

диффузия никеля и железа затруднена, то превращение протекает по мартенситному (бездиффузионному) механизму, что и приводит к наибольшей степени упрочнения. Кроме того, при обработке на этих режимах достигается оптимальное соотношение неоднородности и насыщенности твердых растворов, что в совокупности с вышеперечисленными эффектами приводит к повышению твердости поверхностных слоев в 1,5-2 раза.

При малых энергиях излучения основную роль играет неоднородность твердого раствора, вследствие чего основные рефлексы никеля размываются, твердость понижается.

В случае преобладания насыщенности твердых растворов (при значительном оплавлении поверхности) рефлексы $Ni(Fe)$ слабо регистрируются (см. рис. 1, кривая 7; Рис. 2, кривая 6), увеличение содержания никеля в твердом растворе приводит к фиксации γ -твердого раствора - твердость поверхностных слоев не достигает оптимальных значений.

При введении в оплавленное лазерным излучением никелевое покрытие различных соединений (порошков $WC, TiC, TiSi_2, \alpha-BN, Al_2O_3$, графита и т.д.) за счет турбулентных процессов, возникающих под действием гидродинамических сил, наличия температурных градиентов они механически перемешиваются с покрытием. При этом на рентгенограммах фиксируются рефлексы вплавленных соединений [3]. Наряду с этим отмечается и взаимная диффузия в жидкой фазе с образованием твердых растворов. Эти рефлексы должны привести к повышению износостойкости облученных поверхностей, поскольку известно, что гетерогенные материалы в парах трения менее склонны к схватыванию, чем гомогенные.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что изменения, вносимые лазерной обработкой на оптимальных режимах в структуру термообработанных покрытий, оказывает положительное влияние на их качество, адгезию к подложке, твердость, следовательно и триботехнические свойства.

Библиографический список

1. Бровер Г.И., Кацнельсон Е.А., Трофимов Г.Е., Критин В.Д. Перспективы использования лазерного излучения для повышения качества гальванических и химических покрытий // Эффективные технологические процессы и оборудование для восстановления и упрочнения деталей машин. Пенза, 1991. С. 38.

2. Вишеников С.А. Химические и электротермомеханические способы осаждения металлопокрытий. М.: Машиностроение, 1975. 311с.

3. Бровер Г.И., Варавка В.Н., Кацнельсон Е.А., Трофимов Г.Е., Критин В.Д. Получение композиционных покрытий на сталях с использованием лазерного излучения // Прогрессивные методы получения конструкционных материалов и покрытий, повышающих долговечность деталей машин. Волгоград, 1990. С. 4.

УДК 629.012.3:620.192.3:001.5

Ю.Н.Таран, В.П.Босаулов,
С.И.Губенко,
А.В.Сладковский,
О.А.Демидова
(ДМетИ, г. Днепропетровск)

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ ОБОДА ЦЕЛЬНОКАТАНОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО КОЛЕСА НА СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ПРИКОНТАКТНОЙ ЗОНЕ

В настоящее время одной из актуальных проблем железнодорожного транспорта, а значит и колесопрокатного производства, стала задача повышения износостойкости ободьев цельнокатаных железнодорожных колес. Острота данной проблемы обусловлена интенсивным износом гребней колесных пар, а следовательно повышенной частотой ремонтных перебоек колес, в результате чего срок службы колесных пар уменьшается в 2-3 раза. Причиной такого явления стало повышение нагрузки на ось, применение композиционных колодок, повышение на ряде участков жесткости пути и твердости рельсовой стали и ряд других аспектов. Износ железнодорожных колес сопровождается структурными изменениями, происходящими в тонком поверхностном слое ободьев. Эти изменения связаны с развитием пластических сдвигов от действия внешних нагрузок, тепловых напряжений при торможении, а также образованием "белых слоев" при нагреве тонкого поверхностного слоя в аэродинамическую область от тепла торможения и резкого охлаждения при отключении тормозов. Задача повышения надежности и долговечности колес связана с переходом на изготовление их из вакуумированной стали, а также с совершенствованием их конструкций, в том числе с разработкой оптимального профиля поверхности катания.

