Часть 10. НОВЫЕ ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ В МАШИНОСТРОЕНИИ

СОДЕРЖАНИЕ

Блинова Т.А., Кротова А.Е. Некоторые аспекты применения мартенситных сталей 3

Блинова Т.А., Чкирин С.А. Особенности изготовления штампосварных отводов 6

Бойко А.Ф., Лойко А.М., Шестаков А.И. Обзор методов получения остроконечных изделий с радиусом заострения микрометрового диапазона 9

Бойко А.Ф., Шинкарев И.Ю., Переверзев С.С. Физические особенности процесса электрической эрозии при использовании коротких импульсов тока. 14

Варламов С.С., Загородний Н.А. Очистка кузова от коррозии и лакокрасочных материалов 20

Варламов С.С. Загородний Н.А. Полный комплекс защиты автомобиля 35

Голдобина В.Г., Павлова М.А. Проверка концентричности наружной и внутренней поверхностей втулки 42

Дуганов В.Я., Корнюшина А.Г. Обработка поверхностей лазером в машиностроении 46

Дуганов В.Я., Петрук Е.В. Обработка поверхностей плазмой в машиностроении 50

Жуков Е.М., Авдеева А.А. О состоянии вопроса проектирования гибких производственных систем 54

Жуков Е.М., Тетерина И.А., Крючков Н.Р. Использование шагающего движителя и роботизированных машин на его основе 59

Кудеников Е.Ю., Бойко А.Ф. Исследование зависимости объемного износа электрода-инструмента и объемной производительности процесса электроэрозионной обработки малых отверстий от энергии импульсов 65

Чепчуров М.С., Карновский Г.Г., Минасова В.Е. Лазерный проекционный контроль формы крупногабаритных изделий 73

Чепчуров М.С., Скляров А.С., Любимый Н.С. Анализ теплопроводности металлополимерных формообразующих прессформ 79

Шрубченко И.В., Хуртасенко А.В., Гончаров М.С., Хуртасенко В.А. Определение касательной подачи при шлифовании бандажей с ошибками формы 87
Шрубченко И.В., Хуртасенко А.В., Гончаров М.С., Щендрыгин А.А.К вопросу о биении бандажа с погрешностью формы поверхности качения 93

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ МАРТЕНСИТНЫХ СТАЛЕЙ

Блинова Т.А., канд. техн. наук,
Кротова А.Е., студент
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Разработка и освоение сталей мартенситного класса способствуют повышению надежности работы деталей и узлов изделий, использующихся в различных областях промышленности. Исследования влияния основных параметров процесса обработки, например, прошивки микроотверстий, на износ инструмента помогают определиться с выбором материала обрабатываемого изделия [1].

Мартенситными являются нержавеющие стали с высоким содержанием углерода и хрома. Под мартенситом понимают микроструктуру игольчатого типа, которая фиксируется в отдельных и металлических сплавах после закалки, и чистых металлах, имеющих склонность к полиморфизму (рис. 1). Мартенсит – это базовая структурная составляющая закаленной стали, которая является твердым пересыщенным упорядоченным раствором углерода в α-железе. Кристаллы мартенсита представляют собой пластины, расположенные параллельно или под углами 60 и 120 градусов. Кристаллическая решетка углеродного раствора в α-железе является тетрагональной.

Рисунок 1 - Структура мартенсита в сталях

С превращением мартенсита при нагреве и охлаждении связан «эффект памяти» металлов и сплавов. Используя этот эффект были созданы новые сплавы, которые обладают памятью своей формы, т.е. если вызвать обратное превращение по мартенситному механизму, то изделие из такого сплава примет прежнюю до деформации форму [5].

Сфера применения изделий из мартенситных сталей включает огромное количество областей. Мартенситные стали обладают важными свойствами для промышленности – прочностью и твердостью. Поэтому чаще всего данные стали используют для производства энергетического оборудования. Использование мартенситных сталей в морской воде и средах, содержащих хлориды, нецелесообразно из-за склонности к коррозии. Коррозионная стойкость этих сталей может быть несколько повышена увеличением содержания хрома и меди [2].

Областью применения сталей 15Х5, 12Х8ВФ, 20Х8ВЛ являются сварные сосуды и аппараты с давлением до 16 МПа при температуре стенки ≥-70ºС. Сталь 10Х9МФБ используют при изготовлении котлов, коллекторов, трубопроводов; стали 15Х11МФ, 18Х11МНФБ, 13Х11Н2В2МФ – при изготовлении корпусов, роторов паровых и газовых турбин, лопаток паровых турбин, диафрагм [3, 4, 6].

Сталь 12Х11В2МФ применяется: для изготовления трубной заготовки, предназначенной для изготовления бесшовных холоднодеформированных, теплодеформированных, горячедеформированных, в том числе горячепрессованных, и горячепрессованных редуцированных труб, предназначенных для паровых котлов и трубопроводов установок с высокими и сверхкритическими параметрами пара [9].

Детали с повышенной пластичностью, подвергающиеся ударным нагрузкам (клапаны гидравлических прессов, предметы домашнего обихода), а также изделия подвергающиеся действию слабоагрессивных сред (атмосферные осадки, водные растворы солей органических кислот при комнатной температуре и др.), лопатки паровых турбин, клапаны, болты и трубы изготавливают из стали 20Х13.

Жаропрочная низколегированная хромомолибденовая сталь 15Х5М относится к мартенситному классу и является одной из уникальных марок применяемых для изготовления фланцев, выдерживающих рабочие температуры 600-650ºС и не меняющих своих эксплуатационных свойств [8].

Наиболее востребованные марки мартенситных стальных сплавов: 20Х13 (в нем содержится 12÷14 % хрома, менее 0,8 % марганца и кремния, 0,16÷0,25 % углерода, такая сталь не легируется никелем); 10Х12НДЛ (в стали содержание никеля 1÷1,5 %; 18Х11МНФБ (не более 11,5 % хрома, 0,5÷1 % никеля, до 0,21 % углерода, 0,8÷ 1,1 % молибдена); 12Х11В2МФ, 10Х9МФБ, 13Х11Н2В2МФ, 15Х11МФ (легируются ванадием (0,18÷0,4 %) и молибденом (0,35÷1,1 %) в дополнение к стандартным добавкам) [7].

Использование изделий из мартенситных сталей ограничено по ряду причин: большие добавки легирующих элементов, необходимых для производства этих сталей, делают их неэкономичными при изготовлении крупных изделий; добавка 12 % Cr, необходимого для получения мартенсита в больших сечениях, ограничивает стабильность аустенита; мартенситные стали трудно свариваются, так как с высокой твердостью связана склонность к трещинообразованию. Тем не менее, мартенситные стали обеспечивают хорошую работу изделий изготовленных из них. Направление научно-технического прогресса позволяет сделать предположение, что потребление человечеством мартенситных сталей будет постоянно возрастать.

Список литературы:

1. Бойко А.Ф., Лойко А.М., Переверзев С.С., Шинкарев И.Ю. Исследование многофакторной зависимости износа электрода-инструмента при электроэрозионной прошивке микроотверстий // Вестник БГТУ. им. В.Г. Шухова, 2016. №7. С. 116-121.
2. Гуляев А.П. Металловедение: учебник. 6-е изд., перераб. и доп. М.: Металлургия, 1977. 648 с.
3. http://tutmet.ru/martensitnaja-nerzhavejushhaja-stal-prevrashhenie.html.
4. http://www.abt-steel.ru/articles/martensitnye-stali-i-ih-osobennosti.html.
5. http://www.modificator.ru/terms/martensit.html.
6. http://www.abt-steel.ru/articles/martensitnye-stali-i-ih-osobennosti.html.
7. http://www.trubarm.ru/primenenie-stali-10x9mfb.htm.
8. http://www.stali-urala.ru/info/793.
9. http://www.avglob.org/grade-list/187-m-12H11V2MF.html.

ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ШТАМПОСВАРНЫХ ОТВОДОВ

Блинова Т.А., канд. техн. наук,
Чкирин С.А., магистрант
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

В настоящее время наблюдается рост производства деталей трубопроводов. Это обусловлено строительством и эксплуатацией уже имеющихся тепловых и атомных электростанций как у нас в стране, так и за рубежом. К продукции трубопроводного производства предъявляются самые высокие требования по качеству. Поэтому многолетние договора на поставку соединительных деталей трубопроводов на вышеупомянутые объекты тепловой и атомной энергетики, нефтегазового комплекса заключаются только с предприятиями-производителями, продукция которых полностью отвечает требованиям по эксплуатации.

Одним из важных элементов трубопроводом являются отводы, представляющие собой фасонную деталь трубопровода, которая обеспечивает изменение направления потока транспортируемого вещества.

Рисунок 1 - Отвод штампосварной

В зависимости от способа изготовления и конструкции отводы могут быть бесшовные крутоизогнутые, гнутые, штампосварные (рис. 1) и сварные [1].

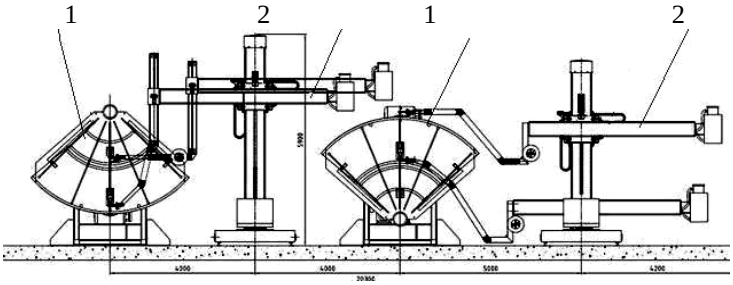
Конструктивные особенности и размеры штампосварных отводов напрямую связаны с условиями работы изделия (давлением системы; температурой воздействия на изделия) [2, 3].

Изготовление штампосварных отводов является трудоемким процессом. В результате можно заменить более дефицитные трубы листовым прокатом. Экономически эффективно изготовление штампосварных отводов из высоколегированных сталей, так как в результате имеющихся ограничений на сортамент труб не всегда можно подобрать необходимый диаметр трубы-заготовки для отвода. Заготовки, вырезанные из листа, позволяют изготовить детали большого диаметра рассчитанные для эксплуатации при высоком давлении.

Каждая половина отвода штампуется в одноручьевом штампе гидравлического штамповочного пресса. После этого заготовка подвергается очистке от окалины в специальных дробемётных камерах. Исправление поверхностных дефектов производится пневматическими шлифмашинками, при этом кромки обеих половин торцуют по линии разъёма, а затем собирают и сваривают.

После дробеструйной обработки штампованных деталей и механизированной обработки кромок под сварку, будущие отводы собирают прихватками ручным сварочным полуавтоматом из двух половин в специальном кондукторе. После сборки производится сварка отвода в специальных установках (рис. 2). Сварка отводов 1 осуществляется с помощью специального манипулятора 2, имеющего несколько степеней свободы [4].

а



б

Рисунок 2 - Установка для сварки сварных (штампосварных) отводов диаметром до 1420 мм: а – общий вид, б – схема соединения заготовок

На следующем этапе производится окончательная обработка торцев заготовок. Контроль качества сварных швов производится при помощи ультразвука. На заключительном этапе производится окраска и клеймение готовой продукции.

Штампосварные отводы больших исключительно больших диаметров, их стоимость достаточно высока. Но, если в монтируемом трубопроводе предполагается высокое давление, а трубопровод идет диаметром более 820 мм, то для данного трубопровода возможно применение штампосварных отводов. Если же диаметр трубопровода большой, но давление в данном трубопроводе низкое, то целесообразнее и рентабельнее использовать сварные секторные отводы.

Список литературы:

1. http://chem21.info/page/0870991520341801730481071322461331392181870940 87.
2. http://prom-ltd.promoil.com.ua/product.php?productID=100.
3. http://gostrf.com/normadata/1/4293819/4293819592.pdf.
4. http://www.uniprofit.ru/catalog/avtomatizaciy_svarki/ssso.

ОБЗОР МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ ОСТРОКОНЕЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ С РАДИУСОМ ЗАОСТРЕНИЯ МИКРОМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

Бойко А.Ф., д-р техн. наук, доц.,
Лойко А.М., аспирант,
Шестаков А.И., аспирант
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

В настоящее время во многих отраслях промышленности существенно возросла потребность в высокопроизводительной обработке микроотверстий диаметром до 0,2 мм, в частности конических микроотверстий с диаметром конуса в меньшем основании 0,05 мм и менее (рис. 1).

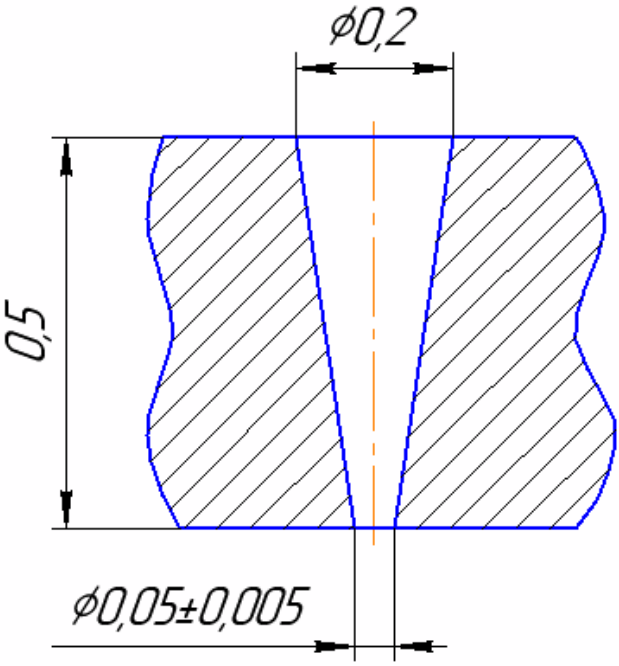


Рисунок 1 - Пример конического микроотверстия

Широкое применение для получения микроотверстий нашёл метод электроэрозионной прошивки, однако для получения конических микроотверстий необходимо разработать эффективную технологию изготовления электродов-инструментов. Возникла актуальная научная задача изготовления конических электродов-инструментов с радиусом заострения микрометрового диапазона. Для решения данной задачи был проведен анализ методов получения остроконечных изделий с радиусом заострения микрометрового диапазона. Краткие результаты проведенного анализа приведены в данной статье.

Наиболее распространенными остроконечными изделиями с радиусами заострения микрометрового диапазона являются медицинские иглы и зонды сканирующих туннельных микроскопов.

Номенклатура медицинских инструментов с заостренной рабочей частью очень широка. К ним относятся хирургические, атравматические и акупунктурные иглы, а также другие инструменты. Качество изготовления игл определяется углами заточки и радиусом закругления острия [1]. Как правило, радиусы закругления острия медицинских игл должны находиться в пределах 25–50 мкм.

Для заточки медицинских игл широкое применение нашел способ механической обработки – абразивное шлифование. Однако при обработке медицинских игл были выявлены следующие недостатки шлифования: образование заусенцев на поверхности острия игл, большой износ инструмента, низкая производительность процесса. Для устранения некоторых из недостатков в технологический процесс изготовления игл вводят дополнительно операцию электрохимической обработки острия. Применение электрохимических методов обработки позволяет уменьшить шероховатость поверхности иглы. Однако для получения конических электродов-инструментов этот метод имеет высокую трудоемкость при достаточно большом радиусе заострения.

В сканирующей туннельной микроскопии широкое распространение получили зонды, изготовленные методом электрохимического травления вольфрамовой проволоки. Данная технология также применяется для изготовления эмиттеров для автоионных микроскопов.

Заготовка из вольфрамовой проволоки закрепляется таким образом, чтобы один из ее концов проходил сквозь проводящую диафрагму (Д) и погружался в водный раствор щелочи KOH или NaOH (рис. 2). Контакт между диафрагмой и вольфрамовой проволокой осуществляется посредством капли щелочи KOH (NaOH), расположенной в отверстии диафрагмы.

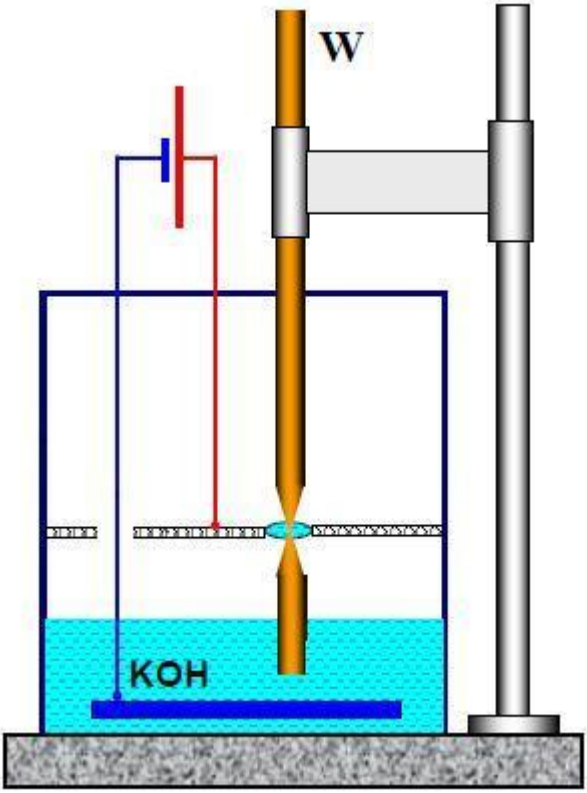


Рисунок 2 - Схема изготовления СТМ зондов из вольфрамовой проволоки методом электрохимического травления

При пропускании электрического тока между диафрагмой и электродом, расположенным в растворе щелочи KOH (NaOH), происходит перетравливание заготовки. По мере травления толщина перетравливаемой области становится настолько малой, что происходит разрыв заготовки за счет веса нижней части. При падении нижней части автоматически происходит разрыв электрической цепи, что останавливает процесс травления [2].

Данный метод позволяет получать иглы с минимальным радиусом заострения 20–30 нм, однако исследованиями установлено, что острие иглы имеет гиперболоидный профиль (рис. 3).

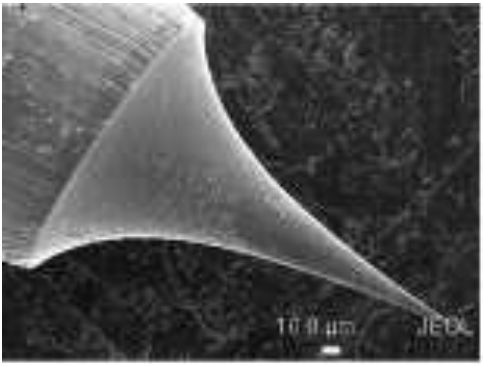


Рисунок 3 - Электронно-растровое изображение острия зонда

Только при очень медленном протекании процесса травления (при уменьшении концентрации электролита и напряжения) форма острия приближается к конусовидной [3]. В связи со сложностью и низкой производительностью получения конической формы острия использование данного метода для получения конических электродов-инструментов не является рациональным.

Для получения конических электродов-инструментов был выбран способ электрохимического травления путем последовательных погружений вольфрамовой заготовки в ванну, наполненную электролитом – водным раствором щелочи NaOH. При травлении вольфрамовой заготовки образуется конический профиль с микрометровым радиусом при вершине. Преимуществом данного метода является возможность получения требуемых геометрических параметров электродов-инструментов (угла конуса α, радиуса закругления r и др.) путем изменения технологических режимов обработки: силы тока травления I, массовой доли раствора электролита ω, количества n, глубины l и времени t погружений вольфрамовой заготовки. При проведении экспериментов были получены электроды-инструменты с углом конуса до 35° и минимальным радиусом заострения 1 мкм, что позволяет выполнять электроэрозионную обработку широкой номенклатуры конических микроотверстий. На рис. 4 представлен пример микроскопического изображения конического электрода-инструмента.

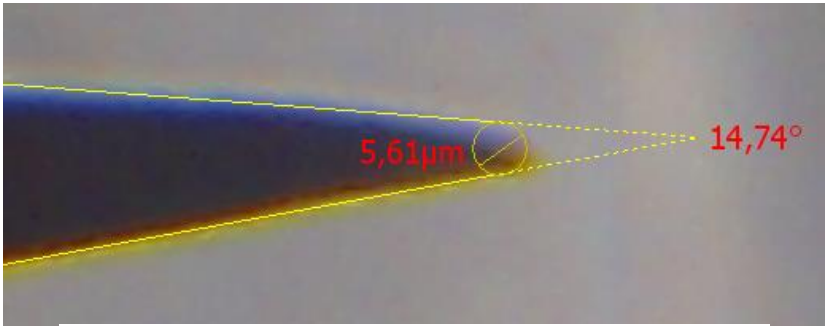


Рисунок 4 - Микроскопическое изображение конического электрода-инструмента

Список литературы:

1. Сабитов В.Х. Медицинские инструменты. М.: Медицина, 1985. 175 с.
2. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. Нижний Новгород: Изд-во РАН ИФМ, 2004. 114 с.
3. Холстинина Н.Н., Сурнин Д.В. Методика изготовления и аттестация вольфрамовых игл для СТМ // Вестник Удмуртского университета. 2007. №4. С. 140-145.

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭРОЗИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ ТОКА

Бойко А.Ф., д-р техн. наук, доц.,
Шинкарев И.Ю.,
Переверзев С.С.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Известно, что для получения прецизионных микроотверстий широко применяют электроэрозионный метод [1]. Данный метод используется в электронной промышленности, аэрокосмической и оборонных отраслях, инструментальном производстве, производстве топливной аппаратуры, медицинской технике и др.

