

14 – 17 июня 2005 г.

**в Физико-техническом институте НАН Беларуси
состоялась международная конференция
«Современные технологии металлообработки»**

**Конференция проводилась по следующим секциям:
«Высокоэнергетические технологии»,
«Обработка металлов давлением»,
«Новые материалы»**

Предлагаем Вашему вниманию два доклада, заслушанные на пленарном заседании:

1. В.С. Ивашко «Восстановление и упрочнение деталей сельскохозяйственной техники».
2. С.М. Кашулин, А.А. Новиков «Опыт изготовления автоматизированного оборудования обработки конструкционных материалов концентрированными потоками энергии».

ВОССТАНОВЛЕНИЕ И УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Ивашко В.С., Белорусский государственный аграрный технический университет

1. Классификация восстанавливаемых деталей машин

Агрегаты и узлы автомобилей, тракторов и сельскохозяйственных машин представляют собой совокупность множества деталей типа: вал, втулка, рычаг, корпус, шестерня, подвергающихся в процессе эксплуатации воздействию различного рода сил и воздействий, приводящих к необратимым процессам износа их рабочих поверхностей.

По форме изношенной поверхности детали тракторов, автомобилей и сельскохозяйственных машин распределяются примерно следующим образом: цилиндрических — 52%; конических и сферических — 3%; шкивов — 3%; пазов, канавок — 5%; резьб — 10%; плоских поверхностей — 1%; зубьев шестерен — 2%; профильных, фасонных поверхностей — 1%; трещин и изломов — 9%; нарушений геометрической формы — 13%. При этом 40% наиболее часто встречаемого дефекта — износ цилиндрической поверхности — составляет износ внешней цилиндрической

поверхности, а 60% — внутренней.

2. Способы ремонта

2.1. Методы ремонта соединений и устранения неисправностей машин

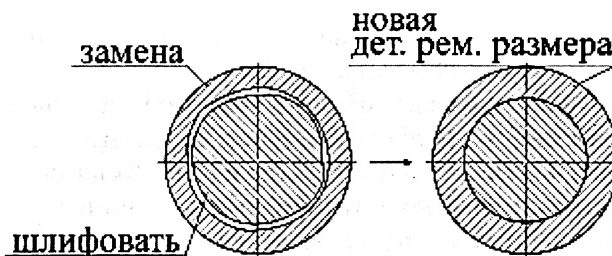
2.1.1. Способ ремонтных размеров

Способ ремонтных размеров возвращает соединению начальный зазор, а детали получают требуемую геометрическую форму. При этом одну из деталей изношенного соединения подвергают механической обработке по изношенной поверхности до ремонтного размера, а другую — заменяют.

Способом ремонтных размеров восстанавливают цилиндры двигателей, коленчатые и кулачковые валы, толкатели, клапаны, шкворни, тормозные барабаны и другие детали. Этот способ широко применяется для восстановления резьбовых соединений.

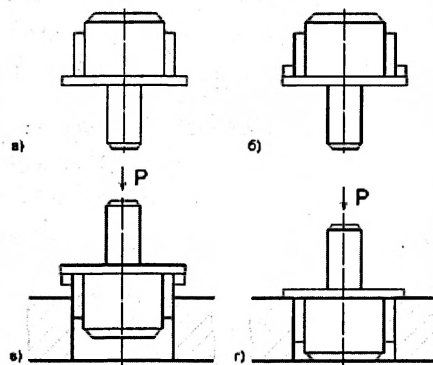
Способ приводит к некоторому снижению прочности и долговечности деталей и нарушает принцип полной взаимозаменяемости при ремонте агрегатов на готовых запасных частях.

1. Способ ремонтных размеров

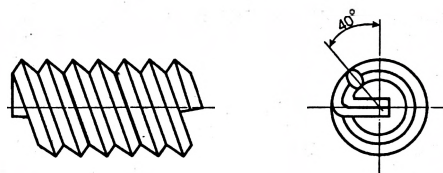


2. Восстановление изношенных поверхностей дополнительными деталями

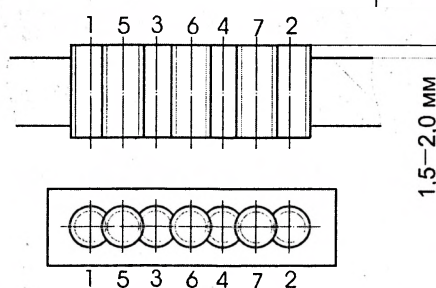
2.1. Схема восстановления изношенных посадочных отверстий в корпусных деталях путем установки стальных свертных втулок



