

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО МЕТОДА ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ СТАЛЕЙ

И.Л.Поболь, И.Г.Нестерук, В.М.Голуб

*Физико-технический институт НАН Беларуси, ул. Купревича, 10, 220141 Минск, Беларусь
тел.: (375 17) 263 86 19, факс: (375 17) 263 76 93, e-mail: beloto@user.unibel.by*

Приходящие на смену традиционным технологиям современные методы поверхностного упрочнения, в том числе с применением концентрированных потоков энергии, не всегда позволяют обеспечить эксплуатацию изделий при экстремальных условиях механического, коррозионного и других видов воздействия. Актуальной задачей становится разработка принципиально новых вариантов инженерии поверхности. Большой потенциал развития имеют комбинированные и совмещенные методы модифицирования поверхностных слоев металлических заготовок с использованием высокоэнергетических источников воздействия. Объектом данного исследования являются изделия типа шестерен, изготавливаемые с использованием комбинированного метода электронно-лучевого поверхностного упрочнения с предварительным термодиффузионным насыщением сталей.

I. Введение

Методы поверхностного упрочнения заготовок из сталей с использованием электронно-лучевой закалки из твердого или жидкого состояний позволяют значительно повысить механические свойства изделий, в том числе получить высокие твердость и триботехнические характеристики [1]. Однако этого становится недостаточно при упрочнении деталей, работающих в условиях экстремальных удельных нагрузок. В этих случаях возникает необходимость модифицировать поверхностные слои заготовок путем дополнительного нанесения металлических, керамических или композиционных покрытий.

Большие перспективы для существенного повышения эксплуатационных характеристик изделий из сталей имеют комбинированные методы поверхностного упрочнения, включающие предварительное термодиффузионное насыщение и скоростной электронно-лучевой нагрев (ЭЛН) поверхности упрочняемой заготовки.

II. Выбор метода предварительной обработки

Поверхностное диффузионное насыщение может проводиться с использованием традиционных методов химико-термической обработки (ХТО). Наиболее широко в машиностроении применяются цементация, азотирование, нитроцементация и борирование. Примером деталей, наиболее широко подвергаемых ХТО, могут служить шестерни и другие детали автомобилей, тракторов, металлорежущих станков и т.д.

ХТО, повышая твердость поверхности, износостойкость, кавитационную и коррозионную стойкость и создавая на поверхности благоприятные остаточные напряжения сжатия, увеличивает надежность и долговечность деталей машин. Развитие процесса диффузии приводит к образованию в поверхностных слоях обрабатываемого металла диффузионной зоны, состоящей из твердых растворов или химических соединений.

III. Методы последующей обработки диффузионно-насыщенных слоев

Наряду с достоинствами вариантов ХТО изделий им присущ ряд недостатков. Как правило, толщина, а зачастую и твердость, диффузионного

слоя невысока. Толщину слоя ограничивают из-за высокой опасности недопустимо больших деформаций и коробления заготовок, приводящих к браку изделий. По сечению поверхностного слоя наблюдается резкий перепад в концентрации легирующих элементов и, соответственно, в распределении твердости. Во многих случаях после ХТО в слое наблюдается наличие пористости и окисления, а иногда и высокой хрупкости материала.

Увеличение глубины диффузионных слоев и снижение их хрупкости может достигаться отжигом детали после ХТО. Однако проведение отжига в печной окислительной атмосфере отрицательно влияет на состояние поверхности изделий, ведет к ее обезуглероживанию. При нагреве диффузионно насыщенных сталей в безокислительных средах диффузионный слой взаимодействует со средой, что приводит к частичному снижению содержания диффундирующих элементов. Происходит потеря массы изделий в результате окисления. Поскольку процесс отжига проводится при высоких температурах длительное время, он весьма энергоемок.

В последние годы проводятся исследования методов последующей обработки диффузионных слоев с использованием концентрированных потоков энергии, прежде всего лазерного излучения. Вместе с тем, крайне малое внимание уделяется изучению комбинированного воздействию термодиффузионного насыщения и ЭЛН поверхности сталей.

IV. Анализ влияния ЭЛН на структурно-фазовые превращения в приповерхностном слое

Нами проводилась комбинированная обработка образцов из сталей 20, 45, 20ХНМА, 15ХГН2ТА и др., используемых для изготовления деталей типа шестерен и валов. Образцы, изготовленные в виде шайб диаметром 60-80 мм и высотой 8-12 мм, подвергались борированию, силицированию, цементации и нитроцементации. ХТО проводилась на серийном оборудовании по стандартным режимам. Для последующей обработки в режиме нагрева в твердом состоянии применялось оборудование на базе электронно-лучевой сварочной аппаратуры ЭЛА-15 с уско-

ряющим напряжением 60 кВ (максимальная мощность луча до 15 кВт). Для формирования равномерно распределенного теплового поля луч точечной формы разворачивался с использованием системы сканирования в зону прямоугольной формы. Образец приводился во вращение, обрабатывалась его верхняя плоскость.

