

ПРОБЛЕМЫ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ В КОНТЕКСТЕ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

На сегодняшний день существуют множество технологий поверхностного упрочнения металлов и сплавов, основанных на различных физических принципах структуроизменения и структурообразования. Эти технологии можно подразделить на: термическое упрочнение высококонцентрированными источниками энергии, поверхностную пластическую деформацию, получение диффузионных слоев в условиях термического процесса, получение вакуумно-плазменных покрытий, получение покрытий химическим осаждением в ходе гальванического процесса, наплавки, комбинированные методы (например термофрикционная обработка (ТФО), химико-термическая обработка (ХТО) с использованием высококонцентрированных источников энергии).

Несмотря на большое количество исследований, посвященных проблемам поверхностного упрочнения, на практике возникает ряд вопросов связанных с целесообразностью и экономической эффективностью применения той или иной технологии. К этой проблематике добавляются специфичность местных реалий, например экологичность, доступность расходных материалов (в основном реагенты для ХТО, сырье для наплавки и т. д.), недостаточная культура производства.

Вкратце проанализируем известные и перспективные технологии поверхностного упрочнения. Также приведем конкретные примеры проблематики выбора упрочняющей технологии в основу, которой положен некоторый личный опыт авторов. Большинство рассматриваемых технологии разрабатываются и реализуются на кафедре «Материаловедение» НТУ «ХПИ».

Одним из кардинальных способов повышения износостойкости по праву считается применение наплавки. С помощью технологий наплавки на поверхности изнашиваемой детали можно получить слой практически из любого материала, например из карбидов тугоплавких металлов вплоть до стеклообразных структур. При этом можно обеспечить сильные адгезионные связи и даже плавный структурный переход без формирования сложнапряженного состояния. В тоже время, отработка технологии, поиск шихтового материала для наплавки усложняет процесс внедрения. Серьезным препятствием является факт неизбежных массогабаритных изменений (пожалуй, наибольший из всех рассматриваемых способов), а также неудовлетворительные показатели шероховатости поверхности.

Технологиями с низкой себестоимостью можно считать способы термического упрочнения с использованием высококонцентрированных источников энергии и поверхностного пластического деформирования. Эти способы не требуют расходных материалов, дефицитных реагентов и

экологически безопасны. Главное требование – наличие специализированного оборудования и соответствующе подготовленного персонала.

Нагрев токами высокой частоты (ТВЧ), нагрев лучом лазера с последующей закалкой при правильно подобранных режимах дают возможность получить упрочненные слои со структурой фазонаклепанного состояния, развитой субструктурой, «бесструктурного» мартенсита, аморфизированных структур. При этом исходный размер деталей и качество поверхности сохраняются. Также возможно применение комбинированной обработки, включающей закалку ТВЧ с последующим отпуском ТВЧ. Это позволит провести отпуск поверхностно упрочненного слоя крупногабаритных деталей (тех же лопаток паровых турбин) при сохранении достаточно вязкой сердцевины и получить более высокие механические свойства (твердость, ударную вязкость, износостойкость и пр.) по сравнению с обычным печным отпуском. Обеспечивается благоприятное распределение внутренних напряжений, что уменьшает вероятность появления усталостных трещин. Конечно, не следует ожидать от таких слоев рекордных приростов микротвердости.

Принципиально, независимо от методологии получения, варианты ХТО можно подразделить на диффузионное насыщение металлоидами и диффузионное насыщение металлами. Наибольшее распространение получили методы диффузионного насыщения металлоидами (углеродом, азотом, бором, значительно реже другими элементами). Это неслучайно, поскольку именно эти элементы диффундируют преимущественно по вакансионному механизму и образуют твердые растворы внедрения. Образующиеся достаточно толстые, по сравнению с диффузионным насыщением металлами, упрочненные слои имеют значительный практический интерес. Диффузионная металлизация дает возможность получить фазы со значительной твердостью (преимущественно карбидов диффундирующего элемента) и поэтому обеспечивает значительный прирост микротвердости. В тоже время незначительный по глубине упрочненный слой подвержен скалыванию, продавливанию при значительных удельных нагрузках на микрообъем (например, при схлопывании пузырьков перегретого пара) совершенно непригоден для финишного шлифования из-за малой толщины. Очень важно получать нехрупкие и качественные слои. Следует отметить, что выбор вида ХТО сильно привязан к обрабатываемому материалу (температура обработки/температура перегрева), экономической целесообразности применения к конкретной детали. Известны примеры, когда предприятия отказывались от технологии ХТО из-за невозможности качественной её реализации.

Вакуумно-плазменные покрытия стали популярными в 80-х годах XX века, но интерес к ним не ослабевает и сейчас. Причины этого кроются в двух преимуществах технологии получения таких покрытий: 1. Как правило, высокое качество и чистота упрочняемой поверхности; 2. Широкие возможности регулирования режимов нанесения конденсатов, а значит, и большие возможности по управлению структурой упрочненного слоя. Главная проблема – требовательность к оснащению оборудованием, ограниченность

вакуумных камер, высокая культура производства и требования к персоналу. Все эти ограничения резко повышают себестоимость данного вида обработки.