2.2. Восстановление резьбовых отверстий спиральными вставками

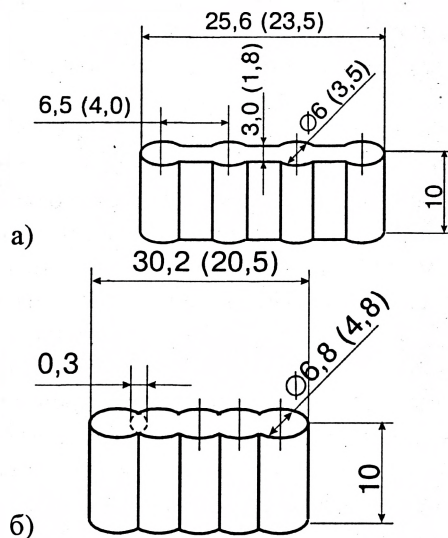


2.3. Схема заделка трещин штифтованием



2.4. Ремонт трещин в корпусных деталях фигурными вставками:

- а — стягивающие;
- б — уплотняющие



2.1.2. Восстановление изношенных поверхностей дополнительными деталями

Сущность метода состоит в том, что изношенная поверхность обрабатывается под больший (отверстие) или меньший (вал) размер и на нее устанавливается специально изготовленная дополнительная деталь (свертная втулка, ввертыш, втулка, насадка, компенсирующая шайба или планка). Крепление их

на основной детали производится напрессовкой с гарантированным натягом, приваркой, стопорными винтами, клеявыми композициями, на резьбе. Метод нашел широкое применение при восстановлении корпусных деталей.

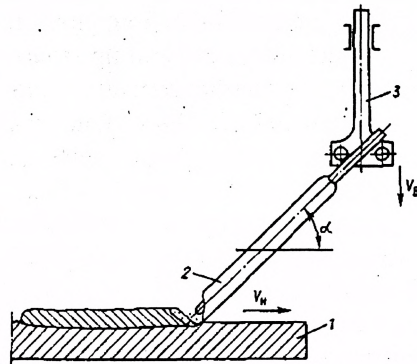
2.2. Способы наплавки

Способы, применяемые на предприятиях технического сервиса АПК:

1. Дуговая наплавка покрытыми электродами

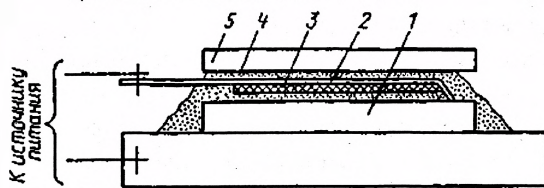
1.1. Наплавка наклонным электродом

1 — изделие; 2 — электрод; 3 — держатель

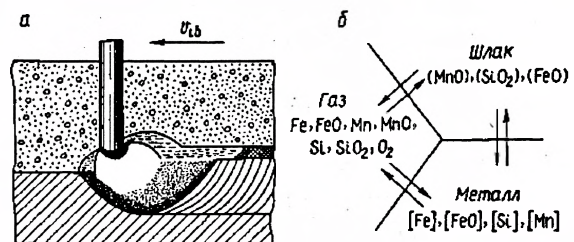


1.2. Наплавка лежачим пластинчатым электродом

1 — изделие; 2 — электрод; 3 — легирующая обмазка; 4 — флюс; 5 — медная плита

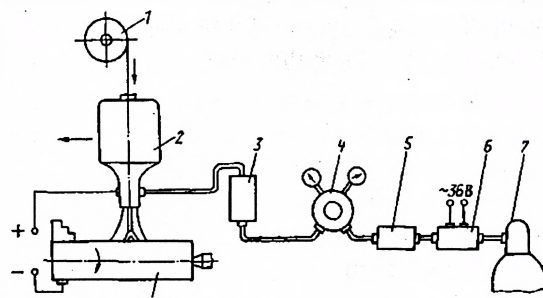


2. Механизированная наплавка под флюсом

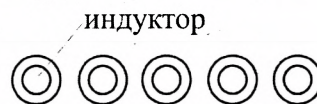


3. Наплавка в среде углекислого газа

1 — кассета с проволокой; 2 — наплавочный аппарат; 3 — ротаметр; 4 — редуктор; 5 — осушитель; 6 — подогреватель; 7 — баллон с углекислым газом; 8 — деталь

