств отливок из многокомпонентных бронз одновременно оказывают влияние ряд технологических факторов, таких как температура заливки (теплосодержание расплава), теплоаккумулирующая способность формы (скорость охлаждения), скорость заливки, и некоторые другие.

В данной работе определяли скорость охлаждения бронзы Бр. ОСЦН 10-13-2-2 в формах с разной теплопроводностью. Для исследований использовали формы с различной теплопроводностью: металлические (стальные), оболочковые и алюмохромфосфатные. Предполагается, что скорость охлаждения в алюмохромфосфатных формах близка к скорости охлаждения в песчано-глинистых формах. Температуры заливки - 1050°С и 1220°С. Температуру контролировали с помощью быстродействующего оптического пирометра ТПТ-90 с лазерным наведением фирмы Agema (Швеция). Скорость действия пирометра – 0,7 °С/сек., погрешность измерения прибора ± 1°С. Плавку проводили в высокочастотной индукционной тигельной печи ВЧГ2-100/0,066 из технически чистых металлов в графитовом тигле. Расплав перегревали перед разливкой на 50…70°С, раскисляли фосфористой медью, а затем подстуживали до требуемой температуры.

Для определения скорости охлаждения Бр. ОСЦН 10-13-2-2 в формах с разной теплопроводностью, бронзу заливали в металлическую, оболочковую и алюмохромфосфатную формы как показано на рис.1. Хромель-алюмелевую термопару (d=0,3 мм) располагали на расстоянии 5 мм от стенки формы на 1/2 глубины. Полученная отливка имела размеры 80Х15Х15 мм. Регистрация значений термо-э.д.с. велась с помощью оригинального высокоскоростного прибора «Термограф», разработанного на кафедре ПМЭ Томского политехнического университета доцентами Солдатовым А.И. и Цехановским С.А. Прибор способен регистрировать 40 значений термо-э.д.с. в секунду и вносить в память 1600 показаний. Объем памяти прибора позволяет сохранять 16 кривых охлаждения. Далее обработка результатов и построение графических зависимостей велись при помощи компьютерной программы.

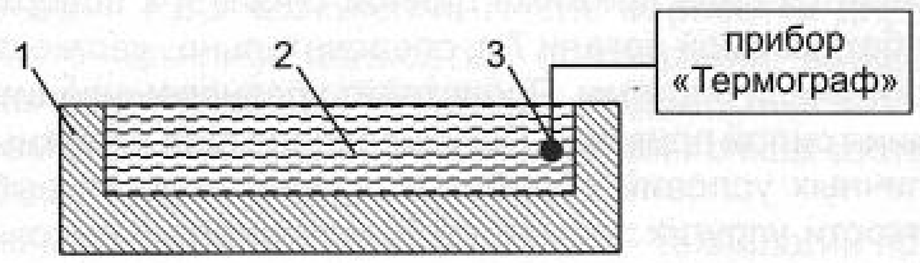


Рис. 1. Схема определения скорости охлаждения Бр. ОСЦН 10-13-2-2 в формах с разной теплопроводностью: 1- форма (металлическая, оболочковая, алюмохромфосфатная); 2- расплав; 3- хромель-алюмелевая термопара

Расчет скоростей охлаждения проводили по формуле:

$$V_{охл} = \frac{T_1 - T_2}{\tau_i}, \quad (1)$$

где $(T_1 - T_2)$ – заданный температурный интервал,
τ_i – время кристаллизации в данном интервале.

Бронза Бр. ОСЦН 10-13-2-2 кристаллизуется в интервале температур. Согласно диаграмме состояния Cu-Sn [2], температура ликвидуса бинарной бронзы с содержанием 10% Sn лежит в пределах 1010±5°С. Никель повышает температуру плавления [3], в то время как свинец и цинк снижают ее [1]. Таким образом, предполагаемая температура начала кристаллизации бронзы Бр. ОСЦН 10-13-2-2 приблизительно равна 1010±10°С [3].

Температура солидуса Бр. ОСЦН 10-13-2-2, учитывая, что нашем случае бронза кристаллизуется в неравновесных условиях, равна 800°С и совпадает с температурой перитектического превращения $\alpha \longleftrightarrow \beta$ [1].

За расчетный температурный интервал выбрали эффективный интервал кристаллизации (1000 - 800)°С, полагая, что в нем формируются кристаллы α и β – фаз, от строения которых, в конечном счете, зависит распределение и морфология вторичных фаз – эвтектоида $(\alpha+\delta)$ и легкоплавкой свинцовой составляющей. Подставляя в формулу (1) расчетные температурные интервалы кристаллизации в различных формах и время кристаллизации в них, получим следующие результаты (таблица 2).

Таблица 2

Форма	Температура заливки, °С	Скорость охлаждения $V_{охл}$, °/сек (в интервале 1000-800°С)
металлическая	1050	78,1
	1220	110,8
оболочковая	1050	8,26
	1220	7,15
алюмохром-фосфатная	1050	1,18
	1220	0,446

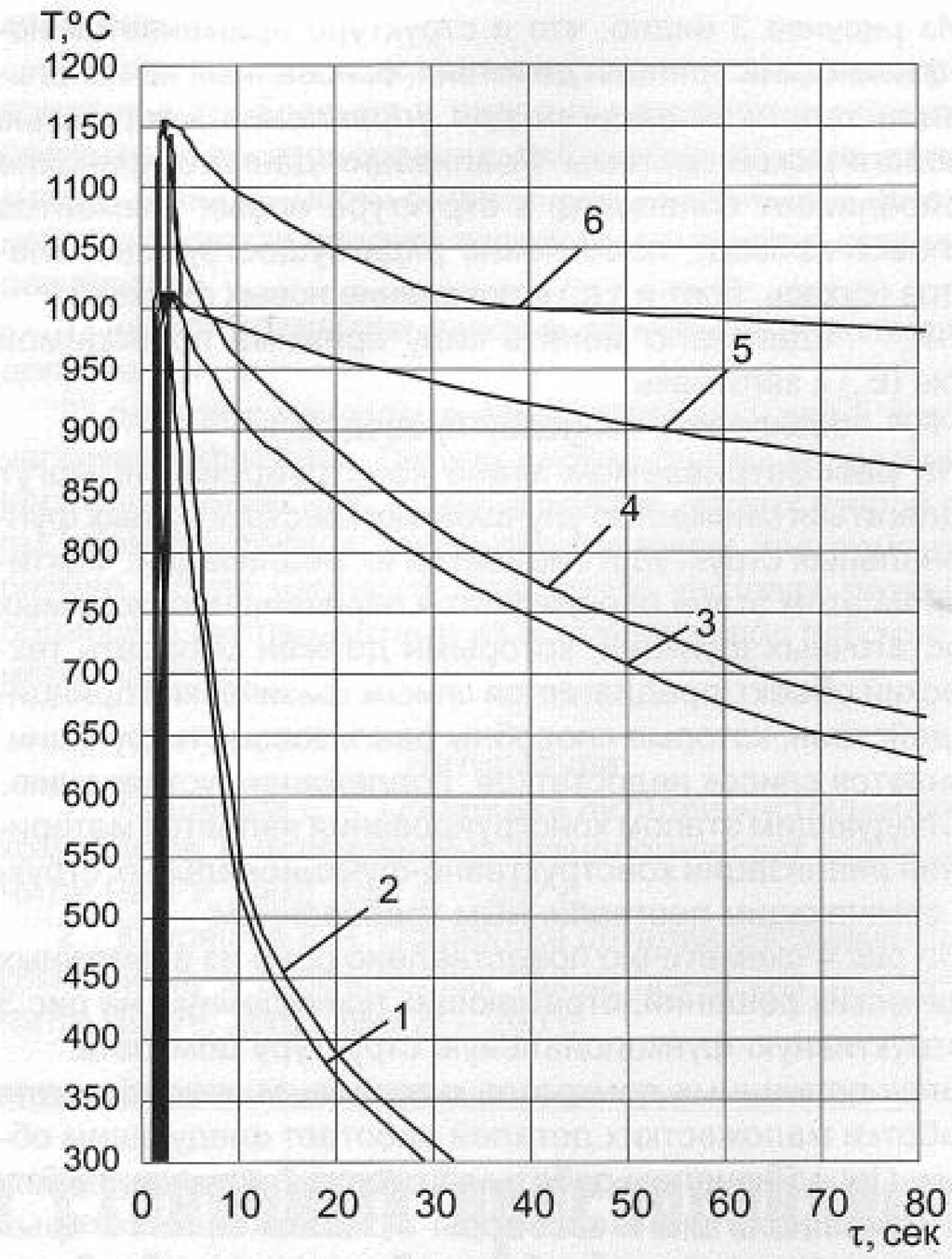


Рис.2. Кривые охлаждения Бр. ОСЦН 10-13-2-2 отлитой в формы с разной теплопроводностью:
1- в кокиль при 1050 °С,
2- в кокиль при 1220 °С,
3- в оболочковые формы при 1050 °С,
4- в оболочковые формы при 1220 °С,
5- в алюмохромфос-фатные формы при 1050 °С,
6- в алюмохромфосфатные формы при 1220 °С

Анализ кривых охлаждения отливок (рис.2.), залитых при температуре расплава 1050°С и 1220°С в формы с разной теплопроводностью и данные таблицы 2, показали, что наибольшая скорость охлаждения расплава в температурном интервале кристаллизации (1000...800°С) наблюдается в металлической форме при температуре заливки 1220°С (кривая 1), а наименьшая - в алюмохромфосфатной при той же температуре заливки (кривая 6). Скорость охлаждения в металлической форме в10..15 раз выше, чем в оболочковой и в 100..150 раз выше чем в алюмохромфосфатной.

Таким образом, при литье в кокиль перегрев расплава ведет к повышению скорости охлаждения, а при литье в алюмохромфосфатные формы, наоборот, к снижению. По всей видимости, связано это с тем, что алюмохромфосфатная форма, обладающая низкой теплопроводностью, при заливке перегретого расплава не отводит тепло, а задерживает, замедляя процесс кристаллизации. Массивный кокиль, благодаря большой теплоотдаче, успевает отводить тепло подобно металлической водоохлаждаемой форме. Отливки, залитые с разных температур, кристаллизуются примерно в одном промежутке времени, и поэтому скорость охлаждения в кокиле тем выше, чем выше температура заливаемого сплава.

Полученные результаты позволяют проводить дальнейшие исследования и устанавливать зависимости формирования структуры и свойств отливок из бронзы Бр. ОСЦН 10-13-2-2 от скорости охлаждения.

Литературы

1. Червякова В.В., Пресняков А.А. Сложные латуни и бронзы. – Алма – Ата: Наука, 1974. – 262 с.
2. Лебедев К.П., Райнес Л.С., Шеметев Г.Ф., Горячев А.Д. Литейные бронзы. – М. – Л.: Машиностроитель, 1973. – 311 с.
3. Смирягин А.П., Смирягина Н.А., Белова А.В. Промышленные цветные металлы и сплавы: Справочник. – М.: Металлургия, 1974. – 485 с.

Влияние режима сварки на формирование структуры и свойства сварных соединений

Ю.Н. САРАЕВ, профессор, доктор техн. наук,
В.П.БЕЗБОРОДОВ, ст. научн. сотр., канд. техн. наук,
А.В. ТЮТЕВ, вед. технолог,
И.В.НИКОНОВА, вед. технолог,
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск

Трубы диаметром 1020 мм для нефте- и газопроводов из стали 17Г1СУ используются в тяжелых условиях эксплуатации при знакопеременных нагрузках и низких температурах. При сварке такой стали стационарной дугой возникает перегрев металлов шва и зоны термического влияния (ЗТВ), вызывающий сильное укрупнение зерен и снижение прочности сварных соединений. Для решения проблемы повышения прочностных и эксплуатационных свойств сварных соединений в ИФПМ СО РАН используется новый подход, связанный с управлением процессом плавления и переноса электродного металла при адаптивной импульсно-дуговой сварке. Это достигается применением нового технологического процесса, способного обеспечивать управление сложной электродинамической системой «источник питания – электрод – дуга – сварочная ванна» в зависимости от мгновенных значений энергетических характеристик дуги с использованием каналов обратных связей [1-3].

Целью данной работы является исследование влияния режимов стационарной и импульсной сварки труб из низколегированной стали 17Г1СУ на структуру и механические свойства сварных соединений, включая характер распределения легирующих элементов в околошовной зоне, микротвердость структурных составляющих и ее распределение в зонах сварного соединения, а также усталостную прочность.

В работе для изготовления образцов производилась сварка стационарным и импульсным режимами фрагментов размерами 140х300х14 мм, вырезанных из труб. Сварка стационарным режимом выполнялась по штатной технологии с использованием источника питания инверторного типа МП 2400 фирмы «KEMPPI» (Финляндия), а сварка импульсным режимом – с выпрямителем ВД-306Э в комплекте со специализированной приставкой УДИ-205, обеспечивающей адаптивный технологический процесс [3]. Применялись электроды марки ОК (Швеция). Технологические параметры стационарного и импульсного режимов сварки приведены в таблице 1.

Аттестация структуры зон сварных соединений проводилась на оптическом микроскопе МЕТАМ РВ-23. Качественный микрорентгеноспектральный анализ в заполняющем слое околошовной зоны сварных соединений осуществлялся на установке «Camebax microbeam» методом поверхностного сканирования при ширине зонда 2 мкм и шаге 20 мкм, ускоряющем напряжении 20 кВ, Mn K_α - и Si K_α - излучении. Измерения микротвердости металлов в зонах сварного соединения производились на приборе ПМТ-3 при нагрузках на индентор 0,5 и 1,0 Н. Испытания образцов на усталостную прочность при динамическом нагружении растяжением проводились при нагрузке 400 МПа и частоте 10 Гц на машине «Hydropuls» фирмы «Schenk». Образцы были вырезаны из сварных соединений стали в соответствии с ГОСТ 25.502-79 с надрезами в области ЗТВ и сварного шва.

Исследования показали, что использование импульсного режима сварки обеспечивает засчет регулируемого

Таблица 1

Марки электродов и технологические параметры стационарного и импульсного режимов сварки

Режим сварки	Применяемые марки электродов для слоев шва	Технологические параметры				Диаметр электрода, мм
		Iимп,* А	Iпауз,* А	Тимп,** сек.	Тпауз,** сек.	
Импульсный	Корень - ОК 53.70	100	45	0,25	0,25	3
	Заполнение 1.- ОК 74.70	180	65			4
	Заполнение 2.- ОК 74.70	200	70			4
	Облицовка - ОК 74.70	200	70			4
Стационарный	Корень - ОК 53.70	80-85		–	–	3
	Заполнение 1.- ОК 74.70	140	–			4
	Заполнение 2. - ОК 74.70	140	–			4
	Облицовка - ОК 74.70	145	–			4

* – ток импульса и ток паузы ** – период импульса и период паузы

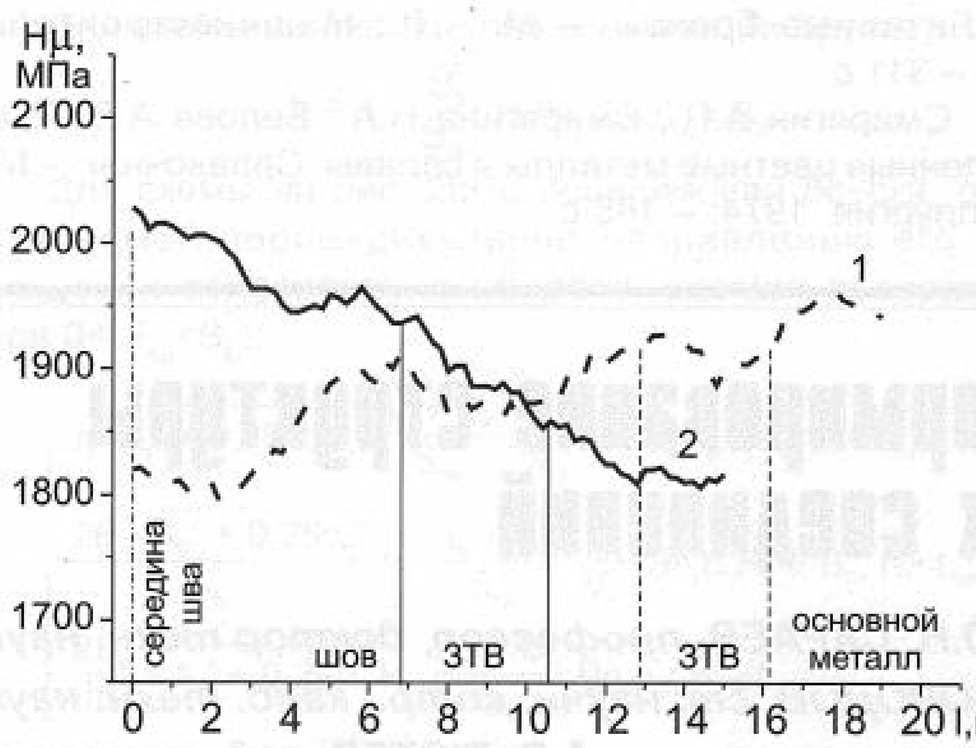
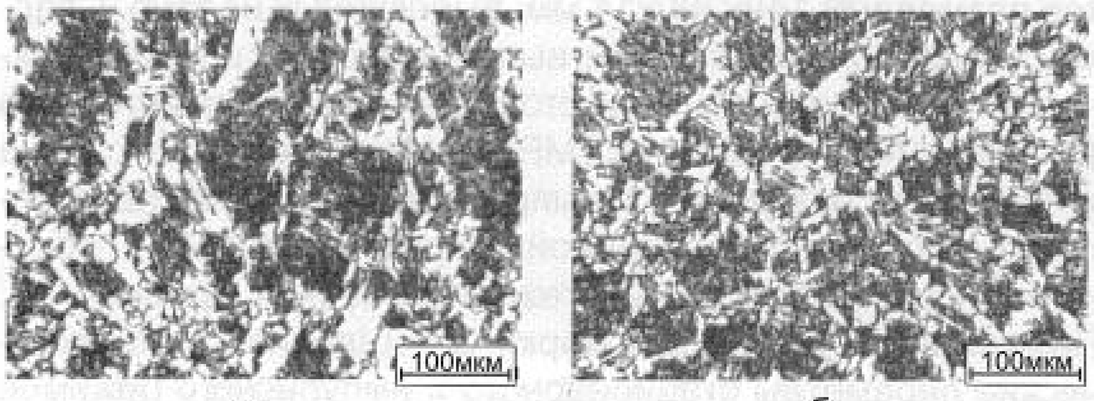
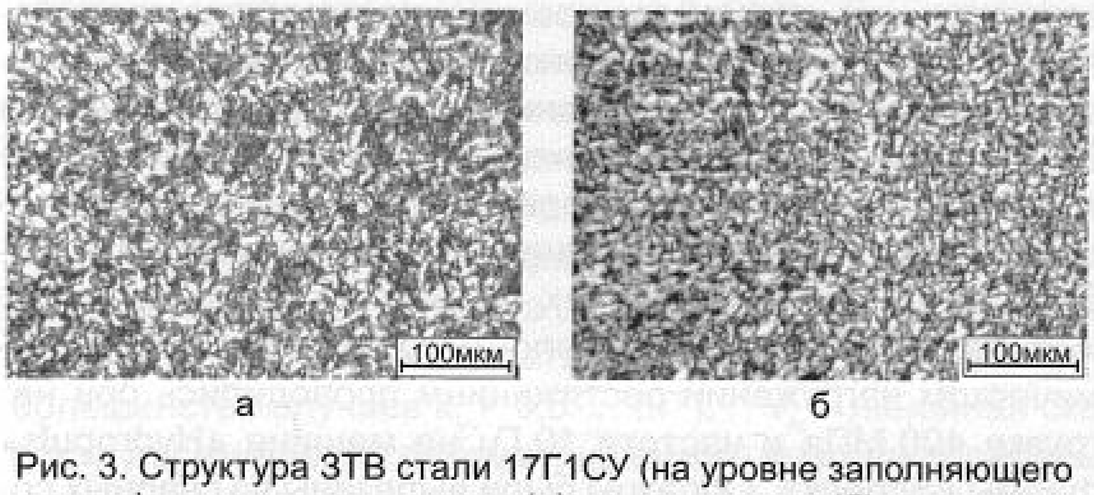


