



Центр научно-технической информации и библиотек
– филиал ОАО «РЖД»

Дифференцированное Обеспечение Руководства

55/2021

Продление срока службы железнодорожных колес путем лазерной наплавки

В процессе эксплуатации колеса железнодорожных транспортных средств снашиваются, подвергаются износам, теряют округлость формы. Желаемый профиль им можно вернуть способом обточки. Этот процесс может быть повторен несколько раз, но только до тех пор, пока колеса не достигнут минимального радиуса. Как правило, железнодорожное колесо может быть перепрофилировано три-четыре раза, при достижении минимально допустимого радиуса они должны быть заменены новыми. Этот процесс технического обслуживания является весьма трудоемким, поэтому связан с высокими затратами.

Одним из способов продлить срок службы железнодорожных колес и сэкономить затраты на техническое обслуживание может быть наплавка материала на поверхность колеса. При проведении ремонта с помощью теплового процесса материал наносится в тех местах, где профиль колеса отличается от допустимого, а затем колесо обрабатывается на токарном низкопольном станке для восстановления первоначальной формы.

Совершенно другой подход можно предложить, если сварка материала на протекторе запланирована уже на этапе проектирования локомотива. Новые колеса в этом случае могут быть спроектированы уже таким образом, чтобы колесный бандаж имел только минимальный размер плюс незначительный запас. Запас прочности сохраняется до первого повторного профилирования, включая резервы безопасности. Резервы для проточки колеса не должны быть предусмотрены, необходимая толщина материала для перепрофилирования будет восстановлена с помощью наплавки на пораженных поверхностях. При этом общий вес колеса уменьшается, что

влечет за собой возможность увеличения максимальной нагрузки в перевозках. Например, на восьмисекционном высокоскоростном поезде можно сэкономить около 2700 кг веса. Кроме того, вращающиеся массы в этом решении уменьшаются по сравнению с использованием обычных колес. Это приводит к дальнейшему снижению потребления энергии локомотивом и меньшему износу во время фаз торможения и ускорения.

Тем не менее, наплавка железнодорожных колес сегодня, за некоторыми исключениями, не применяется. Например, использование таких колес железнодорожных транспортных средств не допускается при поездках по маршрутам DB Netz. Однако, поскольку в последние десятилетия доступные методы сварочной техники значительно эволюционировали, необходимо стремиться к пересмотру этих требований.

Проектирование процесса лазерной наплавки на колесах железнодорожных транспортных средств с соответствующими металлографическими и механическими исследованиями, замена обработанных таким образом колесных пар и последующие испытания их на стенде, в настоящее время являются предметом исследовательского проекта Института железнодорожных транспортных средств и транспортных систем (IFS) RWTH в сотрудничестве с Институтом технологий производства Fraunhofer IPT, г. Аахен (Германия). Таким образом, в ближайшее время должна быть осуществлена сертификация для допуска наплавленных колес к эксплуатации.

Наплавка колес является одним из аддитивных производственных процессов. В основном речь идет о различных тепловых методах, которые различаются с точки зрения используемой формы энергии. Здесь можно назвать, например, дуговую сварку (МИГ/МАГ), газовую плавильную сварку и лазерную сварку. Общность методов заключается в том, что подаваемая тепловая энергия служит для расплавления наносимого наплавленного и основного материалов колеса и соединения их друг с другом. В качестве добавочного материала используются в основном металлический порошок и проволока. Лазерная сварка в этом контексте отличается особой точностью, а также очень низким тепловым воздействием на основной материал. Это особенно важно, если состав основного материала имеет тенденцию к образованию нежелательных компонентов, таких как мартенсит, влияющих на механические свойства после сварки из-за повышения углеродистого эквивалента в результате теплового воздействия. Стали с содержанием углерода более 0,22% считаются свариваемыми только условно.

Лазерная сварка с помощью проволоки (Laser Metal Deposition with Wire – LMD-w) сочетает в себе скорость наплавки до 2 кг/ч с высокой эффективностью материала. По сравнению с порошком обращение с

проволокой более простое. Легкие частицы порошка представляют опасность для здоровья человека и могут также легко загрязнять машины и производственную среду. Эта проблематика отсутствует при использовании проволоки. Принцип работы процесса, на основе проволоки следующий: лазерный луч создает плавильную ванну на поверхности колеса, на которую после этого непрерывно подается проволока через конвейерную систему. Относительное движение между колесом и лазерным лучом наносит сварочный шов на поверхность. Их геометрия в основном зависит от заданного геометрического движения и параметров процесса, т. е. мощности лазера PL , скорости подачи проволоки vW и скорости вращения колеса VM .