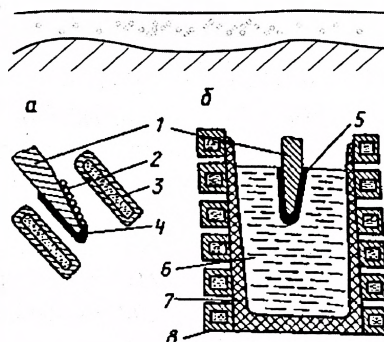


4. Индукционная наплавка порошковой шихтой



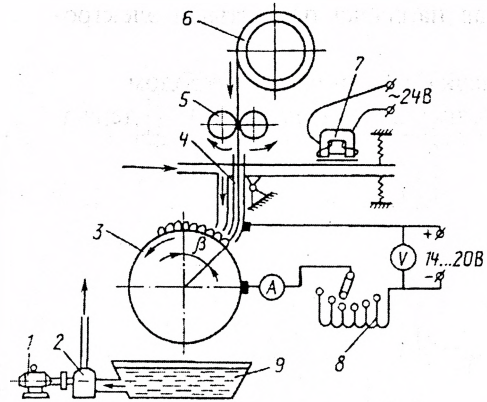
5. Наплавка намораживанием

1 — деталь; 2 — флюс; 3 — индуктор; 4 — изоляционное покрытие; 5 — наплавленный сплав; 6 — расплав; 7 — тигель; 8 — индуктор плавильной печи



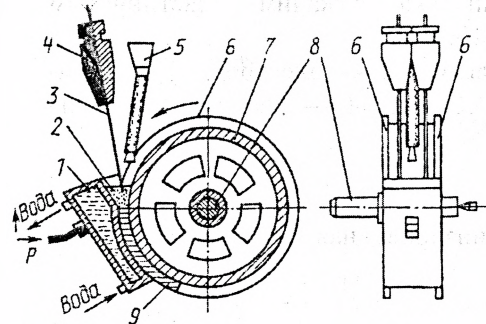
6. Вибродуговой наплавки

1 — электродвигатель; 2 — насос; 3 — наплавляемая деталь; 4 — вибрирующий мундштук; 5 — механизм подачи проволоки; 6 — кассета; 7 — вибратор; 8 — индуктивное сопротивление; 9 — бак для жидкости



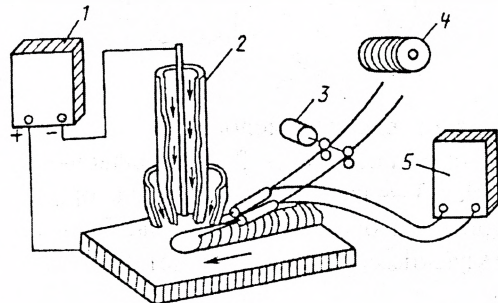
7. Электрошлаковая наплавка

1 — охлаждаемая форма; 2 — шлаковая ванна; 3 — электрод; 4 — мундштук; 5 — дозатор легирующих добавок; 6 — габаритные диски; 7 — каток; 8 — оправка; 9 — наплавленный слой

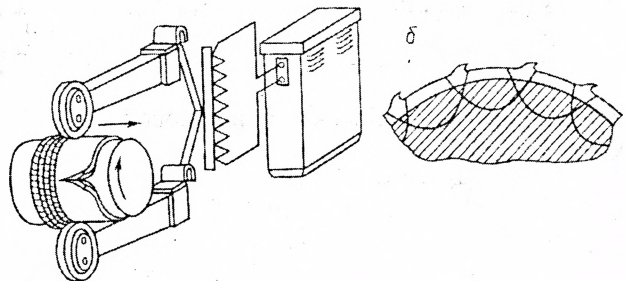


8. Плазменная наплавка:

1 — источник питания постоянного тока; 2 — плазменная горелка; 3 — электродвигатель для подачи проволоки; 4 — наплавочная проводка; 5 — источник переменного тока для подогрева проволоки



9. Электроконтактная приварка ленты, порошка или проволоки



2.2.1. Дуговая наплавка покрытыми электродами

Дуговую наплавку покрытыми электродами, как правило, выполняют вручную. Электродное покрытие служит для защиты ванны жидкого металла от кислорода и азота воздуха, стабилизации дуги, повышения технологичности процесса наплавки и введения легирующих элементов в состав наплавленного металла.

При наплавке наклонным электродом опираются на изделие. При этом не нужно применять какие-либо механизмы. Электрод перемещается под действием силы тяжести. Однако направление оси наплавляемых валиков нестабильное, поэтому сложно правильно сформировать слой в целом.

Наплавку лежащим электродом осуществляют стандартными электродами, а также специальны-

ми электродами и пластинами.

К недостаткам технологии относятся низкая производительность; нестабильность качества наплавленного металла; перерасход электродных материалов за счет разбрызгивания и остающихся огарков электродов в месте их крепления в электродержателе.

Данные технологии применяются в ремонтных мастерских сельскохозяйственных предприятий при текущем ремонте.

2.2.2. Дуговая наплавка под флюсом

При дуговой наплавке под флюсом сварочная дуга между проволочным электродом и изделием горит под слоем сухого гранулированного флюса толщиной 20 – 40 мм с размером зерен 0,5 – 3 мм в поперечнике. Одновременно плавятся сварочная проволока, основной металл и флюс.

Преимуществами наплавки под флюсом являются производительность процесса, увеличение кпд и улучшение условий труда. К недостаткам относятся значительная зона термического влияния, необходимость удаления шлаковой корки.

