

СЕКЦИЯ 7

Материаловедение, технология машиностроения

Блуриян Р.Ш., Блуриян Д.Р., Блуриян И.Р

Исследование влияния времени выхаживания при врезном бесцентровом шлифовании на технологических остаточных напряжениях поверхностных слоев крестовин

Исследование влияния припуска на обработку при врезном бесцентровом шлифовании на формирование технологических остаточных напряжений поверхностных слоев крестовин

Боярский В.Г., Шеров К.Т., Сихимбаев М.Р., Бузауова Т.М.
Технология раздачи пустотелых и трубчатых заготовок

Брылёв А.В., Абдулов О.Е.

Альтернативная технология обработки поверхности катания колесной пары тягового подвижного состава

Бузауова Т.М., Шеров К.Т., Боярский В.Г.

Расчет распространения тепла в теле заготовки в процессе обработки

Гусев С.В., Гусев А.С.

Абразивный износ

Определение угла загиба и работоспособности образцов

Электрические и электрохимические явления при резании древесины

Жукова А.В., Гейдан И.А., Ерахтина И.И., Плевакова Е.А.

Упрочнение деталей

поверхностным пластическим деформированием (ППД).

Обзор перспективных технологий

Зелинский В.В.

Создание технологии изофрикционной приработки тепловозных дизелей

Зелинский В.В., Борисова Е.А.

Актуальность исследования

закономерностей трения и изнашивания

инструментальных материалов

Зелинский В.В., Диков А.Г., Борисова Е.А.

Особенности модификации поверхностей трения
обработкой магнитным полем

Зелинский В.В., Сучилин Д.Н.

Технологическое управление
триботехническими свойствами поверхностей

Зяблицева О.В.

Контроль состава при осаждении покрытия
на внутренние цилиндрические поверхности

Карпов А.В., Зелинский В.В.

К вопросу повышения производительности
механической обработки протяженных поверхностей вращения

Кокорева О.Г.

Применение методов упрочнения ППД
тяжелонагруженных поверхностей зубчатых передач

Статико-импульсная обработка –
инновационный метод упрочнения
тяжелонагруженных поверхностей деталей машин

Лазуткин С.Л., Лазуткина Н.А.

Обоснование структуры автоматизированной технической системы
для уплотнения различных материалов

Лодыгина Н.Д.

Напряженное состояние винта
при неравномерном распределении нагрузки

Исследование напряжений в деталях несоосных винтовых механизмов

Матросова Ю.Н.

Классификация пористых материалов в машиностроении

Никитин О.Р., Голихин А.В.

Моделирование радиотеплового зондирования растительных покровов
в восьмимиллиметровом диапазоне с подвижными платформами

Пронин В.А., Соловьёв Л.П., В.В.Булкин, А.В. Булкин

Магнитная сепарация металлосодержащих золошлаковых отходов

Телков И.А.

Ударно-колебательные процессы
при обработке поверхностным пластическим деформированием

Фабричный Ю.Ф.

Пороговые характеристики АЧХ
и остаточный ресурс машин и оборудования

Шеров А.К., Мусаев М.М., Ракишев А.К.

Технологии термофрикционной обработки металлов и сплавов
с особыми физико-механическими свойствами

Шлапак Л.С.

Особенности энергобаланса технологического оборудования

Яшков В.А., Силин Л.В.

Анализ погрешностей обработки сборным абразивным кругом
с радиально-подвижными абразивными сегментами

Р.Ш. Блурцян
Д.Р. Блурцян
И.Р. Блурцян

*Муромский институт Владимирского государственного университета
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23
e-mail: oid@mivlgu.ru*

Исследование влияния времени выхаживания при врезном бесцентровом шлифовании на технологических остаточных напряжениях поверхностных слоев крестовин

Исследования велись на крестовинах карданных валов автомашин МАЗ, ЗИЛ, КраЗ, изготавливаемых соответственно из сталей 18ХГТ, 20ХГНТР, 15ХГНТА. При этом за базовые приняты крестовины МАЗ.

Заготовки получались методом штамповки. Токарная обработка исследуемых поверхностей производилась на токарно-многорезцовых полуавтоматах.

После токарной обработки образцы проходили газовую цементацию в шахтной печи «Ц-105» и закалку с повторного нагрева в агрегате К-90.

Остаточные напряжения исследовались по методике академика Н.Н. Давиденкова [1] в зависимости от изменения элементов режимов окончательного шлифования в следующих пределах: время выхаживания 3 – 20 с.

Остальные условия при изменении отдельных параметров соответствовали значениям, приведенным ниже: $V_u = 32$ м / с; $V_g = 18$ м / мин; $t = 2$ мм / мин; $T_g = 6$ с; $\delta = 0,04$ мм.

Подготовка образцов производилась за две операции шлифования. При этом условия черного ($V_u = 29,8$ м / с; $V_g = 18,1$ м / мин; $t = 0,22$ мм / мин; $T_g = 2$ с; $\delta = 0,2$ мм) и чистового ($V_u = 30,4$ с; $V_g = 29,2$ м / мин; $t = 0,2$ мин; $\delta = 0,08$ мм; $T_g = 4$ с) шлифования приняты умеренными. Это предпринято в связи с тем, что остаточные напряжения, формирующиеся в деталях машин, определяются не только напряжениями, возникающими в процессе их окончательной обработки, но и напряжениями, возникающими на предшествующих операциях.

Шлифование велось на бесцентровых круглошлифовальных станках методом врезной подачи.

Правка шлифовального и ведущего кругов производилась алмазно-металлическими карандашами.

В качестве технологической охлаждающей жидкости использовался водный раствор эмульсии с добавлением кальцинированной соды.

Для одновременного шлифования противоположных цапф крестовин использована многокруговая наладка с двумя шлифовальными и ведущими кругами, прифланцованными и отделенными промежуточным кольцом.

Основной задачей являлось исследование влияния времени выхаживания на формирование технологических остаточных напряжений в поверхностях цапф крестовин карданных валов при врезном бесцентровом шлифовании.

Приведены результаты исследований распределения остаточных напряжений по глубине поверхностного слоя образцов, обработанных при окончательном шлифовании с варьированием времени выхаживания от 3 до 20 с. Установлено, что остаточные напряжения достигают наибольших значений при выхаживании в 3 и 20 с, а при $T_g = 12$ с – минимальны. Полученные зависимости встречаются впервые, а применение их связано со значительным эффектом, особенно со сложившимся мнением, что увеличение выхаживания приводит к улучшению всех показателей качества поверхности. Исследованиями установлено, что превышение времени выхаживания на 8 с относительно $T_g = 12$ с ведет к интенсивному увеличению неблагоприятных растягивающих напряжений, особенно в поверхностных слоях глубиной в 0,0063 мм (на 454 МПа, то есть в 3,4 раза). Обратная картина наблюдается при увеличении T_g до 12 с, где величина растягивавших напряжений уменьшается, причем четырехкратному повышению времени выхаживания соответствует уменьшение δ на 410 МПа (в 3,2 раза). Эта закономерность отчетливо сохраняется с затуханием в слоях, лежащих на глубине 0,03 – 0,35 мм.

Зависимость глубины распространения шлифовочных остаточных напряжений от времени выхаживания, в диапазоне изменения T_g от 3 до 30 с, экстремальна с минимумом при $T_g = 12$ с. С увеличением цикла выхаживания от 3 до 12 с глубина распространения остаточных напряжений (h_σ) уменьшается от 0,0504 до 0,038 мм, а при дальнейшем росте T_g до 20 с h_σ достигает 0,063 мм.

Установленное изменение тангенциальных остаточных напряжений для ниспадающей ветви кривой $\sigma \sim T_g$ обусловлено снижением тепловыделения и одновременным сошлифовыванием интенсивно напряженных слоев с напряжениями, сформированными при цикле врезания. Изменение тепловыделения объясняется уменьшением элементов сечения среза по мере продолжения выхаживания.

В результате выполненных исследований процесса врезного бесцентрового шлифования крестовин получены следующие выводы.

1. При шлифовании цементованной стали 18ХГТ в поверхностных слоях формируются растягивающие тангенциальные остаточные напряжения, существенно меняющиеся по величине и глубине распространения в зависимости от технологических факторов обработки.

2. Зависимость тангенциальных остаточных напряжений от времени выхаживания экстремальна с минимумом при $T_g = 12$ с (для исследованных условий шлифования).

3. При окончательном шлифовании стали 18ХГТ максимум напряжений преимущественно получается в верхних горизонтах с монотонным убыванием в глубину.

Литература

1. Технологические остаточные напряжения / под ред. А.В. Подзея.– М.: Машиностроение, 1973.– 216 с.

Р.Ш. Блурцян
Д.Р. Блурцян
И.Р. Блурцян

*Муромский институт Владимирского государственного университета
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23
e-mail: oid@mivlgu.ru*

Исследование влияния припуска на обработку при врезном бесцентровом шлифовании на формирование технологических остаточных напряжений поверхностных слоев крестовин

Исследования велись на крестовинах карданных валов грузовых автомашин, изготавливаемых из цементуемых сталей. Заготовки получались методом безоблойной штамповки. Технологические остаточные напряжения исследовались по методике академика Н.Н. Давиденкова [1].

Обработка выполнялась методом врезного бесцентрового шлифования со следующими режимами резания: $V_u = 32$ м / с; $V_g = 18$ м / мин; $t = 2$ мм / мин; $T_g = 6$ с; $\delta = 0,04$ мм.

Шлифование осуществлялось методом использования многокруговой наладки с двумя шлифовальными и двумя ведущими кругами, прифланцованными вместе и отделенным промежуточным кольцом.

Исследовано распределение технологических остаточных напряжений по глубине поверхностного слоя образцов в диапазоне изменения припуска от 0,02 до 0,12 мм. При изменении δ остаточные напряжения слоев, прилегающих к поверхности, меняются без определенной закономерности. По глубине эпюры напряжений образцов, шлифованных при разных припусках, монотонно убывающие. Как видно, на расстоянии в 0,05 мм от поверхности напряжения уменьшаются в 3,3 – 6,8 раза относительно δ поверхностных слоев с перепадом в пределах 110 – 230 МПа.

Остаточные напряжения, образованные при шлифовании с $\delta = 0,02$ мм и 0,09 мм монотонно убывают в глубину, а для остальных значений в слое толщиной 15,6 мк происходит увеличение σ от поверхности с дальнейшим убыванием в нижележащих слоях. В отличие от кривых $\sigma \sim \delta$, увеличение припуска на шлифование ведет к росту глубины распространения, шлифовочных остаточных напряжений. Увеличение припуска от 0,02 до 0,12 мм приводит к росту глубины распространения шлифовочных остаточных напряжений.

Как и следовало ожидать, при повышении δ вследствие неизменности элементов сечения среза, величина максимальных остаточных напряжений меняется мало, а глубина растет из-за увеличения общего потока тепла и времени его воздействия на поверхностные слои.

В результате выполненных исследований процесса врезного бесцентрового шлифования крестовин получены следующие выводы.

1. При шлифовании цементованных сталей для изготовления крестовин карданных валов возникают растягивающие технологические остаточные напряжения.
2. Увеличение припуска на шлифование незначительно влияет на величину тангенциальных остаточных напряжений, увеличивается лишь глубина их распространения.

Литература

1. Технологические остаточные напряжения / под ред. А.В. Подзея.– М.: Машиностроение, 1973.– 216 с.

Технология раздачи пустотелых и трубчатых заготовок

Полые детали типа втулок с фланцами и утолщениями и колец различных конфигураций довольно широко распространены в машиностроении. Изготовление подобных деталей на предприятиях машиностроения традиционными методами – литьем и механической обработкой резанием – имеет свои недостатки: низкое качество заготовок и потери металла. В большинстве случаев для этой группы процессов применяют методы локальной обработки давлением. Хорошие результаты по точности размеров и качеству поверхности достигают при помощи метода пластического деформирования, называемого раздачей. Операция раздачи представляет расширение пустотелых и трубчатых или пустотелых заготовок, производимое за счет расширения материала изнутри в радиальном направлении. Технологические процессы раздачи полых деталей отличаются высокой эффективностью и многообразием возможных вариантов формообразования. Высокое качество поверхности, макроструктура после раздачи повышают износостойкость, статическую и динамическую прочность деталей. Раздачу можно осуществлять на краях или на средней части полой заготовки в штампах с разъемными матрицами, эластичными средами и другими способами. Операция раздачи, как правило, требует применения штампов с разъемной матрицей. Для раздачи применяют следующие типы штампов:

- 1) с резиновым пуансоном;
- 2) с жидкостью вместо пуансона;
- 3) с разжимными секциями, раздвигаемые клиновой вставкой.

Общим недостатком указанных штампов является неудобство и сложность ручного разжима матрицы и извлечения из матрицы готовой детали. Степень деформации при раздаче может быть увеличена, если одновременно с внутренним радиальным давлением производить осевое сжатие заготовки. Экономический эффект достигается за счет снижения расхода металла и трудоемкости изготовления, а в ряде случаев за счет эксплуатационных свойств деталей. Степень деформации при раздаче может быть выражена коэффициентом раздачи:

$$K_{\text{разд.}} = \frac{d_1}{d_0} \quad (1)$$

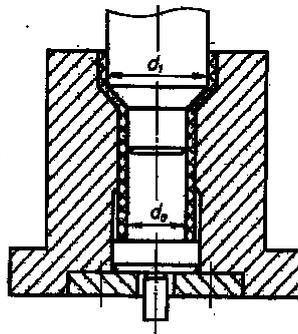


Рис. 1. Схема раздачи

Если диаметр исходного полого цилиндра d_0 , то наибольший диаметр d_1 , до которого можно осуществить раздачу (рис.1):

$$d_1 = K_{\text{разд.}} d_0, \quad (2)$$

где $K_{\text{разд.}}$ – коэффициент раздачи, зависящий от относительной толщины заготовки.

Для стали $K_{\text{разд.}}$ приведены в табл. 1[1].

Таблица 1

Значения коэффициента раздачи в зависимости от относительной толщины заготовки

s/d_0	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	0,11	0,12	0,13	0,14
$K_{\text{разд.}}$	0,46	0,5	0,52	0,53	0,55	0,56	0,58	0,59	0,6	0,63	0,68

Толщина материала при раздаче уменьшается. Наименьшую толщину в месте наибольшего растяжения определяют по формуле:

$$s_1 = s \sqrt{\frac{1}{K_{\text{разд.}}}} \quad (3)$$

Размеры заготовки для раздачи определяют исходя из равенства объемов заготовки и детали без учета изменения толщины металла. Предельное наибольшее значение усилие $P_{\text{разд.}}$ без учета калибровки можно определить по формуле:

$$P_{\text{разд.}} = 1,1\pi s \sigma_e (d_1 - d_0), \quad (4)$$

где σ_e – предел прочности штампуемого материала, МПа; остальные параметры в мм.

Для реализации метода (раздачи) был спроектирован штамп для муфт рукавов высокого давления на гидравлический пресс П6328. Верхняя часть штампа состоит из плиты верхней 12, прокладки 10, пуансонодержателя 9, хвостовика 11. Нижняя часть штампа включает в себя плиту 1, направляющие 2 и 3, клин 4, выталкиватель 14, матрицу 6, съемник 7, направляющие планки 5, ограничитель закрытой высоты 13, упор 15, пуансон 8.

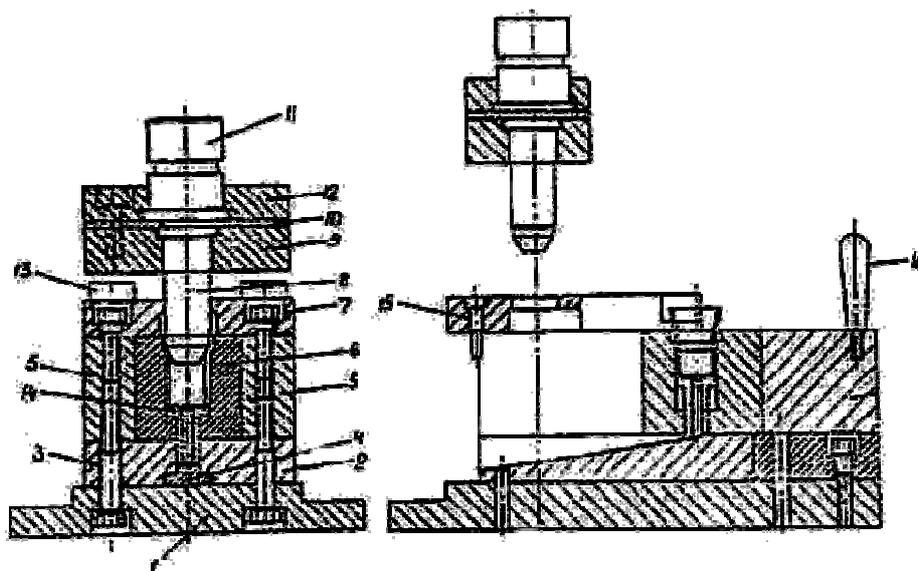


Рис. 2. Штамп для раздачи муфт

Полая заготовка в штамп закладывается при выдвинутой на себя матрице с помощью ручки 16. Затем матрица возвращается в рабочее положение штампа. Для получения требуемых линейных размеров детали предусмотрен ограничитель закрытой высоты штампа. Разработанная конструкция позволяет осуществлять удаление детали из матрицы с помощью клина и выталкивателя. При выдвигении матрицы по направляющим на себя выталкиватель 14 поднимется за счет клина и поднимает деталь. Съем детали с пуансона осуществляется съемником 7. Деталь штампуется в холодном состоянии. Для изготовления рабочих элементов штампов в зависимости от штампуемых материалов могут быть использованы инструментальные стали У10А, 9ХС, Х12М с твердостью матрицы HRC, 55 ... 59, пуансона HRC, 53 ... 57. Использование разработанной конструкции штампа позволило повысить качество деталей, осуществлять получение детали без снятия стружки, а также повысить производительность труда за счет сокращения вспомогательного времени по удалению детали из матрицы.

Литература

1. Рудман, Л. И. Справочник конструктора штампов.– М.: Машиностроение, 1988.– 496 с.
2. Романовский, В.П. Справочник по холодной штамповке.– 6-е изд., перераб. и доп.– Л.: Машиностроение, 1979.– 520 с.

А.В. Брылёв
О.Е. Абдулов
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
105505 г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5
e-mail: brylew@mail.ru
e-mail: abdulov@myskip.ru

Альтернативная технология обработки поверхности катания колесной пары тягового подвижного состава

Традиционно для обработки поверхности катания колесной пары в машиностроении используется точение на колесотокарных станках. При этом достигаются требования, представленные в табл. 1 [1]. Эти требования характерны для колес, скорость которых при движении поезда не превышает 200 км / ч.

Таблица 1

Основные технические требования для поверхности катания колес

Название	Величина
Точность размеров, мм	$\pm 0,2$
Точность обработки по формуляру, мм	$\pm 0,2$
Шероховатость поверхности катания Ra , мкм	≤ 10

Во время эксплуатации колесной пары происходит износ поверхности катания. Основные виды износа представлены в табл. 2. Кроме того могут присутствовать трещины, ползуны, навары.