Учитывая, что при электроэрозионной обработке микроотверстий используют короткие импульсы тока длительностью 0,05-0,5 мкс с высокой крутизной переднего фронта (до 100 А/мкс), физические явления в межэлектродном промежутке имеют характерные особенности. Во-первых, при коротких импульсах и значительной удельной мощности (более 10^4 Вт/мм^2), выделяемой после пробоя, в месте контакта канала разряда с поверхностью электродов 80—90 % металла удаляется с поверхности электродов испарением в виде струй паров (факелов), движущихся со сверхзвуковыми скоростями [2,3]. Факелы хорошо видны в начальный момент прошивки микроотверстия, когда электроэрозионная обработка идет на поверхности детали. Факелы имеют ярко-белый цвет с голубым оттенком при обработке в воде и с оранжевым оттенком при обработке в керосине. Процесс пробоя промежутка длится, по данным многочисленных источников, 0,01-0,1 мкс и представляет ударную лавинообразную ионизацию атомов рабочей жидкости электронами. Поскольку разработанный генератор коротких биполярных импульсов на самых мягких режимах формирует импульсы длительностью 0,05 мкс с длительностью переднего фронта 0,02-0,03 мкс, то очевидно длительность пробоя не превышает 0,01-0,02 мкс. При этом пробой промежутка происходит на весьма малых межэлектродных зазорах. Например, при электроэрозионной прошивке неглубоких микроотверстий импульсами длительностью менее 0,1 мкс межэлектродный зазор, оцениваемый с помощью одностороннего бокового зазора, не превышает 1,0-1,5 мкм. Однако величина рабочего межэлектродного зазора зависит от

амплитуды напряжения импульсов, энергии разрядных импульсов, состава рабочей жидкости, настройки регулятора подачи, степени загрязнения жидкости продуктами эрозии, микрогеометрии и свойств поверхности электродов, геометрических параметров разрядных импульсов тока (амплитуды, длительности, крутизны фронта).

Необходимость применения для исследуемого процесса коротких импульсов тока наносекундного диапазона предопределяет особый механизм электрической эрозии, при котором 80—90 % эродированного металла удаляется с электродов испарением. Именно при коротких импульсах тока (Гц <0,5 мкс), большой крутизне фронтов импульса и, следовательно, большой скорости ввода электрической энергии в межэлектродный промежуток под действием энергии, выделяемой в месте контакта канала разряда с электродами, локальный участок быстро разогревается. При этом температура в начальной стадии разряда в канале достигает 104—105 К [4], а давление — 10—100 МПа [2].

Такие значения температуры и давления развиваются только в промежутке времени от момента пробоя до начала спада импульса тока. При этом создаются условия для перегрева расплавленного металла в местах анодного и катодного пятен до температуры выше температуры плавления. После резкого спада тока по заднему фронту короткого импульса происходит резкое уменьшение температуры и давления в канале разряда и, как следствие, взрывное вскипание и испарение перегретого металла, выброс его из лунки, а виде факела паров. Выброс паров приводит к тому, что между электродами происходит обмен энергии. Доля энергии, переносимой парами на противоположный электрод, зависит от отношения скорости частиц пара, которая составляет сотни метров в 1 с, и скорости звука в нем (от числа Маха), а также плотности и температуры паров [3].

Известно, что при коротких импульсах металл из лунки удаляется не только испарением, но и в твердой фазе, что подтверждает дисперсный анализ продуктов эрозии. Это объясняет тот факт, что доля металла, входящего в объем единичной лунки, существенно (на порядок) больше, чем могло быть удалено испарением. Б. Н. Золотых разработал теорию хрупкого разрушения металла в окололуночном пространстве из-за значительных внутренних напряжений, возникающих при неравномерном термическом расширении прилегающих к лунке участков и сверхвысоких скоростях приложения напряжений.

Однако механизм хрупкого разрушения не может объяснить наличие в продуктах эрозии твердых частиц при использовании сверхмягких режимов с весьма короткими импульсами от 0,03 мкс и энергией от единиц до несколько десятков микроджоулей, что соответствует режимам электроэрозионной прошивки микроотверстий. При этом на обработанной поверхности полностью отсутствуют дефектный слой, микротрещины, следы хрупкого разрушения.

В данной работе предложена гипотеза струйного газогидродинамического механизма разрушения поверхности лунки, который возможен только при больших значениях удельной мощности, реализуемой через канал разряда на электродах. Металлический пар, взрывообразно вырывающийся из лунки со сверхзвуковой скоростью (1,5—2,0 км/с), имеющий температуру 3000—5000 ºС, обладает колоссальной удельной энергией, достаточной для разрушения-поверхности лунки. Так как поверхность лунки имеет температуру, близкую к температуре плавления, то ее прочность крайне невысокая, поэтому газогидродинамический взрывной поток перегретого металлического пара может механически разрушать поверхность лунки и дополнительно выбрасывать в межэлектродный промежуток раскаленные твердые частицы, расширяя и увеличивая объем лунки.

Эн-я имп-в, мкДЖ	Дл-ть имп-ов, мкс	Сталь	Ø лунки, мкм	Глубина лунки, мкм	Объем лунки, мм^3	$K=d_л/h_л$	Удельная эрозия мм^3/мкДЖ	Тип генератора импульсов
13,2	0,2	08Х18Н10Т; 36Х18Н25С2	4 3,4	3,5 3,4	$34x10^{-9}$ $23x10^{-9}$	1,14 1,0	$2,6x10^{-9}$ $1,7x10^{-9}$	Транзисторный ВТГ-1
40 000	15	08Х18Н10Т; 36Х18Н25С2	223 231	21 20	$543x10^{-6}$	10,6 11,5	$13,6x10^{-9}$ $13,9x10^{-9}$	Тиристорный ИГ-61

Для проверки гипотезы провели эксперимент, сущность которого заключалась в следующем. Выбраны две марки хромоникелевой жаростойкой стали аустенитного класса: ОВХ18Н10Т (при 700 ºС $\sigma_в$ = 270 МПа) и 36Х18Н25С2 (726 МПа) [5].

С точки зрения общей теории электрической эрозии обрабатываемость материалов не зависит от их механических свойств (твердости, прочности, пластичности), а зависит при прочих равных

условиях от физических свойств материала, которые обобщены в критерии Л. С. Палатника:

$$П = c\rho\lambda T_{пл}^2,$$

где с - удельная теплоемкость материала; ρ - плотность материала; λ - удельная теплота плавления; $T_{пл}$ - температура плавления.

Исследуемые стали являются родственными, их физические свойства с, р, "К, 7ПП отличаются несущественно, за исключением прочности св при высокой температуре, т. е. по жаропрочности.

Поставлена задача — определить наличие корреляционной связи между показателем жаропрочности ($\sigma_в$ при 700 "С) материала и объемом единичной лунки, характеризующим обрабатываемость материала. При этом предполагалось, что у жаропрочного материала с большей прочностью при высокой температуре будет удаляться меньшее количество материала в твердой фазе с поверхности лунки взрывным газогидродинамическим потоком металлического пара и, соответственно, размер и объем лунки будут меньше. Получение единичных лунок осуществлялось в керосине при использовании импульсов длительностью 0,2 мкс, энергией 13,2 мкДж, т. е. импульсов, при которых удаление материала из лунки происходит в виде паровых факелов. Одновременно проведены опыты по обработке этих сталей и на существенно более мощных импульсах значительной длительности (15 мкс) и энергией 40 000 мкДж, т. е. соответствующих варианту, когда большая часть металла после расплавления удаляется из лунки в жидкокапельной фазе.

Геометрические размеры полученных лунок определяли двумя способами. Малые лунки диаметром до 60—80 мкм измеряли с помощью интерференционного микроскопа МИИ-4. Лунки большего диаметра измеряли с помощью профилографа-профилиметра 201. Объем лунок определяли по известной формуле [6, 7]

$$V_л = K_ф d_л^2 h_л 10^{-9}$$

где $d_л$, $h_л$ —диаметр и глубина лунок на уровне исходной обрабатываемой поверхности; $К_ф$ — коэффициент формы лунок, зависящий от физико-химических и механических свойств материала, а также параметров импульсов; для обрабатываемых сталей и при

использовании коротких импульсов $К_ф$ = 0,6 [8], при использовании импульсов средней длительности $К_ф$ = 0,52 [9].

Результаты эксперимента и необходимых расчетов приведены в таблице. Удельную эрозию определяли по формуле.

$$K_1 = V_л / E,$$

где Е — энергия импульсов.

Результаты исследований и расчетов показали следующее. При обработке короткими импульсами получают лунки большого диаметра, объема и с большей величиной удельной эрозии на сталях, Имеющих меньшую жаропрочность, что подтверждает правильность гипотезы о возможном дополнительном удалении металла с раскаленной поверхности лунки в твердой фазе взрывным газогидродинамическим потоком металлического перегретого пара, выбрасываемого из лунки после спада короткого импульса тока. Подтверждением этого факта являются и результаты статистического анализа данных эксперимента: различие средних значений удельной эрозии для этих сталей $2{,}6 \times 10^{-9}$ и $1{,}7 \times 10^{-9}$ мм^3/мкДж, оцениваемое (-критерием по результатам пяти опытов, является существенным при доверительной вероятности 99 %.

При обработке сталей на грубом режиме (Е = = 40 000 мкДж, ги = 15 мкс) различие значений удельной эрозии ($13{,}6 \cdot 10^{-9}$ и $13{,}9 \cdot 10^{-9}$ мм3/мкДж) является несущественным, что объясняется другим характером процесса электрической эрозии, при котором основная масса расплавленного металла удаляется из лунки в жидкокапельной фазе [2].

Удельная эрозия на грубом режиме [(13,6—13,9) x 10^{-9} мм3/мкДж] существенно выше (в 5—8 раз), чем на прецизионном режиме [(1,7—2,6)10^{-9} мм^3/мкДж], что объясняется различием физики процесса удаления металла из лунки: в первом случаев основном плавлением, во втором—испарением, а как известно, скрытая теплота испарения более чем на порядок превосходит скрытую теплоту плавления.

Существенно отличаются коэффициенты формы лунок: для грубого режима К = 10,5-МОД для прецизионного — К= 1,0-5-1,1, что в основном обусловлено существенной разницей электрических параметров импульсов двух режимов.

Таким образом, при электроэрозионной обработке короткими импульсами наряду с испарением металла из лунки происходит дополнительное механическое удаление металла с раскаленной поверхности лунки взрывным газогидродинамическим струйным потоком металлического пара, вырывающегося из лунки со скоростью до 2000

м/с. Это явление также объясняет несоответствие расчетных теоретических значений удельной эрозии и экспериментальных, так как они не учитывают механический фактор эрозии.

Список литературы:

1. Бойко А.Ф. Технологические методы получения микроотверстий. Ч. 2 // Ремонт, восстановление, модернизация. 2009. № 10. С. 21-25.
2. Золотых Б.М. Основные опросы теории электрической эрозии в импульсном разряда в жидкой диэлектрической среде: Автореф. дис. д-ра техн. наук. М.: МИЭМ, 1968. 52 с.
3. Золотых Б.Н. Физические основы электроискровой обработки. М.: Гостехиздат, 1953.97 с.
4. Лазаренко Б.Р. Электроискровая обработка металлов. М.: Машиностроение, 1960. 164 с.
5. Марочник сталей и сплавов / Под общ. ред. А. С. Зубченко. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2003.764 с.
6. Ставицкая Н.В., Ставицкий Б.И. Основные особенности электроискровой прецизионной обработки материалов // Электронная обработка материалов. 1979. № А. С. 5-9.
7. Ставицкая Н.Б., Ставицкий Б.И. Исследование форм и размеров эрозионных лунок, образованных на различных материалах искровыми разрядами // Электронная обработка материалов. 1980. № 1. С. 9-13.
8. Ставицкая Н.Б. Изучение эрозионных лунок при электроискровой обработке материалов электродом-проволокой // Электронная обработка материалов. 1980. №6. С. 5-7.
9. Попилов Л.Я. Электрофизическая и электрохимическая обработка материалов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1982. 159 с.

ОЧИСТКА КУЗОВА ОТ КОРРОЗИИ И ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Варламов С.С., магистрант,
Загородний Н.А., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Лакокрасочное покрытие может быть удалено механическим способом с помощью пескоструйных аппаратов или механизированным ручным инструментом, химической обработкой специальными смывками и щелочными растворами (1).

При пескоструйной очистке и очистке механизированным ручным инструментом одновременно с лакокрасочным покрытием удаляются ржавчина и окалина.

Наиболее распространенным абразивным материалом для пескоструйной обработки металлических поверхностей является металлическая дробь с размером зерен 0,2–0,3 мм. Для очистки панелей кузова и оперения, изготовленных из листовой стали толщиной 0,8–1 мм, от старого покрытия и получения необходимой шероховатости оптимальный угол наклона струи дроби к обрабатываемой поверхности должен быть 45°, а давление воздуха – 0,2–0,3 МПа. Шероховатость обработанной поверхности не должна быть больше 20–30 мкм, что обеспечит высокое качество нового защитного покрытия.

Для дробеструйной обработки используют передвижной аппарат с ручным пистолетом. В аппарате предусмотрена автоматическая регенерация абразивной дроби и подача ее в дробеструйный пистолет.

Для удаления продуктов коррозии ручным механическим способом применяют различные установки. Из этих установок наибольший интерес представляет иглофреза. Иглофреза состоит из отрезков высокопрочной проволоки с определенной плотностью набивки (4). Она может срезать слой ржавчины, окалины, металла толщиной 0,01–1 мм.

Из ручного механизированного инструмента для очистки поверхности и удаления лакокрасочных покрытий используют также шлифовальные машинки МШ-1, И-144, шлифовальные аппараты ШР-2, ШР-6. Этот способ очистки применяют для проведения небольших объемов работ, так как он не обеспечивает необходимого качества и производительности работ.

Для удаления покрытий химическим способом применяют различные смывки. Смывки наносят на поверхность распылением или кистью. Через несколько часов покрытие вспучивается, и его удаляют механическим способом, а затем поверхность промывают водой.

Крупные авторемонтные предприятия с большим объемом ремонта кузовов для снятия лакокрасочного покрытия используют щелочные растворы. Очистку производят в ваннах с полным погружением в них кузовов, кабин и других деталей. Для снижения времени травления применяют ускорители – глюконат натрия, этиленгликоль. Раствор, состоящий из 20 % едкого натра, 0,5 % глюконата натрия и 8 % этиленгликоля, снимает покрытие толщиной 100–150 мкм за 10–15 мин при температуре раствора 95–98 °С.

Удаляют лакокрасочное покрытие в механизированных агрегатах, которые состоят из последовательно расположенных четырех отсеков: для снятия покрытия окунанием, промывки горячей водой, пассивирования, обдувки горячим воздухом.

При очистке кузова от коррозии надо определять глубину коррозионного разрушения. Для этой цели служат гамма-толщиномеры.

Ремонт съемных деталей кузова

Съемными называют детали, которые устанавливают на каркас кузова и крепят болтами. К ним относятся: бамперы или щитки, решетка радиатора, капот, крышка багажника, двери и крылья (если они съемные).

Сборка производится с помощью винтов с шестигранными головками, которые ввинчиваются в гайки. В некоторых случаях гайки удерживаются от проворачивания сепараторами квадратной формы из листового материала. Сепараторы приварены к внутренней поверхности листа, к которому крепится съемная деталь. Гайка в сепараторе не проворачивается. Между головкой винта и листовой обшивкой кузова устанавливается лепестковая шайба, предотвращающая откручивание собранных элементов. С течением времени коррозия (ржавчина) в резьбе гайки и винта делает отвинчивание невозможным или очень трудным. Поэтому нежелательно резко увеличивать усилие на ключ, под действием крутящего момента, приложенного к короткому участку винта между его головкой и гайкой, может произойти отрыв винта.

Для облегчения отвинчивания можно попытаться смазать винты и гайки специальными маслами или жидкостями (2). Если винт обломался, необходимо в оставшейся части просверлить отверстие малого диаметра (для направления), а затем просверлить отверстие диаметром под нарезку резьбы и нарезать резьбу. После снятия

поврежденного элемента зачищают контактные поверхности. Если эти поверхности не были защищены, их покрывают специальной антикоррозионной краской. При последующей установке необходимо применять новые винты и шайбы. Перед установкой желательно слегка смазать болт, что облегчает завинчивание и задерживает образование ржавчины.

Поврежденные бамперы в некоторых случаях можно выправить. Так как металл бампера достаточно толстый, необходим сильный нагрев зоны правки, что приводит к разрушению хромового покрытия. Детали из коррозионно-стойкой стали с незначительными повреждениями можно отремонтировать, а после восстановления их формы отполировать. Однако эти ремонтные операции редко являются выгодными, так как стоимость правки быстро достигает стоимости новой детали, так что замена является более предпочтительной. Кроме того, не всегда качество правки профилированных бамперов удовлетворительное. При ремонте составных бамперов производят замену только поврежденных деталей, в результате чего снижается стоимость ремонта.

Щитками обычно называют бамперы, изготовленные из пластических материалов. Сегодня они находят все более широкое применение для защиты автомобиля, чем и объясняется это название. Кроме того, они в значительной степени улучшают аэродинамические характеристики кузова.

Ремонт щитков из смолы, армированной стекловолокном, может осуществляться посредством стеклоткани, покрытой смолой. (Более подробно об этой технологии будет рассказано ниже). В то же время другие композиционные материалы, из которых изготовляют щитки, такие, как поликарбонаты, совершенно непригодны для ремонта. Щитки обычно крепятся к кузову двумя центральными и двумя боковыми болтами. Если противотуманная оптика или указатели поворотов встроены в щитки, то при снятии щитка необходимо отключить электрические провода.

Крылья (съемные) часто снимают и заменяют новыми, даже если их можно выправить. Правка крыльев может обойтись дороже, чем замена их новыми.

Крылья крепятся к кузову винтами, которые обычно контрятся, т.е. ввинчены в упругие металлические пластинки. Крылья крепятся к верхней части брызговика, передней стойке и передней панели. Чтобы снять крыло, сначала необходимо снять буфер, а в некоторых случаях и решетку облицовки радиатора, оптические элементы фар и сигнальных

приборов. После снятия крыла необходимо обработать места контакта и удалить все следы коррозии.

Перед установкой нового (или бывшего в употреблении) крыла надо покрыть места контакта слоем герметика. Затем надо установить крыло на брызговик, вставить винты в места крепления и слегка завернуть их, не затягивая, чтобы отрегулировать зазоры дверей и капота, а затем затянуть винты окончательно. Потом можно установить расположенные вблизи детали, которые были сняты перед снятием крыла. Присоединить электрические провода к фарам и сигнальным фонарям, соблюдая расцветку проводов, если таковая предусмотрена.

Если крылья приварены и не очень сильно деформированы, то их обычно подвергают правке, так как замена таких крыльев достаточно трудоемка. Если правка приваренных крыльев требует очень много времени и если внутренние детали или передняя и задняя стойки повреждены, то крылья следует заменить.

Не все части крыла выправляются с одинаковой трудоемкостью, если крыло и подвергается правке. Легче выправить верхнюю скругленную часть крыла, чем его боковую поверхность, которая обычно имеет небольшую выпуклость.

Для увеличения жесткости на боковой поверхности крыла часто выполняют линии жесткости. После общей правки с помощью киянки необходимо в первую очередь восстановить окончательную форму линий жесткости, а затем уже выровнять поверхность крыла. Потом выправляют боковые поверхности крыла. Если при этом возникают вздутия, их устраняют посредством точечного нагрева детали.

Если часть поверхности имеет небольшую выпуклость, переходящую за границы линий жесткости, ее можно устранить путем вытяжки металла, не нарушая при этом формы сопряжения линии жесткости с основной поверхностью. Такую операцию можно выполнить только при достаточно большой длине поверхности, так как при малой длине обработки выпуклость может стать больше, чем до правки.

Сказанное означает, что во всех случаях надо с самого начала выбрать правильную стратегию рихтовки конкретной детали. Ошибка может привести к неисправимым дефектам.

Капот и крышка багажника – подвижные детали автомобиля, следовательно, они являются съемными. Капот и крышка багажника выполняются из штампованного листа, усиленного с внутренней стороны листовыми штампованными профилями. Деформация капота почти всегда вызывает и деформацию профилей жесткости. Если

произошло складывание капота и крышки багажника, то технически их невозможно выправить.

Правку капота или крышки багажника удобнее производить на верстаке, так что их обычно снимают. Правка осуществляется сначала с помощью пресса, затем – рихтовкой киянкой, спрофилированной по месту. Когда форма детали приблизительно восстановлена, удаляют точки сварки и отрезают пилой части профилей жесткости, мешающие выравниванию поверхности. Отрезают в недеформированной зоне, далее заканчивают правку поверхности и профилей жесткости отдельно. Затем профили жесткости приваривают либо кислородно-ацетиленовой сваркой, либо электросварочным аппаратом в среде защитного газа в те места, из которых они были вырезаны. При этом панель капота или крышки багажника защищают от нагрева либо асбестовым картоном, либо листом металла, который помещают между свариваемым профилем и поверхностью листа, а затем убирают. Точки сварки подвергают зачистке. Экономически такой объем работы по восстановлению формы редко оправдывается для деталей автомобилей массового выпуска. В этом случае практичней заменить поврежденную деталь новой. Так что перед началом ремонтных работ надо точно выяснить стоимость деталей, а затем уже принимать решение, что делать. Другое дело – ремонт собственными силами, которые человек, как правило, не пересчитывает на деньги, особенно когда испытывает проблемы с наличностью.

Двери также являются подвижными элементами кузова автомобиля, они выполняются съемными. Конструктивно дверь состоит из каркаса, который является опорой для обшивки. До последнего времени панель двери обычно подгонялась и приваривалась к каркасу точечной сваркой, потом стал распространяться иной способ – склеивание. Приклеивание обеспечивает наилучшую герметизацию в местах завальцовки, что в значительной степени снижает возможность образования коррозии.

При замене панели двери рекомендуется применять тот же способ установки, что и на заводе-изготовителе.

Другими деталями двери являются стекла, подъемник стекла, замок с дистанционным управлением, обивка, закрывающая внутреннюю поверхность двери в кабине.

Большинство дверей с незначительными повреждениями можно выправить. Однако на практике такая правка экономически не всегда выгодна, если деформирован, например, внутренний каркас двери. В этом случае поврежденную дверь заменяют новой и устанавливают на

нее годные детали и узлы, снятые с поврежденной двери, за счет чего расходы владельца на ремонт несколько сокращаются.

Если внутренний каркас двери не поврежден, ремонт можно выполнять двумя способами: заменой поврежденной панели двери новой панелью или выправкой панели двери, если вмятина не вызвала значительного растяжения металла.