Рис. 1. Распределение микротвердости в сварном соединение стали 17Г1СУ (вдоль облицовочного слоя от середины шва к основному металлу) при стационарном (1) и импульсном (2) режимах сварки



а б

Рис. 2. Структура металла шва в облицовочном слое сварного соединения стали 17Г1СУ после стационарного (а) и импульсного (б) режимов сварки, х140



а б

Рис. 3. Структура ЗТВ стали 17Г1СУ (на уровне заполняющего слоя) после стационарного (а) и импульсного (б) режимов сварки, х140

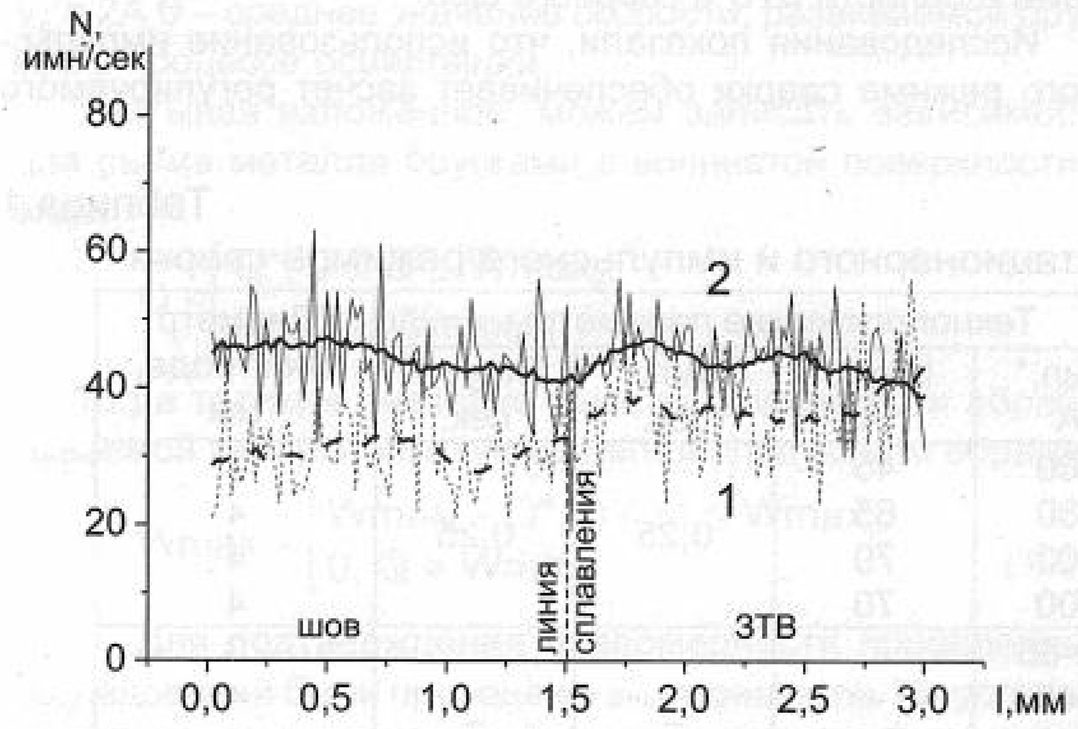


Рис.4. Распределение Mn в заполняющем слое околошовной зоны сварного соединения стали 17Г1СУ после стационарного (1) и импульсного (2) режимов сварки

Таблица 2

Усталостная прочность металла шва и ЗТВ сварных соединений стали 17Г1СУ, полученных электродом марки ОК

Зона сварного соединения	Число циклов до разрушения при режимах сварки	
	стационарный	импульсный
Шов	70255	122055
ЗТВ	79470	114880

ввода тепла в изделие значительное измельчение структуры металла шва и ЗТВ - наиболее подверженной структурным изменениям [2,3], что предотвращает резкое падение микротвердости и прочности в этой зоне и, тем самым, уменьшает возможность возникновения здесь участков разупрочнения, повышая стойкость околошовной зоны к возникновению и распространению трещин, приводящих к разрушению сварного соединения (рис.1).

Размер зерна в зонах сварного шва, формируемого при импульсном режиме, уменьшается в среднем в 1,5 – 2,5 раза, а в ЗТВ ~ в 2 раза по сравнению с получаемыми при стационарном режиме сварки (рис.2, 3). Результаты качественного микрорентгеноспектрального анализа свидетельствуют о повышении однородности распределения Mn в сварном соединении при импульсном режиме и о значительном угаре Mn в околошовной зоне сварного шва при стационарном режиме сварки (рис.4). Распределение Si меняется незначительно. Отсутствие заметного угара металла (Mn) объясняется снижением тепловложений и мелкокапельным переносом электродного металла в сварочную ванну при формировании шва. Произошедшие изменения состава (Mn) и структуры способствуют снижению послесварочных деформаций и увеличению механических свойств сварных соединений. Испытания показали, что усталостная прочность образцов после импульсно-дуговой сварки выше чем при стационарном режиме в 1,4 раза в области ЗТВ и в 1,7 раз в металле шва (табл. 2).

Таким образом, при использовании импульсного режима сварки повышается однородность распределения Mn в шве и снижается его угар, повышается однородность распределения твердости и дисперсность структуры. Благодаря этому повышается усталостная прочность сварных соединений труб из исследуемой стали и увеличивается их эксплуатационная надежность.

Литература

1. Сараев Ю.Н. Импульсные технологические процессы сварки и наплавки. Новосибирск: Наука, 1994, 108 с.

2. Сараев Ю.Н., Полетика И.М., Козлов А.В., Кирилова Н.В., Никонова И.В. Влияние режима сварки на структуру, распределение твердости и механические свойства в сварных соединениях паропровода //Сварочное производство, 2002, № 8, С. 3-8.

3. Сараев Ю.Н., Безбородов В.П., Тютев А.В., Никонова И.В., Полетика И.М., Кирилова Н.В., Козлов А.В., Екимов В.С., Севастьянов С.П. Повышение механических свойств и структура неразъемных соединений труб нефте- и газопроводов из низколегированных марганцовистых сталей после импульсной сварки. //Технология машиностроения, 2003, № 6, С.41-44.

Износостойкость композиционного материала на основе карбида титана

П.В. БУРКОВ, доцент, канд. техн. наук, ТПУ, г. Томск

Между качеством инструмента и некоторыми свойствами инструментальных материалов, как, например, твердость или износостойкость, не существует простой зависимости. Износостойкость не является исключительным свойством инструментального материала, а характеризует сложное взаимодействие инструмента и материала заготовки, зависящее в значительной степени от режимов резания. Вопрос качества инструмента не может быть простым, однако поведение основных групп инструментальных материалов в зависимости от структуры, свойств и состава исследуются с целью дать рекомендации по выбору инструментальных материалов и их дальнейшему совершенствованию [1-3].

В природе не существует материалов, обладающих одинаково высокой прочностью, твердостью и проявляющих одинаковую степень инертности ко всем обрабатываемым материалам. Поэтому понятие оптимальный (эффективный) инструментальный материал является относительным, т.е. зависит от свойств обрабатываемого материала, условий обработки и определяется конкретными характеристиками обрабатываемого материала и видом заданной операции обработки. Выбор материала инструмента при заданном обрабатываемом материале необходимо проводить с учетом возможного взаимодействия инструментального и обрабатываемого материалов в процессе резания.

Полученный инструментальный материал можно охарактеризовать и оценить его готовность к применению в качестве режущего инструмента после проведения специальных испытаний по адгезии, диффузии, термостойкости, износостойкости при резании металлов [4-6].

Экспериментально установлено что, температура начала схватывания для сплавов КНТ-16 и Т15К6 – 1023 К, для ТН-20 – 1073 К, для TiC – NiTi – 1123 К. При 1273 К трудно однозначно сказать об адгезии, так как имеют место интенсивные диффузионные процессы.

Из результатов по оценке адгезии сплавов, представленных на рис. 1 видно, что разрушающее напряжение наибольшее у сплава Т15К6, а наименьшее у TiC – NiTi. Сплавы ТН-20 и КНТ-16 занимают промежуточное положение. Результаты показывают, что адгезионные процессы при резании сталей будут проходить с меньшей интенсивностью у сплава TiC – NiTi. Следовательно, наиболее стойкий к адгезии, по результатам теста, сплав TiC – NiTi, так как этот сплав имеет наименьшее разрушающее напряжение.

Для правильного выбора режимов резания необходимо определить зону наростообразования. Использование в качестве связующей фазы никелида титана должно привести за счет снижения адгезионного взаимодействия твердого сплава TiC – NiTi с обрабатываемым материалом к уменьшению скоростных границ зоны наростообразования. Установить границы интенсивного взаимодействия стружки с инструментальным материалом можно путем построения зависимостей длины контакта стружки с резцом и усадки стружки от скорости резания и подачи.

Отклонения у сплавов ТН-20, Т15К6, КНТ-16 в значениях длины контакта незначительны, но длина контакта стружки с резцом у этих сплавов значительно превышает длину контакта сплава TiC-NiTi в диапазоне скоростей 0,25-1,91 м/с и подач от 0,07 до 0,57 мм/об (рис. 2).

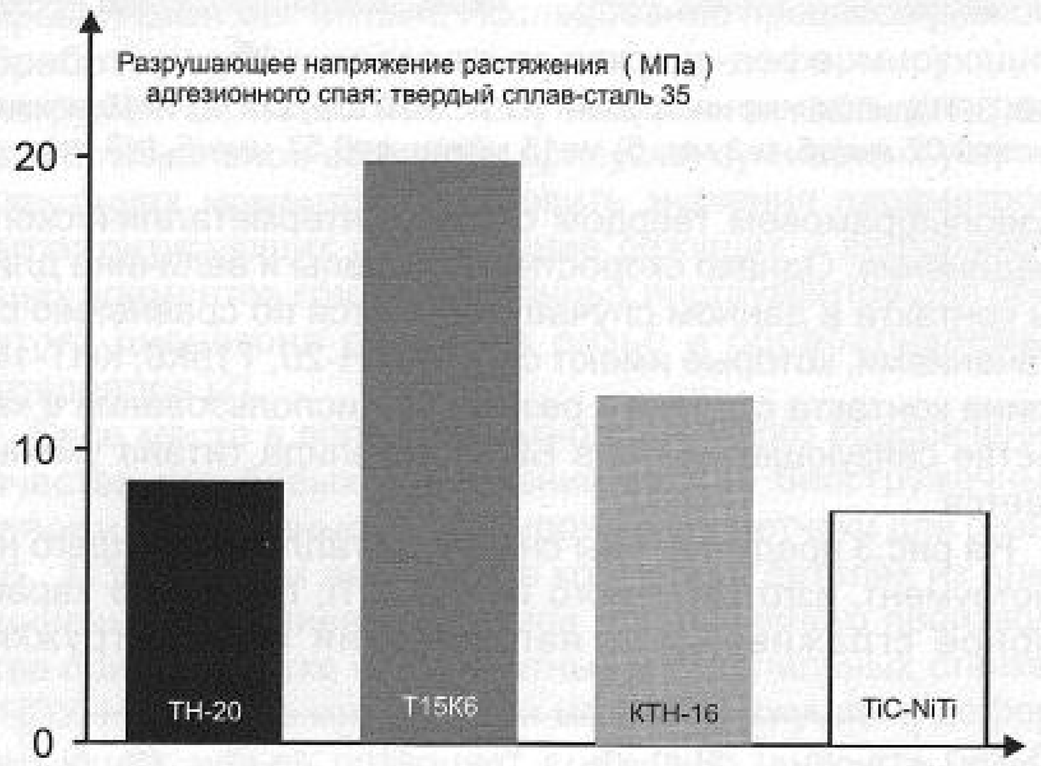


Рис. 1 Результаты адгезионного теста для твердых сплавов

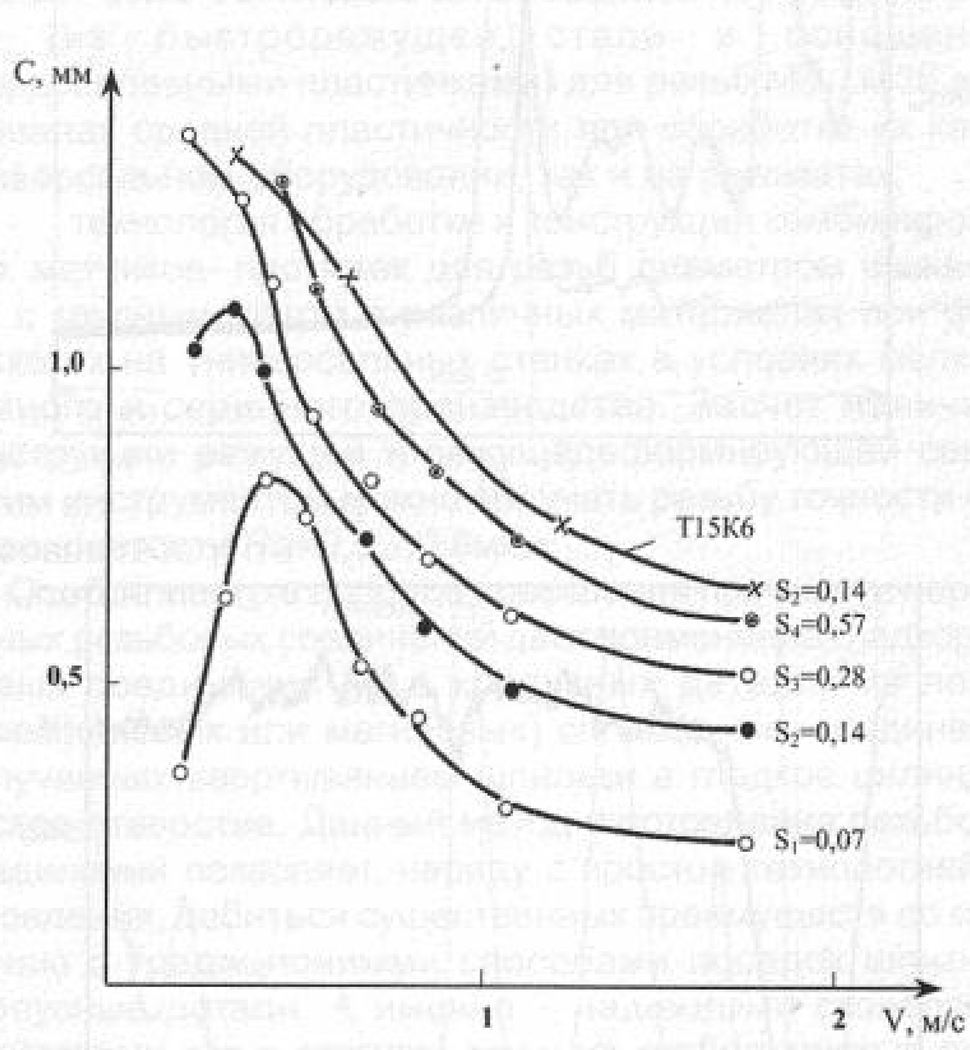
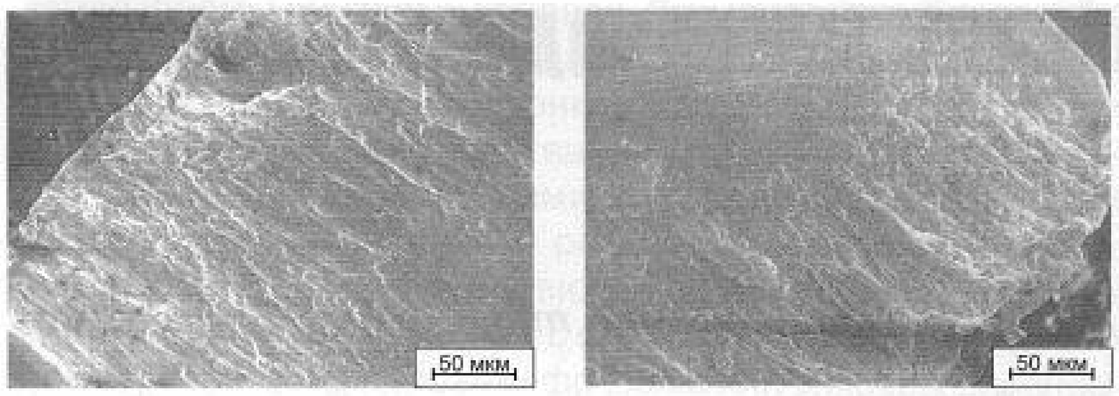


Рис. 2 Зависимость длины контакта стружки с резцом от скорости и подачи при глубине резания t=3мм

Величина длины контакта у сплава TiC-NiTi на 30-40 % ниже, чем у сплавов ТН-20, Т15К6, КНТ-16. Зона схватывания у сплавов ТН-20, Т15К6, КНТ-16 составляет 0,25-1,66 м/с, у сплава TiC-NiTi ограничена 1,16 м/с.

Схватывание материала заготовки и инструмента является определяющим условием адгезионного изнашивания и является характерной особенностью процесса резания при использовании в качестве связующей фазы в



а б

Рис. 3. Налипшая на инструмент из TiC-NiTi стружка: а) V=15 м/мин, s=0,07 мм/об, t=3 мм; б) V=15 м/мин, s=0,57 мм/об, t=3 мм

безвольфрамовом твердом сплаве интерметаллического соединения. Однако скоростные пределы и величина длины контакта в данном случае снижаются по сравнению со значениями, которые имеют сплавы ТН-20, Т15К6, КНТ-16. Длина контакта стружки с резцом при использовании в качестве связующей фазы в БВТС никелида титана уменьшается.

На рис.3 представлены снимки металла, налипшего на инструмент, изготовленного из TiC-NiTi, где видно характерное сглаживание в направлении схода стружки.

