

до 400-500 мкм. Карбидохромовое покрытие примерно в 7 раз превосходит по износостойкости при трении без смазочного материала износостойкость инструментальной стали ХВГ.

Для нанесения покрытия можно использовать тонкие порошки титана, карбида титана, гидрата титана или смеси на основе одного из этих веществ с добавлением до 20% карбида молибдена, до 30% карбидов тантала, ниобия, гафния, циркония, хрома, ванадия и до 50% черных металлов. При упрочнении изделий из всех материалов, кроме порошковых, в основной порошок добавляется порошок угля. Из порошка смеси, полученного в шаровой мельнице влажным способом и высушенного, готовят суспензию на основе воды или углеводородов.

В ванну с суспензией погружают изделие и металлическую пластину. Их соединяют с различными полюсами источника постоянного тока напряжением от десятков до сотен вольт. В ванне происходит электрофорез, под действием которого порошок из суспензии осаждается на изделие, образуя покрытие толщиной от единиц до сотен микрон. В суспензию можно добавлять вещество, способствующее образованию коллоидного ионогенного соединения, например, альгинат натрия, кальция, магния или аммония, нитрат алюминия или другие соли азотной и серной кислот. Добавление таких веществ позволяет при низком напряжении электрофореза (несколько десятков вольт) получить покрытие с повышенной адгезией. После осаждения покрытия изделие извлекают, высушивают на воздухе и помещают в печь, где выдерживают при температуре 1200-1300 °С в вакууме (1,3 Па), восстановительной или нейтральной атмосфере, в результате чего в зоне перехода от покрытия к изделию образуется слой сплава металла покрытия и основного металла.

Электрофоретическое осаждение покрытия системы карбид вольфрама – кобальт – бор выполняют с использованием постоянного тока в суспензии, содержащей масс. доли: твердосплавной основы WC-Co-B 350-380; хлористого алюминия 0,25-0,3; ацетилацетона 0,8-3,0; этиленгликоля 100-120; этилцеллюлозы $(3 \div 5) \cdot 10^{-4}$. Напряженность электрического поля 250-300 В/см; скорость осаждения до 23-24 мкм/с или $17 \text{ м}^2/(\text{с} \cdot \text{см}^2)$; время осаждения 30-180 с; температура электролита 20-100 °С. Концентрация порошка твердого сплава BK-15 20-70%. Состав дисперсной фазы по плотности, кг/м^3 : WC $15,63 \cdot 10^2$; Co $8,8 \cdot 10^2$; B 2,34; размер частиц, мкм: WC 1-5; Co 1; B 1,0.

Электрохимическое полирование

Электрохимическое полирование – один из наиболее эффективных методов повышения стойкости, например, инструментов, благодаря уменьшению шероховатости поверхности, снижению коэффициента трения инструмента об обрабатываемые детали и стружку, ликвидации прижогов. Сущность процесса – анодное растворение металла в электролите.

При шлифовании поверхностей деталей часто наблюдается появление прижогов и микротрещин, что вызывает местные напряжения и преждевременный выход детали из строя. Дефекты могут быть устранены электрохимическим полированием, снимающим поверхностный дефектный слой и формирующим поверхность повышенной чистоты. Преимущество метода – высокая производительность, не зависящая от физико-механических свойств обрабатываемого материала.

ла и формы изделия. Статические характеристики металла – предел текучести, относительное удлинение, относительное сужение – практически не изменяются. Основное отличие поверхности, полированной электрохимическим способом, от обработанной резанием – отсутствие следов деформации, прижогов и структурных изменений. Растворение гребешков металла уменьшает параметр шероховатости поверхности на 1-2 мкм и изменяет характер микрорельефа. При сопряжении электрополированных поверхностей фактическая опорная поверхность возрастает, что оказывает положительное влияние на работу деталей в условиях трения. Электрохимическое полирование способствует стабилизации коэффициента трения, уменьшает время приработки трущихся поверхностей в 5-6 раз, повышает стойкость металла к коррозии, увеличивает срок службы деталей.

Электрохимическое полирование повышает стойкость сверл на 30-35%, зенкоров на 10-20%, разверток на 20-25%, метчиков до 70%, концевых фрез до 100%.

Упрочняемые инструменты укладывают на медную сетку, соединенную с положительным полюсом источника постоянного тока, и погружают в электролитическую ванну, через которую пропускают электрический ток при напряжении 8 В в течение 20-45 с. Время выдержки зависит от размера упрочняемого инструмента и марки материала. Выделяющиеся в процессе работы газы отсасывают при помощи системы вентиляции. Электролит периодически очищают от шлама.

Перед полированием детали и инструмент термически обрабатывают. После обезжиривания их промывают в горячей и холодной воде, декапируют, вновь промывают и погружают в ванну травления. Для травления сталей типов 65Г и 40Х применяют серно-кислый раствор состава: серная кислота 18-20%; присадка ЧМ 0,8 г/л (основание хинолинового ряда); температура раствора 50-60 °С; время травления 15-20 мин. После травления детали промывают в растворе, содержащем, % (мас. доля): ортофосфорной кислоты 45; серной кислоты 39; хромового ангидрида 4; вода – остальное. Плотность раствора 1,7-1,74 г/дм³, температура 70-80 С; продолжительность выдержки 6 мин (катоды свинцовые). Затем инструмент или детали промывают в горячей и холодной проточной воде. Для полного удаления следов кислот проводят нейтрализацию в растворе углекислого натрия – 20-30 г/л в течение 0,15-3 мин, после чего их снова промывают в холодной и горячей проточной воде и сушат.