Таблица 2

Основные виды износа поверхности катания колеса

Название	Величина
Наклеп (глубина)	2 мм
Средняя твердость поверхности	HВ 470
Твердость в местах термомеханического происхождения	HV 600 – 1000
Отклонение от геометрии профиля	до 10мм

Такой износ приводит к определенным трудностям при проектировании технологических процессов обработки поверхности катания колеса. В ряде случаев возникают трудности не только в выборе метода традиционной механической обработки, но и вообще в возможности самой механической обработки.

Для решения этой проблемы можно предложить несколько методов:

1. Точение двумя резцами начерно и начисто – ТП-1 (круглые пластины) [2]
2. Точение однократное с предварительным отжигом (или плазменным подогревом) – ТП-2 [3]
3. Электрохимическая обработка ЭХО – ТП-3 [4]
4. Точение двумя резцами начерно и начисто – ТП-4 (ромбические пластины)
5. Шлифование

Проанализируем предложенные варианты обработки.

ТП-1 и ТП-2 осуществляются на колесотокарном станке, отличаются только использованием режущей части инструмента. Каждое предприятие выбирает инструмент исходя из своих предпочтений.

В ТП-2 подогрев поверхности катания колеса значительно снижает силовые нагрузки на инструмент, а следовательно, позволяет увеличить режимы обработки, как следствие увеличение не только производительности, но и времени службы инструмента.

Использование ЭХО в ТП-3 можно назвать нетрадиционным методом, зато он позволяет обрабатывать заготовку из материала любой твердости, сложной формы (такую как поверхность катания колеса), комплексно обеспечивает точность размеров, формы и шероховатость поверхности.

Ограничением применения электрохимического метода обработки может являться недостаточное изучение самого процесса.

При проектировании процесса шлифования поверхности катания колеса можно столкнуться со следующими проблемами: сегодня нет станков, на которых можно было бы устанавливать и закреплять колеса для шлифования. Кроме того, исходя из традиционного принципа проектирования станков, шлифовальный круг должен превышать диаметр заготовки в несколько раз, а учитывая, что диаметр колесной пары 800 ... 1400 мм, практически такой станок изготовить будет очень сложно. Да и инструмент (шлифовальный круг) для такого станка нужно будет заказывать специально, поэтому этот вид обработки рассматривать не будем.

Далее в каждом конкретном случае следует оценивать целесообразность применения того или иного конкретного метода обработки. Объективную оценку может дать расчет технологической себестоимости.

После расчета производительности и технологической себестоимости по четырем вариантам ТП (табл. 3) можно утверждать: ЭХО может быть перспективной в использовании при обработке поверхности катания колеса.

Таблица 3

Экономические показатели вариантов ТП

	ТП-1	ТП-2	ТП-3	ТП-4
Количество деталей в партии, шт.	2000			
Количество деталей за смену, шт.	12	11	12	14
Штучное время, мин	38,66	41,09	40,00	33,47
Заработная плата рабочего, руб.	118,23	128,97	118,23	32,67
Амортизация станка, руб.	98,52	134,35	65,68	84,45
Затраты на электроэнергию, руб.	84,05	82,38	162,00	26,83
Амортизация инструмента, руб.	291,50	65,70	15,00	162,45
Общая технологическая себестоимость, руб.	593,30	437,40	361,91	376,07

Литература

1. Межгосударственный стандарт, ГОСТ 11018-2000. Тяговый подвижной состав железных дорог колеи 1520 мм. Колесные пары. Общие технические условия.
2. Типовая технология изготовления и ремонта колесных пар.– Режим доступа: <http://hgtshop.narod.ru/>
3. Пат. 2096137 Российская Федерация. Способ токарной обработки поверхности катания колесной пары с подогревом / Сарсенов Н.К., Константинов В.Н., Лузгин В.В., Васин Г.Г., Ахмеджанов Р.А., Кириенко В.Е.; патентообладатель Научно-производственное внедренческое предприятие «Плазмосервис»; опубл. 20. 11. 1997.
4. Пат. 2103112 Российская Федерация. Способ электрохимической обработки / Заставный Е.А., Толмачев Г.А. // Б. И.– 2007.– № 17.

Расчет распространение тепла в теле заготовки в процессе обработки

Развитие машиностроительной отрасли с учетом особенностей развития экономики Республики Казахстан связано с повышением показателей качества и интенсификацией механической обработки. Это становится особенно очевидным в связи с широким использованием в современных промышленных отраслях Республики Казахстан конструкционных материалов с особыми физико-механическими свойствами: жаропрочных, высокопрочных, коррозионностойких, тугоплавких и т. п. При изготовлении подавляющего большинства деталей из жаропрочных, высокопрочных, коррозионностойких, тугоплавких материалов технологии предусматривают применение механической обработки резанием. Обработка этих материалов режущим инструментом оснащенным пластинками из дорогостоящего твердого сплава вызывает серьезные затруднения, то есть невозможностью обеспечения требуемого качества, быстрый износ инструмента и т. д., а в ряде случаев практически вообще невозможна. Нами исследованы обрабатываемость этих материалов термофрикционным способом [1], в частности был исследован эксцентрик конусной дробилки [2]. В данной работе приведены результаты, полученные с помощью прикладных программ методом конечных элементов. Практический и научный интерес представляют тепловые явления, протекающие в теле заготовки при термофрикционной обработке.

Рассмотрим однородную цилиндрическую стенку, каким и будет эксцентрик при рассмотрении его как теплопроводного участка длиной l , с внутренним радиусом r и внешним r_2 . Коэффициент теплопроводности материала λ постоянен. Внутренняя и внешняя поверхности поддерживаются при постоянных температурах t_1 и t_2 , причем $t_1 > t_2$ (рис. 1), и температура изменяется только в радиальном направлении r . Следовательно, температурное поле здесь будет одномерным, а изотермические поверхности цилиндрическими, имеющими с трубой общую ось.

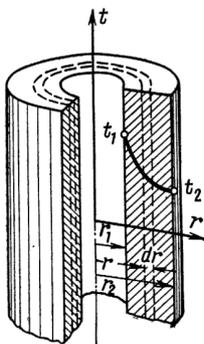


Рис. 1. Схема теплового потока при термофрикционной обработке

Выделим внутри стенки кольцевой слой радиусом r и толщиной dr , ограниченный изотермическими поверхностями. Согласно закону Фурье, количество теплоты, проходящее в единицу времени через этот слой, равно

$$Q = -\lambda F \frac{dt}{dr} = -2\lambda\pi r l \frac{dt}{dr}, \quad (1)$$

где λ – коэффициент теплопроводности материала;
 r – внутренний радиус, мм;
 l – длина, мм.

Разделив переменные, получаем

$$dt = -\frac{Q}{2\pi\lambda l} \cdot \frac{dr}{r}. \quad (2)$$

После интегрирования уравнения (2) находим

$$t = -\frac{Q}{2\pi\lambda l} \ln r + C. \quad (3)$$

Подставляя значения переменных на границах стенки (при $r=r_1$ $t=t_1$ и при $r=r_2$ $t=t_2$) и исключая постоянную C , получаем следующую расчетную формулу:

$$Q = \frac{2\pi\lambda l}{\ln \frac{r_2}{r_1}} (t_1 - t_2) = \frac{2\pi\lambda l}{\ln \frac{d_2}{d_1}} (t_1 - t_2) = \frac{\pi l (t_1 - t_2)}{\frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1}}. \quad (4)$$

Следовательно, количество теплоты, переданное в единицу времени через стенку эксцентрика, прямо пропорционально коэффициенту теплопроводности λ , длине l и температурному напору $\Delta t = t_1 - t_2$ и обратно пропорционально натуральному логарифму отношения внешнего диаметра трубы d_2 к внутреннему d_1 . Формула (4) справедлива и для случая, когда $t_1 < t_2$, то есть, когда тепловой поток направлен от наружной поверхности к внутренней.

Количество теплоты, проходящее через стенку эксцентрика, может быть отнесено либо к единице длины l , либо к единице внутренней F_1 или внешней F_2 поверхности эксцентрика. При этом расчетные формулы соответственно принимают следующий вид:

$$q_l = \frac{Q}{l} = \frac{\pi \Delta t}{\frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1}}; \quad (5)$$

$$q_1 = \frac{Q}{F_1} = \frac{Q}{\pi d_1 l} = \frac{\Delta t}{\frac{1}{2\lambda} d_1 \ln \frac{d_2}{d_1}}; \quad (6)$$

$$q_2 = \frac{Q}{F_2} = \frac{Q}{\pi d_2 l} = \frac{\Delta t}{\frac{1}{2\lambda} d_2 \ln \frac{d_2}{d_1}}. \quad (7)$$

Так как площади внутренней и внешней поверхностей эксцентрика различны, то различными получаются и значения плотностей тепловых потоков q_1 и q_2 . Взаимная связь между ними определяется соотношением

$$q_l = \pi d_1 q_1 = \pi d_2 q_2. \quad (8)$$

Уравнение температурной кривой внутри однородной цилиндрической стенки выводится из уравнения (3). Подставляя сюда значения Q и C , получаем

$$t_r = t_1 - \frac{Q}{2\pi\lambda l} \ln \frac{d_x}{d_1} = t_1 - \frac{t_1 - t_2}{\ln \frac{d_2}{d_1}} \ln \frac{d_x}{d_1}. \quad (9)$$

Следовательно, в этом случае при постоянном значении коэффициента теплопроводности λ температура изменяется по логарифмической кривой (рис. 1). С учетом зависимости коэффициента теплопроводности от температуры $\lambda = \lambda_0(1 + bt)$ уравнение температурной кривой принимает следующий вид:

$$t_r = -\frac{1}{b} + \sqrt{\left(\frac{1}{b} + t_1\right)^2 - \frac{Q}{b\pi\lambda_0 l} \ln \frac{d_x}{d_1}}. \quad (10)$$

Полученные зависимости можно применять при определении теплового состояния заготовки типа тело вращения при термофрикционной обработке.

Литература

1. Инновац. патент № 22998 Республики Казахстан на изобретение Способ термофрикционной обработки плоскости и конструкция диска трения / Шеров К.Т. [и др.] опубли. 15. 10. 2010, бюл. № 10.
2. Шеров, К.Т. Термофрикционная обработка поверхности после наплавки / К.Т. Шеров, Т.М. Бузауова, Д.Ш. Уалиев // Инновационные технологии и экономика в машиностроении. Материалы II Межд. науч.-практич. конф. для молодых ученых.– Томск, 2011.– С.295 – 296.

Абразивный износ

Большинство авторов в работах, посвященных деревообрабатывающему инструменту, допускают возможность абразивного износа. При резании древесных материалов, изготовленных с применением клеев или синтетических смол, древесностружечных и древесноволокнистых плит доля абразивного износа в затуплении твердого сплава достигает 50 – 80 %, а при обработке плит стальным инструментом – около 100 % [1]; [2]. Абразивный износ начинается, если твердость абразива в 1,3 раза выше твердости инструмента (а по некоторым данным – 80 % от твердости [1]). Абразивное воздействие на резец могут оказывать также осколки выкрошившегося металла инструмента. Абразивный инструмент существенно зависит от структуры стали [3], а лучше всего износу сопротивляются стали с преобладающей структурой аустенита или аустенит с карбидами, хотя аустенит всегда считался самой нежелательной структурой инструментальных сталей.

Абразивную стойкость аустенита объясняют тем, что абразивное зерно деформирует поверхность металла и вызывает его упрочнение. Процесс деформации происходит до тех пор, пока поглощенная энергия не преодолеет силы межатомного сцепления. Энергоемкость аустенита значительно выше, чем энергоемкость мартенсита. Откуда следует, что более износостойка сталь 20Х, цементированная и закаленная на структуру мартенсит плюс аустенит, чем эта же сталь, закаленная на мартенсит плюс карбид, несмотря на то, что их твердость примерно одинакова. Сталь Х12Ф1, закаленная от 1170° С, твердостью 49 HRC, в которой 84 % аустенита, почти в три раза более износостойка, чем эта же сталь, закаленная от 1050° С на мартенсит, твердостью 62 HRC [3]. Роль и положительное влияние аустенита отмечается в трудах [4] – [8].

В работе «Специальный деревообрабатывающий инструмент» К.М. Вандерер [9] пишет, что при ротационном резании (калибровании) древесностружечных плит резами из быстрорежущей стали наблюдался их характерный абразивный износ. Совершенно очевидно, что на сталь, твердость которой составляет 62 ...64 HRC, такие царапины не могли оставить частицы синтетической смолы, которая применяется в качестве связующей при изготовлении древесностружечных плит. Естественно предположить, что царапины оставили попавшие в плиту извне абразивные частицы.

Проведенные испытания в абразиве показали, что разработанные нами гетерогенные материалы хорошо противостоят абразивному износу.

Литература

1. Хрущёв, М.М. Исследование изнашивания металлов / М.М. Хрущёв, М.А. Бабичев.– М.: АН СССР, 1960.– 351 с.
2. Моисеев, А.В. Износостойкость деревообрабатывающего инструмента.– М.: Лесная промышленность, 1981.– 112 с.
3. Попов, В.С. Микроразрушение металла при абразивном изнашивании / В.С. Попов, Г.И. Василенко // *Металловедение и термическая обработка металлов.*– 1968.– № 7.– С. 28 – 31.
4. Гороховецкий, Г.А. Влияние полимеров на абразивное диспергирование углеродистой стали // Г.А. Гороховецкий, П.А. Черненко, В.А. Смирнов // *Физико-химическая механика металлов.*– 1972.– № 5.– С. 44 – 46.
5. Тенненбаум, М.М. Сопротивление абразивному изнашиванию / М.М. Тенненбаум.– М.: Машиностроение, 1976.– 271 с.
6. Гутерман, В.М., Влияние остаточного аустенита на сопротивление цементированной стали абразивному изнашиванию / В.М. Гутерман, М.М. Тенненбаум // *Повышение износостойкости и срока службы машин: сб. Т. 1.*– Киев: АН УССР, 1960.– С. 386 – 395.
7. Богачёв, М.Н. Влияние количества остаточного аустенита на износостойкость стали 9Х18 при трении / М.Н. Богачёв // *Металловедение и термическая обработка металлов.*– 1976.– № 1.– С. 34 – 39.
8. Войнов, Б.А. Износостойкие сплавы и покрытия.– М.: Машиностроение, 1980.– 120 с.
9. Вандерер, К.М. Специальный деревообрабатывающий инструмент / К.М. Вандерер, Г.А. Зотов.– М.: Лесная промышленность, 1983.– 208 с.

Определение угла загиба и работоспособности образцов

Испытания проводили на пластинах из стали 20, подвергнутых одностороннему и двухстороннему упрочнению. На установке для технологической пробы «загиб – перегиб» был определен угол загиба α , при котором наступает разрушение. Радиус кривизны губок зажима был постоянным и равен 2,5 мм.

Данные испытания приведены в табл. 1.

Таблица 1

Влияние вида обработки на хрупкость упрочненного слоя

Вид обработки пластины	Угол, градус	Вид разрушения
Двухстороннее упрочнение	20	мгновенное, хрупкое, без остаточной деформации
Одностороннее упрочнение: а) упрочненный слой растянут	35	– проявление трещин в упрочненном слое
б) упрочненный слой сжат	80	– проявление трещин на неупрочненной стороне

Работоспособность определяется энергией, необходимой для разрушения образца [1]:

$$\Delta = k\sigma_g\delta_g,$$

где Δ – работоспособность по Беренову, Дж / м³;

k – коэффициент заполнения диаграммы растяжения;

σ_g – предел прочности, МПа;

δ – пластичность, %.

При испытании образцы подвергались изгибу до разрушения. В табл. 2 приведены результаты исследования.

Таблица 2

Влияние вида обработки на механические свойства образцов

Вид обработки	σ_g , МПа	δ , %	Δ , Дж / м ³
Двухстороннее упрочнение	1800	1,1	1350·10 ⁷
Одностороннее упрочнение а) упрочненный слой растянут	1520	2,3	1800·10 ⁷
б) упрочненный слой сжат	1460	4,1	3650·10 ⁷

Исследованы характеристики внутреннего трения, логарифмический декремент затухания γ и упругое последствие ε_{ny} .

В исследуемых пластинах возбуждались ультразвуковые колебания частотой 10МГц при помощи ультразвукового дефектоскопа, и на экране соединенного с ним осциллографа наблюдались затухающие колебания (рис. 1).

Логарифмический декремент затухания определяем по формуле

$$\ln \gamma = \frac{A_0}{A_n},$$

где A_0 – начальная амплитуда колебания;

A_n – амплитуда n -го колебания.

Исследование эффекта упругого последствия проводилось следующим образом. Пластины нагружали так, чтобы возникающие напряжения находились в упругой области. Давали выдержку. После снятия нагрузки происходило очень быстрое снятие чисто упругой деформации и затем медленное – остальной деформации.

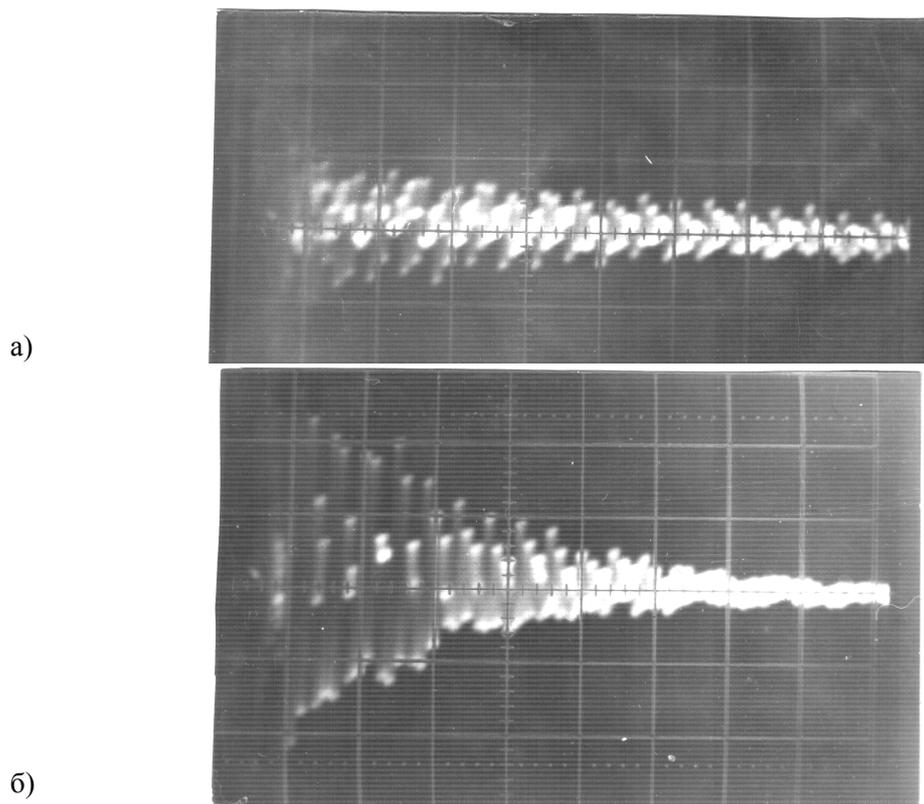


Рис. 1. Затухающие колебания в образцах:
 а) двухстороннее упрочнение;
 б) одностороннее упрочнение

То есть не вся обратимая деформация является чисто упругой, хотя были созданы напряжения в пределах упругого участка кривой «напряжение – деформация».

Неупругие эффекты служат причинами внутреннего трения, характеризующего необходимые потери энергии металла при механических колебаниях [2]. Линии диаграммы «напряжение – деформация» при нагрузке и разгрузке из-за полной упругости металлов не совпадают, а образуют петлю гистерезиса (рис. 2).

