

Азаренко А.А., М.А. Константинов, И.Ю. Боос
Сибирский Федеральный университет.
Институт горного дела геологии и геотехнологий
660025, г. Красноярск, пр. Вузовский, 3, ауд. 415 у.к.
e-mail: JJunakov@sfu-kras.ru

Управление состоянием устойчивости внутренних отвалов на примере Шубаркольского угольного разреза

К прогрессивным методам обработки угольных разрезов в настоящее время можно отнести технологию бестранспортной обработки вскрыши со складированием пород во внутренние отвалы. Внутреннее отвалообразование производится на почву отработанного угольного пласта (на слабое наклонное основание), что является неблагоприятным фактором, влияющим на устойчивость отвала.

Отличительными особенностями внутреннего отвала, формируемого по бестранспортной технологии, благоприятно влияющими на его геомеханическое состояние, являются: во-первых, отсутствие нагрузки на верхнюю бровку от действия горнотранспортного оборудования; во-вторых, достижение предельного состояния в отвале треугольной формы (бестранспортная вскрыша) происходит при большей высоте по сравнению с отвалом трапециевидной формы. Это связано с распределением удерживающих сил в отвале, что подтверждает геометрия призмы обрушения; в-третьих, сама технология отсыпки отвала бестранспортной вскрыши способствует обеспечению более устойчивого состояния отвала по сравнению с другими технологиями, так как при отсыпке отвала породы из ковша драглайна падают с большей высоты, чем из кузова самосвала, уплотняя при этом ядро отвала.

Анализ горнотехнических условий на Шубаркольском угольном разрезе показывает, что созданный экскаватором ЭШ-10/70 отвал бестранспортной вскрыши упирается в нижней части в откос угольного уступа. Это компенсирует влияние наклонного основания отвала, поэтому для заданных условий слабое наклонное основание можно не учитывать. Результаты расчетов, выполненных численно-аналитическим способом проф. П.С. Шпакова [1,2,3] с использованием программы [3] «Устойчивость карьерных откосов», показали, что без учета влияния слабого наклонного основания предельная высота конусообразного отвала для аргиллитов может достигать 28 м.

При отсутствии упора в основании отвала поверхность скольжения в нижней части проходит по ослабленному контакту. В связи с чем снижаются расчетные средневзвешенные характеристики прочности пород по поверхности скольжения. Расчеты показали, что высота конусообразного отвала в этом случае не должна быть больше 25 м.

При выемке угля из забоя, служащего упором для внутреннего отвала, откос отвала обрушается, образуя стенку циркообразной формы на участке незначительной ширины. При этом экскаватор с удлиненной стрелой (ЭКГ-4У, ЭКГ-5У), вынимая уголь, формирует за собой из вскрышных пород призму упора для отвала. Отвал бестранспортной вскрыши с измененной геометрией сам становится упорной призмой для надвигающегося внутреннего отвала в целом.

Учитывая изменяющиеся горно-геологические условия по глубине и площади разреза, построение рабочего борта внутреннего многоярусного отвала по стадиям его формирования должно производиться с учетом технологических соображений с последующей обязательной проверкой на устойчивость по графикам, полученным по программе SLABOSN проф. Шпакова П.С. и др. [2,3], по ряду разведочных линий исходя из высоты отвала и угла наклона слабого основания отвала.

Соблюдение вышеизложенной рекомендации позволяет управлять состоянием устойчивости формируемых внутренних отвалов. Такой же пример рассмотрен в работе [4,5].

Рассмотрим решение данной задачи на примере Шубаркольского угольного разреза.

Для анализа устойчивости внутренних отвалов, отсыпаемых на слабый контакт - почву отработанного угольного пласта с весьма низкими прочностными характеристиками, усовершенствованы два варианта расчетной схемы устойчивости откосов, расположенных на слабом основании малой мощности.

Суммарные сдвигающие и удерживающие силы, действующие на призму возможного обрушения, определены путем интегрирования соответствующих элементарных сил, действующих по поверхностям скольжения.

При интегрировании сдвигающих и удерживающих сил по потенциальной поверхности скольжения получены конечные решения, выраженные в элементарных функциях. Разработаны алгоритм и программное обеспечение для решения данных задач [1,2].

Расчеты устойчивости откосов внутреннего отвала Шубаркольского угольного разреза выполнены аналитическим способом для углов наклона основания отвала (слабого контакта) от 0° до 12° .

Результаты расчетов показали, что с уменьшением угла наклона основания отвала (слабого контакта) предельная высота устойчивого яруса внутреннего отвала увеличивается от 15,1 м при $\theta = 12^\circ$ до 17,3 м при $\theta = 0^\circ$ [1].

Исследованиями установлено, что высота устойчивого нижнего яруса отвала при углах наклона слабого обводненного основания до 12° может быть рекомендована равной 15 м. При формировании нижнего яруса из прочных пород надугольной толщи на сухом основании высота устойчивого яруса может достигать 20 м. Ярусы внутреннего отвала, расположенные выше и сложенные достаточно прочными породами, в основании которых будут находиться устоявшиеся породы нижнего яруса, могут иметь высоту до 20 м, устанавливаемую из технологических соображений. Высота яруса отвала глинистых пород не должна превышать 15 м.

Для различных прочностных характеристик пород внутреннего отвала выполнены расчеты аналитическим способом и определены зависимости предельной высоты нижнего яруса отвала от угла наклона слабого основания.

Полученные зависимости носят линейный характер. Уравнения связи имеют следующий вид [1]:

- при $k = 0,035$ МПа, $p = 26^\circ$, $H_{\text{пред}} = 34,84 - 0,725\theta$, м;
- при $k = 0,024$ МПа, $p = 20^\circ$, $H_{\text{пред}} = 20,15 - 0,150\theta$, м;
- при $k = 0,020$ МПа, $p = 17^\circ$, $H_{\text{пред}} = 15,21 - 0,035\theta$, м.

Выводы. На основании выполненных исследований усовершенствованы два варианта расчетной схемы устойчивости откосов, расположенных на слабом основании малой мощности. Расчет устойчивости карьерных откосов, выполнен численно-аналитическим и аналитическим способом и, позволили обосновать параметры устойчивого внутреннего отвала для горногеологических условий Шубаркольского угольного месторождения.

Заключение. Для обеспечения долговременной устойчивости откосов отдельных ярусов и внутреннего отвала в целом Шубаркольского разреза рекомендуется следующее:

1. Формирование нижних ярусов внутреннего отвала должно начинаться при угле наклона слабого основания (контакта) отвала менее 12° и осуществляться по возможности наиболее прочными вскрышными породами (аргиллитами, алевролитами, песчаниками) глубоких горизонтов разреза. При этом высота яруса отвала, отсыпаемого экскаватором ЭШ-10/70 по бестранспортной технологии, не должна превышать 25 м;

2. Высота нижнего яруса внутреннего отвала, формируемого автомобильным транспортом, при углах наклона слабого основания отвала от 12° до 4° должна приниматься равной 15 м, при меньших углах наклона основания отвала при складировании в нижний ярус наиболее прочных пород глубоких горизонтов разреза в условиях невлажного основания отвала высота яруса может быть увеличена до 20 м при необходимости;

3. Высота вышележащих ярусов внутреннего автомобильного отвала, основанием которых служат устоявшиеся породы нижних ярусов, высота устойчивого яруса должна приниматься с учетом технологических соображений равной 15-20 м. Высота ярусов отвала, сложенных глинистыми породами, не должна превышать 15 м;

4. Складирование в нижние ярусы глинистых пород верхних горизонтов (зоны выветривания), а также склонных к самовозгоранию углистых аргиллитов надугольной пачки с точки зрения устойчивости бортов карьера не целесообразно;

5. Служащего упором для внутреннего отвала, отсыпанного по бестранспортной технологии, вслед за добычными работами экскаватор с удлиненной стрелой (ЭКГ-4У, ЭКГ-5У) должен формировать за собой из вскрышных пород переэкскавации призму упора для отвала

бестранспортной вскрыши высотой не менее 1,5 высоты добычного уступа. Отвал бестранспортной вскрыши, с изменённой геометрией, сам становится упорной призмой для надвигающегося внутреннего отвала в целом.

6. Для обеспечения более полного рассеивания порового давления в основании отвально-го яруса ширину заходки следует принимать максимально возможной (до 50-70 м [1]), исходя из положения границ обнажения лежачего бока пласта и подвигания добычных работ.

7. При складировании в отвальные ярусы пород, обладающих резко различными характеристиками сопротивления сдвигу, не рекомендуется допускать отсыпку слабых глинистых пород слоями по поверхности откоса, создающими косослоистое строение отвала. Для повышения устойчивости отвальных ярусов следует стремиться к максимальному усреднению состава отсыпаемых пород вскрыши [1].

Представленные рекомендации, разработанные для Шубаркольского угольного разреза, могут быть использованы для проектирования параметров внутренних отвалов угольных разрезов с аналогичными горно-геологическими условиями разработки месторождений.

Литература

1. Попов В. Н., Шпаков П. С., Юнаков Ю. Л. Управление устойчивостью карьерных откосов: учеб. для вузов. – М.: Горная книга, 2008. – 683 с.
2. Шпаков П.С., Юнаков Ю.Л., Шпакова М.В. Расчет устойчивости карьерных откосов по программе STABILITY ANALYSIS. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2011. № 8. С. 56-63.
3. Программа для расчета устойчивости карьерных откосов "Stability analysis". программы, зарегистрированные в реестре программ для эвм российской федерации. ru обпбт № 4(75) 20.12.2010. Программы для ЭВМ. Рег. номер 2010614557 (09.07.2010). Авторы Шпаков П.С., Юнаков Ю.Л., Шпакова М.В., Фролов И.А.
4. Шпаков П.С., Юнаков Ю.Л. Обоснование параметров устойчивых отвалов месторождения Эльдорадо. Горный журнал №3,2017. С.20-25
5. Шпаков П.С., Юнаков Ю.Л. Устойчивость отвалов на месторождении «Эльдорадо». Горный информационно-аналитический бюл-летень. Mining informational and analytical bulletin. (научно-технический журнал). №6/2018. С.69-79.