В результате многолетних исследований был разработан криволинейный профиль поверхности катания для вагонных колес /1/. Его отличие от стандартного плоскоконического профиля прежде всего в более плавном и непрерывном росте уклона от 1:20 по кругу катания до 67°30' на гребне. В основу разработки были положены статические исследования изношенных колес при различной величине проката по кругу катания. Проведено также моделирование контактного взаимодействия колес с различным профилем обода и рельсов. Изучены контактные напряжения, возникающие в контактной области при различном положении колесной пары относительно рельсовой колеи. Исследованы условия, обеспечивавшие безопасность движения колес. Данная разработка, прежде чем войти в ГОСТ /1/, прошла всестороннюю отработку в условиях как промышленного, так и магистрального транспорта. Металлографические исследования стали одним из важных этапов работы, направленной на дальнейшее совершенствование цельнокатаных железнодорожных колес.

Исследованы колеса, проработавшие 5 лет под пассажирским составом. Колесо № 1 имело стандартный плоскоконический, колесо № 2 — криволинейный профиль поверхности катания. Химический состав сталей исследованных колес приведен в таблице 1. В результате ремонтных работ был полностью удален термически обработанный слой.

Т а б л и ц а 1
Химический состав сталей исследованных колес

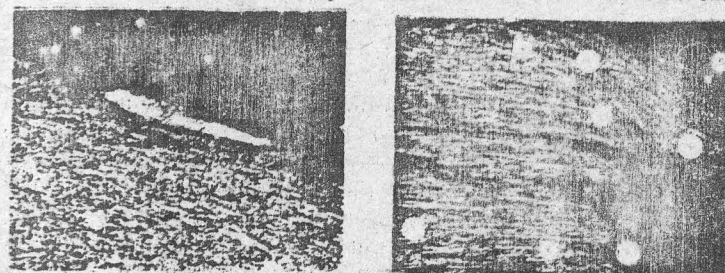
Номер колеса	Содержание элементов, об. %							
	C	Mn	Si	S	P	Cu	Ni	Ca
1	0,59	0,72	0,34	0,025	0,012	0,14	0,15	0,2
2	0,57	0,78	0,34	0,023	0,012	0,14	0,16	0,2

При визуальном осмотре колес на поверхности катания колеса № 1 обнаружены такие дефекты как ползун единичный, наволакивание металла, отслоения, наплыв металла с поверхности катания на наружную боковую грань обода ("наплыв на фаску"), усталостно-коррозионный износ. На поверхности катания колеса № 2 имеются участки коррозионного разрушения и небольшой прокат. В отличие от колеса № 1, у колеса № 2 не произошло явного искажения профиля колеса в процессе эксплуатации, так как нет грубо выраженного наплыва.

Из колес вырезали поперечные темплеты и в этом сечении изучали характер структуры колес по ширине обода. Микроструктурный анализ

проводили на оптическом микроскопе "Neophot - 21". Определяли параметры структурной неоднородности стали (глубину зон с различной структурой, степень вытянутости зерен) /2/. Микротвердость стали в тонком поверхностном слое измеряли на приборе ТМТ-3 при нагрузке на индентер 50 Г. В каждой структурной зоне проводили 8-15 замеров. Результаты измерения параметров структуры и микротвердости обрабатывали статистическим методом. Плотность дислокаций в поверхностном слое определяли рентгеноструктурным анализом при записи рентгенограмм на рентгеновском дифрактометре ДРОН-2,0.

Микроструктура обоих колес вблизи поверхности катания характеризуется наличием зоны деформированных зерен и участков "белого слоя" (рисунок, а). Появление зоны деформированных зерен связано со смятием металла в контакте с рельсом от давления. Пластические



а) Микроструктура колесной стали вблизи поверхности катания: а — "белого слоя"; б — деформированных зерен

сдвиги в тонком поверхностном слое прошли в условиях относительно высоких давлений и циклически изменяющейся температуры. Характер микроструктуры свидетельствует о неоднородном протекании пластической деформации по сечению обода. На периферии колеса зерна значительно вытянуты и измельчены, при выходе на поверхность катания зерна крупнее, степень вытянутости их несколько снижается и становится все меньше при подходе к середине поверхности катания. При удалении от середины поверхности катания к противогребневой боковой стороне степень вытянутости зерен вновь возрастает и становится значительной у края обода. Характер структуры в этой части поверхности катания свидетельствует о значительном течении стали в этой зоне, приведшем к изменению профиля колеса.