В настоящее время применяется при восстановлении шлицевых соединений и других деталей с большой величиной износа, например, катков гусениц.

2.2.3. Наплавка в среде углекислого газа

Процесс наплавки в среде защитных газов отличается тем, что в зону горения электрической дуги под давлением подается защитный газ и столб дуги, а также расплавленная сварочная ванна изолируются от кислорода и азота воздуха.

Преимущества процесса: хорошее формирование шва; интенсивный отвод тепла из зоны сварки; высокая производительность процесса; простота конструкции оборудования.

Недостатки процесса: разбрызгивание металла, сравнительно низкие твердость и износостойкость наплавки, так как легирование наплавленного металла через флюс не имеет места; требует применения проволоки, легированной кремнием и марганцем.

Наибольшее применение процесс нашел при ремонте шнеков, транспортеров, бункеров различных уборочных машин.

2.2.4. Индукционная наплавка порошковой шихтой

Технология индукционной наплавки основана на использовании токов высокой частоты (ТВЧ) для нагрева металла детали и за счет теплопередачи расплавления присадочного материала — специальной порошкообразной шихты. Она состоит из твердого сплава и флюса на основе буры, борного ангидрида и других веществ.

Преимуществами процесса индукционной на-

плавки являются повышенная износостойкость наплавленного слоя; несложное оборудование и оснастка; возможность автоматизации процесса; чистота рабочего места. Однако нельзя наплавлять наружные цилиндрические поверхности деталей из-за местного перегрева и ухудшения физико-механических свойств основного металла.

Данный метод нашел применение при упрочнении, в первую очередь, измельчающих ножей кормоуборочной техники.

2.2.5. Наплавка намораживанием из расплава

Сущность процесса заключается в том, что наплаваемый металл затвердевает на очищенной от оксидной пленки поверхности заготовки, погруженной в расплав этого металла. Из-за различия температур расплава T_p и заготовки T_z ($T_p > T_z$) локальный объем расплава, контактирующий с поверхностью заготовки, охлаждается до затвердевания. После кратковременной выдержки в расплаве заготовку извлекают и на ее поверхности получают слой присадочного металла.

Преимуществами являются стабильность, производительность и качество наплавленного металла. Одной из проблем является остающийся в тигле расплавленный присадочный металл.

Процесс намораживания применяется при упрочнении быстроизнашивающихся деталей машин для обработки почвы.

2.2.6. Вибродуговая наплавка

Основными особенностями вибродуговой наплавки являются вибрация электродной проволоки и подача охлаждающей жидкости в зону горения дуги (частота колебаний проволоки вдоль оси 50—100 с⁻¹, амплитуда 1—3 мм).

Преимущества вибродуговой наплавки: получают покрытия высокой твердости и износостойкости без дополнительной термообработки; детали не деформируются и не нагреваются в процессе наплавки; высокая производительность.

Недостатки: снижается прочность наплавленных деталей при переменных нагрузках, неоднородная твердость наплавленного слоя.

Применяют метод для восстановления, в первую очередь, посадочных мест под подшипники.

2.2.7. Электрошлаковая наплавка

В процессе электрошлаковой наплавки ток проходит от электрода к детали через жидкий шлак, в результате выделяется тепло. Температура шлаковой ванны выше, чем температура плавления присадочного материала электрода. Присадочный металл расплавляется, оседает и формируется охлаждаемым кристаллизатором, который прида-

ет нанесенному слою нужную форму.

Электрошлаковая наплавка применяется для восстановления крупногабаритных деталей с большими износами (10 мм и более).

2.2.8. Плазменная наплавка

В процессе плазменной наплавки между основным металлом детали и электродом горелки (катодом) возникает электрическая дуга, обеспечивающая переход в плазменное состояние рабочего газа, подаваемого в зону дуги. При этом из сопла горелки истекает высокотемпературная плазменная струя, обеспечивающая плавление наплавочного материала.

Для образования плазмы используют смесь гелия (75 %) с аргоном (25 %), а в качестве защитного газа применяют аргон.

Преимуществами плазменной сварки и наплавки являются высокая производительность, меньшая зона термического влияния.

Способ нашел применение при восстановлении тяжело нагруженных коленчатых валов дизельных двигателей.

2.2.9. Электроконтактная приварка ленты, порошка или проволоки

Перспективным процессом нанесения защитных покрытий является электроконтактная приварка к поверхности детали стальной ленты, порошка или проволоки, которую осуществляют мощными импульсами тока.

Процесс приварки отличается высокой производительностью; минимальными потерями прирабочего материала.

В большей степени применяют для восстановления коленчатых и распределительных валов.