Барышников Р.А., Можаяева Ю.И., Можаяев И.Н.
Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23

Применение упрочняющей обработки для деталей машин

Поверхностное пластическое деформирование (ППД) - вид отделочно-упрочняющей обработки, при котором не образуется стружка, а происходит упругопластическое деформирование поверхностного слоя заготовки. Упрочнение ППД широко используется для повышения эксплуатационных свойств деталей машин [1].

Для упрочнения цилиндрических поверхностей широко применяется накатывание. Накатывание является одним из наиболее известных способов ППД. Накатывание чаще всего производится на токарных станках. Для обработки наружных поверхностей используется обкатывание, а для внутренних – раскатывание. Деталь в зависимости от ее конструкции закрепляется в центрах или патроне, а обкатное приспособление (обкатник) – в резцедержателе. Давление при обкатывании может быть создано тарированной пружиной, а также при помощи пневматического или гидравлического механизма. Обкатывание способствует формированию упрочненного слоя глубиной до 2-3 мм, имеющего 50% степень упрочнения и сжимающие остаточные напряжения в пределах 200-500 МПа. Область применения для накатывания – валы, крупные и средние резьбы, элементы винтовых передач и др. [2].

Для упрочнения отверстий диаметром до 120 мм широко применяется поверхностное дорнование. Для поверхностного дорнования используют протяжные станки (горизонтально – и вертикально-протяжные) и прессы различных типов. С помощью дорнования обрабатывают отверстия деталей. Сущность процесса дорнования заключается в перемещении жесткого рабочего инструмента - дорна в отверстие заготовки с натягом, под влиянием внутреннего давления. Давление на инструмент в зависимости от материала детали достигает 5-20 МПа. Дорнование обеспечивает обработку отверстий с точностью 6-9 квалитетов и шероховатостью $Ra = 0,32-0,04$ мкм. Основными используемыми инструментами являются: одно- или многозубые деформирующие прошивки или протяжки (дорны).

Задачей современного производства является применение упрочняющей обработки для более широкой номенклатуры деталей машин, что будет способствовать повышению их долговечности и несущей способности. Для этого необходимо постоянное совершенствование известных способов упрочнения и создание новых.

Статико-импульсная обработка (СИО) использует для поверхностного пластического деформирования металлических заготовок одновременно статическую и ударную нагрузку [3]. Инструмент монтируется на волноводе, статически поджатом к упрочняемой поверхности. При упрочнении, бойком по волноводу с заданной частотой производятся удары и в виде волны сжатия сообщаются в очаг деформации. Эффектом при упрочнении, является возможность получения большой глубины упрочнения (до 8-10 мм), твердости поверхностного слоя до 6000-6500 МПа, снижения шероховатости обработанной поверхности в 5-6 раз, формирования остаточных сжимающих напряжений до 800 МПа. Инструментом для СИО являются шары, ролики (дисковые, стержневые, с фасонным профилем), может использоваться инструмент в виде одно- или многокольцевых дорнов. СИО может использоваться для упрочнения поверхности катания сердечников крестовины стрелочных переводов, галтелей крупных валов, валков прокатных станов, ножей и зубьев исполнительных органов строительно-дорожных машин, крупной резьбы, шлицев и зубчатых колес, формообразования резьбы и шлицев. Кинематика способа в зависимости от геометрии упрочняемой поверхности может быть аналогична обкатыванию, для наружных цилиндрических поверхностей, или дорнованию, для внутренних цилиндрических поверхностей.

Литература

1. Справочник технолога-машиностроителя // В.Н. Андреев, А.Н. Афонин, В.Ф. Безязычный и др. Москва, 2018. Том 2. – 818 с.

2. Технология и инструменты отделочно-упрочняющей обработки деталей поверхностным пластическим деформированием: справочник. В 2-х томах. Т. 2. / Под общ. ред. А.Г. Сулова. - М.: Машиностроение, 2014. - 444 с.

3. Киричек А.В., Соловьев Д.Л., Лазуткин А.Г. Технология и оборудование статико-импульсной обработки поверхностным пластическим деформированием. Библиотека технолога. М.: Машиностроение, 2004. – 288 с.

Борисова Е.А., Зелинский В.В.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23
E-mail: apmitp@yandex.ru*

Влияние магнитной обработки на износ инструментальных сталей

Обработка металлов резанием активно используется в машиностроении, позволяя создавать обширную номенклатуру изготавливаемых деталей. Благодаря широкому применению станочного оборудования с числовым программным управлением, осуществляющего резание со сложной траекторией движения инструмента, оказались особенно востребованы фрезерные инструменты. Анализ причин отказов фрез, изготовленных из легированных и быстрорежущих сталей (червячных, концевых, дисковых) показал, что основную долю причин отказов (в среднем до 80%) составляет изнашивание контактных площадок инструмента [1]. Следовательно, увеличивать срок службы такого фрезерного инструмента необходимо путем повышения их износостойкости.

В настоящее время для повышения износостойкости режущих инструментов широко используют упрочняющие технологии, направленные, в основном, на увеличение твердости материала инструмента. Однако, во многих случаях резервом повышения износостойкости является создание на контактных площадках в пределах поверхностных слоев кристаллической решетки особого энергетического состояния, инициирующего снижение износа. Такое состояние можно достичь обработкой магнитным полем относительно невысокой напряженности до 500 кА/м [2, 3]. Среди достоинств данного метода, таких как незначительная стоимость и высокая производительность устройств, относительная простота технологии, сохранение геометрии обработанных деталей, особое место занимает возможность его применения для готового «рыночного» инструмента, когда реализация других методов уже невозможна. Однако из-за многофакторности метод слабо изучен. Ранее выполненные исследования [2, 3], в основном, были направлены на поиск изменений только в материале инструмента и исключительно от обработки магнитным полем. В ряде случаев результаты либо не воспроизводились, либо были противоречивы, что свидетельствует о недостаточном изучении механизма и закономерностей влияния на износостойкость, что препятствует правильному управлению получаемым эффектом.

Проведенный анализ опыта эксплуатации и экспериментальных исследований [4, 5] по изнашиванию большой номенклатуры инструментов фрезерной группы с учетом скорости резания и места расположения очага деформации на инструменте, позволил установить доминирующие виды изнашивания - адгезионный и абразивный. Следует отметить, что природа возникновения обоих видов изнашивания имеет адгезионный характер и может обуславливать до 85% от общего износа [6].

Адгезионные процессы при трении обобщают понятием «схватывание», которое, прежде всего, связывают с видом химической связи. В результате изучения трения и изнашивания различных металлов [7] установлено, что условием интенсивного схватывания и, следовательно, интенсивного износа при трении является обмен электронами атомов металлов трущейся пары с образованием энергетически стабильных электронных конфигураций. Причем величина износа определяется не только интенсивностью электронного обмена, но и прочностью адгезионных связей, обусловленной энергетической устойчивостью образующихся в результате этого обмена электронных конфигураций.

Микростроение материала, в частности на рабочей части инструмента представляет собой сложную многоуровневую структуру, в которой можно выделить микроуровень, дислокационный и атомно-электронный уровни. Воздействие трением проявляется на всех структурных уровнях. В частности на атомно-электронном уровне взаимодействуют составляющие сопряженных кристаллических решеток, формируются условия для образования тех или иных химических связей [8].

Результаты многих исследований свидетельствуют о тесной связи параметров атомно-электронной структуры с рядом характеристик трибосистем. Так установлено, что металлы с гексагональной решеткой имеют пониженную адгезию и более высокую износостойкость. При скольжении металлов с кубической решеткой сила трения больше для металла с меньшим параметром решетки, для металлов с кубической решеткой плотноупакованные атомами плоскости решетки создают меньшие коэффициенты трения и адгезии. Кроме того, увеличение прочности межатомных связей в кристаллической решетке определенного металла снижает скорость его изнашивания [7]. В целом, можно считать установленным, что для инструментальных и конструкционных сталей, имеющих кубическую кристаллическую решетку, характеристики трения, изнашивания и адгезии зависят от сил связи между атомами. Таким образом, экспериментальными исследованиями подтверждается значительное влияние взаимодействия электронных оболочек переходных металлов на формирование определенного вида связи между атомами в решетке.

Снижение величины износа у намагниченных образцов может объясняться формированием некоторой совокупности трибологически благоприятных параметров и свойств, обеспечивающих функционирование трибоконтакта как открытой термодинамической системы. Причем оптимальные для трибоконтакта параметры и свойства формируются исключительно благодаря совместному влиянию фрикционного воздействия на дислокационном структурном уровне за счет механизмов самоорганизации трения в условиях пластического взаимодействия поверхностей, а также влиянию внешнего магнитного воздействия на атомно-электронном уровне на основе квантовых закономерностей для наноструктур.

