

# **ПЛАЗМЕННАЯ ПОВЕРХНОСТНАЯ ЗАКАЛКА**

- 1. Сущность процесса плазменной поверхностной закалки**
- 2. Технология поверхностной закалки**
- 3. Примеры применения плазменной поверхностной закалки**

# 1. Сущность процесса плазменной поверхностной закалки

Термическое упрочнение стальных деталей является одним из наиболее эффективных и действенных способов увеличения ресурса работы нагруженных элементов машин и механизмов, а также снижения их материалоемкости. Во многих случаях технически и экономически оправдана локальная термообработка. При этом упрочняют только наиболее нагруженную рабочую поверхность детали, оставляя нетронутой сердцевину. Для поверхностного упрочнения деталей в промышленности широко применяют термическую высокочастотную и газопламенную обработки.

Дальнейший прогресс в повышении качества термообработки рабочих поверхностей деталей связывают с применением концентрированных источников энергии: электронного и лазерного луча, плазменной струи. При этом достигаются более высокие эксплуатационные свойства и качество упрочнения. Из всех способов термообработки высококонцентрированными источниками нагрева наиболее экономичным и производительным является плазменный. Он характеризуется меньшей стоимостью, доступностью технологического оборудования и большими размерами упрочненной зоны.

Особенности плазменной поверхностной закалки — кратковременность процесса нагрева и возможность создания условий охлаждения, обеспечивающих высокую интенсивность, — оказывают существенное влияние на структуру закаленного слоя. Эффект скорости охлаждения при металлографическом исследовании прежде всего заметен в диспергировании структуры. Скорость нагрева оказывает существенное влияние на размер рекристаллизованного зерна, так как с ее увеличением число центров рекристаллизации растет быстрее, чем скорость роста центров. Это приводит к измельчению зерна. Кратковременное пребывание стали в области закалочных температур и протекание фазовых превращений при температурах, превышающих равновесные, приводят к получению механических свойств, отличающихся от свойств стали, закаленной с нагревом от традиционных источников теплоты. В доэвтектоидной стали при быстром нагреве, когда структурно свободный феррит претерпевает перекристаллизацию без влияния атомов углерода, аустенитное зерно всегда несколько мельче того, которое обычно получается при медленном нагреве до температуры аустенизации. Такое изменение блочной структуры аустенита приводит к уменьшению размеров когерентных областей и увеличению значений микронапряжений и искажений в закаленной стали. В условиях поверхностной закалки это становится причиной повышения твердости закаленного слоя.

В предварительно сорбитизированных структурах выравнивание концентрации углерода в аустените протекает быстрее, поэтому при нагреве стали с такой структурой размер зерна аустенита может быть еще более мелким — 14-16 баллов. Соответственно и игольчатость мартенсита имеет более тонкое строение, приближающееся к структуре, характеризующейся как безигольчатый мартенсит. Измельчение структуры мартенсита приводит к увеличению ударной вязкости.

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, что, в конечном счете, сводится к обеспечению оптимального термического цикла (нагрева-охлаждения) исходя из закономерностей структурных, фазовых и полиморфных превращений упрочняемого материала.

Нагрев под закалку по технологии НПП «ТОПАС» осуществляют высокоэнтальпийной плазменной струей, стелящейся вдоль нагреваемой поверхности. 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.

Нагрев каждого участка поверхности происходит с нарастающей плотностью теплового потока в соответствии с изменением теплофизических параметров плазмы по мере приближения к устью струи. Эти параметры в свою очередь можно регулировать в широком диапазоне. Особенностью такого процесса является «мягкий» прогрев с относительно небольшой скоростью нарастания температуры до начала аустенитизации стали. При этом параметры греющей среды, время взаимодействия с учетом температуропроводности материала согласуются так, чтобы обеспечить наибольшую глубину прогрева. «Мягкий» прогрев плавно переходит в «жесткий» с высокой скоростью нарастания температуры в поверхностном слое для более полной аустенитизации, гомогенизации и растворения карбидов.

## 2. Технология поверхностной закалки

Рассматриваемая схема процесса поверхностного плазменного нагрева под закалку характеризуется высоким КПД (60-80%) и согласованностью темпов нарастания плотности теплового потока греющей среды с теплофизическими свойствами стали.

