

УДК 621.795

И.А. Гилев, С.Д. Неулыбин, А.И. Панов, А.М. Баженов
I.A. Gilev, S.D. Neulybin, A.I. Panov, A.M. Bazhenov

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Perm National Research Polytechnic University

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE METHODS OF SURFACE HARDENING

Представлены результаты сравнительного анализа существующих способов поверхностного упрочнения деталей. Проведен анализ полученных результатов.

The results of the comparative analysis of the existing methods of surface hardening of parts. The analysis of the results obtained for surface hardening.

Ключевые слова: закалка, плазматрон, полярность, плазменное упрочнение, микроструктура, сталь, поверхность.

Keywords: hardening, plasmatron, polarity, plasma hardening, microstructure, steel, surface.

Решение вопросов повышения надежности, экономичности и ресурса выпускаемых деталей и узлов машин, агрегатов, ответственных конструкций требует применения материалов, способных работать в различных агрессивных средах, в условиях перепада температур и давлений, повышенных вибраций, при переменных контактных, ударных, статических нагрузках и т.д. Многие параметры изделия определяет состояние поверхностного слоя материала, из которого оно изготовлено. Очевидно, что использование дефицитных и дорогостоящих конструкционных материалов во всем объеме изделия нецелесообразно.

Известно, что потери, связанные с выходом из строя машин и другого оборудования из-за износа тех или иных деталей, огромны [1]. Существует большое количество традиционных методов закалки, которые имеют свои особенности, преимущества и недостатки. Целью данной работы являлось проведение сравнительного анализа существующих способов поверхностного упрочнения деталей машин.

На сегодняшний день в зависимости от способов нагрева различают несколько видов поверхностной закалки:

1. Закалка погружением – разогрев поверхности ведется за счет кратковременного погружения детали в горячую среду. После нагрева деталь охлаждают в воде или масле. Толщина закаленного слоя определяется временем выдержки в горячей среде.

2. Газопламенная закалка. Разогрев поверхности детали проводится за счет нагрева пламенем газовой горелки. Достоинство способа – в его универсальности. Недостатки метода: невысокая производительность; сложность регулирования глубины закаленного слоя и температуры нагрева (возможность перегрева), и как следствие – получение крупного зерна, выгорание углерода, легирующих элементов, возможно отслаивание закаленного слоя.

3. Закалка ТВЧ – токами высокой частоты (индукционная закалка). Перед закалкой ТВЧ изделие подвергают нормализации. Разогрев детали производится за счет наведения в ней токов высокой частоты. Деталь помещается внутрь индуктора, подключенного к истокам токов высокой частоты. Достоинство способа – высокая производительность. Основной недостаток метода – высокая стоимость индукционных установок и индукторов (для каждой детали необходим свой индуктор), наличие вредных электромагнитных полей.

4. Химико-термическая обработка – одно из средств улучшения качества стальных деталей – повышения их прочности, твердости и износостойкости, заключающаяся в насыщении поверхности углеродом, азотом, хромом, бромом и другими элементами. При введении в поверхностный слой хрома, кремния, алюминия и других элементов можно придать изделию устойчивость к коррозии, жаростойкость, кислотоупорность и другие свойства.

В промышленности получили широкое распространение следующие виды химико-термической обработки:

- цементация – насыщение углеродом;
- азотирование – насыщение азотом;
- цианирование – одновременное насыщение углеродом и азотом;
- диффузионная металлизация – насыщение различными элементами (кроме углерода и азота), например, хромом, бромом, алюминием и др.

Важным резервом экономии материальных и трудовых ресурсов является применение поверхностного упрочнения высококонцентрированными источниками нагрева (лазерным лучом, электронным лучом, плазменной струей), что позволяет значительно повысить срок службы изделий, улучшить их эксплуатационные характеристики, снизить стоимость изготовления и ремонта. Упрочнять и восстанавливать можно практически все изделия, подвергшиеся износу или коррозии.