Литература

1. Григорьев С.Н. Методы повышения стойкости режущего инструмента: – М.: Машиностроение. - 2011. – 368 с.
2. Кантович Л.И., Малыгин Б.В., Первов К.М. Повышение ресурса инструмента и деталей горных машин методом магнитной обработки / Горное оборудование и электромеханика, № 1. – 2007. – С. 13-16.
3. Воробьев Р.А. Влияние обработки импульсным магнитным полем на твердость сталей в упрочненном состоянии / Р.А. Воробьев, В.А. Скуднов, В.Н. Дубинский // Технология металлов. – 2011. - №2. – С. 28-33.
4. Лоладзе Т. Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента.- М.: Машиностроение. - 1982. - 320 с.
5. Ящерицын П.И. Теория резания: учеб./ П.И. Ящерицын, Е.Э. Фельдштейн, М.А. Корниевич. – 2-е изд. исп. и доп. – Мн.: Новое издание. - 2006. - 512 с.
6. Зелинский В.В. Борисова Е.А. Установление преобладающих видов и причин изнашивания режущих инструментов // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности, № 2(12). - 2012. - С. 55-60.
7. Машков Ю.К. Трибофизика металлов и полимеров: монография / Ю.К. Машков. – Омск: Изд-во ОмГТУ. - 2013. – 240 с.
8. Зелинский В.В., Степанов Ю.С., Борисова Е.А. Влияние обработки магнитным полем на износ инструментальных сталей // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, № 2 (322). - 2017. - С. 73-81.

Волченков А.В.

Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23
armitp@yandex.ru

Формирование модели базового образца

Количественная оценка технического уровня станка основывается на представлении конечных результатов исключительно в количественной форме. Это позволяет сформировать целевую функцию и алгоритм обеспечения технического уровня станка на рассматриваемой стадии ее жизненного цикла, пригодные для оказания наиболее эффективных регулирующих воздействий.

Пусть данный тип станка в соответствии со своим назначением характеризуется двумя оценочными показателями: X_1 и X_2 . Повышение технического уровня станка характеризуется увеличением значений показателей X_1 и X_2 . Для проведения оценки сформирована группа аналогов ($A_1 - A_i$) и группа оцениваемых станков ($P_1 - P_n$). В качестве аналогов-образцов из группы аналогов выделяются лучшие аналоги на основе их сопоставления по значениям оценочных показателей.

Проведем оценку соответствия представленных образцов продукции техническому уровню выделенных аналогов. На первом этапе оценки убеждаемся в том, что значения показателей оцениваемых образцов удовлетворяют соответствующим стандартам. На втором этапе оцениваемый станок сопоставляется с каждым аналогом-образцом на основе метода сопоставления. Оцениваемый образец P_1 превосходит аналог A_n по всем показателям, а каждый из аналогов-образцов $A_2, - A_i$ образец P_1 превосходит по одному показателю и уступает по другому. Поэтому оцениваемый образец не уступает уровню аналогов-образцов. Однако на втором этапе существует неопределенность отнесения образца P_n к градациям П или С.

– Образцы P_1, P_2, P_3 , уступают аналогу-образцу A_3 , по обоим показателям, но каждый из них превосходит хотя бы один другой образец по одному показателю и уступает ему же по другому показателю. Поэтому каждый из этих образцов не превосходит уровень аналогов-образцов. Однако на втором этапе существует неопределенность отнесения образцов продукции P_1, P_2 , и P_3 к градациям «уступает» или «соответствует».

– Число аналогов-образцов превосходит число используемых показателей, поэтому имеющаяся на втором этапе неопределенность в оценках образцов продукции P_1, P_2, P_3, P_4 , устраняется на третьем этапе сопоставления. На этом этапе в пространстве показателей по всем точкам (наборам значений оценочных показателей), которые соответствуют образцам $A_1, - A_i$, строится аппроксимационная поверхность. Число точек, соответствующих аналогам-образцам, допускает возможность использования линейных и степенных аппроксимационных поверхностей. Коэффициенты аппроксимационных поверхностей вычисляются методом, например, наименьших квадратов. Наименьшую погрешность в рассматриваемом примере обеспечивает степенная аппроксимация.

К вопросу проектирования реакционной аппаратуры

Зачастую в химической промышленности возникает необходимость в смешивании двух или нескольких жидкостей, в сохранении определенного технологического состояния эмульсий и суспензий, в растворении или равномерном распределении твердых продуктов в жидкости. Данные процессы могут осуществляться в реакторах с перемешивающими устройствами, которые являются самыми распространенными в химической промышленности.

Перемешивание в реакторах бывает:

- механическим, когда оно производится перемешивающими устройствами, которые состоят из одной или несколько пар лопастей, закрепленных на валу, вращающимся при помощи электродвигателя;
- пневматическим – при помощи вдувания воздуха, пара, газов, в зону реакции;
- циркуляционным – данный процесс реализуется при помощи центробежного или струйного насоса, который выступает в качестве локального турбулизатора.

В связи с ростом требований к эффективности использования современного оборудования возрастает необходимость увеличения межремонтных циклов реакционной аппаратуры.

Таким образом, процесс проектирования необходимо проводить с прочностным расчетом в современных САПР и особое внимание необходимо уделить долговечности основных элементов оборудования для обеспечения их надежной эксплуатации.

Для моделирования работы реактора, его основные элементы были разработаны в системе автоматизированного проектирования. К основным элементам реакторов с рубашками и перемешивающими устройствами относятся: корпус, днище, рубашка, перемешивающее устройство, уплотнение, узел концевой подшипника, фланцы, опорные конструкции.

С помощью функции «Повернутая бобышка/основание» была создана конструкция корпуса реактора (рис. 1 а). Используя операцию «Круговой массив» размещено необходимое количество отверстий на фланце реактора (рис. 1 б).

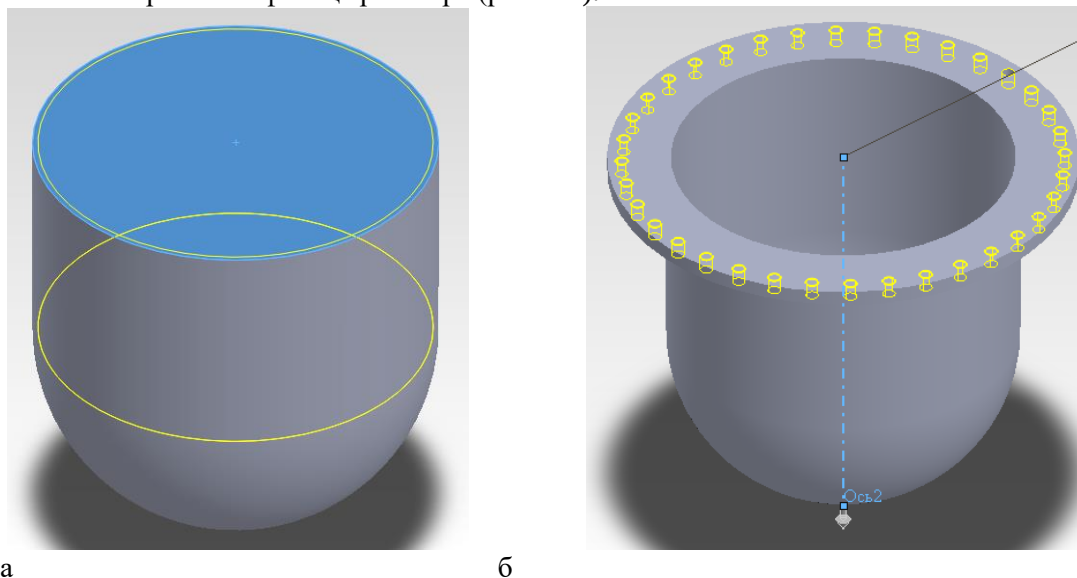
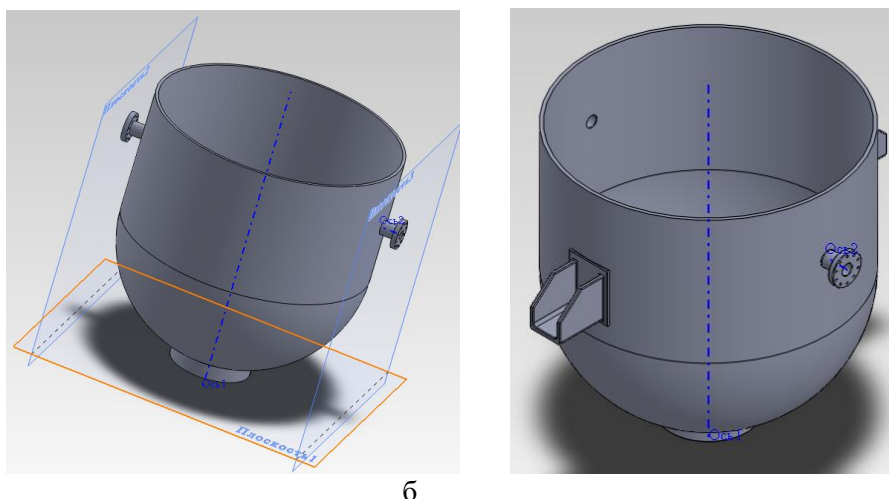


Рис. 1: а) корпус реактора; б) фланцевое соединение на корпусе

При помощи функции «Оболочка» создана конструкция рубашки, на которой необходимо разместить штуцера для входа и выхода хладагента, и штуцер под выход конденсата (рис. 2 а). Используя функцию «дополнительные плоскости» на рубашке изображены конструкции опорных устройств (рис. 2 б). В реакторе периодического действия все реагенты загружают до начала реакции, а смесь продуктов отводят по окончании процесса.

