

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»
Нижнетагильский технологический институт (филиал)
Школа магистратуры
Центр научных исследований и инноваций
Лаборатория плазменных процессов

**ПОВЕРХНОСТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ
ДЕТАЛЕЙ ИЗ СТАЛИ И ЧУГУНА
ПЛАЗМЕННОЙ ЗАКАЛКОЙ**

Коммерческое предложение

Нижний Тагил 2021

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Цель плазменной закалки.....	4
2. Упрочняемые материалы.....	4
3. Физическая сущность процесса.....	4
4. Упрочняемые детали.....	5
5. Технологический процесс.....	11
6. Состав оборудования.....	12
7. Эффективность.....	12
Заключение	12
Контактная информация.....	14

Введение

Для изготовления значительной части деталей машин и технологического инструмента в отечественной промышленности широко используются сравнительно дешевые низколегированные стали с повышенным содержанием углерода и чугуны. Эксплуатационная стойкость таких деталей в современных условиях не отвечает возрастающим требованиям производства ввиду увеличивающихся затрат на запасные части, текущий и капитальный ремонт агрегатов, связанный с их заменой. Проблема продления эксплуатационного ресурса деталей машин и технологического инструмента является весьма актуальной как в экономическом, так и в экологическом и ресурсосберегающем аспектах, поскольку их первичное производство и утилизация сопровождаются потреблением сырьевых и энергетических ресурсов, а также техногенным загрязнением окружающей среды. Перспективным направлением решения этой проблемы представляется упрочняющая термическая обработка рабочих поверхностей деталей плазменной дугой. Образующиеся при скоростных нагреве и охлаждении структуры закалочного типа обладают высокими твердостью, износостойкостью, сопротивлением разрушению. Причем, упрочнение целесообразно осуществлять как для новых деталей, так и для реставрированных, например, наплавкой и (или) механической обработкой рабочей поверхности.

Широкое промышленное применение большинства известных способов упрочняющей обработки концентрированным потоком энергии (лазерной, электроннолучевой, катодно-ионной и т.п.) сдерживается высокой стоимостью и сложностью оборудования, недостаточными его надежностью и производительностью, необходимостью использования вакуума, специальных помещений с особыми требованиями, потребностью в квалифицированном обслуживании, высокими эксплуатационными расходами и др.

В этих условиях, для продления эксплуатационного ресурса быстроизнашивающихся деталей рациональным по параметрам универсальности, доступности, экологичности и экономической эффективности представляется **способ поверхностной термообработки плазменной дугой прямого действия**. Не изменяя параметров шероховатости поверхности, такая термообработка легко встраивается в технологический процесс подготовки и ремонта деталей, являясь финишной операцией, малозатратна, достаточно производительна и позволяет эффективно увеличить их эксплуатационную стойкость.

Необходимо отметить, что применение поверхностной термической обработки не только не исключает, а в целом ряде случаев увеличивает эффективность наплавки, поскольку позволяет использовать относительно дешевые материалы с меньшей твердостью наплавленного металла. При этом наплавкой восстанавливают первоначальные размеры рабочей поверхности, без затруднений проводят механическую обработку наплавленного слоя, а окончательный комплекс свойств формируют в процессе плазменной закалки. Применение комплексного технологического процесса восстановления и упрочнения деталей обеспечивает при весьма невысокой себестоимости эффективность реновации за счет ресурсо- и энергосбережения в сочетании с экологичностью.

1. Цель плазменной закалки

Целью плазменной закалки является повышение эксплуатационного ресурса деталей машин за счет упрочнения их поверхностного слоя (толщиной до нескольких миллиметров) термической обработкой плазменной дугой при неизменном общем химическом составе материала и сохранении во внутренних слоях первоначальных свойств исходного металла.

2. Упрочняемые материалы

Железоуглеродистые сплавы (0,2...3,7 % мас. углерода), испытывающие полиморфные превращения при нагреве – охлаждении.

