

СВОЙСТВА АЗОТИРОВАННОГО СЛОЯ

Азотирование – процесс многоцелевого назначения, с помощью которого упрочняются металлы и сплавы, конструкционные, инструментальные, коррозионностойкие и жаропрочные стали. Получающиеся при азотировании покрытия, состоящие из поверхностной нитридной зоны и зоны внутреннего азотирования, обеспечивают широкий диапазон физико-механических характеристик азотированных деталей. Каждая зона выполняет определенные служебные функции. Конкретные условия эксплуатации требуют создания диффузионного слоя с развитием определенных фазовых или структурных составляющих, которые определяют работоспособность изделий в данных рабочих условиях. Отсюда возникает потребность получения азотированных слоев с разной структурой, придающей поверхности строго определенные свойства.

СОПРОТИВЛЕНИЕ ИЗНОСУ ТРУЩЕЙСЯ ПОВЕРХНОСТИ

Для изготовления пар трения используются как твердые, так и мягкие материалы и покрытия. Для открытых пар трения (зубчатые колеса и т.д.) применяют детали с высокой твердостью взаимодействующих поверхностей. Для закрытых пар трения (подшипники скольжения и т.д.) – одна из контактирующих поверхностей обычно мягкая, обеспечивающая высокую приработку зоны контакта и износостойкость. Для закрытых пар желательно сосредоточить трение в тонком поверхностном слое, обладающем сверхпластичностью и отсутствием наклепа при многократной пластической деформации. Для защиты поверхности трения от разрушения необходимо образование поверхностных пленок из твердых растворов кислорода или окислов.

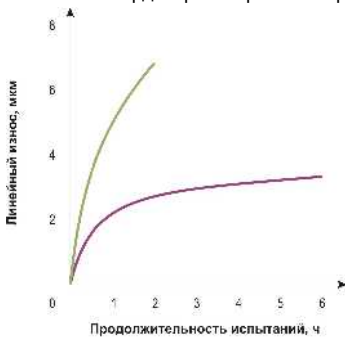


Рис.1 Линейный износ трущейся поверхности

— после азотирования;
— без азотирования

Теплофизические свойства поверхностного слоя должны на начальной стадии приработки исключить схватывания сопрягаемых поверхностей за счет низкой теплопроводности зоны трения, а на более поздних стадиях уменьшить вероятность возникновения температурных вспышек за счет большой теплоемкости поверхностного слоя.

Одним из основных факторов, обеспечивающим максимальную износостойкость трущейся поверхности, являются пластичность поверхностной зоны, имеющей пониженную прочность на сдвиг. Однако если на поверхности при азотировании формируются высокоазотистые соединения, имеющие низкую пластичность, тогда это может приводить к выкрашиванию поверхностного слоя и развитию усталостных процессов при упругом деформировании. Азотированный слой может обладать очень высокой износостойкостью, в несколько раз превышающей износостойкость закаленных высокоуглеродистых и цементированных сталей. Износостойкость азотированного слоя полностью определяется химическим составом металла и режимом химико-термической обработки.

СОПРОТИВЛЕНИЕ УСТАЛОСТНОМУ РАЗРУШЕНИЮ

В условиях симметричного или асимметричного изгиба по поперечному сечению детали возникает градиент напряжений, максимум которых приходится на поверхностные зоны. В условиях переменного действующих растягивающих и сжимающих напряжений свойства поверхности изделий являются одним из главных факторов, обеспечивающих сопротивление металла усталостному разрушению. При циклических нагрузках накопление повреждений происходит преимущественно в поверхностных слоях. Трещины усталости, как правило, возникают на поверхности под влиянием растягивающих напряжений. Поверхностные слои начинают деформироваться раньше, чем сердцевина, и вызвано это интенсивным накоплением дислокаций. После достижения критической плотности дислокаций начинают образовываться и развиваться микротрещины. Усталостные трещины, получившие развитие в поверхностных зонах, приводят в дальнейшем к излому.