Для высокотемпературной поверхностной закалки применяют установку УВПЗ-2М (рис. 1).



Рис. 1. Конфигурация установки для УВПЗ-2М плазменного поверхностного упрочнения

### Техническая характеристика:

Рабочий ток, А.....150-250

Рабочее напряжение, В.....180-250

Расход сжатого воздуха при давлении в сети 0,5-0,6 МПа, м<sup>3</sup>/ч.....5-5

Расход горючего газа, м<sup>3</sup>/ч:

метана..... 0,5

пропан-бутана.....0,2

Расход воды для охлаждения при давлении в подводящей сети 0,3 МПа, м<sup>3</sup>/ч.....1,5

Продолжительность включения ПВ, %.....100

Глубина закаленной зоны, мм.. 0,5-3,5  
Ширина закаленной зоны, мм... 5-35

В ее состав входят: источник электропитания; пульт управления с цифровой системой индикации параметров, оптимизации процесса и неразрушающего контроля; электродуговые горелки с кабель-шланговыми пакетами; специальные формирующие насадки со шланговыми пакетами; пакет монтажных соединений и ЗИП.

Технология поверхностной закалки НПП «ТОПАС» характеризуется новыми возможностями повышения контактно-усталостной прочности металла и, как следствие, увеличением надежности тяжелонагруженных деталей. Она основана на использовании многокомпонентной химически активной высокотемпературной (6000-7000 К) струи продуктов сгорания углеводородного газа (метана, пропан-бутана) с воздухом. Такая высокотемпературная среда характеризуется комбинацией уникальных транспортных и теплофизических свойств. Она более энергоемка, чем любые двухатомные газы при тех же условиях. Теплоотдача от высокотемпературных продуктов сгорания к нагреваемому изделию повышается как за счет высокого температурного уровня, так и благодаря изменению транспортных свойств диссоциированных продуктов сгорания (вследствие их последующей рекомбинации). С технологической точки зрения — это легкость регулирования окислительно-восстановительного потенциала, способность эффективно прогревать материалы, управлять параметрами стабилизированного электродугового разряда и др.

Многokратное (5-10 раз) повышение плотности теплового потока может быть достигнуто при закалке с малых дистанций в пределах начального участка струи за счет образования несамостоятельного диффузного разряда между соплом-анодом электродуговой горелки и деталью от отдельного маломощного источника электропитания. Формирование такого разряда в высокотемпературных продуктах сгорания облегчается по сравнению с воздухом и инертными газами. Происходит это благодаря качественному изменению характера приэлектродных процессов на аноде горелки и повышению разности потенциала высокотемпературной струи по отношению к аноду в продуктах сгорания. Доступность и невысокая стоимость используемых рабочих газов делают особенно предпочтительным их применение с увеличением мощности установок, соответственно производительности процессов, когда рабочие параметры смещаются в область повышенных расходов газа.

### 3. Примеры применения плазменной поверхностной закалки

Среди упрочняющих технологий плазменная является относительно новой, интенсивно развивающейся в последние годы. Широкое распространение получил процесс плазменного поверхностного упрочнения гребней колесных пар (рис. 2) без выкатки их из-под локомотива (рис. 3),



Рис. 2. Плазменно упрочненные колесные пары

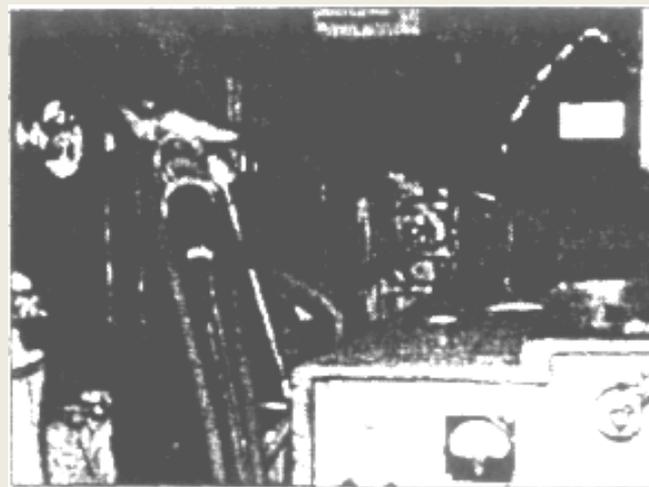


Рис. 3. Плазменное упрочнение гребней колесных пар без выкатки из-под локомотива

а также с использованием автоматических линий (рис. 4). Стимулом развития технологии явились участвовавшие случаи катастрофического изнашивания колесных пар тягового и подвижного состава на всех железных дорогах. Среди множества принимаемых мер плазменное поверхностное упрочнение явилось наиболее эффективным.