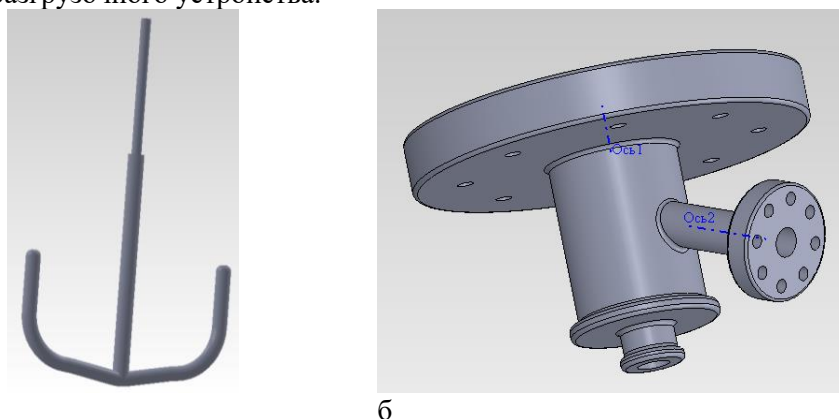


а

б

Рис. 2: а) рубашка реактора; б) опорные устройства на корпусе

В разрабатываемой конструкции реактора используется механическое перемешивающее устройство, которое может обеспечивать перемешивание взаиморастворимых жидкостей, получение взвеси в жидкости твердых частиц, взмучивания осадка (легкого), обеспечение малой скорости растворения кристаллических веществ, оптимизации температурного режима жидкости. На рисунке 3 а представлена конструкция якорной мешалки, а на рисунке 3 б – разработанная конструкция разгрузочного устройства.



а

б

Рис. 3: а) якорная мешалка; б) разгрузочное устройство

При проектировании проводился анализ данных на основе базовых применений данного вида реакционного оборудования, технологический расчет основных параметров аппарата и мешалки, а также расчет на прочность основных элементов реактора. На рисунке 4 представлены основные этапы сборки реактора.

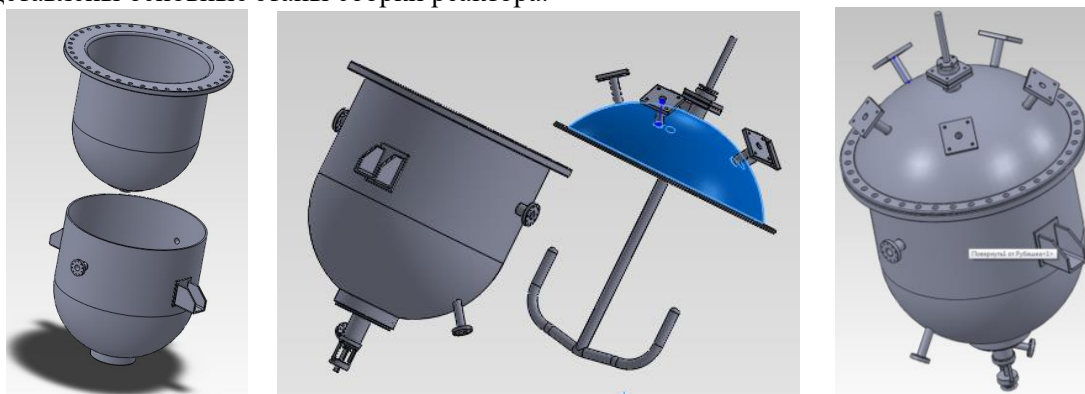


Рис. 4. Основные этапы сборки реактора

По результатам разработки конструкции были получены чертежи реактора с рубашкой и мешалкой, позволяющие изготовить данный аппарат для заданных технологических параметров производства.

КАРПОВ А.В.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23
krash75@mail.ru*

К построению оптимизационного алгоритма поиска энергетически эффективных параметров обработки резанием

На основе термодинамических закономерностей стружкообразования ранее нами был предложен и обоснован безразмерный показатель K , позволяющий оценивать энергетическую эффективность любого рабочего хода инструмента в пределах технологического перехода обработки резанием [1, 2]. Показатель K был представлен в виде отношения удельной энергоёмкости обрабатываемого материала Δw , Дж/мм³, к удельной работе резания e , Дж/мм³, и характеризует собой энергетический КПД стружкообразования:

$$K = \frac{\Delta w}{e} \quad (1)$$

Энергоёмкость материала заготовки Δw в общем случае характеризует его обрабатываемость и выражается через физико-механические и теплофизические свойства [2]. Удельная работа инструмента в зоне резания e характеризует конкретные условия, в которых проводится рабочий ход; её величина зависит от метода обработки, размеров припуска, вида и состава инструментального материала, геометрии режущего лезвия, режимов резания, при этом:

$$e = \frac{N}{P} \quad (2)$$

где N – мощность резания; P – производительность (минутный съём стружки).

Преимущество показателя удельной энергоёмкости – в наличии его устойчивой корреляции с комплексом неуправляемых и управляемых технологических параметров, присущих рабочему ходу инструмента. Определение рациональных значений управляемых параметров при известных значениях неуправляемых представляет собой важную научно-практическую задачу при технологической подготовке производства в машиностроении. Для её решения могут успешно применяться оптимизационные алгоритмы.

В 2018-2020 гг. каф. технологии машиностроения Муромского института (филиала) Владимирского государственного университета разработан оптимизационный алгоритм определения энергетически эффективных значений параметров механической обработки на иерархическом уровне "рабочий ход" с использованием критерия наибольшей энергетической эффективности стружкообразования ($K \rightarrow 1$) [3].

Теоретико-эмпирические выражения показателя K , ранее рассчитанные нами для точения, фрезерования и разрезания заготовок из различных конструкционных материалов [4], продемонстрировали наличие устойчивой корреляции этого показателя со свойствами материала заготовки и комплексом технологических параметров, которые могут быть без труда конкретизированы для рассматриваемого рабочего хода инструмента.

Алгоритм параметрической оптимизации точения и фрезерования по критерию $K \rightarrow 1$ схематично представлен на рис. 1 как комплекс взаимосвязанных параметров трёх классов: входных, ограничивающих, выходных [5].

Входные параметры: 1) физико-механические и теплофизические характеристики материала заготовки, совокупно определяющие его удельную энергоёмкость Δw : временное сопротивление σ_b , твёрдость $HВ$, относительное удлинение δ , относительное равномерное поперечное сужение ψ_b , модуль упругости E , удельная теплоёмкость C_p , плотность ρ , температура плавления T_s ; 2) метод обработки, вид инструментального материала; 3) настроечные факторы: глубина резания t , размеры обрабатываемых поверхностей при данном рабочем ходе (L – длина образующей, l – длина направляющей) и т.п.

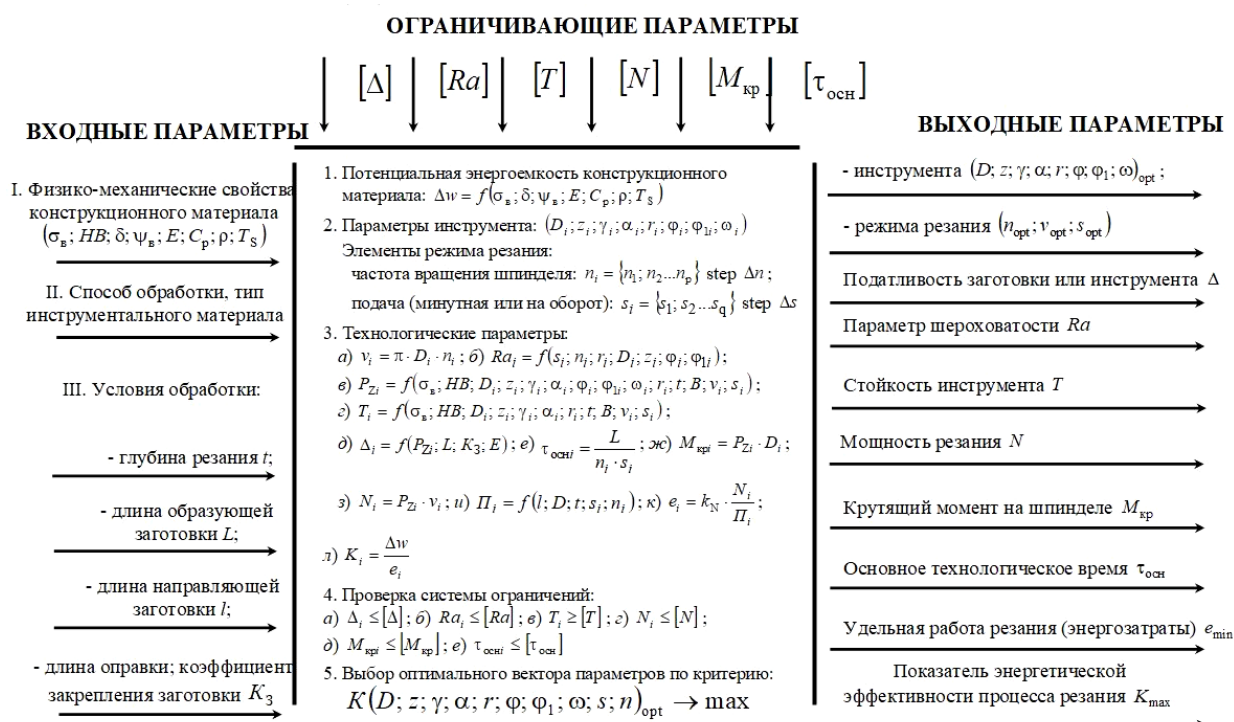


Рис. 1. Алгоритм оптимизации рабочего хода инструмента по критерию $K \rightarrow 1$

К ограничивающим параметрам отнесены: 1) величина допуска на размер $[\Delta]$, шероховатость $[Ra]$; 3) требуемый период стойкости инструмента $[T]$; 4) мощность станка $[N]$; 5) максимальный крутящий момент $[M_{кр}]$; 6) максимально разрешённое основное время $[\tau_{осн}]$. Значения ограничивающих параметров устанавливаются для конкретной производственной ситуации, чаще всего предписаны операционным эскизом и паспортом станка.