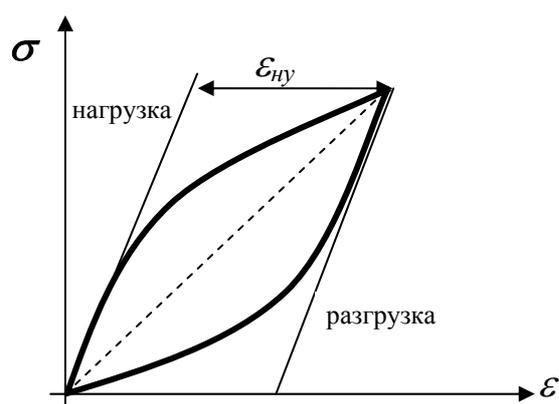


Рис. 2. Гистерезис в результате неупругих эффектов

Зная логарифмический декремент затухания γ , можно определить величину внутреннего трения Q^{-1} :

$$Q^{-1} = \frac{\gamma}{\pi}.$$

Данные эксперимента приведены в табл. 3.

Таблица 3

Влияние вида обработки на внутреннее трение

Вид обработки	γ	Q^{-1}	ϵ_{int} %
Двухстороннее упрочнение	0,17	0,057	0,2
Одностороннее упрочнение	0,32	0,107	0,3
а) упрочненный слой сжат			0,5
б) упрочненный слой растянут			0,3

Таким образом, одностороннее упрочнение приводит почти к двукратному увеличению внутреннего трения.

Литература

1. Беренов, Д.И. Расчет на прочность / Д.И. Беренов.– Свердловск: Машгиз, 1953.
2. Золоторевский, В.С. Механические свойства металлов / В.С. Золоторевский.– М.: Metallургия, 1983.– 352 с.

Электрические и электрохимические явления при резании древесины

Существуют предположения о том, что статическое электричество, возникающее при резании в результате трения режущего инструмента о сухую древесину, может привести к искровым разрядам и электроэрозии инструмента [1]; [2]; [3], а следовательно, и ускоренному износу. При резании сырой древесины металл инструмента подвергается электрохимической коррозии, вызванной органическими кислотами, находящимися в ее клетках [4]; [5]. Образующиеся непрочные пленки непрерывно удаляются с поверхности инструмента при трении и способствуют дальнейшему развитию коррозии. Электрохимическая коррозия, возникающая между зернами, разрушает границы между ними. Межкристаллические связи значительно ослабевают и создаются условия для выкрашивания зерен.

В работе «Деревообрабатывающий инструмент» [1] А.Э. Грубее пишет, что в случае присоединения положительного полюса постоянного тока (напряжение 1500В и силой тока несколько миллиампер) к ножевому валу строгального ножа, изолированного от станка, а отрицательного полюса – к древесине, затупление ускорялось. При обратной полярности затупление значительно замедлялось по сравнению с нормальным процессом. Отрицательную роль играет остаточный аустенит. Наличие этой структуры при работе инструмента в контакте с электролитами приводит к электрохимическому разрушению всех остальных структур. После аустенита цементит – наиболее электроположительная структура в стали. Под действием явлений электрохимического характера разрушению подвержены более электроотрицательные структуры, главным образом мартенсит. Его механическое разрушение мало вероятно, так как свойства мартенсита почти не обличаются от цементита.

Образуются микрогальванические элементы M^{\ominus} , C^{\oplus} , при этом М (мартенсит) разрушается, а это приводит к выкрашиванию зерен цементита. Предрасположенность к электрохимическому разрушению заложена в самой природе большинства инструментальных материалов как многофазовых поликристаллических веществ. Возникающие в инструменте напряжения создают зоны с различными электрохимическими потенциалами. Участки с растягивающими напряжениями имеют более электроотрицательный потенциал, чем участки со сжимающими напряжениями. Ускоренной коррозии подвергаются анодные участки.

Для снятия напряжения применяют высокий отпуск и отжиг. От воздействия электрохимической коррозии применяют протекторную защиту или в сталь для инструмента вводятся легирующие элементы Cr, Si и др.

Для нейтрализации зарядов одним из способов является создание двойного электрического поля между резцом и древесиной при разности потенциалов до 1500 В [5].

При резании же сырой древесины между поверхностями трения протекал электрический ток, вызывающий значительное местное нагревание [6].

Литература

1. Грубее, А.Э. *Деревообрабатывающий инструмент* / А.Э. Грубее.– М.: Лесная промышленность, 1971.– 344 с.
2. Любченко, В.И. *Резание древесины* / В.И. Любченко.– М.: Лесная промышленность, 1986.– 294 с.
3. Ивановский, Е.Г. *Новые исследования резания древесины* / Е.Г. Ивановский, П.В. Василевская, Э.М. Лаутнер.– М.: Лесная промышленность, 1972.– 128 с.
4. Дешевой, М.А. *Механическая технология дерева. Т. 1* / М.А. Дешевой.– Л.: Кубуч, 1954.– 512 с.
5. Кивиамаа, Е. *Силы резания в лесопильных рамах* / Е. Кивиамаа.– Хельсинки, 1959.
6. Ивановский, Е.Г. *Резание древесины* / Е.Г. Ивановский.– М.: Лесная промышленность, 1975.– 200 с.

А.В. Жукова
И.А. Гейдан
И.И. Ерахтина
Е.А. Плешакова

*Карагандинский государственный технический университет
г. Караганда, бульвар Мира, д. 56*

Упрочнение деталей поверхностным пластическим деформированием (ППД). Обзор перспективных технологий

Одна из основных задач машиностроительного производства – потребность в улучшении качества, повышении производительности, увеличении долговечности и надежности машин и изделий.

Поверхностное пластическое деформирование (ППД) широко применяется в промышленности как средство повышения усталостной прочности деталей машин и конструкций.

Сущность способа заключается в следующем. Под давлением деформирующего инструмента микровыступы (микронеровности) поверхности детали пластически деформируются (сминаются), заполняя микровпадины обрабатываемой поверхности, что способствует повышению твердости поверхностного слоя. Более того, в поверхностном слое возникают благоприятные сжимающие напряжения, что способствует повышению усталостной прочности на 30 ... 70 %, износостойкости – в 1,5 ... 2 раза, значительно снижается шероховатость поверхности упрочняемой детали.

К наиболее распространенным способам упрочнения ППД относятся следующие:

- обкатка рабочих поверхностей шариками или роликами;
- алмазное выглаживание;
- поверхностное дорнование;
- ультразвуковое упрочнение.

Проведем краткий анализ способов ППД.

1. Обкатывание и раскатывание шаровым и роликовым инструментом

Шаровый и роликовый инструмент применяют для обкатки специальных или сложных профильных поверхностей: сфер, галтельных переходов, желобов подшипников и т. п.

Шары, используемые для ППД, изготавливают из подшипниковых сталей ШХ15, ШХ15СГ, ШХ20СГ, 18ХГТ, в особых случаях можно применять коррозионно-стойкие стали 11Х18М, 95Х18.

Твердость значительно повышается на глубину до двух мм однако на глубине 1,0 ... 1,5 мм повышение твердости становится незначительным. Наибольшее увеличение твердости происходит у материалов со структурой мартенсита, не подвергшихся отпуску. При этом поверхностная твердость, например, стали У8, ШХ15, 40Х увеличивается до 15 % (ШХ15), до 25 % (У8) по отношению к исходным [1].

Обкатывание роликовых дорожек подшипника (HRC 35) с силой 750 Н шаром диаметром 4,5 мм при подаче 0,1 мм / об. снижает параметр шероховатости в 5 ... 8 раз, повышает микротвердость до 25 % при глубине наклепанного слоя 0,8 мм [1].

2. Алмазное выглаживание

Выглаживание заключается в пластическом деформировании обрабатываемой поверхности скользящим по ней инструментом – выглаживателем.

Для изготовления выглаживателей используют природные и синтетические алмазы.

Параметрами выглаживания, влияющими на шероховатость, являются сила выглаживания, подача и радиус рабочей части инструмента. Сила выглаживания большая 200 ... 250 Н для деталей из высококачественных материалов и большая 100 ... 150 Н для деталей из материалов средней твердости – нецелесообразны.

Основным критерием выбора радиуса сферы инструмента является твердость материала обрабатываемой детали. Для деталей из мягких сплавов и цветных металлов и их сплавов этот радиус должен составлять 2,5 ... 3,5 мм; для деталей средней твердости – 1,5 ... 2 мм; для деталей из высокопрочных сталей (HRC > 60) – 1 ... 1,5 мм [1].

Наименьший параметр шероховатости достигается при подаче 0,02 ... 0,04 мм / об.

3. Поверхностное дорнование

Поверхностное дорнование – это поступательное движение дорна по охватываемой поверхности. Инструментом для поверхностного дорнования служит дорн, в котором основным рабочим элементом является зуб. Дорны подразделяются на поверхностные и объемные.

Поверхностное дорнование характеризуется следующими параметрами: натягом i , относительным натягом i/d , силой дорнования или силой тяги P и осевой составляющей силой деформирования P_0 , скоростью дорнования и геометрическими характеристиками.

Основным параметром является натяг. С увеличением натяга параметр шероховатости уменьшается до определённого значения. Суммарный натяг при дорновании отверстий диаметром до 80 мм обычно составляет 0,1...0,25 мм.

4. Ультразвуковое упрочнение (УЗУ)

В ряду упрочняющих технологий особое место занимает ультразвуковое упрочнение. Если при упрочнении статическими методами ППД инструменту сообщают дополнительно ультразвуковое колебание с частотой 18 ... 24 кГц и амплитудой 15 ... 30 мкм, то они становятся ударными (ультразвуковое обкатывание и т. п.).

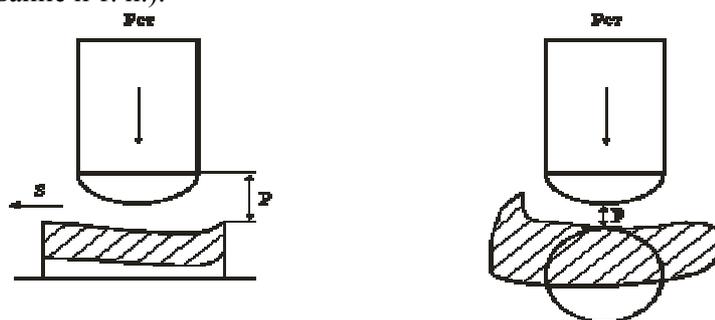


Рис.1. Схема ультразвукового упрочнения (УЗУ)

По сравнению, например, с обкатыванием шаром (ОШ) ультразвуковое упрочнение отличается следующими особенностями и преимуществами.

1. Инструмент пластически деформирует поверхностный слой детали импульсно, с большой интенсивностью колебаний, в результате чего формирование сопровождается прерывистым и интенсивным трением.

2. Кратность приложения силы при деформировании инструментом поверхности в 400 раз более (при ОШ 12 ... 20 раз).

3. Статическая сила, действующая на деталь, незначительна.

4. Скорость деформации – переменная, ее максимальное значение 200 м / мин и более, что превышает скорость деформирования при ОШ в десятки и сотни раз.

5. Среднее давление, создаваемое в поверхностном слое детали под действием нормально направленной силы, в 3 ... 9 раз больше, чем при ОШ.

6. Энергия, расходуемая на искажение кристаллической решетки и идущая на внутренние микроструктурные преобразования, при УЗУ значительно выше, чем при ОШ.

7. Температура места контакта инструмента с деталью в зоне деформирования 100 ... 150⁰ С, что в 3...5 раз меньше, чем при ОШ, а время нагрева при УЗУ очень мало (5 ... 10 с), поэтому не наблюдается снижения упрочнения, вызываемого действием высокой температуры.

Таким образом, анализ способов ППД показал, что наиболее прогрессивным является УЗУ как способ, отвечающий высоким технологическим характеристикам упрочненной поверхности (Ra , HRC и т. п.). К достоинствам ультразвукового упрочнения следует также отнести возможность для определенного класса деталей создания поверхностного или объемного наклепа, а также их комбинации. При этом достигаются выгодное распределение внутренних напряжений в металле и такое структурное состояние, при котором удается повысить в два – три раза запасы прочности деталей, работающих при переменных нагрузках, и увеличить срок их службы в десятки раз.

Литература

1. Одинцов, Л.Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием: справ. / Л.Г. Одинцов.– М.: Машиностроение, 2005.– 328 с.

Создание технологии изофрикционной приработки тепловозных дизелей

Под *изофрикционной приработкой* понимается взаимодействие трущихся поверхностей в эквивалентных по обеспеченности смазкой условиях контактирования во всем диапазоне повышающихся нагрузочно-скоростных воздействий. Причем такому взаимодействию соответствует изменение трибоактивационных вкладов внешних воздействий пропорционально резервам возможностей оптимизационно-защитных механизмов прирабатываемых поверхностей трибосопряжений (прирабочим свойствам материалов). Такое соотношению соответствует плавное уменьшение минимальных значений коэффициента трения на кривой Герси-Штрибека (соответствующей текущему трибосостоянию поверхности) с одновременным расширением режима гидродинамической смазки [1].

С целью выяснения закономерностей роста нагрузочно-скоростных воздействий, обеспечивающих изофрикционную приработку, были разработаны специальные методы испытаний и проведены экспериментальные исследования в лабораторных условиях. При этом узел трения рассматривался как саморегулируемая динамичная трибосистема. В результате были установлены закономерности повышения нагрузки и скорости скольжения, отвечающие условиям изофрикционной приработки материалов в течение всего периода повышения внешних воздействий [2] – [5], получены зависимости прирабочего нагружения во времени [3], оценены уровни запаса до заедания [4] и условия перехода трения в гидродинамический режим [5], изучено влияние скорости скольжения на условия возникновения задира при приработке [2], [6]. При этом благодаря методикам испытаний с обратной связью в полученных закономерностях автоматически учитывались прирабочие свойства материалов сопряжений.

Проводились экспериментальные исследования приработки материалов в режиме ступенчато-возрастающей нагрузки при ряде постоянных скоростях скольжения. Установлено, что закономерности расширения области жидкостного трения по мере роста нагрузки для разных сплавов различны. Более чем вдвое различаются и максимальные значения границы жидкостного трения [5]. Обнаружены общая для всех сплавов закономерность монотонного снижения запаса нагрузок до заедания в функции действующей нагрузки и существенное влияние на этот запас материалов сопряжения [2].

Проводились испытания с управлением подвода внешних воздействий по контролируемому параметру – силе трения. Такой подход позволил получить зависимости режимных факторов от времени при прохождении приработки в режиме смазки, обеспечивающей изофрикционность процесса, его равноэффективность и равнобезопасность. Было установлено, что все материалы имеют возможность для ускоренной приработки. Так для алюминиево-оловянных сплавов и баббита продолжительность приработки до предельной нагрузки не превышает 15 ... 25 минут, для медно-свинцовых сплавов и чугунов – 75 минут (рис. 1).

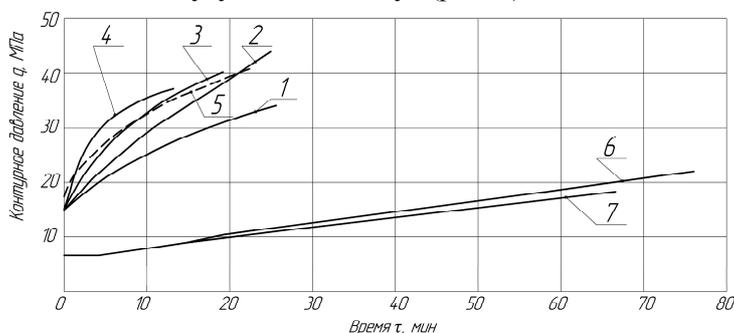


Рис. 1. Закономерности роста нагрузки во времени при изофрикционной приработке подшипниковых сплавов: 1 – АО3-1; 2 – АО9-1; 3 – АО20-1; 4 – АО50-1; 5 – Б83; 6 – БрС30; 7 – БрОС1-22

Установлена общая для сплавов на основе алюминия и баббитов взаимосвязь нагрузки и скорости скольжения, обеспечивающая проведение сокращенной приработки [2], [6].

Применительно к стендовой обкатке тепловозных дизелей М753, М756 и 2Д100 установленные принципиальные закономерности изофрикционной приработки материалов позволили сформулировать критериальные условия [2], [7]:

1) тормозная мощность должна повышаться ступенчато так, чтобы каждый ее последующий прирост был меньше предыдущего;

2) ступенчатый режим нагружения должен быть таким, чтобы приросты тормозного момента в функции действующих значений тормозной мощности уменьшались по закону гиперболы;

3) скорость роста тормозной мощности должна плавно снижаться в функции времени (экспоненциальный рост во времени).

В последующем применении закономерностей изофрикционной приработки к тепловозным дизелям 10Д100 [8], [9] было сформулировано уточняющее дополнение:

4) прирост тормозной мощности относительно критического ее значения (определяемого по внешней характеристике дизеля) не должен превышать 0,1 ... 0,2.

В целом проведено совместно с ВНИИЖТ (в соответствии с договором о творческом содружестве и планами ГБ НИР) комплексное изучение режимов обкатки тепловозных дизелей М753, М756, 2Д100 и 10Д100, в том числе на локомотиворемонтных заводах и в депо Муром. Проведены их экспериментальные оценки и улучшение на основе установленных трибологических закономерностей приработки применяемых материалов сопряжений. Это позволило исключить задиры, до 1,8 раза сократить длительность обкатки и сэкономить до 45 % горюче-смазочных материалов на один дизель. В настоящее время улучшенные режимы обкатки используются на ремонтных заводах РАО «Российские железные дороги» [10].

Литература

1. Зелинский, В.В. Феноменологические основы изофрикционной приработки опор скольжения машин. Ч.1 / В.В. Зелинский // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности: межвузовский сб. науч. работ. Вып. 6 / под общ. ред. проф. Н.В. Чайковской.– М: Машиностроение, 2009.– С. 117 – 121.

2. Зелинский, В.В. Исследование закономерностей приработки подшипниковых материалов транспортных двигателей: дисс. ... канд. техн. наук. / В.В. Зелинский.– М.: ВНИИИМАШ, 1979.– 229 с.

3. Буше, Н.А. Совместимость трущихся пар в период приработки / Н.А. Буше, В.В. Зелинский // Вестник ВНИИЖТ, 1981.– № 2.– С. 38 – 41.

4. Буше, Н.А. Оценка режимов трения и задиростойкости трибосопряжений / Н.А. Буше, В.В. Зелинский, В.В. Трушин // Трение и износ.– 1986.– № 5, Т. 7.– С. 798 – 805.

5. Зелинский, В.В. Исследование гидродинамической нагрузочной способности подшипниковых материалов / В.В. Зелинский, Н.А. Буше // Исследование смазочных материалов при трении.– М.: Наука, ИМАШ АН СССР, 1981.– С. 51 – 60.

6. Зелинский, В.В. Закономерности приработки подшипниковых материалов в режиме возрастающих нагрузок и скоростей скольжения / В.В. Зелинский, Н.А. Буше, И.И. Карасик // Повышение износостойкости и срока службы машин: сб. тез. докл. VI Республиканской науч.-техн. конф. Ч. 1.– Киев, 1977.– С. 16.

