



## Координация взаимодействия в системе «ГОСУДАРСТВО — БИЗНЕС — НАУКА»



Стратегическое  
планирование



Инвестиционное  
обеспечение



Технологическое  
сопровождение



# МЕТАЛЛ ПРОЧНЕЙ МЕТАЛЛА

Рафинат Яруллин, генеральный директор ОАО «Татнефтехиминвест-Холдинг»

Герман Дьяконов, ректор КГТУ

Ильдар Абдуллин, профессор, д. т. н., директор ИНХН

**П**овышение стойкости или ресурса работы технологической оснастки из металла, металлорежущего инструмента и быстро изнашиваемых металлических деталей технологического оборудования актуально для всех отраслей, так как при этом экономятся огромные средства на их изготовление, ремонт или восстановление. Не составляет исключения нефтедобывающая и нефтеперерабатывающая промышленность, играющая ключевую роль в экономике РФ.

## Методы повышения стойкости

Многочисленные методы упрочняющей обработки металлов, позволяющие получать заданные конструкторами эксплуатационные характеристики изделия, находят широкое применение во многих отраслях промышленности.

Все способы упрочняющей обработки металла можно классифицировать в зависимости от физико-химических процессов, протекающих в изготавливаемой детали:

- упрочняющая обработка с образованием пленки или покрытия на поверхности заготовки;
- обработка с изменением химического состава поверхностного слоя;

- обработка, приводящая к преобразованиям структуры поверхностного слоя;
- обработка, изменяющая структуру материала по всему объему;
- обработка деталей, сопровождающаяся изменениями микрогеометрии поверхности (шероховатости);
- обработка, изменяющая энергетические характеристики поверхностного слоя.

Процессы упрочняющей обработки выполняются при наличии или сочетании различных внешних факторов в газовой, жидкой или пастообразной среде, с использованием или без использования источников теплоты при различном давлении окружающей среды, в контролируемых средах с разнообразными свойствами, в магнитном, электрическом, гравитационном или термическом поле и т. д.

## Термическая обработка

Под термической обработкой металлов понимают технологические методы или приемы, основанные на термическом, химико-термическом и термомеханическом воздействии на обрабатываемое изделие с целью придания ему определенных характеристик за счет изменения структуры и свойств самого металла.

К термическим методам относятся такие классические методы как отжиг, закалка и отпуск. Процессы основаны на явлении полиморфизма, т. е. возможности существования одного и того же металла или сплава в различных кристаллических состояниях. Термическая обработка включает нагрев металла или сплава до выбранной температуры, выдержку при этой температуре в течение заданного времени и охлаждение по определенному режиму.

## Химико-термическая обработка (ХТО)

ХТО — совокупность способов химического и термического воздействия на поверхность заготовки, основанных на способности атомов различных элементов окружающей среды диффундировать в обрабатываемый металл и изменять химический состав, структуру и свойства поверхностного слоя.

Классификация существующих методов ХТО основана на природе элемента, которым обогащается поверхностный слой обрабатываемого изделия. Сюда относятся, например, такие известные и ставшие традиционными способы обработки как цементация — насыщение углеродом, азотирование — насыщение азотом, борирование — насыщение бором и др.



Обработка металла новым методом позволяет продлить срок службы расходных комплектующих горно-проходческого оборудования, буров, механизмов для дробления полимерных изделий и шин.

В зависимости от состояния вещества, содержащего диффундирующий элемент, методы ХТО разделяются на две группы. Первая группа объединяет способы диффузионного насыщения металлов из твердой, жидкой и паровой сред, которому предшествует установление физического контакта между насыщаемой поверхностью и источником диффундирующего элемента. Вторая группа включает в себя способы насыщения металлов из активных жидких и паровых (газовых) сред, в которых предварительно происходят физико-химические превращения. Активизация может осуществляться, как в результате химических реакций в рабочей среде, так и за счет ионизации с помощью, например, электрических разрядов или электролиза.