2.3. Способы газотермического напыления

2.3.1. Дуговая металлизация

При дуговой металлизации покрытия создают, применяя дуговой разряд, столб которого горит между электродами, непрерывно сближающимися навстречу друг другу. Нагрев и распыление осуществляют за счет энергии анодного и катод-

ного пятна на распыляемой проволоке. Для получения сложных покрытий с включением неметаллов сердцевину проволоки заполняют порошком соответствующего состава.

Однако в этой технологии заложена опасность перегрева и окисления напыляемого материала при малых скоростях подачи распыляемой проволоки. Кроме того, большое количество теплоты, выделяющейся при горении дуги, приводит к значительному выгоранию легирующих элементов, входящих в напыляемый сплав (например, содержание углерода в материале покрытия снижается на 40—60 %, а кремния и марганца — на 10—15 %).

Метод нашел применение для нанесения антикоррозионных покрытий на металлические конструкции. Электродуговая активированная (с подачей в струю пропан-бутановой смеси) применяется для восстановления коленчатых валов.

2.3.2. Плазменное напыление

Процесс плазменного напыления характеризуется дуговым разрядом с большим межэлектродным промежутком, при котором нагрев и ускорение напыляемых частиц происходит за счет тепловой и кинетической энергии плазмы столба дуги. Плазменное напыление позволяет наносить покрытия из электропроводных и неэлектропроводных материалов в любом состоянии (проволока, стержень, порошок).

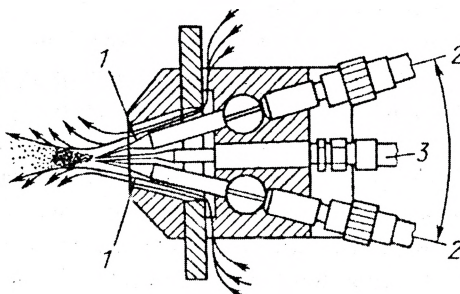
Способ плазменного напыления обладает важными преимуществами: получение покрытий из тугоплавких материалов; высокие производительность процесса и коэффициент использования напыляемого материала; малый нагрев поверхности основы.

Недостатки: высокий уровень шума (110—130 дБ) и излучения; высокая стоимость оборудования и его стационарность.

В настоящее время применяется для восстановления деталей только на Слонимском моторо-ремонтном заводе.

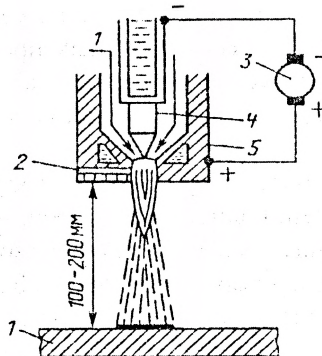
1. Дуговая металлизация

1 — насадок; 2 — место введения напыляемого материала (проволоки); 3 — место подачи сжатого воздуха



2. Плазменное напыление

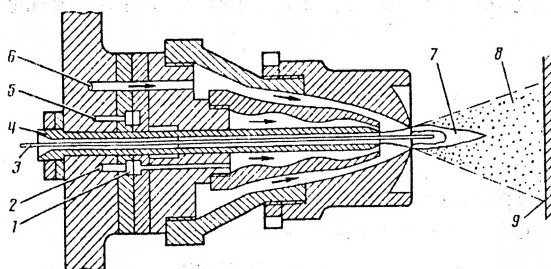
1 — плазмообразующий газ; 2 — место введения напыляемого материала; 3 — источник питания; 4 — катод; 5 — анод



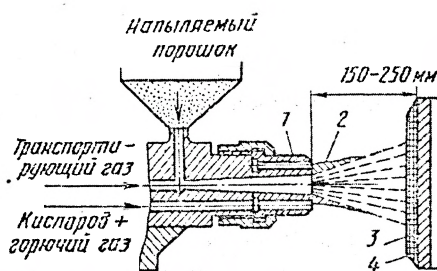
3. Газопламенное напыление

3.1. Проволочное газопламенное напыление:

1 — смесительная камера; 2 — канал подачи кислорода; 3 — проволока; 4 — направляющая втулка; 5 — канал подачи ацетилена (пропана); 6 — канал подачи сжатого воздуха; 7 — пламя; 8 — газометаллическая струя; 9 — напыляемая поверхность

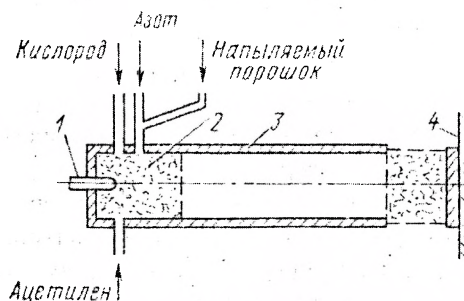


3.2. Порошковое газопламенное напыление: 1 — сопло; 2 — факел; 3 — покрытие; 4 — напыляемая поверхность



4. Детонационное напыление

1 — электрическая свеча; 2 — камера; 3 — ствол; 4 — напыляемая поверхность



2.3.3. Газопламенное напыление

Это процесс, при котором нагрев материала (проволоки, порошка или стержней) осуществляется тепловой энергией, выделяющейся при сгорании смеси горючего газа (ацетилен, пропан-бутан) и кислорода.