3. Физическая сущность процесса

Упрочнение является результатом высокоскоростного локального нагрева плазменной дугой поверхностного слоя изделия до высоких (выше A_{c3}) температур и быстрое его охлаждение со сверхкритической скоростью в результате теплоотвода в глубинные (внутренние) слои материала изделия. Образующиеся при скоростном нагреве и охлаждении структуры закалочного типа обладают высокими твердостью, износостойкостью и сопротивлением разрушению. Эффект от плазменной закалки определяется повышением эксплуатационных свойств детали благодаря изменению физико-механических характеристик поверхностного слоя, вследствие образования специфической структуры и фазового состава металла, а также получения на поверхности сжимающих остаточных напряжений.

Структурные превращения в целом соответствуют происходящим при объемной закалке, однако, высокие скорости нагрева и охлаждения вызывают изменение соотношений между структурными составляющими, повышенную степень их упрочнения вследствие высокой дефектности кристаллического строения (увеличение плотности дислокаций, измельчение блоков и рост напряжений в кристаллической решетке).

Таблица 1. Твердость поверхности сталей после плазменной закалки, HRC

Конструкционные углеродистые и низколегированные 34ХН1М, 38ХС, 40Х, 40ХН, 45	48-60
Пружинные 50ХФА, 65Г, 60С2	50-56
Инструментальные углеродистые У7, У8, У9, У10	52-60
Валковые 60ХН, 9Х, 9Х2МФ	53-61
Штамповые 5ХНМ, 5ХНВ, 4Х5ФМС	52-60

Таблица 2. Сравнение твердости сталей после плазменной закалки и других способов термообработки

Сталь	Твердость, HRC		
	Объемная закалка	Закалка ТВЧ	Плазменная закалка
34ХН1М	47-52	–	51-56
40Х	49-54	53-58	55-60
45	48-53	51-56	54-59

В результате плазменной закалки железоуглеродистых сплавов в зоне термического влияния глубиной 0,5...2,5 мм образуется модифицированная

мартенситно-аустенитная структура с переменным в зависимости от режима обработки и структурного класса сплава составом. Содержание фазонаклепанного остаточного аустенита в поверхностном слое составляет от 5 до 80 % в зависимости от состава сплава и режима обработки. В условиях динамического контактного трения при эксплуатации возможно дополнительное деформационное упрочнение термообработанной поверхности за счет превращения остаточного аустенита в мартенсит деформации и наклепа металлических фаз. Средняя твердость поверхности при этом возрастает и, соответственно, повышается износостойкость.

4. Упрочняемые детали

Условно можно разделить на три группы по назначению:

4.1. **Детали рельсового транспорта** (бандажи колес локомотивов, вагонов, колёса шахтных вагонеток, крановые колёса и т.п.). В качестве примера - фото 1, 2.



Фото 1. Закалка кранового колеса
(сталь 45, повышение твердости поверхности от исходной НВ 160 до НВ 300 после закалки)



Фото 2. Закалка бандажей колёс локомотивов

4.2. **Сменный технологический инструмент и оборудование** (прокатные валки, бандажи, ролики, пуансоны, матрицы, ножи, штампы, буровой инструмент и др.). Примеры представлены на фото 3-22:



Фото 3. Закаленная внутренняя поверхность кольца пуансона (сталь 45Х1 от 48...50 до 60...62 HRC)



Фото 4. Закаленный ролик (сталь 34ХН1М от HB 240 до 55 HRC)



Фото 5. Закалка матрицы для холодной штамповки (сталь 40ХН от 20 до 52 HRC)



Фото 6. Закалка тройниковой матрицы для холодной штамповки (от 50 до 60 HRC)



Фото 7. Закаленная внутренняя поверхность матрицы



Фото 8. Закалка тrefа прокатного вала (сталь 34ХН1М)