## Электрофизические методы

Из многообразия существующих методов упрочняющей обработки в последние годы все шире применяются электрофизические — наиболее эффективные и экономичные, а в некоторых случаях и единственно возможные способы обработки поверхности деталей.

К таким методам обработки материалов относятся методы изменения свойств обрабатываемых поверхностей заготовок, проходящие под воздействием электрического тока и его разрядов, электромагнитного поля, электронного или оптического излучения, плазменной струи, а также высокоэнергетических импульсов и магнитоstrictionного эффекта.

Отличительная особенность данных методов обработки — использование электрической энергии непосредственно для технологических целей без промежуточного преобразования ее в другие виды энергии. При этом

использование электрической энергии осуществляется непосредственно в рабочей зоне через химические, тепловые и механические воздействия.

Основные технологические особенности, отличающие данные процессы от других, следующие:

- возможность осуществления обработки как проводящих, так и непроводящих ток материалов с любыми физико-механическими свойствами;
- большой диапазон изменения свойств обрабатываемых поверхностей заготовок;
- функции инструмента выполняет сформированный соответствующим образом поток электронов и ионов;
- значительно меньшая зависимость основных технологических показателей процессов от физико-механических свойств обрабатываемого материала;
- возможность механизации и автоматизации основных технологических и вспомогательных переходов вплоть до применения робототехнических средств и комплексов автоматизации процессов.

Среди электрофизических методов можно выделить наплавку, представляющую собой одну из разновидностей сварки. Метод применяется для нанесения слоя металла заданного состава и известных свойств на поверхность изделия. Нанесенный слой металла прочно связывается с основным, образуя надежное соединение.

В настоящее время метод широко используется в различных отраслях техники, таких как атомное реакторостроение, судостроение, двигателестроение, в производстве медицинских инструментов и не только при изготовлении новых изделий, но и для восстановления изношенных.

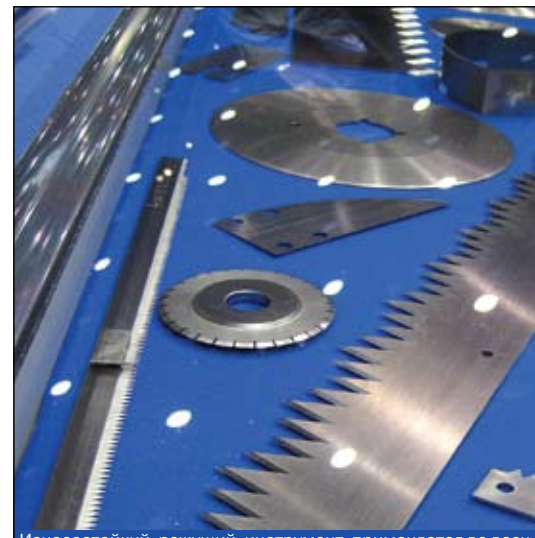
**Ионно-плазменные методы** упрочняющей обработки в вакууме осуществля-

ются за счет конденсации вещества из плазменного состояния на обрабатываемом изделии. В настоящее время широко используются для получения износостойких и жаропрочных покрытий соединения типа карбидов, нитридов металлов IV, V и VI групп периодической системы, а также оксиды алюминия, кремния, бериллия. Эти методы нанесения покрытий имеют следующие основные характеристики: толщина покрытия, не более 0,1 мм; скорость нанесения покрытия не более 2 мкм/мин; температура изделия 500–800 К; микротвердость покрытия более 24 ГПа; параметр шероховатости (Ra) ухудшается на величину не более 1 мкм.

Принцип **лазерной обработки** материалов заключается в возможности лазерного излучения создавать в короткие промежутки времени на малом участке поверхности высокие плотности теплового потока, необходимые для интенсивного нагрева или расплавления материала. Рассматриваемые методы обработки характеризуются сверхвысокими скоростями нагрева, достигающими величин — до 104–105 К/с. Характеристики слоев, их микроструктура после обработки лазерным лучом в результате упрочнения лучом лазера углеродистых сталей, микротвердость поверхностного слоя увеличивается до 10 ГПа.