7. Буше, Н.А. Новый режим обкатки дизеля 2Д100 после ремонта / Н.А. Буше [и др.] // Вестник ВНИИЖТ.– 1988.– № 1.– С. 31 – 34.

8. Буше, Н.А. Улучшенные режимы обкатки дизелей / Н.А. Буше [и др.] // Железнодорожный транспорт.– 1989.– № 7.– С. 53 – 57.

9. Зелинский, В.В. Экспериментальная оценка обкатки тепловозных дизелей 10Д100 / В.В. Зелинский, Н.А. Буше, А.В. Волченков // Экспресс-информация. Отечественный опыт. ЦНИИТЭИтяжмаш. Серия 5 «Транспортное оборудование». Вып. 10.– М., 1988.– С. 2 – 3.

10. Чичинадзе, А.В. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / А.В. Чичинадзе [и др.]; под общ. ред. А.В. Чичинадзе.– М.: Машиностроение, 2003.– 576 с.

Актуальность исследования закономерностей трения и изнашивания инструментальных материалов

Качество и производительность механической обработки резанием и пластическим деформированием в холодном и горячем состояниях во многом обеспечиваются работоспособностью инструментов в условиях повышенного трения и изнашивания.

Работоспособность обрабатываемого инструмента определяется свойствами инструментального материала, а важнейшими критериями работоспособности являются износостойкость и теплоустойчивость при трении, которые характеризуются показателями трибологического характера – износ и интенсивность изнашивания, температура и коэффициент трения и др.

Анализ характера повреждений инструмента в работе [1] показал, что при доминирующих адгезионном и абразивном видах изнашивания причиной примерно $3/4$ износных повреждений является адгезионное схватывание [2], поэтому оценивать и повышать стойкость инструментальных материалов для условий повышенного трения и изнашивания необходимо исходя из природы адгезионного схватывания.

Опираясь на основные положения адгезионной теории схватывания, разработанной такими учеными как А.П. Семенов, С.Б. Айнбиндер, Н.А. Буше, И.В. Крагельский и др., а также на результаты исследований адгезионного изнашивания трибосопряжений, приведенные в публикациях по трибологии, можно сделать следующие выводы [3]:

- если соединение более слабое, чем прочность какого-либо из металлов, тогда оно срезается по границе раздела между металлами;
- если соединение более слабое, чем прочность одного из металлов, но прочнее другого, тогда срез происходит по более мягкому металлу и продукты изнашивания остаются на поверхности твердого металла;
- если соединение прочнее каждого из металлов, то срезаются оба металла и повреждаются обе поверхности.

Для трения при резании с целью количественного описания природы образования адгезионного соединения предложен критерий оценки – *коэффициент интенсивности адгезии* [1], получаемый в результате специальных экспериментов по определению силы разрыва адгезионной связи, образовавшейся под действием внешнего усилия. Коэффициент интенсивности адгезии K_a подсчитывается по формуле

$$K_a = \frac{F_{уд}}{\sigma_B}, \quad (1)$$

где

$F_{уд}$ – удельная сила адгезии, определяемая отношением силы разрыва адгезионной связи к площади сечения;

σ_B – предел прочности испытываемого материала при температуре образования адгезионной связи.

Установлено, что с ростом температуры значение удельной силы разрыва адгезионной связи инструментальных материалов со сталью может достигать предела прочности обрабатываемой стали (при $K_a = 1$).

В соответствии с самой поздней интерпретацией адгезионного изнашивания [4] разрыв образовавшейся связи происходит по плоскостям максимальных касательных напряжений τ_{max} (линиям скольжения), проходящим по телу микровыступов.

Линии скольжения не совпадают с адгезионным швом. При сдвиге зона пластически деформированных материалов сопряженных поверхностей локализуется в линзообразной области (рис. 1).

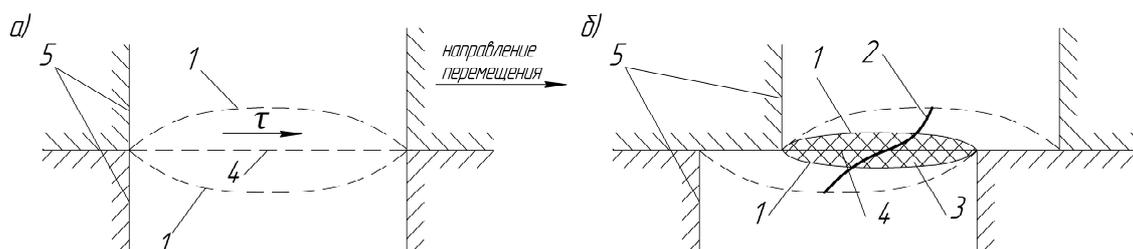


Рис. 1. Схема среза адгезионной связи окружающим материалом как твердым штампом при относительном перемещении поверхностей [4]:

- а) начало движения; б) в процессе сдвига; 1 – линии скольжения; 2 – направление волокон; 3 – заторможенная область материалов; 4 – адгезионный шов; 5 – окружающий металл.

При продолжении сдвига в образовавшемся адгезионном соединении разноименных материалов происходит смещение линий скольжения к адгезионному шву. Если один или оба материала вблизи адгезионного шва не испытывают всестороннего сжатия и могут перемещаться, заторможенная область стягивается в небольшой узел, ограниченный линиями максимальных касательных напряжений, и приобретает вращательное движение. Возникший микрообъем утрачивает связь с основными материалами и превращается в частицу износа.

Адгезионный шов образуется только при отсутствии смазочных пленок и окислов. При их наличии пластическое течение локализуется в тонком поверхностном слое без схватывания. Следует отметить, что образование прочной адгезионной связи происходит при определенной нагрузке и температуре, которые обеспечивают разрушение разделительных пленок.

Анализируя исследования трибологического направления по оценке и описанию природы адгезионного схватывания [3], [4], можно выделить главные факторы его возникновения, которые с учетом преимущественных причин повреждений инструментов, изложенных выше, применимы к инструментальным материалам:

- 1) нижней границей наступления схватывания является предел прочности на сдвиг менее прочного из сопряженных материалов;
- 2) образование адгезионной связи определяется критическим уровнем напряженного состояния поверхностного слоя при комбинированном нагружении нормальными и касательными напряжениями;
- 3) для схватывания трибоконтакт должен достигнуть определенного уровня энергии, доставленной извне нагружением и / или нагревом;
- 4) для описания механизма возникновения и развития адгезионной связи используются критерии и модели поведения материалов, применяемые в теории пластичности, что придает пластической деформации роль ведущего фактора в явлении схватывания.

Из изложенного следует, что способы повышения износостойкости и теплостойкости, основанные на подавлении явлений схватывания, всегда более эффективны, а перечисленные факторы трибологического характера могут быть полезны в оценке инструментальных материалов и при выборе направления в повышении их стойкости.

Литература

1. Лоладзе, Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента / Т.Н. Лоладзе.– М.: Машиностроение, 1982.– 320 с.
2. Зелинский, В.В. К установлению природы влияния магнитного поля на износостойкость / В.В. Зелинский // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности.– 2011.– № 1(8).– С. 33 – 36.
3. Боуден, Ф.П. Трение и смазка твердых тел. Ч. 2 / Ф.П. Боуден, Д.М. Тейбор.– М.: Машиностроение, 1968.– 544 с.
4. Чичинадзе, А.В. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / А.В. Чичинадзе [и др.]; под общ. ред. А.В. Чичинадзе.– М.: Машиностроение, 2003.– 576 с.

В.В. Зелинский
А.Г. Диков
Е.А. Борисова

*Муромский институт Владимирского государственного университета
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23
e-mail: oid@mivlgu.ru*

Особенности модификации поверхностей трения обработкой магнитным полем

К настоящему времени общепринято, что повышение показателей трения и изнашивания практически для любого трибосопряжения определяются совокупностью конструкторских, технологических и трибологических решений. Большой резерв в улучшении параметров качества поверхностного слоя может быть реализован модификацией его структурного состояния, в том числе за счет технологических воздействий различными видами энергий. Технологические методы управления трибологическими характеристиками объединены в триботехнологию, одним из направлений которой является изменение свойств поверхностного слоя обработкой магнитным полем.

Магнитное воздействие обладает рядом преимуществ по сравнению с воздействиями другими видами энергий. Этими преимуществами являются следующие:

- низкая себестоимость обработки;
- сохранение геометрии и шероховатости поверхности обработанных деталей;
- отсутствие расходных материалов и дополнительных агрессивных сред;
- простота технологической оснастки и экологическая чистота.

Известно большое число экспериментальных фактов, свидетельствующих о существенном положительном влиянии магнитных полей малой напряженности на различные характеристики материалов: сопротивление усталостному разрушению [1]; сопротивлению изнашиванию и малоциклового усталости [2]; предел текучести и микротвердость [3] и др. Широко известен эффект повышения износостойкости от действия магнитного поля для деталей трибосопряжений различного назначения [4], [5], в том числе при комбинированных способах технологического воздействия [6].

Применяемые на практике методы модификации рабочих поверхностей трибосопряжений воздействием магнитного поля различны как по физическим и технологическим принципам, так и по конструктивным исполнениям установок. Методы подразделяют следующим образом:

- 1) воздействие постоянным магнитным полем (ПМП) с напряженностью 100 ... 1000 кА / м и длительностью 10 ... 300 с;
- 2) воздействие импульсным магнитным полем (ИМП) с напряженностью 50 ... 2000 кА / м и длительностью импульса 0,1 ... 10 с.

Для воздействий ПМП характерны

- обработка с размагничиванием через несколько часов;
- обработка одним импульсом направленным магнитным полем;
- динамическая обработка при вращении изделия в магнитном поле в течение нескольких минут;
- обработка при свободном перемещении изделия.

Наиболее широкое распространение получил метод воздействия ИМП, которому свойственны

- обработка без последующего размагничивания;
- многоцикловая обработка (2...10 циклов) с выдержкой между циклами 1 ... 20 минут;
- обработка с применением локальных концентраторов магнитного поля;
- обработка в металлических контейнерах.

Перспективными методами воздействий ИМП для широкого спектра деталей и узлов машин и приборов являются следующие.

1. *С нарастающей амплитудой импульса.* Применяют для снятия напряжений в изделиях, работающих при ударных нагрузках.
2. *Со сменой полярности.* Применяют для локальной обработки ответственных и перегруженных участков крупногабаритных деталей.
3. *С ускоренным вращением деталей в соленоиде.* Применяют для снятия напряжений в местах сварки разнородных материалов.
4. *Вращающимся саморегулирующимся магнитным полем.* Применяют для повышения долговечности приборов.
5. *Обработка с выдержкой и последующим размагничиванием* через 15 ... 20 ч. Применяют для снятия напряжений и уменьшения остаточных магнитных полей в приборах.
6. *С применением гибких магнитных концентраторов с ферромагнитной жидкостью.* Применяют для упрочнения инструмента, а также целых механизмов или сборочных единиц, когда необходимо локальное уменьшение напряжений в наиболее ответственных рабочих узлах, например, в сложных штампах и матрицах для холодной штамповки, клапанов дизельных установок.

Опыт исследования и применения обработки магнитным полем вращающихся деталей машин из различных сталей показал, что коэффициент трения в рабочих узлах механизмов снижается в 1,2 ... 2,5 раза. При взаимодействии трущихся поверхностей в поверхностном слое снижаются растягивающие напряжения, повышается способность к удержанию смазочного материала. При этом повышается теплопроводность материала, увеличивается скорость отвода тепла.

По мнению ряда исследователей [4], [5], благодаря обработке магнитным полем в микротрещинах поверхностей трения фиксируются тонкодисперсные продукты износа металлов. Благодаря этому происходит некоторое укрепление микротрещин и выравнивание микрорельефа поверхности намагниченными продуктами износа. Вследствие этого частично снижается расклинивающий эффект в микротрещинах поверхности материала компонентами смазочной среды. Особенно это характерно для тяжело нагруженных деталей, работающих при знакопеременных динамических нагрузках. При этом опыты показали, что для большого ряда трибосопряжений размагничивание проводить необязательно.

Обобщение исследовательских работ и промышленного опыта в области магнитной обработки позволяет сделать вывод, что ее применение является эффективным в машиностроении, горнодобывающей промышленности, транспорте, судостроении и других отраслях. Объектами обработки магнитным полем могут быть любые пары трения, зубчатые, червячные и цепные передачи, детали подвижных соединений и муфт.

Литература

1. Володин, В.Л. Исследование сопротивления усталостному разрушению металлов после импульсных воздействий / В.Л. Володин, В.В. Гайдук // *Черная металлургия: изв. вузов.* – 2002, № 2. – С. 18 – 22.
2. Володин, В.Л. Исследование влияния импульсных воздействий на сопротивление сталей износу и малоцикловой усталости / В.Л. Володин, В.В. Гайдук // *Черная металлургия: изв. вузов.* – 2002. – № 8. – С. 23 – 27.
3. Осинская, Ю.В. Упрочнение бериллиевой бронзы БрБ2 при старении в постоянном магнитном поле / Ю.В. Осинская, А.В. Покоев // *Физика и химия обработки материалов.* – 2003. – № 3.
4. Малыгин, Б.В. Магнитное упрочнение инструмента и деталей машин / Б.В. Малыгин. – М.: Машиностроение, 1989. – 112 с.
5. Кантович, Л.И. Повышение ресурса инструмента и деталей горных машин методом магнитной обработки / Л.И. Кантович, Б.В. Малыгин, К.М. Первов // *Горное оборудование и электромеханика.* – 2007. – № 1. – С. 13 – 16.
6. Полетаев, В.А. Исследование механических свойств деталей электронасосов, упрочненных комбинированным способом / В.А. Полетаев, Г.С. Самок, Г.С. Королькова // *Вестник ИГЭУ.* – Вып. 3. – 2008. – С.1 – 4.

В.В. Зелинский
Д.Н. Сучилин

*Муромский институт Владимирского государственного университета
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23
e-mail: oid@mivlgu.ru*

Технологическое управление триботехническими свойствами поверхностей

Для обеспечения работоспособности деталей узлов трения применяют широкий спектр конструкторских и технологических приемов. Большая роль при этом отводится триботехнологиям, предметом которой являются технологические методы управления трибологическими характеристиками поверхностей трения.

Одним из методов триботехнологии является деформационное воздействие на поверхностный слой материала деталей, которым достигается значительный эффект в повышении качества поверхностного слоя. Широкое распространение получили методы поверхностного пластического деформирования, которые позволяют при сравнительно низких производственных затратах повысить не только прочностные характеристики поверхности, но и характеристики трения и изнашивания, увеличивая тем самым общий ресурс трибосопряжений.

Простым в применении является поверхностное пластическое деформирование путем накатывания [1]. Однако традиционный подход в назначении технологических режимов накатывания, используемый на практике является по существу экспериментальным. Недостаток такого подхода в том, что выявленные режимы обработки, как правило, нельзя применить для других условий, поэтому при переходе к новому изделию возникает необходимость в повторении трудоемких экспериментальных исследований. Таким образом, эмпирический путь не позволяет прогнозировать направление и уровень влияния отдельных факторов, затрудняет раскрытие общих закономерностей формирования параметров поверхностного слоя, не обеспечивает использование ЭВМ для моделирования технологии накатывания и ее оптимизации.

К технологическому обеспечению требуемых характеристик поверхностного слоя следует применять подход, основанный не на внешних их связях с технологией накатывания, а на внутренних (физических) закономерностях формирования параметров состояния слоя, в том числе на использовании принципиальных положений механики сплошных сред для адекватных моделей поведения материалов.

В настоящее время поведение металла можно рассмотреть на двух уровнях: микро- и макроуровне [2], [3]. Исследование металла на микроуровне проводится с использованием представлений о дискретном строении металла. Основные изменения в металле при деформации оцениваются степенью искажения кристаллической решетки, плотностью дислокаций, величиной разориентировки блоков, напряженностью кристаллической структуры и т. д. Эти исследования дают понимание физических явлений, происходящих в металле, и способствуют принятию правильных решений по изменению свойств деталей. Однако при разработке конкретной технологии назначают силу обработки, подачу инструмента, выбор его геометрии и технологические параметры обработки. Использовать представления о дискретном строении металла в этом случае не представляется возможным.

Для решения практических задач в подавляющем числе случаев достаточно знаний об укрупненных средних показателях состояния материала, сосредоточенного в довольно большом (макроскопическом) объеме. При этом применяемые в технике параметры состояния поверхностного слоя – твердость, напряженно-деформированное состояние, остаточные напряжения первого рода и др. – совершенно достаточны для оценки состояния металла на макроскопическом уровне. В большинстве случаев этими усредненными состояниями и определяются триботехнические свойства поверхностей трения, поэтому для рассмотрения процесса поверхностного пластического деформирования можно с успехом пользоваться аппаратом механики сплошных сред.

Механика в большей степени, чем физика металлов, позволяет представить результаты исследований в форме, удобной для инженерного использования. Следует лишь учитывать, что

при модификации поверхностного слоя накатыванием пластической деформации подвергается не весь объем детали, а только наружный слой рабочей поверхности. При этом локальный пластический контакт находится в условиях комбинированного нагружения нормальной и касательной нагрузками, регламентированного условием пластичности.

Использование физических уравнений механики сплошных сред, устанавливающих связь силовых характеристик с напряженным состоянием поверхностного слоя, позволит более эффективно применять современные деформирующие триботехнологии и управлять эксплуатационными свойствами технологическими методами.

Литература

1. Папшев, Д.Д. Отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием / Д.Д. Папшев.– М.: Машиностроение, 1978.– 152 с.
2. Смелянский, В.М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием / В.М. Смелянский.– М.: Машиностроение, 2002.– 300 с.
3. Макушок, Е.М. Основные направления развития механики трения / Е.М. Макушок // Трение и износ.– 1995.– №3, Т. 16.– С. 416 – 427.

Контроль состава при осаждении покрытия на внутренние цилиндрические поверхности

При осаждении композиционных электрохимических покрытий (КЭП) актуальной является задача получения заданного содержания дисперсной фазы (ДФ) в покрытии. Регулировать содержание ДФ в покрытии можно путем согласования времени электрохимического осаждения металла-матрицы покрытия и времени перемещения частиц ДФ на катод. Для внутренних цилиндрических поверхностей это согласование возможно путем придания электролиту-сuspension (ЭС) вращательного движения с определенной скоростью:

$$\omega = \sqrt{\frac{18 BT q i v_e \rho_e \ln\left(\frac{R_k}{R_a}\right)}{2\pi R_k L_k \delta \rho_m d_f^2 \psi (\rho_f - \rho_e) (1 - K_f)}}, \quad (1)$$

где

- ω – угловая скорость вращения электролита, с-1;
- BT – катодный выход по току;
- q – электрохимический эквивалент основного металла, кг/А*с;
- i – величина технологического тока, А;
- v_e – кинематическая вязкость электролита, м²/с;
- ρ_e – плотность электролита, кг/м³;
- ρ_f – плотность частицы, кг/м³;
- ρ_m – плотность основного металла, кг/м³;
- R_k – радиус катодной поверхности, м;
- R_a – радиус анодной поверхности, м;
- L_k – длина катода, м;
- δ – толщина покрытия, м;
- d_f – диаметр частицы, м;
- ψ – коэффициент формы частиц;
- K_f – коэффициент объемной концентрации частиц дисперсной фазы в покрытии.