Фото 9. Закаленные ролики
трубопрокатного стана



Фото 10. Закаленный валок



Фото 11. Закаленная с оплавлением
деталь буровой коронки

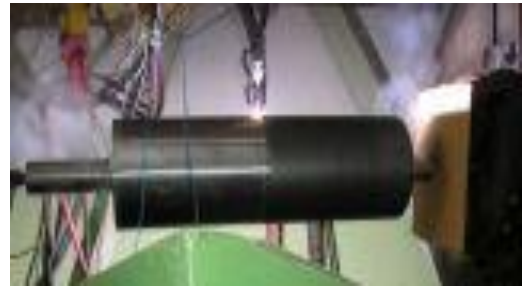


Фото 12. Закалка ролика (сталь 40Х
до 50-55 HRC с водяным охлаждением)



Фото 13. Закаленные пальцы
(сталь 45ХН2МФА до 55 HRC)



Фото 14. Закаленный валок холодной
прокатки
(сталь 9ХС до 60 HRC)



Фото 15. Закалка бандажа
(сталь 40Л от HB 200 до 50 HRC)



Фото 16. Закалка направляющей
(сталь 9ХФ от 30 до 60 HRC)



Фото 17. Закалка коренных шеек
коленчатого вала
(сталь 45Г2 от 30 до 50 HRC)

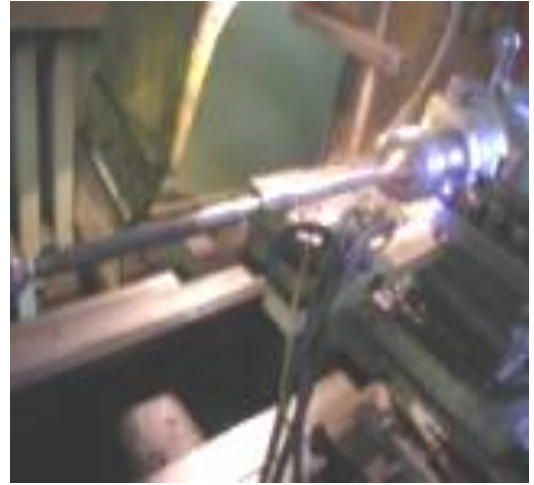


Фото 18. Закалка клапана
(сталь 30X13 от 28 до 50 HRC)



Фото 19. Закаленный фрагмент
полукольца
(сталь 45 от 25 до 55 HRC)



Фото 20. Закалка вала
(сталь 40X до 55 HRC)



Фото 21. Закаленная лопатка дробемета
(сталь 45 до 50 HRC)



Фото 22. Закалка валков пыльгерстана
(сталь 45 до 57 HRC)

4.3. Детали общего машиностроения (шестерни, звездочки, кольца, валы, оси, втулки, шкивы, посадочные места под подшипники, чугунные станины и пр.). См. фото 23-40:

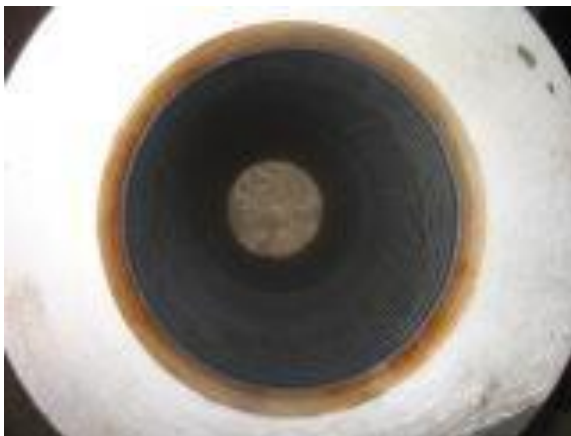


Фото 23. Закаленная внутренняя поверхность стальной втулки



Фото 24. Закалка втулки изнутри (сталь 20 от HB 140 до 50 HRC)



Фото 25. Закаленная изнутри чугунная гильза дизеля «КАМАЗ»



Фото 26. Закаленные тормозные барабаны



Фото 27. Закаленная ось (сталь 45)



Фото 28. Закаленные кулачки на валах (сталь 38Х2Н2МА от HB 240 до HB 500)



Фото 29. Косозубая шестерня



Фото 30. Закаленные зубчатые рейки



Фото 31. Закаленные вал-шестерни
(сталь 30ХГСА)



Фото 32. Закаленная звездочка (сталь 20)