Для удобства выполнения рихтовочных работ дверь снимают. (Можно снять только оси шарниров и отсоединить ограничители двери). Затем дверь разбирают. Сначала снимают рукоятки стеклоподъемника и замка, фиксирующиеся на осях либо посредством стяжных колец и шплинтов, либо с помощью шпонок, доступ к которым затруднен, так как они закрываются декоративными накладками, которые, в свою очередь, прижимаются пружинами. Внутренняя обивка обычно крепится к двери с помощью разжимных прихватов, которые входят в отверстия внутренней полости двери. Чтобы снять обивку, нужно ввести лезвие отвертки (его предварительно покрывают тканью) между каркасом двери и обивкой вплотную к прихвату и нажать на него, как рычагом. Ткань предохраняет краску от непосредственного контакта с металлом отвертки, что может вызвать повреждение лакокрасочного покрытия кузова. Чтобы не разрушить соединение прихвата с обивкой двери, что иногда возможно из-за отсыревшей панели обивки, нельзя прикладывать к отвертке большое усилие.

Замену панели двери у некоторых моделей автомобилей можно выполнить без снятия стекол, стеклоподъёмника, а также других крепежных элементов. Вообще меняют панель двери только в том случае, если это предусмотрено изготовителем и если панель поставляется отдельной деталью.

При необходимости правки панели не всегда надо снимать стеклоподъемник и замок.

Правка панели двери – более тонкая работа, чем правка крыла. Глубина штамповки панели небольшая, а ее стороны жестко соединены с внутренним каркасом и имеют определенную форму и длину. Любое выстукивание молотком в результате растяжения металла создает выпуклость поверхности.

Но есть и удобства. Поверхность внутреннего каркаса, образующая перегородку кабины, имеет вырезы, в которые можно ввести инструмент и приложить к нему усилие, противоположное усилию, вызвавшему вмятину. Усилие на инструмент может быть создано посредством небольшого разжимного домкрата с ножным приводом или небольшого рычага. Усилие нужно прикладывать не к центру вмятины,

а как можно ближе к точкам закрепления панели. Под действием усилия в основном восстанавливается форма панели двери, после чего остается лишь выровнять ее поверхность, на которой имеются складки в точках закрепления. Для их устранения панель нагревают в нескольких точках, затем охлаждают и производят выравнивание. Далее операцию повторяют до полного восстановления формы.

Если какая-либо часть внутреннего каркаса была отрезана для облегчения доступа к панели, то ее необходимо снова приварить на место.

Если центр вмятины панели имеет достаточно большую площадь, то в некоторых случаях ее можно выколотить как обычно изнутри с помощью кувалды, нанося удары около вершины вмятины. На панелях, имеющих резко выраженную кривизну, вмятина может быть выколочена с наружной стороны легкими ударами, наносимыми по периферии кратера вмятины. После выравнивания необходимо снова нанести на внутреннюю поверхность панели звукоизоляционное покрытие, затем установить принадлежности панели и обивку.

Ремонт сварных элементов

После обследования повреждений аварийный автомобиль может подвергаться одной из двух категорий ремонта:

– если наружные повреждения съемных элементов не вызвали деформацию кузова и подрамника, то производится только малый ремонт обшивки кузова;

– если сильные повреждения вызвали искажение размеров между точками крепления механических узлов, то требуется восстановление структуры кузова автомобиля или замена кузова (когда в результате повреждения кузов признан непригодным к ремонту или затраты на ремонт выше стоимости нового кузова).

Во всех случаях восстановление кузова должно обязательно сопровождаться контролем геометрии с применением шаблонов или посредством измерения размеров основания кузова. Но для ремонта наружных поверхностей требуется, скажем так, мелкий инструмент и незначительное количество оснастки, в то время как для восстановления кузова требуются различные сложные приспособления для правки, обеспечивающие качественное выполнение работ.

Большинство деталей, составляющих безрамный кузов, соединяются посредством точечной сварки. На машиностроительных заводах точечная сварка осуществляется с помощью роботов, обеспечивающих шаг (расстояние между каждой точкой) сварки, определенный на стадии проектирования кузова. При ремонте

рекомендуется придерживаться этого заданного шага сварных точек. Каждая точка легко различается по отпечатку электрода, оставленному на металле. Отпечаток представляет собой небольшую впадину глубиной несколько десятых долей миллиметра и диаметром, равным 4–6 мм в зависимости от толщины листового материала. Если отпечатки закрыты краской, ее необходимо счистить, чтобы вскрыть отпечатки. Отделять сварные детали можно тремя способами:

– полным или частичным высверливанием точек сварки;

– вырубкой точек сварки;

– вырубкой листа как можно ближе к линии сварки, отрывом металла между точками сварки и последующей зачисткой.

После удаления детали, подлежащей замене, появляется доступ для правки детали. Необходимо выправить возможные деформации, отрихтовать места контакта, удалить все следы коррозии пескоструйным аппаратом или химическим способом. (Следует избегать удаления ржавчины режущим кругом, так как при этом уменьшается толщина листа, что вызывает снижение надежности соединения точечной сваркой). Затем надо тщательно вымыть обработанную часть детали и высушить.

Поверхность листов, соединяемых точечной сваркой, должна быть очень чистой, причем металл лицевой и оборотной сторон листов, где требуется выполнить точки сварки, должен быть зачищен.

Новую деталь устанавливают на место и закрепляют с помощью зажимов или тисковых клещей. Проверяют размеры деталей, определяющих геометрию кузова и днища, и точность их установки на базовые поверхности. Проверяют зазоры и равномерность расположения прилагаемых листовых деталей. Выбирают соответствующий условиям выполняемой работы электрод. Рекомендуется брать наиболее короткий электрод, чтобы гарантировать достаточное прижатие соединяемых листов.

Для настройки реле времени установки для точечной сварки выполняют несколько сварочных точек на двух кусочках металла такой же толщины, тем самым определяя время сварки, а следовательно, и качество сварного соединения. Затем производят сварку, соблюдая первоначальный или рекомендуемый шаги сварки.

В случаях, когда нельзя отделить сваренные точечной сваркой детали обычным для этой цели инструментом, вырезают подлежащую замене часть детали как можно ближе к месту соединения. При частичной замене деталей, составляющих единое целое с кузовом, например, заднего крыла, являющегося неразъемной частью, вырезку

осуществляют в недеформированной зоне с учетом рекомендаций изготовителя.

Часть детали, предназначенной для замены деформированного участка, вырезают из новой или выправленной детали с первоначальным припуском. Затем производят окончательную вырезку и подгонку путем измерения, если нельзя это сделать наложением, или накладывают предназначенную для замены часть детали на вырезанное место. Наложенную деталь закрепляют с помощью тисочных зажимов, затем обмечают чертилкой, снимают и обрезают (обрезать можно ручной ножовкой, пневматической или электрической пилой, «болгаркой»). При обрезке удаляют припуск. Если сварка предусматривается с отбортовкой, то для ее выполнения припуск оставляют.

Подгонку по месту можно также выполнить путем наложения и закрепления новой детали. Однако вырезка производится за один раз по разметке, выполненной на детали, наложенной внахлестку на ремонтируемое место. Это позволяет выполнить одновременно подгонку двух стыков, но не дает возможности выполнить отбортовку.

Отбортовку обычно выполняют при частичной замене панелей. С этой целью с помощью специальных ручных или пневматических зажимов, обеспечивающих равномерный перепад высот поверхностей заплечиков и основной детали, на оставшейся детали кузова выполняют заплечики. Затем новая часть детали устанавливается на заплечики с перекрытием на 10–15 мм. Сварка может выполняться наплавкой точек, если устанавливаемая деталь просверлена, либо сплошным швом, либо цепочным.

Для отделки сварочного соединения по отбортовке рекомендуется применять полиэфирную шпаклевку вместо заглаживания оловом. Травление листа кислотой способствует удержанию олова на его поверхности, однако вызывает коррозию в результате проникновения продуктов травления между отбортованными листами.

Рихтовка

Качество выполненной рихтовки оценивается визуально и ощупыванием поверхности ладонью руки. Визуально наиболее легко контролируются выпуклые или вогнутые поверхности путем просмотра их под углом или сбоку. Для контроля плоских поверхностей применяют линейки.

При наличии на поверхности панели впадины достаточно произвести рихтовку в глубь двух небольших секторов с каждой стороны листа. При этом удары наносятся по возможности в центр

впадины, а затем перемещаются к периферии с постепенным уменьшением силы удара.

При наличии на поверхности панели пузыря необходимо стянуть металл. Это можно выполнить только путем утолщения металла. Однако пластичность мягкой стали при комнатной температуре недостаточно высокая, в то же время металл, нагретый до достаточно высокой температуры (для мягкой стали это 800°С), становится пластичным и легко деформируется. При этом нет необходимости нагревать весь пузырь, достаточно выбрать для этого несколько подходящих точек.

Более удобным источником нагрева является кислородно-ацетиленовая горелка. Операция заключается в устранении дефекта путем использования процессов расширения и усадки металла, возникающих при нагреве, и последующего охлаждения. Местные нагревы получили названия усадочных точек или усадочных нагревов. Механизм процесса заключается в следующем.

При нагреве точки металла узким пламенем кислородно-ацетиленовой горелки небольшой круг металла быстро разогревается докрасна. Но прежде чем металл станет красным, он начинает расширяться, и расширение может вызвать образование выпуклости. Как только металл нагреется докрасна, его пластичность резко возрастет. Под действием пружинящего эффекта окружающего не нагретого докрасна металла происходит усадка разогретой докрасна части металла. Так как расширению металла препятствует менее нагретый окружающий металл, то увеличение его объема происходит за счет утолщения. Как только металл разогреется докрасна, горелка отводится и начинается охлаждение: нагретый круг металла становится темно-красным, затем черным и продолжает далее охлаждаться.

При охлаждении металл сжимается, его объем уменьшается, но удерживается расположенным вокруг металлом, длина и ширина которого не изменялась. Необходимо, чтобы дополнительное утолщение, полученное при растяжении металла, было восстановлено после охлаждения. Но так как металл имеет температуру, не соответствующую максимальной пластичности, то, сжимаясь, он поглощает небольшую часть удлинения окружающего металла.

Усиление осаживания металла осуществляется различными способами:

– уменьшением скорости распространения теплоты путем создания кольца вокруг нагретой части металла из мокрой ветоши;

– противодействием деформации путем нажатия на металл ручкой молотка или другим предметом около нагретой точки;

– выстукиванием границ точки металла, нагретого докрасна, а затем и самой нагретой точки киянкой или рихтовочным молотком.

Устранение деформации шпатлевкой или оловом

Случается, когда удары вызывают повреждения в труднодоступных местах кузова, а иногда в совершенно недоступных или когда для ремонта поврежденного участка требуется большая разборка. Чтобы избежать долгого и дорогостоящего ремонта с вырезкой и заменой деталей или чтобы не производить большой разборки ради устранения небольшой вмятины, можно выровнять вмятину другим способом. Наиболее старый способ, который можно применить для таких случаев, – пайка оловом. После очистки поверхности листа его лудят, а затем заделывают вмятину оловянным припоем. Припой опиливают (напильником с отогнутой ручкой), потом поверхность полируют.

Покрытие из припоя обладает достаточной твердостью и сцеплением. А недостатком этого процесса является необходимость нагрева – оловянный припой плавится при температуре, близкой к 250°С.

Есть другой способ заделки вмятин, который заключается в применении шпатлевок на базе полиэфирных смол, накладываемых на тщательно зачищенную поверхность листа. Шпатлевки быстро твердеют и не усаживаются. Поверхность шпатлевок также опиливают и полируют. Стойкость накладываемых шпатлевок в большинстве случаев зависит от тщательности нанесения и сцепления (адгезии) первого слоя.

Стержневая вытяжка вмятин

Подвергшиеся деформации пустотелые детали кузова чаще всего заменяют. К таким деталям относятся пороги, стойки кузова, крылья сдвоенные и труднодоступные изнутри, траверса и некоторые другие. Но в зависимости от обстоятельств, в том числе материальных, в большинстве случаев устранение деформации оказывается возможным снаружи с помощью так называемых «гвоздей», привариваемых к вмятине. Наиболее часто применяются метод и набор инструментов, носящих название «гвоздодер».

Ремонт порогов

Приваренные пороги. Если порог имеет незначительные повреждения, без резко выраженных складок, то его можно выправить вытяжкой снаружи. Для этого приваривают специально предназначенные для выправки «гвозди», а затем с помощью

инерционного съемника или споттера производят последовательную вытяжку.

Если порог получил средние повреждения, то, учитывая большую трудоемкость снятия и установки порога, выгоднее ремонтировать поврежденный участок. После снятия дверей, сидений и покрытия пола, находящихся в зоне ремонта, ремонт может быть выполнен различными способами.

Например, вырезают сбоку порога прямоугольное окно, в которое можно ввести соответствующей формы наковаленку или другой инструмент, позволяющий осуществить вытяжку поврежденного участка, например, с помощью гидравлического приспособления. Когда форма участка порога восстановлена, вырезанное окно заваривают кусочком листа. Поскольку обратная сторона сварки является недоступной, нельзя осуществить общую выправку шва, поэтому внешний шов следует загладить оловянным припоем.

Или: вырезают отверстие на верхней части порога двумя поперечными резами, затем разъединяют точки сварки. Через эту вскрытую частично полость можно ввести наковаленку и выправить. После выправки поврежденной части вскрытое отверстие закрывают и заваривают.

Если поврежденная часть находится под дверью, ее вырезают и заменяют новой. Вырезают поврежденный участок за пределами поврежденной зоны, чтобы оставшаяся часть была неповрежденной. Из новой детали выкраивают соответствующую часть, подгоняют ее, устанавливают и приваривают.

Если порог получил серьезные повреждения, вырезают поврежденную часть «болгаркой» или с помощью пневматического зубила. Эти вырезы производятся около передней и задней дверей, а также около основания средней стойки.

Часто повреждается и сама стойка, поэтому ее заменяют одновременно с порогом. Вырезка лонжерона, а также средней стойки производится напротив крыши. После вырезки поврежденной части контролируют состояние лонжерона. Если надо выправить лонжерон, то проверяют состояние основания кузова, используя в случае необходимости соответствующий инструмент. Места установки новой части лонжерона зачищают, удаляя при этом частицы металла, оставшиеся после разделения сварочных точек. Далее выравнивают поверхности лонжерона. Новую часть лонжерона подгоняют по месту, устанавливают и предварительно закрепляют таким же образом, как это делалось со средней стойкой. Затем устанавливают новые или

неповрежденные двери. После регулировки зазоров двери снимают. Производят точечную сварку деталей, которые были соединены точечной сваркой, а затем заканчивают соединение деталей с помощью кислородно-ацетиленовой горелки.

Устранение деформации крыши

Рихтовку крыши необходимо производить легкими ударами точно так, как рихтовку дверей. Так как края крыши при рихтовке практически не деформируются, то возникающее удлинение листового металла создает выпучивание. В связи с тем, что поверхность крыши большая, может образоваться удлиненный пузырь. Следовательно, максимальный объем работы желательно выполнять деревянной киянкой, а рихтовочный молоток использовать лишь для тонкой отделочной рихтовки.

Рихтовку скругленных участков следует производить по направлениям, параллельным бортику крыши.

В некоторых случаях приходится заменять крышу. Если замена осуществляется совместно с заменой ее продолжений, каковыми являются проем ветрового стекла и панели задней боковой стенки кузова, которые на некоторых моделях автомобилей выполняются как единое целое с крышей, то перед началом жестяных работ снимают двери, панель приборов, обивку крыши, сиденья, а также при необходимости – капот, крышку багажника и съемные крылья. На других моделях автомобилей задние боковые панели соединены с задними крыльями или являются их частью. После разделения точек сварки или разрезки пилой их закрепляют газовой сваркой.

Замена задних боковых панелей производится редко и не представляет экономического интереса. Когда стойки проема ветрового стекла находятся в хорошем состоянии, разрезка их и соединение могут производиться на половине высоты. При этом передние крылья снимать необязательно.

К остову кузова крыша приваривается точечной сваркой. Чтобы произвести замену крыши, необходимо разъединить точечную сварку обычными способами. Если остов кузова деформирован, то вначале его выправляют. После удаления поврежденной крыши облегчается доступ к верхней части кузова. При наличии поврежденного места его выправляют, контролируя правильность формы установкой дверей и новой крыши. Если верхняя часть остова кузова сильно деформирована, то производят частичную замену деформированных зон новыми частями. Ограниченная замена с последующим соединением верхней части остова кузова с верхом панелей задней боковой стенки и со

стойками ветрового стекла на половине их высоты намного уменьшает объем работ по разделению точечной сварки.

Разрезают стойки ветрового стекла на половине их высоты ножовкой, при этом необходимо следить, чтобы не разрезать остов кузова, если он не был деформирован.

Устанавливают новую крышу и ударами руки сверху подгоняют ее по месту. Крышу предварительно закрепляют и проверяют правильность формы рамки заднего и ветрового стекол. Проверка осуществляется либо установкой стекол, либо с помощью шаблонов, либо путем измерений, либо контроля щупами. Таким же образом производят установку дверей.

Установленные детали прихватывают в нескольких точках точечной сваркой и, убедившись, что геометрия осталась неизменной, производят окончательную сварку.

Разрез, выполненный на половине высоты стоек ветрового стекла, заваривается дуговой сваркой в среде защитного газа. Если крыша вырезалась по всем четырем углам, то предпочтительнее произвести твердую пайку швов, чтобы обеспечить наилучшую герметичность.

Несколько слов о пластмассовых крышах. Пластмассовые крыши крепятся специальными заклепками к остову металлического кузова, при этом места соединения покрываются герметиком. Снятие такой крыши заключается в высверливании заклепок и их удалении.

Если производится замена остова кузова и крыши новыми деталями, то отверстия сверлят в местах, предусмотренных изготовителем. Затем детали разъединяют и покрывают места соединения герметиком. При установке соединяемых деталей совмещают отверстия с помощью оправок и вставляют заклепки.

Способы устранения вмятин

Одним из самых популярных, простых и достаточно эффективных способов является рихтовка. Мастер прорезиненным молотком выпрямляет вмятину, восстанавливая изначальный вид детали. Процедура может проводиться как вручную, так и на специальном прессе.

Еще один действенный способ — технология PDR (в народе её называют «устранение вмятины без покраски»). Воздействие на кузов машины минимально. Делается такая процедура при помощи специальных инструментов.

Также можно удалить повреждение присоской: деталь растягивается на специальном стенде либо выпрямляется прибором, который создает вакуумное давление.

Список литературы:

1. Антикоррозийная обработка [электронный ресурс] - точка доступа http://works.doklad.ru/view/HQlO9bzObNk/4.html дата обращения: 4.09.16
2. Ремонт съемных деталей кузова [электронный ресурс] - точка доступа http://www.e-reading.club/chapter.php/127373/15/Il'in_-_Kuzovnye_raboty__Rihtovka,_svarka,_pokraska,_antikorroziiinaya_obrabotka.html дата обращения: 4.09.16
3. Кузовные работы. Автор: Ильин М.С. Дата публикации: 2009-11-12
4. Антикоррозийная обработка кузова автомобиля [электронный ресурс] - точка доступа http://spravkinet.ru/articles/body_of_car_4.html дата обращения: 03.09.16
5. Защита металлов от коррозии. Автор: Бойко Л., Толстолуцкий В., Савельева В. БГТУ им. В.Г. Шухова.

ПОЛНЫЙ КОМПЛЕКС ЗАЩИТЫ АВТОМОБИЛЯ

Варламов С.С., магистрант
Загородний Н.А., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

В процессе эксплуатации ЛКП автомобиля постоянно подвергается агрессивному воздействию окружающей среды. Это воздействие можно разделить на две группы: химическое и физическое.

Химическое воздействие это множество различных агрессивных факторов окружающей среды, самые выраженные из них мы опишем подробнее (1).

- Процесс окисления - осадки попадающие на поверхность лкп содержат в себе известь и множество различных химических элементов. Под воздействием ультрафиолетовых лучей это химический коктейль размягчает верхний слой лака и въедается в его поверхность, образуя помутнения и так называемые «известковые кратеры»/
- Грубые загрязнения – дорожный битум, частицы раскаленного металла, продукты горения и прочие грубые загрязнения попадая на лкп прочно закрепляются на его поверхности, и требуют химического или физического воздействия для последующего удаления.
- Химические соединения, такие как смола деревьев, помет птиц и прочие химическую реакцию с лакокрасочным покрытием, изменяя его структуру или цвет.

Физические воздействия на лкп представляют собой повреждения возникшие в последствии непосредственного контакта с поверхностью. Так называемые царапины можно разделить на три типа мелкие, средние и глубокие.

Виды автомобильных красок

Основное различие красок для автомобиля — это химический состав, именно в зависимости от него покрытия подразделяются на три вида:

- алкидная эмаль;
- меламиноалкидная эмаль;
- акриловая эмаль.

Технология полировки лакокрасочного покрытия автомобиля

Полировка кузова автомобиля – это не только придание машине внешнего вида нового автомобиля, но и устранение мелких повреждений, царапин, удаление мельчайших неровностей лакокрасочного покрытия и защита поверхности автомобиля от воздействия внешних факторов. (3)

Лакокрасочное покрытие очень легко покрывается микротрещинами и видимыми дефектами. Через эти дефекты в покрытии, на металл попадают агрессивные вещества, которые вызывают, сначала незаметный, процесс коррозии. Очаг коррозии постепенно увеличивается и, когда владелец замечает дефекты, то уже без хирургического вмешательства не обойтись - приходится тратить немалые деньги на локализацию, остановку процесса коррозии и восстановление лакокрасочного покрытия. Поэтому полировка это еще и профилактика защиты кузова.

Защитная полировка производится с целью защитить лакокрасочное покрытие от последующих негативных воздействий окружающей среды. Производится она с помощью безабразивных полиролей на основе восков или синтетических материалов.

Полировка кузова

Для получения качественного результата, необходимо выполнить полировку корпуса автомобиля несколько раз с применением различных составов. Процедуру полировки автомобиля начинают абразивным (среднеабразивным) составом с применением грубых (средних) кругов, для выведения, соответственно, глубоких (средних) царапин.

На круг наносят небольшое количество полировального состава и полируют, равномерно перемещая полировальный круг по обрабатываемой детали. На первом этапе полировка производится абразивным материалом при оборотах полировальной машинки 1000-2000 об/мин.