Основной отличительной особенностью методов поверхностного упрочнения высококонцентрированными источниками нагрева является возмож-

ность получения скоростей нагрева и охлаждения материалов, на несколько порядков превышающих значения, характерные для традиционных методов упрочнения, что способствует получению упрочненных слоев с недостижимым ранее уровнем эксплуатационных свойств.

В процессе многочисленных исследований установлено, что скорость охлаждения поверхностного слоя металла, структура и свойства упрочненной зоны определяются в первую очередь степенью локализации ввода тепла в обрабатываемое изделие (в пятно нагрева). От этого зависят важнейшие для практики факторы: величина остаточных напряжений и деформаций, необходимость применения дополнительных охлаждающих сред, производительность обработки, технико-экономические показатели. В общем случае порядок величины скорости охлаждения ($^{\circ}\text{C}/\text{с}$) практически соответствует порядку величины концентрации тепловой мощности ($\text{Вт}/\text{см}^2$) источника. Основные характеристики локальных источников нагрева для поверхностного упрочнения приведены в таблица [2].

Основные технико-экономические характеристики источников нагрева

Источник нагрева	Мощность, Вт		Плотность мощности, $\text{Вт}/\text{см}^2$		Эффективный КПД нагрева
	min	max	min	max	
Газовое пламя	10^2	10^4	$2 \cdot 10^2$	$6 \cdot 10^2$	0,55
Электрическая дуга	50	$2 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^2$	$4 \cdot 10^4$	0,75
Сжатая дуга	10^2	10^5	$5 \cdot 10^2$	10^6	0,80
Плазменная струя	10^3	10^5	$5 \cdot 10^2$	10^5	0,80
Луч:					
ионный	10	10^3	10^2	10^5	0,85
электронный	10	10^5	$5 \cdot 10^2$	10^7	0,85
лазерный	10	$2,5 \cdot 10^4$	10^2	10^{10}	0,05
Солнечные нагреватели	10^2	10^5	10^2	$2 \cdot 10^3$	0,75

Из всех способов термообработки высококонцентрированными источниками нагрева наиболее экономически выгодным и производительным является плазменное поверхностное упрочнение. Метод характеризуется меньшей стоимостью, доступностью технологического оборудования и большими размерами упрочненной зоны.

5. Закалка с нагревом поверхности лазером. При этом способе закалки разогрев поверхности осуществляется за счет воздействия на нее высокоэнергетического пучка излучения. Этим способом можно закалывать внутренние поверхности детали, не закалывая ее наружную поверхность. Глубина закаленного слоя регулируется временем воздействия лазера. При таком способе закалки она может меняться от нескольких микрон до десятков и сотен микрон.

Следует отметить весомые преимущества лазерной обработки в сравнении с традиционными методами термической обработки материалов. При традиционной термической обработке необходим последующий отпуск, что снимает внутренние напряжения, однако наряду с этим снижает твердость обработанного слоя. При этом твердость составляет, как правило, 48–52 HRC. Лазерная же обработка не требует дополнительных операций отпуска. При этом твердость упрочненной лазерным лучом зоны поверхности, например, стали 40X составляет 58–62 HRC.

Недостатками лазерной обработки являются высокая сложность и стоимость оборудования, низкий КПД лазеров.

6. Плазменное поверхностное упрочнение как один из методов упрочнения источниками нагрева с высокой плотностью мощности в настоящее время находит широкое и эффективное применение как в условиях мелкосерийного и единичного (в том числе ремонтного), так и крупносерийного и массового производства. Сущность его заключается в термических фазовых и структурных превращениях, происходящих при быстром концентрированном нагреве рабочей поверхности детали плазменной струей (дугой) и теплоотводе в материал детали.

Для генерирования плазменного источника нагрева широко используются плазмотроны с открытой дугой, или плазмотроны прямого действия, плазмотроны с закрытой дугой – струей, или плазмотроны косвенного действия.