**Электроискровое легирование (ЭИЛ)** основано на преимущественном разрушении материала анода при искровом разряде в газовой среде и последующем переносе продуктов эрозии на катод. При этом на поверхности катода формируется слой, характеризующийся высокой твердостью, износостойкостью, антикоррозионными свойствами, измененным фазовым составом, термодинамическим состоянием.

**Газотермическое напыление** — это процесс нанесения покрытия (износостойкого, коррозионностойкого, жа-



Износостойкий режущий инструмент применяется во всех

ростойкого, химически стойкого, электроизоляционного, теплоизоляционного или другого вида) на поверхность детали с помощью высокотемпературной скоростной струи, в которой содержатся частицы порошка или капли расплавленного напыляемого материала, осаждающиеся на основном металле при ударном столкновении с его поверхностью.

В зависимости от вида применяемого источника тепловой энергии различают газопламенное напыление (используется теплота, выделяющаяся при сгорании смеси горючих газов с кислородом), детонационное или детонационно-газовое напыление (используется энергия взрыва, например, ацетиленокислородной среды), электродуговую металлизацию и плазменное напыление (основаны на теплоте, выделяющейся при горении электрической дуги). При этом оптимальная толщина плазменных покрытий составляет 0,6–0,8 мм, газопламенных — 0,8–1,0 мм, детонационных — 0,2–0,3 мм.

Большинство электрофизических методов обработки модифицируют слои или создают покрытия толщиной от микрона до миллиметра. При этом модификация позволяет изменять отдельные свойства нанослоев, не изменяя другие свойства. Наносимые для упрочнения покрытия имеют повышенную хрупкость. Это объясняется тем, что износостойкое покрытие по структуре представляет собой слой керамики, и после процесса нанесения в его верхней части при остывании возникают растягивающие напряжения и зарождаются трещины. Нанесенное на инструмент покрытие изменяет также и геометрические формы режущей кромки.

В связи с этим актуальным является применение для модификации ВЧ плазмы пониженного давления. Обработка потоком ВЧ плазмы пониженно-

го давления, создающей поток ионов с энергией 10–100 эВ, позволяет удалять трещиноватый и рельефный слой, в результате уменьшается шероховатость поверхности, увеличивается износостойкость, микротвердость, создается алмазоподобное диффузное покрытие — модифицированный нанослой без изменения габаритных размеров.

Кроме того плазма, генерируемая высокочастотными разрядами, обладает рядом преимуществ по сравнению с другими плазменными источниками (дуговой, тлеющей разряд). К ним, в частности, относятся: повышенная чистота плазмы из-за отсутствия электродов и практически неограниченный ресурс работы.

### ВЧ-плазма пониженного давления

Повышение стойкости при использовании ВЧ плазмы пониженного давления связано с поверхностным упрочнением самыми современными плазменными способами с использованием новых наноструктурированных сверхтвердых материалов, технологии модификации поверхности и изменения структуры.

Модификация поверхности осуществляется в высокочастотном емкостном разряде. В структуре модифицированного слоя формируется диффузное алмазоподобное покрытие с толщиной до 500 нм. При этом общая толщина модифицированного слоя достигает 200 мкм.

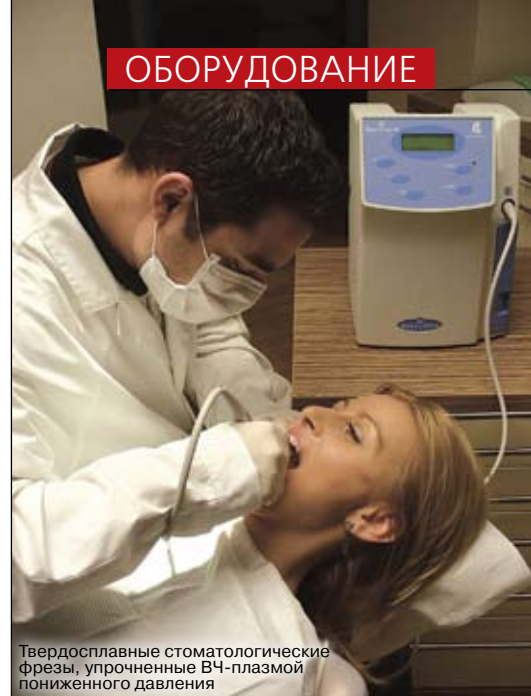
ВЧ плазменная обработка сплавов металлов приводит к повышению усталостной прочности на 25–35 % с одновременным уменьшением шероховатости на 1–1,5 класса и сохранением неизменными остальных физико-механических свойств (например, пластичности).