Аналитически полученная зависимость (1) устанавливает связь между коэффициентом объемной концентрации частиц в покрытии, угловой скоростью вращения электролита, формой частиц, параметрами катодной поверхности, технологическими параметрами и параметрами ЭС. Основными варьируемыми факторами, влияющими на концентрацию частиц ДФ в покрытии, являются скорость вращения электролита, величина технологического тока, концентрация частиц ДФ в электролите. Толщина покрытия и диаметр частиц задаются, а остальные величины являются константами. Величина технологического тока и соответствующее ей время осаждения покрытия определяются требуемой толщиной и условиями получения качественного покрытия.

Для реализации возможности осаждения покрытий из ЭС, имеющего вращательное движение разработана и изготовлена специальная установка. Осаждение КЭП проводилось на внутренние поверхности втулок в ЭС приготовленном на основе стандартного электролита для никелирования с добавлением дисперсной фазы в виде микропорошка Al₂O₃ зернистостью М15 при скоростях вращения 0; 0,05; 0,1; 0,2; 0,3 об. / с.

Содержание и распределение дисперсной фазы в покрытии контролировалось по микрошлифам.

Расхождение между расчетными и экспериментальными результатами составляет от 7 до 26 % .

Полученные результаты дают основания полагать, что теоретически полученная зависимость для определения коэффициента объемной концентрации частиц в покрытии от угловой скорости вращения электролита, формы частиц, параметров катодной поверхности, технологических параметров и параметров ЭС адекватно учитывает процессы, происходящие при осаждении

КЭП. При содержании ДФ в покрытии больше 20 %, отмечено появление конгломератов частиц, не разделенных металлом матрицы, что подтверждает результаты, полученные при других условиях осаждения КЭП [2]. Наличие в покрытии конгломератов частиц имеющих низкую прочность может привести к выкрашиванию частиц из покрытия. В этой связи получение КЭП с содержанием ДФ больше 20 % является нецелесообразным.

Литература

1. Пат. № 2226574 Российская Федерация. Способ осаждения композиционных электрохимических покрытий и устройство для его осуществления / Великолуг А.М., Зяблицев В.В., Зяблицева О.В.; опубл. 2004. Бюл. № 17.
2. Гурьянов, Г.В. Электроосаждение износостойких покрытий / Г.В. Гурьянов.– Кишинёв: Штиинца, 1985.– 237 с.
3. Малиновская, Т.А. Разделение суспензий в промышленности органического синтеза / Т.А. Малиновская.– М.: Химия, 1971.– 318 с.

А.В. Карпов
В.В. Зелинский

*Муромский институт Владимирского государственного университета
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23
e-mail: krash75@mail.ru*

К вопросу повышения производительности механической обработки протяженных поверхностей вращения

При изготовлении деталей машин часто требуется осуществлять механическую обработку протяженных наружных цилиндрических поверхностей. В качестве примера можно привести чистовое точение торсионных валов. Данный процесс направлен на решение двух задач:

- 1) обеспечить размерное формообразование наружной цилиндрической поверхности вала;
- 2) обеспечить (в совокупности с другими технологическими воздействиями) долговечность вала по критерию усталостной прочности.

Первая задача связана с достижением формы, размеров и точности расположения поверхности относительно конструкторских баз вала в соответствии с чертежом. Значимость второй задачи объясняется причинами выхода из строя торсионных валов, воспринимающих при эксплуатации циклически повторяющиеся, переменные по величине и направлению нагрузки (в виде крутящих моментов). Как известно, усталостную прочность детали во многом определяют геометрические показатели поверхности: чем меньше высота неровностей Rz (шероховатость) и высота волнистости Wz поверхности, тем выше усталостная прочность.

У режущих пластин токарных резцов общепринятых конструкций радиус при вершине составляет $r_\epsilon = 0,2 - 2,0$ мм, поэтому вершину обычно рассматривают как «производящую точку», работающую методом следа: в траектории главного движения резания (вращения) эта точка материализует направляющую, а в траектории движения подачи – образующую цилиндрической поверхности вала. Траекторией результирующего движения вершины является винтовая спираль, между витками которой в продольном сечении остаются неровности – участки необработанного металла, называемые *остаточными гребешками*. Высота остаточных гребешков Rz (мкм) связана с величиной подачи на оборот s (мм / об.) и радиусом при вершине режущей пластины резца r_ϵ (мм) выражением

$$Rz \approx \frac{s^2}{8 \cdot r_\epsilon} \cdot 1000. \quad (1)$$

На практике для уменьшения высоты Rz вынуждены прибегать к снижению скорости подачи, то есть к сознательному недоиспользованию ресурса режущего инструмента по производительности, прочности и стойкости. Таким образом, в технологической интерпретации вершину можно считать наиболее слабым, уязвимым конструктивным элементом режущей части резца, ограничивающим применяемые режимы резания по сравнению с потенциальными возможностями инструмента.

Повышение величины s , а следовательно, и производительности, становится возможным в случае увеличения длины контакта режущего лезвия со срезаемым слоем материала заготовки. С этой целью предлагается заменить одну «производящую точку» (вершину) резца на совокупность «производящих точек» – отрезок режущей кромки.

Примером реализации такого предложения служит безвершинный резец, базовая и прогрессивная конструкции которого подробно описаны в [1]. В контакте с заготовкой находится не точка, а определенная часть режущей кромки безвершинного резца; крайние точки кромки («мнимые вершины») в резании не участвуют. Разность высот «мнимых вершин» кромки относительно основной плоскости резца обеспечивает наклон режущего лезвия в плоскости резания относительно оси обрабатываемой цилиндрической поверхности заготовки на некоторый угол λ .

Безвершинный резец можно рассматривать как предельное конструктивное исполнение обычного (вершинного) резца, когда радиус $r_e \rightarrow \infty$. При этом меняется метод формообразования поверхности детали – от метода следа, для которого справедлива формула (1), к методу касания, дающему следующую зависимость параметра Rz , мкм, от технологических факторов:

$$Rz \approx \left(\frac{D}{2} - \sqrt{\frac{D^2}{4} - \frac{s^2}{4}} \right) \cdot 1000 \approx \frac{s^2}{4 \cdot D} \cdot 1000, \quad (2)$$

где D – диаметр обрабатываемой поверхности заготовки, мм.

Сложнее обстоит дело с прогнозированием волнистости поверхности вала, обработанного безвершинным резцом. Для установления связей высоты волнистости Wz с технологическими факторами безвершинного точения в Муромском институте Владимирского государственного университета проведена серия экспериментов. Заготовкой являлся круглый прокат диаметром $D = 70$ мм из стали 45Х. Безвершинные резцы оснащались пластиной твердого сплава Т15К6 с углами $\gamma = 10^\circ$, $\alpha = 10^\circ$. В качестве изменяемых технологических факторов были приняты скорость подачи s , глубина резания t , скорость резания v , угол наклона режущей кромки λ . Высоту волнистости Wz измеряли после каждого опыта с помощью индикатора с ценой деления 1 мкм, который перемещали вдоль образующей обработанной поверхности вала. Величина Wz рассчитывалась как разность между предельными показаниями индикатора. Результаты измерений подвергались статистической обработке на ЭВМ в среде MathCAD. Результаты экспериментальных исследований приведены в нашей статье «Совершенствование чистовой обработки валов конструкторско-технологическими методами» [1].

Для плавного регулирования величины угла λ рекомендуется применять прогрессивную конструкцию безвершинного резца. Особенностью конструкции является вогнуто-параболическая форма режущего лезвия. Путем поднятия или опускания державки резца в зацепление с заготовкой можно вводить различные участки лезвия, соответственно имеющие различные значения λ .

Анализ результатов экспериментов свидетельствуют о том, что применение безвершинных резцов позволяет достичь приемлемых значений высоты волнистости обработанной поверхности при режимах резания, значительно (до пяти раз) превышающих таковые для обычных (вершинных) резцов.

Исключение вершины резца из контактной области режущего лезвия позволяет приблизить условия точения цилиндрической поверхности вала к условиям свободного стационарного резания. Это в свою очередь обеспечивает плоское напряженно-деформированное состояние зоны резания, которое, с одной стороны, сопровождается однородной деформацией срезаемого слоя и характеризуется меньшим значением эквивалентного напряжения, с другой стороны – позволяет управлять процессом стружкообразования на основе известных положений теории резания.

Таким образом, на примере безвершинного точения торсионных валов опробован перспективный метод повышения эффективности механической обработки протяженных поверхностей вращения.

Литература

1. Карпов А.В. Совершенствование чистовой обработки валов конструкторско-технологическими методами / А.В. Карпов, В.В. Зелинский // Новые материалы и технологии в машиностроении: сб. науч. тр. по итогам международной науч.-техн. конф. Вып. 7.– Брянск: БГИТА, 2007.– С. 48 – 52.

Применение методов упрочнения ППД тяжелонагруженных поверхностей зубчатых передач

В настоящее время в качестве финишных операций обработки зубчатых колес на заводах транспортного машиностроения, тепловозостроительных, локомотиворемонтных и вагоностроительных предприятиях применяются зубошлифование, притирка, обкатывание и выглаживание. При этом все перечисленные методы, кроме зубошлифования, осуществляют на специализированных станках, но всё же до настоящего времени окончательно не выявлены перспективные направления поиска оптимальной технологии изготовления тяговых зубчатых передач ПС. Существенное обеспечение повышения надежности и долговечности зубчатой передачи тягового редуктора (как и других зубчатых передач) в условиях эксплуатации ПС в основном определяется и связано с технологическими аспектами проблемы, одним из которых является использование способов обработки поверхностным пластическим деформированием (ППД). Повышение эффективности обработки зубьев тяговой передачи тепловозов и транспортных машин на финишных и предшествующих им операциях достигается за счет исключения возможности возникновения в процессе обработки источников образования дефектов поверхностных слоев зубьев при одновременном значительном сокращении производственного цикла изготовления и ремонта зубчатых элементов. Важнейшее направление в технологии изготовления и ремонта тяговых зубчатых передач, является широкое внедрение в производственную практику новых ресурсосберегающих способов обработки ПСП зубьев, комплексно сочетающих в себе формообразование, технологическое упрочнение и финишную обработку. Они должны обеспечивать универсальность способа, качество и свойства контактирующих поверхностей и поверхностного слоя зубьев передачи с учетом условий эксплуатации за счет целенаправленного изменения параметров обработки на протяжении всего технологического процесса.

Целью исследования является повышение работоспособности зубчатых передач за счет разработки и внедрения новых способов, технологий, инструмента и оборудования для обработки ПСП, ограничивающих зубья, способами поверхностно-пластической деформации (ППД), расширяющими технологические возможности, повышающими производительность и качество обработки, с одновременным сокращением производственного цикла изготовления. В связи с этим основными задачами исследования являются следующие:

- разработка геометро-кинематической теории процесса обработки ППД активных ПСП зубьев колес в плоском и пространственно-станочном зацеплении и аналитическое их определение;
- разработка и создание принципиально нового технологического оборудования с максимальной концентрацией и совмещением операций обработки ПСП зубьев колес ППД;
- разработка новых конструкций и методик расчета инструментов различного типа и назначения для поэлементной обработки ПСП зубьев колес ППД;
- проведение экспериментальных исследований усилий, возникающих при обработке ПСП зубьев натуральных колес.

Данные задачи являются актуальными для решения научно-технических и производственных проблем, в том числе для железнодорожного транспорта. Изменение условий службы колесных пар при эксплуатации вызывает повышенные требования к их качеству. Определение оптимальных размеров колеса является сложной инженерной задачей. При ее решении требуется комплексный подход к колесу как единой конструкции, так как размеры отдельных элементов его взаимосвязаны между собой. При определении размеров колеса необходимо учитывать свойства металла и качество обработанных поверхностей.

Несмотря на значимость технологических вопросов для достижения высоких показателей качества поверхности, долговечности и низкой стоимости, им не уделяется достаточного внимания. В связи с этим анализ работоспособности транспортных тяговых зубчатых передач породил в настоящее время различные варианты технологических процессов, в том числе с применением способов ППД.

В большинстве случаев используют традиционную доминирующую для машиностроения (в том числе локомотивостроения) последовательность механической и термической обработки зубчатых передач, не учитывая их специфику. Это приводит к удорожанию производства, негативно отражается на их долговечности, сдерживает дальнейшее совершенствование. Известно, что при изготовлении тяговых зубчатых передач до 50 – 60 % общей трудоемкости приходится на формообразование, упрочнение и финишную обработку зубчатого венца. Из всего многообразия способов формообразования поверхностей зубьев нашли применение традиционные способы обработки – зубофрезерование и зубошлифование. Это вполне объяснимо, так как по сравнению с другими способами формообразования поверхностей зубьев, связанными со снятием стружки, зубофрезерование отличается высокой производительностью, а зубошлифование – наиболее дорогостоящая, трудоемкая, сложная и энергоемкая операция – наибольшей точностью. Многократная термообработка (улучшение, нормализация, закалка, в том числе с нагревом ТВЧ и отпуск) с последующей операцией зубошлифование (методом копирования или огибания) несущих поверхностей зубьев колеса, приводит к удорожанию передачи в целом. Кроме того, зубошлифование способствует шаржированию поверхностей зубьев, формированию микро-топографии, образованию органически зародившихся микротрещин усталостного характера. В результате возникает необходимость в дополнительных выхаживающих проходах с целью удаления образовавшегося дефектного слоя на поверхностях зубьев. Что касается традиционного профильного зубошлифования, то важнейшей проблемой этого метода обработки является сохранение высоких механических характеристик поверхностного слоя зубьев после обработки (при низкой производительности процесса). Зубошлифование методом огибания несколько повышает возможность обеспечения качества поверхностного слоя, но за счет еще большего снижения производительности процесса. После обработки указанными методами проводят контроль на отсутствие прижогов и трещин на поверхности шлифованных зубьев, но это удорожает производство колес.

Обработка ПСП зубьев – важнейший аспект современного производства зубчатых передач редуктора тепловозов и транспортных машин, особенно на упрочняющих и финишных операциях. От ее уровня во многом зависят качество, надежность и конкурентоспособность, что в настоящее время определяет большинство эксплуатационных показателей ПС. Разработка высокоэффективных технологических процессов изготовления и ремонта сборочных единиц и деталей тягового редуктора, улучшение условий эксплуатации транспортных машин и локомотивов, существенное обеспечение повышения работоспособности зубчатых передач тягового редуктора при одновременном сокращении производственного цикла изготовления его зубчатых элементов, связано с технологическим аспектом проблемы и приобретает самостоятельное значение, особенно в вопросах технологического упрочнения и финишных операций зубообработки. Это может быть достигнуто за счет возможностей широкого применения и развития ресурсосберегающих, формообразующих и упрочняющих технологий обработки ПСП зубьев на основе способов ППД.

Статико-импульсная обработка – инновационный метод упрочнения тяжелонагруженных поверхностей деталей машин

Технологический способ воздействия на обрабатываемую поверхность, способный удовлетворить всем перечисленным требованиям, в настоящее время отсутствует. Для достижения высоких результатов, используется комбинированная обработка, в процессе которой одним заходом обеспечивается упрочнение основного несущего слоя на требуемую глубину, а другим – высокая твердость тонкого поверхностного слоя и большие остаточные напряжения сжатия [3]. Для создания гетерогенных слоев приходится использовать трудоемкие технологические приемы, вводить в технологический процесс дополнительные операции. Усложнение технологического процесса существенно ограничивает область применения наукоемких упрочняющих технологий, делает их непривлекательными для реального производства.

Одним из наиболее эффективных, энергосберегающих и легко реализуемых в производстве способов повышения качества поверхностного слоя является деформационное упрочнение деталей в процессе обработки поверхностным пластическим деформированием [4]. Использование поверхностно-пластической деформации (ППД) в качестве самостоятельного метода или в сочетании с другими способами позволяет добиться наилучших результатов. Тем не менее, вследствие недостаточной глубины упрочнения и невысокой управляемости процесса известные статистические и динамические способы находят ограниченное применение.

В результате выполненного теоретического и экспериментального комплекса исследований установлено, что резервы повышения эффективности обработки ППД кроются в изменении способа сообщения энергии в очаг деформации. Разработан способ статико-импульсной обработки, сочетающий в себе достоинства статистических и динамических способов ППД [5].

За счет использования ударных систем с промежуточным звеном появилась возможность резко увеличить количество энергии, сообщаемой в очаг деформации в процессе статико-импульсной обработки (СИО), что позволило в несколько раз увеличить глубину упрочненного слоя. Теоретически и экспериментально установлено, что при СИО в очаге деформации формируются пролонгированные импульсы, энергия которых в два – три раза выше по сравнению с импульсами, возникающими при других способах динамического упрочнения ППД. При использовании инструмента с локализованным контактом удается максимально пролонгировать действие контактной нагрузки, обеспечить практически полную реализацию энергии импульса на осуществление уругопластической деформации [8].

Глубина упрочнения, достигаемая в результате СИО, составляет 6 ... 10 мм в зависимости от марки стали. Эффективная глубина слоя, упрочненного на 20 % и более, возрастает по сравнению со статическим накатыванием в 1,8 ... 2,7 раза, а глубина слоя, упрочненного на 10 % и более, – в 1,7 ... 2,2 раза. Глубина и степень упрочнения после СИО и статического вдавливания индентора на прессе весьма близки и много больше получаемых обычно при динамическом упрочнении, следовательно, длительность пролонгированного импульса достаточна для реализации всех механизмов упрочнения [9].

Глубина, степень и равномерность упрочнения поверхностного слоя при СИО определяются соотношением энергии и частоты импульсов с геометрическими параметрами деформирующего инструмента и технологическими режимами обработки, а обобщенной характеристикой их связи является коэффициент перекрытия единичных отпечатков.

В результате анализа вида возникающих связей разработана методика управления технологическими режимами статико-импульсной обработки (СИО) и параметрами генератора импульсов, которая позволяет рассчитывать их из условия обеспечения требуемой глубины, степени и равномерности упрочнения поверхностного слоя [11].

Разработаны технологические рекомендации по направленному формированию заданных параметров качества поверхностного слоя в процессе СИО. Опытные образцы, технологическое оборудование и оснастка, генератор импульсов и технология СИО апробированы в действующем производстве [10].

Планируется продолжение исследований с целью выявления технологических режимов, обеспечивающих предельно низкие значения шероховатости и волнистости обработанной поверхности. Немалый интерес представляет расположение операции статико-импульсного упрочнения не только в конце, но и в начале технологического цикла обработки несущей поверхности деталей, отличающихся высокими требованиями к точности.

Задача состоит не только в исследовании разработанного способа, выявлении скрытых физических закономерностей нового вида обработки, но и в разработке рекомендаций по назначению конструктивных параметров, рациональных технологических режимов для конкретных условий и видов обработки различных деталей и их поверхностей.