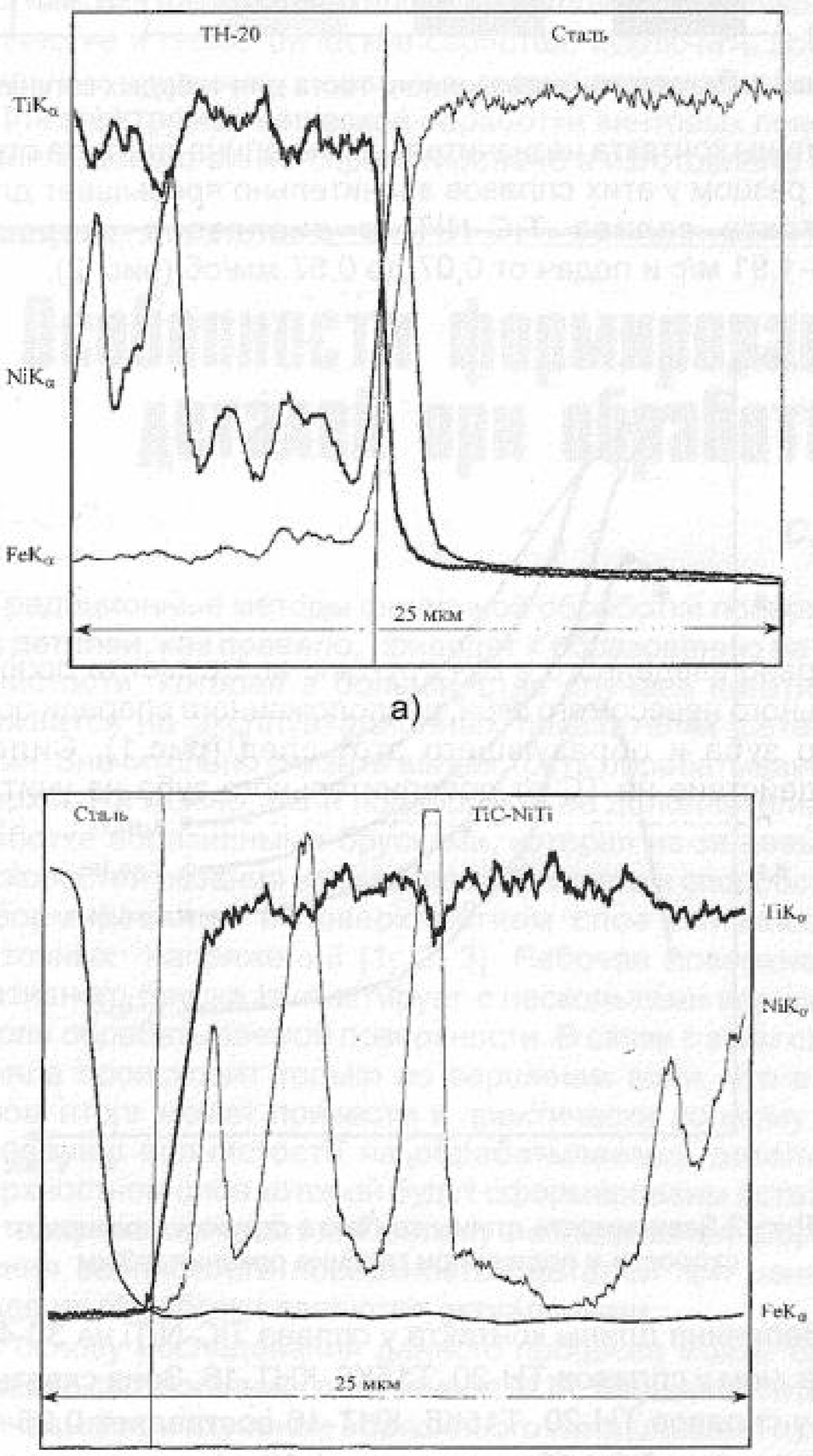
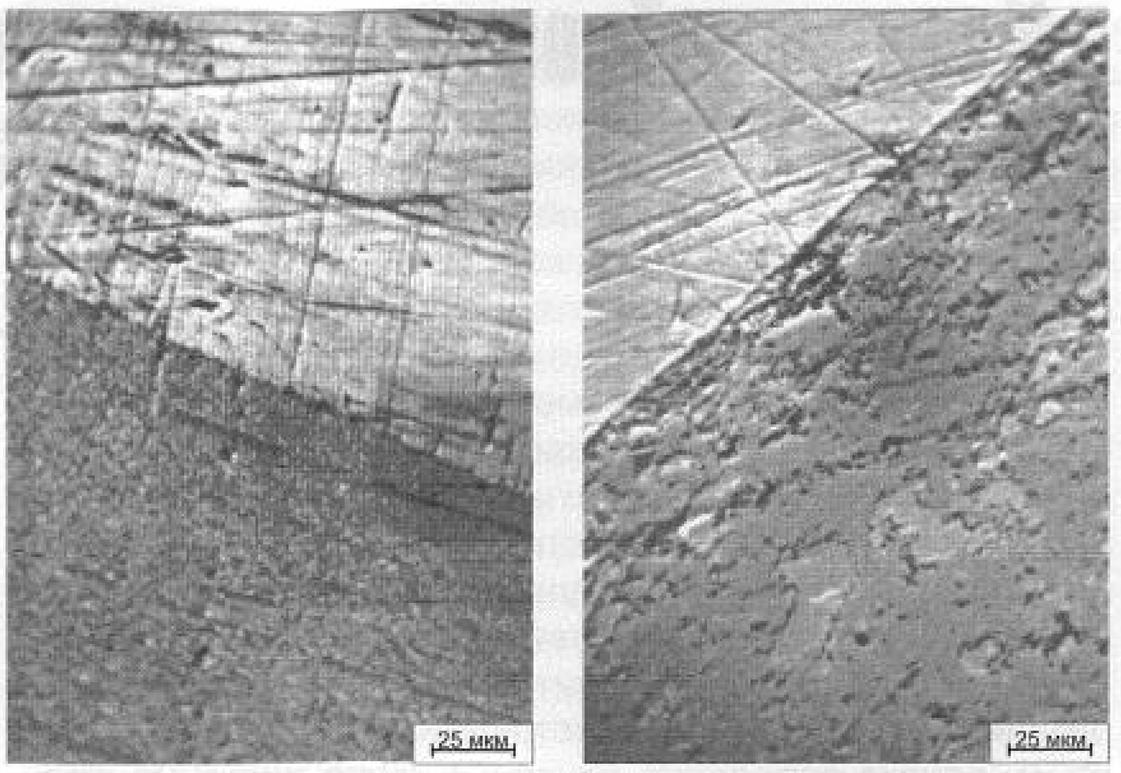


Рис. 4. Результаты локального рентгеноспектрального микроанализа зоны контакта:
а) ТН-20 – Сталь35; б) TiC-NiTi – Сталь35



а б

Рис. 5. Зона контакта по диффузионному спаю:
а) ТН-20–Сталь35; б) TiC-NiTi – Сталь35

Существенных отличий при изменении подачи от 0,07 мм/об до 0,57 мм/об в форме налипшего материала не обнаружено, но размеры имеют существенные отличия.

Диффузионные процессы, происходящие на контактных поверхностях, очень сложны. Оценку склонности к диффузионному износу инструмента из сплава TiC-NiTi при точении стали в сравнении со сплавом ТН-20 проводили по диффузионному тесту, результаты которого показывают что, в переходной зоне сталь – ТН-20 увеличивается содержание никеля, о чем свидетельствует четкий пик характеристического спектра никеля, но на глубине 3,5 мкм он исчезает. Характеристический спектр Ti пропадает на глубине 2,5 мкм. Характеристический спектр Fe практически реально различим на глубине 8,6 мкм (рис. 4а). Снимок зоны контакта (рис. 5а) показывает, что ярко выраженной переходной зоны нет, но поверхности стали и ТН-20 образуют прочный контакт.

На рис. 4б представлены результаты исследования зоны контакта сталь – TiC-NiTi. Характеристический спектр железа в сплаве практически отсутствует. Также нет характеристического спектра никеля в стали, Ti исчезает на глубине 1,5 мкм. Это свидетельствует о низкой склонности диффузии сплава TiC-NiTi к низколегированной стали. Снимок зоны контакта сплава TiC-NiTi со сталью показывает, что в отличие от сплава ТН-20 нет плотного контакта по всей поверхности соприкосновения (рис. 5б).

Термостойкость твердого сплава показывает возможность его использования при прерывистой обработке, в процессе которой материал подвергается многократному нагреванию – охлаждению. В результате такого воздействия в инструментальном материале возникают термические трещины. Результаты испытаний показали, что наибольшее число циклов без разрушения выдержали сплавы TiC-NiTi и КНТ-16, наихудший результат показал сплав Т15К6 (рис. 6). Не на много более стоек сплав ТН-20. Иначе говоря наибольшей термоустойчивостью обладают сплавы КНТ-16 и TiC-NiTi.

Интенсивность адгезионного изнашивания у сплава TiC-NiTi меньше, чем у сплава ТН-20. К тому же связующая фаза в сплаве TiC-NiTi - интерметаллическое соединение, которое не стремится, в отличие от никеля в сплаве ТН-20, образовать соединение с железом обрабатываемого материала. Этот факт способствует тому, что адгезионное взаимодействие инструментального и обрабатываемого материалов снижается.

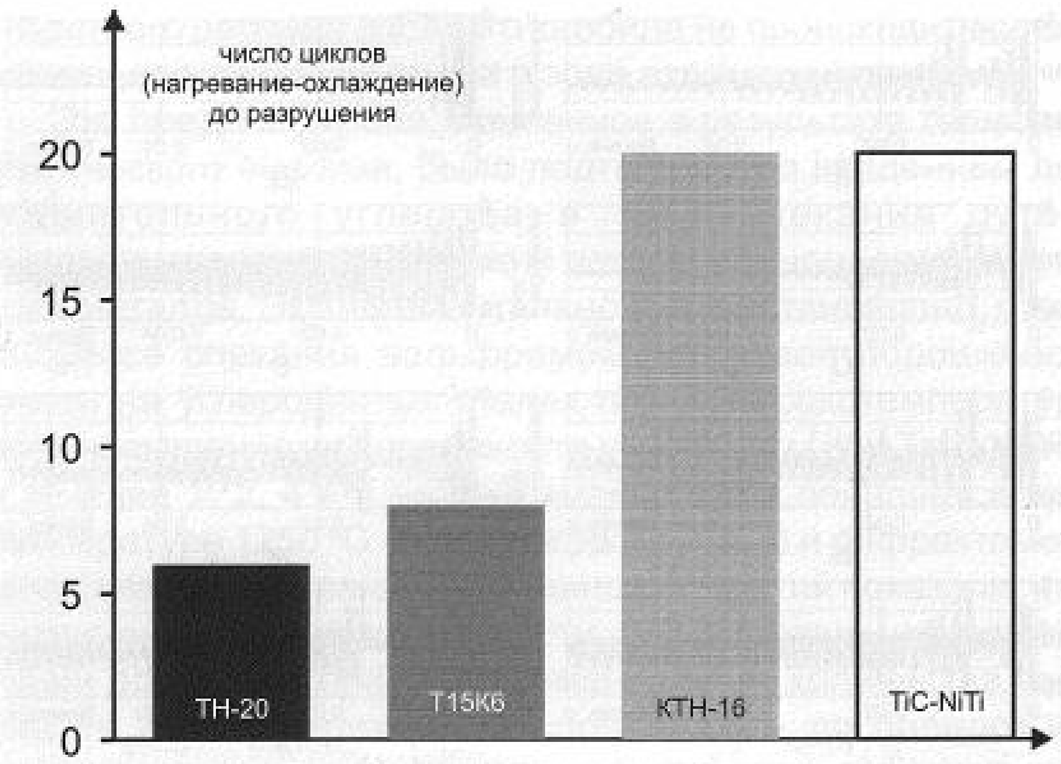


Рис. 6. Результаты оценки термостойкости твердых сплавов по циклу нагревание-охлаждение до разрушения у четырехгранных пластин типа SNUN

Результаты диффузионного теста свидетельствуют о малой склонности сплава TiC-NiTi к взаимодействию с обрабатываемым материалом. Если глубина проникновения железа в сплав ТН-20 составляет 8,6 мкм, то в аналогичных условиях рефлексы железа в сплаве TiC-NiTi не обнаруживаются.

Из выше сказанного следует, что сплав TiC-NiTi обладает пониженной склонностью ко всем основным видам изнашивания, как при непрерывном, так и при прерывистом точении, что нашло свое отражение в результатах испытаний на склонность к адгезии, диффузии и термостойкости, определяющих механизм изнашивания твердого сплава.

Литература

1. Klocke F. Perspektiven der Zerspantechnik // Perspektiven der Zerspantechnik. – Aachen, 2002. – S. 273–279.
2. Krieg T. Entwicklungstendenzen bei zerspanwerkzeugen // Perspektiven der Zerspantechnik. – Aachen, 2002. – S. 342–346.
3. Лоладзе Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. – М.: Машиностроение, 1982. –320 с.
4. Cottrell A.H. Tool wear and tool life // Mater. Sci. Technol. – 1995. – V.11. P. 97–101.
5. Туманов В.И., Очкасов В.Ф. Физико-механические свойства БВТС // Твердые сплавы. XXII. – М.: Металлургия, 1981. – 178 с.
6. Sentoku E., Fujimura Y., Kawabata H. A study on the Greater wear mechanism of cermet tools// Bull. Japan Soc. Of Prec. Eng. – 1986. –V.20. – № 2. – P. 115–118.

Исследование условий возбуждения и гашения регенеративных автоколебаний в процессе резания

В.М. СВИНИН, доцент, канд. техн. наук, ЧитГУ, г. Чита

Вторичное возбуждение автоколебаний в технологической системе (ТС) при работе «по следу» уменьшает предельную глубину устойчивого резания в несколько раз по сравнению с обработкой «по чистому»[1, 2 и др.]. Поэтому снижение уровня регенеративных автоколебаний может обеспечить значительное повышение производительности операций механической обработки.

Регенеративные автоколебания при однолезвийной обработке, например, точении, происходят с постоянным самопроизвольно устанавливающимся фазовым сдвигом φ относительно колебаний следа. При многолезвийной обработке, например, фрезеровании, каждый вступающий в работу зуб встречается со следом в фазе φ, зависящей при данной скорости резания от расстояния между зубьями. Для подавления регенеративных автоколебаний авторы работ [3-6] считают, что между зубьями необходим сдвиг фаз, равный π. В работе [7] определено, что отставание текущих автоколебаний ТС от следа на 1/4 длины волны ($\varphi=\pi/2$) происходит к их усилению, а на 3/4 длины волны ($\varphi=3\pi/2$) - к гашению. Автор работы [8] придерживается прямо противоположного работе [7] взгляда о влиянии фазы на развитие автоколебаний. Противоречивость мнений разных ученых относительно влияния угла φ на процесс регенерации вторичных автоколебаний указывает на недостаточную изученность этого вопроса и необходимость проведения специальных исследований.

Регенеративные автоколебания присущи практически всем видам механической обработки. Для исключения влияния второстепенных факторов изучение основных закономерностей их существования было решено проводить в ходе наиболее простой однолезвийной обработки, в качестве которой выбрали строгание узкой заготовки в условиях свободного прямоугольного резания. Для исследования использовали метод имитационного моделирования на ЭВМ процесса резания. Обратную связь в ТС, вызываемую влиянием вибрационного следа, создали при помощи условно введенного в конструкцию инструмента дополнительного невесомого зуба, расположенного впереди основного зуба и образующего этот след (рис.1). Силовое воздействие на ТС от дополнительного зуба не учитывалось. Расстояние между основным и дополнительным зубьями устанавливали таким образом, чтобы оно было равно длине одной или нескольких волн колебаний на поверхности резания и дробному остатку, соответствующему требуемой разности фаз φ_{21} колебаний следа и ТС.

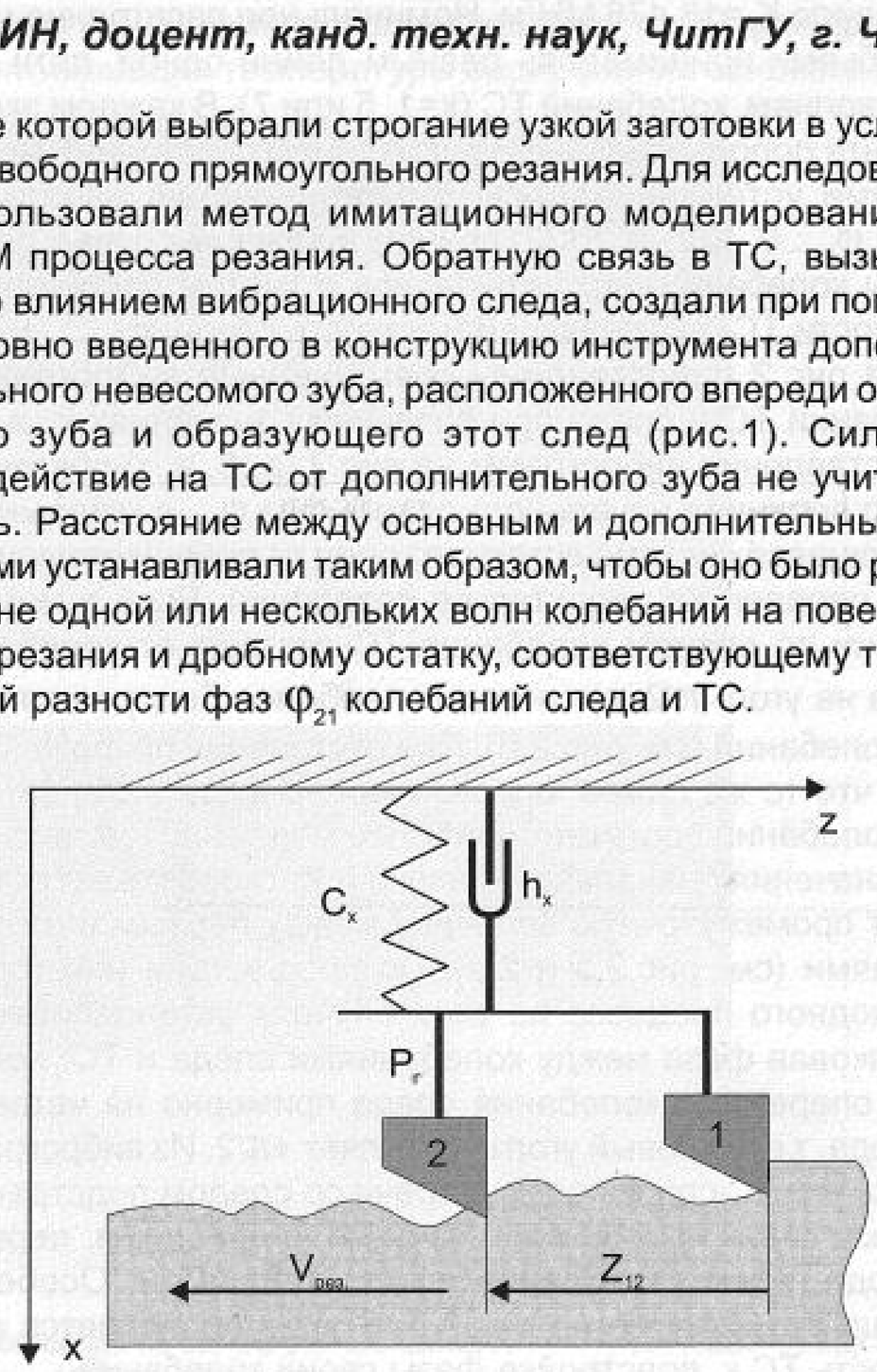


Рис. 1. Упрощенная динамическая схема ТС

Одномассовая модель колебаний подсистемы инструмента в нормальном к поверхности резания направлении описывается дифференциальным уравнением:

$$m_x \cdot \ddot{X}(t) + h_x \cdot \dot{X}(t) + C_x \cdot X(t) = -K_r \cdot (a_н + X(t) - X(t-\tau)), \quad (1)$$

где $X(t)$ – виброперемещение ТС в момент времени t,

$X(t-\tau)$ – мгновенная величина следа в момент времени t,

τ – время запаздывания между зубьями,

K_r – жесткость резания в нормальном направлении,

$a_н$ – номинальная толщина среза.

Уравнение (1), преобразованное относительно воздействия следа, имеет вид:

$$m_x \cdot \ddot{X}(t) + h_x \cdot \dot{X}(t) + (C_x + K_r)\ X(t) = K_r\ (X(t-\tau) - a_н) \quad (2)$$

Последнее слагаемое правой части уравнения (2) выражает постоянную составляющую нормальной силы резания, определяющую упругое отжатие ТС. Характер колебательного процесса ТС определяется переменной составляющей силы резания $K_r \cdot X(t-\tau)$, которая может либо возбуждать колебания, либо гасить их в зависимости от величины запаздывания t, которое, в свою очередь само зависит от условий резания. Виброграммы колебательных процессов ТС получены двойным численным интегрированием дифференциального уравнения (2).

