

«СКОРАЯ ПОМОЩЬ» ДЛЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

ПЕТРОВ С.В., доктор технических наук,

Есть прорывные технологии, которые радикально меняют устоявшиеся представления. К ним можно отнести плазменное поверхностное упрочнение как самостоятельное направление в области инженерии поверхности. Много примеров, когда поверхностное упрочнение высококонцентрированными потоками энергии дуговой плазмы в десятки раз повышает время жизни деталей и изделий, работающих в экстремальных условиях, причём за относительно невысокую цену. В основе применения данного метода лежит простая идея: только за счет оптимального термического цикла модифицировать материал поверхностного слоя наиболее напряженного рабочего участка детали и придать ему способность самым эффективным образом противостоять нагрузкам. Нагруженными и ответственными участками деталей в рамках проблемы рельс/колесо являются рабочая поверхность гребня колеса и боковая поверхность головки рельса (Рис.1).

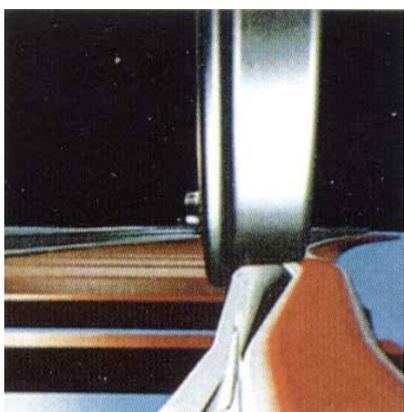


Рис.1. Колесо-рельс образуют сложную трибосистему

Железнодорожные колеса являются одним из основных и наиболее нагруженных элементов ходовой части железнодорожного подвижного состава, непосредственно взаимодействующих с путем. Под воздействием неровностей верхнего строения пути колесная пара совершает сложные пространственные перемещения, а в кривых колесо проскальзывает по рельсу и возникают значительные поперечные силы между гребнем колеса и рабочей гранью наружного рельса. Это приводит к повышенному боковому износу рельсов и гребней колес, нарушению геометрии, соответственно сокращению сроков службы и увеличению расходов на их эксплуатацию. На сети железных дорог при неблагоприятном изменении условий эксплуатации отмечаются вспышки катастрофического износа гребней колес и боковых поверхностей рельсов. Глубинные причины этого явления однозначно не вскрыты, поскольку проблема бокового износа обостряется при неконтролируемом изменении целого ряда параметров пути и подвижного состава. Для восстановления стандартного профиля в процессе ремонта колёса перетачивают, но при этом уменьшается радиус колеса, повышаются контактные напряжения и, тем самым, снижается его ресурс. Вместе с этим на поверхность катания после переточки выходят слои металла с меньшей твердостью.

Очевидно, что понятие «железная дорога» в данном случае является достаточно общим - тяжело нагруженная и быстроизнашивающаяся пара колесо/рельс используется широко. Оставляя в стороне многочисленные способы борьбы с повышенным износом колес и рельсов, остановимся на материаловедческом аспекте проблемы с использованием новых возможностей плазменных технологий. По нашему опыту и убеждению технология плазменного поверхностного упрочнения является радикальным средством наиболее быстрого и дешевого решения проблемы как вспышек повышенного износа, так и снижения прямых эксплуатационных расходов железных дорог. Очевидно, что полные потери, которые являются следствием повышенного износа пары колесо/рельс, будут значительно выше. Возрастающий люфт между колесом и рельсом в движении приводит к росту нагрузок на детали тележки и кузова. Темп износа всех связанных узлов повышается, а межремонтный период снижается. Таким образом устанавливается порочное равновесие. Сместить его в сторону снижения эксплуатационных расходов железной дороги с таким бесплатным приложением, как повышение комфорта для пассажиров, можно повысив время жизни дорогих и

