

лее на основе этих критериев устанавливается значение параметра, называемого суммой приоритетов рисков RPN :

$$RPN = P_o \times S \times P_d.$$

Оценка RPN может варьироваться от максимальной – 1000 (наибольший риск) до минимальной – 1. Значение RPN зачастую используются для выбора нескольких ключевых проблем, над которыми следует работать. В первую очередь внимание должно уделяться отказам с наибольшим коэффициентом.

Существует множество вариантов детального применения данной методологии. В качестве упрощенного примера рассмотрим анализ возникновения повреждений в месте соединения внутренней перегородки с резервуаром цистерны. В результате эксплуатации установлено, что основными причинами его повреждения могут быть плохое качество материала, ненадежная конструкция, низкое качество сварного шва. Вероятность отказа этого соединения в течение нормативного срока эксплуатации лежит в пределах от 0,03 до 0,1, что отвечает значению $P_o = 8$. Серьезность повреждения соответствует $S = 5$ (небольшой риск возникновения несчастных случаев или нарушения функционирования объекта). Вероятность обнаружения повреждения дает значение $P_d = 4$ (относительно высокая вероятность обнаружения). Таким образом, получаем $RPN = 160$.

Такой расчет может быть выполнен для каждого элемента конструкции и установления ее наиболее слабых мест. В процессе эксплуатации и модернизации конструкции необходимо периодически осуществлять переоценку суммы приоритетов рисков.

УДК 621.373.826

ЛАЗЕРНОЕ УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОВЗОВ. ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОУСТОЙЧИВОСТИ

И. В. ШАСТИН, С. В. ЕЛИСЕЕВ, Н. П. СИГАЧЕВ

Иркутский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация

Обсуждаются результаты изучения свойств и технологических особенностей обработки зубчатого колеса тягового привода, изготовленного из ванадиевой стали 55Ф, как наименее изученной по отношению к предлагаемым видам модифицирования и наиболее дорогостоящей в изготовлении и восстановительном ремонте. Лазерное модифицирование осуществлялось по двум видам обработки – термоупрочнение и наплавка, с использованием импульсного твердотельного оптического квантового генератора "Квант-15" с энергией импульса 8 Дж, длиной волны 1,06 мкм, длительностью импульса 4 мс. Плотность энергии излучения вибрировалась степенью дефокусировки (смещением поверхности детали относительно фокуса линзы). Обработка образцов осуществлялась в воздушной среде. Присадочный материал включает кремний и бор. Линейный анализ, проведенный в МГТУ им. Баумана с помощью рентгеноспектрального микроанализатора, показал сравнительно однородное распределение бора по высоте наплавленного слоя (рисунок 1).

Высокие скорости нагрева и охлаждения (порядка нескольких тысяч градусов в секунду), свойственные лазерной обработке более чем на порядок превосходят скорости при индукционной наплавке, поэтому процесс затвердевания металла наплавки можно охарактеризовать как закалку из жидкого состояния, при которой образование пересыщенных твердых растворов [2] способствуют сдвигу кристаллических точек равновесных диаграмм состояния сплавов [3], сильное изменение структурных составляющих и изменение химического состава некоторых из них. По данным [4] после лазерной наплавки аналогичного сплава в результате изменения механизма затвердевания в условиях высоких скоростей охлаждения происходит образование квазиэвтектической структуры: сильно пересыщенного γ – твердого раствора и фазы Ni_3V размером $5 \cdot 10^{-6}$ м. Образование карбидных фаз, например Cr_7V_3 , полностью подавляются, при этом происходит пресыщение γ -твердого раствора, приводящее к увеличению параметров его кристаллической решетки по сравнению с параметрами решетки чистого никеля.

Исследования показали, что металл наплавки восстановленных деталей имеет аналогичный структурный и фазовый состав. Толщина наплавленного слоя при использовании технологического CO_2 -лазера непрерывного режима излучения мощностью 800–1000 Вт может достигать от 0,5–0,7 мм, протяженность зоны термического влияния составляет 0,5–0,7. Внешний вид слоя наплавленного на лазерной установке «Квант-15», стали 55Ф приведен на рисунке 2.