Повышение усталостной прочности металла при азотировании объясняется возникновением остаточных напряжений сжатия, которые

уменьшают растягивающие напряжения от внешней нагрузки. Максимальная величина сжимающих напряжений (до 400 МПа) находится в поверхностной нитридной зоне на глубине не более 20 мкм. В зоне внутреннего азотирования сжимающие напряжения составляют всего 100-200 МПа. Однако, несмотря на меньшую величину остаточных напряжений, основной вклад в повышение предела выносливости дает именно зона внутреннего азотирования из-за большей ее протяженности по глубине.

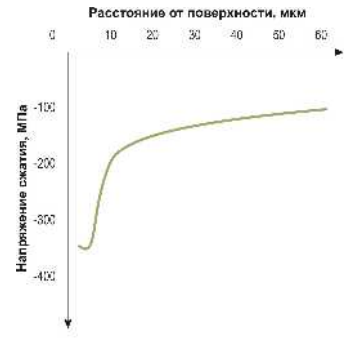


Рис.2 Распределение остаточных напряжений сжатия по толщине азотированного слоя.

Состояние поверхности деталей оказывает решающее влияние на их прочность при циклических нагрузках. Сопротивление металла циклической усталости по всей глубине определяется в основном отсутствием повреждений тонкого поверхностного слоя. Поверхностное упрочнение снижает вероятность образования и развития микротрещин и повышает сопротивление усталостному разрушению.

КОНТАКТНАЯ ВЫНОСЛИВОСТЬ

Азотирование изделий – один из методов повышения предела контактной выносливости, связано такое упрочнение поверхности с образованием в азотированном слое остаточных напряжений сжатия. При повторном местном действии высокого удельного давления на поверхности металла может возникать нарушение, характерное для контактной усталости. Начальная стадия развития контактной усталости такая же, как и при усталости детали в целом. Возникающие усталостные нарушения поверхности могут стать критическими и явиться началом усталостного излома. Сопротивление контактной усталости азотированного слоя ниже цементированного, но выше получаемой при поверхностной индукционной закалке. Кратковременное газовое азотирование не дает необходимой контактной прочности. Увеличение длительности процесса азотирования и, соответственно, толщины азотированного слоя способствует увеличению контактной выносливости. Контактная выносливость поверхности может быть повышена нитроцементацией с последующей закалкой по всему сечению на мартенсит. Распределение напряжений в цилиндрических телах, прижатых друг к другу, таково, что максимальная контактная нагрузка приходится не на поверхности, а на некоторой глубине под поверхность. Причем глубокие усталостные лунки образуются из трещин, возникающих под поверхностью в зоне максимальных контактных напряжений. Высокий уровень контактной выносливости поверхности деталей определяется только химико-термической обработкой, создающей зону внутреннего азотирования из азотистого мартенсита.

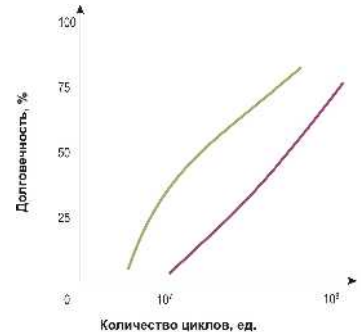


Рис.3 Контактная выносливость

— после закалки;
— после азотирования

Для использования азотированных деталей в коррозионных и окислительных средах при повышенных температурах необходимо по-

КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ

Зона внутреннего азотирования в общем случае за счет обеднения твердого раствора легирующими элементами при выделении упрочняющих фаз снижает сопротивление химической коррозии. Создание гетерофазной структуры приводит к образованию множества гальванических пар, что снижает к тому же сопротивление электрохимической коррозии. В общем случае азотирование может ослабить сопротивление коррозии легированных сталей, если не использовать специальные режимы химико-термической обработки, повышающие коррозионную стойкость.