Важно: Ни в коем случае не рекомендуется сильно прижимать машинку к обрабатываемой поверхности и задерживаться долго на одном месте, так как это может повредить лакокрасочное покрытие до грунта, и тогда без перекраски детали не обойтись. Особенную аккуратность надо проявить при полировке углов и ребер кузовной части.

Сделать несколько горизонтальных движений, не прижимая сильно полировальную машинку к поверхности. После этого оценить результат. Он зависит от степени нажатия, используемых полировальных кругов и паст.

После проведения восстановительной полировки, кузов будет выглядеть как новый. Однако, если автомобиль постоянно эксплуатируется, то это продлится совсем недолго (от нескольких недель до нескольких месяцев). Для того, чтобы внешний вид сохранился на более длительный срок, необходимо выполнить защитную полировку.

Основное отличие от защитной полировки от восстановительной – использование безабразивных полировальных паст. Для проведения защитной полировки понадобится увеличить скорость вращения круга шлифовальной машинки до 3000-4000 об/мин, а сам круг заменить на более мягкий.

Суть защитной полировки состоит в том, что на кузов автомобиля наносят полироль, защищающую лакокрасочное покрытия от внешних факторов:

Влага, ультрафиолетовое излучение, химические вещества, механическое воздействие и т.п.

Общий срок действия полировки будет зависеть от многих факторов. Это реагенты зимой, солнце летом, качество и количество посещений автомойки. В среднем срок службы защитной полировки составляет около 6 месяцев.

1. Первичная обработка (подготовка к основной полировке)

Необходимо убрать мелкие вкрапления грязи в ЛКП

Для этого понадобится:

Синтетическая. Выбирается в зависимости от типа загрязнения.

Очиститель. Универсальный очиститель поверхности, быстрый способ убрать остатки рабочего продукта с поверхности.

2. Оценка состояния лака, шлифовка поверхности. Удаление грубых царапин

Для этого понадобятся:

Абразивные листы. Это наждачная бумага с градацией от 1500 до 3000 grit. Особенность ее применения заключается в том, что перед использованием её необходимо замочить в мыльной воде, не менее чем на 15 минут.

Ракель. Используется вместе с наждачной бумагой . Обеспечивает равномерное распределенние нагрузки на шлифуемую поверхность.

Виды, свойства и особенности автомобильных полиролей

С годами под воздействием различных факторов лакокрасочное покрытие машины стирается, становится блеклым и не таким блестящим. Для восстановления лкп, существуют специальные

автомобильные полироли, способные вернуть автомобилю первоначальный вид.

Виды автомобильных полиролей

Цветообогащенные

Полироли подбираются в зависимости от цвета лакокрасочного покрытия автомобиля. Основное их преимущество в том, что во время обработки кузова они заполняют микротрещины и сколы основного покрытия, восстанавливая его первоначальный цвет. Этот вид полиролей не обладает защитными свойствами и менее устойчив, чем остальные. Его нужно обновлять 2-3 раза в месяц.

Защитные

В состав защитных полиролей входят тефлон, уретан и прочие вещества, которые при нанесении на кузов вступают в реакцию с верхним слоем лакокрасочного покрытия. В результате повышается уровень защиты самого ЛКП. При правильном нанесении защитные свойства сохраняются от 2-х до 3-х месяцев. Для достижения большего эффекта такие полироли можно сочетать с другими защитными веществами, предназначенными для ухода за автомобилем. Защитные полироли ускоряют процесс коррозии, поэтому их нельзя наносить на сколы и трещины в покрытии, предварительно не обработав их другими специальными средствами.

Абразивные

В результате использования абразивных полиролей снимается верхний слой лакокрасочного покрытия автомобиля. В результате этого устраняются небольшие микротрещины, а цвет частично восстанавливается. Такие полироли следует использовать с осторожностью, обращая внимание на степень абразивности. Частое их применение может привести к тому, что слой ЛКП истончится и станет матовым.

Восковые

Бесцветные восковые полироли основаны на использовании натурального или синтетического воска. Их основная функция – придать автомобилю блестящий и ухоженный вид. Обладают низкими защитными свойствами. Отличаются густой консистенцией, поэтому требуют некоторых усилий при нанесении.

Полировочные пасты

Также обладают густой консистенцией, поэтому наносятся более толстым слоем, чем остальные виды полиролей. Подходят для использования на старых изношенных поверхностях. Одними из наиболее востребованных являются пасты типа «Top Sealers»,

отличающиеся большей устойчивостью к различным негативным погодным и механическим факторам. Находят широкое применение для автомобилей, которые эксплуатируются в сложных или экстремальных условиях.

Экспресс пасты

Созданы специально для быстрой и эффективной полировки поверхности кузова автомобиля. Обладают более жидкой консистенцией, которая позволяет без особых усилий полностью обработать автомобиль всего за несколько минут. Из недостатков можно выделить то, что они недолговечны и практически не имеют защитных свойств.

Более детальная информация о свойствах и порядке нанесения того или иного вида автомобильных полиролей находится на упаковке или в инструкции по применению. Просмотрев следующий видеоролик, вы сможете наглядно изучить порядок нанесения всех вышеперечисленных видов полиролей.

Полировка автомобиля своими руками-технология полировки.

При первоначально кажущейся одинаковости действий: зачистить – нанести – отполировать. Технология полировки кузова имеет несколько вариантов, каждый из которых отличается друг от друга. Зависят эти варианты полировки кузова авто, от: задачи стоящей перед мастером, от типа применяемых материалов для полировки и т.д. После полного ремонта кузова требуется один вид полировки, после ремонта сколок и царапин – другой.

Окружающая среда с систематическим постоянством воздействует на лакокрасочное покрытие (ЛКП) автомобиля. Время, свет, перепады температур, постоянная взвесь в воздухе над дорогой, содержащая в себе мелкие частицы дорожного покрытия – это всё негативным образом сказывается на состоянии ЛКП авто.

Со временем цвет кузова автомобиля тускнеет, но это не является большой проблемой. С таким видом нарушения состояния ЛКП вполне справится защитная полировка кузова автомобиля.

Защитная полировка автомобиля – периодическая процедура, которую владелец любого авто в состоянии провести своими руками в течение 30 минут. Защитная полировка автомобиля требует полиролей либо с восковой либо с тефлоновой основой.

Разница между двумя типами полироли в длительности выполнения ими своих защитных функций. Восковая полироль смывается полностью после 2-3 моек авто. Полироль на основе тефлона в состоянии выполнять свою задачу до 6-8 моек.

Защитная полировка кузова своими руками проводится водителем своими руками с периодичностью не реже 1 раза в 3-4 месяца. «Располировку» после нанесения полироли, можно производить как вручную, так и с применением обычной электродрели, со специальными насадками для полировки.

Абразивная полировка (восстанавливающая) – этот процесс производится, когда требуется полировка трещин, царапин или сколов ЛКП кузова автомобиля. Он сложнее, чем защитная полировка, и требует большего времени, и соблюдения определенной технологии.

Абразивная полировка авто своими руками, производится при наличии на лакокрасочном покрытии видимых царапин и микротрещин. Абразивная технология полировки кузова включает в себя подготовку ЛКП, а именно: удаление верхнего оксидного слоя покрытия кузова, выравнивание царапин и затертостей.

Для полировки царапин на кузове их предварительно обрабатывают шлифовальными шкурками. Размеры наждачной шкурки подбираются в зависимости от глубины существующих сколов и трещин ЛКП.

После зачистки зашлифованная поверхность обрабатывается абразивной пастой, затем полируется по методу защитной полировки. Абразивная полировка автомобиля своими руками проводится участками (подетально). Это более качественный и эффективный метод, который применяется профессионалами.

Нанополировка – вид полировки кузова, который отличается от традиционной полировки лишь применением новых по качественному составу средств.

Требования при проведении полировки кузова своими руками

По сути своей, полировка кузова автомобиля своими руками не составляет большого труда. Но при этом она требует внимательности, терпения и соблюдения технологических процессов. Да, и естественно применения именно тех материалов и оборудования, которые предназначены для полировки.

вначале кузов авто тщательно моется;

следующий важный момент – удаление с кузова всех битумных отложений (капель, пятен). Их удаление производится при помощи специальных средств либо дедовскими методами: уайт-спирит, солярка. Главное не перестараться с применением технических жидкостей;

погоду для полировки автомобиля нужно выбирать не солнечную, не холодную и желательно без повышенной влажности. Лучше всего

проводить полировку кузова в гараже. Естественно предварительно позаботившись о нормальном освещении;

для нанесения полироли на кузов существуют мягкие аппликаторы. Располировку нанесенной полироли производить мягкой сухой тканью. Это если вы производите ручную полировку;

очень важно знать, что после полной покраски авто или какого-либо участка кузова, не желательно проводить защитную полировку. Дело в том, что в течение 1-2 месяцев происходит полимеризация ЛКП, а полироль будет препятствовать этому процессу.

Последним этапом полировки является проверка качества. Для того, чтобы убедиться в качественно проведенной полировке кузова, облить машину водой. Капли воды будут собираться в более крупные капли и стекать.

Список литературы:

1. Покрытие автомобиля жидким стеклом [электронный ресурс] - точка доступа http://www.e1.ru/talk/forum/read.php?f=155&i=877775&t=877775&page=6 Дата обращения: 3.09.16
2. Виды автомобильных красок автомобиля [электронный ресурс] - точка доступа https://www.drive2.ru/b/1910435/ Дата обращения: 3.09.16
3. Технология полировки автомобиля [электронный ресурс] - точка доступа.http://www.insafe.ru/page/Tehnologiya_polirovki_avtomobilya,_Instruktsiya_po_polirovke_kuzova_.html Дата обращения: 3.09.16
4. Защита металлов от коррозии Автор: Бойко Л. Толстолуцкий В. Савельева В.

ПРОВЕРКА КОНЦЕНТРИЧНОСТИ НАРУЖНОЙ И ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВТУЛКИ

Голдобина В.Г., канд. техн. наук, доц.,
Павлова М.А., магистрант
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Втулка является частью механизма, выполняемая в форме цилиндра или конуса, имеющая отверстие для установки других деталей. Применяются втулки для уменьшения износа деталей подвижных узлов или как промежуточное звено между базовой и присоединительной деталью. Без втулок становится невозможной работа транспортных средств и промышленных станков. Втулки делятся на несколько групп: подшипниковые (скольжения), опорные, кондукторные, втулки к фрезерным оправкам и широкого назначения. Особое место в механизмах, машинах и технике занимают подшипниковые втулки скольжения.

Наружная посадочная (базовая) поверхность подшипниковых втулок преимущественно цилиндрическая гладкая, на некоторых имеется буртик (рис. 1), есть и другие исполнения [1]. Центральное отверстие втулок гладкое цилиндрическое или коническое.

Рисунок 1 - Подшипниковые втулки скольжения

Одним из требований, предъявляемых к втулкам, является отклонение от концентричности и допуск концентричности наружной и внутренней поверхности втулки.

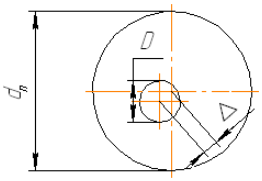


Рисунок 2 - Отклонение от

Отклонение от концентричности (рис. 2) – расстояние в заданной плоскости между центрами профилей (линий), имеющих номинальную форму окружности [2].

Допуск концентричности в диаметральном выражении –

концентричности: Δ – смещение осей; d_n – наружный диаметр втулки; D – диаметр отверстия втулки

удвоенное наибольшее допускаемое значение отклонения от концентричности, – $T\Delta_к$.

У втулки оси наружной поверхности и отверстия нематериальны, соответственно измерение смещения осей (рис. 2) становится невозможным. Материализовать ось наружной поверхности можно с установкой втулки на оправку по отверстию или центровочным пояскам (фаскам), выполненные в отверстие. При вращении оправки с втулкой на полный оборот прибор будет фиксировать радиальное биение реального профиля наружной поверхности втулки относительно отверстия – *первый способ*. В реальности по этому способу фиксируется радиальное биение наружной поверхности втулки относительно собственной оси вращения, полученной в процессе обработки – Δ_p, и смещение осей – Δ, которое должно быть в пределах отклонения от концентричности (см. рис. 2). Таким образом, проверяемое радиальное биение представляет собой сумму:

$$\sum \Delta_{pк} = \Delta_p + \Delta. \qquad (1)$$

По такому же принципу материализуется ось отверстия втулки. При этом втулка закрепляется в контрольном приспособлении по наружной поверхности. Реальный профиль отверстия, при вращении на полный оборот, прибор будет показывать как радиальное биение – *второй способ*.

В настоящей работе поставлена задача, при отсутствии материальных осей наружной и внутренней поверхности втулки определить их концентричность по реальным радиальным биениям.

Из рассмотренных способов проверки радиального биения наружной поверхности втулки и ее отверстия, предпочтительным, как наиболее применяемым, является первый способ. При проверке по первому способу используются универсальные приборы, для проверки радиальных биений наружных поверхностей деталей тела вращения, типа ПБ. Такие приборы широко применяются на производствах. При проверке по второму способу требуются специальные контрольные приспособления, которые разрабатываются для каждой индивидуальной детали. Исходя из этого, в работе рассматривается первый способ – контроль радиального биения по наружной поверхности с установкой втулки на оправку. Этот способ использовался при проведении экспериментов.

Для установления радиального биения производится замена параметров выражения (1) на допуски соответствующих составляющих. Итак, $\sum\Delta_{рк}$ заменяется на $T\Delta_{рк}$ – допуск радиального биения наружной поверхности втулки относительно отверстия с учетом концентричности. Радиальное биение $\Delta_р$ на $T\Delta_р$ – допуск радиального биения наружной поверхности втулки относительно собственной оси вращения. Этот допуск можно представить как:

$$T\Delta_р = 0{,}5 \cdot d_{n\max} - 0{,}5 \cdot d_{n\min} = 0{,}5 \cdot (d_{n\max} - d_{n\min}).$$

Подставив приведенные значения в выражение (1), выполнено следующее преобразование:

$$T\Delta_{рк} = (0{,}5 \cdot d_{n\max} + \Delta) - (0{,}5 \cdot d_{n\min} - \Delta) =$$

$$= 0{,}5 \cdot d_{n\max} + \Delta - 0{,}5 \cdot d_{n\min} + \Delta =$$

$$= (0{,}5 \cdot d_{n\max} - 0{,}5 \cdot d_{n\min}) + 2 \cdot \Delta = 0{,}5\left(d_{n\max} - d_{n\min}\right) + 2 \cdot \Delta, \quad (2)$$

где $2 \cdot \Delta = T\Delta_к$ – допуск концентричности в диаметральном выражении.

Выполнив замену в выражении (2), окончательно формула примет вид:

$$T\Delta_{рк} = T\Delta_р + T\Delta_к. \quad (3)$$

Таким образом, радиальное биение наружной поверхности втулки при проверке по отверстию с учетом допуска концентричности может быть задано по формуле (3).

Проводились экспериментальные исследования по обработке втулок на токарном станке по двум вариантам. По первому варианту обработка втулок выполнялась в последовательности: – установка прутка в патроне; – подрезка торца; – обтачивание наружной цилиндрической поверхности; – отрезка детали; – установка в патроне отрезанной детали; – обработка отверстия в последовательности: сверление, зенкерование, развертывание; – снятие фаски в отверстии.

По второму варианту втулки обрабатывались в последовательности: – установка прутка в патроне; – подрезка торца; – обтачивание наружной цилиндрической поверхности; – обработка отверстия в последовательности: сверление, зенкерование, развертывание; – снятие фаски в отверстии; – отрезка детали.

Вывод. В обоих вариантах после обработки наблюдалось смещение центрального отверстия относительно оси вращения детали. При

проверке радиального биения наружной поверхности втулки относительно отверстия наибольшее отклонение от концентричности было у втулок, обработанных по первому варианту.

Список литературы:

1. https://www.google.ru/search?q=Подшипниковые+втулки&newwindow
2. ГОСТ 24642-81 Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски формы и расположения поверхностей. Основные термины и определения.

ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТЕЙ ЛАЗЕРОМ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Дуганов В.Я., канд. техн. наук, доц.,
Корнюшина А.Г., студент
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Лазерная обработка основана на применении мощного светового потока, вызывающего плавление или испарение обрабатываемого материала. Источником светового излучения является лазер. Работа лазера основана на принципе стимулированного генерирования светового излучения. Атом вещества, имея определенный запас энергии, находится в устойчивом энергетическом состоянии и располагается на определенном энергетическом уровне. Для того чтобы атом вывести из этого состояния его необходимо возбудить. Возбуждение активного вещества осуществляется световой импульсной лампой. Длительность светового импульса около 0,01 с. Световой импульс облучает активную среду. Возбужденный при этом атом излучает сразу два фотона. Фотоны возбуждают атомы активной среды. При взаимодействии фотонов с возбужденными атомами возникают лавинообразные потоки фотонов в различных направлениях. Вследствие этого система становится неустойчивой, в активной среде индуцируется световой поток. Световой поток, испускаемый активной средой, фокусируется оптической системой и направляется на обрабатываемый материал.

Энергия светового импульса обычна, невелика и составляет от 20 до 100 Дж. Выделяется эта энергия в миллиардные доли секунды и сосредотачивается в луче диаметром около 0,01 мм. Сфокусированное лазерное излучение, попадая на непрозрачные материалы , вызывает их локальный нагрев до 6000…800^{0} С, плавление или интенсивное испарение. Для осуществления размерной обработки наиболее часто используют импульсы с длительностью 0,5…1,5 мс. В качестве источника питания в лазерных установках используется сетевой трансформатор высокого напряжения (3,5…10 кВ), который обеспечивает запас энергии в блоке конденсаторных батарей до 50 кДж. В качестве источника накачки используются импульсные ксеноновые лампы.

В настоящее время лазерную технологию применяют для различных операций микрообработки, раскроя и резки материалов,

упрочняющей поверхностной обработки, лазерной сварки и наплавки и для других целей.

Все производственные процессы с использованием лазеров реализуются с помощью технологических лазерных установок. При этом независимо от назначения и типа применяемых лазеров установки имеют общую структурную схему. На рис.1 представлена структурная схема лазерной технологической установки.

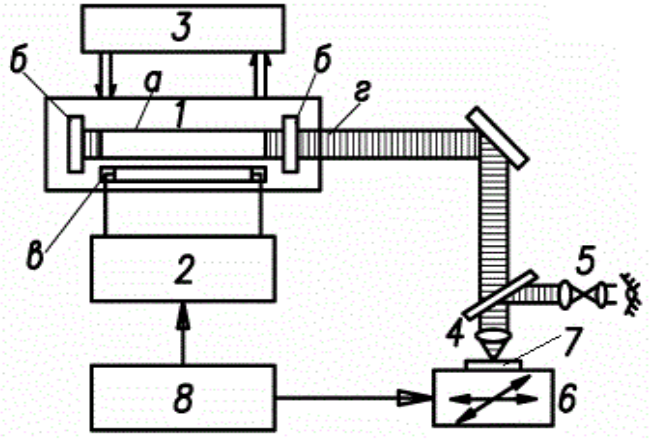


Рисунок 1 – Структурная схема лазерной технологической установки
1-лазерная головка; а-рабочий элемент; б-зеркала резонатора; в-лампа накачки; г-лазерное излучение; 2-источник питания; 3-блок охлаждения; 4-оптичес-кая система, формирующая излучение; 5-наблюдательная оптическая система; 6-рабочий стол; 7-деталь; 8-блок управления.

Лазерная обработка материалов имеет ряд существенных преимуществ:

- Высокая концентрация подводимой энергии и локальность позволяют производить обработку только поверхности участка материала без нагрева остального объема и нарушения структуры и свойств, что приводит к минимальному короблению деталей. Кроме того, высокая концентрация подводимой энергии позволяет провести нагрев и охлаждение обрабатываемого объема материала с большими скоростями при очень малом времени воздействия.
- Возможность регулирования параметров лазерной обработки в широком интервале режимов позволяет разработать обширный ряд

методов поверхностной обработки, регулировать структуру поверхностного слоя.

- Отсутствие механических усилий на обрабатываемый образец дает возможность обрабатывать хрупкие и ажурные конструкции.
- Возможность обработки на воздухе, легкость автоматизации процессов, отсутствие вредных отходов при обработке определяет высокую технологичность лазерного луча.
- Возможность транспортировать излучение на значительные расстояния и подвод его с помощью специальных оптических систем в труднодоступные места позволяет производить обработку в тех случаях, когда другие методы применить невозможно.
- Высокая производительность процессов.
- Быстрая окупаемость капитальных затрат на оборудование (0,5 – 1 год).

Одним из основных процессов получения заготовок в машиностроении является резка металла. Для этого широкое применение находят самые разнообразные ее методы. Традиционно используются механические способы резки. Однако у механических способов резки есть ряд недостатков - невысокая производительность, малая стойкость режущего инструмента, а также проблематичность, а порой и полная невозможность разнофигурной резки по круглым и кривым контурам.

В поисках решения этих проблем в машиностроение пришли иные способы разделения материалов, а именно лазерная резка. Лазерная резка лишена многих вышеперечисленных проблем. Лазерное излучение, обеспечивая высокую концентрацию энергии, позволяет разделять практически любые металлы и сплавы независимо от их теплофизических свойств. При этом можно получать узкие разрезы с минимальной зоной термического влияния. При лазерной резке не требуется механическое воздействие на обрабатываемый металл, а возникающие деформации, как временные в процессе резки, так и остаточные после полного остывания, незначительны. Это позволяет осуществлять лазерную резку с высокой степенью точности. Благодаря большой плотности мощности лазерного излучения обеспечивается высокая производительность, сочетающаяся с высоки качеством поверхности среза.Основное преимущество лазерной резки - ее автоматизация и компьютеризация, возможность переходить с одного типа деталей любой геометрической сложности на другой тип без ощутимых затрат времени.

Еще одни важным направлением применения лазеров в машиностроении является лазерная сварка. Этот способ открыл новые перспективы в соединении металла. Теперь уже нет таких издержек производства, как при классической дуговой сварке. При лазерной сварке отсутствуют толстые швы, появляющиеся в старых видах сварки. Лазерную сварку производят как на воздухе, так и в среде защитных газов: аргона, СО2. Вакуум, как при электронно-лучевой сварке, здесь не нужен, поэтому лазерным лучом можно сваривать крупногабаритные конструкции. Лазерный луч легко управляется и регулируется, с помощью зеркальных оптических систем легко транспортируется и направляется в труднодоступные для других способов места.