Фото 33. Закаленная поверхность муфты
кулачковой (сталь 50 от 30 до 60 HRC)



Фото 34. Закаленные зубья шестерни
(сталь 30ХГСА от 25 до 60 HRC)



Фото 35. Закаленные шлицы (55 HRC)



Фото 36. Закалка рычага двигателя



Фото 37. Закаленная рабочая часть рычага двигателя (сталь 45Х до 57 HRC)



Фото 38. Закалка погона (сталь 20Х13 от 20 до 52 HRC)



Фото 39. Закаленная тонкостенная деталь (сталь 20 до 40 HRC)



Фото 40. Закаленный валок пильгерстана (сталь 45), наплавленный Св-30Х25Н16Г7

5. Технологический процесс

Технологический процесс плазменной закалки включает механическую обработку (при необходимости) и (или) очистку поверхности, подлежащей упрочнению, и собственно термообработку, которая, как правило, является финишной операцией. В некоторых случаях для чистовой обработки применяется шлифование.

Термообработка осуществляется при помощи плазмотрона собственной конструкции, генерирующего плазменную дугу прямого или комбинированного (между катодом, соплом и упрочняемым изделием) действия в атмосфере аргона. Перемещение плазмотрона осуществляется в автоматическом режиме с использованием станочного оборудования или вручную, при этом плазмотрон устанавливается на специальном держателе.

Обработка может производиться с оплавлением поверхности и без оплавления. Следует отметить, что даже при режимах, при которых не наблюдается видимого оплавления поверхности упрочняемого изделия, происходит изменение ее микрорельефа: уменьшается высота микронеровностей, увеличивается радиус закругления вершин за счет их микрооплавления. Это благоприятно сказывается на изменении параметров шероховатости обрабатываемой поверхности и увеличивает её несущую способность, повышает эксплуатационные свойства упрочненных изделий.

При плазменной закалке без оплавления поверхности глубину упрочненного слоя можно изменять в пределах 0,5...2,5 мм, ширину локальной зоны закалки можно регулировать в пределах 5...25 мм. Большую ширину можно получить за счет

сканирования дуги, когда наряду с поступательным перемещением она совершает поперечные колебания. Сканирование дуги реализуется за счет взаимодействия ее собственного магнитного поля с внешним поперечным переменным полем, создаваемым электромагнитной системой, размещенной на плазмотроне.

Аппаратура может работать в комплекте со станком, вращателем или другим **механизмом, который обеспечивает перемещение закаливаемой поверхности или плазмотрона** с линейной скоростью 3...5 см/с.

6. Состав оборудования

Кроме плазмотрона в состав типовой установки для плазменной закалки входят источники питания дуги постоянным током и система подачи аргона (на базе сварочного оборудования), система охлаждения плазмотрона, блок управления. Установка в целом характеризуется мобильностью, малыми габаритами и может быть размещена в составе оборудования механической обработки деталей (с использованием последнего в качестве механизма перемещения этих деталей при плазменной закалке).

Основные требования безопасности при плазменной закалке определяются применением сварочных источников питания и предполагают использование вытяжной вентиляционной системы и защиту органов зрения от излучения.

7. Эффективность

По данным производственных испытаний эксплуатационный ресурс закаленных деталей возрастает в 2...4 раза, увеличивается наработка упрочненного технологического инструмента, а его удельный расход снижается на 20...50 %. В целом ряде случаев сокращаются простои на ремонт и обслуживание современных высокопроизводительных агрегатов, уменьшаются затраты на запасные части и техническое обслуживание.

Эксплуатационные расходы не превышают аналогичных затрат при использовании оборудования для аргонодуговой сварки.

Экономическая эффективность от внедрения разработанных научно-технических и технологических решений составляет от 5 до 10 рублей на рубль затрат.