Преимущества: небольшое окисление металла; мелкое его распыление. Недостаток: сравнительно невысокая производительность процесса (2—4 кг/ч).

Широко применяется для восстановления деталей, а напыление самофлюсующихся материалов — для упрочнения почвообрабатывающих деталей

сельскохозяйственных машин (сеялок и др.).

2.3.4. Детонационное напыление

Сущность процесса заключается в использовании энергии взрыва смеси ацетилена и кислорода (пропан-бутана и воздуха) для нагрева и ускорения частиц порошка напыляемого материала.

Преимущества: большая производительность процесса; высокая прочность сцепления покрытия с поверхностью детали; невысокая температура на поверхности детали (не более 200 °С).

Недостатки: высокий уровень шума (до 140 дБ).

Применяется для упрочнения и восстановления

коленчатых валов мощных дизельных двигателей (1000 и более л.с.). На ремонтных предприятиях Республики Беларусь не применяется.

3. Восстановление деталей полимерными материалами

Полимерные материалы применяют как в чистом виде (полиэтилен, полистирол, капрон, полипропилен), так и в виде пластмасс. Для образования пластмасс к полимерному материалу добавляют ряд компонентов: наполнители (стеклянное волокно, асбест, цемент, металлические порошки), улучшающие физико-механические свойства пластмасс;

пластификаторы (дибутилфталат, диоктилфталат, жидкий тиокол и другие), улучшающие пластичность и эластичность пластмасс; отвердители (полиэтиленполиамин и др.).

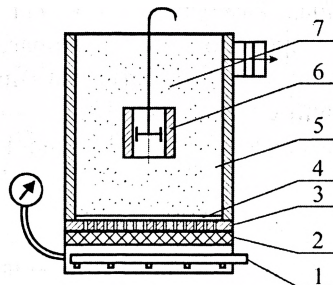
Полимеры, применяемые при ремонте машин, делятся на термореактивные (реактопласты) и термопластичные (термопласты).

Реактопласты при прогревании размягчаются и в этом виде их можно формовать. При нагреве после отвердевания реактопласты не размягчаются. Примерами реактопластов являются составы на основе эпоксидных смол ЭД-16, ЭД-20 и др.

Напыление:

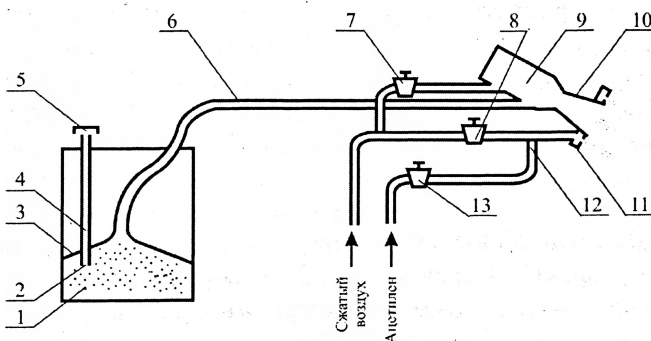
1. Вихревое напыление (напыление в кипящем слое, напыление в псевдооживленном слое)

1 — трубопровод; 2 — пористая перегородка; 3 — пластина; 4 — слой ткани; 5 — камера; 6 — деталь; 7 — полимер



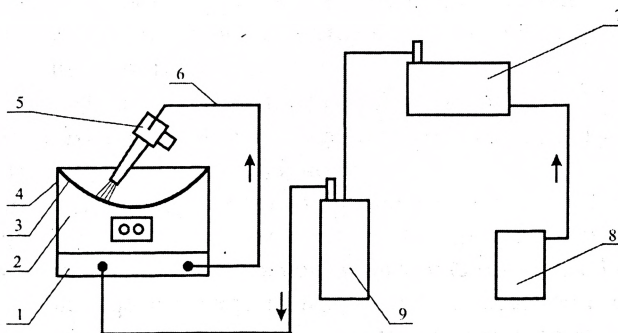
2. Газопламенное напыление

1 — порошок, 2 — сопло, 3 — колпак, 4 — трубка, 5 — фильтр, 6 — трубка для подачи порошково-воздушной смеси, 7, 8 — воздушный вентиль, 9 — порошковый эжектор, 10 — сопло, 11 — кольцевое сопло, 12 — смешительная камера, 13 — вентиль горячего газа