Ещё одним направлением применения промышленных лазеров является обработка поверхностей. Лазерное излучение позволяет производить обработку только поверхностного участка материала без нагрева остального объема и нарушения его структуры и свойств, что приводит к минимальному короблению деталей. В результате очевидны экономические и технологические преимущества. Лазерная обработка позволяет оперировать в широком интервале режимов. Это позволяет достигать необходимых физических свойств поверхности, таких как твердость, износостойкость, шероховатость, а также геометрические размеры обработанных участков. Отсутствие механических усилий на обрабатываемый материал дает возможность обрабатывать малопрочные и тонкостенные изделия.

Список литературы:

1. «Основы лазерной обработки материалов» Григорьянц А.Г., «Машиностроение»,1989,301с.
2. «Лазерная обработка материалов» Рыкалин Н.Н., «Машиностроение», 1975,296с.
3. «Лазерная техника и технология» Григорьянц А.Г., Соколов А.А ,1988,191с.

ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТЕЙ ПЛАЗМОЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Дуганов В.Я., канд. техн. наук, доц.,
Петрук Е.В., студент
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Обработка поверхностей плазмой в машиностроении

Плазма является частично или полностью ионизованным газом, образованным из нейтральных атомов (или молекул) и заряженных частиц (ионов и электронов). Она имеет малую плотность (~10–7 кг/м3), но на ее заряды действуют огромные электромагнитные силы, созданные внешним источником питания. Ни в одной механической машине не получишь столь высоких ускорений и скоростей частиц, как в плазменном ускорителе. Поэтому плазменную технологию применяют там, где можно обойтись малым количеством вещества, но требуется большая энергия частиц и легкое управление их потоками.

На данный момент вакуумные ионно-плазменные технологии широко используется в различных областях промышленности. Это отрасли машиностроения, судостроения, авиации, металлургии и т.п.

1. Технология плазменного нанесения защитного слоя против коррозии металлов

Одним из наиболее эффективных средств повышения эксплуатационных свойств деталей является нанесений покрытий. Одной из целей нанесения слоя какого-либо материала является защита металлов от коррозии. Существует множество методов и технологий нанесения защитных покрытий, но более прогрессивные методы получения покрытий являются плазменные методы благодаря своей универсальности, эффективности и легкости в автоматизации.

Высокоэнергетические методы нанесения покрытий предполагают нагрев наносимого материала высокотемпературным источником до температуры плавления, образование направленного потока, перенос этим потоком материала и формирование покрытия на поверхности изделия. При плазменном напылении высокотемпературным источником является плазменная струя, полученная нагревом газа в электрическом дуговом разряде и сжатием в узком канале сопла. В зависимости от выбранного плазмообразующего газа и параметров дуги температура плазмы может достигать 15 000К, скорость истечения струи составляет 1000-3000м/с. Материал для напыления может быть

изготовлен в виде порошка, стержня или проволоки. Формирование покрытия происходит последовательной укладкой деформирующихся частиц, что приводит к образованию слоистой арочной структуры покрытия.

Некоторые из видов антикоррозионных покрытий:

- Алюмокерамические покрытия представляют собой композиционный материал, который после напыления представляет собой алюминиевую матрицу с равномерно распределенными в нем частицами керамики. Покрытие имеет прочность на отрыв – 35 МПа. Основной особенностью процесса является применение смеси горючего углеводородного топлива для получения плазменной струи. В струе плазмы продуктов сгорания обеспечивается эффективный и равномерный нагрев и разгон всех частиц материала. Покрытие предназначено для защиты от коррозии конструкций из черных металлов в сильно и слабоагрессивных средах.
- Силикатно-эмалевые покрытия обладают комплексом уникальных свойств, обусловленных стеклообразной структурой. В области защиты металлов от коррозии силикатно-эмалевые покрытия занимают одну из ведущих позиций. При напылении эмалевых покрытий в качестве плазмообразующего газа используется аргон в смеси с небольшим количеством водорода, грануляция частиц 50-60 мкм, расстояние от сопла до подложки около 100 мм. Покрытие характеризуется достаточно высокой прочностью сцепления и однородностью.

2. Плазменное поверхностное упрочнение металлов

Довольно успешно применяется плазменное поверхностное упрочнение металлов. И одной из разновидностей плазменного поверхностного упрочнения является легирование поверхностного слоя металла.

Ниже приведены некоторые виды плазменного легирования различными материалами.

Азотирование

Плазменное азотирование – технология насыщения поверхностных слоев стальных изделий в плазме, содержащей азот при пониженном давлении, которая возбуждена электрическим разрядом. Модификация поверхности детали происходит за счет поступления на нее атомарного азота и бомбардировки ионами азота из плазмы газового разряда, имплантации его атомов через эту поверхность и дальнейшей диффузии вглубь детали.

При этом с помощью плазменного азотирования можно улучшить следующие характеристики изделия:

- Твердость
- Износостойкость
- Усталостную выносливость
- Теплостойкость
- Коррозионную стойкость

Карбонизация

Плазменная карбонизация – процессы плазменной химико-термической обработки, в которых поверхностные слои детали легируются углеродом. Эти процессы мало отличаются от азотирования, и во многом эти процессы аналогичны.

Но есть и существенная разница. Процессом низкотемпературной карбонизации возможно не только сохранить коррозионные свойства нержавеющих сталей, но и повысить твердость и износостойкость. С такой задачей азотирование уже не справлялось.

Оксидирование

Плазменное оксидирование применяется для обеспечения более полной защиты стальных деталей от коррозии или придания деталям благородного черного цвета. Плазменное оксидирование проводят в кислородсодержащей плазме, содержащей воздух или кислород. При оксидировании ионы кислорода достигают поверхности изделия с энергиями, достаточными для их проникновения в поверхностный слой и частичного его распыления. Качество оксидных пленок, полученных этим методом, сравнимо с качеством пленок, выращенных при термическом оксидировании, а по некоторым параметрам превосходит их.

3. Плазменная электродуговая технология очистки поверхностей

Одна из проблем машиностроительной промышленности очистка изделий от окалины, ржавчины, масляных пленок и технологических смазок, технологических отложений на поверхностях. Более эффективно решает эту проблему плазменная электродуговая технология очистки поверхностей.

Очистка поверхности металлов происходит в катодных пятнах электрической дуги, которые хаотически «перемещаются» по очищаемой поверхности. В катодных пятнах из-за большой плотности тока взрывной электронной эмиссии (10^{11}-10^{12} А/м^2), возникающей у микровыступов на поверхности происходит быстрый разогрев,

плавление, взрывное испарение микроучастков поверхности изделия, ионизация паров материала катода и всех поверхностных загрязнений и возникновение почти полностью ионизованной плазмы.

Очищенная поверхность в результате модификации и активации ее плазмой приобретает высокую адгезионную способность ко всем существующим на сегодня защитным покрытиям (металлическим и полимерным) и ко всем видам технологических смазок. После плазменной электродуговой очистки адгезия к защитным покрытиям возрастает в четыре и более раз по сравнению со всеми существующими способами очистки и подготовки поверхности, а это значит, что защитное покрытие не будет отслаиваться, и изделие не будет разрушаться под действием коррозии.

Основное достоинство плазменного метода является стабильное качество обработки с минимальным разбросом от детали к детали, от загрузки к загрузке. Также плазменную обработку можно считать экологически чистой, ресурсо- и энергосберегающей, то есть экономически выгодным процессом.

Недостатком метода является сложность и высокая цена оборудования для проведения процесса (включая создание специального газовой среды).

Список литературы:

1. Берлин Е.В. Плазменная химико-термическая обработка поверхности стальных деталей/ Е.В. Берлин, Н.Н. Коваль, Л.А. Сейдман; отв. ред. Ю.Ф. Иванов. М.: Техносфера, 2012. 464с.
2. Смиронов Б.М. Введение в физику плазмы / Б.М. Смирнов. 2-е изд., перераб. М.: Наука, 1982. 224 с.
3. Пузряков А. Ф. Теоретические основы технологии плазменного напыления: учеб. пособие / А.Ф. Пузряков. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. 356с.
4. Сенокосов Е.С., Сенокосов А.Е. Плазменная электродуговая очистка металлических изделий// Металлург. 2005. №4. с.44.

О СОСТОЯНИИ ВОПРОСА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

Жуков Е.М., канд. техн. наук, доц.,
Авдеева А.А. студент
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Благодаря передовым достижениям науки и техники в мире постоянно опережающими темпами развивается машиностроение, что способствует развитию материально-технической базы. Всесторонняя автоматизация процессов на всех этапах жизненного цикла изделия от идеи создания до производства и поставок готовой продукции, а также анализ этих идей с целью обновления и постоянного улучшения качества, является основой такого машиностроения.

Анализ перспектив автоматизации производства показывает, что основным направлением является создание гибких производственных систем (ГПС) механической обработки, т.е. применение станков с числовым программным управлением (ЧПУ), транспортных систем, загрузочных и складских роботов, управляемых от ЭВМ [8]. Эти системы способствуют решению проблемы по улучшению труда работающих, постепенно стирая грани между умственным и физическим трудом, повышает профессиональный уровень работающих, освобождает от тяжелого физического труда, что и приводит к повышению производительности труда.

Проектирование и реконструкция производственных участков требуют значительной аналитической проработки вопросов организации производства, оптимизации материальных потоков, снижения производственного цикла изделий. Редко удаётся точно спрогнозировать поведение производственной системы с учетом влияния огромного числа параметров: размера партии, расписания запуска, вероятности отказа оборудования, затрат времени на передачу заготовок между станками и др. К сожалению, большее внимание при организации производства уделяется совершенствованию оборудования и технологии [4]. Поэтому при проектировании гибких производственных систем необходимо пользоваться процедурой валидации, с помощью которого возможно предотвращать ошибки при планировании, а также обеспечение функциональности системы. Валидация представляет собой процедуру, которая проводится при необходимости и обеспечивающую высокую вероятность того, что

конкретный метод, система или процесс будет последовательно приближаться к результатам, отвечающим заранее установленным критериям приемлемости.

Широкое распространение в современном производстве получили гибкие автоматизированные участки механообработки, которые позволяют успешно решать задачи обеспечения конкурентоспособности. В задачу планировки таких производственных участков входит проектирование наиболее оптимальной расстановки технологического оборудования, при которой уменьшатся капитальные затраты на вспомогательное оборудование и времени нахождения детали в системе, улучшение использования производственных площадок и повышает мобильность производства [5, 7].

Проектирование компоновочно-технологического решения (КТР) автоматизированного производства можно рассмотреть на примере работ Бондаренко В.Н. и Жукова Е.М. [1, 2, 3, 6].

В данных работах можно выделить то, что есть такие участки, на которые накладываются ограничения технологического характера, т.е. которые во время проектирования компоновочно-технологического решения остаются закрепленными на участках проектируемого цеха. К ним можно отнести участки термической обработки, сборка окончательной продукции, склад заготовок и некоторые другие. Затем площадь цеха разделяют на участки, на которых может быть размещено основное технологическое оборудование. На каждый из этих участков может стать любая группа станков (при условии достаточной площади участка), и задача проектирования состоит в том, чтобы выбрать наиболее оптимальный вариант исходя из условия выполнения целевой функции – минимизация грузовых потоков всей проектируемой системы. Задача решается матричным методом посредством полного перебора всех возможных вариантов КТР ГПС.

Практическое применение метода синтеза КТР и разработанной программы на ОАО «Белгородский завод горного машиностроения» позволило облегчить работу главного технолога, увеличить производительность труда проектировщика, повысить качества проекта и выбрать один из оптимальных вариантов компоновки применительно к существующим условиям производства [6]. Источником эффекта метода построенного на основе программного комплекса проектирования КТР ГПС являются повышение качества проектных решений, повышение производительности труда и сокращение транспортных расходов.

Для реализации указанного выше метода была разработана программа, реализующая методику синтеза компоновочно-технологических решений оптимальных по интенсивности грузопотока (рис. 1).

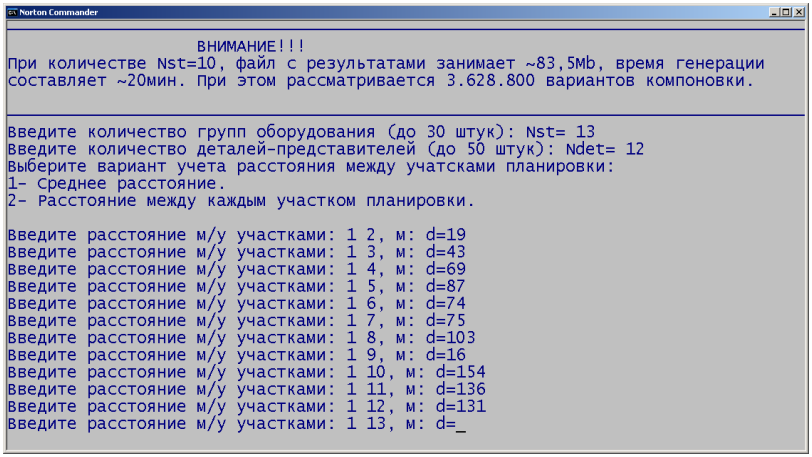


Рисунок 1 – Окно программы - «Ввод» исходных технологических данных

Недостатком применения данной программы для конечного пользователя является ее реализация в системе DOS и отсутствие графического интерфейса.

Логическим продолжением разработки системы проектирования КТР производственных систем можно назвать использование CAD систем имеющих библиотеки геометрических фигур и размеров, например, зданий, рабочих мест и оборудования [5]. В работе Вороненко В.П., Соколовой Я.В. для решения этой задачи была выбрана CAD система AutoCAD, которая имеет все необходимые возможности: параметризация, наличие стандартных библиотек элементов конструкций зданий, возможность создания собственных библиотек, возможность интеграции с другими приложениями. Задача планирования производственных участков авторами решается эврестическим алгоритмом, в основу которого используется размещение станков в зависимости от интенсивности обращений станков к транспортной системе (рис. 2).

Как известно, эвристические методы это логические приемы и методические правила научного исследования, которые используются в

условиях неполноты исходной информации и отсутствия четкой программы управления[1].

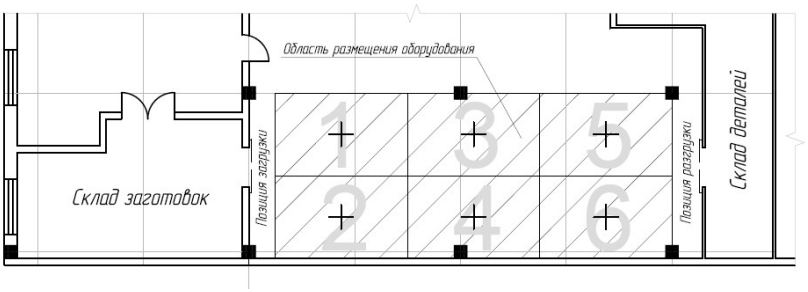


Рисунок 2 – Пример планировки с указанием мест для размещения оборудования

Применение такого метода не позволяет рассмотреть все возможные варианты компоновки ГПС и «за кадром» могут остаться действительно оптимальные решения, имеющие более высокие экономические показатели и более обоснованные к внедрению в условиях производства.

Дальнейшее развитие системы проектирования КТР авторами видится в синтезе двух описанных выше методов: 1. генерация и математический расчет всех возможных вариантов компоновок ГПС учитывающих технологические маршруты, количество основного технологического оборудования, номенклатуру и массу выпускаемых изделий, годовой объем выпуска и размеры транспортных партий изготавливаемых деталей; 2. применение возможностей CAD системы позволяющей проводить параметризацию, разрабатывать собственные библиотеки основного технологического оборудования, а также имеющей в наличие стандартных библиотек элементы конструкций зданий, учитывающие размеры участка, габаритные размеры оборудования, зон ремонта и обслуживания, сетки колонн и высоты помещения, проходов и проездов, технологических норм расстановки оборудования.

Работа выполнена в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» по Соглашению №14.577.21.0193

[1] Эвристические методы [Электронный ресурс]. Википедия. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Эвристика#cite_note-2 (дата обращения: 26.09.2016)

от 27 октября 2015 г. «Разработка роботизированного комплекса для реализации полномасштабных аддитивных технологий инновационных материалов, композитов, конструкций и сооружений».

Список литературы:

1. Бондаренко В.Н., Жуков Е.М. О подходе к решению структурно-компоновочных задач гибких производственных систем// Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2003 №1 С.14-16.
2. Бондаренко В.Н., Жуков Е.М. Моделирование компоновочно-технологического решения гибкой производственной системы с целью оптимизации расстановки основного технологического оборудования//Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2006 Т.11 №4 С.594-596.
3. Бондаренко В.Н., Жуков Е.М. Оптимизация компоновки ГПС по критерию грузопотока// СТИН. 2006. №7. С.7-9.
4. Вороненко В.П., Михайлов Е.В., Соколова Я.В. Применение имитационного моделирования при проектировании производственных участков// Вестник МГТУ Станкин. 2015. №3(34). С.29-33.
5. Вороненко В.П., Соколова Я.В. Алгоритм проектирования технологических планировок предметно-замкнутых участков механообрабатывающих цехов серийного производства//Вестник МГТУ Станкин. 2012. Т.2 №1. С.11-14.
6. Жуков Е.М. Компоновочно-технологическое проектирование автоматизированного механообрабатывающего производства деталей энергетического и горнодобывающего комплекса// Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Белгород, 2006.
7. Схиртладзе А.Г., Вороненко В.П., Борискин В.П. Проектирование систем в машиностроении. Учебное пособие. Старый Оскол: Изд. ООО «Тонкие наукоемкие технологии», 2015. 432с.
8. Хватов Б.Н. Гибкие производственные системы. Расчёт и проектирование. Учебное пособие. Тамбов: Изд. ГОУ ВПО "Тамбовский государственный технический университет" (ТГТУ), 2008. 112с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ШАГАЮЩЕГО ДВИЖИТЕЛЯ И РОБОТИЗИРОВАННЫХ МАШИН НА ЕГО ОСНОВЕ

Жуков Е.М., канд. техн. наук, доц.,
Тетерина И.А., аспирант,
Крючков Н.Р., студент
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Проектирование и создание промышленных роботов, способных значительно облегчить работу персонала на многих участках производства или даже упразднить его, а также автоматических систем, которые могут которые могут проводить работы в опасных условиях для человеческого организма, является актуальной технической и научной задачей. Одним из важных и востребованных классов роботов являются роботы с шагающими движителями, которые могут использоваться для перемещения по малопроходимой местности.

Не смотря на то, что в настоящее время преобладают колесные и гусеничные транспортные средства, известно, что существенные преимущества при перемещении по труднопроходимой поверхности имеют системы передвижения с шагающим движителем. Необходимость разработки средства передвижения, обладающего сравнительно более высокой проходимостью, определяется потребностью в перемещении грузов большого веса и габаритов через местность с грунтами, имеющими низкую несущую способность. В отличие от колёсной и гусеничной техники, которая имеют непрерывную колею, при движении шагающей машины для опор используются всего лишь несколько точек на поверхности. Помимо этого, уступ высотой в радиус колеса непреодолим для большинства колесных машин. Колесный транспорт также малоэффективен при движении по труднопроходимым грунтам, таким как снег, песок, размокшая глина, болотистые почвы и т.д. Движение по такой местности приводит к значительному зарыванию колес в грунт, усугубляемое пробуксовыванием, что в сочетании со значительной работой, направленной на деформацию грунта, приводит к увеличению затрат энергии на движение и ухудшению тягово-сцепных свойств техники, резкому увеличению сопротивления движению, ограничивает её проходимость. Большой вес машины и перевозимого груза лишь усилят проблемы перемещения по такой местности. Гусеничный движитель превосходит колесный по тягово-сцепным свойствам. Он

имеет значительное преимущество при движении по труднопроходимой местности, однако их использование может оказаться губительным для поверхностного слоя почвы.

Глубина непрерывной колеи, оставляемой колёсной и гусеничной техникой на грунтовой дороге, может быть довольно значительной по вине пробуксовывания колёс и гусениц. Это может сделать такие дороги непроходимыми в дождливые времена года или во время паводков. В тундре такая колея, оставленная даже одной машиной, не зарастает годами. На склонах холмов и гор она может вызвать оползание грунтов, является очагом образования оврагов. В то же время животные и люди способны без особых проблем перемещаться по большей части местности, непреодолимой колёсным и гусеничным транспортом, при помощи своих ног. Шагающий аппарат не оставляет сплошной колеи, чем значительно меньше наносит повреждения почве, что может быть важным для конкретной экосистемы.

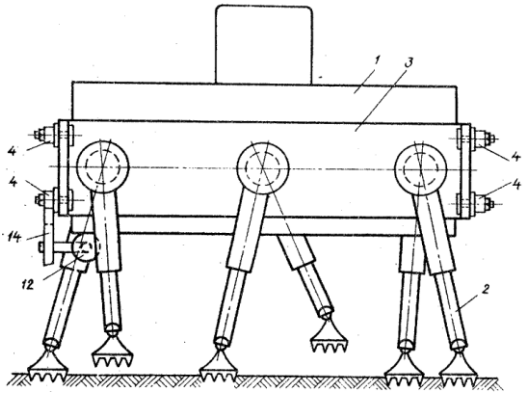


Рисунок 1 – Концепция шагающей платформы

В настоящее время использование машин с шагающим движителем (рис. 1) [4] может сильно облегчить доставку крупнотоннажных грузов и точного оборудования к местам проведения добычи нефти и газа, к газгольдерам, ректификационным колоннам в малоосвоенных районах страны, в условиях бездорожья; доставку грузов для труднодоступных населённых пунктов. Но стоит учесть, что в связи с перемещением по неподготовленной местности, в связи с возникающими перегрузками, носящими зачастую случайный характер, шагающий движитель нуждается в защите от критических перегрузок. Вопросы защиты адаптивной системы управления и движителей ранее были рассмотрены в работе одного из авторов [3].