Выходные параметры - оптимальные значения геометрических характеристик инструмента $(D, z, \gamma, \alpha, r, \varphi, \Phi_1, \omega, B, H)_{opt}$ и технологических режимов $(n_{opt}, v_{opt}, s_{opt})$, а также соответствующие им значения податливости заготовки или инструмента Δ , шероховатости Ra , стойкости T , мощности N , крутящего момента $M_{кр}$, основного времени $\tau_{осн}$, удельной работы резания $e=e_{min}$, показателя энергетической эффективности $K=K_{max}$.

Литература

1. Karpov A.V. Determining the effective conditions for machining fabrication procedures based on the cutting process energy patterns // Procedia Engineering. Vol. 129 (2015). Pp. 116-120.
2. Карпов А.В. Ускоренный метод определения обрабатываемости конструкционных материалов с использованием показателя удельной работы резания // Современные наукоемкие технологии. – 2018. – № 11-2. – С. 183-187; URL: <http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=37300> (дата обращения: 10.01.2021).
3. Карпов А.В. Энергетический критерий оптимизации технологических процессов обработки резанием // Современные наукоемкие технологии. – 2020. – № 5. – С. 50-55; <http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=38031> (дата обращения: 10.01.2021).
4. Карпов А.В. Расчёт показателя энергетической эффективности стружкообразования при точении и фрезеровании // Наука и образование в развитии промышленной, социальной и экономической сфер регионов России. XII Всероссийские научные Зворыкинские чтения: сб. тез. докл. Всероссийской межвузовской научной конференции. Муром, 7 февр. 2020 г. – Муром: Изд.-полиграфический центр МИ ВлГУ, 2020. – С. 141-142. – [Электронный ресурс]: 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
5. Карпов А.В. Модель параметрической оптимизации операций обработки резанием по критерию наибольшей энергетической эффективности // Современные наукоемкие технологии. – 2020. – № 6-1. – С. 50-55; URL: <http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=38070> (дата обращения: 10.01.2021).

КАРПОВ А.В., ЕФИМОВ Т.А.

Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23
krash75@mail.ru

Представление удельной энергоёмкости резания с позиции термодинамического подхода к стружкообразованию

Полезным результатом технологического перехода обработки резанием является формирование в материале новой поверхности с требуемыми размерами, точностью, качеством. Новые поверхности образуются вследствие термомеханического воздействия режущего клина на срезаемый слой. Величина работы резания $A_{рез}$ зависит как от заданных показателей обрабатываемого материала и объективных кинематических закономерностей вида обработки, так и от комплекса управляемых факторов, значениями которых можно варьировать, стремясь обеспечить необходимые выходные характеристики (качество поверхностного слоя, производительность, стойкость инструмента) при наименьших совокупных затратах. К числу управляемых параметров относятся режимы резания, инструментальный материал, геометрические параметры режущей части инструмента, способ охлаждения и параметры СОТС.

Поиск эффективных технологий неизбежно сталкивается с проблемой обеспечения наименьшей себестоимости выпускаемых изделий, которая определяется совокупными затратами труда, вложенного в производство. Трудозатраты опосредованно характеризуются затратами энергии, благодаря чему показатель удельной энергоёмкости удобно рассматривать как физический критерий эффективности проектируемых и действующих технологий.

Применительно к черновой обработке резанием удельную энергоёмкость перехода предложено оценивать в виде отношения величины совершённой в течение основного времени работы резания $A_{рез}$ к объёму снятой стружки V :

$$e = \frac{A_{рез}}{V} \quad (1)$$

Согласно термодинамическим представлениям [1, 2], работа $A_{рез}$, совершаемая режущим клином, превращается в тепло Q и частично запасается в приповерхностных слоях детали $\Delta U_{дет}$, стружки $\Delta U_{стр}$ и инструмента $\Delta U_{инстр}$:

$$A_{рез} = Q + \Delta U, \quad (2)$$

или в раскрытом виде:

$$\begin{aligned} A_{рез} &= Q_{деф} + Q_{т.п.} + Q_{т.з} + Q_{дисп} + \Delta U = \\ &= (Q_{дет} + Q_{стр} + Q_{инстр} + Q_{о.с.}) + (\Delta U_{дет} + \Delta U_{стр} + \Delta U_{инстр}), \end{aligned} \quad (3)$$

где $\Delta U = \Delta U_{дет} + \Delta U_{стр} + \Delta U_{инстр}$ - приращение внутренней энергии в приповерхностных слоях детали, стружки, инструмента; $Q_{деф}$, $Q_{т.п.}$, $Q_{т.з}$, $Q_{дисп}$ - теплота деформации, трения по передней и задней граням инструмента, диспергирования; $Q_{дет}$, $Q_{стр}$, $Q_{инстр}$, $Q_{о.с.}$ - теплота, переходящая в деталь, стружку, инструмент, окружающую среду.

Запасённая внутренняя энергия ΔU имеет относительный доленой вклад в общие энергозатраты порядка 0,5-3,0% и в исследованиях процессов черновой обработки не учитывается, т.к. целью является обеспечение режима максимальной производительности стружкообразования при заданной стойкости инструмента [1]. Показатель удельной энергоёмкости стружкообразования e , определяемый формулой (1), численно характеризует отношение работы резания в единицу времени (мощности N) к съёму стружки в ту же единицу времени Π [3]:

$$e = \frac{A_{рез}}{V} = \frac{N}{\Pi}. \quad (4)$$

Это есть удельные энергозатраты стружкообразования, отнесённые к объёму V срезаемого слоя заготовки в пределах одного технологического перехода. Так, применительно к обработке паза дисковой фрезой диаметром D , числом зубьев z и шириной B на горизонтально-фрезерном станке [4]:

$$e = 5,13 \cdot 10^{-5} \frac{P_z \cdot D}{B \cdot t \cdot S_z \cdot z} = 5,13 \cdot 10^{-5} \frac{P_z \cdot D \cdot n}{B \cdot t \cdot S_m}, \text{ Вт} \cdot \text{мин} / \text{мм}^3, \quad (6)$$

где P_z – тангенциальная составляющая силы резания, Н; n , S_m , S_z , t – режимы резания.

По величине удельной энергоёмкости e можно оценивать "энергетическую эффективность" применённых режимов обработки на конкретном технологическом переходе. Применительно к задаче оптимизации показатель удельной энергоёмкости резания, основанный на термодинамических закономерностях стружкообразования как совокупности процессов деформации и разрушения, может быть приведён к целевой функции вида $e \rightarrow \min$. Выбор управляемых технологических факторов (в первую очередь, режимов резания) по этому условию обеспечит максимально возможный "энергетический КПД" обработки, при котором создаются наиболее благоприятные условия для работы режущего инструмента вследствие снижения тепловой и динамической напряжённости.

Таким образом, удельная энергоёмкость выступает в качестве универсального критерия, позволяющего оценить энергетическую эффективность выбранных способов и параметров обработки и количественно сравнить между собой имеющиеся альтернативные технологические варианты (стратегии) обработки резанием [5].

Ключевым достоинством показателя удельной энергоёмкости в сравнении с другими критериями оптимизации технологических процессов в машиностроении (прежде всего, в сравнении с экономическими критериями) является доступность его определения в производственных условиях путём соотнесения количества израсходованной энергии к полученному результату – объёму снятой стружки или площади вновь образованных поверхностей детали [1, 5].

Литература

1. Старков В.К. Физика и оптимизация резания материалов. – М.: Машиностроение, 2012. 640 с.
2. Карпов А.В. К вопросу повышения энергетической эффективности технологических процессов обработки резанием // Современные наукоемкие технологии. – 2019. – № 3. – С. 43-47; URL: <http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=37439> (дата обращения: 10.01.2021).
3. Карпов А.В. К вопросу управления процессом резания на основе энергетических закономерностей деформации и разрушения твёрдых тел // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2011. № 1. С. 37–49.
4. Карпов А.В. Расчёт показателя энергетической эффективности стружкообразования при точении и фрезеровании // Наука и образование в развитии промышленной, социальной и экономической сфер регионов России. XII Всероссийские научные Зворыкинские чтения: сб. тез. докл. Всероссийской межвузовской научной конференции. Муром, 7 февр. 2020 г. – Муром: Изд.-полиграфический центр МИ ВлГУ, 2020. – С. 141-142. – [Электронный ресурс]: 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
5. Карпов А.В. Энергетический критерий оптимизации технологических процессов обработки резанием // Современные наукоемкие технологии. – 2020. – № 5. – С. 50-55; <http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=38031> (дата обращения: 10.01.2021).

Константинов А.М., Баринов С.В.

Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23
ararat2221@mail.ru

Исследование влияния режимов упрочнения на микроструктуру стали 40Х

Сталь 40Х - легированная конструкционная сталь предназначена для деталей повышенной прочности. К ним относятся: оси, плунжеры, валы, штоки, кольца, шпиндели, оправки, губчатые венцы, рейки, болты, полуоси и прочие детали с особыми требованиями в вопросе прочности. Сталь 40Х также часто используется для производства поковок, штампованных заготовок и деталей трубопроводной арматуры. [1] Этим обусловлен выбор данного материала в качестве объекта исследования влияния режимов упрочнения на микроструктуру.

Чтобы увеличить срок службы изделий, применяются различные упрочняющие технологии: термообработка, химико-термическая обработка, нанесение покрытий и поверхностно-пластическое деформирование.

