

ми. Эксплуатационные испытания при обработке легированных сталей, титановых и цветных сплавов показали повышение износостойкости инструмента в 3-4 раза. Аналогичный цикл работы проведен по разработке составов покрытий для упрочнения инструмента из твердых сплавов. Разработанные многослойные и композиционные ионно-плазменные покрытия увеличивают коэффициент относительной стойкости инструмента в 3-4 раза при увеличении скорости резания на 50 %.

Разработка технологического процесса упрочнения инструмента сложными карбонитридными потребовало проведения значительного объема экспериментальной работы, связанной с оптимизацией соотношения азота и углеродосодержащего газа (ацетилен) и режимов конденсации покрытий. С целью изучения структуры и свойств карбонитридных покрытий при упрочнении инструментальных сплавов, разработана конструкция установки, позволяющая плавно менять содержание азота и ацетилена в реакционной камере установки.

Плазменные покрытия из карбидов и карбонитридов в виде отдельных слоёв или их комбинаций на формирующие части пресс-форм и штампов, по данным эксплуатационных испытаний, увеличивают их стойкость в 3-4 раза по сравнению с однослойными покрытиями из нитрида титана. При разработке технологии нанесения вакуумных коррозионно-стойких покрытий проведены комплексные исследования структуры их свойств, которые подразделяются на две группы: проверка качества и структуры покрытий, изучение действия коррозионной среды на характеристики стойкости покрытий. При оценке качества покрытий проводились работы по определению толщины, пористости, адгезионной прочности, твердости, уровня внутренних напряжений, сопротивления износу. Особенно важное значение эти работы имеют при разработке технологии нанесения покрытий сложного состава, где большое внимание уделялось взаимодействию слоёв покрытий на свойства и структуру. Для проведения ускоренных коррозионных испытаний в сероводородосодержащих средах использовалась специально изготовленная установка и разработаны методики ускоренных испытаний с приложением и без приложения растягивающих напряжений. Одновременно проводились натурные испытания образцов с различными покрытиями.

В результате разработаны составы коррозионно-стойких покрытий на основе комбинаций слоёв из чистых металлов и их нитридов. Производственные испытания деталей газозапорной арматуры с антикоррозионными покрытиями показали увеличение стойкости в среднем в 2-3 раза, при этом проведена замена высоколегированных сталей на низколегированные. Разработанные технологические процессы нанесения износостойких и коррозионностойких покрытий рекомендованы к внедрению на нефте- и газоперерабатывающих предприятиях.

Большими возможностями технология ионно-плазменной конденсации покрытий обладает при упрочняющей обработке различных деталей для автомобильного и железнодорожного транспорта. Проведенные исследования и эксплуатационные испытания

деталей с покрытиями показали значительное увеличение износостойкости (в 2-3 раза) цилиндров, поршневых колец, плунжерных пар и ряда других деталей. Наиболее эффективно нанесение четырёхслойных покрытий на основе чистых компонентов и их нитридов (алюминий, хром, молибден). Высокая адгезионная прочность, износостойкость и прирабатываемость покрытий, высокая степень воспроизводимости дают основание рекомендовать разработанные технологии к широкому внедрению.

Использование в качестве покрытий углеродных алмазоподобных плёнок и проведённые предварительные исследования и испытания отражают большие перспективы покрытий из углеродной плазмы.

Изображение поверхности и поперечных срезов алмазной плёнки, полученных методом сканирующей электронной микроскопии, отражают явно выраженное поликристаллическое строение. Изменяя технологические параметры конденсации углеродных покрытий, можно, получить кристаллические, аморфно-кристаллические и аморфные структуры покрытий в зависимости от потребности и служебных назначений деталей и инструмента.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект РФФИ 06-08-96906р\_офи-а).

#### **МАРТЕНСИТНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ И ЦИКЛИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИЯХ**

Клевцова Н.А., Клевцов Г.В., Фролова О.А.

*Оренбургский государственный университет,  
Оренбург*

Многочисленные литературные данные указывают, что мартенситные превращения, протекающие в метастабильных аустенитных сталях под действием низких температур и пластической деформацией, оказывают существенное влияние на механические свойства данного класса сталей, затрудняя прогнозирование их поведения в конкретных условиях эксплуатации. Наиболее слабо изучены мартенситные превращения, протекающие в пластических зонах у вершины распространяющихся трещин, хотя очевидно, что вклад образующихся в данной области мартенситных фаз в кинетику и механизм разрушения аустенитных сталей должен быть существенным. Недостаточно изучена кинетика мартенситных превращений в аустенитных сталях, протекающих при циклических нагрузках. В частности не изучено влияние циклических деформаций растяжения и сжатия на кинетику мартенситных превращений.

Для изучения кинетики мартенситных превращений при циклическом нагружении (зависимости количества  $\alpha$ - и  $\epsilon$ -мартенсита от количества циклов нагружения  $N$ ), плоские образцы из закаленной аустенитной стали 110Г13Л (1,06 %C; 15,18 %Mn; 0,20 %Cr; 0,40 %Ni) испытывали при значениях коэффициента асимметрии цикла нагружения  $R = 0$  (режим I) и  $R = -1$  (режим II). Испытание по режиму I позволило на одном образце (рентгенографируя его поверхности) изучить влияние растягивающих и сжимающих цик-

лических напряжений на кинетику мартенситных превращений в данной стали. При испытании по режиму II изучали влияние на мартенситные превращения напряжений «растяжение-сжатие».