Шагающие машины, предполагаемо, можно эффективно использовать для ликвидации последствий техногенных катастроф, в частности, при авариях на АЭС, при которых ионизирующее излучение

может нанести непоправимый вред здоровью человека, нести угрозу его жизни. Также известны проекты в космической сфере, где шагающие машины могут сыграть ощутимую роль в исследовании поверхности планет солнечной системы и их спутников. Использование шагающих машин перспективно для проведения подводных работ, при эксплуатации и обслуживании каких либо установок, резервуаров и хранилищ имеющих труднодоступные для человека места, помощи в сельскохозяйственной отросли ит. д.

Рисунок 2 – Шагающий харвестер GreenDeere, используемый для ведения лесного хозяйства (Фото взято с сайта researchgate.net)

Однако имеющиеся преимущества шагающего аппарата нивелируются его высокой сложностью выполнения. Большое число управляемых степеней свободы аппарата требуетот движителя сложной компоновки, применения высокоэффективных приводов, специальной организации стоп, которая позволит рассеивать энергию ударов при перемещении, и т.д. В систему управления должна поступать информация о местности, после чего должна обеспечиваться её переработка и принятие решений о характере дальнейшего передвижения, контроль над его реализацией. Система управления аппаратом и её создание – основная проблема шагающего робота, так как опыт создания даже самых сложных САУ невозможно использовать для построения системы управления шагающим роботом.

Варианты исполнения шагающих движителей, созданных для разных целей, применение той или иной степени автоматизации управления движения, в первую очередь, будет зависеть от области и условий применения шагающей машины (рис. 2). Информационные роботы, выполняющие работу в экстремальных условиях, должны иметь на борту сложные вычислительные комплексы. В то же время, применение таких систем для технологически шагающих машин будет нецелесообразным. Помимо того следует оценить требования к технологическим характеристикам шагающей машины. Так шагающие

машины, предназначенные для транспортировки хрупких грузов или чувствительной аппаратуры, должны быть обеспечены большой комфортабельностью движения, чего не требуется для машины, применяемой в качестве тягового органа на пашне. Для разных машин может потребоваться разная степень манёвренности.

Для того чтобы обеспечить шагающему движителю заданные эксплуатационные свойства, необходима развитая система управления. Системы управления шагающего движителя по функциям, структуре и алгоритмам можно разделить на три уровня. Роль высшего стратегического уровня управления выполняет оператор. Им определяются и задаются основные параметры движения машины –Скорость и направление движения. На тактическом уровне системой управления автоматически формируется программное движение шагающих движителей и корпуса по заданным операторам параметров движения. При помощи следящих систем нижний уровень системы управления реализует программные траектории опорных точек шагающих механизмов (рис. 3). Подобные вопросы ранее рассматривались в статьях одного из авторов [5, 6].

Рисунок 3 – Шагающая роботизированная машина LS3 (Фото взято с сайта survincity.com)

Появление малогабаритных ЭВМ, прогресс в области автоматического управления создали базу для разработки совершенных систем автоматического управления перемещения шагающих машин. Наиболее актуальными задачами, решаемые системой управления шагающей машины являются построение и стабилизация программного движения машины в пространстве, обзор и переработка информации об окружающей среде, координация движения ног машины.

К ключевым параметрам, которые характеризуют различные свойства шагающих машин, их различные комбинации приводят к разным техническим заданиям на проектирование шагающих машин для конкретного назначения, можно отнести: тяговые и энергетические показатели; проходимость всех видов (опорная, профильная,

комбинированная); устойчивость; маневренность; комфортабельность движения; грузоподъемность (с учетом специфики перевозимых грузов); структура системы управления; наличие дополнительных технологических функций.

Можно следующим образом сформулировать концепцию транспортной машины с шагающими движителями: шагающая транспортная машина должна обладать такими возможности, которые не уступают возможностям традиционных транспортных машин, шагающая машина должна вписываться в инфраструктуру существующего транспорта, то есть её эксплуатационные и технические характеристики, за исключением параметров проходимости, скорости и маневренности, должны быть сравнимы с соответствующими характеристиками колёсных или гусеничных транспортных машин схожей грузоподъемности и габаритов[1].Однако, основные параметры маневренности, проходимости и устойчивости шагающей машины, такие как угол боковой устойчивости, высота преодолеваемых препятствий, минимальный радиус поворота, углы съезда и въезда, должны быть принципиально выше, чем у транспортных машин с традиционным движителем.

Скорость перемещения шагающих машин значительно ниже, чем у колесных и гусеничных машин и колеблется в районе 10 км/ч. Однако, учитывая потенциальные области применения шагающих машин, развитие скорости выше почти всегда нецелесообразна. Если шагающая транспортная машина способна решать возложенную на неё задачу, к примеру, со скоростью 3 км/ч, при условиях, в которых машины с традиционными движителями достигнут критерия предельного уровня проходимости (скорость передвижения равна нулю), тогда экономическая целесообразность подобных скоростей в реальных условиях перемещения не вызывает сомнений.

Работа выполнена в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» по Соглашению №14.577.21.0193 от 27 октября 2015 г. «Разработка роботизированного комплекса для реализации полномасштабных аддитивных технологий инновационных материалов, композитов, конструкций и сооружений».

Список литературы:

1. Иванова О.Ю. Математическое моделирование динамики движения шестиногого шагающего аппарата [Электронный ресурс]. URL: http://masters.donntu.org/2004/kita/ivanova/diss/index.htm(дата обращения: 09.10.2016)
2. Жога В.В. Проблемы динамики движения и энергетической эффективности многоногих шагающих машин: Автореф. дис. док.физ.-мат. наук. Новосибирск, 2001. 6 с.
3. Жуков Е.М., Тюрин А.В., Линниченко М.В. О защите адаптивного инструментального модуля // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2014. № 6-1. С. 133-135.
4. Пат. 558808 СССР, М. Кл. В 62D57/02 УДК 629.113.033 (088,8). Шагающая платформа / Б.Д. Петриашвили; заявитель и патентообладатель Институт механики машин АН Грузинской ССР. - № 1956227/11, заявл. 01.08.73; опубл. 25.05.77, Бюл. № 19. 2 с.
5. Чепчуров М.С., Жуков Е.М., Тюрин А.В. Структурная схема управления приводами технологического комплекса // Технические науки - от теории к практике. 2013. № 29. С. 85-92.
6. Chepchurov M.S., Tyurin A.V., Zhukov E.M. Getting flat surfaces in turning // World Applied Sciences Journal. 2014. Т. 30. № 10. С. 1208-1213.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ОБЪЕМНОГО ИЗНОСА ЭЛЕКТРОДА-ИНСТРУМЕНТА И ОБЪЕМНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ МАЛЫХ ОТВЕРСТИЙ ОТ ЭНЕРГИИ ИМПУЛЬСОВ

Кудеников Е.Ю., аспирант,
Бойко А.Ф., д-р техн. наук., проф.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Известно, что в процессе ЭЭО по зазору между стенками отверстия и ЭИ движется жидкость, насыщенная продуктами эрозии, которые создают условия для паразитных разрядов [1-5]. Так как нижние участки электрода-инструмента (ЭИ) подвергаются действию боковых разрядов дольше, чем верхние, то ЭИ в процессе обработки заостряется, что приводит к увеличению погрешности формы (в т. ч. конусности) получаемого отверстия [6]. При этом влияние энергии импульса на величину объемного износа ЭИ и объемную производительность изучены не были.

Для выявления математической модели зависимости объемного износа ЭИ $\gamma_{об}$, % (1) и объемной производительности $Q_{об}$, мкм^3/с (2) от величины энергии импульсов *E* был проведен ряд экспериментов на электроэрозионном станке 04ЭП10М.

$$\gamma_{об} = f(E) \quad (1)$$

$$Q_{об} = f(E) \quad (2)$$

Эксперименты проводились на следующих режимах: частота генератора импульсов - 25 кГц; толщина обрабатываемой детали 1000 мкм; материал электрода-детали – коррозионностойкая сталь AISI 321, электрода-инструмента – вольфрам в виде проволоки, рабочая среда – вода водопроводная.

Эксперимент проводился следующим образом. Электродом-инструментом диаметром *d*=100 мкм прошивалось *n*=7 сквозных отверстий с энергиями импульсов E_1=64,1 мкДж, E_2=96,15 мкДж, E_3=211,538 мкДж, E_4=301,28 мкДж, E_5=325,56 мкДж, E_6=641,025 мкДж, E_7=1282,05 мкДж. При прошивке измерялось время обработки *t* и линейный износ *Z*. После обработки каждого отверстия с помощью цифрового микроскопа Levenhuk D70L делался ряд снимков рабочей

части ЭИ, после чего электрод-инструмент торцевался на 1000-1100 мкм и производилась обработка следующего отверстия.

Анализируя форму износа электрода-инструмента, в качестве функции, описывающей контур рабочей части ЭИ, были предложены показательная функция (3) и функция эллипса (4).

$$l_1(r) = ab^r, \quad (3)$$

$$l_2(r) = h - h\left[1 - \frac{r}{d/2}^{a}\right]^{1/b}, \quad (4)$$

где a, b – коэффициенты, изменяющиеся в зависимости от глубины отверстия, h – глубина обработки, мкм, d – диаметр ЭИ, мкм.

С помощью системы Mathcad, используя экспериментальные значения длины изношенной части ЭИ $l_э$, находим коэффициенты a и b функций (3) и (4). Подставим их в (3) и (4) и найдем значения l_1, l_2. Полученные значения для E_1=64,1 мкДж сведем в табл.1.

Таблица 1 – Сравнение экспериментальных значений величины износа ЭИ l с расчетными в зависимости от радиуса r

r, мкм	10	20	30	40
$l_э$, мкм	4,65	11,16	20,16	35,9
l_1 *(r)*, мкм	3,391	7,668	17,337	39,2
l_2 *(r)*, мкм	4,157	11,056	20,805	35,583
$(l_э-l_1(r))^2$	1,584	12,194	7,967	10,887
$(l_э-l_2(r))^2$	0,244	0,011	0,416	0,1
$\Sigma(l_э-l_1(r))^2$	**32,632**			
$\Sigma(l_э-l_2(r))^2$	**0,771**			

Выполним аналогичные расчеты для других значений энергии импульса *E*, результаты сведем в табл.2.

Таблица 2 – Значения сумм квадратов отклонений экспериментальных значений l от расчетных

E, мкДж	64,1	196,15	221,538	301,28	352,56	641,025	1282,05
$\Sigma(l_э-l_1(r))^2$	32,632	31,724	49,333	57,373	69,26	151,113	581,283
$\Sigma(l_э-l_2(r))^2$	0.771	0,768	1,073	0,327	2,573	1,182	1,385

Анализируя значения, представленные в табл.2, можно сделать вывод о том, что функция эллипса (4) более точно описывает форму рабочей части электрода-инструмента.

Найдем зависимость длины изношенной части электрода-инструмента l от энергии импульса E через коэффициенты a и b функции (4). Для этого определим зависимость (5, 6) коэффициентов a и b от энергии импульса E.

$$a = f(E), \quad (5)$$

$$b = f(E), \quad (6)$$

Используя систему Mathcad, опишем зависимости (5, 6) с помощью математических функций и построим их графики (рис. 1).

$$a = 0{,}793 \cdot e^{-3{,}318 \cdot 10^{-3} \cdot E} + 0{,}991, \quad (7)$$

$$b = 1{,}931 \cdot e^{-4{,}74 \cdot 10^{-3} \cdot E} + 1{,}674, \quad (8)$$

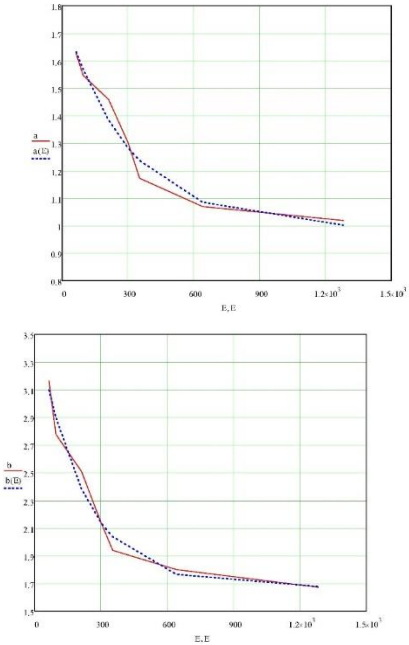


Рисунок 1 – Зависимость коэффициентов *a* и *b* от энергии импульсов *E* (сплошные линии – экспериментальные, пунктирные – теоретические).

Подставим полученные зависимости (7, 8) коэффициентов *a* и *b* в функцию (4) и построим ее график (рис.2):

$$l_2(r) = 1000 - 1000\left[1 - \frac{r}{50}^{0,793\cdot e^{-3,318\cdot 10^{-3}\cdot E}+0,991}\right]^{\frac{1}{1,931\cdot e^{-4,74\cdot 10^{-3}\cdot E}+1,674}} \quad (9)$$

Для нахождения объема полученных отверстий $V_{отв}$ при различных энергиях импульса проинтегрируем функцию (9). Объем изношенной части электрода-инструмента (рис.3) найдем по формуле (10), объем линейного износа – по формуле (11), сведем полученные данные в табл.3.

$$V_{изн} = \pi \cdot 50^2 \cdot 1000 - V_{отв}, \quad (10)$$

$$V_{лин} = \pi \cdot 50^2 \cdot Z \quad (11)$$

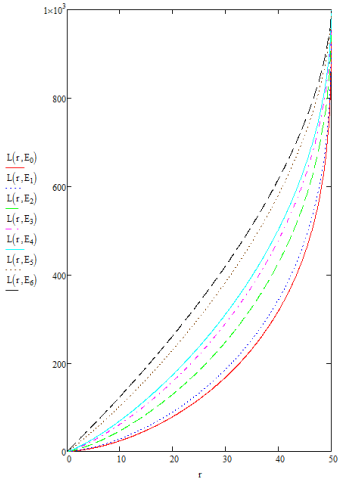


Рисунок 2 – Теоретические контуры рабочей части электрода-инструмента в зависимости от энергии импульса.

Таблица 3 – Объемы полученных отверстий, изношенной части электрода инструмента, линейного износа при различных энергиях импульса

$V_{отв}$, мкм^{3}x10^6	5,704	5,545	5,028	4,703	4,55	4,038	3,795
$V_{изн}$, мкм^{3}x10^6	2,15	2,309	2,826	3,151	3,304	3,816	4,059
$V_{лин}$, мкм^{3}x10^6	3,142	3,927	6,283	7,854	8,639	12,57	20,42

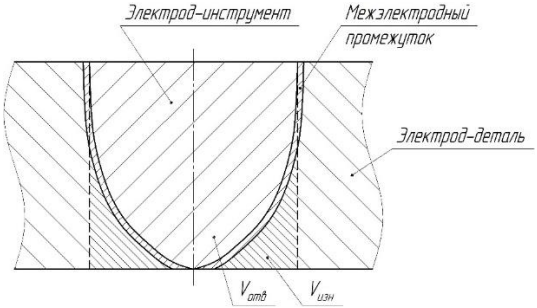


Рисунок 3 – Изношенная часть электрода-инструмента.

Используя данные табл.3 найдем объемный износ (12) и полный объемный износ (13) электрода инструмента, результаты сведем в табл.4.

$$\gamma_{об} = \frac{V_{изн}}{V_{отв}} \cdot 100\%, \quad (12)$$

$$\gamma_{п} = \frac{V_{изн}+V_{лин}}{V_{отв}} \cdot 100\% \quad (13)$$

Таблица 4 – Объемный износ и полный объемный износ при различных энергиях импульса

E, мкДж	6 4,1	9 6,15	21 1,538	30 1,28	3 52,56	64 1,025	12 82,05
$\gamma_{об}$, %	3 8	4 2	56	67	7 3	94	10 7
$\gamma_{п}$, %	9 3	1 12	18 1	23 4	2 62	40 6	64 5

Зная объем полученных отверстий $V_{отв}$ и время обработки t, найдем объемную производительность (14) $Q_{об}$, мкм^3/с.

$$Q_{об} = \frac{V_{отв}}{t} \quad (14)$$

Используя систему Mathcad, опишем зависимость объемной производительности от энергии импульса (2) с помощью логарифмической функции и построим ее график (рис. 4).

$$Q_{об}(E) = 1{,}957 \cdot 10^4 \cdot \ln(-46{,}632 + E) + 2{,}723 \cdot 10^5 \quad (15)$$

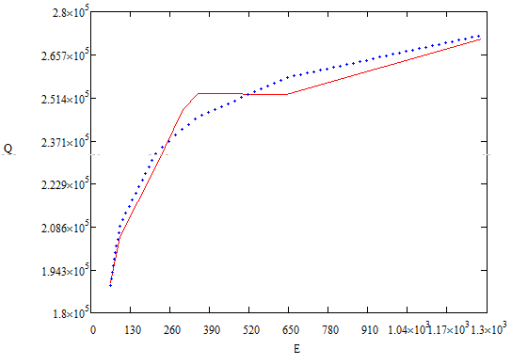


Рисунок 4 – График зависимости объемной производительности от энергии импульса (сплошная линия – экспериментальная, пунктирная - теоретическая).

Проанализировав полученные данные, можно сделать следующие обобщающие выводы:

1. С увеличением энергии импульса объемный износ электрода-инструмента и объемная производительность возрастают.
2. Существует предельное значение энергии импульса, при превышении которого наблюдается увеличение объемного износа электрода инструмента при практически неизменном значении производительности процесса.

Список литературы:

1. Левинсон Е.М., Лев В.С., Гуткин В.Г., Лившиц А.Л., Юткин Л.А. Электроразрядная обработка материалов. Л.: Машиностроение, 1971. 256 с.
2. Бойко А.Ф. Эффективная технология и оборудование для электроэрозионной прошивки микроотверстий. Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2010. 314 с.
3. Золотых Б.Н. Физические основы электроискровой обработки. М.: Машиностроение, 1977. 44 с.
4. Попилов Л.Я. Справочник по электрическим и ультразвуковым методам обработки материалов. Л.: Машиностроение, 1971. 544 с.
5. Фатеев Н.К. Технология электроэрозионной обработки. М.: Машиностроение, 1980. 184 с.
6. Лазаренко Б.Р. Электроискровая обработка металлов. М.: Машиностроение, 1950. 164 с.
7. Артамонов Б.А., Вишницкий А.Л., Волков Ю.С., Глазков А.В. Размерная электрическая обработка металлов. М.: Высш. школа, 1978. 336 с.

8. Левинсон Е.М. Отверстия малых размеров. Л.: Машиностроение, 1977. 152 с.
9. Гуткин Б.Г. Автоматизация электроэрозионных станков. Л.: Машиностроение, 1971. 160 с.
10. Левинсон Е.М., Лев В.С. Электроэрозионная обработка металлов. Л.: Лениздат, 1972. 328 с.

ЛАЗЕРНЫЙ ПРОЕКЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ФОРМЫ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Чепчуров М.С., д-р техн. наук., проф.,
Карновский Г.Г., магистрант,
Минасова В.Е., аспирант
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Лазерные трекеры является самым точным портативными КИМ. Компактная конструкция и небольшой вес позволяет легко транспортировать оборудование к месту контроля.

Лазерный трекер создан для высокоточного измерения линейных и угловых размеров в авиакосмической промышленности, судостроении, автомобильной промышленности, тяжёлом машиностроении.

В тех случаях, когда требуется произвести высокоточный контроль крупногабаритных изделий лазерный трекер является оптимальным решением.

Это оборудование позволяет с высокой точностью измерять геометрические примитивы (точки, окружности, плоскости, конусы, цилиндры и т.д.), расстояние и углы между ними, отклонение формы и взаимного расположения. Также возможно контролировать сложные криволинейные поверхности методом сравнения с CAD моделью.

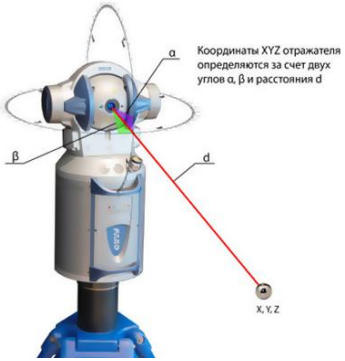


Рисунок 1 – Лазерный трекер FARO

Принцип работы координатно-измерительных машин в следующем (Рисунок 1). Прибор в верхней части имеет поворотную головку с лазерным излучателем, которая способна вращаться по вертикали и по горизонтали. Внутри расположены два высокоточных датчика, которые в режиме реального времени отслеживают угол поворота головки по обеим осям (вертикальной и горизонтальной).

Излучатель дает лазерный луч, который отражается от зеркал уголкового отражателя. Они имеют форму пирамиды и установлены внутри измерительной сферы, так, что её вершина совпадает с центром сферы. С помощью лазерного луча определяется расстояние до сферы. Её оператор должен подносить к поверхности контролируемого объекта для снятия координат точек.

Координаты точек рассчитываются компьютером в системе координат трекера за счет известных двух углов поворота головки лазерного трекера по горизонтали и вертикали, и известного расстояниия до отражателя. С помощью сервоприводов, которые установлены в поворотной головке, трекер автоматически следит за перемещением измерительного отражателя и определяет координаты его положения в режиме реального времени. Таки образом с помощью лазерного трекера FARO можно контролировать как стационарные, так и двигающиеся изделия. Для измерения того или иного геометрического элемента оператор должен замерить на его поверхности определенное количество точек, например, для линии минимум 2 точки, для плоскости минимум 3 точки, для окружности минимум 3 точки и т.д.. Программное обеспечение определяет координаты центра элемента, его действительные геометрические размеры и отклонения формы. Также возможно контролировать линейно-угловые размеры между измеренными элементами и производить анализ их взаимного расположения (непараллельность, неплоскостность и т.д.). Для измерения криволинейных поверхностей деталей существует возможность импорта CAD моделей в программное обеспечение для контроля методом сравнения с CAD моделью. Она несет в себе всю необходимую информацию о номинальных геометрических размерах поверхности.

Исключительной особенностью этого оборудования является **мобильность**. Оно упаковывается в кейсы и легко транспортируется в любое место для проведения измерений. Использование магнитной плиты и треноги позволяет быстро и надежно устанавливать лазерный трекер вблизи измеряемого объекта.

Температурные датчики постоянно следят за окружающей обстановкой и вносят корректировку в результат замеров.