Вычислительные эксперименты проводили на следующем режиме резания: ширина заготовки b=5мм, скорость резания V=315 м/мин, подача $a_н$=0,1 мм/зуб. Параметры колеблющейся ТС: приведенная масса m_x=10,15 кг, коэффициент демпфирования h_x=4651 Н·с/м, жесткость C_x=106,7 МН/м. Значение коэффициента жесткости резания на один зуб, условно принятого независящим от толщины среза, составило K_r=13,476 МН/м. Номинальное расстояние между зубьями принималось равным длине одной, пяти или семи волнам колебаний ТС (k=1, 5 или 7). В каждом эксперименте дополнительным увеличением расстояния между зубьями устанавливалось четыре значения начальной фазы φ_{21}: 0, $\pi/2$, π, $3\pi/2$, причем в каждом случае длина волны колебаний рассчитывалась с учетом приведенной жесткости ТС, включающей жесткость резания.

На рис.2 представлены совмещенные виброграммы колебаний ТС и следа при различных значениях k и φ_{21}. Сопоставление виброграмм на рис.2,(а, б, в, г) показывает, что величина начального сдвига фаз φ_{21}, с которым колеблющаяся система встречает след от предшествующего зуба, определяет характер ее поведения. Если в момент встречи со следом колебания ТС отстают от колебаний следа на угол $-\pi/2$, происходит наиболее быстрое затухание колебаний (см. рис.2,б). При отставании по фазе $-3\pi/2$ (или, что то же самое, опережении по фазе $+\pi/2$) затухание колебаний протекает наиболее медленно (см. рис.2,г). При значениях начальной фазы 0 и π, скорость затухания имеет промежуточную величину между первым и вторым случаями (см. рис.2,а и 2,в). По прошествии некоторого переходного процесса во всех случаях устанавливается одинаковая фаза между колебаниями следа и ТС: последние опережают колебания следа примерно на четверть периода, т.е. фазовый угол составляет $+\pi/2$. Из виброграмм видно, что ТС сразу после встречи со следом подстраивает фазу своих колебаний в течение, в основном, первого периода путем увеличения его длительности. Особенно хорошо это заметно на рис.2,б. В этом проявляется способность ТС к подстройке фазы своих колебаний.

Время запаздывания τ влияет на поведение ТС. На

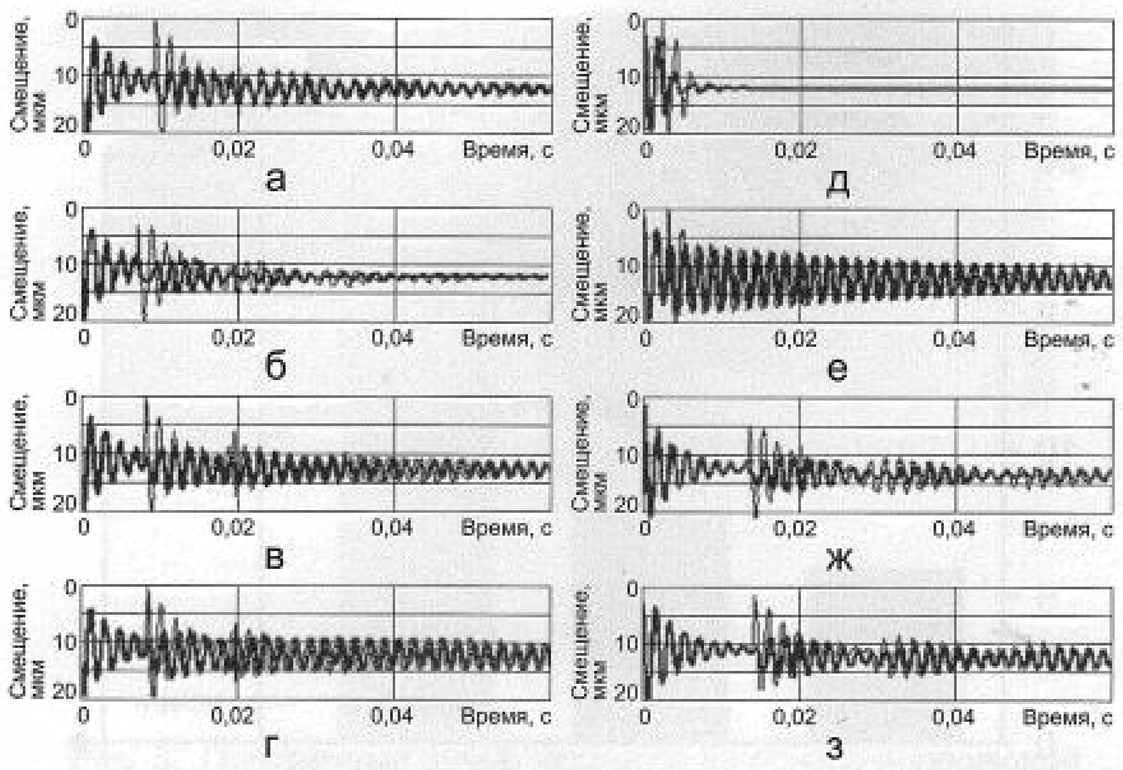


Рис. 2. Виброграммы колебаний ТС и следа при различных номинальных расстояниях между зубьями *k* и значениях начальной фазы φ_{21}:
1) k=5: а)φ_{21}=0, б)φ_{21}=$\pi/2$, в) φ_{21}=π, г)φ_{21}=$3\pi/2$;
2) k=1: д) φ_{21}=$\pi/2$, е)φ_{21}=$3\pi/2$; 3) k=7: ж) φ_{21}=$\pi/2$, з)φ_{21}=$3\pi/2$;
——— виброперемещения, —— след

рис.2 (д, е, ж, з) представлены графики колебательных процессов при значениях времени запаздывания, соответствующих одному и семи колебаниям ТС и начальным сдвигам фаз $\pi/2$ и $3\pi/2$. При начальном сдвиге фаз, равном $\pi/2$, гашение регенеративных колебаний происходит тем эффективнее, чем ближе зубья расположены друг к другу. Если расстояние между зубьями равно длине одной волны колебаний (k=1), происходит их радикальное подавление. При значительном межзубном расстоянии (k=7) быстро подавить колебания не удается, и начальное значение сдвига фаз практически не оказывает влияния. Это происходит потому, что из-за более развитого следа в балансе энергии ТС увеличивается доля вносимой энергии от действия регенеративного эффекта. Если начальный сдвиг фаз равен $3\pi/2$, т.е. ТС не нужно подстраиваться под фазу колебаний следа, вынужденные резонансные колебания затухают во много раз слабее, чем собственные нерезонансные, особенно при k=1. Это свидетельствует о том, что такие колебания по своему характеру близки к автоколебаниям.

Для того, чтобы проверить, может ли регенерация от волнообразного следа привести к появлению устойчивых автоколебаний, необходимо увеличить силовое воздействие на ТС. С этой целью ширина резания была увеличена в два раза (b=10 мм). На рис.3 представлены огибающие кривые виброграмм колебаний ТС при номинальных расстояниях между зубьями, соответствующих длине пяти и одной волн колебаний, и различных значениях фазы φ_{21}. Кривые на рис.3,а показывают, что при k=5 и всех значениях фазы φ_{21} наблюдается мягкое возбуждение регенеративных автоколебаний. Следовательно, ТС, устойчивая при резании по следу, но с малым силовым воздействием, может стать неустойчивой, когда это воздействие превысит некоторую граничную величину. Процесс нарастания автоколебаний до установившегося состояния происходит достаточно медленно. Начальный сдвиг фазы определяет амплитуду установившихся автоколебаний. Наибольшие размах колебаний и время процесса наблюдаются при нулевой начальной фазе. Если зуб встречает след в противофазе, эти параметры уменьшаются в четыре раза. При начальных фазах, равных $\pi/2$ и $3\pi/2$, размах колебаний составляет соответственно 65 и 50% от наибольшего. Для

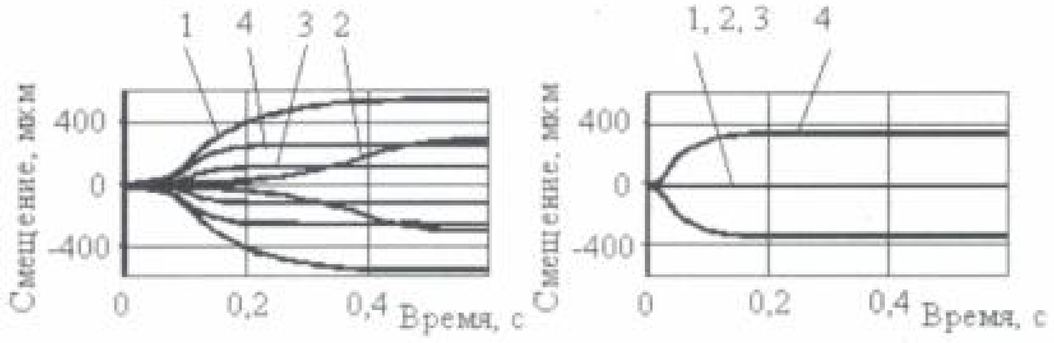


Рис.3. Развитие амплитуды регенеративных автоколебаний при различных номинальных расстояниях между зубьями и значениях начальной фазы:
а) k=5, б) k=1; 1-φ_{21}=0, 2-φ_{21}=π/2, 3-φ_{21}=π, 4-φ_{21}=3π/2

сравнения моделирование с увеличенной силовой нагрузкой было проведено при уменьшенном расстоянии между зубьями до длины одной волны колебаний (см.рис.3,б). График показывает, что такое резание более стабильно. Автоколебания возбудились только в случае $\varphi_{21} = 3\pi/2$.

Таким образом, значения фазы φ_{21} необходимые для подавления регенеративных автоколебаний, оказываются различными в зависимости от соотношения длительности их периода и времени запаздывания между смежными зубьями или проходами инструмента. Если на поверхности резания между зубьями инструмента или его смежными проходами укладывается более одной-двух волн автоколебаний, целесообразно выбирать такую скорость резания, чтобы начальный сдвиг фазы составлял π. При этом амплитуда автоколебаний будет иметь минимально возможную величину. Это соответствует известной «лепестковой» границе устойчивости ТС [9]. При этом амплитуда автоколебаний будет иметь минимально возможную величину. Полное устранение регенеративных автоколебаний можно обеспечить выбором начального сдвига фаз, равным π/2 в случаях, когда время запаздывания близко к периоду автоколебаний. Такие условия создаются, например, при высокоскоростном резании.

Проведенные исследования показали, что регенеративные автоколебания развиваются вследствие способности ТС обработки резанием к подстройке фазы своих колебаний. Для их существования необходимо наличие первичного вибрационного следа на поверхности резания и определенный критический уровень силового воздействия на ТС. Амплитудой установившихся автоколебаний можно управлять путем подбора начального сдвига фаз. Особенно эффективно подавление регенеративных автоколебаний на стадии их зарождения, что возможно реализовать при высокоскоростном резании. Результаты исследования могут быть использованы при конструировании инструментов и выборе режимов резания для повышения динамической устойчивости процессов механической обработки.

Литература

1.Кудинов В.А. Динамика станков М., Машиностроение, 1967,-359 с.

2.Жарков И.Г. Вибрации при обработке лезвийным инструментом. - Л.: Машиностроение, 1986.-184с.

3.Кедров С.С. Колебания металлорежущих станков. – М.: Машиностроение, 1978. –199 с.

4.Шаламов В. Г. Выбор разношагости зубьев фрез // Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки: Сб. статей.–Челябинск. –1991. С. 14–22.

5.Кондрашов С.Г. Гашение вибраций путем взаимной компенсации автоколебаний./Резание и инструмент, № 42, с.93-99.

6.Altintas Y. Modeling approaches and software for predicting the performance of milling operations at MAL-UBC / / Machining science and technology. – 2000. – №4(3). – pp. 445–478.

7. Radulescu R.A., Kapoor S.G., Endres W.J., DeVor R.E. An investigation of the vibration of the face milling process during high speed machining./Trans. of NAMRI/SME, Vol. 21, 1993, pp.237 – 245.

8.Lee A.C. et al. Analysis of chatter vibration / Int. J. Mach. Tools Manufact., Vol.31, № 2,1991, pp.221 – 234.

9. Merrit H.E. Theory of self-excited machine tool chatter: contribution to machine tool chatter./J. of Eng. For Industry, Vol. 87, 1965, pp. 447 – 558.

Влияние внешних источников колебаний на образование периодических погрешностей при обработке на станках

В.В. АГАФОНОВ, доцент, канд. техн. наук, БГТУ, г. Брянск

Известно, что величина периодических погрешностей поверхности деталей при обработке на станках формируется в течение нескольких оборотов детали (инструмента) в условиях развития и стабилизации автоколебательного процесса, который является результатом потери устойчивости упругой системы (УС) станка в процессе резания. Основными источниками возникновения первичного возбуждения колебаний на первом обороте детали (инструмента) принято считать единичное силовое воздействие при врезании инструмента, неравномерность припуска, вынужденные колебания от внешних источников приводов станка [1], [2].

Для оценки влияния вынужденных колебаний от внешних источников колебаний на образование периодических погрешностей на первом обороте УС станка рассматриваем в виде совокупности блоков, разделенных подвижными и неподвижными стыками, обладающими свойствами линейно-упругих пружин с жесткостями $J_{i,i+1}$ и упруго-диссипативных элементов с относительным рассеянием $\Psi_{i,i+1}$ (рис. 1). В общем случае УС станка находится под действием нескольких источников колебаний (ИК): ИК1 – процесс резания; ИК2 – шпиндельный узел; ИК3 – ротор электродвигателя (ЭД1) привода главного движения (ПГД); ИК4 – ротор ЭД2 привода подач (ПП) поперечного верхнего суппорта; ИК5 – ротор ЭД3 ПП продольного (нижнего) суппорта.

Силу инерции вынужденных колебаний конечных звеньев ветвей инструмента и заготовки, не замкнутых кинематическими или силовыми параметрами процесса резания, под действием внешних источников колебаний ИК2 – ИК5 определяем выражением:

$$\Delta P_и \sin\omega t = m\,\omega^2 A_{m,0} \sin\omega t, \qquad (1)$$

где $\Delta P_и$ – амплитудное значение силы инерции; ω - круговая частота вынужденных колебаний; m – масса конеч-

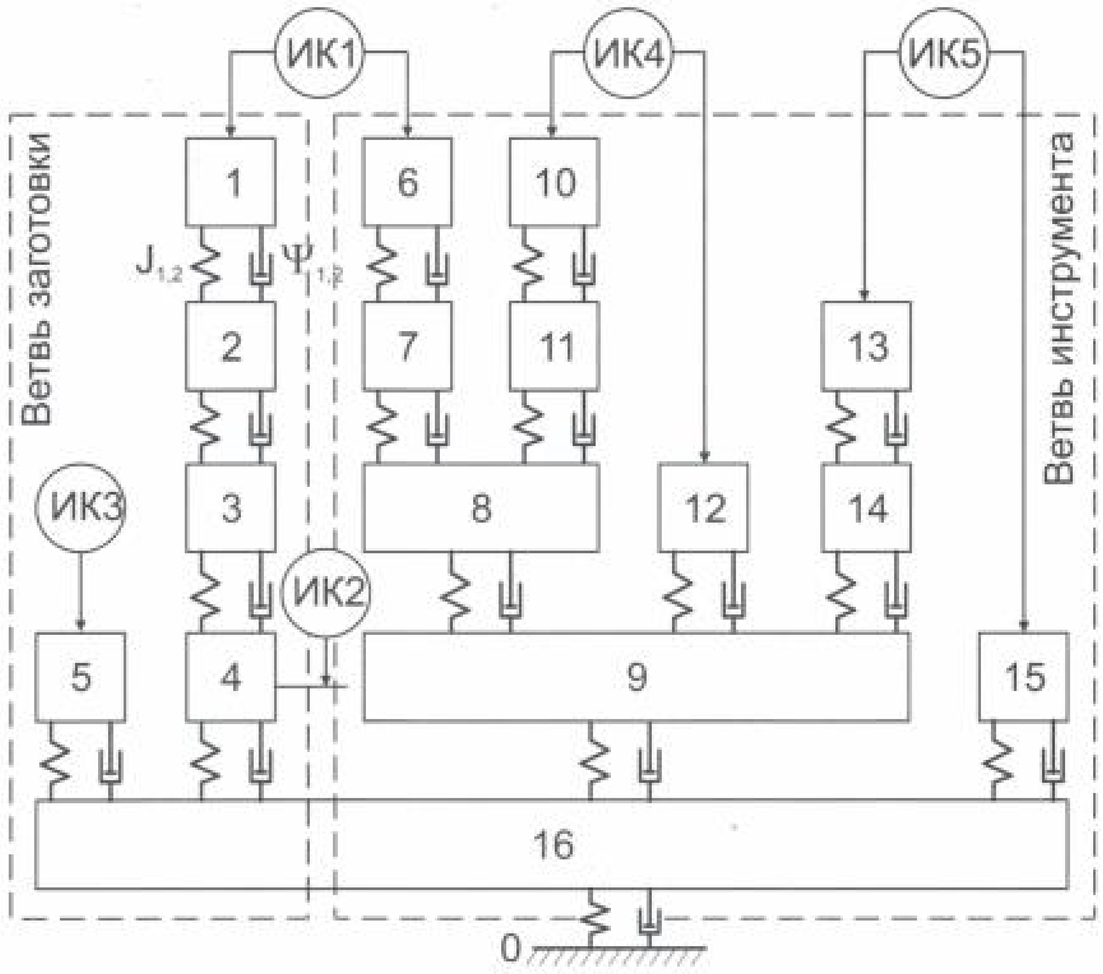


Рис. 1. Структурная схема динамической модели УС токарного станка: 1 – заготовка; 2 – приспособление; 3 – шпиндель; 4 – шпиндельная бабка (ШБ); 5 – корпус ЭД1; 6 – инструмент; 7 – револьверная головка; 8 – верхний суппорт; 9 – нижний суппорт; 10 – ходовой винт (ХВ) привода поперечной подачи; 11 – шариковая винтовая пара (ШВП) поперечной подачи; 12 – корпус ЭД2; 13 – ХВ привода продольной подачи; 14 – ШВП продольной подачи; 15 – корпус ЭД3; 16 – станина.

ного звена ветви инструмента (заготовки); $A_{m,0}$ – амплитуда вынужденных колебаний конечного звена ветви инструмента (заготовки) относительно основания.

При врезании инструмента (на первом обороте заготовки) на обработанной поверхности образуются периодические погрешности, высота которых определяется суммарной высотой колебаний инструмента и заготовки в процессе резания, величину которых для каждой ветви можно определить:

$$W_1 = 2\sqrt[X_p]{\frac{m\omega^2 A_{m,0}}{10\ Cp\ S^{Yp}\ V^n\ Kp}}. \qquad (2)$$

Здесь S, V – режимы обработки Cp, x_p,y_p, n, Kp - постоянные, а также показатели степени и коэффициенты известного выражения для определения составляющих усилия резания.

Поскольку источники колебаний обладают широким частотным диапазоном колебаний, а элементы УС станка со многими степенями свободы имеют широкий спектр частот собственных колебаний, то с целью линеаризации общую модель УС станка представляем на основе декомпозиции в виде упрощенных динамических расчетных моделей, колебательный процесс в которых определяется одним из внешних источником колебаний ИК1 – ИК5. В результате получим расчетные модели в виде цепочек, замыкающихся на конечных звеньях ветвей инструмента и заготовки.