ответственных деталей и исключив лишние ремонтные работы. Относительно бесплатного приложения, то повышение комфорта является прямым следствием пониженного износа. Если вы посмотрите на рабочие контактные поверхности не упрочненных колеса и рельса, нетрудно увидеть, что они напоминают напильник. Упрочненные поверхности имеют зеркальный вид. Шум и вибрации напрямую связаны с состоянием поверхности, её шероховатостью. Чем они больше, тем выше будут шум и вибрации. В США, Европе, передовых странах Азии давно в законодательном порядке введены ограничения по шуму и вибрациям на железнодорожном транспорте. Там осуществляется непрерывный мониторинг за шероховатостью рабочих поверхностей колеса и рельса и при отклонении от норм дефекты устраняются. Здесь уместно привести мнение ключевых фигур в отрасли. Министр транспорта Украины, генеральный директор «Укрзалізниця» Георгий Кирпа в газете «Правда Украины» №30 от 20 марта 2001 года отметил, что «долговечность упрочненной колесной пары возрастает в 2,5-3 раза. Это особенно актуально для железных дорог со сложным горным рельефом и экстремальными условиями эксплуатации, где наблюдается наибольший износ гребней колесных пар. Ежегодный экономический эффект от внедрения полуавтоматических линий для высокоскоростного плазменного упрочнения гребней локомотивных колесных пар составляет более 20 миллионов гривен». Начальник локомотивного депо Львов-Запад Петр Ручка в газете «Форум взгляд 2000» №1(203) от 9-15 января 2004 рассказывает: «Сначала попробовали использовать предложение одного НИИ – принцип наплавки. Но вскоре пришли к выводу, что при такой технологии больше трат, чем выгоды. Решили пойти по пути закаливания. Все испытания по технологии отечественных специалистов прошли успешно. Поэтому метод, придуманный киевскими учеными и опробованный во Львове, безоговорочно внедрили у себя и многие депо соседних стран. Мы работаем в горных условиях, а здесь значительно выше нагрузки на электровозы. Пассажиру в принципе без разницы, каким способом укрепляются колеса, главное, чтобы была абсолютная безопасность во время поездки. Благодаря закаливанию колесных пар этот параметр возрос безусловно. Трудно сказать точно – во сколько раз, но то, что почти втрое дольше закаленное колесо работает, чем незакаленное, это вывод специалистов-технологов. Для депо это большая выгода. Вдвое, втрое снижены траты, которые раньше лежали дополнительным грузом». В основе сопротивления сталей трибологическому нагружению в условиях сухого трения с проскальзыванием лежит прочность поверхностного слоя металла. Определяющим фактором при этом является локальная характеристика прочности - твердость стали. Одной из важных эксплуатационных характеристик является соотношение твердости колесной и рельсовой стали

В ряду других методов поверхностного упрочнения высоко концентрированными источниками энергии (лазерный или электронный лучи, высокочастотный индукционный нагрев) – плазменный является наиболее простым, дешевым, доступным и производительным. Он легко может быть реализован на ремонтных предприятиях. Но с оговоркой, что назначение правильных режимов закалки для каждой детали может сделать только высоко квалифицированный специалист. Процесс легко автоматизируется, что гарантирует повторяемость и исключает человеческий фактор.

При плазменном поверхностном упрочнении может быть получен широкий диапазон свойств закаленного слоя. Они выбираются в зависимости от условий работы конкретной детали. Скоростная электротермическая обработка имеет свои особенности. Благодаря высоким скоростям нагрева и охлаждения в упрочненном слое формируется высокодисперсная смесь, которая состоит из конгломерата различных неравновесных структур и позволяет получить более выгодное сочетание важнейших механических свойств. Кроме повышения износостойкости, которая коррелирует с твердостью, обеспечивается наиболее высокая ударная вязкость при заданной твердости. При одинаковой пластичности прочность плазменно упрочненной стали выше, чем отпущенной в печи. Несмотря на очевидные преимущества, плазменная поверхностная

закалка долгое время оставалась предметом научных исследований. Причины такого положения крылись не в принципиальных особенностях процесса, а в технике его практической реализации. Сегодня все технические трудности преодолены, данная технология является зрелой, она доказана восьмилетним опытом эксплуатации на железных дорогах Украины, Латвии, Молдовы и России.

Основными преимуществами плазменного поверхностного упрочнения является возможность: 1) проведения селективного упрочнения; 2) формирования специфических структур композиционного типа с повышенными твердостью, износостойкостью; 3) управления геометрическими размерами упрочненной зоны. На практике очень часто реальные изделия имеют сложную форму и различный химический состав материала. В такой ситуации получение наиболее благоприятной структуры и заданных размеров упрочненной зоны всегда требует корреляции технологии.



Рис. 2. Упрочнение зоны наибольшего износа колеса

Плазменное поверхностное упрочнение гребней колесных пар (Рис.2) может выполняться примерно с одинаковым конечным результатом двумя близкими способами: с плазмотронами косвенного (Рис.3) и прямого (Рис.4) действия.