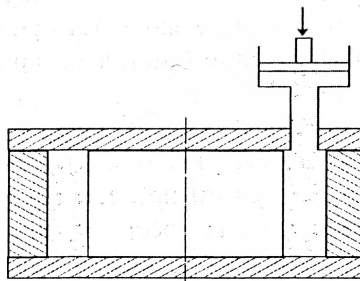


3. Струйный беспламенный метод напыления пластмасс на нагретую поверхность

1 — электропечь, 2 — оправка с терморегулятором, 3 — деталь, 4 — теплоизолятор, 5 — распылитель порошка, 6 — воздухопроводы, 7 — ресивер, 8 — компрессор, 9 — фильтр



Литье под давлением



Нанесение паст шпателем (кистью)

Термопласты при повторном нагревании снова становятся пластичными. Термопластами являются амидопласты (капрон марок А и Б, полиамидные смолы П-54, П-68, ПП-610, АК-7), винилпласты, этиленпласты (полиэтилен).

Способы нанесения полимеров (пластмасс) на поверхности деталей могут быть следующими: напыление (вихревое, газопламенное, центробежное, струйное); опрессовка деталей полимерами; литье под давлением; холодное литье; нанесение паст, компаундов и т.д.

Применяют для упрочнения и восстановления шлицевых втулок карданных валов, деталей, работающих при невысоких (до 3,5 м/с) скоростях, а также для заделки вмятин и других дефектов кузовов.

4. Применение сталей пониженной прокаливаемости

Наиболее широкое применение в Республике Беларусь получили стали пониженной прокаливаемости 55ПП и 60ПП для изготовления крестовин карданных валов, шестерен и деталей почвообрабатывающих машин. При скоростной закалке (1000 град/с) твердость поверхностного слоя (до 3 мм) достигает 58...64 HRC₃, предел прочности — 2300...2500 МПа, твердость сердцевины составляет 28...35 HRC₃, а ударная вязкость — 0,89...1,05 МДж/м².

5. Применение пластической деформации при восстановлении и упрочнении деталей сельскохозяйственных машин

5.1. Способы восстановления

Восстановление деталей способом пластической деформации (давлением) основано на способности металлов изменять свою форму и размеры без разрушения под действием нагрузки за счет остаточной (пластической) деформации. При пластической деформации объем детали остается без изменений, а металл перемещается с одного участка на другой.

Ремонт пластическим деформированием бывает двух видов. Первый вид: деформация ведется без нагрева деталей — холодная деформация, второй при нагреве до температуры выше 400 °С — горячая деформация.

Правка. Для восстановления формы скрученные или изогнутые детали подвергают правке: изгибом и местным наклепом. В первом случае направление действующей нагрузки R_d или $M_{кр}$ совпадает с направлением требуемой деформации δ детали.

Раздача. Полые цилиндрические детали с изношенной наружной поверхностью подвергаются раздаче для восстановления начальных размеров. Раздача характеризуется совпадением действующей силы R_d с направлением требуемой деформации δ детали.

Осадка. При осадке направление действующей силы R_d не совпадает с направлением деформации δ , то есть не совпадает с направлением изменения формы детали.

Обжатие. В отличие от раздачи при обжатии происходит уменьшение наружного и внутреннего диаметра детали.

Вдавливание. Вдавливание характеризуется тем, что направление действующей силы R_d , так же как и при осадке, не совпадает с направлением требуемой деформации δ , но длина детали при этом не изменяется.

Вытяжка и растяжка. При вытяжке направление действующей силы R_d не совпадает с направлением требуемой деформации δ , а при растяжке — совпадает.

Накатка. Направление действующей силы R_d противоположно требуемой деформации δ .

5.2. Способы упрочнения

Обкатывание, накатывание и раскатывание шариками и роликами. Металл выступов неровностей перемещается в обоих направлениях от места контакта с деформирующим элементом.

Дробеструйный наклеп. В основе этого процесса лежит пластическое деформирование поверхностного слоя под действием кинетической энергии потока дроби.

Дорнование. Сущность процесса состоит в протягивании шарика или дорна через отверстие, диаметр которого несколько меньше диаметра инструмента, в результате чего происходит пластическая деформация металла, приводящая к

изменению формы и размеров отверстия и упрочнению поверхностного слоя.

Упрочнение чеканкой. Упрочнение чеканкой осуществляется путем ударного воздействия на обрабатываемую поверхность специальными бойками и в условиях ремонтного производства применяется для упрочнения галтелей коленчатых валов и повышения физико-механических свойств сварных швов и наплавленного металла.