Для высокочастотного диапазона спектра источников соответствующего спектру частот периодических погрешностей, образующих шероховатость поверхности: 1) ИК1 → заготовка – приспособление – шпиндель – ШБ – станина – заготовка; 2) ИК2 → ШБ – станина – шпиндель – приспособление – заготовка; 3) ИК3 → корпус ЭД1 - станина – ШБ – шпиндель – приспособление – заготовка; 4) ИК5 → корпус ЭД3– станина – ШБ – шпиндель – приспособление – заготовка; 5) ИК1 → инструмент – РГ – инструмент; 6) ИК4 → ХВ – ШВП – ВС – инструмент. В данном случае нижний суппорт, имеющий по сравнению с другими элементами упругой системы станка на порядок более низкую жесткость и частоту собственных колебаний, является барьером к передаче колебаний высокой частоты от ИК2, ИК3, ИК5 к ветви инструмента, а от ИК4 к ветви заготовки.

Для низкочастотного диапазона спектра источников, соответствующего периодическим погрешностям типа волнистости поверхности и гранности поперечного сечения заготовки: 1) ИК1 → (заготовка, приспособление, шпиндель) – (ШБ, станина) – заготовка; 2) → ИК2, ИК3, ИК5 → (корпус ЭД1, ШБ, корпус ЭД3, станина) – (шпиндель, приспособление, заготовка); 3) ИК1, ИК4 → (инструмент, РГ, ХВ, ШВП, ВС) – НС – (станина, ШБ) – (шпиндель, приспособление, заготовка); 4) ИК4, ИК5 → (корпус ЭД2, ХВ, ШВП, НС) – (станина, ШБ) – (шпиндель, приспособление, заготовка); 5) ИК1 → (заготовка, приспособление, шпиндель) – (ШБ, станина) – НС – (ВР, РГ, инструмент); 6) ИК2, ИК3, ИК5 → (корпус ЭД1, ШБ, корпус ЭД3, станина) – НС – (ВР, РГ, инструмент); 7) ИК1, ИК4 → (инструмент, РГ, ХВ, ШВП, ВС) – НС – (станина, ШБ) – инструмент; 8) ИК4, ИК5 → (корпус ЭД2, ХВ, ШВП, НС) – (станина, ШБ) – (ВС, РГ, инструмент). В данном случае элементы упругой системы, заключенные в скобки, имеющие на порядок и более высокую жесткость и частоту собственных колебаний по сравнению с низкочастотным спектром колебаний источников, рассматриваются как один элемент суммарной массы.

Анализ приведенных цепочек показывает, что по отношению места приложения периодической нагрузки от ИК к конечному звену ветви инструмента или заготовки их можно разделить на два вида, расчетные модели которых представлены на рис. 2 и 4,а. Каждую модель представляем в виде системы, состоящей из элементов массами m_1, m_2, …, m_i, …, m_{n-1}, m_n, соединенными линейно-упругими пружинами с жесткостями межу i-м и (i+1)-м элементами $J_{i, i+1}$ и упруго-дисссипативными элементами с относительным рассеянием энергии $\Psi_{i, i+1}$, причем первый элемент m_1 находится под действием гармонической возмущающей силы от источника колебания.

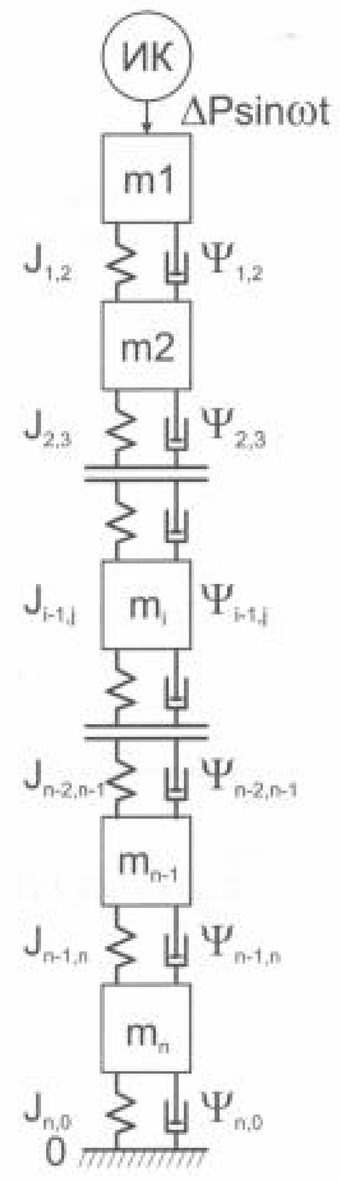


Рис. 2. Расчетная динамическая модель первого вида

Для расчетной модели первого вида (рис. 2) последовательно производим расчет амплитуды колебаний каждого элемента относительно следующего в цепочке. При этом амплитуда колебаний i-го элемента относительно (i+1)-го элемента определяется выражением:

$$A_{i, i+1} = \frac{\Delta P}{J_{i, i+1}} \prod_{j=1}^{j=i} \beta j \qquad (3)$$

где β_i – коэффициент динамичности i-го элемента, величину которого можно определить известным выражением

$$\beta_i = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{P_i^2}\right)^2 + \frac{\Psi^2_{i,i+1}}{4\pi}}}, \qquad (4)$$

где: ω - круговая частота возмущающей силы; P_i – собственная частота i-го элемента; $\Psi_{i,i+1}$ – относительное рассеяние энергии упруго-диссипативной связи между i-м и (i+1)-м элементами.

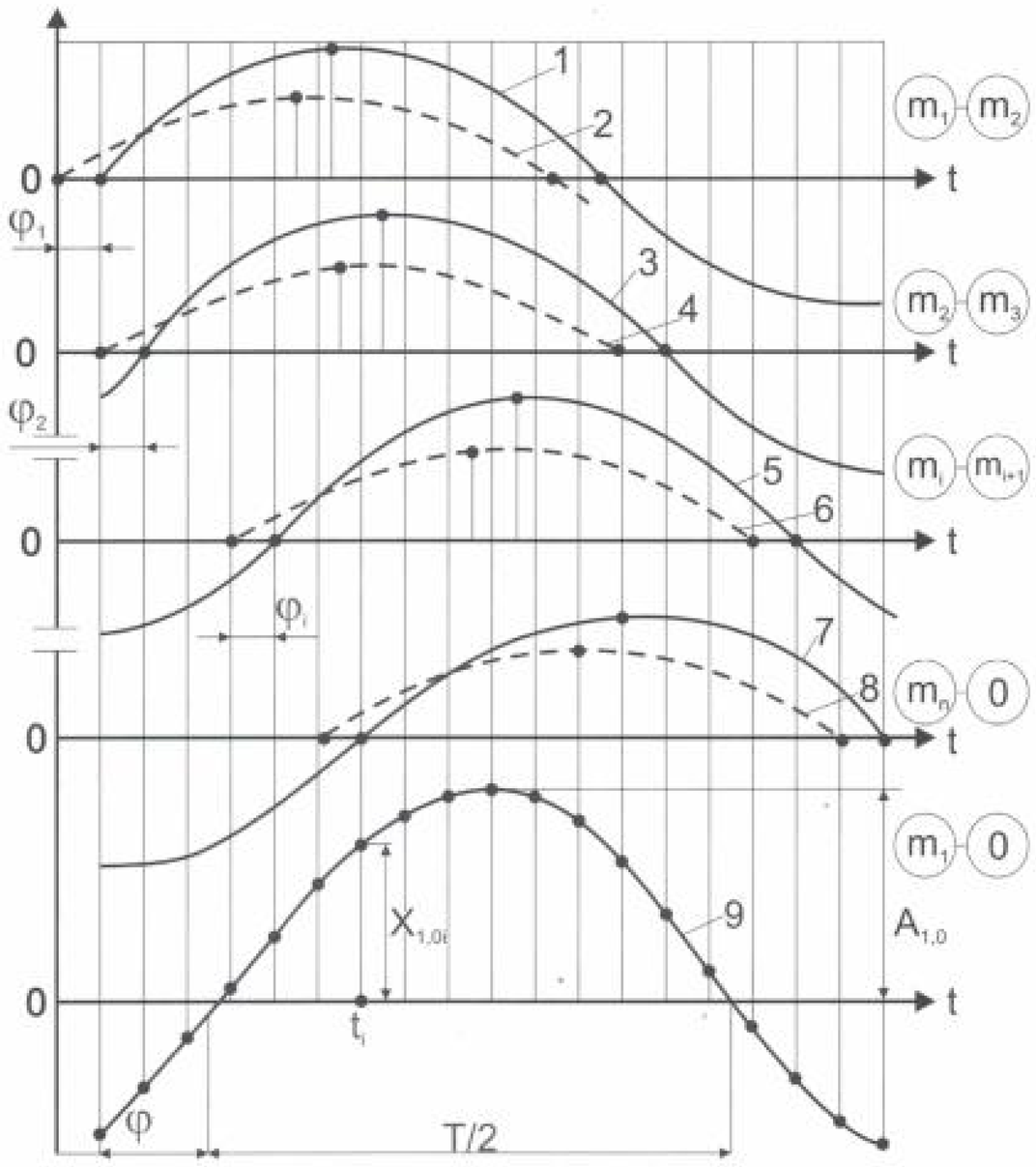


Рис. 3. Схема определения суммарного колебания первого звена

$$1.\ A_{1,2} = \sin(\omega t - \varphi_1);\quad 2.\ \Delta P \sin\omega t;\quad 3.\ A_{2,3} = \left[\sin\omega t - (\varphi_1 + \varphi_2)\right];$$

$$4.\ \Delta P \sin(\omega t - \varphi_1);\quad 5.\ A_{i,i+1} \sin\left[\omega t - \left(\sum_{j=1}^{j=i}\varphi_j\right)\right];\quad 6.\ \Delta P_{i-1,i} \sin\left[\omega t - \left(\sum_{j=1}^{j=i-1}\varphi_j\right)\right];$$

$$7.\ A_{n0} \sin\left[\omega t - \left(\sum_{j=1}^{j=n}\varphi_j\right)\right];\quad 8.\ \Delta P_{n-1,n} \sin\left[\omega t - \left(\sum_{j=1}^{j=i-n}\varphi_j\right)\right];\quad 9.\ A_{1,0} \sin(\omega t - \varphi).$$

На i-й элемент действует возмущающая сила:

$$\Delta P_{i,i+1} \sin(\omega t - \varphi_{i-1}) = \prod_{j=1}^{j=i}\beta_j \Delta P \sin(\omega t - \varphi_{i-1}) \qquad (5)$$

где φ_{i-1} – фазовое смещение возмущающей силы, действующей на i-й элемент относительно колебаний (i-2)-го элемента.

$$\varphi_{i-1} = \operatorname{arctg} \frac{\Psi_{i-1,i} P_i^2}{2\pi (P_i^2 - \omega^2)} \qquad (6)$$

Для определения амплитуды $A_{1,0}$ суммарных колебаний 1-го элемента (например конечного звена ветви инструмента или заготовки) относительно основания последовательно суммируем колебания всех элементов модели относительно друг друга с учетом фазовых сдвигов (рис. 3). При этом ординату $X_{1,0i}$ в момент времени t_i результирующего колебания (кривая 9 на рис.3) определяем выражением:

$$X_{1,0i} = A_{1,2}\sin(\omega t_i - \varphi_1) + A_{2,3}\sin[\omega t_i - (\varphi_1 + \varphi_2)] + \ldots +$$
$$+ A_{i,i+1}\sin\left[\omega t - \left(\sum_{j=1}^{j=i}\varphi_j\right)\right] + \ldots + A_{n,0}\sin\left[\omega t - \left(\sum_{j=1}^{j=n}\varphi_j\right)\right]. \qquad (7)$$

Для определения результирующего колебания $A_{n'0}$ конечного звена $m_{n'}$ расчетной модели второго вида (рис. 4,а) производим декомпозицию модели на две цепочки: m_1 – m_n, находящуюся под действием гармонической силы $\Delta P \sin\omega t$ внешнего источника, приложенной к элементу m_1, и $m_{2'}$ - $m_{n'}$, находящуюся под действием силы $(A_{1,0}J_{1,2'})\sin\omega t$, приложенной к элементу $m_{2'}$ (рис. 4).

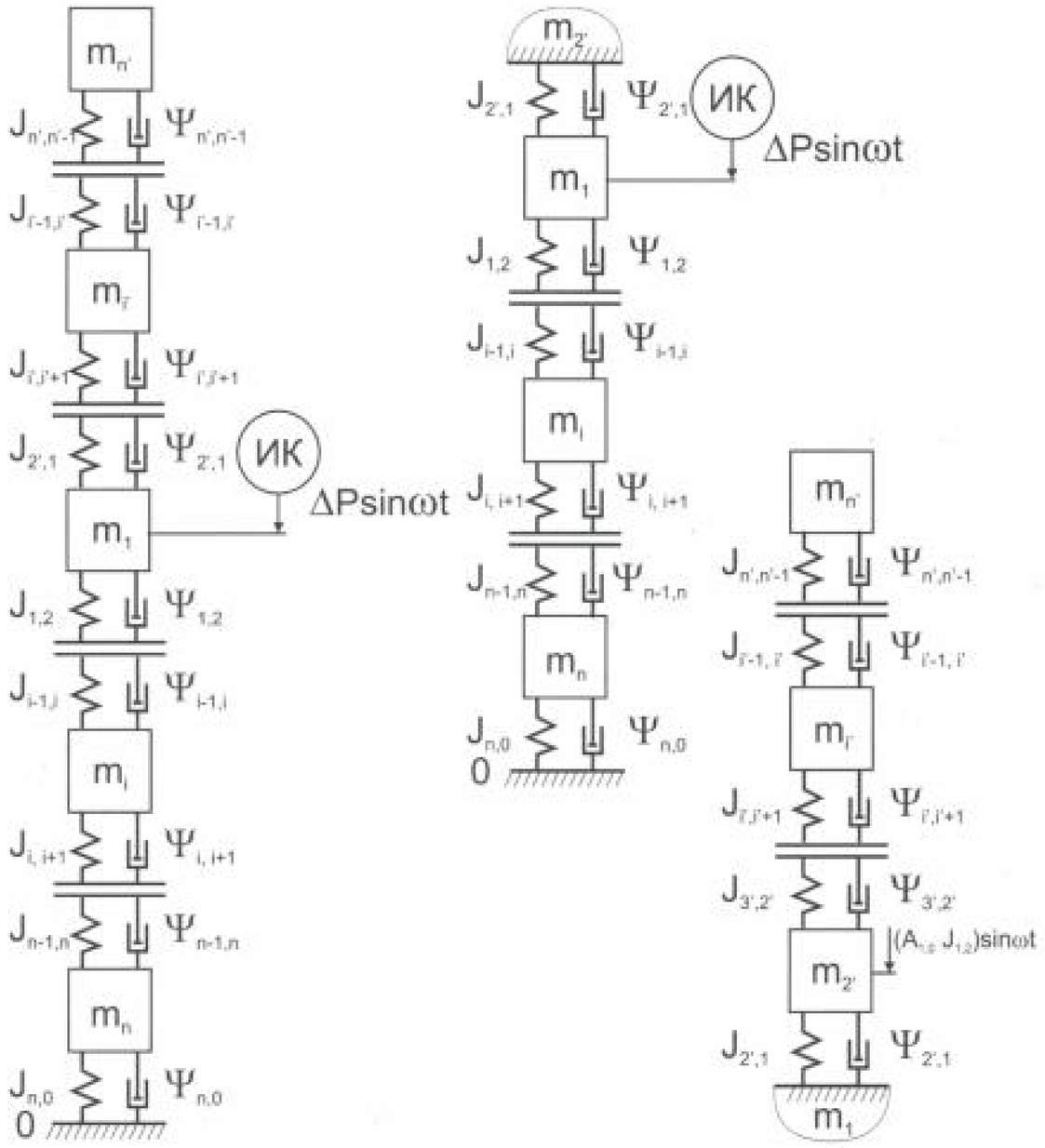


Рис. 4. Расчетная динамическая модель второго вида:
а) расчетная модель; б) декомпозиция модели.

Амплитуда колебаний i-го элемента относительно (i+1)-го элемента первой цепочки определяем выражением

$$A_{i,i+1} = \frac{\Delta P}{J_{i,i+1}} \frac{J_{1,2}}{(J_{1,2} + J_{2',1})} \prod_{j=1}^{j=i+1}\beta_j \qquad (8)$$

а i'-го элемента относительно (i'+1)-го элемента второй цепочки выражением:

$$A_{i',i'+1} = \frac{A_{1,0}J_{1,2}}{J_{i',i'+1}} \frac{J_{2',1}}{(J_{2',1} + J_{1,2})} \prod_{j=1}^{j=i'+1}\beta_j . \qquad (9)$$

Амплитуда $A_{n',0}$ результирующего колебания конечного звена $m_{n'}$ модели относительно основания является суммой колебания $A_{1,0}$ звена m_1 относительно основания под действием силы $\Delta P \sin\omega t$ и колебания $A_{n',1}$ звена $m_{n'}$ относительно звена m_1 под действием силы $(A_{1,0}J_{1,2'})\sin\omega t$.

Определение суммарных вынужденных колебаний $A_{m,0}(t)$ конечных звеньев ветвей инструмента и заготовки от ИК1 – ИК5 для каждой частоты спектра колебаний источников производим суммированием колебаний конечных звеньев ветвей, полученных путем решения расчетных динамических моделей, соответствующих цепочкам для низкочастотного и высокочастотного диапазонов спектров колебаний. При этом с учетом вероятного соотношения фазовых сдвигов колебаний источников получаем N вариантов возможных реализаций функции $A_{m,0}(t)$. Среднее вероятное значение амплитуды $A_{m,0}$ в данный момент времени t_i определяется ее математическим ожиданием по всем возможным N реализациям выражением:

$$M[A_{m,0}(t)] = \lim_{N\to\infty}\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{N} A_{m,0j}(t). \qquad (10)$$

Число возможных вариантов N реализаций функции $A_{m,0}(t)$ равно для пяти источников колебаний при четырех фазовых сдвигах колебаний

$N = 4^5 = 1024$ варианта.

Окончательно значение амплитуды $A_{m,0}$, необходимое

для решения выражения (2), определяем как среднее суммы математических ожиданий $M_i[A_{m,0}(t)]$ амплитуды по n сечениям функции $A_{m,0}(t)$.

$$A_{m,0} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} M_i\,[A_{m,0}(t)]\,. \qquad (11)$$

Полученные значения высоты W_1 периодических погрешностей данной ω на первом обороте заготовки (инструмента) служит исходными данными для расчета установившейся амплитуды автоколебаний в процессе резания и прогнозирования на основе этого динамической жесткости упругой системы станка в частотном спектре колебаний внешних источников, а также ожидаемой величины периодических погрешностей обрабатываемой поверхности [3], [4].

Литература

1. Жарков И.Г. Вибрации при обработке лезвийным инструментом.- Л.: Машиностроение, 1986.- 184с.

2. Д.Н. Решетов, З.М. Левина Возбуждение и демпфирование колебаний в станках. В кн. Исследование колебаний металлорежущих станков при резании металлов/ Под ред. В.И. Дикушина и Д.Н. Решетова.- М.: Гос. науч.-технич. изд-во машиностроительной литературы, 1985.- 292с.

3. В.В. Агафонов Теоретическое определение установившегося колебательного процесса упругой системы станка энергетическим методом// Обработка металлов.- 2004.- №3(24).-С.8-12.

4. В.В. Агафонов Расчет динамической жесткости упругой системы станка на основе теории координатной связи/ / СТИН.- 2004.-№9.

Метод диагностики трибосопряжений по частицам износа

Л.И. ТУШИНСКИЙ, засл. деятель науки РФ,доктор техн. наук, профессор,
А.В. ПЛОХОВ, канд. техн. наук, профессор,
В.И. КАПЛИН, канд. техн. наук, доцент, НГТУ, г. Новосибирск

В результате фрикционного взаимодействия металлических и порошковых деталей образуются частицы износа (продукты изнашивания), отличающиеся друг от друга размерами и формой.

