

ческого состава и термической обработки. Кроме того, на него влияет предшествующая пластическая деформация в холодном или горячем состоянии, которая одновременно может сочетаться с термической обработкой. При этом любой процесс листовой и объемной штамповки сопровождается неравномерностью деформации. Влияние пластической деформации на циклическую прочность осуществляется на микроуровне, при котором она изменяет плотность и структуру дефектов кристаллической решетки, и макроуровне, когда в силу неравномерности деформации в объеме штампуемой заготовки возникают и остаются остаточные макро напряжения. Кроме того, контакт инструмента с заготовкой изменяет характер поверхностных микро неровностей и состояние приповерхностных слоев. Так, например, по данным Е. Шмидмана и П. Эмриха влияние однородной предварительной деформации на усталостную прочность стали Ск 10 не однозначно. Предварительная деформация на 2% несколько снижает предел выносливости, а деформация на 10 и 22% повышает его. Это подтверждает данные, полученные ранее Н.И. Черняком, установившем, что пластические деформации, отличные от равномерных, приводят к ухудшению сопротивления конструкционных материалов усталостному разрушению.

В научно-технической литературе имеется немногочисленная информация по оценке усталостной прочности конкретных изделий. В первую очередь, это связано с тем фактом, что исследование неравномерности деформации в конкретном технологическом процессе обработки металлов давлением, до недавнего времени, имел значительные трудности.

Появление в арсенале анализа напряженно-деформированного состояния программных пакетов типа DEFORM, основанных на методе конечных элементов, позволяет совместно с проведением структурно-механических исследований, более качественно решать выше изложенные проблемы.

В работе на основе использования данной методики для изучения неравномерности деформации в рессорном листе малолистовой рессоры из стали 50ХГФА, получаемой горячей раскаткой на клин из заготовки прямоугольного сечения, предложен метод прогнозирования поведения деформированных металлических материалов при циклической нагрузке на конкретных изделиях.

**ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ И  
КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ  
КОНСТРУКЦИОННЫХ И  
ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ ПУТЕМ  
НАНЕСЕНИЯ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ  
ПОКРЫТИЙ**

Ильичев Л.Л., Рудаков В.И.,  
Клевцов Г.В., Клевцова Н.А.

*Оренбургский государственный университет,  
Оренбург*

В настоящей работе рассмотрены результаты исследований по повышению износостойкости и коррозионной стойкости изделий из конструкционных и

инструментальных сталей методом нанесения вакуумных ионно-плазменных покрытий сложного состава на основе карбидов, нитридов и карбонитридов тугоплавких металлов.

Разработанные технологические процессы обеспечивают повышение износостойкости металлообрабатывающего инструмента из быстрорежущих сталей в среднем в 3- 4 раза и деформирующего инструмента для обработки металлов давлением – в 5– 6 раз. Технология ионно-плазменной конденсации покрытий различного состава позволяет значительно увеличить коррозионную стойкость деталей газозапорной арматуры, работающей в сероводородосодержащих средах в среднем в 3-5 раз. Значительная экономическая эффективность получена при упрочнении поршневых колец магистральных тепловозов, компрессорных установок и деталей двигателя автомобилей.

Проводится отработка технологических процессов по нанесению на инструментальные стали и твердые сплавы алмазоподобных покрытий на установке УВНИПА-01-001 с сепарацией микрокапельной фазы. Углеродные конденсированные покрытия благодаря своим уникальным свойствам находят всё более широкое применение в качестве защитных и износостойких покрытий на ответственных деталях приборостроения и машиностроения. Алмазоподобные углеродные плёнки осаждаются в основном из парогазовой фазы углеродосодержащих материалов.

Изучение структуры покрытий сложного состава и алмазоподобных плёнок проводили в растровом электронном микроскопе «JEOL JSM-T20». Состав поверхности покрытий определяли методом микрорентгеноспектрального анализа на анализаторе «Comibax MS-40». Для изучения распределения элементов в объёме покрытий, проводили травление аргонной плазмой в установке ВУП-4 по разработанной методике, которая позволила получать малоугловые срезы покрытий. Использовали сканирующий туннельный микроскоп (СТМ-метод). Толщина конденсированных покрытий определяли на  $\gamma$ -толщимере «Microderm MP-700». Распределение микротвёрдости материала на поверхности покрытий проводили на микротвердомере ПМТ-3; твёрдость (HRC) измеряли на твердомере «Sonodur 100-1». Разработка технологических процессов нанесения покрытий сложного состава и алмазоподобных плёнок потребовало решения ряда теоретических и экспериментальных задач.

Основным критерием эффективности разработанных технологических процессов служили эксплуатационные испытания. С использованием образцов-свидетелей, соответствующих по составу, структуре и механическим свойствам упрочняемых сталей, изучали влияние давления реакционного газа на свойства покрытий, степень активации поверхности при нагреве ионной бомбардировкой, влияние технологических параметров конденсации покрытий на их структуру и свойства. Разработаны теоретические модели и проведена экспериментальная проверка взаимодействия плазменного потока с поверхностями разной кривизны и с различной ориентацией поверхности к оси плазменного потока. Были проведены работы по изучению структуры и свойств инструмента, упрочненного многослойными и композиционными покрытиями.

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 коррозионно-стойких 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-