Скорость нагрева оказывает существенное влияние на размер рекристаллизованного зерна. Это приводит к измельчению зерна. Кратковременное пребывание стали в области закалочных температур и протекание фазовых превращений при температурах, превышающих равновесные, приводит к получению механических свойств, отличающихся от свойств стали, закаленной с помощью традиционных источников теплоты.

Применение быстрого нагрева, способствующего получению более мелкой структуры закаленной стали, дает возможность получить более благоприятное сочетание свойств прочности и вязкости. Повышение уровня эксплуатационных свойств упрочняемой детали достигается за счет совершенствования технологии упрочнения. Нагретая зона охлаждается сразу при выходе из плазмы, в основном за счет отвода теплоты в тело массивной стальной детали, кондуктивного и радиационного теплоотвода с поверхности в атмосферу. Эти параметры можно регулировать в широком диапазоне. Особенностью такого процесса является «мягкий» прогрев с относительно небольшой скоростью нарастания температуры до начала аустенитизации стали. «Мягкий» прогрев плавно переходит в «жесткий», с высокой скоростью нарастания температуры в поверхностном слое для более полной аустенитизации, гомогенизации и растворения карбидов.

Плазменная обработка может эффективно применяться для упрочнения не только деталей из стали, но и из чугуна. В этом случае широко используются в основном способы плазменного упрочнения с оплавлением рабочей поверхности, обеспечивающие создание на ней отбеленного слоя с дисперсной дендритной структурой.

Плазменное поверхностное упрочнение разделяют:

- на упрочнение без оплавления и с оплавлением поверхности детали;
- упрочнение с зазором между упрочненными зонами (зоны термического влияния, ЗТВ), без перекрытия ЗТВ и с перекрытием ЗТВ;
- химико-термическая плазменная обработка;
- упрочнение в сочетании с другими способами объемной или поверхностной термической обработки.

Плазменную поверхностную обработку можно эффективно применять, например, для повышения стойкости шестерен и металлообрабатывающего инструмента. Проблема дефицита и высокой стоимости инструментальных сталей может быть существенно сглажена для машиностроительных предприятий благодаря повышению работоспособности металлообрабатывающего инструмента (резцов, сверл, фрез). Плазменная поверхностная обработка позволяет повысить стойкость данного инструмента в 2–2,5 раза [3].

Сделаем следующие выводы:

Плазменная закалка по сравнению с аналогами – способами поверхностного упрочнения токами высокой частоты, газопламенным способом, химико-термической обработкой, лазерным и электронно-лучевым упрочнением – обладает рядом преимуществ:

- повышается работоспособность и износостойкость деталей и инструмента после поверхностного упрочнения;
- достигается большая глубина упрочненного слоя;
- наблюдается высокий эффективный КПД нагрева плазменной дугой (до 85 %, для сравнения, при лазерном упрочнении – 5 %);
- существует возможность ведения процесса без применения охлаждающих сред или вакуума;
- простота, низкая стоимость, маневренность, малые габариты технологического оборудования;
- существует возможность автоматизации и роботизации технологического процесса.

Список литературы

1. Балановский А.Е. Плазменное поверхностное упрочнение металлов. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2006. – 180 с.

2. Степанова Т.Ю. Технологии поверхностного упрочнения деталей машин: учеб. пособие; Иван. гос. хим.-технол. ун-т. – Иваново, 2009. – 64 с.

3. Плазменное поверхностное упрочнение / Л.К. Лещинский [и др.]. – Киев: Тэхника, 1990. – 109 с.

Получено 7.10.2014

Гилев Иван Александрович – магистрант, ПНИПУ, МТФ, гр. ЛТС-13м, e-mail: ivan.giliev@mail.ru.

Неулыбин Сергей Дмитриевич – аспирант, ПНИПУ, МТФ, e-mail: sn-1991@mail.ru.

Панов Алексей Иванович – магистрант, ПНИПУ, МТФ, гр. ЛТС-14м, e-mail: homa2901@gmail.com.

Баженов Александр Михайлович – магистрант, ПНИПУ, МТФ, гр. ЛТС-14м, e-mail: evil199315@yandex.ru.