Диагностика и прогнозирование работы трибообьектов по частицам износа основывается на двух взаимосвязанных и дополняющих друг друга анализах: измерение продуктов изнашивания (построение кривой - функции распределения размеров частиц) и исследование формы частиц [1-3].

Отечественных публикаций, посвященных диагностике по анализу частиц износа, очень мало [4-5] и они носят обзорный характер. В то же время с начала семидесятых годов за рубежом ведутся интересные работы по изучению продуктов изнашивания. В настоящее время анализ масла с частицами признан эффективным средством для изучения и контроля событий, происходящих в зоне фрикционного контакта.

Целью настоящих исследований является апробация достаточно простого метода диагностирования металлических и порошковых узлов трения по продуктам изнашивания на недорогих и широко распространенных оптических микроскопах.

Сущность исследования трибосистемы по размерам продуктов изнашивания заключается в следующем. На стадии равномерного изнашивания распределение частиц по размерам можно описать полигоном 1 (рис. 1). Проводя периодический отбор проб масла и регулярно сравнивая кривые, можно выявить изменение функции распределения. Особенно важна та часть полигона, которая интенсивно "мигрирует". Это происходит на стадии ускоренного изнашивания и служит диагностическим признаком неблагополучия в системе (полигон 3).

Методика подготовки объекта для исследования и последовательность обработки результатов состоит в следующем. Масло с частицами в объеме 10–15мл последовательно разбавляется петролейным эфиром до тех пор, пока оно не растворится (жидкость становится прозрачной). Петролейный эфир сливается и осадок в виде

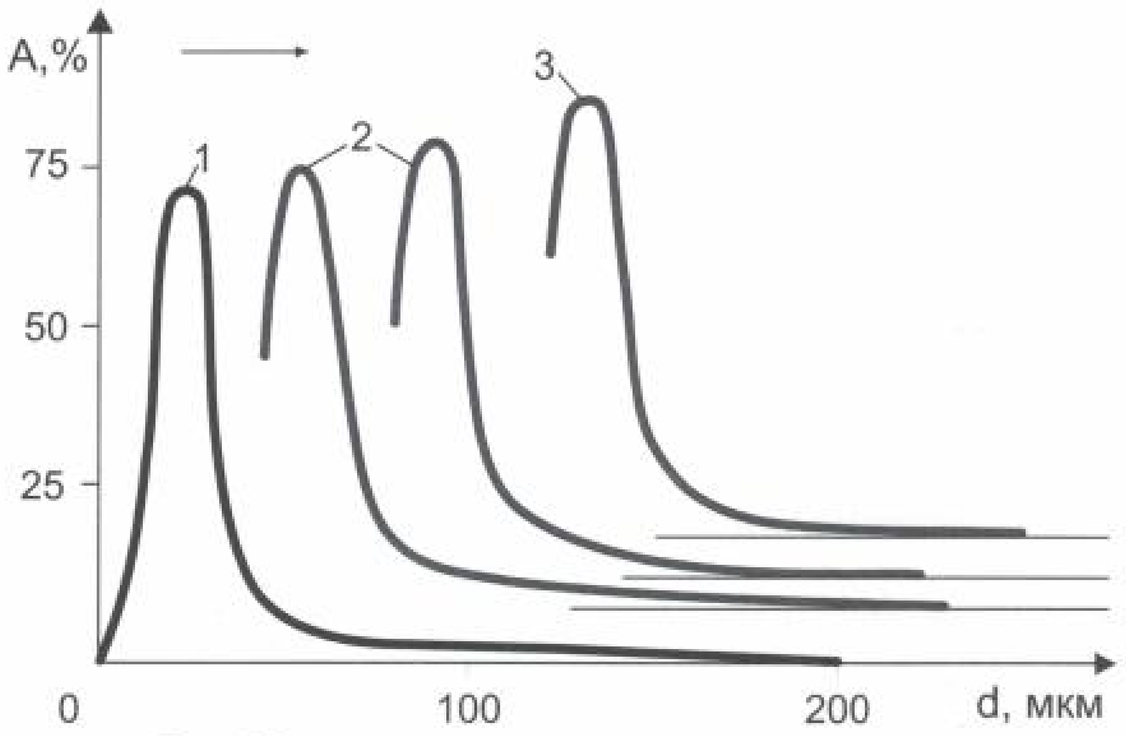


Рис. 1 Распределение размеров частиц износа:
1 – стадия равномерного изнашивания;
2 – переходная стадия;
3 – стадия ускоренного изнашивания

продуктов изнашивания промывается в ацетоне для растворения органических частиц, которые могли попасть в масло. Ацетон испаряется, после чего в чашке остается несколько миллиграммов осадка.

Часть полученной пробы переносится на предметное стекло для микропрепаратов, добавляется одна капля диспергирующей жидкости иммерсионного (кедрового) масла, и проба осторожно размазывается по поверхности стекла.

Препарат рассматривается под микроскопом при малом увеличении и при необходимости частицы вновь раздвигаются, добиваясь отсутствия конгломератов. Для исследования используется биологический микроскоп, работающий на просвет с применением покровного стекла. Второе стекло при этом не используется для получения большого увеличения при хорошем качестве микроскопического изображения.

Частицы измерялись по их проекции с негатива на фотоувеличителе. Интервал размеров частиц разбивался на

шесть частей (классов). Частицы измерялись в поле зрения, ограниченном прямоугольником, причем частица считалась принадлежащей к рассматриваемому полю, если одна из половинок ее находилась на левой вертикальной и верхней горизонтальной сторонах. Частицы измерялись линейкой, предварительно проградуированной с помощью объект микрометра.

Увеличение подбиралось так, чтобы изображение частицы имело размер не менее 1 мм. Измерялась максимальная хорда частиц в горизонтальном направлении. Для построения гистограмм и полигонов частот использовались результаты замеров 625 частиц.

Б. Роуланс и Г. Покок показали, что в большинстве случаев для описания гранулометрического состава продуктов изнашивания может быть использовано распределение Вейбулла [6-8].

По размерам стальные частицы можно разделить на особо мелкие, мелкие, средние и крупные. Превалирование особо мелких (меньше 5 мкм) частиц говорит о слабой интенсивности изнашивания и нормальной работе оборудования. Рост количества мелких частиц (5-25 мкм) может быть обусловлен пиковыми нагрузками, скачкообразными движениями при трении и пока еще не является признаком ухудшения работы оборудования. Резкое увеличение числа частиц (25-60 мкм) уже предупреждает об ускорении процесса разрушения поверхностных слоев. Интенсивное выкрашивание крупных (более 60 мкм) частиц присуще активному механическому изнашиванию и говорит о неудовлетворительной работе оборудования. В общем случае, чем крупнее образуются частицы, тем значительнее повреждения, тем выше интенсивность изнашивания и быстрее достигается предельный износ. Наличие визуально различимых частиц почти всегда свидетельствует о далеко зашедшем процессе изнашивания и развитии вызванных им хрупких и усталостных повреждений.

В зоне фрикционного контакта частицы приобретают цвета побежалости, т.е. при нагревании до определенных температур они окрашиваются из-за окисления. Бледно-желтый цвет соответствует нагреву до 220 °С, золотисто-желтый - 245 °С, пурпурный - 250 °С, фиолетовый - 265 °С, темно-пурпурный - 280 °С, голубой - 300 °С, синий - 315°С, черный - 420 °С.

Наличие цветов побежалости свидетельствует об отсутствии или недостаточной смазке. Частицы, не испытывающие перегрева, имеют характерный металлический блеск. Частицы латуни распознаются по интенсивному желтому цвету, неправильной форме и особенностям поверхности. Бороздки и риски на частицах латуни обычно расположены беспорядочно, тогда как на частицах стали, окрашенных в желтые тона, риски параллельны друг другу. Частицы бронзы имеют розовую окраску.

Рассматриваемый метод диагностики показал удовлетворительные результаты при испытании металлических и порошковых композиционных образцов "диск-колодка" на машине трения СМТ-3 при ступенчатом увеличении нагрузки.*

Результаты испытаний стальных образцов при разных контактных напряжениях приведены на рис. 2.

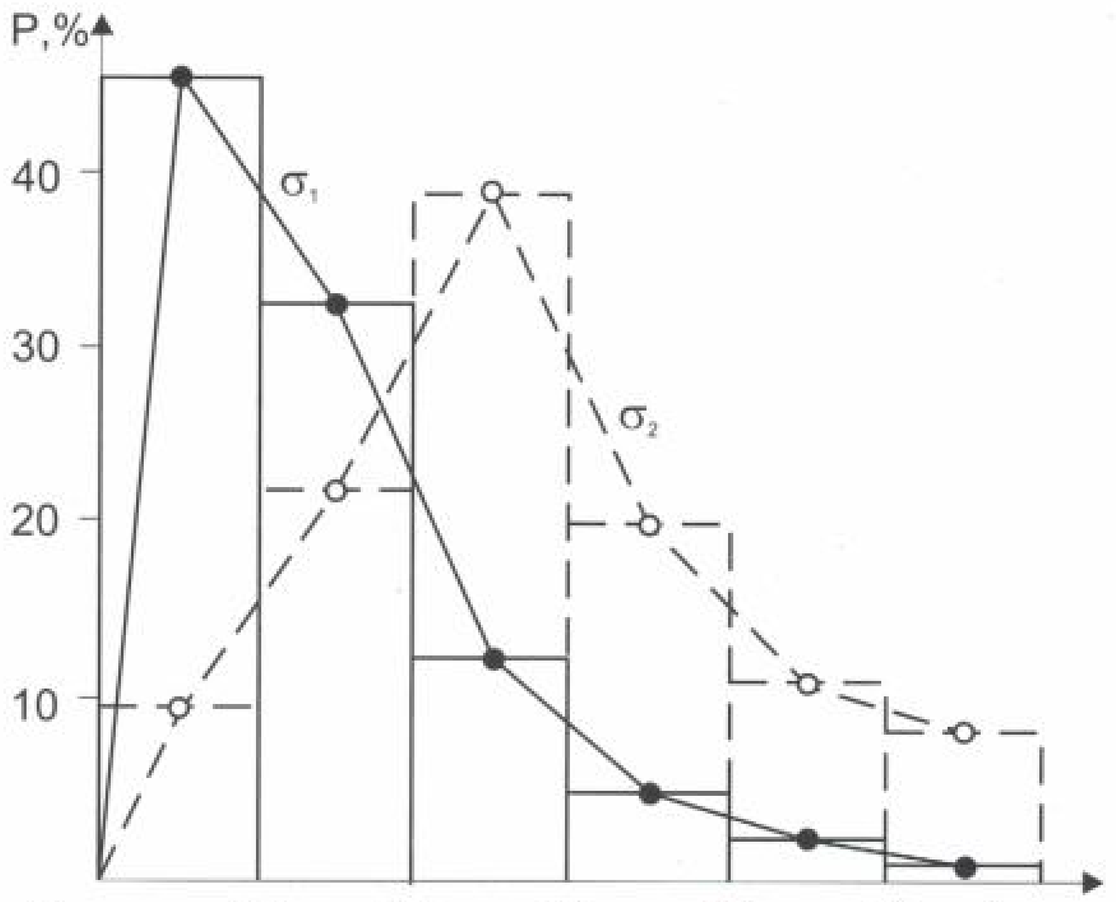


Рис. 2 Гистограммы и полигоны частот размеров стальных частиц износа при контактных напряжениях σ_1=1 Мпа, σ_2=5 Мпа

Для выявления подлинной картины изнашивания и выяснения особенностей разрушения необходима совместная комплексная оценка не только размеров, но и формы частиц.

Классифицированы три формы стальных частиц: пластинки или чешуйки, спиральки или стружки, обломки или осколки. Пластинки или чешуйки (рис.3а) возникают при проскальзывании сопряженных поверхностей. Такие частицы обычно имеют бороздки или параллельные риски,

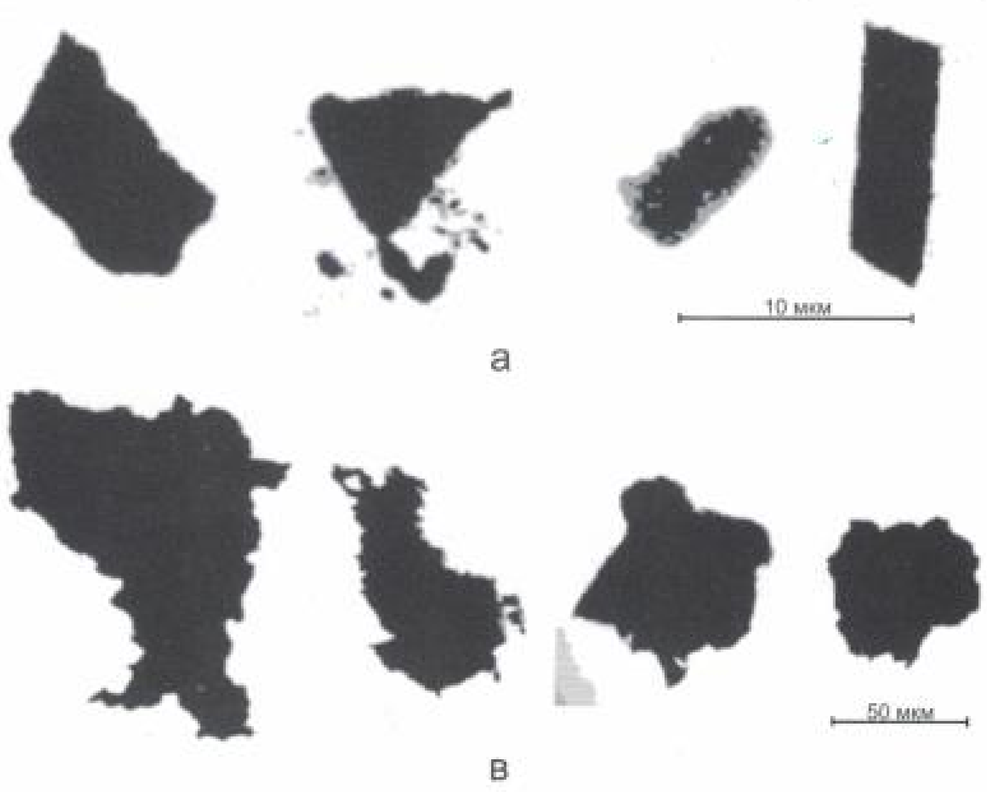


Рис.3. Пластинки или чешуйки (а), спиральки или стружки (б), обломки или осколки (в)

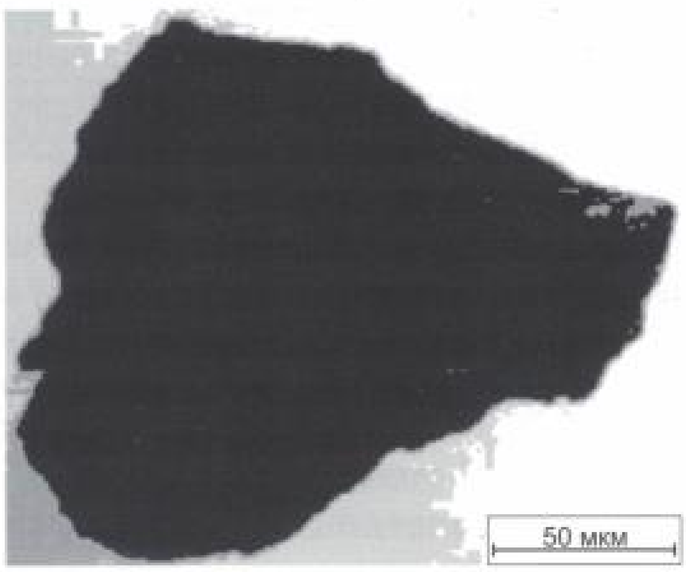


Рис.4. Частица износа порошковой композиции «алюминий – Ti Al_3».

которые указывают на направление движения, ставшего причиной их образования. Спиральки или стружки (рис.3б) являются следствием врезания твердой частицы или выступающего профиля в более мягкую поверхность контртела. Обломки или осколки (рис.3в) значительно толще чешуек и возникают при выкрашивании или хрупком разрушении поверхностных слоев. Они могут появляться, в частности, в процессе возникновения и распространения трещин на поверхностях качения или скольжения [9].

При анализе частиц износа в трибосопряжении "контробразец (сталь) - порошковый образец (алюминий Ti Al_3)"с помощью магнита отделялись стальные частицы. Небольшое количество частиц износа от стального контробразца не позволяет построить гистограмму. Следует отметить, что стальные частицы имели простую форму чешуек и малые размеры (не выше 10 мкм), что говорит о слабом изнашивании стали. Иная картина наблюдается при анализе частиц порошкового материала. Отличие состоит в форме и размерах частиц. Прежде всего присутствуют исключительно осколки, никаких других частиц, классифицированных в Атласе [9] не обнаружено. Осколки имеют округлую форму со сглаженными краями без острых углов и уступов (рис. 4). Размеры частиц от порошковой композиции значительно превышают размеры от цельнометаллического аналога. Максимум на гистограмме (рис.5) наблюдается в интервале 40 - 80 мкм (для сравнения у стальных частиц - 0-10 мкм).

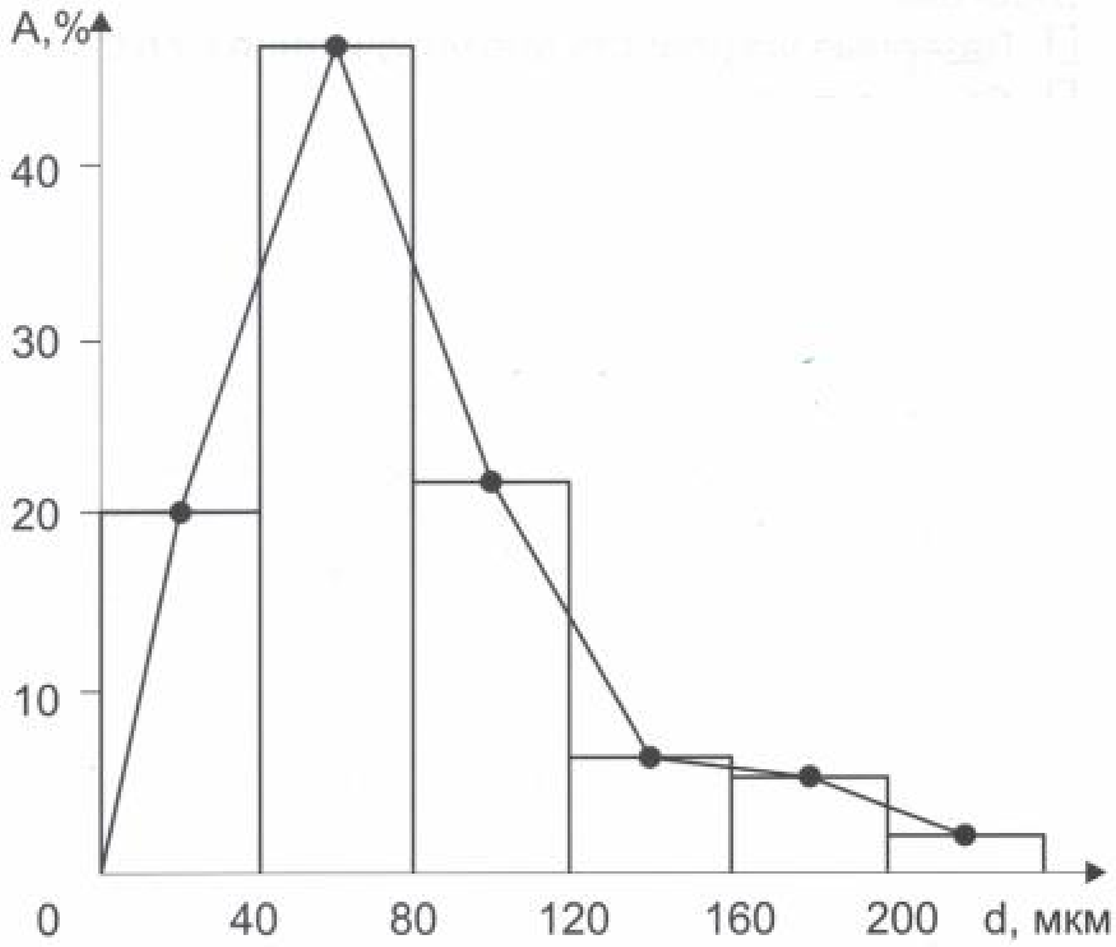


Рис. 5 Функция распределения размеров частиц износа композиции «алюминий – Ti Al_3».