Для контроля изделий, габариты которых превышают рабочую зону, используется метод «прыжков» относительно реперных точке. Причем все измерения производятся с одном файле и с сохранением единой системы координат.

Лазерное 3D-сканирование позволяет контролировать геометрические параметры крупногабаритных изделий сложной формы, линейные и угловые размеры, проводить полный анализ отклонений формы от эталонной модели, а также быстро и легко восстанавливать конструкторскую документацию на изделие в случае ее отсутствия или утраты.

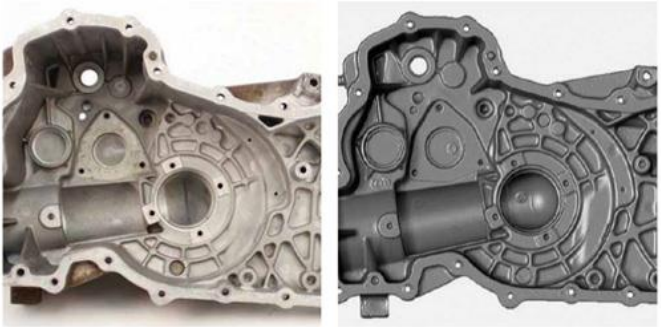


Рисунок 2 – Реальный объект и его цифровая модель

3D-сканеры — это устройства для трёхмерных измерений, которые используются для получения данных о реальных объектах для их последующей обработки и анализа с использованием цифровых технологий (Рисунок 2). 3D-сканерам не требуется контактировать со сканируемым объектом, они могут применяться для полного или частичного 3D-измерения любого материального объекта. Большинство данных устройств генерирует точки чрезвычайно высокой плотности по сравнению с традиционными контактными устройствами измерения, что дает значительно больше информации об измеряемом объекте. В статье мы рассмотрим оборудование для трехмерных измерений компании Creaform, а также области его применения и преимущества перед другими системами.

Одними из самых известных моделей метрологического оборудования компании Creaform являются MetraSCAN и HandyPROBE. MetraSCAN — это лазерный 3D-сканер, предназначенный для высокоскоростного сканирования и проведения прецизионных измерений крупногабаритных объектов сложной формы. HandyPROBE — портативная координатно-измерительная машина, заменяющая традиционные измерительные руки, она позволяет

измерять объекты простой формы (плоскости, конусы, цилиндры и т.д.) и сохранять результаты измерений в виде САПР-данных (Рисунок 3).

Рисунок 3 – Лазерный 3D-сканер MetraSCAN и беспроводной измерительный зонд HandyPROBE

Принцип действия лазерного 3D-сканера Принцип действия лазерного сканера построен на триангуляционном методе измерения расстояния до объекта. Суть этого метода в следующем: исходящий из источника луч лазера, отличающийся от обычного света высокой параллельностью пучка, падает на поверхность. Далее часть падающего пучка отражается от этой поверхности и попадает в приемник (Рисунок 4).

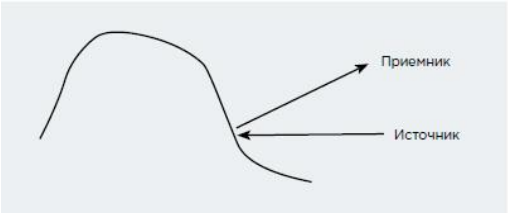


Рисунок 4 – Схема отражения луча лазера от физического объекта

На приемнике линза фокусирует отраженный луч на ПЗС-матрице, где положение яркого пятна на матрице показывает направление входящего луча, т. е. угол между лазерным лучом и возвращенным светом (Рисунок 5).

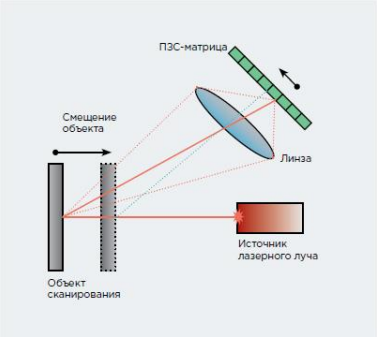


Рисунок 5 – Схема оценки расстояния до объекта с использованием геометрической пары камера-лазер

Угол отражения лазера изменяется в зависимости от расстояния до объекта и, таким образом, изменяется положение точки лазера на приемнике. Учитывая, что источник лазерного луча и приемник фиксированы и расположены на определенном расстоянии, мы можем измерить угол отражения простым геометрическим построением (Рисунок 6).

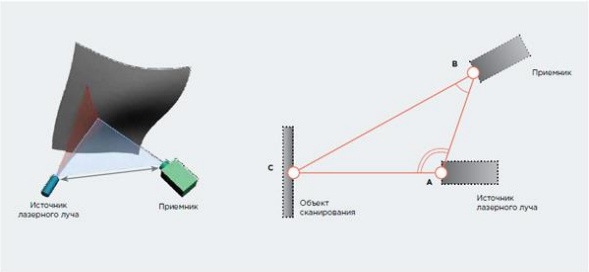


Рисунок 6 – Основная схема метода триангуляции лазерного сканирования

В итоге мы знаем три параметра: расстояние от приемника до источника (AB), угол между лучом, испущенным лазером, и линией приемник-лазер (∠CAB) и угол между отраженным лучом и линией приемник-лазер (∠CBA). По этим трем параметрам можно восстановить все стороны и углы треугольника и, в том числе, расстояние до объекта.

Список литературы:

1. Лазерный трекер Faro ION [электронный ресурс]: Лазерные 3D сканеры и координатно измерительные машины Faro, режим доступа: http://faro.by/katalog/lazernye-trekery-faro/75-lazernyj-treker-faro-ion
2. Лазерное 3D-сканирование и портативные КИМ для контроля геометрических параметров и обратного проектирования [электронный ресурс]: Остек-СМТ режим доступа: http://ostec-ct.ru/knowledge-base/3d-skanirovanie-i-portativnie-kim/stati/lazernoe-3d-skanirovanie-i-portativnie-kim-dlya-kontrolya-geometricheskikh-parametrov-i-obratnogo-proektirovaniya/

АНАЛИЗ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ ФОРМООБРАЗУЮЩИХ ПРЕСС-ФОРМ

Чепчуров М.С., д-р техн. наук, проф.,
Скляров А.С., магистрант,
Любимый Н.С., аспирант
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Металлополимерные композиционные материалы, представляющие собой эпоксидодиеновую матрицу [5], наполненную мелкодисперсными металлическим наполнителем, находят все большее применение в изготовлении технологической оснастки для литья термопластов. В данной статье проводятся исследования в области изготовления из металлополимерных составов формообразующих поверхностей пресс-форм. Экспериментальные работы, которые были проведены на базе производств занимающихся литьем термопластов и теоретические исследования на кафедре технологии машиностроения в Белгородском государственном технологическом университете, показали, что производство формообразующих поверхностей пресс-форм для литья термопластов из металлополимерных составов является перспективным направлением в области технологии производства оснастки для формования пластмасс.

При литье термопластов, технологическая оснастка испытывает значительные нагрузки от давления в полости пресс-формы [9], а также значительное тепловое воздействие. Процесс литья термопластичных полимеров происходит при температурах расплава впрыскиваемого в полость пресс-формы от 220°С до 300°С, в среднем 240°С, при этом температура пресс-формы колеблется в диапазоне от 15°С до 100°С [3], в зависимости от материала расплава. Существенное влияние на продолжительность цикла прессования изделия оказывает температура охлаждения отлитого изделия в пресс-форме. Так в [11] даются данные по продолжительности цикла прессования характерного изделия, продолжительность выдержки при этом составляет 40 с. Время выдержки, это время необходимое для завершения процесса кристаллизации реактопласта в полости пресс-формы. Выбор конструкции системы охлаждения пресс-формы является важнейшим вопросом, влияющим на производительность процесса формования изделий, однако необходимо учитывать и материал из которого будет изготовлена формообразующая поверхность пресс-формы. Для

проектирования формообразующей пресс-формы из металлополимера, необходимо знать теплопроводность металлополимерного состава.

Методология. Металлополимерный состав является общедоступным материалом. В частности, используется металлополимер наполненный алюминием LEO [8].

При рассчете коэффициента теплопроводности используется метод продольного теплового потока.

В пресс-формах с металлополимерными формообразующими, необходимо проектировать систему охлаждения пресс-формы с учетом теплопроводности металлополимерной композиции. Раннее проведенный эксперимент по нагреву кубических образцов металлополимерной композиции с наполнителем алюминий отвержденных в атмосферных условиях и вакуумной среде. Полученные результаты по изменению температуры граней образцов во времени при одинаковых условиях нагрева были опубликованы в [7]. При проведении эксперимента была использована схема измерения, показанная на (рис. 1).

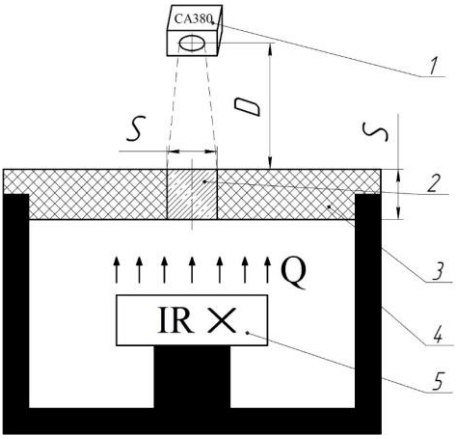


Рисунок 1 – Схема определения изменения температуры на поверхности грани металлополимерного образца

Согласно рисунка 1, теплоизоляционный элемент 3 с установленным в нем металлополимерным образцом 2 был установлен над источником инфракрасного излучения 5 мощностью 75Вт в корпус 4. Далее при помощи инфракрасного пирометра 1 (модель CASON CA380) были произведены измерения температуры внешней грани в

течении 16 минут 30 секунд с шагом 30 секунд. Расстояние D от пирометра 1 до металлополимерного образца 2 рассчитывалось из условия D:S=12:1, где S – площадь металлополимерного образца.

Полученные значения температур представлены в таблице 1 действительны для образца металлополимерной композиции отвержденной в вакуумной среде при давлении -0,2 КГС/См2.

Таблица 1 – Изменение температуры грани металлополимерного образца во времени

Время нагрева, t	**Т обр. °С**	**Время нагрева, t**	**Т обр. °С**
t0	28,9	8 мин 30 сек	65,5
30 сек	28,8	9 мин	67,6
1 мин	30	9 мин 30 сек	68,8
1 мин 30 сек	32	10 мин	70,9
2 мин	34,3	10 мин 30 сек	72,5
2 мин 30 сек	37,6	11 мин	74
3 мин	40,6	11 мин 30 сек	75,7
3 мин 30 сек	43,6	12 мин	77,2
4 мин	46	12 мин 30 сек	78,4
4 мин 30 сек	49,1	13 мин	80,1
5 мин	51,4	13 мин 30 сек	81,1
5 мин 30 сек	53,8	14 мин	82,2
6 мин	56,4	14 мин 30 сек	83,5
6 мин 30 сек	58,1	15 мин	84,5
7 мин	60,2	15 мин 30 сек	85,5
7 мин 30 сек	62,5	16 мин	86,3
8 мин	64	16 мин 30 сек	87,1

Для того, чтобы определить теплопроводность металлополимерного образца с наполнителем алюминий воспользуемся методом продольного теплового потока [6]. Согласно этого метода на одном из торцов образца с площадью поперечного сечения S создается **равномерный** тепловой поток Q. Между двумя сечениями образца, расположенными на расстоянии l один от другого, измеряют разность температур Δt=t2-t1. При отсутствии боковых тепловых потерь теплопроводность образца рассчитывается по формуле (1):

$$\lambda = \frac{Q \times l}{S \times (t_2 - t_1)} \quad (1)$$

Схема проведенного эксперимента, описанного в [7], удовлетворяет условиям определения теплопроводности методом продольного теплового потока, следовательно, можно определить этим методом теплопроводность металлополимера наполненного алюминием.

В эксперименте, проведенном ранее, мощность теплового потока Q равнялась 75Вт. Площадь поперечного сечения S=400мм^2 или S=0,0004м^2. Длина образца *l*=20мм или *l*=0,02м. Разность температур указана в таблице 1. Зная значения переменных уравнения теплопроводности, определим теплопроводность металлополимера наполненного алюминием, например, в диапазоне времени между тридцатой и шестидесятой секундами нагрева (2):

$$\lambda = \frac{75\text{Вт} \times 0{,}02\text{м}}{0{,}0004\,\text{м}^2 \times (30 - 28{,}8)^\circ\text{К}} = 3{,}13\,\frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot{}^\circ\text{К}} \quad (2)$$

Полученных значений не достаточно, чтобы сделать выводы о теплопроводности металлополимера наполненного алюминием. Для детального анализа определим теплопроводность испытуемого материала через каждые 30 секунд с момента начала эксперимента. Расчетные данные коэффициента теплопроводности λ сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Теплопроводность металлополимера наполненного алюминием

Время нагрева t, с.	**Т обр. °С**	**λ**	**Время нагрева t, с.**	**Т обр. °С**	**λ**
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
0	28,9	-37,50	510	65,5	1,79
30	28,8	3,13	540	67,6	3,12

60	30	1,88	570	68,8	1,79
90	32	1,63	600	70,9	2,34
120	34,3	1,14	630	72,5	2,50
150	37,6	1,25	660	74	2,21
180	40,6	1,25	690	75,7	2,50
210	43,6	1,56	720	77,2	3,12
240	46	1,21	750	78,4	2,21
270	49,1	1,63	780	80,1	3,75
300	51,4	1,56	810	81,1	3,41
330	53,8	1,44	840	82,2	2,88
360	56,4	2,21	870	83,5	3,75
390	58,1	1,79	900	84,5	3,75
420	60,2	1,63	930	85,5	4,69
450	62,5	2,50	960	86,3	4,69
480	64	2,50	990	87,1	-0,04

На основе расчетных данных таблицы 2 построим график теплопроводности металлополимера наполненного алюминием во времени (рис. 2).

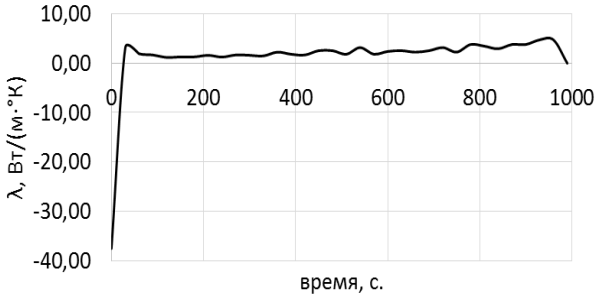


Рисунок 2 – Теплопроводность металлополимера с течением времени

Из представленного графика видно, что в первые 30 секунд коэффициент теплопроводности имеет отрицательное значение. Это связано с тем, что в тридцатисекундный промежуток времени с момента начала эксперимента тепловая энергия не успела распространится на противоположную грань образца, а разница температур объясняется

погрешностью измерения. В начальный промежуток времени показатель теплопроводности стремится к нулю. 990 секунду измерения необходимо исключить из расчета за отсутствием следующего показателя. Таким образом для дальнейшего анализа будем использовать график теплопроводности металлополимера в промежутке времени от 30 до 960 секунды измерения. Полученный график показан на (рис. 3).

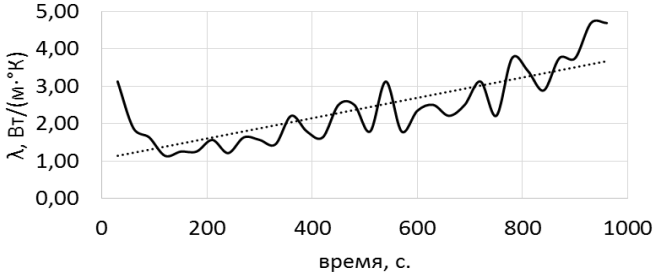


Рисунок 3 – Теплопроводность металлополимера с 30 по 960 секунду измерения

Из графика на (рис. 3) видно, что среднее значение теплопроводности металлополимера с наполнителем алюминий соответствует значению 2,4Вт/м°К.

Теплопроводность алюминия соответствует значению 202…236Вт/м°К [2], а полученное расчетное значение теплопроводности металлополимерного состава, наполненного алюминием 2,4Вт/м°К. Очевидна разница в теплопроводности металла и металлополимера в 91 раз.

Вследствие движения свободных электронов происходит выравнивание температуры во всех точках нагревающегося или охлаждающегося тела металла. Такая разница в теплопроводности металла и металлополимера объясняется тем, что, при наличии разного рода примесей, коэффициент теплопроводности металла резко убывает. Это объясняется увеличением структурных неоднородностей, которые приводят к рассеиванию электронов.

Полимерная эпоксидодиеновая композиция также является диэлектриком. Согласно теории теплопроводности твердых тел, в диэлектриках с повышением температуры коэффициент теплопроводности обычно увеличивается [6;4], что объясняет положительный тренд графика, показанного на (рис. 3).

Материалы с коэффициентом теплопроводности ниже 0,25Вт/м°К [1;10], обычно применяют для тепловой изоляции конструкций. Значение рассчитанного значения коэффициента теплопроводности металлополимера близко к значению теплопроводности теплоизоляционных материалов и резко отличается от теплопроводности чистых металлов.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о низкой теплопроводности металлополимеров из-за наличия диэлектрической матрицы препятствующей движению свободных электронов. Низкая теплопроводность накладывает жесткие требования к конструированию системы охлаждения. Каналы охлаждения в пресс-формах с металлополимерными формообразующими следует располагать вблизи от формообразующей поверхности. Из опыта в производстве металлополимерной формообразующей для детали «звездочка», рекомендуемое расстояние от канала охлаждения до формообразующей поверхности в пределах 10-5мм. Такой размер позволит обеспечить максимальный теплоотвод, при сохранении прочности конструкции формообразующей пресс-формы.

Список литературы:

1. Аниканова Т.В. Влияние теплового пристенного слоя на теплопроводность пористы и зернистых материалов / Т.В. Аниканова, Ш.М. Рахимбаев, А.С. Погромский // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, 2015. №4. С. 42-46.
2. Бабичев Н.А., Бабушкина Н.А., Братковский А.М. Физические величины: Справочник. М.: Изд-во Энергоатомиздат, 1991. С. 1232.
3. Бихлер М. Детали из пластмасс – отливать без дефектов. Гейдельберг: Цехнер, Шпейер. 1999. С. 112.
4. Васильев В.В, Протасов В.В., Болотин В.В. Композиционные материалы: Справочник. М.: Изд-во Машиностроение, 1990. С. 512.
5. Кербер М.Л. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учеб. пособие / М.Л. Кербер, В.М. Виноградов, Г.С. Головкин и др.; под ред. А.А. Берлина. СПб: Профессия, 2008. С. 560.
6. Коротких А.Г. Теплопроводность материалов: Учебное пособие / Томский политехнический университет. Томск: Изд-во ТПУ, 2011. С. 97.
7. Любимый Н.С., Чепчуров М.С. Влияние применения вакуумирования при отверждении металлополимера на его теплопроводность / Междисциплинарные подходы в материаловедении и технологии. теория и практика. Сборник трудов Всероссийского совещания

заведующих кафедрами материаловедения и технологии материалов // Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. С. 416.
8. Металлополимеры «ЛЕО». М.: Изд. «ЗАО Металлополимерные материалы ЛЕО», 2013 С. 33.
9. Першин Н.С., Чепчуров М.С. Изготовление формообразующих деталей пресс-форм из композиционных материалов // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2015. №6. С.76-81.
10. Пучка О.В. Высокоэффективные теплоизоляционные материалы на основе техногенного сырья / О.В. Пучка, С.В. Сергеев, С.С. Вайсера, Н.В. Калашников // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, 2013. №2. С. 51-55.
11. Филатов В.И., Корсаков В.И. Технологическая подготовка процессов формования изделий из пластмасс. Л.: Политехника, 1991. С. 352.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАСАТЕЛЬНОЙ ПОДАЧИ ПРИ ШЛИФОВАНИИ БАНДАЖЕЙ С ОШИБКАМИ ФОРМЫ

Шрубченко И.В., д-р. техн. наук, проф.,
Хуртасенко А.В., канд. техн. наук, доц.,
Гончаров М.С., аспирант
Хуртасенко В.А., магистрант
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Шлифование бандажей технологических барабанов (ТБ) выполняют специализированными мобильными станками [1,2,3,4], которые встраиваются и функционируют в производственном оборудовании без остановки в процессе его эксплуатации.

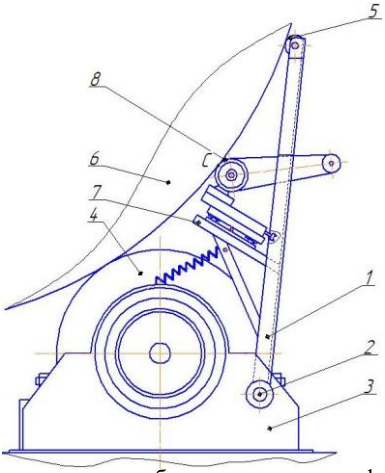


Рисунок 1 – Конструкция системы бандаж-ролики-шлифовальный станок: 1 - подпружиненый кронштейн; 2 - шарниры; 3 - корпуса подшипников; 4 - опорные ролики; 5 - копирный ролик; 6 - бандаж; 7- установочные плоскости; 8 - абразивный инструмент.

На выбор параметров станка и режимов шлифования существенное влияние оказывает бесцентровая схема базирования ТБ [5]. При наличии ошибок формы бандаж совершает сложное плоскопарралельное движение. Это усложняет взаимодействие обрабатываемой поверхности с абразивным инструментом. В частности касательная подача заготовки, определяемая при круглом встречном

шлифовании как скорость обрабатываемой поверхности, при шлифовании бандажей с ошибками формы является переменной и может негативно влиять на процесс шлифования.

Поэтому при выборе режимов шлифования необходимо определять касательную подачу с учетом кинематических закономерностей движения бандажей ТБ.