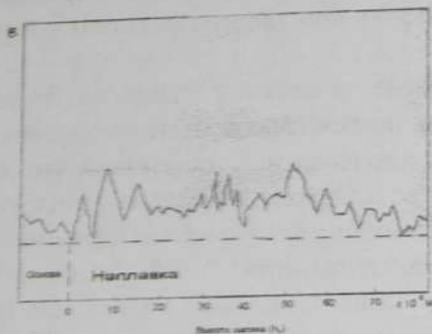


Рисунок 1 – Изменение содержания бора (В) по высоте велика при лазерной наплавке порошком состава ПГ-ХН80СР 30М

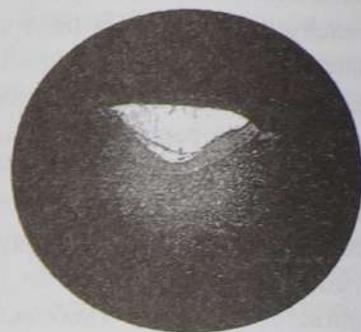


Рисунок 2 – Внешний вид наплавки от воздействия одиночного импульса

Светлый слой характеризует структуру присадочного материала, более темный – ЗТВ. Переходные зоны между этими слоями и структурой основы металла имеют четко видимые границы. Показатель их микротвердости изменяется в пределах: светлый (наплавка) – 500–650 единиц по HV, слой ЗТВ – 750–1000, основы (исходный металл сталь 55Ф) – 340–360. Структура наплавки имеет дендритное или ячеисто-дендритное строение, рисунок 3.

Дендриты ориентированны в направлении максимального теплоотвода. Слой ЗТВ имеет укрупненные кристаллы упрочняющей фазы мартенсита. Характер структур в значительной мере определяется распределением температур и скоростей охлаждения. Судя по размерам кристаллов, скорость охлаждения максимальна в поверхностном слое где находится расплав, и составляет $5 \cdot 10^{-4}$ – 10^{-5} C/c [1]. По мере удаления от поверхности температурный градиент снижается, что обуславливает структурные изменения в твердом состоянии, а именно распад метастабильных фаз. Аналогичные изменения наблюдаются в покрытиях, содержащих светлые слои при высокотемпературном отжиге в вакууме или среде инертного газа. На рисунках 4 показан график зависимости микротвердости от глубины ЗТВ.

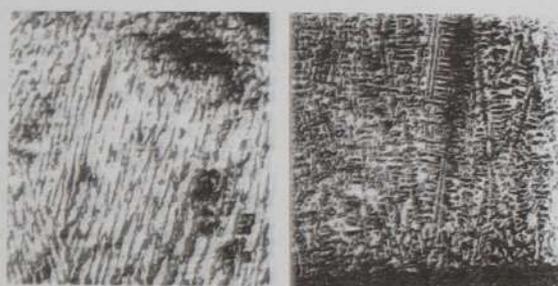


Рисунок 3 – Структура сплавов системы Ni-Cr-B-Si после лазерной наплавки

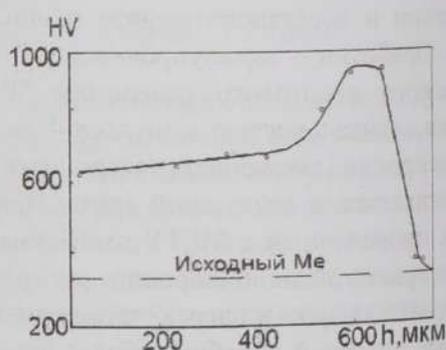


Рисунок 4 – График зависимости микротвердости HV по глубине ЗТВ

Данное явление требует более глубокого изучения, однако трибомеханические свойства модифицированного слоя могут иметь положительный прогноз. Во-первых, поверхностный износостойчивый слой может быть наиболее легко адаптирован на этапе приработки. Во-вторых, в процессе изнашивания последующие слои ЗТВ благодаря повышенной твердости и низкому коэффициенту трения способны обладать высокими износостойчивыми антифрикционными свойствами, достигая максимального значения триботехнических показателей на границе раздела структурных преобразований с исходными материалами.