Природа появления таких крупных частиц, вероятно, обусловлена не усталостным механизмом изнашивания [10], а структурой порошковой композиции. При изнашивании отдельные частицы, спеченные в порошковый конгломерат, отделяются по их контактной границе и превращаются в продукты изнашивания. Такому механизму блочного разрушения порошкового образца соответствует, в частности, факт отсутствия стружек и чешуек. Блочному, фрагментарному разрушению в зоне фрикционного контакта способствует также масляный клин, сформировавшийся в порах порошкового образца.

Анализ продуктов изнашивания целесообразно делать параллельно с исследованиями поверхностей трения. Обычно первая методика оказывается более простой и полезной, так как изучение зон фрикционного контакта предусматривает остановку и возможно разборку испытательной установки или узла трения, а исследование частиц износа этого не требует.

Рассматриваемая методика позволяет: определить интенсивность изнашивания; прогнозировать остаточный ресурс деталей машин; уточнять вид изнашивания; устанавливать соответствие исследовательских испытаний (особенно ускоренных) процессам при трении и изнашивании в реальных изделиях; оценивать истирающую способность поверхностей.

Литература

1. Плохов А.В, Каплин В.И, Синдеев В.И. Способ прогнозирования трибосоединений по частицам износа // Проблемы техники и технологии XXI века. Тез. докл. Научно-техн. конф. с международным участием. Красноярск. Издание КГТУ.1994. с.111-113.

2. Каплин В.И., Синдеев В.И., Троицкий Я.Н. и др. Феррографический анализ масла для диагностики трибообъектов // Направление развития методологии и средств испытания и диагностики трибообъектов: Расш. тез. докл. сем. "Триболог-9М" с международным участием, Москва, 27-30 апр. 1992г. -Рыбинск: Ростов. 1992.-с. 41-44.

3. Дандзе К. Технология диагностирования оборудования по состоянию масла в системе смазки.-Пуранто эндзиний, 1987, Т.1, N5, с. 65-72.

4. Мышкин Н.К., Холодилов О.В., Маркова Л.В. и др. Диагностика изнашивания смазанных подвижных сопряжений.-Трение и износ, 1986, N6, с.1091–1102.

5. Маркова Л.В., Мышкин Н.К. Диагностика трибосопряжения по частицам износа.-Трение и износ, 1988, N6, с. 1109-1118.

6. Pocock G. Wear Debris analysis for Machinery Health Monitoring. – British J. of Non Destructive Testing, 1979, V.21, N3, p.125-130.

7. Roylance B.J., Pocock G. Wear studies though particle distribution. I: Application of the Weibull distribution to ferrography. – Wear, 1983, V.90, N1, p. 113-136.

8. Roylance B.J., Vaudhan D.A. Wear studies through particle size distribution. II :Multiple field analysis inferrography. – Wear , 1983, V.90, N1, p.137-147.

9. Wear particle atlas.-Great Britain National Coal Board. Mining Research and Development Establishment. 1984,-15p.

10.Тушинский Л.И., Плохов А.В., Токарев А.О., Синдеев В.И. Методы исследования материалов. Структура, свойства и процессы нанесения неорганических покрытий. М.: Мир. 2004-384с.

INDEX: Технологии, ориентированные на скорость...

Механическая обработка деталей типа тела вращения одна из самых древних задач производства, решение которой сравнимо, пожалуй, по значимости с изобретением колеса. За столетия токарная операция претерпела большие изменения, как в подготовке производства, так и в технологии изготовления деталей. Один из самых революционных этапов развития токарных машин был связан с появлением в 90-х годах прошлого столетия машин с вертикально подвешенным Pick-Up шпинделем.

Вертикальные токарные станки автоматически выполняют по принципу PICK-UP (мотор-шпинделем) загрузку заготовок с транспортного устройства в зону обработки и выгрузку готовых деталей, что обеспечивает:

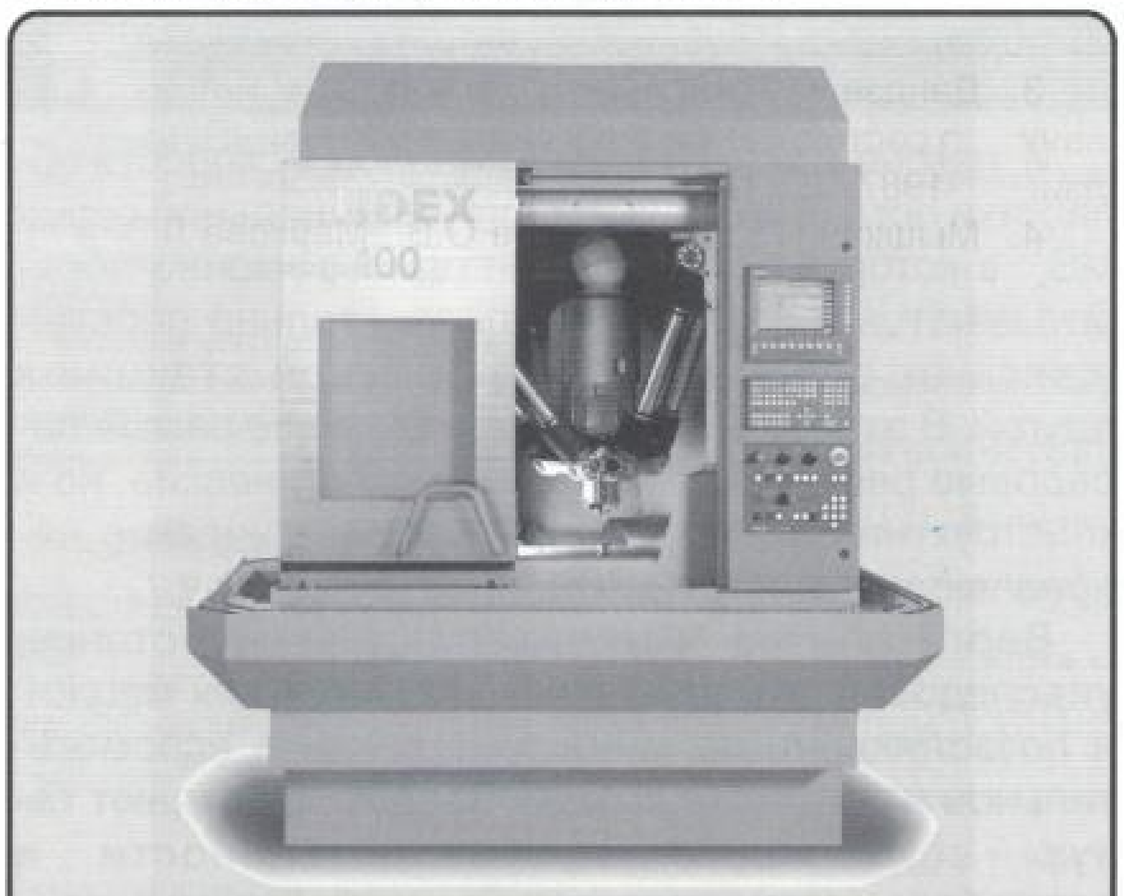
-Более компактные размеры конструкции в отличие от громоздкой системы портальной автоматизации;

-Минимальные перемещения шпинделя вместе с заготовкой от зоны загрузки-выгрузки до зоны обработки, снижение вспомогательного времени операции до минимума (7-8 секунд);

-Снижение стоимости оборудования за счет уменьшения количества станков занятых в техпроцессе;

-Увеличение производительности и, как следствие, снижение себестоимости обрабатываемых деталей.

Однако, специалисты фирмы INDEX Werke GmbH & Co. KG пошли дальше по пути развития вертикальной концепции токарной машины, и на очередной международной выставке EMO в 2001 году был представлен вертикальный токарный обрабатывающий центр с новейшей кинематикой скользящего вектора INDEX V100.



Принцип кинематики скользящего вектора позволяет уже в базовом варианте использовать ось Y, что недоступно другим моделям станков упрощенной концепции LEAN.

INDEX V100 - еще один решающий шаг вперед в скорости и гибкости.

Принцип кинематики скользящего вектора состоит в том, что шпиндель подвешен на жесткой системе рычагов (по два на каждую ось), которые в свою очередь связаны с ползунами на вертикальных, строго параллельных направляющих.

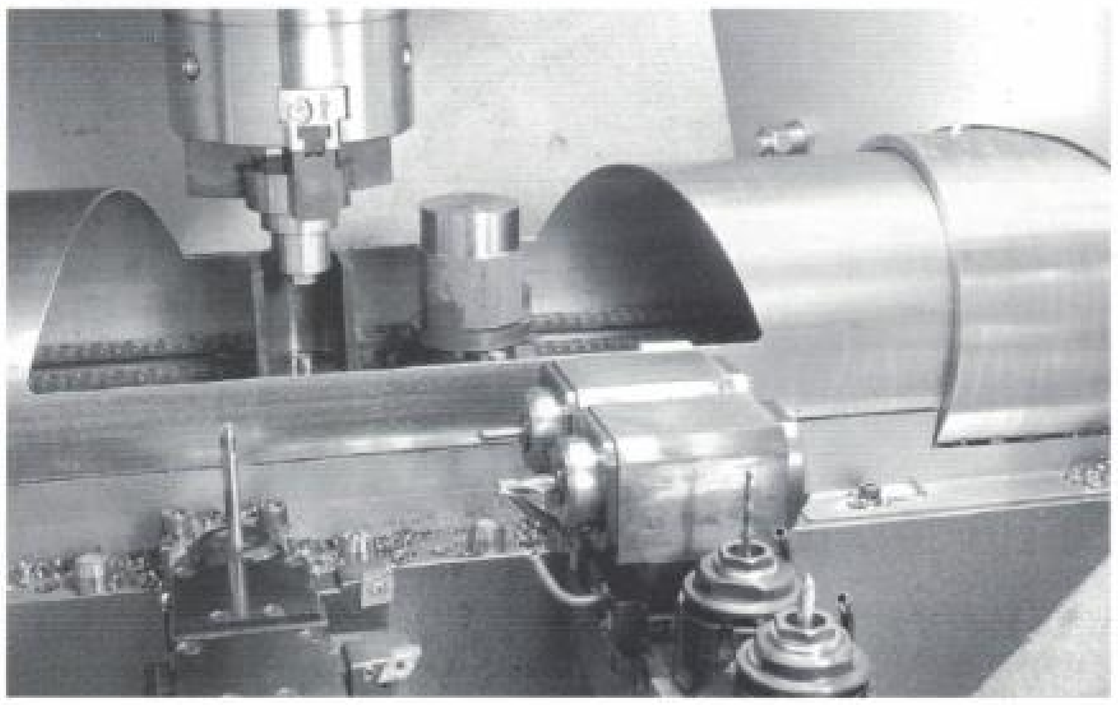
Согласованное движение ползунов по направляющим позволяет шпинделю занимать любое положение в рабочей зоне, а также в зоне загрузки/выгрузки.

О качестве производства сопряженных деталей говорит тот факт, что допуск на длину каждого рычага составляет менее 1 микрона.

Сложная, на первый взгляд, кинематическая связь интерпретируется устройством ЧПУ INDEX C200-4D как обычная Декартова система координат X,Y и Z.

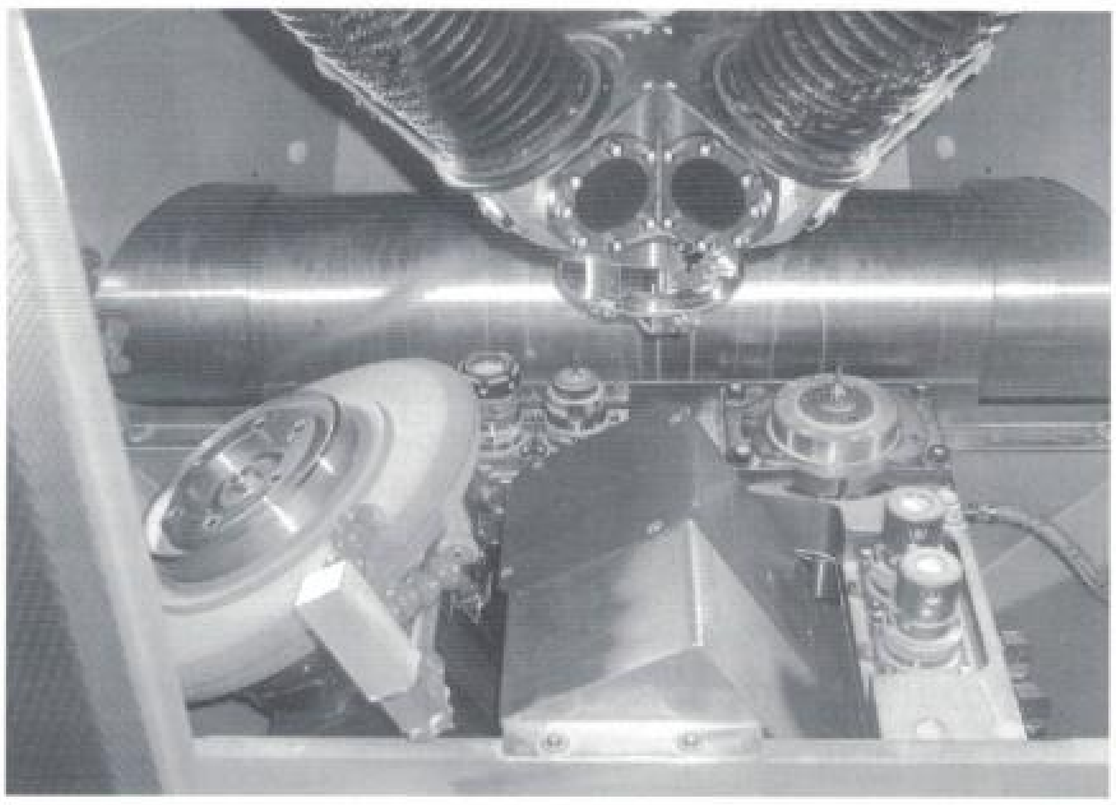
Гибкая, легко доступная рабочая зона со многими вариантами исполнения особенно подходит для использования дополнительного оснащения, позволяющего интегрировать несколько технологий в единый станочный процесс:

- Высокопроизводительное сверление многошпиндельной головкой и некруглое точение;
- Обработка скоростным вращающимся инструментом, включая шлифование;
- Тяжелое фрезерование специальными головками;
- Лазерные устройства для упрочнения и сварки;
- Сборка деталей.

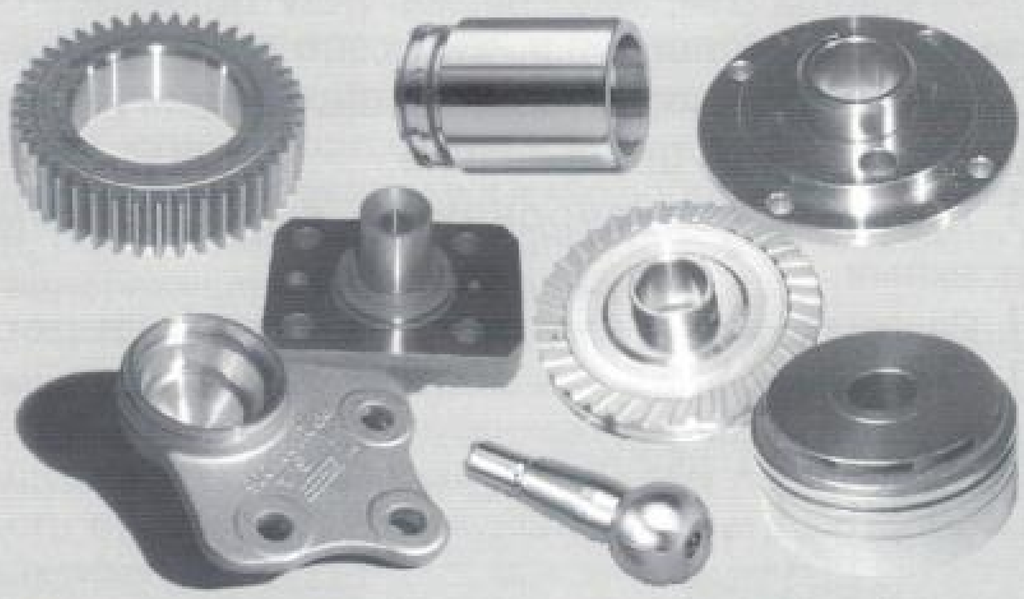


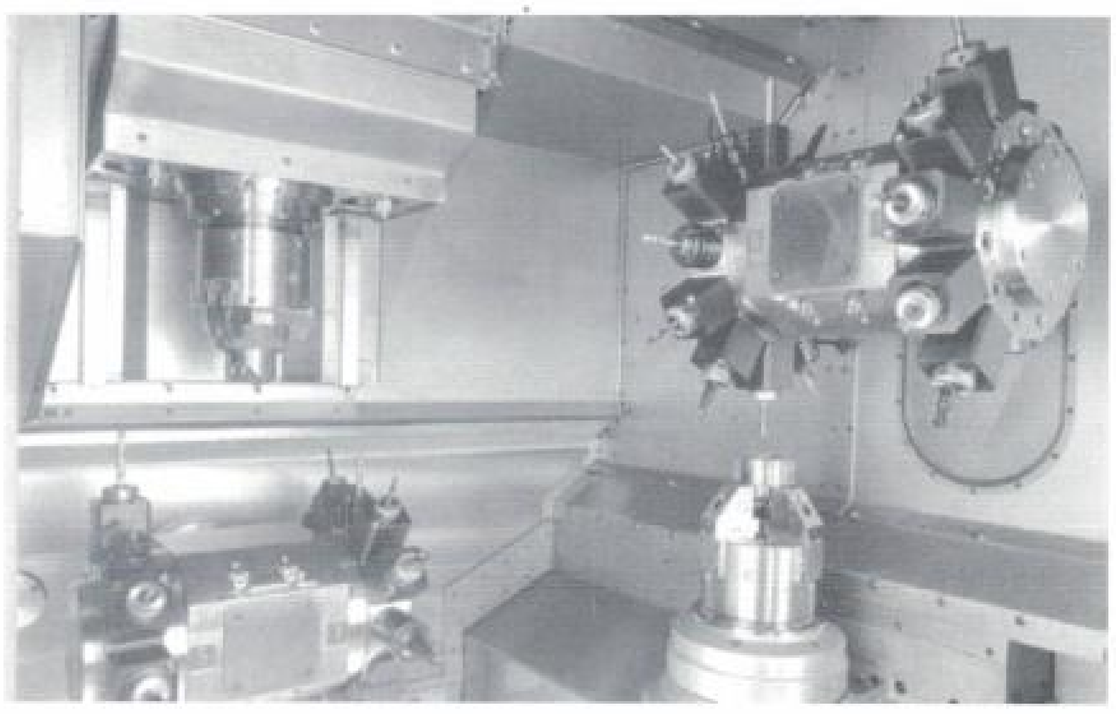
Из-за своей высокой жесткости, станок INDEX V100 исключительно подходит для механической обработки упрочненных материалов.