В качестве примера рассмотрим взаимодействие абразивного инструмента ленточного шлифовального станка (рис. 1) с

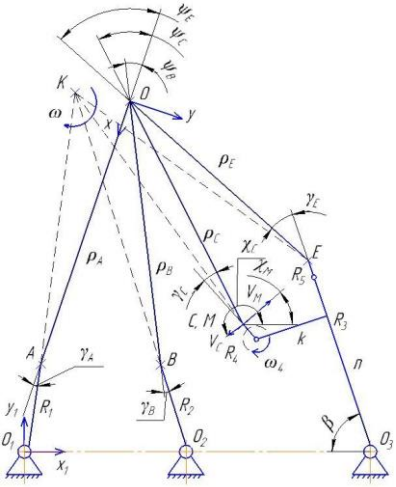


Рисунок 2 – Кинематическая модель системы бандаж-ролики-шлифовальный станок: R_1,R_2 – радиусы опорных роликов; R_3 – длина подпружиненного кронштейна; R_4 – радиус диска; R_5 – радиус копирного ролика; ρ_A, ρ_B, ρ_C, ρ_E – радиус-векторы точек на бандаже; ψ_B, ψ_C, ψ_E – полярные углы; γ_A, γ_B, γ_C, γ_E,- направляющие углы нормалей; χ_C, χ_M – направляющие углы векторов скоростей; ω и ω_4 – угловые скорости.

обрабатываемой поверхностью бандажа ТБ установленного на опорных роликах.

Будем считать, что бандаж имеет ошибки формы, а форма и размеры роликов соответствуют номинальным значениям. При этом, допустим, что бандаж имеет форму цилиндра и во всех его сечениях присутствует отклонение от круглости $\Delta = R_H - R_0$, где R_H и R_0 соответственно номинальный и минимальный радиусы. Тогда при R_H = 2425 мм и Δ = 100 мм (на порядок больше нормируемого) получим R_0 =

2325 мм. Поперечное сечение бандажа разделим на четверти, в двух из которых радиус постоянен и равен или R_0 или R_H. На соседних участках радиус соответственно сначала монотонно увеличивается, а затем уменьшается: $\rho = R_0 + \Delta\cdot 0{,}5\cdot(1 - \cos(2\cdot\varphi))$.

Тогда в этих точках, например при $\rho = R_0 + \Delta\cdot 0{,}5\cdot(1 - \cos(\pi\cdot\varphi/\mu_1))$, где Δ – отклонение от круглости, μ_1 – фазовый угол, будут известны и следующие функции: аналог скорости $d\rho(\varphi)/d\varphi = [\pi\cdot\Delta\cdot\sin(\pi\cdot\varphi/\mu_1)]/(2\cdot\mu_1)$; аналог ускорения $d^2\rho(\varphi)/d\varphi^2 = [\pi^2\cdot\Delta\cdot\cos(\pi\cdot\varphi/\mu_1)]/(2\cdot\mu_1^2)$; радиус кривизны $\boldsymbol{r} = [\rho(\varphi)^2 + (d\rho(\varphi)/d\varphi)^2]^{3/2}/(\rho(\varphi)^2 + 2\cdot(d\rho(\varphi)/d\varphi)^2 - \rho(\varphi)\cdot(d^2\rho$

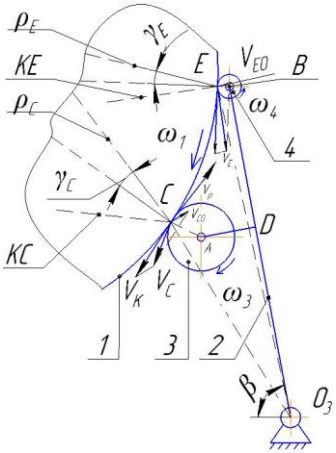


Рисунок 3 – Локальная часть расчетной схемы: 1- бандаж; 2 – кронштейн; 3 – контактный диск; 4 – контактный ролик; КС и КЕ – расстояния до мгновенного центра скоростей; γ_C и γ_E – направляющие нормалей; β – угол поворота кронштейна; ω_1, ω_3 и ω_4 – угловые скорости звеньев; ρ_E и ρ_C – полярные радиусы.

$(\varphi)/d\varphi^2))$; угол между полярным радиусом и радиусом кривизны $\gamma = \{\pi/2 - arctg\,[\rho/(d\rho(\varphi)/d\varphi)]\}$.

Рассмотрим задачу о положениях за один оборот бандажа на роликах 1 и 2 номинальной формы, т.е. при $R_1 = R_2 = R$. Сначала для текущей точки на поверхности бандажа намечаем, с учетом кривизны поверхности через γ_A, ее контакт с роликом 1 в т. А как $A = (\rho_A, \varphi_1)$ (см. рис. 2). Затем связываем с полярным радиусом ρ_A ось абсцисс декартовой системы координат YOX с центром в т. О. Для того чтобы найти точку контакта $B = (\rho_B, \varphi_2)$ (где $\varphi_2 = \varphi_1 + \psi_B$) с роликом 2 составляем

систему уравнений: $x_{O1} = \rho_A + R \cdot cos(\gamma_A)$; $y_{O1} = \rho_A + R \cdot sin(\gamma_A)$; $x_{O2} = \rho_B \cdot cos(\psi_B) + R \cdot cos(\psi_B + \gamma_B)$; $y_{O2} = \rho_B \cdot sin(\psi_B) + R \cdot sin(\psi_B + \gamma_B)$; $a_W = [(x_{O1}^2 - x_{O2}^2) + (y_{O2}^2 - y_{O1}^2)]^{0,5}$, из которой при условии $O_1O_2 = a_W = L$ (где L – заданное межосевое расстояние) численным методом находим угол ψ.

Тогда становится известным текущее положение центра бандажа т.О, а также любых других точек на нем (например т.С и т.Е) в неподвижной декартовой системе координат $Y_1O_1X_1$ связанной например с центром O_1 оси ролика 1. Используем для этого функции преобразования координат. Например, для координат т.Е $x_E = \rho_E(\varphi_1 + \psi_E) \cdot cos(\psi_E)$ и $y_E = \rho_E(\varphi_1 + \psi_E) \cdot sin(\psi_E)$ выполняя поворот YOX на угол $\delta = arctg\ [(y_{O2} - y_{O1})/(x_{O1} - x_{O2})]$, перенос по вертикали на $a = (x_{O1}^2 + y_{O1}^2)^{0,5} \cdot sin\{\delta + arcsin\ [y_{O1}/x_{O1}]\}$, сдвиг по горизонтали на $b = (x_{O1}^2$

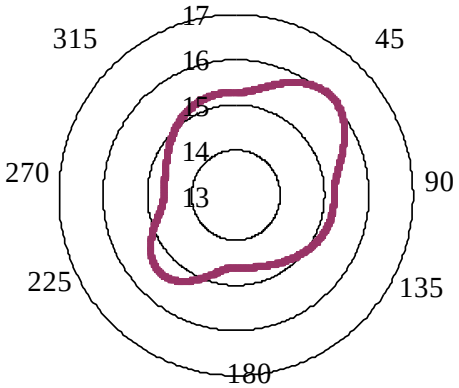


Рисунок 4 – Изменение касательной подачи (м/мин) в зависимости от положения бандажа с ошибками формы

$+ y_{O1}^2)^{0,5} \cdot cos\{\delta + arcsin\ [y_{O1}/x_{O1}]\}$, получаем: $x_{1E} = b + y_E \cdot sin(\delta) - x_E \cdot cos(\delta)$,(1); $y_{1E} = a - y_E \cdot cos(\delta) - x_E \cdot sin(\delta)$, (2).

Рассмотрим взаимодействия бандажа с деталями шлифовального станка. Положение (угол β) кронштейна 1 (рис. 1 и 2) определяется контактом бандажа (с учетом ошибок его формы через γ_E) и ролика 5 в т.Е. При каждом положении бандажа (угле φ) координаты этой точки заранее не известны, т.е. не известен угол ψ_E. Он вычисляется численным методом (одновременно с углом β) с учетом (1) и (2) из следующей системы уравнений (см. рис. 2): $x_{O3} - x_{1E} = R_3 \cdot cos(\beta) - R_5 \cdot cos(\gamma_E - \psi_E - \delta)$; $y_{1E} = R_3 \cdot sin(\beta) - R_5 \cdot sin(\gamma_E - \psi_E - \delta)$.

Контакт бандажа с абразивным инструментом происходит в т.С. Ее положение в системе координат $Y_1O_1X_1$ определяется уже найденным положением кронштейна 1 (углом β). Поэтому, из уравнений $x_{1C}=b+\rho_C(\varphi_1+\psi_C)\cdot sin(\psi_C)\cdot sin(\delta)-\rho_C(\varphi_1+\psi_C)\cdot cos(\psi_C)\cdot cos(\delta)$, $y_{1C}=a-\rho_C(\varphi_1+\psi_C)\cdot sin(\psi_C)\cdot cos(\delta)-\rho_C(\varphi_1+\psi_C)\cdot cos(\psi_C)\cdot sin(\delta)$, $x_{O3}-x_{1C}=R_4\cdot cos(\beta-\lambda)+(k^2+n^2)^{0,5}\cdot cos(\pi-\psi_C-\delta+\gamma_C)$, $y_{1C}=R_4\cdot sin(\beta-\lambda)+(k^2+n^2)^{0,5}\cdot sin(\pi-\psi_C-\delta+\gamma_C)$, где k и n присоединительные размеры инструмента, находим численным методом ψ_C и γ_C (рис. 3).

Положение мгновенного центра скоростей т. К определяется из условия, что между бандажом и роликами 1 и 2 скольжение отсутствует. Тогда (см. рис. 2): $\alpha_1=\delta+\gamma_A$, $x_{1K}=a_W\cdot sin(\alpha_2)\cdot cos(\alpha_1)/sin(\alpha_1-\alpha_2)$, $y_{1K}=a_W\cdot sin(\alpha_2)\cdot sin(\alpha_1)/sin(\alpha_1-\alpha_2)$ и направляющий угол вектора скорости т.С на бандаже $\chi_C=\pi/2-arctg\,[(y_{1K}-y_{1C})/(x_{1C}-x_{1K})]$. Для той же точки только на инструменте (т.М): $\chi_M=\psi_C-\delta+\gamma_C$. Скорости т.С и т.М соответственно: $\mathbf{v}_C=\omega\cdot[(x_{1C}-x_{1K})^2+(y_{1K}-y_{1C})^2]^{0,5}$, $\mathbf{v}_M=\omega_4\cdot R_4$.

Результаты расчетов показывают, что скорость V_C точки С бандажа на площадке контакта с инструментом постоянно изменяется. С одной стороны это приводит к вращению кронштейна 3 (V_{CO}, рис. 2), а с другой к изменению касательной скорости V_k .

В результатах расчета скорость касательной подачи V_k (рис. 4) изменяется от 13,87 м/мин до 15,72 м/мин. Неравномерность касательной подачи демонстрирует влияние на качество шлифования переменных сил резания зависящих от V_k.

Список литературы:

1. Шрубченко И.В. Специальный адаптивный станок для обработки бандажей вращающихся печей / И.В. Шрубченко // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова., 2003., №7, С. 80-81.
2. Шрубченко И.В. Способы обработки поверхностей качения опор технологических барабанов с использованием мобильных технологий и оборудования : монография / И.В. Шрубченко. Белгород : Изд-во БГТУ, 2006. 284 с.
3. Шрубченко, И. В. О необходимости обработки поверхностей бандажей технологических барабанов при их сборке / И. В.Шрубченко // Тяжелое машиностроение. 2006. №10. С. 27-29.
4. Погонин А.А. Концепция проектирования встраиваемых станочных модулей для мобильной технологии восстановления / А.А. Погонин, И.В. Шрубченко // Горные машины и автоматика. 2004. №7. С.37 39.

5. Захаров О.В. Геометрические и кинематические особенности бесцентрового шлифования с продольной подачей // Автоматизация и современные технологии. 2010. № 9. С. 3-6.

К ВОПРОСУ О БИЕНИИ БАНДАЖА С ПОГРЕШНОСТЬЮ ФОРМЫ ПОВЕРХНОСТИ КАЧЕНИЯ

Шрубченко И.В., д-р. техн. наук, проф.,
Хуртасенко А.В., канд. техн. наук, доц.,
Гончаров М.С., аспирант,
Щендрыгин А.А., магистрант
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

При бесцентровой схеме базирования технологических барабанов (ТБ) ошибки формы их бандажей изменяют движение ТБ. Простое вращательное движение происходит только на отдельных участках цикла, а на остальной его части бандаж с корпусом барабана совершает сложное плоскопарралельное движение. Для исправления формы бандажей их поверхность обрабатывают специализированными мобильными станками [1,2,3,4], которые встраиваются и функционируют в производственном оборудовании без его остановки.

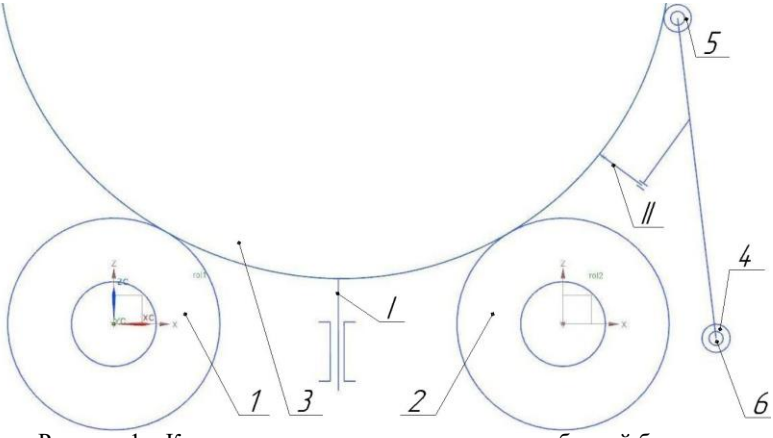


Рисунок 1 – Компьютерная модель для измерения биений бандажа построенная в NX Motion simulation: *I, II*– индикаторы; 1, 2- опорные ролики; 3- бандаж; 4- кронштейн; 5- копирный ролик; 6- шарнир.

Для настройки таких станков, выбора параметров технологических операций и оценки качества обработки измеряют биения бандажа [1].

Поэтому, рассмотрим один из способов компьютерного моделирования биения бандажа для решения задач проектирования

мобильных станков и выбора технологических режимов обработки поверхностей бандажей.

Форму поперечного сечения бандажа представим [5] монотонной гладкой замкнутой кривой переменного радиуса ρ. Тогда в полярной системе координат с полюсом расположенным в геометрическом центре сечения т. О: $\rho = R_0 + S(\varphi)$, где ρ – полярный радиус, φ – полярный угол, $S(\varphi)$ – аппроксимирующая функция. В общем случае при построении закономерности $\rho(\varphi)$ за один оборот можно разбить сечение на отдельные участки на каждом из которых задать или аппроксимирующую функцию $S(\varphi)$ или постоянный радиус R_i.

Например, допустим, что бандаж имеет форму цилиндра и во всех его сечения присутствует отклонение от круглости $\Delta = R_H - R_0$, где R_H и R_0 соответственно номинальный и минимальный радиусы. Тогда при R_H

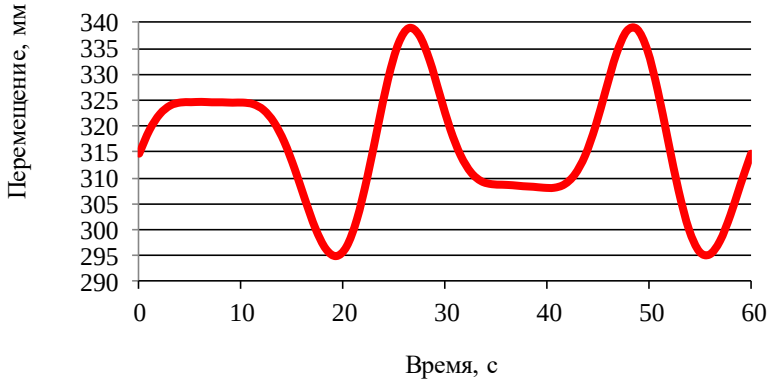


Рисунок 2 – Результат расчета перемещений индикатора *I* в NX Motion simulation.

= 2425 мм и Δ = 100 мм (на порядок больше нормируемого) получим R_0 = 2325 мм. Поперечное сечение бандажа разделим на четверти, в двух из которых радиус постоянен и равен или R_0 или R_H. На соседних участках радиус соответственно сначала монотонно увеличивается, а затем уменьшается: $\rho = R_0 + \Delta \cdot 0{,}5 \cdot (1 - \cos(2 \cdot \varphi))$.

Вычислив, например, в среде MATLAB (MathWorks, Inc.) функцию $\rho(\varphi)$ за один оборот бандажа и представив ее в проекциях на оси декартовой системы координат сохраняем эти результаты в текстовом файле с расширением *dat* (например, *forma.dat*). Оформленную таким образом модель формы бандажа можно использовать как для решения частных задач в математических пакетах, так и в специализированных

инженерных компьютерных системах сохраняя при этом одинаковые исходные данные.

Будем моделировать биения бандажа с помощью инструментов интегрированного CAE-приложения Motion simulation системы NX (Siemens PLM Software Inc.).

Сохраняя плоскую схему, создаем файл 2D сборки. Эскиз бандажа строим по точкам, загружаемым из файла *forma.dat*. Задаем радиусы опорных роликов R = 750 мм и межосевое расстояние a_w = 3175 мм.

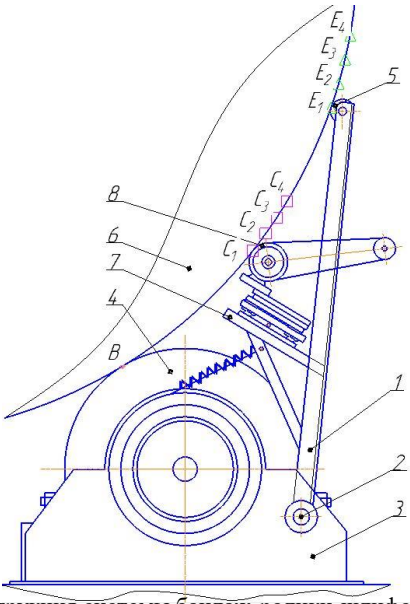


Рисунок 3 – Конструкция системы бандаж-ролики-шлифовальный станок: 1 - кронштейн; 2 - шарниры; 3 - корпуса подшипников; 4 - опорные ролики; 5 - копирный ролик; 6 - бандаж; 7- установочные плоскости; 8 - абразивный инструмент.

Структурную модель строим с помощью опций Motion simulation. При этом, рассматривая взаимодействия подвижных звеньев только на кинематическом уровне, конструкцию привода ТБ и особенности его связи с бандажом в дальнейшем не учитываем. Обеспечив сначала возможность плоскопарралельного движения бандажа, затем задаем его равномерное вращение с *n*=1 об/мин. Движения звеньев модели (рис. 1) находим решателем RecurDyn.

Прежде всего, представляет интерес измерение биения бандажа при установке индикатора *I* между опорными роликами. Дополняя модель поступательным звеном, находим его перемещения (рис. 2). Для рассматриваемого примера биение *ECR* = 44 мм.

Далее вычислим биения бандажа, если индикатор установлен на кронштейне 1 вместо абразивного инструмента 8 мобильного шлифовального станка (рис. 3).

Для выбора параметров конструкции станка и назначения режимов шлифования рассмотрим четыре возможных типоразмера. Сначала используя минимально необходимые поперечные габариты

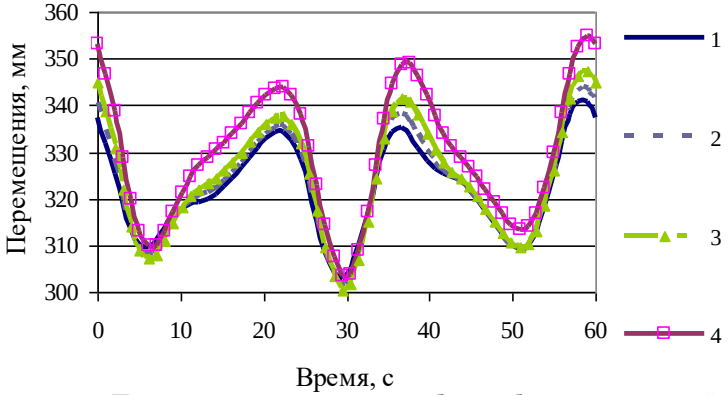


Рисунок 4 – Перемещения индикатора *II* и биения бандажа при разной длине кронштейна: 1- 2133 мм (ECR= 38 мм); 2- 2358 мм (ECR= 42 мм); 3- 2558 мм (ECR= 47 мм); 4- 2765 мм (ECR= 51 мм).

привода из компоновки станка определяем такое положение инструмента (т. C_1) при котором зазор между установочными плоскостями 7 и опорным роликом 4 не менее 100 мм. Делая засечку радиусом C_1B находим т. E_1 и длину кронштейна 1. Используя модель (рис. 1) при этих размерах находим перемещения индикатора *II* (рис. 4).

Затем от т. E_1 через равные расстояния откладываем точки E_2, E_3, и E_4 определяя для каждого случая длину кронштейна 1 и точки C_2, C_3, и C_4 касания индикатора. При этих размерах находим перемещения индикаторов (рис. 4).

Таким образом, полученные результаты демонстрируют возможность использования инструментов интегрированного CAE-приложения Motion simulation системы NX для оперативной оценки

биений бандажа имеющим ошибки формы при проектировании мобильных станков и режимов обработки.

Список литературы:

1. Шрубченко И.В. Способы обработки поверхностей качения опор технологических барабанов с использованием мобильных технологий и оборудования : монография / И.В. Шрубченко. Белгород : Изд-во БГТУ, 2006. 284 с.
2. Бондаренко Ю.А., Федоренко М.А., Погонин А.А. Определение возможности обработки крупногабаритных деталей на приставных станках//СТИН. 2005. № 7. С. 37-38.
3. Захаров О.В. Геометрические и кинематические особенности бесцентрового шлифования с продольной подачей // Автоматизация и современные технологии. 2010. № 9. С. 3-6.
4. Шрубченко И.В. Повышение технологичности обработки крупногабаритных составных бандажей за счет минимизации необходимого припуска: Монография / И. В. Шрубченко, И.И. Кузнецова. Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. 157 с.
5. Шрубченко И.В., Хуртасенко А.В., Гончаров М.С. Контактные проявления погрешности формы и расположения в технологических барабанах // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 2. С. 81-85.