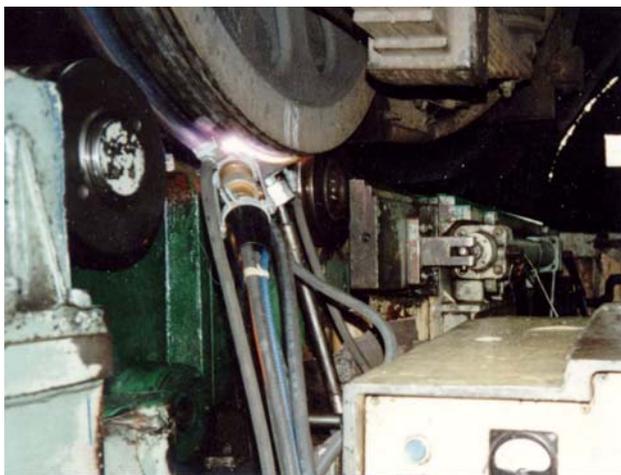


Рис.3. Плазменное поверхностное упрочнение колеса под локомотивом

Рис. 4 Плазменное поверхностное упрочнение сканирующей дугой

В первом случае нагрев под закалку осуществляется высокоэнтальпийной плазменной струей продуктов сгорания углеводородного газа с воздухом, стелящейся вдоль нагреваемой поверхности. Нагретая зона охлаждается сразу при выходе из плазмы, в основном за счет отвода тепла в тело массивной стальной детали, кондуктивного и радиационного теплоотвода с поверхности в атмосферу. Оптимизация технологии сводится к тому, чтобы принять специальные меры для получения заданной

конфигурации плазменного потока и выбрать необходимый режим процесса упрочнения. Повышение уровня эксплуатационных свойств упрочняемой поверхности 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 каждого участка поверхности происходит с нарастающей плотностью теплового потока в соответствии с изменением теплофизических параметров плазмы по мере приближения к устью струи. 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.

Рассматриваемая схема процесса поверхностного плазменного нагрева под закалку характеризуется высоким к.п.д. (60-80%) и согласованностью темпа нарастания плотности теплового потока греющей среды с теплофизическими свойствами стали, она экономична, поскольку в качестве плазмообразующей среды используется воздух с небольшой добавкой горючего газа.

Исходя из требований гарантированного обеспечения точности и повторяемости процесса упрочнения, плазменная аппаратура оснащается компьютерным блоком автономной оптимизации. Он обеспечивает оперативное программирование режимов и параметров, отображение текущего состояния контролируемых параметров технологического процесса, протоколирование и сохранение в энергонезависимой памяти параметров технологического процесса плазменной поверхностной закалки колесных пар, вывод на персональный компьютер накопленной информации.

Во втором случае используется дуга прямого действия, когда металл является одним из электродов дуги. Управление формой дуги, её технологическими свойствами достигается за счет сканирования в магнитном поле. Перемещение дуги с определенной скоростью по обрабатываемой поверхности полностью исключает опасность расплавления металла. Закон сканирования и степень отклонения от оси выбираются в зависимости от формы и геометрических размеров детали и требуемых размеров упрочненной зоны. Этот метод, в частности, является наиболее подходящим для упрочнения боковой поверхности головки рельса (Рис.5). Здесь толщина закаленного слоя металла составляет 2,5 мм. Оптимальными считаются твердость 350 НВ и преобладающая структура мелкодисперсный сорбит. Закалка рельс в кривых и стрелочных переводах может быть также легко автоматизирована и выполнена в полевых условиях.

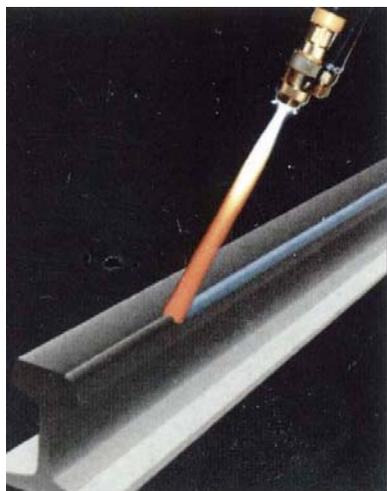


Рис. 5. Упрочнение боковой поверхности головки рельса

В заключение следует отметить, что опыт эксплуатации закаленных гребней колес на твердость 430 НВ становится эффективным способом борьбы с боковым износом не только гребней колес, но и рельсов. Повышенный боковой износ связан с развитием пластического изнашивания и задира. Ведущим механизмом бокового износа является заедание. Подавление пластической деформации - закалка даже одного элемента трибопары (гребней колес) на высокую твердость не только не оказывает отрицательного воздействия на другой элемент (на путь), но напротив, приводит к улучшению его

состояния.