Принимая во внимание вышеизложенное, а также целесообразность взаимной обработки пары «шестерня – зубчатое колесо» на различных этапах эксплуатации тягового привода, можно, по мнению авторов, увеличить их износостойкость в 5 и более раз, что значительно повысит ресурс и надежность тягового привода, а также снизит эксплуатационные затраты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Лазерное и электроэрозионное упрочнение материалов / В. С. Коваленко [и др.]. – М. : Наука, 1986. – 276 с.
- 2 Бураков, В. А. Локальная цементация железа в условиях импульсного лазерного нагрева и скоростной закалки / В. А. Бураков, Е. А. Барышевская, Н. Н. Буранова // Известия вузов. Машиностроение. – 1981. – № 11. – С. 28–31.
- 3 Рыкалин, Н. Н. Лазерная обработка материалов / Н. Н. Рыкалин, А. А. Углов, А. Н. Кокора. – М. : Машиностроение, 1975. – 296 с.
- 4 Григорьянц, А. Г. Влияние некоторых технологических факторов на особенности формирования валиков при лазерной газопорошковой наплавке / А. Г. Григорьянц, А. Н. Сафонов, В. В. Шibaев // Порошковая металлургия. – 1984. – № 9. – С. 39–42.

УДК 629.3.027.523.1

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ АРМИРОВАННОЙ ШИНЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ НАГРУЖЕНИЯ

А. О. ШИМАНОВСКИЙ, В. А. ЛОДНЯ, Г. М. КУЗЁМКИНА
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Несмотря на широкое применение на транспорте пневматических шин, их напряженно-деформированное состояние изучено недостаточно, что обусловлено сложностью математических моделей армированных конструкций, работающих в условиях контактного взаимодействия. Дополнительные трудности обусловлены нелинейно-упругими свойствами материалов матрицы и армирующей фазы.

Цель представленной работы заключается в создании методов конечноэлементного анализа напряженно-деформированного состояния автомобильных шин с учетом нелинейно-упругих свойств материалов.

Автомобильная шина имеет форму, подобную тороидальной, и, поэтому, как известно, для улучшения ее сцепления с дорогой протектор делают рифленным. Было выполнено трехмерное геометрическое моделирование радиальной автомобильной шины в соответствии с ее геометрическими размерами.

При решении контактной задачи о взаимодействии шины с дорогой необходимо использование весьма мелких конечных элементов в области контакта. Выполненное разбиение шины показало, что при этом для получения достоверных результатов модель должна иметь не менее 1.000.000 конечных элементов, даже с учетом возможности расчета половины колеса ввиду его симметрии. Однократный расчет напряженно-деформированного состояния конструкции с помощью названной модели на имеющейся вычислительной технике мог бы занять несколько месяцев.

В связи с этим была построена вторая геометрическая модель, упрощенно учитывающая наличие рифления. Однако такая модель также оказалась неработоспособной из-за большого числа элементов, моделирующих корд. Это привело нас к необходимости расчетов по следующей схеме. В начале шина рассматривается как твердое тело с распределенным армированием, что позволяет найти значение напряжений и деформаций вблизи области контакта шины с дорогой, а затем рассматривается подмодель, в которой подробно изучается контактное взаимодействие корда с шиной и протектора с дорогой.

Для точного определения параметров сопряжения борта с ободом необходимо решение контактной задачи, что сопряжено с дополнительными затратами времени. Выполненный анализ влияния граничных условий на результаты расчета напряженно-деформированного состояния шины, показал, что они мало зависят от типа граничных условий в точке обода. В связи с этим в дальнейшем при расчетах легковых радиальных шин сечение, содержащее точку обода, полагалось жестко заделанным. Данный вариант граничных условий с высокой степенью точности характеризует силовые и кинематические характеристики шины в зоне борта.