Для использования азотированных деталей в коррозионных и окислительных средах при повышенных температурах необходимо по-

лучить на поверхности диффузионный слой с развитой нитридной зоной, которая блокирует движение атомов кислорода в глубину, замедляя тем самым процессы коррозии. Нитридный слой, обладая высокой коррозионной стойкостью на воздухе, в атмосфере с высокой влажностью, а также при повышенной температуре (до 500°C) повышает тем самым коррозионную стойкость деталей. Нитриды металлов более стойки против окисления по сравнению с металлами. Еще лучшими защитными свойствами обладают многофазные нитридные покрытия.

Азотирование можно использовать для повышения сопротивления коррозии технического железа и углеродистых малолегированных сталей, находящихся в атмосферных условиях и в пресной воде.

ЖАРОПРОЧНОСТЬ ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛЛОВ

Азотирование поверхности позволяет, кроме повышения прочности в обычных условиях при температуре окружающей среды, увеличить жаропрочность тугоплавких металлов и сплавов, т.е., иными словами, увеличить прочность металла при более высокой температуре.

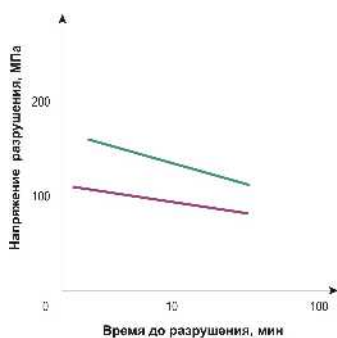


Рис. 4 Жаропрочность ниобиевого сплава

— после азотирования;
— без азотирования

Повышение жаропрочности при азотировании обеспечивается образовавшимся покрытием, которое препятствует движению и выходу дислокаций на поверхность. Основное сопротивление высокотемпературной пластической деформации азотированных сплавов тугоплавких металлов обеспечивает зона внутреннего азотирования.

При азотировании сплавов молибдена, ниобия, ванадия и некоторых других металлов повышается температура начала рекристаллизации на 200-300 гра-

дусов. Повышение температуры рекристаллизации объясняется тем, что атомы азота, находящиеся в твердом растворе, задерживают формирование и рост центров рекристаллизации. В целом повышение жаропрочности тугоплавких металлов связано со стабилизирующим действием нитридов. Нитриды увеличивают сопротивление ползучести и препятствуют перемещению дислокаций. Жаропрочность значительно повышается с увеличением концентрации легирующих элементов, способствующих активному образованию нитридов.

Повышение жаропрочности зависит от типа формирующейся зоны внутреннего азотирования. Формирование зоны внутреннего азотирования полностью определяется режимом химико-термической обработки, если этот режим подобран и настроен на создание диффузионного слоя, способствующего повышению жаропрочности металлов.

Любые детали имеют определенный ресурс работы, который определяется: или стойкостью к износу, или сопротивлением усталостному разрушению, или контактной выносливостью. Повышение срока службы оборудования является важнейшим конкурентным преимуществом любого производителя, поэтому предприятия применяют самые современные технологии для упрочнения поверхности. Азотирование позволяет значительно улучшить прочностные характеристики деталей, если соблюдена технология и правильно заданы режимы термообработки.

Процесс азотирования позволяет создавать покрытия с разными свойствами. Для его проведения необходимы специальные электропечи, позволяющие выполнить требуемую химико-термическую обработку. Такие электропечи выпускает ООО «УРАЛЭЛЕКТРОПЕЧЬ» г.Екатеринбург. Эти печи комплектуются термоконтроллерами для ведения нагрева, оборудованием для создания и перемешивания печной атмосферы, а также приборами контроля состояния газовой среды. Оснащение электропечей таким оборудованием позволяет сделать процесс азотирования управляемым и дает возможность получать требуемые физико-механические свойства азотированного слоя.