Заключение

Можно отметить следующие преимущества плазменной закалки по сравнению с другими способами термообработки:

1) при закалке концентрированными источниками энергии в силу специфичности обработки (высокие скорости нагрева и охлаждения) удается получить такую структуру и свойства поверхностного слоя, которые недостижимы при традиционных способах термической обработки;

2) упрочняется только поверхностный слой, а сердцевина остается вязкой, что обеспечивает повышенное сопротивление одновременно изнашиванию и усталости;

3) отсутствие или минимальные деформации упрочняемых деталей, что позволяет повысить точность их изготовления, снизить трудоёмкость механической обработки и затраты на изготовление;

4) высокая производительность (3-5 см²/с в зависимости от требуемой глубины и степени перекрытия закаленных участков);

5) при закалке без оплавления поверхности не требуется последующая механическая обработка, что позволяет использовать ее в качестве финишной операции технологического процесса;

б) наличие в поверхностном слое сжимающих напряжений и присутствие остаточного аустенита повышают сопротивляемость зарождению и распространению трещин;

7) возможность замены высоколегированных сталей низколегированными, упрочненными плазменной закалкой, а также в сочетании с наплавкой;

8) высокий эффективный КПД нагрева плазменной дугой (до 85 %), для сравнения, при лазерном упрочнении – 5 %;

9) простота обслуживания, мобильность, невысокие стоимость и эксплуатационные расходы, малые габариты технологического оборудования, возможность автоматизации и роботизации технологического процесса.

10) по сравнению с лазерной и электроннолучевой закалкой плазменная имеет следующие преимущества:

- стоимость оборудования на порядок ниже;

- простота работы на установке и её обслуживания, не требуется высококвалифицированный обслуживающий персонал;

- мобильность установки, т.е. возможность перемещения и быстрого монтажа на любом станке, обеспечивающем необходимую скорость перемещения детали или плазмотрона;

- не требуется, как при лазерной закалке, наносить на поверхность специальные покрытия для увеличения поглощения лазерного излучения;

Таким образом, технология закалки рабочих поверхностей деталей машин и технологического инструмента плазменной дугой является оптимальной по параметрам универсальности, доступности, экологичности и экономической эффективности. Она позволяет увеличить срок службы деталей, минимум, в 1,5...2 раза и сократить затраты на обслуживание и ремонт оборудования на 40...50 %. Кроме того, эта технология производительней и дешевле других способов поверхностной закалки (в том числе и ТВЧ). Установка плазменной закалки малогабаритна, мобильна, проста в эксплуатации и обслуживании, обеспечивает возможность автоматизации процесса в сочетании с обычными требованиями производственной безопасности. После плазменной закалки без оплавления не требуется механической обработки, и она может являться финишной операцией.

В экономической эффективности этой технологии убедились такие предприятия, как Нижнетагильский металлургический комбинат, Северский трубный завод, Лысьвенский металлургический завод, ОАО «Святогор», Высокогорский, Качканарский, Михайловский и Лебединский горно-обогатительные комбинаты, Уралхиммаш, Верхнетуринский, Невьянский, Уфалейский машиностроительные заводы, ОАО «Карельский Окамыш», Нижнетагильский, Катав-Ивановский и Бийский механические заводы, ЗАО «Горнозаводсктранспорт» и многие другие.

В рамках коммерческого предложения предлагается оказание услуг по закалке требующих упрочнения деталей, поставка установок плазменной закалки, включая монтаж, пусконаладочные работы, гарантийный ремонт, сервисное обслуживание и обучение персонала. Работы могут производиться непосредственно на вашем предприятии или в г. Нижний Тагил. Возможна закалка опытных образцов. Рассмотрим предложения по созданию участка на ваших производственных площадях.

Контактная информация

622031, г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, д.59, НТИ (филиал) УрФУ

Школа магистратуры – директор, д.т.н. **Сафонов Евгений Николаевич**

Тел. (3435) 255883, E-mail: sen@ntiustu.ru, e.n.safonov@urfu.ru

Центр научных исследований и инноваций - директор, к.т.н.

Гоман Виктор Валентинович, 89126059692, E-mail: v.v.goman@urfu.ru

Лаборатория плазменных процессов - технические вопросы:

Чадин Леонид Валентинович – 89090267408, E-mail: h.l.v.1962@mail.ru