Поверхностное пластическое деформирование (ППД) является наиболее перспективным способом упрочнения. ППД представляет собой метод обработки, в ходе которого поверхностный слой детали подвергается упруго-пластическому деформированию. Результатом поверхностно-пластического деформирования является увеличение прочности, повышение стойкости к износу изделий. ППД имеет ряд преимуществ, по сравнению с другими способами упрочнения. Главным является наличие плавного перехода между упрочненным и неупрочненным слоем, что, в отличие от способа нанесения покрытий различных видов, исключает концентраторы напряжений на границе между упрочненной и неупрочненной областями детали. Также ППД отличается высокой эффективностью и меньшей энергоемкостью процесса, может применяться для деталей различной формы и размеров.

Статико-импульсная обработка (СИО) является прогрессивным методом обработки ППД, позволяющим осуществлять упрочнение материала в условиях комбинированного статического и динамического силового воздействия. Технология упрочнения СИО включает следующие этапы: предварительное статическое и последующее периодическое импульсное нагружение инструмента. [2] Предварительное статическое поджатие инструмента перед ударом позволяет наиболее полно передавать энергию удара в нагружаемую среду. Таким образом, повышается эффективность воздействия на обрабатываемый материал. [3] СИО отличает важное преимущество: дополнительные конструктивно-технологические параметры позволяют проводить упрочнение на глубине до 10 мм с увеличением прочности поверхностного слоя на 200..300%. Это дает возможность сформировать как равномерно, так и гетерогенно упрочненный слой.

Метод статико-импульсной обработки разработан относительно недавно, поэтому вопрос изучения его возможностей является актуальной задачей современной науки. Ранее проводились исследования влияния режимов упрочнения на твердость, остаточные напряжения, контактную выносливость и ударную вязкость. Исследованию влияния режимов упрочнения СИО на микроструктуру упрочненных образцов уделялось достаточно мало внимания.

Цель научно-исследовательской работы – исследование влияния режимов упрочнения на микроструктуру стали 40Х.

Для достижения поставленной цели проведен эксперимент, в ходе которого с различными режимами статико-импульсной обработки, обеспечивающими перекрытие пластических отпечатков от 0,1 до 0,9, произведено упрочнение образцов из стали 40Х. Упрочнение осуществлялось стержневым роликом длиной 60 мм и диаметром 10 мм. После этого из упрочненных образцов изготовлены микрошлифы, металлографические исследования которых проводились с помощью микроскопа Leica DMi8.

На основании результатов проведенного эксперимента, можно сделать вывод, что в поверхностном слое стали 40Х, с увеличением равномерности с $K=0,1$ до $K=0,9$, происходит увеличение толщины слоя с микроструктурными изменениями с 124 до 311 мкм (рис. 1). Внутри этого слоя наблюдается текстура деформации зерен, сглаживающая их границы. Под зоной с микроструктурными изменениями расположена исходная (состояние поставки) нормализованная структура перлита и феррита.



Рис. 1 Упрочненный слой образца из стали 40Х, с $K=0,8$, $\times 700$.

Литература

1. Интернет-источник Мироседи А.Е., Саразов А.В., Процесс улучшения стали 40Х, <https://scienceforum.ru/2020/article/2018021538>.
2. Интернет-источник Информационный портал Владимирского государственного университета, Статико-импульсная обработка деталей, <https://www.eprussia.ru/epr/17/1058.htm>.
3. Интернет-источник Баринов С.В., Повышение сопротивления контактному выкрашиванию гетерогенным деформационным упрочнением статико-импульсной обработкой, <https://www.dissercat.com/content/povyshenie-soprotivleniya-kontaktnomu-vykrashivaniyu-geterogennym-deformatsionnym-uprochneni>.

Куканова Н.А., Силантьев С.А.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23
E-mail: natali-kukanova@mail.ru*

Упрочняющая обработка внутренних цилиндрических поверхностей деталей машин методом гидродинамического выравнивания

Повышение долговечности внутренних цилиндрических поверхностей является важной проблемой современного машиностроения. Повысить долговечность машин и механизмов, и таким образом снизить эксплуатационные издержки позволяет использование поверхностного пластического деформирования поверхностного слоя металла.

Применение метода ППД как чистовой обработки наиболее экономично и производительно. Результатом обработки является интенсивное выравнивание поверхностных микронеровностей заготовки и значительное упрочнение её поверхностного слоя (повышается микротвердость, создаются благоприятные напряжения сжатия). Применение метода ППД исключает шаржирование инородных частиц в поверхность детали, обеспечивает отсутствие прижогов и возможность образования частично или полностью регулярных микрорельефов.

Методы поверхностного пластического деформирования условно делятся на две большие группы:

1. Методы, при которых деформирующий инструмент непрерывно воздействует на обрабатываемую поверхность.

2. Методы, при которых деформирующий инструмент воздействует на обрабатываемую поверхность посредством ударов.

Оба метода ППД объединяет общность основных процессов и воздействий на состояние материала заготовки и её обрабатываемой поверхности.

Возникновение в поверхностном слое материала заготовки остаточных напряжений сжатия – один из наиболее важных результатов ППД (рис.1).

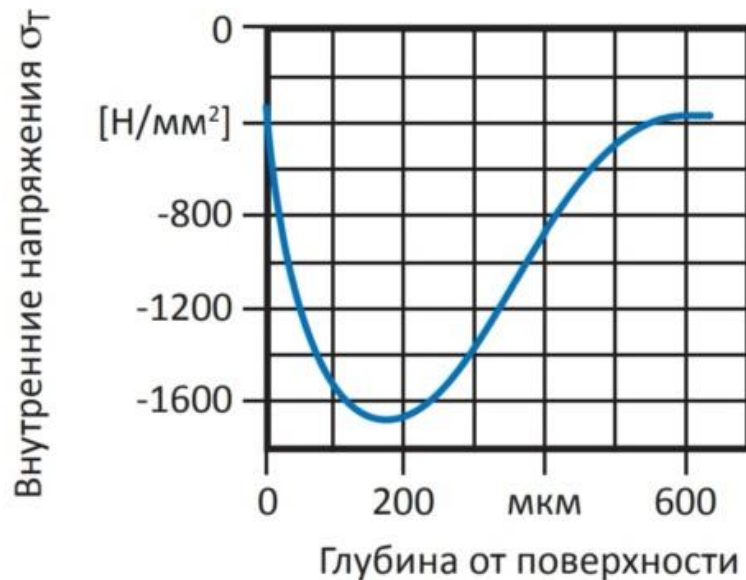


Рис.1. Сжимающие напряжения

Поверхностное пластическое деформирование сейчас широко применяется в машиностроении при изготовлении деталей из таких материалов, как сталь, чугун и цветные металлы. Основное назначение ППД – повышение качества поверхностного слоя. Предлагается

использование комбинированного гидродинамического выглаживания. Статический поджим деформирующего элемента обеспечивает высокую шероховатость и регулярный микрорельеф. Добавление динамической составляющей позволяет увеличить степень поверхностного упрочнения и толщину упрочненного слоя.

Технологическими факторами процесса является: величина статического поджима, диаметр индентора, частота и энергия деформирующих импульсов, а также подача и частота вращения детали.

Практическая ценность работы будет заключаться в следующем:

- 1.разработка методики моделирования процесса упрочнения и эксплуатации внутренних цилиндрических поверхностей;

- 2.разработка технологических рекомендаций для выбора параметров упрочнения внутренних цилиндрических поверхностей поверхностным пластическим деформированием.

Никитина Л.Г.

Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23
E-mail: nikitina-nlg@yandex.ru

Снижение температурных деформаций горизонтально-расточных станков

Наибольшее влияние на точность горизонтально-расточного станка оказывают температурные деформации шпиндельной бабки. Основными источниками тепла являются подшипники шпинделя, зубчатые передачи и их опоры. При работе станка вдоль стенок бабки, несущих шпиндельные подшипники, возникает неравномерное температурное поле. Эта неравномерность зависит от температуры в подшипнике, т.е. от скорости шпинделя, времени работы станка, температуры окружающей среды, геометрических размеров и теплопроводности стенок. При изменении режима обработки температурное поле шпиндельной бабки изменяется неравномерно, в связи с асимметрией последней. Следовательно, будут изменяться и температурные деформации шпинделя. Наиболее опасным смещением, влияющим на точность обработки, является угловой поворот шпинделя, вызывающий радиальное смещение инструмента.

Одним из факторов влияющим на температуру в подшипнике шпинделя является величина зазора (натяга) в подшипнике. Для определения этого влияния проведен эксперимент на станке модели 2620Е. Температуру измеряли после вращения шпинделя на частоте вращения равной 1000 об/мин в течение 30 мин. При переходе от малого зазора к нулевому наблюдается резкое увеличение температуры подшипника, а при малых зазорах (1-3 мкм) виброустойчивость станка близка к предельной. При переходе к натягу в подшипнике, температура в опоре резко увеличивается. Целесообразно собирать передний подшипник с минимальным зазором равным 0-3 мкм. Влияние задних подшипников шпинделя на его биение и виброустойчивость значительно меньше переднего. Эту пару подшипников целесообразно собирать с радиальным зазором 1-4 мкм.

Другим фактором, влияющим на тепловое состояние опор подшипников, является расход смазочного материала, подаваемый в подшипник. Исследование температурного режима работы подшипников показало, что при значительном уменьшении расхода по сравнению с техническими нормами, деформации шпинделя в вертикальной и горизонтальной плоскостях оказались меньшими. Хорошие результаты получены при 40...60 см³/мин. Оптимальный расход масла для других типоразмеров станков следует подбирать экспериментально. При этом необходимо исследовать температурный режим при максимальной скорости резания, так как недостаток масла может привести к выходу подшипников из строя.

Преодоление сопротивления в системе циркуляции масла через подшипник сопровождается интенсивным выделением тепла. Исследования показали, что целесообразно поддерживать давление в системе не превышающее 2 кгс/см².