Такие технологии широко применяются для обработки режущего инструмента с высокой производительностью, упрочнения лопаток газовых турбин. Применяются технологии получения покрытий на основе нитридов титана или просто азотированием с диффузионным проникновением элементов в материал основы. Данные технологии позволяют добиться упрочнения на наноструктурном уровне, измельчить материал основы, получить сверхтвердые структуры. Однако, при получении сверхтвердых структур исследователь неизбежно сталкивается с проблемой хрупкости слоев, их растрескиванием и отслаиванием. При контакте с рабочей средой такой слой моментально скалывается и отлетает, что полностью нивелирует весь успех в достижении «рекордных» показателей микротвердости.

Заманчивые возможности открываются при использовании комбинированных методов обработки. Приведем лишь несколько примеров. ТФО сочетает в себе комбинацию термического и деформационного воздействия. Тепловая энергия, локализованная в малых объемах детали, приводит к фазовым и структурным превращениям в материале, а приложенная нагрузка в момент этих самых превращений, вносит еще большую степень неравновесности в систему, что приводит к образованию слоев так называемого «бесструктурного» мартенсита или «белого слоя». Он обладает высокими эксплуатационными характеристиками. При этом никаких затрат на реагенты, наплавки и т.д. не требуется; достигаемый эффект упрочнения обеспечивается лишь внутренним перераспределением элементов, структурной перестройкой за счет быстрого локального разогрева и столь же быстрого охлаждения за счет отвода тепла в основную массу металла. Единственная проблема – существенные изменения габаритных размеров деталей и значительная шероховатость поверхности. С экономической точки зрения данный вид упрочнения по себестоимости приближается к обычной термической обработке (не требует сложного оборудования) и может составить значительную конкуренцию методам обработки с применением высококонцентрированных источников энергии.

Другое направление комбинированных методов упрочнения – сочетание высокоскоростного нагрева с ХТО. Суть метода заключается в том, что под действием высокоскоростного нагрева создаются все условия для протекания диффузионных процессов из насыщаемой среды с высокой скоростью. Диффузия элементов протекает преимущественно по границам зерен и субзерен, и при большом их количестве (т.е. при сохранении или деформировании дисперсной структуры) приводит к формированию сравнительно толстых слоев за короткий промежуток времени обработки. Выгоды такой обработки очевидны: 1. Ликвидируются главные недостатки ХТО – длительность обработки и перегрев структуры; 2. Локализация и избирательность обработки; 3. Возможность получения метастабильных фаз с новым уровнем свойств.

Таким образом, приведенный краткий очерк о некоторых применяемых и разрабатываемых технологиях поверхностного упрочнения дает возможность сделать следующие выводы:

1. Далеко не всегда «модные» способы поверхностной обработки доступны и целесообразны к применению, несмотря на свою эффективность (например применение вакуумно-плазменные технологии для ножей-молотков или для больших лопаток паровых турбин последней ступени агрегата выглядят просто фантастическими);

2. Погоня за рекордными показателями микротвердости слоёв часто чревато проблемами с их хрупкостью, малой толщиной и низкой функциональной пригодностью;

3. Чрезмерное усложнение технологий, например, за счет последовательного нанесения покрытий или многокомпонентным насыщением может приводить к неудачным результатам в плане все той же функциональной пригодности.

Список рекомендуемых источников:

1. Волков, О.О. Дослідження експлуатаційної стійкості деревообробних ножів із сталі 65Г після зміцнення методом ТФО [Текст] / Волков О.О., Погрібний М.А., Гуцаленко Ю.Г., Сизий Ю.А., Кулик Г.Г. // Сборник научных трудов. Вестник НТУ «ХПИ» : Технології в машинобудуванні, 2008. – №23.

2. <http://uravia.narod.ru/>

3. <http://www.shtorm-its.ru/tehnologiya-dugovoy-naplavki-metallor>

4. Князев С. А. Разработка технологии упрочнения паротурбинного оборудования путем борирования с высокоскоростным нагревом ТВЧ [Текст] / С. А. Князев, Н. А. Погребной // Технические науки: традиции и инновации: материалы междунар. науч. конф. (г. Челябинск, январь 2012 г.). — Челябинск: Два комсомольца, 2012. — С. 125-127.

5. Новые способы упрочнения деталей машин: Справ. пособие [Текст] / В.Б. Уманский, Л.К. Маняк. - Донецк : Донбасс, 1990. - 144 с.

6. М. А. Погрібний. Борування конструкційних сталей з використанням насичуючих паст / М. А. Погрібний, С. А. Князев // Металознавство та обробка металів. – 2011. – №1 – С. 33-38.

7. Соболев О.В. Повышение функциональных свойств вакуумно-дуговых TiN-покрытий посредством высоковольтного импульсного воздействия или введения нанометровых пластичных титановых слоёв / Соболев О.В., Андреев А.А., Григорьев С.Н., Волосова М.А., Столбовой В.А., Фильчиков В.Е., Киданова Н.В., Антоненкова Г.В. // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2012. – №12. – С. 24-30.

8. Бармин А.Е. Субмикро- и нанокристаллические вакуумные конденсаты (фольги) на основе железа / А.Е. Бармин, А.И. Ильинский, А.И. Зубков // Наносистемы, наноматериалы, нанотехнологии. – 2010. – т. 8. – № 3. – С. 547—551.