Литература

1. Балтер, М.А. Упрочнение деталей машин / М.А. Балтер. М.: Машиностроение, 1974.– 136 с.
2. Киричек, А.В. Статико-импульсная обработка и оснастка для ее реализации / А.В. Киричек [и др.] // СТИН. 1999. № 6. С. 20–24.
3. Киричек, А.В. Способы динамического упрочнения поверхностным пластическим деформированием / А.В. Киричек, Д.Л. Соловьёв // Кузнечно-штамповочное производство.– 2001.– № 7.– С. 28 – 32.
4. Смелянский, В.М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием / В.М. Смелянский.– М.: Машиностроение, 2002.– 300 с.
5. Лазуткин, А.Г. Упрочнение и формообразование поверхностей статико-импульсной обработкой / А.Г. Лазуткин, О.Г. Кокорева // Точность технологических и транспортных систем: материалы междунар. науч.-техн. конф. Ч. 2.– Пенза, 1998.– С. 124 – 126.
6. Одинцов, Л.Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием: справ. / Л.Г. Одинцов.– М.: Машиностроение, 1937.– 328 с.
7. Суслов, А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин / А.Г. Суслов.– М.: Машиностроение, 2000.– 320 с.
8. Лазуткин, А.Г. Упрочнение статико-импульсной обработкой / А.Г. Лазуткин, О.Г. Кокорева // Новые материалы и технологии в машиностроении и приборостроении: материалы науч.-техн. конф. – Пенза, 1996. С. 26-31.
9. Соловьёв, Д.Л. Упрочнение тяжело нагруженных деталей методом статико-импульсного ППД / Д.Л. Соловьёв [и др.] // СТИН.– 2002.– № 5.– С. 13 – 15.
10. Киричек, А.В. Упрочнение тяжело нагруженных поверхностей крестовин стрелочных переводов / А.В. Киричек, О.Г. Кокорева // Состояние перспективы развития дорожного комплекса: сб. науч. ст. Вып. 3. – Брянск: БРИТА, 2001.– С. 39 – 41.
11. Лазуткин, А.Г. Назначение технологических режимов статико-импульсной обработки / А.Г. Лазуткин [и др.] // Проектирование технологических машин: сб. науч. трудов. Вып. 12.– М.: МГТУ «Станкин», 1998.– С. 85 – 88.

Обоснование структуры автоматизированной технической системы для уплотнения различных материалов

Проблему качества уплотнения различных дорожно-строительных материалов обусловлена высокими требованиями к возводимым объектам и сооружениям. Современные средства механизации позволяют оценить достигнутою степень уплотнения только после окончания всего процесса уплотнения, не обеспечивая контроль плотности во время работы. В связи с этим целесообразно создание технических систем по передаче функции контроля за текущим значением плотности на специальные устройства. В качестве рабочих органов следует применить такие исполнительные механизмы, которые в зависимости от изменения физико-механических свойств уплотняемых материалов обеспечивают автоматическую настройку выходных параметров уплотнителей на оптимальный (рациональный) режим уплотнения [1].

Особенно актуальна задача создания уплотнительной техники для работы в стесненных условиях, так как в этих условиях довольно велик еще объем тяжелого ручного труда, а иногда, вследствие отсутствия или нехватки современной грунтоуплотняющей техники, уплотнение вообще не производится.

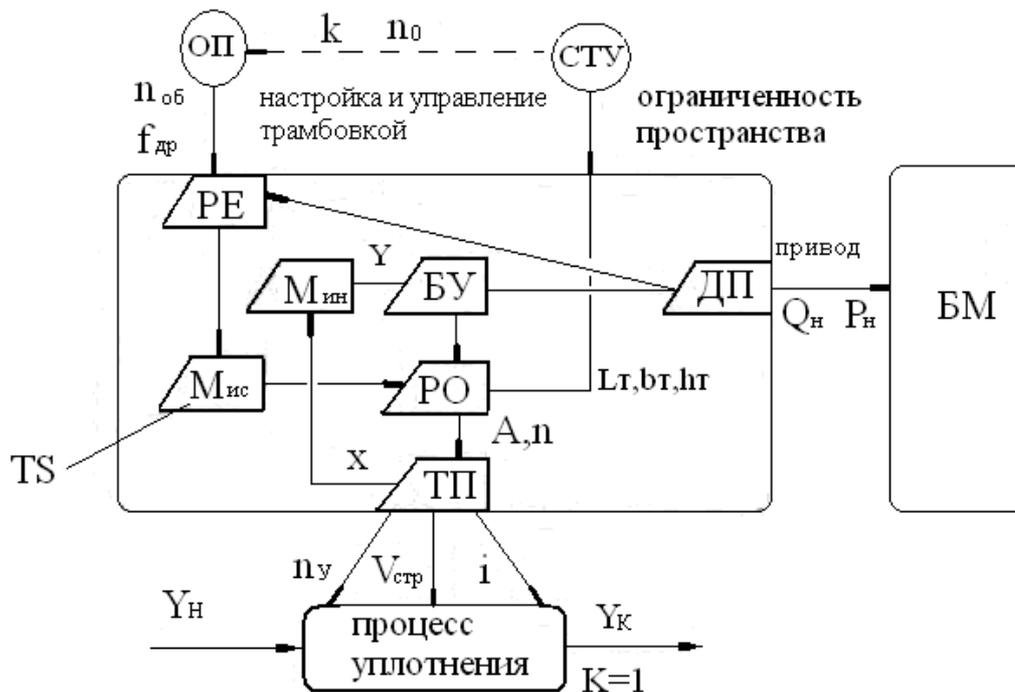


Рис. 1. Функциональная структура технической системы для уплотнения грунтов с адаптивным рабочим органом и элементами ручной настройки:

БМ – базовая машина; СТУ – соответственно внешние ограничения или стесненные условия и соотношения уплотняемого материала; ОП – оператор; γ_n, γ_k – начальная и конечная плотность объекта уплотнения; $n_y, V_{стр.}, L$ – входные параметры технической системы (количество ударов на каждом следе уплотнения, средняя скорость передвижения, удельный импульс); $n_{об.}, f_{др.}$ – параметры настройки технической системы (количество оборотов и площадь сечения отверстий на регулирующих элементах); k, n_0 – параметры, характеризующие состояние уплотняемого материала (коэффициент, учитывающий вид материала и необходимое для получения требуемой плотности количество ударов по одному следу); Q_n, P_n – расход и давление рабочей жидкости; X, Y – перемещения структурных единиц технической системы; A, n – выходные параметры импульсной системы (энергия и частота ударов); l, b_t, h_t – габаритные размеры технической системы

Очевидно, что технология уплотнения определяет ряд специфических требований к таким трамбовкам, и поэтому при разработке их функциональных структур необходимо учитывать степень влияния стесненных условий на уровень автоматизации технических систем. Это значит, что для трамбовок, которые могут использоваться при уплотнении узких участков, приемлема только частичная автоматизация ввиду того, что в данном случае автоматизация процесса передвижения трамбовки с выбором направления передвижения нецелесообразна. Напротив, при уплотнении дна траншей и тем более котлованов это необходимо.

Данная техническая система (рис. 1) – (ТС) состоит из исполнительного механизма, включающего блок управления (БУ), гидроударный рабочий орган (РО), инерционную массу ($M_{ин.}$), трамбуемую плиту (ТП) и систему регулирования, представляющую функциональную взаимосвязь регулируемого блока (РБ), исполнительного механизма (гидроцилиндра – $M_{ис.}$) и конечных выключателей (К). Делитель потока (ДИ), комплектуемый с приводом, обеспечивает совместную работу указанных систем, а настройку и управление такой технической системы осуществляет оператор. Представленная функциональная структура такой трамбовки не исключает оператора из технологического процесса, оставляя за оператором функцию управления ее передвижением и предварительной настройки системы регулирования на требуемый режим уплотнения. Однако наиболее важная функция, связанная с поддержанием выходных параметров трамбовки в рациональном режиме, возлагается на ее систему регулирования. Таким образом, передача указанной функции на специальное устройство обеспечит повышение эффективности и качества уплотнения по сравнению с существующими аналогами в отечественной и зарубежной практике. Использование в качестве рабочего органа адаптивного гидроударного устройства с автоматической настройкой его выходных параметров в условиях непрерывного изменения физико-механических свойств уплотняемых материалов позволит рационально использовать подводимую мощность привода.

Литература

1. Пат. 2361996 Российская федерация, МПК Е 21 В 1/26 Гидравлическое устройство ударного действия./ Ушаков Л.С., Кантович Л.И., Фабричный Д.Ю., Лазуткин С.Л., Кравченко В.А.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Орловский государственный технический университет».– № 2008113585/03; заявл. 07. 04. 2009; опубл. 20. 07. 2009; Бюл. № 20.– 1с.: ил.

Напряженное состояние винта при неравномерном распределении нагрузки

При расчете деталей несоосных винтовых механизмов (НВМ) наибольший интерес вызывает напряженное состояние наиболее ответственной детали передачи – ходового винта. В случае равномерного распределения рабочей нагрузки между роликами передачи поля напряжений, сформированными в винте под действием сил от каждого из роликов, компенсируют друг друга, а величины главных напряжений зависят только от величины осевой составляющей нагрузки F_α и диаметра винта d . Однако в реальной передаче вследствие погрешностей сборки и изготовления отдельных звеньев нагрузка между роликами распределяется неравномерно. В работе предпринята попытка оценить степень влияния неравномерности распределения нагрузки по роликам в РВП на величину главных напряжений в ходовом винте.

При расчете главных напряжений ходовой винт допустимо моделировать брусом круглого сечения с закрепленными в опорах концами. Известно, что подавляющая доля нагрузки воспринимается первыми витками резьбы, находящимися в контакте со сопрягаемой деталью. Так как расстояние между соседними витками резьбы винта, воспринимающими нагрузку, составляет 0,4 ... 2,5 мм, что много меньше длины винта L , силы, действующие на виток резьбы, считаются лежащими в одном поперечном сечении. Таким образом, при проведении расчетов вся нагрузка считается сосредоточенной в одном поперечном сечении, отстоящем на расстоянии z от левого торца винта. Рассматривается плоское напряженное состояние винта. Определяются главные напряжения, формирующиеся в результате взаимодействия полей напряжений изгиба, кручения, растяжения, сжатия и сдвига.

Расчет главных напряжений невозможен без предварительного силового расчета. В связи с фрикционным характером передачи движения в РВП при рассмотрении силового взаимодействия контактирующих поверхностей необходимо учитывать суммарное влияние сил давления и трения. В несоосной винтовой паре при постоянной осевой нагрузке на винт, составляющие ее переменны. Радиальная F_r и тангенциальная F_t составляющие нагрузки могут быть выражены через осевую F_α составляющую векторной суммы сил давления и трения: $F_r = F_\alpha \cdot K_r$, $F_t = F_\alpha \cdot K_t$. Проведенные исследования показали, что K_r и K_t принимают значения в диапазонах $0,45 \leq K_r \leq 1,17$; $0 \leq K_t \leq 0,57$, причем наибольшим значениям K_r соответствуют средние и малые значения K_t , а наибольшим K_t – средние и малые K_r . Наибольшая величина главных напряжений соответствует максимальным значениям K_r и K_t , поэтому для расчетов целесообразно принять $K_r = 1,2$ и $K_t = 0,6$.

Исходя из вышеизложенного, для определения экстремальных значений напряжений на поверхности и на глубине винта несоосного винтового механизма с целью облегчения расчетов может быть предложена инженерная формула вида

$$\sigma_{\max, \min} = 8 \cdot (\pi \cdot d^3)^{-1} \cdot [1 - (2 \cdot h / d)] \cdot L \cdot F_\alpha \cdot K_\xi,$$

где K_ξ – коэффициент, характеризующий неравномерность распределения нагрузки по роликам в РВП.

В результате аналитического решения задачи методами сопротивления материалов получены выражения для определения главных напряжений в любой точке винта с координатами z_1 , φ , ρ при произвольной координате z . Установлена степень влияния неравномерности распределения нагрузки по роликам, погрешности положения роликов, конструктивных параметров винта на величину главных напряжений. Предложена инженерная формула для расчета максимальных растягивающих напряжений, возникающих в теле винта при эксплуатации.

Предлагаемые зависимости при знании закона изменения во времени координат точки приложения нагрузки, позволяют оценить динамику изменения экстремальных напряжений в процессе эксплуатации, определить параметры спектра нагружения, произвести расчет винта на долговечность.

Исследование напряжений в деталях несоосных винтовых механизмов

Необходимость экспериментального определения деформаций и напряжений в деталях машин возникает при проверке точности выполнения расчетов. Для измерения деформаций применяются различные методы и приборы в зависимости от задач исследования.

Наиболее распространенный метод экспериментального исследования распределения деформаций заключается в измерении деформаций на поверхности детали с помощью механических, оптических или электрических тензометров. Большим преимуществом электрических тензометров, среди которых наибольшее распространение получили проволочные датчики сопротивления, является возможность измерения с их помощью динамических деформаций и деформаций в труднодоступных точках деталей. По замеренным деформациям можно рассчитывать и величины напряжений в соответствующих точках.

Экспериментальное определение напряжений в теле винта проводили на машине типа ДМЗОМ. Для проведения исследований датчики подключались к регистрирующему устройству, в качестве которого использовался цифровой омметр ЦЗ4. Для более точного определения напряжений нагрузку прикладывали ступенями через 50 Н. При этом фиксировали по прибору значения сопротивления датчиков R . Использовались проволочные датчики из тонкой константановой проволоки диаметром 0,02 мм, с базой $l = 5$ мм. Проволочный датчик наклеивался на исследуемую деталь и деформировался вместе с ней.

В данном экспериментальном исследовании применяется стандартная прямоугольная розетка датчиков, состоящая из трех одинаковых датчиков, наклеенных под углами 0° , 45° и 90° к оси винта. Путем измерения деформаций ε_A , ε_B , ε_V определялись декартовы компоненты деформаций. Для перехода от компонент тензора деформаций, полученных с помощью этих розеток, к соответствующим компонентам напряженного состояния в упругой области воспользовались законом Гука.

Испытанию подвергались два образца: один гладкий образец, второй имитировал ходовой винт НВМ, оба одинаковой длины. Нагрузка для первого образца прикладывалась в середине под углом к оси образца.

Проведена серия испытаний образцов для определения напряжений в конкретных точках детали.

Теоретическое определение напряжений проводилось по разработанной автором методике расчета напряженно-деформированного состояния сопрягаемых деталей НВМ. Расчетные напряжения определили по четвертой (энергетической) теории прочности.

Полученные незначительные расхождения между экспериментальными и теоретическими значениями главных и расчетных напряжений на поверхности винта позволяют считать разработанную автором методику достаточно точной и рекомендовать ее для расчета напряженного состояния ходовых винтов.

Классификация пористых материалов в машиностроении

В машиностроении широко используются пористые материалы, к которым относятся керамика, металлокерамика, сложные керамические системы, пластмасса и т. д. На рис. 1 и 2 приведена классификация пористых материалов, используемых в машиностроении.

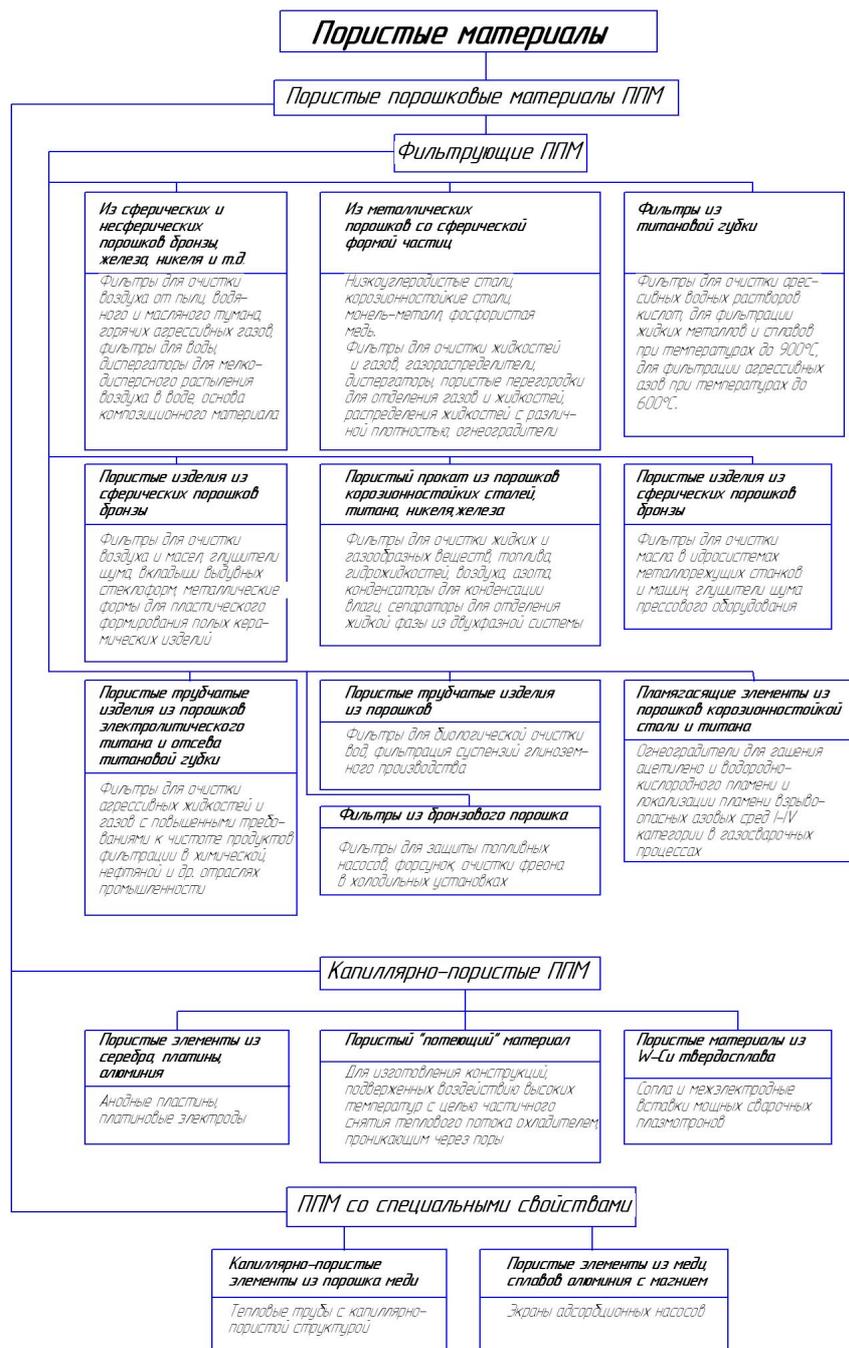


Рис. 1. Классификация пористых порошковых материалов

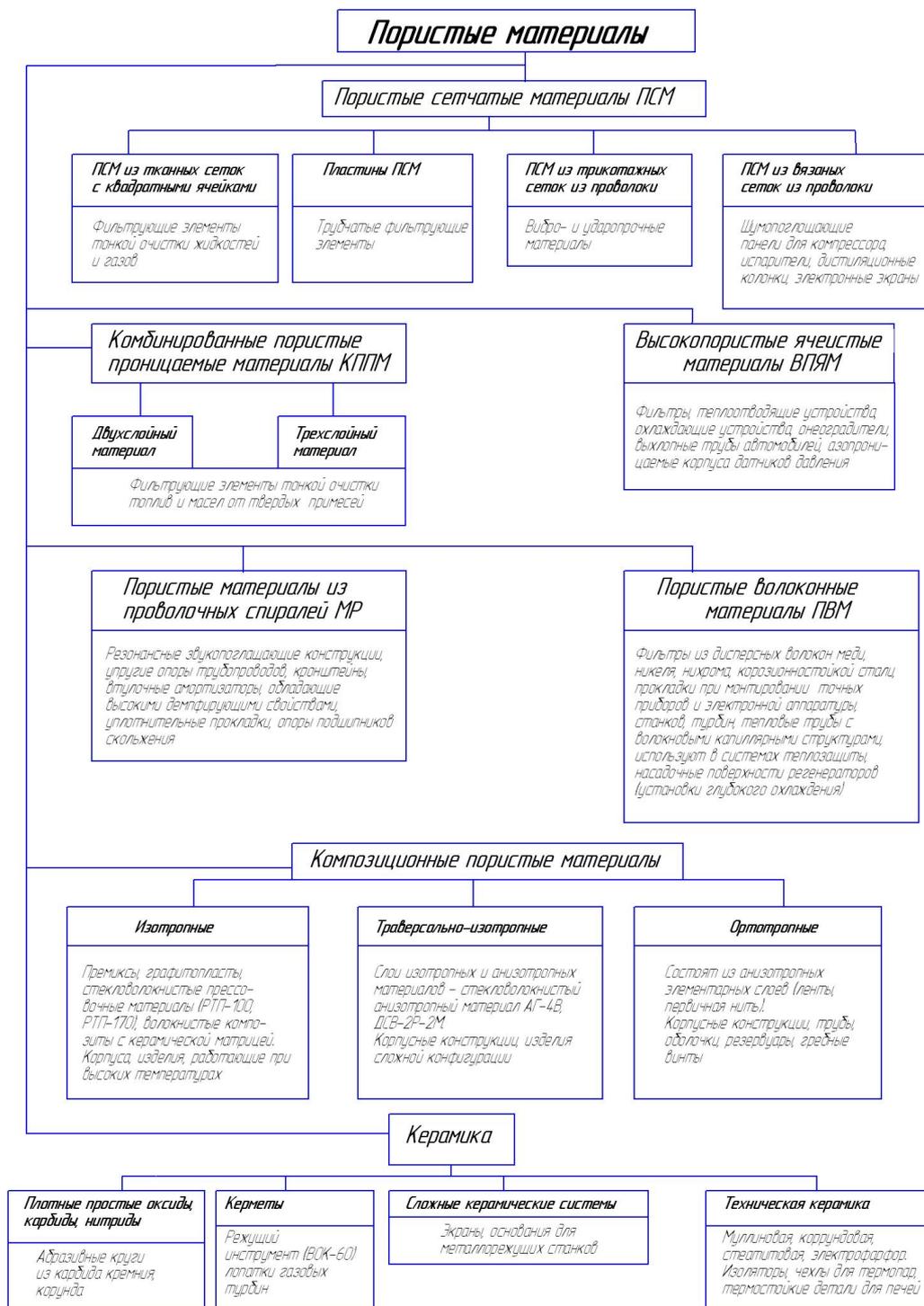


Рис. 2. Классификация пористых материалов

Таким образом, разработанная классификация позволяет оценить область машиностроения, в которой используются пористые материалы.