Количество  $\alpha$ - и  $\varepsilon$ -мартенсита на поверхности образцов определяли рентгеновским методом по интегральной интенсивности дифракционных линий (111)  $K_{\alpha}$   $\gamma$ -фазы, (110)  $K_{\alpha}$   $\alpha$ -фазы и (101)  $K_{\alpha}$   $\varepsilon$ -фазы

Результаты определения фазового состава в образцах из закаленной стали 110Г13Л, испытанных на растяжение показали, что с увеличением степени пластической деформации образцов количество  $\varepsilon$ - и  $\alpha$ -мартенсита возрастает. Причем, максимальное количество  $\varepsilon$ -мартенсита в стали образуется при небольшой пластической деформации (соответствующей растяжению образца на 0,5 - 1,5 %); затем снижается. Количество  $\alpha$ -мартенсита с увеличением степени пластической деформации непрерывно увеличивается.

Анализ зависимости от количества циклов нагружения уширения рентгеновской дифракционной линии (311)  $K_{\alpha}$   $\gamma$ -фазы, полученной с боковых поверхностей образца, испытывающих как при напряжении растяжения, так и сжатия показал (режим I), что при циклических напряжениях растяжения искаженность кристаллической решетки больше, чем при напряжениях сжатия. Причем, максимальное уширение рентгеновской дифракционной линии имеет место на первых  $(1-4) \cdot 10^3$  циклах нагружения и в дальнейшем практически не изменяется.

Мартенситные превращения в аустенитной стали 110Г13Л начинаются уже на первых 1000 циклах нагружения образцов до появления усталостной трещины. На зависимости объемного содержания  $\gamma$ -фазы на поверхностях образцов от количества циклов нагружения видно, что при циклических напряжениях растяжения распад аустенита происходит более интенсивно по сравнению с напряжениями сжатия. При циклическом нагружении образцов  $\varepsilon$ -мартенсита образуется больше, чем  $\alpha$ -мартенсита.

В случае испытания образцов по режиму II, характер зависимостей уширения дифракционной линии и объемного содержания мартенситных фаз от количества циклов нагружения аналогичен вышерассмотренному.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект РФФИ 06-08-96906р\_офи-а).

### **ШПИНДЕЛИ НА ГАЗОВЫХ ОПОРАХ – ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ПУТЬ РАЗВИТИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ**

Космынин А.В., Петров М.Р.

*Комсомольский-на-Амуре  
государственный технический университет,  
Комсомольск-на-Амуре*

Высокоскоростная обработка (ВСО) является приоритетным путем развития современной технологии машиностроения. К ВСО относят изменения конструкций металлообрабатывающих станков (узлы приводов, направляющие, шпиндельные опоры, спо-

собные надежно работать на высоких скоростях вращения и при линейных перемещениях), новые типы приводов главного движения и подач, разработку специальных материалов и новых конструкций обрабатывающего инструмента (твердосплавного, абразивного), способных эффективно реализовать процесс ВСО.

Основные достоинства ВСО состоят в повышении производительности труда, высокой точности и качестве изготовления изделий, сокращении количества ручных доводочных операций и времени на подгонку. С помощью высокоскоростного фрезерования производительность при обработке инструментальных сталей высокой прочности увеличивается в три раза, алюминиевых сплавов в 10 раз, графитовых электродов – более чем в 10 раз.

На основании проведенных исследований влияние скорости резания на эти параметры выражается в трех основных эффектах:

1. Кинематическом эффекте, который заключается в том, что изменение скорости резания приводит к пропорциональному изменению числа режущих кромок, проходящих зону шлифования в единицу времени.

2. Скоростном эффекте, заключающемся в изменении сопротивления металла резанию с увеличением скорости из-за действия сил инерции. Этот эффект является дополнительным резервом увеличения скорости съема металла.

3. Статистическом эффекте, обусловленным случайным характером расположения режущих кромок на рабочей поверхности круга и специфической формой среза.

Актуальной проблемой для успешной реализации ВСО является выбор типа опор шпиндельного узла (ШУ). Применяемые в современных конструкциях высокоскоростных ШУ подшипники – это опоры качения, гидростатические, гидродинамические, магнитные и газостатические. Каждый из этих типов опор имеет свои преимущества и недостатки. Так, для подшипников качения предельная частота вращения составляет 60...80 тыс. мин<sup>-1</sup>. Кроме того, потеря заданной точности вращения наступает после 1000...2000 часов работы ШУ. Помимо этого, увеличение температуры тел и дорожек качения подшипников ШУ так же ведет к изменению точности механообработки.

Применение магнитных опор ведет к росту стоимости шпиндельного узла из-за необходимости использования сложной электронной аппаратуры и дополнительных периферийных компонентов.

Недостаток опор скольжения с жидкой смазкой (как гидродинамических, так и гидростатических), состоит в значительном выделении тепла в результате относительного скольжения слоев смазки, так как мощность, затрачиваемая на трение, пропорциональна вязкости смазки и квадрату скорости вращения.

Шпиндельные опоры на газостатической смазке способны работать надёжно и долговечно при большой окружной скорости и обладают рядом преимуществ перед другими видами опор.

Главные их достоинства – повышенная плавность, стабильность вращения, высокие значения бы-