Установлено, что при обработке материалов ВЧ разрядом пониженного давления в диапазоне параметров (давление газа  $p=13,3\text{--}133$  Па, расход газа  $G=0,04\text{--}0,08$  г/с, мощность разряда  $P_p=0,5\text{--}5$  кВт) атомы инертного плазмообразующего газа проникают в поверхностный слой на глубину до 100 нм, образуя захороненные слои.

Результаты коррозионных испытаний образцов из сталей и титановых сплавов показали, что в результате воздействия ВЧ плазмы пониженного давления происходит общее увеличение коррозионной стойкости, это объясняется образованием в поверхностном слое модифицированного нанослоя.

### Технологическая установка

Для обработки крупных изделий массой до 50 кг или более в Казанском государ-



Твердосплавные стоматологические фрезы, упрочненные ВЧ-плазмой пониженного давления

ственном технологическом университете создана высокочастотная опытно-промышленная установка.

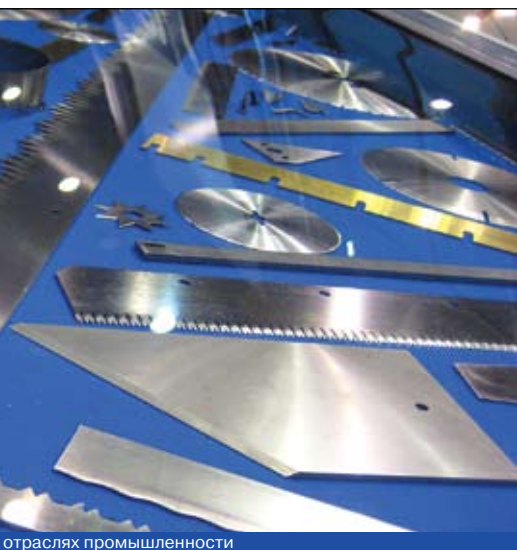
ВЧ-плазменная установка представляет собой вращающийся барабан, пластины для поддержания и горения разряда изготовлены из меди и охлаждаются водой, разряжение в камере создается при помощи роторного вакуумного насоса. Высокочастотный генератор собран по одноконтурной схеме. Технические характеристики генератора: потребляемая мощность — до 15 кВт; частота —  $13,56 \pm 10$  %; тип нагрузки — емкостной.

Обработка металлических изделий осуществлялась при различных режимах в зависимости от характеристик самих изделий.

Сегодня совместно с предприятиями нефтехимической отрасли Республики Татарстан на установке проводятся работы по увеличению срока службы режущих инструментов. Упрочнению подвергался режущий инструмент, применяемый в ОАО «Нижекамскшина», а также проводилась обработка ножей для резки материала из стали 40X. Ножи показали в 2–3 раза повышенную стойкость в сравнении с неупрочненными.

Технология повышения стойкости стоматологических фрез из твердосплавного металлокерамического сплава ВК6-ОМ внедрена в ООО «Фреза», что позволило увеличить срок службы продукции в 3–4 раза. Работы по изучению данного метода и возможностей сконструированной установки продолжаются.

Авторы уверены, что метод позволит продлить срок службы различного оборудования в нефтедобыче и нефтепереработке, в том числе корпусов погружных установок по добыче нефти, а также сократить стоимость оборудования за счет отказа от нержавеющей сталей и в то же время предотвратить коррозию. ■



отраслях промышленности