Для полирования инструментов из быстрорежущих и углеродистых сталей можно применить двухкомпонентный электролит состава, % (мас. доля): ортофосфорной кислоты 88 (плотность 1,6 г/см³); хромового ангидрида 10; вода – остальное. Электрохимическое полирование осуществляют в специальных ваннах с паровым подогревом, электропитание – от источника постоянного тока напряжением до 36 В.

Электролиты для электрополирования не универсальны. Их полирующая способность к различным металлам ограничена. Подбор электролитов и режимов электрополирования для многокомпонентных легированных сталей выполняют с учетом содержащихся в них присадок металлов, вызывающих значительные отклонения электрохимических параметров анодной обработки по сравнению с чистым железом. Это приводит к избирательному растворению участков металла, различных по своим свойствам.

На качество полирования влияют микроскопические неоднородности, возникающие из-за наличия в металле нескольких кристаллических фаз и особен-

но неметаллических включений. Оптимальные режимы электрополирования предварительно определяют потенциостатическим методом в стеклянной электрохимической ячейке на потенциостате П-5848. Для электрода сравнения используют стандартный хлорсеребряный электрод, в качестве вспомогательного – платиновую пластинку. Рабочим электродом служит деталь. Например, в состав твердой заэвтектидной инструментальной стали ХВСГ, применяемой для изготовления мелкогабаритных плашек и метчиков, входят углерод, хром, вольфрам, кремний, марганец (по 1%), ванадий (0,1%), никель (не более 0,35%), сера и фосфор (не более 0,03%). Одна часть этих элементов образует с углеродом карбиды, другая – твердый раствор в железе. При электрополировании этой стали в результате влияния указанных включений возникают локальные гальванические элементы, которые обычно являются катодами по отношению к основной фазе. Это приводит к растворению основной фазы вокруг частиц катодной фазы, которые, выкрашиваясь, оставляют на полированной поверхности оспины (питтинг).

Высокое качество электрохимического полирования сталей такого типа достигается в электролите, содержащем 25% хромового ангидрида и 75% ортофосфорной кислоты, при температуре 80-100 °С и плотности тока 100-200 А/дм². Работа при такой высокой плотности тока осложняет проведение процесса в производственных условиях. Для снижения плотности тока и увеличения электрической проводимости электролита в раствор вводят серную кислоту и воду. Введение 17% серной кислоты и 4% воды повышает электрическую проводимость в 2 раза по сравнению с исходным раствором. При таком содержании дополнительных компонентов рабочая плотность тока имеет минимальные значения.

Оптимальный состав электролита и режим электрополирования плашек из стали ХВСГ, % (мас. доля):

| | Оптимальное содержание | Допустимые пределы |
|---|------------------------|--------------------|
| Ортофосфорная кислота..... | 60 | 60 – 65 |
| Серная кислота..... | 17 | 15 – 20 |
| Хромовый ангидрид..... | 18 | 15 – 20 |
| Вода..... | 5 | 2 – 6 |
| Анодная плотность тока, А/дм ² | 40 – 60 | |
| Температура, °С..... | 80 – 100 | |
| Время полирования, мин..... | 5 – 10 | |

Электролит не корректируют по содержанию основных компонентов, если количество пропущенного через него электричества не превышает 240 А ч/л при условии периодического добавления воды до исходного уровня. Дальнейшее увеличение количества электричества связано с необходимостью корректирования и регенерации электролита удалением железа и окисления трехвалентного хрома до шестивалентного. Для осаждения железа предварительно восстанавливают Fe³⁺ до Fe²⁺ на свинцовом катоде при плотности тока 0,8-1 А/дм². Анодное пространство отделяют от катодного пористой диафрагмой. Следующая операция – охлаждение раствора до температуры –4 ÷ +4 °С. Соли двухвалентного железа кристаллизуются и выпадают в осадок. После этого проводят окисление С³⁺ до С⁶⁺ на свинцовом аноде при плотности тока 2-4 А/дм².

При старении электролита уменьшается блеск полируемых деталей, что связано с понижением растворимости продуктов анодного растворения. Поэтому после отработки 240 А ч/л электролит заменяют. Полированные детали нейтрализуют, промывают их в холодной и горячей воде, а затем сушат. Способы устранения возможных дефектов при электролитическом полировании стали приведены в табл. 17.

Электрохимическое полирование изделий из коррозионно-стойких сталей. Предварительно поверхность подвергают виброабразивной обработке на установках типа УВГ-100 с использованием твердого абразивного наполнителя. Режимы полирования следующие: частота колебаний 36,6-38 Гц, амплитуда 1,8-2 мм, продолжительность обработки 4 ч.