Из-за упомянутых преимуществ LMD-w хорошо подходит для использования в промышленных условиях, таких как производство колес для железнодорожных транспортных средств.

Поскольку сварочная пригодность используемых стальных изделий ограничена высоким содержанием углерода и карбидообразователей, к проектированию процесса предъявляются высокие требования. Во время и после обработки колес необходимо соблюдать различные условия. В ходе сварки следует учитывать, что во время процесса происходит нагрев диска колеса. Образование мартенсита и карбида может привести к напряжениям и, в конечном счете, к неприемлемым трещинам. Кроме того, из-за нагрева не должны изменяться прочность крепления колес на оси колесной пары. Необходимо соблюдать допустимые для данного транспортного средства значения дисбаланса, а также допуски для различных геометрических параметров.

Дефекты, которые могут появиться внутри колес, определяются ультразвуковым испытанием. Электрическое сопротивление между поверхностями качения колес в колесной паре не должно превышать максимально допустимого значения $0,01 Q$, чтобы гарантировать безупречное сообщение о занятии пути для цепей и не препятствовать обратному току при электрической тяге.

В текущих экспериментальных сериях были использованы две различные инструментальные стали, QuFel3 от Quada и DMV 83-IG от компании Voestalpine Böhler, на материале ER7, из которого изготавливаются железнодорожные колеса. На первом этапе швы были реализованы с изменением подачи проволоки и оси, а также мощности лазера на плоских подложках. На основе визуальной оценки швов можно было определить наиболее подходящие параметры процесса, которые впоследствии наносили поверхностные слои на подложки путем наложения нескольких швов рядом друг с другом. Далее они были подвергнуты более глубокому металлографическому анализу, а также испытаниям на твердость.

Соответствующие значения измерений твердости (HV 0,3) сопоставляются с нормативными диапазонами. Достигнутые результаты позволяют сделать несколько выводов. Во-первых, нагрев в процессе сварки в зоне теплового воздействия основного материала приводит к сильному затвердеванию из-за образования мартенсита и карбида. Это обосновано в высокоуглеродистым эквивалентом ER7 (0,52% C и 0,5% Cr + Mo + Ni) и, согласно текущему уровню знаний, не может быть предотвращено. При поступлении энергии, которая была более низкой, достигнуто достаточное соединение со сварочной добавкой.

После наплавки LMD-w и постобработки, в рамках проекта исследуемое колесо окончательно тестируется на испытательном стенде IFS с одним колесом. Независимый роликовый испытательный стенд состоит из ведущего колеса, представляющего рельс, на котором установлен профиль рельса UIC-60 с наклоном установки рельса 1/40. К этому колесу присоединены, как приводной двигатель с одной стороны, так и маховик с другой. Маховая масса позволяет имитировать инерции и инерционные моменты железнодорожного транспортного средства.

На рельсовом колесе расположено исследуемое колесо локомотива, сила нагрузки создается с помощью цилиндра на сжатом воздухе. Это необходимо, так как в Европе разрешены нагрузки на ось до 22,5 т, а железнодорожное колесо, таким образом, должно выдерживать подъемную силу колеса не более 11,25 т, соответственно 110 кН. Благодаря динамике локомотива колесные силы могут составлять до 127 кН при хорошем состоянии пути, а при плохом увеличиваться до 160 кН. Эти силы передаются на площадь контакта колеса/рельса около 100 мм², что приводит к высокому износу и большой нагрузке на материал.

Благодаря описанной здесь процедуре IFS RWTH Aachen и Fraunhofer IPT надеются получить сертификацию лазерной сварки проволокой в качестве способа ремонта колес железнодорожных транспортных средств. Исходя из уже полученных результатов, эта цель кажется достижимой. Для выбора сварочного материала, определения требуемых параметров процесса и проверки процесса необходимы обширные фундаментальные исследования, которые должны быть проведены в ближайшие годы в сопровождении практических испытаний. В течение срока действия этого исследовательского проекта, как операторы локомотивов, так и производители колес должны быть вовлечены в исследование начиная с ранней стадии, чтобы разработать процесс был максимально приближенным к применению.