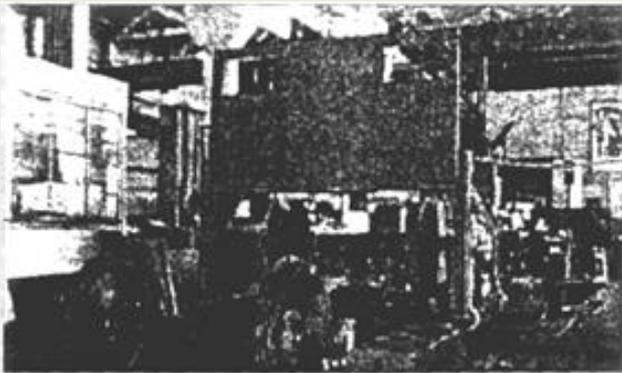


Рис. 4. Автоматическая линия для плазменной обработки колесных пар

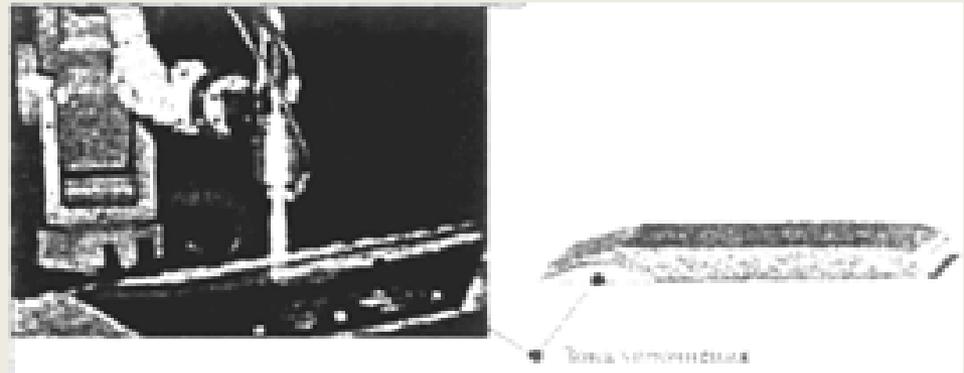


Рис. 5. Плазменное поверхностное упрочнение лезвия лемеха

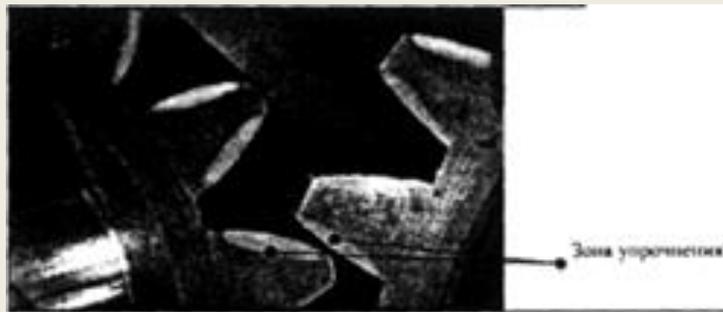


Рис. 6. Плазменно упрочненные шестерни

Технология плазменной поверхностной закалки НПП «ТОПАС» обеспечивает увеличение надежности и долговечности колесных пар тягового и подвижного состава. Интенсивность изнашивания гребней колесных пар с плазменным упрочнением значительно ниже, чем у серийных (в 2,5-3 раза). Разработанная технология закалки колесных пар обеспечивает две отличительные особенности, способствующие улучшению механических свойств (в т. ч. снижению коэффициента трения в контакте гребня с боковой поверхностью рельса) и повышению трещиностойкости материала колеса в зоне плазменного упрочнения:

- локальное (в зоне наибольшего износа) поверхностное упрочнение гребня колеса на глубину 2,5-3 мм и ширину 35 мм с твердостью 280 НВ (в исходном материале) до твердости 450 НВ, что обеспечивает оптимальное соотношение твердости контактирующих поверхностей колеса и рельса.