В зоне наплыва обнаружены расслоения, ориентированные параллельно поверхности катания. Как правило, они располагаются на гра-

нице между областями с резко различной микроструктурой и разделяют зоны вытянутых и равноосных зерен. Наплыв происходил постепенно, слои, которые при своем смещении деформировались. При этом в них возникали хрупкие трещины, способствующие разрушению металла в слоях. На самом крае наплыва на боковую грань обода наблюдаются лепестки с сильно деформированной структурой (рисунк. 6). Они также свидетельствуют о последнем механизме наплыва. Между этими слоями, а также между наплавным металлом и боковой гранью видны трещины.

Глубина зоны деформированных зерен по ширине обода неодинакова (табл. 2). Наиболее глубоко пластическая деформация распространилась в месте выкружки гребня и в зоне наплыва у края обода. Степень вытянутости зерен позволяет судить о степени деформации стали в поверхностном слое обода. В зоне выкружки величина δ достигает 65-75% затем снижается до 22-25% в середине поверхности катания и значительно возрастает (до 90%) в зоне наплыва. Характер изменения микротвердости аналогичен. Плотность дислокаций, определенная рентгеноструктурными методами, также неодинакова в различных местах поверхности катания (табл. 2).

Таблица 2

Значения величины степени вытянутости зерен δ , глубины зоны пластических сдвигов h и плотности дислокаций ρ в разных участках поверхности катания колес № 1 и № 2

Номер коле- са	$\delta, \%$			$h, \text{ мкм}$			$\rho, \text{ см}^{-2}$		
	выкруж- ка	серед- на	напл- на	выкруж- ка	серед- на	напл- на	серед- на	напл- на	напл- на
1	65-75	22-25	90	300	30	600	$9,22 \cdot 10^{11}$	$3,732 \cdot 10^9$	$9,604 \cdot 10^{11}$
2	60	10	70	180	20-40	420	$6,54 \cdot 10^{10}$	$6,41 \cdot 10^9$	$8,06 \cdot 10^{11}$

Участки "белого слоя" представляют собой бесструктурный материал (гарденин). Это хрупкая структурная составляющая, которая выкручивается в процессе работы колеса. Появляется "белый слой" вследствие нагрева тонкого поверхностного слоя от тепла торможения до температуры выше A_2 и последующего резкого охлаждения после отпуска тормозных колодок. Ширина "белого слоя" составляет 20-40 мкм.

Характер микроструктуры первого колеса вблизи поверхности катания в направлении катания аналогичен рассмотренной выше для поперечного сечения, однако, степень вытянутости зерен в продольном направлении значительно выше. При изучении микроструктуры в плоскости катания обнаруживается сложный характер течения стали в поверхностном слое. По направленности зерен видно, что течение стали в зоне выкружки в центральной части поверхности катания носило ламинарный характер, в то время как в зоне наплыва есть области с изогнутыми и закрученными зернами, где течение стали носило явно вихревой турбулентный характер. Между зонами с различной ориентировкой возникли микротрещины.

В поперечном сечении вблизи поверхности катания колеса № 2 также наблюдается зона вытянутых зерен, свидетельствующих о пластических сдвигах, протекавших неравномерно. В зоне выкружки зерна вытянуты и измельчены, при выходе на поверхность катания степень вытянутости зерен снижается. При удалении от середины поверхности катания степень вытянутости зерен вновь возрастает и становится значительной у края на очень небольшом расстоянии. У наружной боковой грани обода произошла небольшой микронаплыв, не приведший, однако к изменению профиля колеса.