Заготовки загружают в барабан, представляющий собой шестигранник, например, со стороной 300 мм и длиной 1000 мм. Барабан заполняют рабочей смесью. В качестве твердого наполнителя используют бой фарфора, керамики и осиновые кубики, в качестве жидкого наполнителя – раствор 75%-ного хозяйственного мыла, кальцинированной соды и воды. Концентрация раствора 0,3-0,5%. Продолжительность обработки 18-20 ч. Электрохимическое полирование осуществляют в стальных ваннах, футерованных свинцом или винипластом. В состав

17. Причины и способы устранения дефектов при электрополировании стали

| Вид дефекта | Причина возникновения | Способ устранения |
|--|---|--|
| Точечное травление поверхности, питтинг | Присутствие в электролите мельчайших частиц хромового ангидрида | Прогреть электролит при 80-90 °С до полного растворения хромового ангидрида |
| Неглубокие язвы очертаний | Наличие на поверхности деталей окалины и коррозии | Протравить детали в серной кислоте; в дальнейшем принять меры к недопущению появления на деталях окалины и коррозии |
| Непрозрачные пленки различного цвета | Состав электролита не оптимальный Плохая промывка деталей после полирования Высокая температура электролита | Сделать химический анализ электролита и откорректировать его Обеспечить тщательную промывку Снизить температуру до оптимальной |
| Слабый блеск и недостаточное сглаживание шероховатости | Низкая плотность тока | Плотность тока повысить до оптимального значения |
| Полосчатость | Высокая плотность электролита | Довести плотность электролита до 1,75-1,8 |
| Травление поверхности металла | Низкое содержание окислителя (хромового ангидрида) Накопление железа в электролите Низкая плотность тока | Содержание хромового ангидрида довести до оптимального значения Железо из раствора удалить или разбавить электролит свежеприготовленным Плотность тока повысить до оптимального значения |
| Пятна в месте контакта | Плохой контакт детали с подвеской | Обеспечить надежный контакт |
| Черный налет на поверхности детали | Низкая окислительная способность электролита | Увеличить содержание хромового ангидрида до оптимального значения |

электролита входят 70% ортофосфорной кислоты, 30% серной кислоты и 3-4 г/л уротропина. Плотность электролита 1,745-1,755 г/см³, температура электрополирования 44-47 °С, время обработки 5 мин, плотность тока 50-55 А/дм². Состав электролита корректируют (при работе в две смены) один раз в неделю. Замену электролита осуществляют после пропускания через 1 л раствора 250 А/ч тока.

Технологический процесс электрохимического полирования обеспечивает создание блестящей коррозионноустойчивой поверхности.

Электрохимическое оксидирование

Электрохимическое оксидирование применяют для создания неметаллических неорганических покрытий, преимущественно на цветных металлах и сплавах, чаще – на алюминии и его сплавах.

Электрохимическое оксидирование (анодное оксидирование, анодирование) позволяет образовать на поверхности металла оксидную (анодную) пленку одного из трех типов:

1 – тонкую барьерную пленку толщиной 0,1-1 мкм; пленки формируются в электролитах, не растворяющих оксидов; находят применение при изготовлении электроизоляционных материалов;

2 – анодную пленку средней толщины 1-50 мкм; используются главным образом при защите алюминия и его сплавов от коррозии и при декоративной отделке изделий различного назначения;

3 – толстую анодную оксидную пленку толщиной 50-300 мкм; применяют для защиты поверхности от износа и истирания, тепло- и электроизоляции.

Анодная пленка, сформированная на поверхности электрода (детали), состоит из примыкающего к основному металлу тонкого *барьерного слоя* и *пористого наружного слоя*. Пористый слой образуется в результате частичного растворения барьерного слоя под действием электролита. Пористость пленки зависит от агрессивности электролита. Барьерный слой обладает высоким электрическим сопротивлением. Он создает на поверхности, например алюминия, сильный вентильный эффект с удельным сопротивлением 10¹¹ Ом·см при пропускании тока в направлении от оксида к алюминию. Поэтому при анодировании практически все падение напряжения определяется сопротивлением барьерного слоя.

Толщина барьерного слоя определяется напряжением процесса. Отношение толщины барьерного слоя к напряжению оксидирования характеризует относительную толщину барьерного слоя. Эта величина не зависит от плотности тока, слабо уменьшается с температурой и несколько меняется при переходе от одного электролита к другому. Предельная относительная толщина барьерного слоя 1,4 нм/В для анодных оксидных пленок, получаемых на чистом алюминии в электролитах, не растворяющих оксид. Для алюминиевых сплавов, оксидируемых в различных электролитах, толщины пленок различны.

Образование анодных оксидных пленок средней и большой толщины обусловлено растворяющим действием электролита на барьерный оксидный слой, который разрушается избирательно. В процессе оксидирования наружный слой утолщается вследствие непрерывного превращения металла в оксид.

Определяющими реакциями при анодном оксидировании алюминия и его сплавов в серной кислоте являются электрохимическое *формирование оксида в барьерном слое* и *химическое растворение оксида* при воздействии электролита.