Различные шлифовальные шпиндели могут быть интегрированы в рабочую зону для наружной и внутренней обработки. И особенно в комбинации с твердым точением и финишным шлифованием, тем самым резко снижая основное время механической обработки для упрочненных материалов. Комбинированная обработка позволяет в 10 раз сократить припуск на шлифование.



С микронной точностью и менее чем за минуту эти детали обрабатываются на вертикальных машинах INDEX (шестерни, корпус шаровой опоры и шаровой палец, фланцы, тормозные поршни, детали инжектора, аппарат направляющий и колесо рабочее погружного насоса и др.)



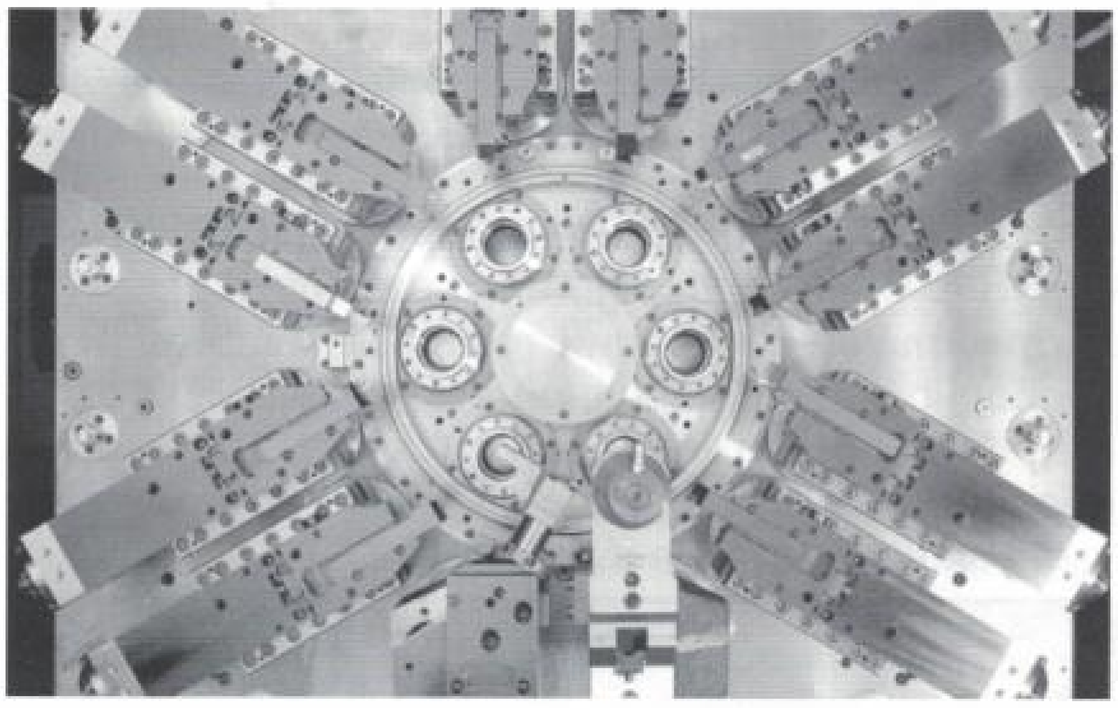


В результате проектирования нового технологического процесса часто возникает ситуация, требующая полной обработки детали с обеих сторон на одном станке.

С этой задачей прекрасно справляется еще одна вертикальная машина фирмы INDEX - станок V160G с противошпинделем. Оси X обоих шпинделей V160G расположены под прямым углом друг к другу и пересекаются в точке передачи, которая не устанавливается механически, а программируется в ЧПУ с микронной точностью. Человеческий фактор, существенно влияющий на погрешность установки и переустановки полностью исключен.

Время перемещения шпинделя по самой длинной оси (X) компенсируется применением линейного двигателя, позволяющего развивать скорость 80 м/мин при ускорении 10 м**с.

Станок имеет одну из самых просторных и удобных рабочих зон не только для интеграции различных технологических устройств, но и для обеспечения хорошего доступа для переналадки оператором.



И, наконец, безусловным лидером в скорости обработки остаются станки много-шпиндельной серии MS, в которых за один цикл одновременно обрабатываются 6 деталей, последовательно перемещаясь от одной инструментальной станции к другой. В этих станках реализованы все самые передовые решения не только технологические, но и конструктивные. Например, гидростатические направляющие инструментальных суппортов.

Вертикальные и многошпиндельные станки, унаследовавшие точность у классических машин и позволяющие до минимума снизить вспомогательное и основное время обработки, создают такую комбинацию производительности и рентабельности, которую Вы найдёте только у станков производства INDEX.

Более подробную информацию Вы можете получить в Московском представительстве фирмы

GALIKA AG

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

технология • оборудование • инструменты

Научно-технический и производственный журнал «Обработка металлов (технология • оборудование • инструменты)» издается для широкого круга профессионалов - производственников, предпринимателей, работников науки, высшей школы - и распространяется по подписке, в розницу, на выставках, конференциях и семинарах, путем адресной рассылки на предприятия и организации России и стран ближнего и дальнего Зарубежья.

ИНФОРМАЦИЯ О ПОДПИСКЕ НА ЖУРНАЛ «ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ» (ЦЕНЫ ПРИВЕДЕНЫ С УЧЕТОМ НДС)

Подписка на журнал осуществляется через редакцию. Для подписки по безналичному расчету необходимо сделать заявку. Заявка оформляется в произвольной форме с указанием адреса и реквизитов подписчика, фамилии получателя. Счет на подписку Вы получите по факсу или по почте.
Подписку можно оформить с любого номера и на любое количество экземпляров. В платежном поручении (или почтовом переводе) укажите: "Подписка на журнал "Обработка металлов".

Периодичность издания журнала	– 4 номера в год.
Стоимость одного номера	– 194,7 руб.
Стоимость подписки на один номер с учетом доставки и почтовых расходов	– 109,45 руб.
Стоимость полугодовой подписки по России с учетом доставки и почтовых расходов	– 418,9 руб.

РАСЦЕНКИ НА РАЗМЕЩЕНИЕ РЕКЛАМЫ В ЖУРНАЛЕ «ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ» (С УЧЕТОМ НДС)

Формат	Размер, мм.	Цветная, руб	Черно-белая, руб
1/1	200x280	8000	5000
1/2	170x118, 83x240	4200	2900
1/3	170x78, 83x158	3200	2250
1/4	170x58, 83x118	2400	1750
1/6	83x78	1600	1200
1/8	83x58	1100	800

ПРИМЕЧАНИЯ: публикация рекламы на 4-й странице обложки - надбавка 20%
стоимость рекламной статьи - 2000 руб. за полосу
постоянным клиентам – скидки

АДРЕС РЕДАКЦИИ: ОАО НПТ и ЭИ "Оргстанкинпром"
630087, г. Новосибирск-87, пр. К. Маркса, 30
Тел.(3832) 46-37-77, тел./факс (3832) 46-39-11
E-mail: ostp@sibproject.ru

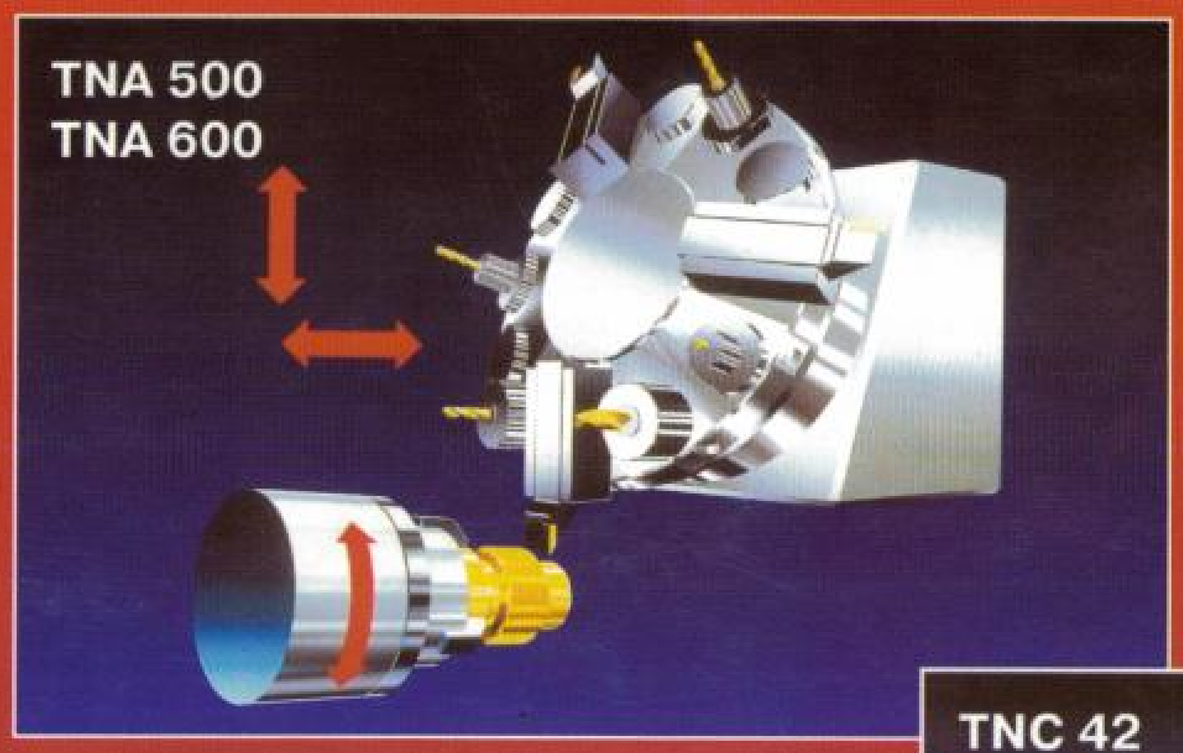
РЕКВИЗИТЫ: ИНН 5404109796
Р/с 40702810801000003157 в КРАБ "Новосибирсквнешторгбанк"
К/с 30101810600000000897, БИК 045004897

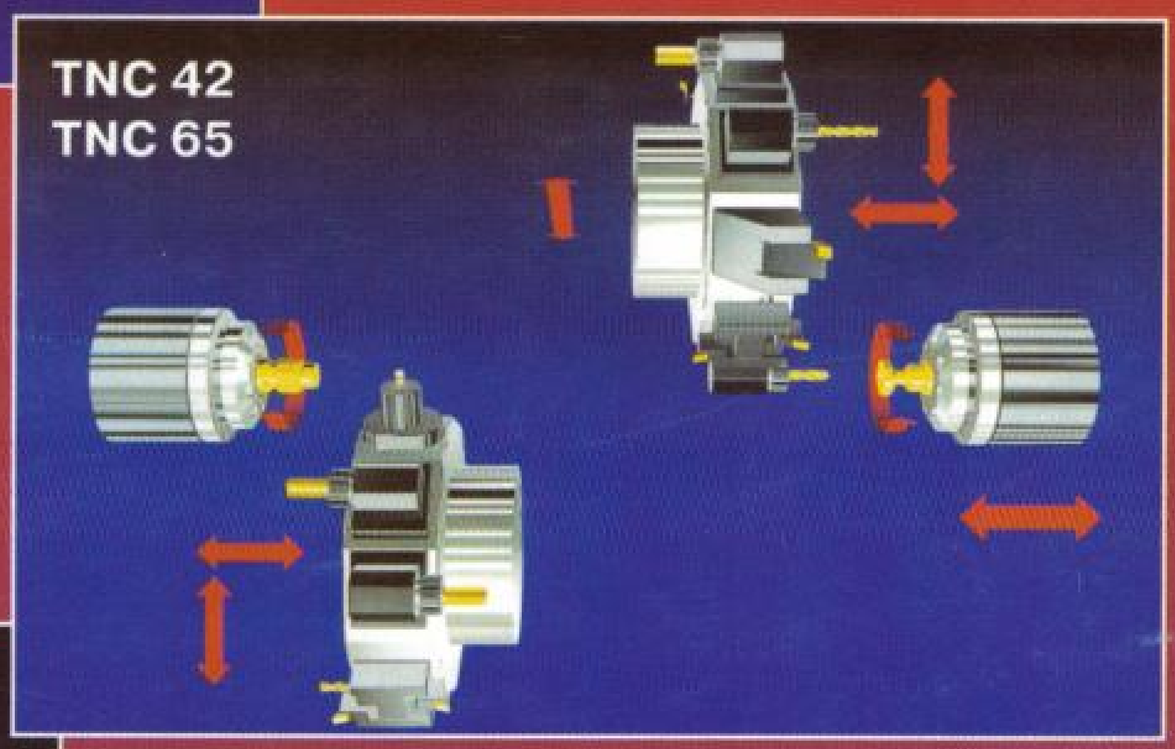
ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ И РЕКЛАМОДАТЕЛЕЙ

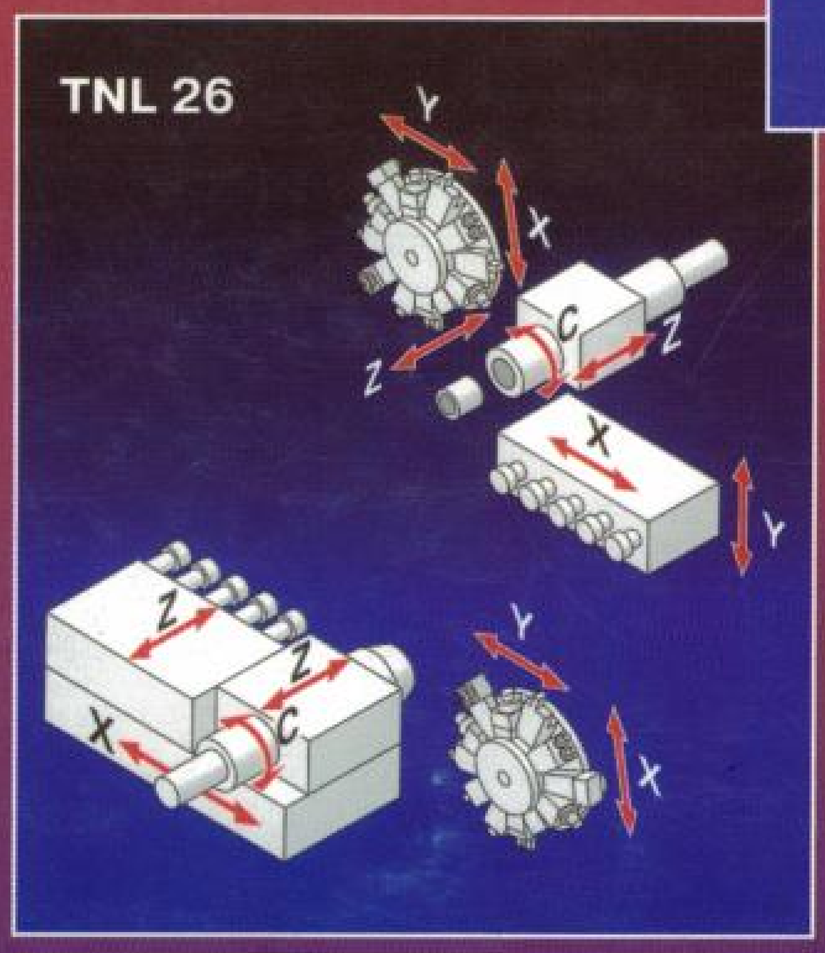
1. Статья, направляемая в журнал "Обработка металлов", должна быть сопровождена сведениями об авторе (авторах) с указанием фамилии, имени, отчества, ученой степени, звания, должности, места работы, адреса, телефона, факса, адреса электронной почты.
2. Объем статьи не должен превышать 4-5 журнальных полос формата А-4, включая таблицы и рисунки.
3. Автор (авторы) предоставляют статьи на дискете 3,5" в формате текстового файла ASCII или Microsoft Word с распечаткой текста и графических материалов или электронной почтой.
4. Рисунки, фотографии, таблицы, схемы предоставляются в формате TIF, JPG, PSD, EPS, или BMP, с разрешением 300dpi (для полноцветных изображений - цветовая модель CMYK) и с обязательной распечаткой. На обороте указывается (карандашом) фамилия автора, название статьи, номер рисунка (таблицы, формулы).
5. Оригинал-макеты рекламы принимаются в электронной версии (с обязательной распечаткой) в формате CorelDraw, версии 8.0 или Photoshop, версии 5.0. В Corel Draw текст должен быть преобразован в кривые.
6. В случае несоблюдения данных требований, материалы в журнале не публикуются.

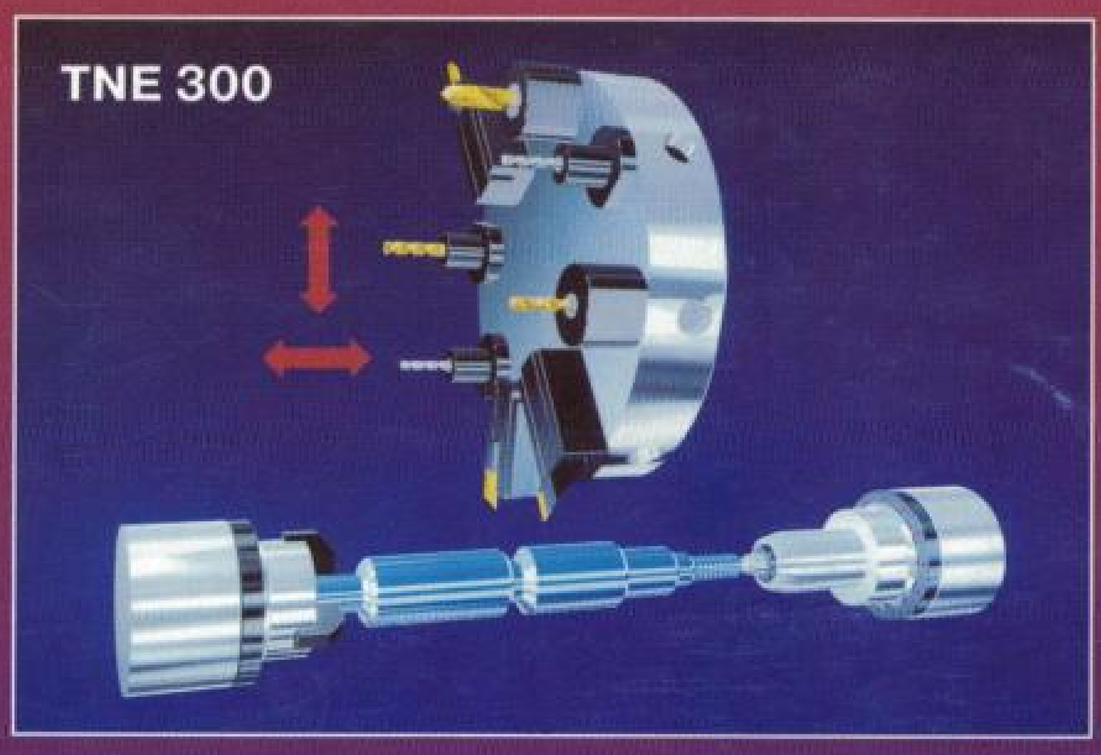
TRAUB

Токарные станки
в любой необходимой конфигурации









Проведение консультаций, продажа, ввод в эксплуатацию и сервисное обслуживание высококачественного оборудования, и прежде всего станков, обрабатывающих центров и линий, с обучением персонала работе на этом оборудовании. Всегда в наличии на складе в Москве запасные части и расходные материалы для всех видов станков.

119334, Москва, Пушкинская наб., 8а
Тел.: (095) 234-60-00 (многоканальный), 956-14-72, 956-14-73,
956-14-75, 956-14-76, 956-14-77, 954-09-04, 954-09-09, 954-09-00
954-12-07, 954-14-63; факс: (095) 954-44-16
E-mail: sales@galika.ru Internet: http://www.galika.ru

GALIKA AG