Литература

1. Матросова, Ю.Н. Методы автоматизированного неразрушающего контроля пористости материалов изделий перед сборкой / Ю.Н. Матросова, Н.Г. Потапова // Сборка в машиностроении, приборостроении.– 2008.– № 12.– С. 32 – 40.

О.Р. Никитин
А.В. Голихин
Владимирский государственный университет
г. Владимир, ул. Горького, д. 87
e-mail: Olnikitin@mail.ru
e-mail: Golihin.alexey@gmail.com

Моделирование радиотеплового зондирования растительных покровов в восьмимиллиметровом диапазоне с подвижными платформами

В работе рассматриваются радиофизические методы дистанционной оценки параметров подстилающей поверхности. С помощью разработанных программ проведен анализ радиотеплового излучения растительных покровов. Создана экспериментальная установка для пассивного метода дистанционного зондирования. Проведено экспериментальное исследование зависимости уровня радиотеплового излучения исследуемой среды от ее биохимического состояния.

Решение многих научных и народнохозяйственных задач связано с исследованием запасов природных ресурсов и изучением состояния различных участков земной поверхности.

Исследование их прямыми методами во многих случаях неэффективно и сопряжено со значительными техническими и финансовыми трудностями. В связи с этим всё большее распространение в последнее время получает дистанционное зондирование поверхности Земли и Океана, в частности, выполняемое и в СВЧ-диапазоне волн с использованием активных радиолокационных (скаттерометров) и пассивных радиометрических (радиометров) средств измерения.

Возрос интерес отдельных регионов ко многим частным геофизическим задачам. В первую очередь регионы проявляют интерес к решению задач, связанных с картированием почв, их биологическим состоянием, к распределению приповерхностных водоносных слоев, особенно в зонах повышенной экологической опасности, к периодическим оценкам состояния культурных растительных посевов и загрязненности динамических и статических водоемов. Особый интерес представляют специфические задачи, связанные с лесными пожарами и возгораниям торфяников (обнаружение, ограничивание, оценка динамики и т. д.), и реализация этих задач с помощью радиометрических методов дистанционного зондирования земной поверхности в СВЧ- и КВЧ-диапазонах.

В рамках региона решение вышеуказанных задач радиометрическими методами становится вполне приемлемой при использовании в качестве носителей беспилотных радиоуправляемых летательных аппаратов. Для решения этой, несомненно, актуальной научно-технической задачи необходимы предварительные лабораторные исследования и теоретические прогнозы, которые заключаются в оценке радиотеплового излучения наиболее часто встречающихся фрагментов земной поверхности, в том числе и слоисто-неоднородных. Представляют интерес оценки уровня радиотеплового излучения от открытой, относительно однородной торфяной поверхности, от плодородного слоя почвы, от кустарниковой растительности при различных вегетативных этапах и в особенности оценка радиотеплового излучения от участков земной поверхности с подпочвенными водоносными слоями.

Полученными исследованиями установлена взаимосвязь вегетативного состояния растительного покрова (овса) от появления ростков до момента, предшествующего колосованию, с уровнем радиотеплового излучения. Исследования проводились при различных поляризациях принимаемого радиотеплового излучения и углах наблюдения. Измерения выполнялись с подвижной платформы, перемещающейся с различной скоростью.

Из экспериментальных исследований следует, что радиотепловое излучение имеет выраженный максимум при длине ростков, близкой к 1,5 см, при фиксированной влажности (60 – 70 %). При этом имеется выраженная поляризационная зависимость: вертикальной поляризации соответствует большее излучение, уменьшающееся при поляризации, стремящейся к горизонтальной.

Каждый росток может рассматриваться как автономный излучатель, у которого излучательная способность связана с длиной и электродинамическими свойствами. На ранних стадиях водная концентрация в ростках достигает 95 % с учетом диэлектрических свойств раствора заполняющего

ростки и взаимодействия с другими ростками. Излучательная способность возрастает при размерах, кратных длине волны. С ростом растений снижается концентрация влаги в излучателях, следовательно, снижается поглощательная способность и радиотепловое излучение. Рост радиотеплового излучения при углах, близких к 90° , сопряжен с уменьшением расстояния между раскрывом рупора и излучающей поверхностью.

При повышении влажности почвы происходит относительно кратковременное повышение влагосодержания ростков, что приводит к увеличению излучательной способности растительного покрова с большей высотой, при этом сохраняется частотная зависимость излучательной способности (кратность длине волны).

Из сопоставления зависимостей для статического измерения и для движущейся каретки видно, что характер зависимости остается тот же, но при этом уровень излучения в случае движущейся платформы снижается в локальных максимумах, размеры которых меньше или равны скорости перемещения платформы на постоянную времени радиометра. На участках с относительно медленными изменениями зависимость от скорости практически не проявляется.

Результаты экспериментальных исследований сравнивались со значениями радиотеплового излучения, полученного путем математического моделирования, выполненного с помощью разработанного пакета прикладных программ, что позволило скорректировать соотношения, использовавшиеся при компьютерном моделировании и повысить достоверность его результатов.

Для экспериментальных исследований влияния экологических нарушений в биосистеме на уровень радиотеплового излучения растительный покров путем недостаточного увлажнения почвы был доведен до практически полного обезвоживания. При этом растительные волокна образуют настельный покров на почве из вьющихся, произвольной формы преимущественно горизонтально ориентированных фрагментов. Для высыхающей растительности преимущественным влиянием в композиции растительный покров (почва) является влияние почвы, при этом с уменьшением влажности почвы возрастает ее отражающая способность, следовательно, уменьшается радиотепловое излучение.

Полученные результаты физических исследований и компьютерного моделирования могут быть использованы для идентификации состояния растительного покрова, осуществляющейся с помощью радиометрических комплексов, размещенных на летательном аппарате.

Литература

1. Николаев, А.Г. Радиотеплолокация (пассивная радиолокация) / А.Г. Николаев, С.В. Перцов; под ред. А.А. Красовского. – М.: Сов. радио, 1964. – 336 с.

В.А. Пронин¹
Л.П. Соловьёв¹
В.В. Булкин¹
А.В. Булкин²

¹Муромский институт Владимирского государственного университета
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23
²ЗАО «МуромЭнергоМаш»
602264 г. Муром, Владимирской обл., Радиозаводское шоссе, д. 12

Магнитная сепарация металлосодержащих золошлаковых отходов

Несмотря на широкое использование гидроэнергетики и атомных электростанций, наиболее крупной составляющей электроэнергетики во всем мире и в том числе в России по-прежнему остаются тепловые электростанции (ТЭС). Около 70 % всей отечественной электроэнергии вырабатывается на 200 ТЭС при сжигании твердого топлива – угля, сланцев, торфа. В результате в совокупности образуется около 50 млн т в год отвалов золошлаковых смесей. К началу XXI в. в отвалах ТЭС находилось свыше 1,2 млрд т таких отходов, а к 2005 г. этот уровень составлял уже не менее 1,3 – 1,5 млрд т. Большое количество отходов ТЭС образуется и в других промышленно развитых странах. Таким образом, актуальной является задача вторичной переработки золошлаковых смесей с целью их утилизации или промышленного применения.

В докладе обсуждаются вопросы создания эффективных средств выделения (сепарации) ферросодержащих компонентов из отходов теплоэлектростанций – золошлаковых смесей.

Известно, что золы и шлаки от сжигания твердых видов топлива представляют собой материалы, пригодные для применения во многих отраслях народного хозяйства: в сельском хозяйстве – как удобрение, в металлургии – как шихта для получения алюминия и концентрат для получения железа, в строительной индустрии – как сырье для цементов и бесклнкерных вяжущих бетонов и других материалов, в дорожном строительстве – при сооружении земляного полотна.

Вместе с тем известно, что в зольных отходах сконцентрировано большое количество соединений железа, алюминия, хрома, никеля, марганца, редких и рассеянных элементов – ванадия, германия, галлия. Наличие оксидов железа и соединений микроэлементов делает золу ценным химическим сырьем для черной и цветной металлургии.

Предлагаемая система сепарации ферромагнитных материалов обеспечивает разделение магнитных и немагнитных компонентов следующим образом. Золошлаковая смесь подается во внутрь корпуса сепаратора. Под действием магнитного поля, создаваемого сепаратной матрицей, магнитные частицы притягиваются к поверхности матрицы, за счет совместного действия магнитного поля и силы тяжести скользят по ее поверхности и поступают в приемный бункер магнитных зерен. Остальная немагнитная фракция под действием силы тяжести продолжает опускаться вниз внутри корпуса и достигает приемного бункера немагнитного материала. Благодаря расположению сепаратной матрицы под углом менее 90° относительно вертикали расположения корпуса обеспечивается отклоняющее перемещение магнитной фракции (зерен) и сосредоточение ее в отдельном бункере.

Поскольку в процессе сепарации вместе с ферромагнитными зернами может захватываться и часть немагнитной фракции, дополнительная очистка магнитной фракции может осуществляться формированием переменного магнитного поля, что обеспечивает периодическое соприкосновение разделяемого материала с сепаратной матрицей и как следствие “страхивание” немагнитного материала в результате соударений. Такое периодическое изменение магнитного поля повышает качество сепарации. Кроме того, ослабление магнитного поля обеспечивает снижение сопротивления вертикальному перемещению ферромагнитных зерен под действием силы тяжести.

Экспериментальная отработка макета сепаратора показала, что эффективность извлечения магнитного материала составляет 90 – 95 %.

Ударно-колебательные процессы при обработке поверхностным пластическим деформированием

При обработке деталей поверхностным пластическим деформированием (ППД) поверхностный слой формируется в результате сложных взаимосвязанных явлений, происходящих в очаге деформирования.

При удачно заданных параметрах обработки поверхностный слой детали приобретает высокие эксплуатационные свойства. Неудачный выбор даже одного из параметров в ряде случаев приводит к образованию субмикроскопических трещин может вызвать частичное разрушение или способствовать формированию следов “пропахивания”, микрорезания и ударного воздействия на обработанной поверхности, приведенных на рис. 1.

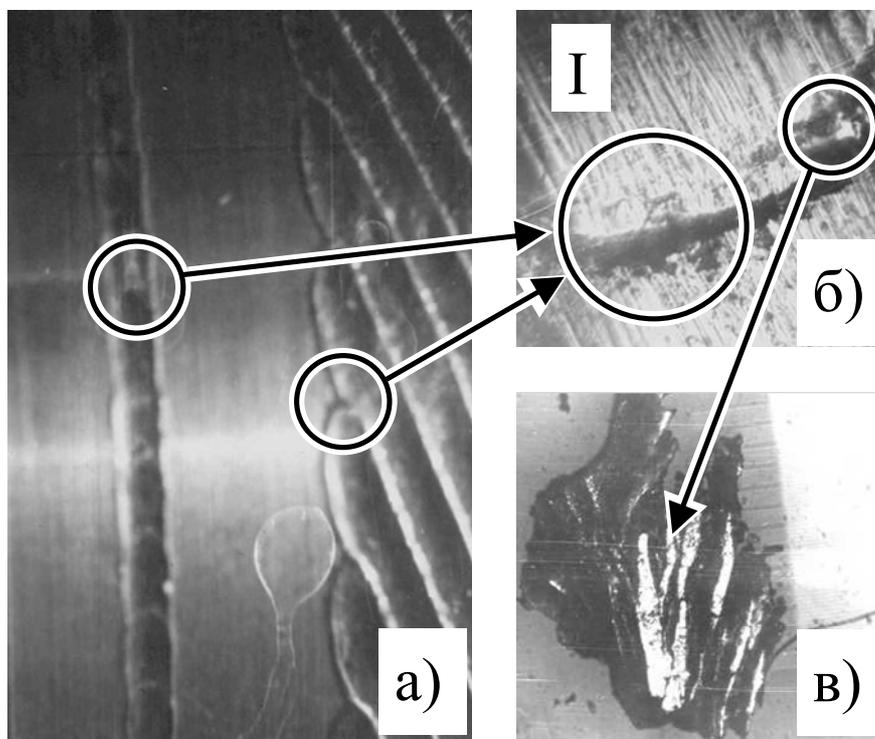


Рис.1. Следы от ударного воздействия на обрабатываемую поверхность при выглаживании цилиндрических образцов из Д16Т

На рис. 1а показана поверхность цилиндрического образца со следами от ударного воздействия индентора при выглаживании. Цифрой I и на рис. 1б обозначены границы двух соседних ударов индентора. Именно по этим границам происходит образование субмикроскопических трещин, микрорезание, отслаивание микроскопической стружки размером порядка 0,1 мм (рис. 1в).

При определенном уровне пластической деформации сдвига на гладкой поверхности появляются волны разной формы, которые при неблагоприятно заданных параметрах обработки в дальнейшем раздваиваются или задираются взаимно перемещающимися поверхностями с образованием трещин.

“Отслаивание” объясняется потерей устойчивости формы вершины волны вследствие неравномерного течения материала в процессе локального волнообразования. В неблагоприятных условиях в момент формирования вершины волны, толщина которой может достигать 0,03 ... 0,1 мм, происходит ее прогиб в направлении подачи (или скорости) или даже завихрение. При

последующих циклах деформирования вершина либо распрямляется, либо испытывает перегиб и прижимается к передней стенке волны с образованием заката деформируемого материала. При этом уже в начальный период перегиба на вершине волны появляются микротрещины, глубина которых составляет 1 ... 5 мкм. Под нагрузкой закаты отделяются и отслаиваются от поверхностного слоя, их свободные концы изгибаются и приподнимаются над уровнем обработанной поверхности. Потерявшие взаимосвязь с материалом детали граничные участки закатов, имеющие толщину 1 ... 2 мкм, могут полностью отделиться от детали в виде мелких чешуек (рис. 1в).

При движении инструмента по обрабатываемой поверхности глубина его внедрения в поверхностный слой заготовки непрерывно изменяется. При определенном уровне пластической деформации сдвига объем деформированного материала перед инструментом увеличивается. Это вызывает увеличение сил деформирования и затем в зависимости от физико-механических свойств материала заготовки жесткости технологической системы и величины силы деформирования, отжим детали от инструмента или “пропахивание” (микрорезание) поверхностного слоя. Отжим детали от инструмента с полным разрывом контакта между ними сопровождается последующим ударным вхождением в контакт, вибрацией.

Наличие погрешностей формы и установки заготовки, присутствие в основном металле различных включений с иными механическими свойствами, неоднородность шероховатости поверхности, податливости технологической системы увеличивают вышеописанные явления и являются причиной появления продольной и поперечной волнистости в виде ударного воздействия на обработанной поверхности.

Пороговые характеристики АЧХ и остаточный ресурс машин и оборудования

Спектр амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) вибраций отражает всю совокупность колебательных движений как машины в целом, так и отдельных ее элементов. Работа машины является нормальной до тех пор, пока амплитуды колебаний находятся в допустимых пределах.

Допустимые пределы определяются динамическим расчетом, а также расчетом на выносливость деталей машины от воздействия динамических нагрузок, и это задача расчетов на прочность и усталостную выносливость. Однако, так или иначе, даже для достаточно точно просчитанной машины обязательно присутствуют вибрации, АЧХ которых является своего рода визитной карточкой машины. По этой карточке можно однозначно идентифицировать машину из любого числа однотипных машин. Более того, по этой же карточке можно осуществлять диагноз работоспособности машины, ее состояния и при необходимости назначить своевременное "лечение". Это открывает широкие возможности для профилактики и предупреждения отказов, внезапный характер которых является зачастую причиной серьезных аварий с тяжелыми последствиями.

Известен ряд зарубежных фирм, использующих описанный принцип для осуществления мониторингового обслуживания сложного и дорогостоящего технологического оборудования. Имеется также некоторый, хотя и, к сожалению, небольшой опыт и в отечественной промышленности.

Однако широкому распространению его у нас препятствовали определенные обстоятельства, понять которые можно, если рассмотреть условия для его осуществления. Они сводятся к следующим:

- экономические условия;
- теоретическая проработка вопросов диагностики по динамике изменения АЧХ машин и механизмов;
- технологические, технические и организационные аспекты осуществления вибродиагностических работ.

Экономические факторы. С переходом к рыночной экономике восстановление основных фондов из-за естественного или нехозяйского отношения к ним ложится тяжелым финансовым бременем на плечи предприятия, причем тем более, чем сложнее и дорогостоящее оборудование. Так остро ранее проблема не стояла, поэтому в современных условиях экономически выгодно предприятию наладить систему мониторингового отслеживания состояния оборудования с целью поддержания в работоспособном состоянии длительное время. Кроме того, остаточный ресурс оборудования всегда целесообразно знать в целях долгосрочного экономического прогнозирования.