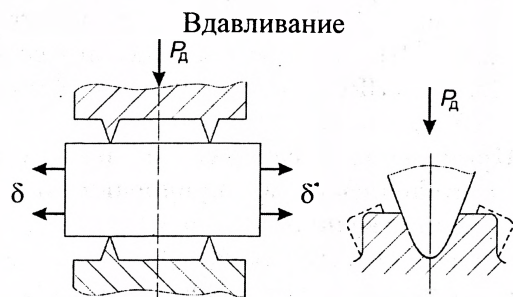
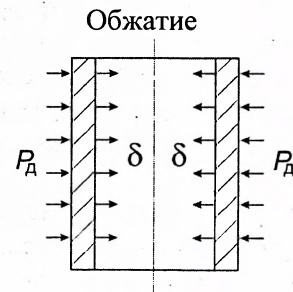
Электромеханическая обработка. Электромеханический способ восстановления размеров посадочных мест неподвижных сопряжений деталей основан на использовании пластической деформации поверхностных слоев металлической детали при ее электроконтактном нагреве.

Термомеханическая обработка (ТМО). Это такой вид упрочнения, когда повышение общего уровня прочностных и других свойств достигается

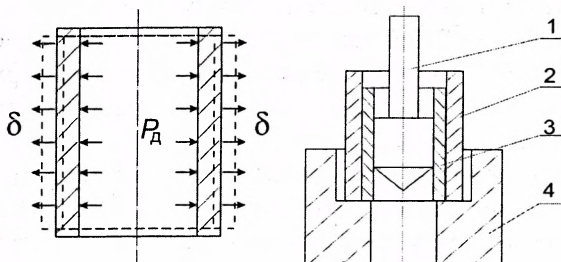
за счет совмещения пластической деформации и термического воздействия, осуществляемых в едином технологическом цикле в различной последовательности. Пластическая деформация является промежуточной операцией.

Высокотемпературная термомеханическая обработка (ВТМО). Сущность этого метода заключается в пластической деформации аустенита при температуре выше верхней критической точки A_{c3} с немедленным охлаждением, позволяющим предотвратить развитие рекристаллизации, зафиксировать особое структурное состояние, возникающее при горячем наклепе.

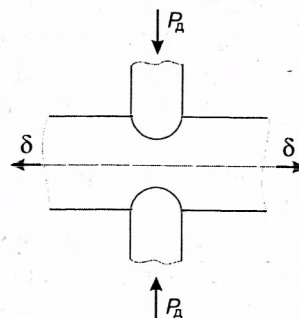
Предварительная термомеханическая обработка (ПТМО) предусматривает проведение пластической деформации стали перед закалкой с использованием скоростных методов нагрева.



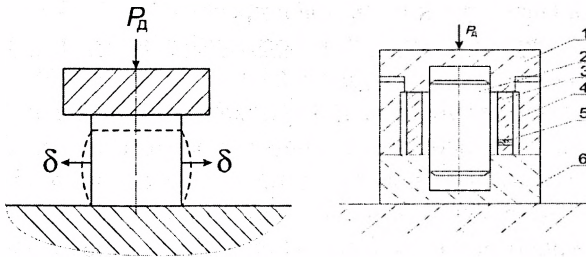
Раздача (упрочнение дорнованием)



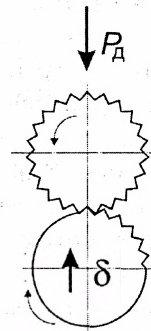
Вытяжка и растяжка



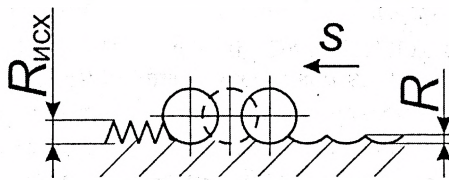
Осадка



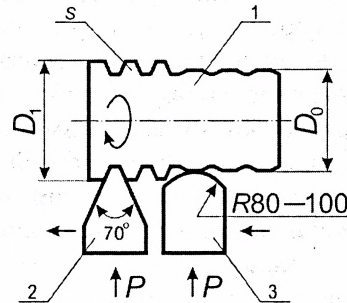
Накатка



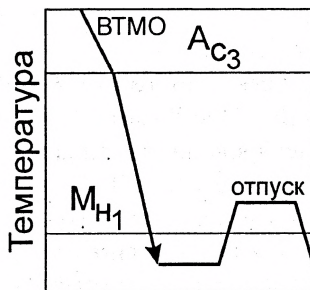
Обкатывание и раскатывание шариками и роликами



Электромеханическая обработка



Высокотемпературная термомеханическая обработка (ВТМО)



ОПЫТ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ОБРАБОТКИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ КОНЦЕНТРИРОВАННЫМИ ПОТОКАМИ ЭНЕРГИИ

Кашулин С.М., Новиков А.А., Физико-технический институт НАН Беларуси

Общие положения

В течение последних 15 лет в Физико-техническом институте НАН Беларуси активно разрабатываются технологии и оборудование для обработки конструкционных материалов концентрированными потоками энергии.

В частности, велись работы по созданию лазерно-технологических комплексов, плазменно-технологических комплексов и водо-абразивных комплексов.

В общем случае всякое устройство для обработки материалов концентрированными потоками