Отвод тепла от шпиндельной бабки осуществляется путем теплоотдачи в окружающую среду и в циркулирующее масло. Чем больше объем циркулирующего в шпиндельной бабке масла, тем ниже его температура и тем интенсивнее оно поглощает тепло. Для станка модели 2620Е увеличение объема масла с 20 до 125 л привело к снижению деформации шпинделя в вертикальной плоскости при частоте вращения 400 об/мин в течение первого часа работы на 80%, в течение 2 ч – на 50%, в течение 3 ч – на 40%, а в течение 4 ч – на 35%.

Исследования показали, что тепло отводится от шпиндельной бабки наиболее интенсивно в том случае, когда практически все масло, циркулирующее в бабке, направлено в зону подшипников.

Шпаков¹ П.С., Юнаков² Ю.Л.

¹Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23

E-mail: spsp01@rambler.ru

²Сибирский Федеральный университет.

*Институт горного дела геологии и геотехнологий
660025, г. Красноярск, пр. Вузовский, 3, ауд. 415 у.к.
e-mail: JJunakov@sfu-kras.ru*

Визуальное геомеханическое обследование карьерных откосов с применением аэрофотосъемки

Современный этап развития цифровых геодезических технологий приводит к постепенному переходу от традиционных методов аэрофотосъемки к инновационным с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). В настоящее время БПЛА широко применяется на горнодобывающих предприятиях при маркшейдерско-геодезическом обеспечении ведения открытых горных работ (выполнение съемок горных работ, определение объемов вынутой горной массы, складированных отвалов и т.д.).

Обследование откосов уступов, бортов карьеров и отвалов, рекогносцировка местности и анализ горно-геологической ситуации для обеспечения вопросов устойчивости исследуемых объектов специалистами научно-исследовательской лаборатории «Маркшейдерия, геомеханика и геометризация недр» Карагандинского государственного технического университета (КарГТУ) выполняются на основе натурного визуального обследования состояния карьерных откосов с использованием ручной цифровой фотокамеры Sony Cybershot DSC-HX50 (30x0pйca l Zoom, Exmor R 20,4mega pixels) и цифровых аэрофотоснимков с применением БПЛА Дрон DJI Phantom3SE.

В качестве примера приведены результаты аэрофотосъемки (АФС) отвала «Прибортовой» (рис. 1, 2).

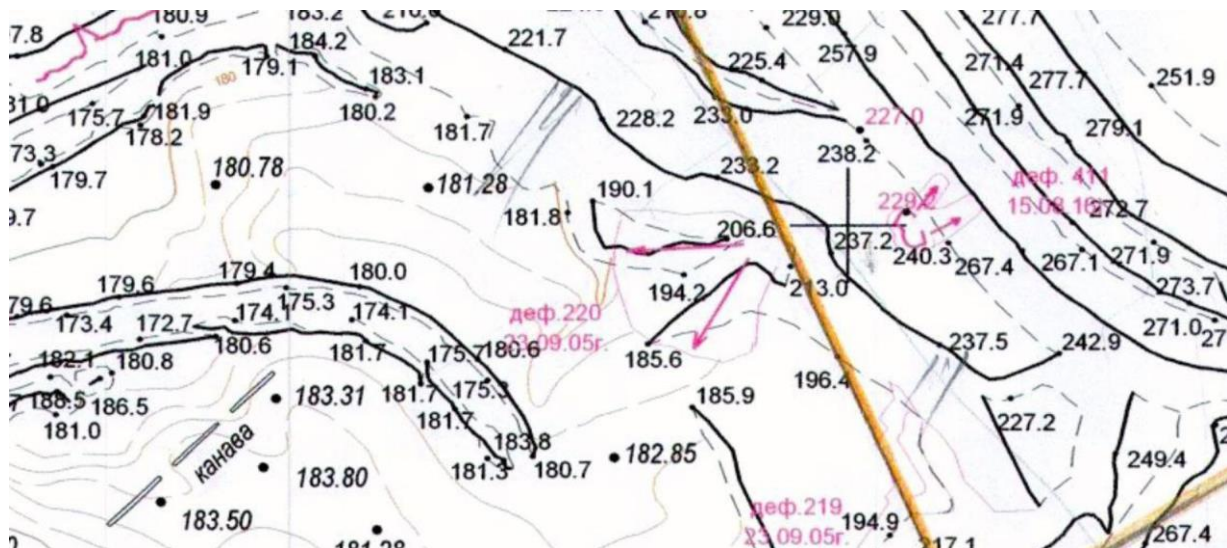


Рис. 1. Выкопировка с плана отвала «Прибортовой»

а)



б)

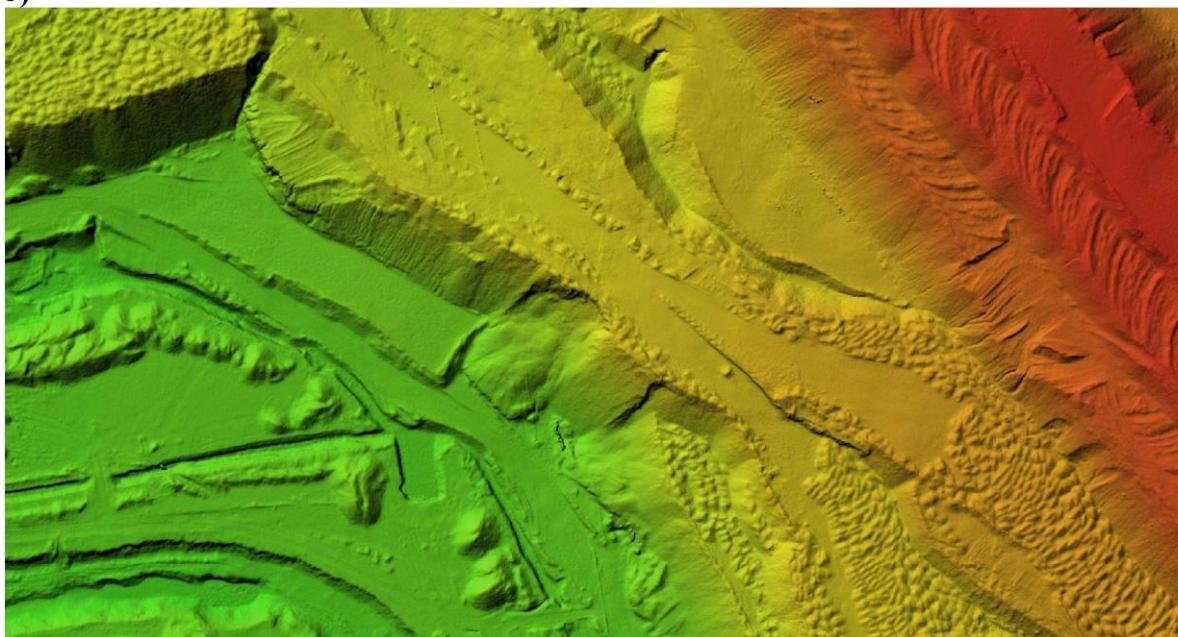


Рис. 2. Район расположения деформаций (а) и карта высот (б)

Краткая характеристика деформаций отвала «Прибортовой»: высота яруса отвала - 40м; фронт развития деформаций - 72м; L наклон = 60м (исходная); L наклон = 105м (после деформации).

Использование БПЛА для визуального геомеханического обследования карьерных откосов позволяет оперативно установить область деформаций и выполнить определение их геометрических параметров (фронт развития оползня и пр.), проводить маркшейдерско-геодезические работы в труднодоступных местах, исключая нахождение в них работников, не подвергая риску их жизни и здоровья.

Шпаков¹ П.С., Юнаков² Ю.Л.

¹Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23

E-mail: spsp01@rambler.ru

²Сибирский Федеральный университет.

Институт горного дела геологии и геотехнологий
660025, г. Красноярск, пр. Вузовский, 3, ауд. 415 у.к.

e-mail: JJunakov@sfu-kras.ru

Рекомендации по обеспечению устойчивости внутренних отвалов разреза «Богатырь»

Свойства горных пород оказывают весьма существенное влияние на все производственные процессы при отработке месторождений.

Проектом, разработанным ТОО «Карагандагипрошахт и К», перспективным планом развития Богатырского комплекса предусматривается создание внутренних отвалов для размещения вскрышных пород. Внутреннее отвалообразование обусловлено техническими возможностями существующего железнодорожного транспорта в условиях ограниченности фронта вскрышных работ. По срокам и направлению развития отвальных работ выделены внутренние отвалы № 1 и № 2. Обеспечение их устойчивого состояния является актуальной научной и практической задачей [1].

Основанием отвала будут служить углистые породы почвы пласта 3 и прослоек внутренней вскрыши лежащего бока (нижней части стационарного борта в синклиальной части участка 5 на границе с участком 9) на глубине 270 м от земной поверхности (рис.1).



Рис1. Отвал «Степной»

Проектом перспективного развития разрезы «Богатырь» [1] приняты следующие параметры внутренних отвалов.

1. Отвал 1. Высота яруса - 75м, количество ярусов - 3, общая высота отвала 225м, ширина площадок - 60м, генеральный угол откоса - 27°.

2. Отвал 2. Высота яруса - 75м, количество ярусов - 4, общая высота отвала 300м, ширина площадок - 120м, генеральный угол откоса - 20°.

Средние прочностные характеристики пород в отвалах и по контакту угольного пласта 3 определены Казахским филиалом ВНИМИ [3, 4]:

1) в отвале: объемный вес $\gamma = 1,66 \text{ тн/м}^3$; угол внутреннего трения $\rho = 30^\circ$; сцепление $k = 12,0 \text{ кПа}$ при естественной влажности $w = 15\%$;

2) по почве угольного пласта 3: объемный вес $\gamma = 2,10 \text{ тн/м}^3$; угол внутреннего трения $\rho = 18^\circ$; сцепление $k = 10,0 \text{ кПа}$.