Однако с экономической точки зрения создание собственной лаборатории диагностики, которая, кстати, может быть составной частью механической службы предприятия и тесно взаимодействовать с этой службой, целесообразно лишь при определенных условиях, а именно при наличии парка достаточно дорогостоящего оборудования. В других случаях возможно создание фирмы на кооперативных началах с рядом промышленных предприятий. Такой фирме под силу решение вопросов диагностики на более высоком уровне.

Теоретическая база вибродиагностики. Сегодня довольно детально проработаны теоретические основы вибродиагностики. Установлены методы разложения спектра АЧХ механизмов на составляющие по элементам, их идентификация и обработка. Раскрыты сущность и природа явлений и процессов вибродиагностики. Слабо проработанным являются вопросы установления пороговых характеристик АЧХ и как следствие определения остаточного ресурса работы. На рис. 1 представлена примерная диаграмма наблюдений за изменением вибрации амплитуды n -го элемента механизма с частотой ω_n , за время работы t .

За время от начала работы элемента системы до выхода его из строя амплитуда вибрации A изменяется по характерной кривой. На начальном периоде приработки ($0 - t_1$) ее амплитуда несколько ниже номинальной A_n , соответствующей нормальному периоду эксплуатации

элемента. Далее амплитуда растет незначительно в интервале от t_1 до t_2 . В течение времени от t_2 до t_3 наступает период интенсивного износа и накопления усталостных напряжений. Этот период характеризуется ростом значений амплитуды с интенсивностью того или иного порядка и достижением порогового значения, при котором происходит разрушение элемента.

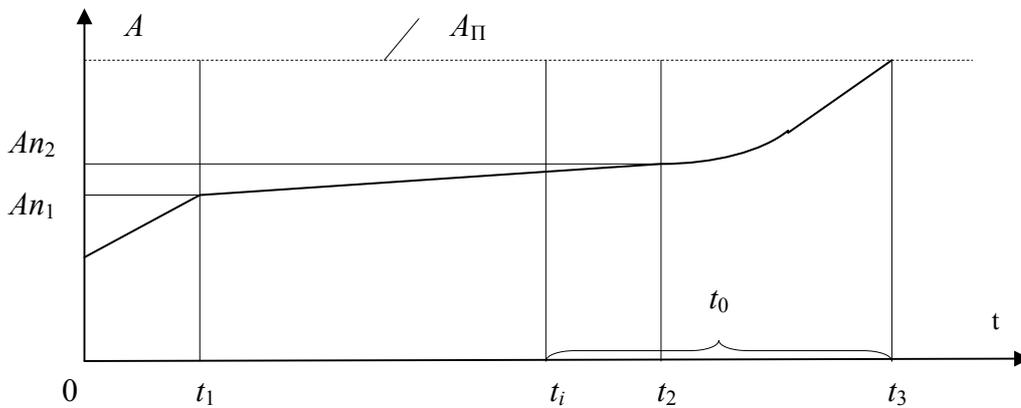


Рис. 1.

В некоторый рабочий момент времени t_i , зная пороговый показатель A_π и характер изменения кривой на участке $t_2 - t_3$, можно определить остаточный ресурс элемента t_0 .

Обоснование пороговых значений амплитуд различных элементов, как и изучение зависимости амплитудной кривой на участке $t_2 - t_3$, являются задачами теоретических исследований.

Необходимо отметить, что отсутствие теоретических методов определения пороговых характеристик не может сдерживать проведение диагностических работ, так как работоспособность элемента можно приближенно оценивать экспериментальными методами.

Как показали исследования, оказалось возможным также оценивать состояние того или иного элемента машины по скорости изменения амплитуды, то есть по значению первой производной динамики изменения амплитуды вибраций. Нами введен показатель текущего состояния a , который в процессе наблюдений не должен превышать допустимого значения $[a]$:

$$a = \frac{dA}{dt} < [a].$$

Показатель текущего состояния может служить для прогноза остаточного ресурса t_0 машины или конкретного механизма. Для этого необходимо полученное значение наложить на график (рис. 1), построенный по результатам предыдущих наблюдений, или спрогнозировать поведение кривой на участке $t_i - t_3$ по данным для аналогичного механизма.

Технологические и технические аспекты вибродиагностики. Технологией проведения диагностических работ предусмотрено периодичное снятие АЧХ вибраций машины на рабочих режимах с помощью постоянно установленных в контрольных точках датчиков и их обработкой специальными приборами с использованием ЭВМ. ЭВМ производит накопление данных, их обработку и осуществляет выдачу информации о состоянии машины и элементов по отдельности. Структурная схема диагностического оборудования представлена на рис. 2.

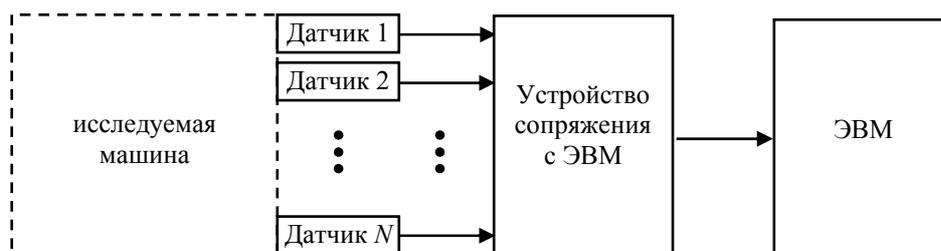


Рис. 2.

Организационные моменты. В отношении организации работ наиболее простой является создание группы с предварительным обучением персонала при механической службе предприятия, которая следит за состоянием оборудования и дает рекомендации по замене того или иного элемента. Эти данные используются службой главного механика при составлении работ при очередном планово-предупредительном ремонте. В состав группы может входить от двух до пяти человек в зависимости от объемов работ.

В случае создания диагностической фирмы на кооперативных началах ее работа может быть организована по другому принципу, но главным остается тесное и документальное взаимодействие фирмы с механическими службами предприятий.

Повышение надежности машин за счет предотвращения внезапных отказов является основной задачей диагностики их технического состояния, что предопределило ее бурное развитие. В настоящее время широко применяется виброакустическая диагностика привода и элементов трансмиссии, однако в ряде случаев, связанных со специфическими условиями работы машин, ее использование вызывает ряд трудностей, связанных с установкой датчиков и подключением измерительной аппаратуры, поэтому поиск новых методов и средств диагностики, базирующихся на принципах отслеживания технического состояния машин и оборудования без прерывания их работы, является актуальной задачей.

В свете этого представляет интерес использование для диагностики такого информационного сигнала, который, отражая техническое состояние привода и элементов трансмиссии, позволял бы производить его отбор и регистрацию в бесконтактном и оперативном режиме. Ряд исследователей замечает, что величина и колебание электрического тока, потребляемого приводом машины, зависит от ее технического состояния. У новых машин они минимальны и по мере эксплуатации возрастают. Это было положено в основу разработки метода диагностики состояния электрических машин, широко применяемого в последнее время. В основе его лежит исследование спектрального анализа потребляемого тока, что позволяет с высокой степенью достоверности определять техническое состояние элементов двигателя. Физический принцип заключается в том, что любые изменения в работе электрической или механической части электродвигателя и связанной с ней трансмиссией приводят к изменениям магнитного потока в зазорах электрической машины и, следовательно, потребляемого тока. Появление в спектре тока нехарактерных частот свидетельствует о наличии повреждений. Сопоставление амплитудно-частотных характеристик тока, зарегистрированного в различные временные периоды, позволяет выделить из всего спектра тока гармоники, характерные для неисправностей оборудования и произвести их качественный анализ теми или иными способами, например, с помощью преобразования Фурье и последующей обработки массива данных методом векторного квантования [1]. Определение идентификационных частот в спектре тока для установления состояния того или иного элемента трансмиссии или характера его повреждения осуществляется по известным методикам, используемым при виброакустической диагностике.

Литература

1. Фабричный, Ю.Ф. Повышение достоверности оценки состояния сложных машин на основе применения векторного квантования и распознавания образов / Ю.Ф. Фабричный, Е.С. Фабричная // Горные машины и автоматика.– 2007.– № 6.– С. 27.

Технологии термофрикционной обработки металлов и сплавов с особыми физико-механическими свойствами

Всё шире применяются труднообрабатываемые материалы в горном, энергетическом и химическом машиностроении. При этом большинство деталей из указанных материалов, как правило, работают в экстремальных условиях, что обуславливает повышенные требования к качеству поверхностного слоя и эксплуатационной долговечности.

Механическая обработка металлов и сплавов с особыми физико-механическими свойствами, а также обеспечение соответствующей точности и качества изготовления ставит ответственные задачи перед машиностроителями. Одна из задач заключается в том, что при механической обработке, кроме повышения качества и точности, необходимо обеспечить и снижение себестоимости продукции. Эту задачу можно решить путем разработки новых универсальных способов механической обработки и конструкции режущих инструментов.

В настоящее время на кафедре технологии машиностроения Карагандинского государственного технического университета проводится ряд научно-исследовательских работ по разработке ресурсосберегающих способов обработки металлических заготовок.

Одним из таких методов, является термофрикционная обработка (ТФО) труднообрабатываемых материалов. Термофрикционная обработка является одной из разновидностей обработки металлов давлением с нагревом их за счет трения в месте контакта заготовки с движущимся относительно нее с высокой скоростью инструментом [1].

При определенном сочетании материала и геометрии инструмента, а также режимов обработки заготовка может быть нагрета до пластического состояния либо до плавления. Температура нагрева и соответствующее состояние обрабатываемой части заготовки определяют технологические возможности использования методов ТФО на практике.

Повышение производительности механической обработки требует расширения технологических возможностей метода термофрикционного резания (ТФР) металлов и более производительной работы фрикционными инструментами. Таким образом, производство ставит много вопросов относительно усовершенствования их, в том числе увеличения стойкости, интенсификации технологических процессов механической обработки металлов, изыскания новых возможностей увеличения производительности металлорежущих станков, улучшения качества изделий и снижения стоимости обработки, повышения производительности, уменьшения сил и мощности резания, повышения качества обработки, усовершенствования технологии изготовления инструмента, разработки принципов выбора оптимальных режимов резания и улучшения условий работы. Разработанные технологии ТФО [2], [3] в значительной степени отвечают этим требованиям.

В настоящее время кафедра технологии машиностроения выполняет следующие научно-исследовательские работы по расширению технологических возможностей ТФО:

- обработка наружных цилиндрических и плоских поверхностей;
- обработка, заварка и получения отверстий;
- обработка зубьев зубчатых колес;
- упрочнение цилиндрических поверхностей.

Литература

1. Зарубицкий, Е.У. Термофрикционная обработка стальных деталей / Е.У. Зарубицкий // Машиностроитель. – 1996. – № 2. – С. 25.
2. Инновационный пат. № 22998 РК на изобретение. Способ термофрикционной обработки плоскости и конструкция диска трения / Шеров К.Т., Жетесова Г.С., Бузауова Т.М. и др.; опубл. 15. 10. 2010, Бюл. № 10.
3. Заявление о выдаче инновационного патента РК на изобретение от 25. 11. 2010 г. Термофрикционный режуще-упрочняющий способ обработки цилиндрических поверхностей и конструкция диска трения / Шеров К.Т., Жетесова Г.С., Бузауова Т.М. и др.

Особенности энергобаланса технологического оборудования

Современные тенденции развития станкостроения показывают, что предъявляемые требования по надежности, экономичности и производительности всё более ужесточаются.

Под энергобалансом технологического оборудования понимается равенство подводимой к системе энергии e и суммы полезной энергии на исполнительном органе e_n и диссипативных потерь энергии внутри системы Δe : $E = \Delta E + E_n$ [1], [2].

Слагаемое ΔE представляет собой сумму потерь энергии в отдельных элементах и кинематических парах системы. Экспериментальное определение потерь энергии в отдельных элементах в составе привода представляет огромные трудности. При аналитическом определении потерь в элементах технологического оборудования необходимо учитывать ряд особенностей. Энергия потерь, рассеиваемая в приводе машины, расходуется на преодоление сил сопротивления в зацеплении зубчатых колес, подшипниках, уплотнениях и на перемешивание масла.

Потери внутри системы можно условно разделить на две группы: условно-постоянные и переменные. К условно-постоянным относятся потери холостого хода и потери при пусках и торможениях, связанные с разгоном инерционных масс. Вторая группа потерь включает в себя потери, связанные с динамическим характером внешней нагрузки. При определении потерь необходимо рассматривать трансмиссию совместно с приводным двигателем, так как потери в двигателе ($\cos\varphi$) существенно зависят от загрузки его по мощности. При этом необходимо отметить, что привод ведет себя как единое целое, имея общую резонансную частоту (частоты), что объясняется наличием кинематических и других видов связей между элементами. Также при составлении математической модели оценки потерь необходимо учитывать коэффициент демпфирования как в трансмиссии, так и в самом двигателе. Поскольку при динамическом внешнем воздействии внутри системы рассеивается дополнительное количество энергии, то в модель оценки потерь в приводе необходимо включить модель формирования внешней нагрузки на исполнительном органе. Это позволит оценить потери в системе в реальных условиях эксплуатации, а также исходя из полученных данных разработать методы по их снижению.

Литература

1. Горелик, С.С. Рекристаллизация металлов и сплавов / С.С. Горелик.– М.: Металлургия, 1967.– С. 403.
2. Иверонова, В.И. К теории отдыха и рекристаллизации / В.И. Иверонова, Г.С. Жданов // Рентгенография в применении к исследованию металлов: сб.– М. – Л.: ОНТИ, НКТП, 1936.

Анализ погрешностей обработки сборным абразивным кругом с радиально-подвижными абразивными сегментами

В современном машиностроении одной из актуальных проблем является высокопроизводительная абразивная обработка отверстий деталей машин (например, колец подшипников), к которым предъявляются высокие требования по шероховатости, волнистости и точности формы. Обработка отверстий существующими абразивными инструментами сопряжена с рядом трудностей, обусловленных прежде всего сложностью подвода смазочно-охлаждающей технологической жидкости (СОТЖ) в зону резания через узкую щель между кругом и заготовкой в условиях действия мощных аэродинамических потоков, создаваемых вращающимся инструментом. Это приводит к снижению производительности обработки из-за опасности образования тепловых дефектов в поверхностных слоях шлифованных деталей. Осуществить высокопроизводительную обработку с обеспечением требований по геометрической погрешности позволяет современный метод шлифования сборным абразивным кругом с радиально-подвижными абразивными сегментами, размещенными соосно обрабатываемой заготовке в емкости, образованной заготовкой и торцовыми крышками.

Геометрическая погрешность при обработке этим инструментом в поперечном сечении обрабатываемой поверхности обусловлена элементами режима резания и параметрами круга [6].

Геометрическая погрешность обрабатываемой поверхности возрастает при увеличении угловой скорости круга ω_k и уменьшается с увеличением угловой скорости заготовки ω_3 (рис. 1б). При противоположном направлении векторов ω_k и ω_3 увеличение отношения ω_3/ω_k приводит к уменьшению геометрической погрешности, а при одинаковом направлении векторов ω_k и ω_3 – к значительному росту погрешности (рис. 2а и 2б).

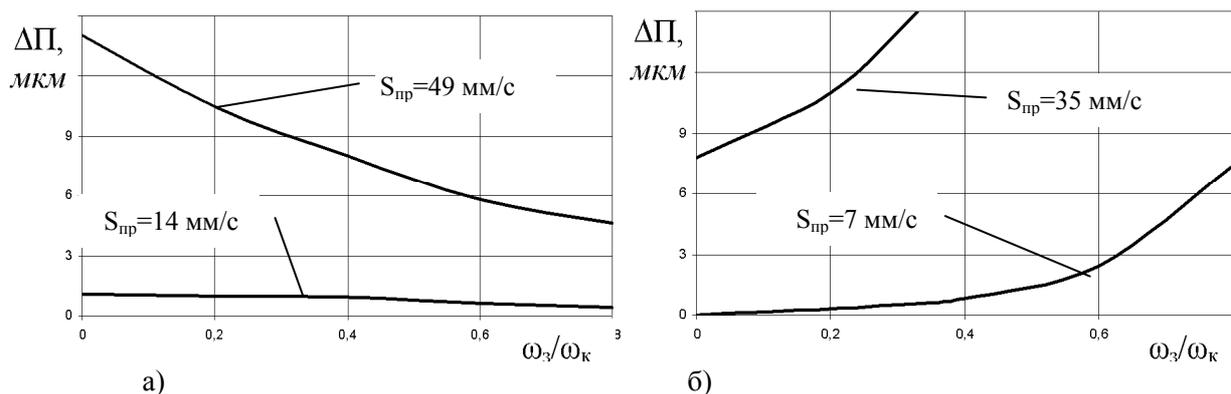


Рис. 1. Влияние отношения угловых скоростей заготовки ω_3 и круга ω_k на погрешность при противоположном (а) и одинаковом (б) направлении векторов ω_k и ω_3

Для снижения шероховатости, волнистости и погрешности геометрической формы в продольном и поперечном сечении обработку следует проводить при максимальной угловой скорости заготовки, уменьшать скорость вращения круга, увеличивать отношение ω_3/ω_k , а процесс шлифования проводить при противоположном направлении векторов ω_k и ω_3 .

В процессе экспериментальной проверки геометрических характеристик поверхностей нашло полное подтверждение значительное уменьшение неровностей поверхности при увеличении угловой скорости заготовки, отношения угловой скорости круга к угловой скорости заготовки, числа сегментов в инструменте и др.

Полученные результаты по геометрическим показателям качества деталей объясняются не только увеличением в 18 ... 20 раз числа зерен, одновременно участвующих в процессе снятия припуска, но и многократным увеличением времени резания каждым зерном в течение одного оборота инструмента относительно заготовки.

Литература

1. Яшков, В.А. Разработка математической модели процесса теплообмена при внутреннем шлифовании сборным абразивным кругом / В.А. Яшков, Л.В. Силин, А.Ю. Албагачиев // *Машиностроение и безопасность жизнедеятельности.*– 2009.– № 6.– С. 182 – 184.
2. Силин, Л.В. Технологическое сокращение продолжительности приработки / Л.В. Силин, В.А. Яшков // *Машиностроение и безопасность жизнедеятельности.*– 2010.– № 7.– С. 143 – 146.
3. Блурцян, Д.Р. Сборный абразивный инструмент для интенсивного внутреннего шлифования / Д.Р. Блурцян // *СТИН.*– 2006.– № 10.– С. 19 – 21.
4. Блурцян, Д.Р. Интенсификация внутреннего шлифования повышением давления СОЖ в зоне обработки / Д.Р. Блурцян, В.Г. Гусев // *Сб. науч. тр. Верхнее-Волжского отделения Академии инженерных наук РФ.*– Владимир, 2001.– С. 38 – 44.
5. Блурцян, Д.Р. Оптимизация параметров шероховатости поверхности при внутреннем шлифовании / Д.Р. Блурцян, И.Р. Блурцян, Ю.В. Трифонова // *Науч. тр. муромских ученых: материалы 35-й науч.-теорет. конф. 28 янв. 2000 г. В 3 ч. Ч. 3.*– Муром: МИ ВлГУ, 2002.– 125 с.– С. 45 – 46.
6. Блурцян, Д.Р. Исследование шероховатости поверхности при внутреннем шлифовании / Д.Р. Блурцян, Ю.В. Трифонова // *Машиностроение и безопасность жизнедеятельности: материалы 36-й науч.-теорет. конф. Вып.1.*– Муром: МИ ВлГУ, 2002.– С. 65 – 67.