Показано, что для увеличения толщины диффузионного слоя и получения более плавного распределения твердости по сечению изделия после диффузионного насыщения энергетически и технологически эффективно проводить ЭЛН приповерхностного слоя со скоростями нагрева, превышающими 50°С/с до температур 1000-1550°С. Скорость нагрева не должна быть меньше 50°С/с, иначе не произойдет закалка подслоя. В результате скоростного ЭЛН до высоких температур интенсифицируются процессы диффузии элементов в глубь стали и образуется закаленный подслоя в зоне, примыкающей к диффузионному слою, вследствие высоких скоростей охлаждения после поверхностного нагрева. Поверхностный слой после скоростного ЭЛН имеет сложный фазовый состав, отличающийся от состава исходного слоя. В примыкающей со стороны основы зоне образуются закалочные структуры (мартенситные и бейнитные фазы).

После ЭЛН толщина диффузионного слоя увеличивается в 1,5-2,5 раза и достигает 1,8-2 мм. Твердость материала силицированного слоя повышается с 4 ГПа в исходном состоянии до 9 ГПа после скоростного ЭЛН, борированного - с 10 до 16-18 ГПа, науглероженного и нитроцементованного - с 5-6 до 6,5-7 ГПа. Сердцевина изделия имеет исходный состав и структуру. Благодаря образованию закаленного подслоя под диффузионно насыщенным слоем распределение микротвердости по сечению образцов становится более плавным, чем после ХТО.

Существенный вклад в общий поток атомов вносит диффузия по границам зерен. Диффузия элементов в сплавы на основе железа при наличии скоростного нагрева характеризуется специфическими особенностями. Главная из них заключается в ускорении процесса перемещения атомов. Этот процесс сильно зависит от структурного состояния аустенита. Как известно, при скоростном нагреве происходит значительное измельчение зерен аустенита, для которых свойственна кроме того очень дисперсная мозаичная структура. При этом микроструктура стали имеет большую площадь границ зерен. Вследствие это-

го температура начала интенсивного процесса перемещения атомов снижается на несколько десятков градусов по сравнению со случаем медленного нагрева в печах.

Кроме того, при высокотемпературном нагреве выше 1400 °С перемещение атомов насыщающего элемента происходит в δ -фазе железной основы и этот фактор значительно интенсифицирует процесс диффузии, поскольку коэффициенты диффузии в менее компактной α -модификации ОЦК решетки на два порядка выше по сравнению с γ -фазой (в ГЦК решетке).

Использование современного электронно-лучевого оборудования, обеспечивающего возможность высокопроизводительной обработки участков любой конфигурации, позволяет проводить упрочнение машиностроительных изделий широкой гаммы назначения в промышленных масштабах. Достоинством рассматриваемого метода является использование на предварительном этапе процесса широко применяемых на производстве технологий ХТО в качестве источника введения дополнительного легирующего материала.

V. Заключение

Для существенного повышения эксплуатационных характеристик изделий из сталей перспективны комбинированные методы поверхностного упрочнения, включающие предварительное термодиффузионное насыщение и скоростной электронно-лучевой нагрев поверхности упрочняемой заготовки.

После ЭЛН толщина диффузионного слоя увеличивается в 1,5-2,5 раза и достигает 1,8-2 мм. Твердость материала существенно повышается (силицированного слоя с 4 до 9 ГПа, борированного - с 10 до 16-18 ГПа, науглероженного и нитроцементованного - с 5-6 до 6,5-7 ГПа. Такая совокупность свойств благоприятно сказывается на повышении эксплуатационных характеристик, в частности износостойкости, упрочненных изделий.

Работа выполняется в рамках задания 4004/1.04 ГНТП «Новые материалы и инженерия поверхностей».

Список литературы

1. Шипко А.А., Поболь И.Л., Урбан И.Г. Упрочнение сталей и сплавов с использованием электронно-лучевого нагрева. -Мн.: Наука і тэхніка, 1995.- 280 с.

INVESTIGATION OF COMBINED ELECTRON BEAM METHOD FOR SURFACE HARDENING OF STEELS

I.L.Pobol, I.G.Nesteruk, V.M.Golub

Physical - Technical Institute, National Academy of Sciences 10 Kuprevich St., 220141, Minsk, BELARUS, Phone: (375 17) 263 86 19, fax: (375 17) 263 76 93, e-mail: beloto@user.unibel.by

The new duplex method is developed for surface hardening of steels which includes thermochemical saturation and subsequent rapid electron beam (EB) heating of the surface. EB treatment of a siliconized, boronized, carburized and nitrocarburized layers results in a significant increase in hardness and alloyed layer depth. For instance, the hardness of the boronized layer can be increased from 10 GPa up to 16 to 18 GPa. The total diffusion layer depth reaches up to 1.8 to 2 mm. Such transformations in the alloyed layers allow the efficient improvement in surface properties of parts.