Нормативные прочностные характеристики пород:

- отвала $\gamma = 1,66 \text{ тн/м}^3$; $k = 12,0 \text{ кПа}$, $\rho = 31^\circ$, $\text{tg} \rho = 0,60$;

- основания: $\gamma' = 2,09 \text{ тн/м}^3$, $\rho = 18^\circ$, $\text{tg} \rho = 0,325$; $k' = 10,0 \text{ кПа}$.

С учетом длительного срока службы отвалов, согласно «Правил...» [2] в нормативные характеристики введен коэффициент запаса $n = 1,3$.

Расчетные прочностные характеристики пород:

- отвала $\rho = 25^\circ$; $\text{tg} \rho = 0,46$; $k = 9,2 \text{ кПа}$;

- основания $\rho' = 14^\circ$; $\text{tg} \rho' = 0,25$; $k' = 7,7 \text{ кПа}$.

По данным исследований [4], сцепление полускальных пород в теле отвала изменяется в достаточно широких пределах: от 10 до 40 кПа.

По результатам расчетов предельная высота уступа принята 30 м.

Анализ результатов расчетов позволил дать рекомендации по обеспечению устойчивости откосов отдельных ярусов и внутреннего отвала в целом. Генеральный угол откоса не должен превышать 18° , а предельная высота первого яруса не должна превышать 15 м.

Литература

1. Технический проект. Разработка горнотранспортной части по добыче и вскрыше на период до 2025 г. на разрезе «Богатырь» / ТОО «Карагандагипрошахт и К». - Караганда, 2005.

2. ВНИМИ. Правила обеспечения устойчивости на угольных разрезах. - СПб, 1998. - 208 с.

3. Отчет «Разработка практических рекомендаций по параметрам устойчивых бортов и внешних отвалов разреза «Богатырь» ПО «Экибастууголь» / ВНИМИ, Казахский филиал. - Караганда, 1976.

4. Попов И.И., Шпаков П.С., Поклад Г.Г. Устойчивость породных отвалов. - Алма-Ата: Наука, 1987. - 224 с.

Яшин А.В., Дужак Г.А.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23
yashin2102@yandex.ru*

Исследование механических характеристик алюминиевых сплавов после деформационного упрочнения

При проектировании современной транспортной и авиационной техники все более высокие требования предъявляются к параметрам качества поверхностного слоя ответственных деталей, работающих под воздействием значительных циклических знакопеременных нагрузок. Примером таких деталей могут служить каркасные детали, изготовленные из алюминиевых деформируемых сплавов. Обладая малым удельным весом и средними механическими характеристиками, не всегда обеспечивают работоспособность в экстренных ситуациях по сравнению со стальными конструкциями.

Обеспечение требуемых эксплуатационных показателей возможно повышением сопротивления усталости технологическими методами. Так, учитывая особенности АМг сплавов, для обработки эффективно могут применяться методы поверхностного пластического деформирования (ППД). В частности можно выделить метод многоконтактного волнового деформационного упрочнения (МК ВДУ), позволяющий повысить механические характеристики в результате создания поверхностного упрочненного слоя глубиной до 6-10 мм.

Для исследования механических характеристик упрочнены образцы из материала АМг2 при следующих режимах МК ВДУ: энергия удара на один инструмент $A=50$ Дж, количество инструментов в системе нагружения – 3 штуки; инструмент – шар $\varnothing 27$ мм; коэффициент перекрытия пластических отпечатков – $K=0,4$; кратность обработки – одно- и двукратная обработка в одном направлении ($K=0,4+0,4$) и в перпендикулярных направлениях ($K=0,4 \times 0,4$). Упрочненные образцы, в соответствии со стандартными методиками исследовались на изменение:

- микротвердости H_u в поверхностном слое;
- предела прочности σ_B и временного предела текучести $\sigma_{0,2}$;
- ударной вязкости КСЧ.

В результате исследований установлено влияние режимов упрочнения на распределение микротвердости в поверхностном слое. Максимальное повышение микротвердости в 1,8...1,9 раза по сравнению с исходной обеспечивается на глубине до 0,2-0,3 мм. Максимальная глубина упрочнения достигает 8 мм. Установлено, что двукратная обработка МК ВДУ существенного повышения на микротвердость в поверхностном слое не оказывает. Кроме того, при двукратной обработке в одном направлении ($K=0,4+0,4$) наблюдается снижение микротвердости по сравнению с однократной обработкой в пределах 5% на глубине до 4,2 мм

Проведенные испытания на сопротивление статическому растяжению выявили возможность повышения предела прочности σ_B и условного предела текучести $\sigma_{0,2}$ АМг сплавов после МК ВДУ. Так, при упрочнении сплава АМг2 шарами с $K=0,4$, σ_B повышается на 20%, а $\sigma_{0,2}$ на 49%. При этом относительное удлинение материала δ уменьшается на 7-8% по сравнению с исходным. Двукратная обработка повышает предел прочности σ_B на 10-14%, а относительное удлинение материала δ уменьшается на 12-15%.

После МК ВДУ при однократной обработке с $K = 0,4$ значение ударной вязкости материала попадает в диапазон исходных значений и находится в пределах от 87,5 до 90 Дж/см².

Двукратная обработка в перпендикулярных направлениях ведет к снижению ударной вязкости до 3%, а в одном направлении на 6%. Снижение ударной вязкости отрицательно сказывается на эксплуатационных свойствах материала, таким образом, однократная обработка является более предпочтительной.

Яшков В.А.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23
zirjd@mail.ru*

Выбор состава СОТС при внутреннем шлифовании

Процессы внутреннего шлифования, а также трение в условиях критических нагрузок являются уникальными явлениями, так как при этом происходит образование чистых, не окисленных ювенильных металлических поверхностей, а в зонах контакта имеют место такие химические реакции, которые невозможны с точки зрения законов термодинамики в обычных условиях [1]. На основании анализа различных физических эффектов установлено, что компоненты смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС) под влиянием различных факторов (эмиссии электронов, квантов света) разлагаются с образованием свободных атомов и радикалов. На основании сказанного выделяют следующие виды СОТС: химически активные, кислородосодержащие, СОТС с присадками высокого давления (ВД) [3].

Основы действия химически активных СОТС. На основании предложенной теории в 70-90-х годах выполнен значительный цикл работ по созданию и исследованию химически активных СОТС. Установлено, что наиболее эффективно действуют СОТС, имеющие в своем составе присадки химических соединений, склонных образовывать при резании химически активные радикалы: атомарный кислород, хлор, йод, фосфор, и др., которые вступают в реакции с металлической поверхностью с образованием защитных пленок. Веществами, образующими пленки, являются продукты этих реакций - оксиды, хлориды, йодиды металлов и др.

Кислородосодержащие СОТС. Впервые было обращено внимание на влияние кислорода на процессы трения и износа. Например, азация СОТС кислородом приводит к значительному (до 5 раз) снижению износа, по сравнению с жидкостями, обескислороженными путем нагревания или продувки инертным газом. Поскольку молекулы кислорода достаточно инертны в химическом отношении, то более устойчивых результатов достигают при введении в состав СОТС кислородосодержащих соединений, распадающихся при резании на радикалы с выделением активного атомарного кислорода, например озона и перекисей. Исследования в этой области позволили сформулировать основные требования к кислородосодержащим СОТС, впервые показать эффективную роль при трении и резании перекисных соединений металлов и окисленных масел, определить оптимальную концентрацию присадок.

СОТС с присадками высокого давления (ВД). К этой группе СОТС относятся смазочные материалы с присадками, содержащими хлор, фосфор, йод, серу и др. Действие присадок высокого давления происходит лишь в экстремальных условиях, когда давление и температура в зоне контакта достигают высоких значений, достаточных для протекания радикально - цепных реакций, ускоряющих процесс образования защитных пленок. СОТС с присадками высокого давления эффективно применять для резания трудно обрабатываемых материалов: нержавеющей стали, молибденовых, никелевых и титановых сплавов. СОТС с присадками ВД, разработанные Ивановским государственным университетом, успешно опробованы и внедрены в производство.

Практика показывает, что, при внутреннем [2] шлифовании можно применять следующие охлаждающие и СОТС: раствор кальцинированной соды в воде, водные растворы эмульсии, водные растворы с добавками поверхностно активных веществ, твердые смазки. Рекомендуемые составы СОТС приведены в таблице № 2.2 при шлифовании подшипниковых сталей рекомендуют использовать СОТС ИПХ-45Э, которая является высококонцентрированной эмульсией, приготовленной из эмульсола ИПХ-45Э, содержащие следующие химические вещества: натриевую соль сульфированного масла, хлорированный парафин, антикоррозионные добавки, поверхностно активные вещества, бактерицидные добавки.

1. Гречишников В.А., Яшков В.А., Пивкин П.М., Романов В.Б., Исаев А.В., Маслов А.Р. Абразивные инструменты для обработки отверстий в деталях робототехнических комплексов // СТИН. 2016. № 9. С. 11-14.
2. Худобин Л.В., Михайлин С.М., Унянин А.Н., Веткасов Н.И. Контактные температуры и силы шлифования кругами, термообработанными по микроволновой технологии // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2010. № 4 (14). С. 81-86.
3. Яшков В.А. К вопросу о взаимосвязях технологических факторов, обеспечивающих получение качественного исходного рельефа и шероховатости покрытий твердого железа в процессе механической обработки // "Современные наукоемкие технологии" № 12 2019, стр. 123-128.