Глубина зоны пластической деформации h у колеса № 2 значительно меньше, чем у колеса № 1 (см. табл. 2). Степень вытянутости зерен вблизи поверхности катания колеса № 2 меньше, чем у колеса № 1 (см. табл. 2). Эта разница составляет 10-20%, что связано с меньшими значениями контактных напряжений в случае криволинейного профиля поверхности катания. Обращает на себя внимание совсем незначительная степень деформации в средней части поверхности катания - 10%. Результаты рентгенографического определения плотности дислокаций показали, что их плотность по ширине обода изменяется, но остается на порядок меньше плотности дислокаций у колеса № 1 (см. табл. 2).

Глубина "белого слоя" в колесе № 2 составляет 20-60 мкм. Как и у колеса № 1, он имеет прерывистый характер. Параметры "белого слоя" в обоих колесах близки, что объясняется близким составом сталей. Однако, в структуре "белого слоя" колеса № 2 имеются дисперсные цементитные частицы, кроме того, видны следы скольжения и микротрещины. "Белый слой" в процессе эксплуатации претерпел слабую пластическую деформацию, приведшую к его растрескиванию.

Характер микроструктуры колеса № 2 вблизи поверхности катания в плоскостях на продольных образцах, расположенных перпендикулярно

к поверхности катания аналогичен рассмотренному выше для поперечного сечения обода. Микроструктура стали в плоскости катания характеризуется наличием равновесных зерен и пятен "белого слоя", лишь у бокового края обода зерна слегка вытянуты. В случае криволинейного профиля поверхности катания течение стали вблизи поверхности происходило таким образом, что зерна удлинились в направлении ширины обода и катания и приобрели в результате овалдеобразную форму, подобную форме зерен при прокатке стали.

Сравнительный анализ микроструктуры колес с криволинейным и плоскоконическим профилем поверхности катания показал, что структурные изменения — качественно — у них аналогичны и заключаются в образовании зоны пластической деформации и "белого слоя". Однако, параметры этих зон различны. Несмотря на кажущееся сходство характера зон пластических сдвигов, максимально выраженных в местах выкружки металла, ясно, что уровень пластической деформации и глубины зоны, в которой она развивается, у второго колеса ниже, чем у первого. Пластические сдвиги в колесе № 2 развивались в более мягком режиме, что связано с меньшими величинами контактных напряжений и соответствием профиля криволинейной поверхности катания характеру износа колеса при эксплуатации.

Напряжения у второго колеса практически отсутствуют, так как нет наложения металла на боковую грань обода, приведшего к изменению профиля колеса № 1. Кроме того, у колеса № 2 нет в этой зоне таких грубых микротрещин, как у колеса № 1.

Сравнительный анализ микроструктуры стали в плоскости катания показал, что в случае криволинейного профиля течения стали носило более спокойный характер, чем у колеса № 1 с плоскоконическим профилем поверхности катания, где были зоны явного выраженного "турбулентного" (вихревого) течения стали на микроуровне.

Результаты сравнительного металлографического анализа будут понятны, если их сопоставить с данными математического моделирования контактных напряжений при различном положении колесной пары относительно рельсовой колеи. В его основу было положено решение Г. Герца, т.е. колеса моделировались гладкими полубесконечными областями, в начальной точке контакта которых определялись локальные кривизны и затем определялись параметры контактной зоны и напряжений, действующих в ней. Сложнее обстояло в случае, когда существовали две зоны контакта. Здесь использовался итерационный алгоритм. Тогда для нахождения зон задавалась осадка колеса, анализировались

обе зоны и из условия равновесия производилась корректировка зон. В результате моделирования определено, что контактные напряжения для криволинейного профиля существенно (до 25%) снижаются в зоне, прилегающей к кругу катания, что особенно характерно при взаимодействии нового колеса с изношенным рельсом. Это естественно приводит к уменьшению пластических деформаций в данной зоне и, следовательно, предотвращает неоднократное наволакивание металла на боковую грань.

Анализ расположения контактных зон для стандартного плоскоконического профиля показал, что до момента касания в зоне гребня существует одна контактная зона, локализованная в районе круга катания. Боковое усилие, действующее при этом на колесо незначительно. В момент касания гребня появляется вторая зона контакта с значительным уровнем пластических контактных напряжений. Именно ее наличием, высоким уровнем напряжений и большой динамической боковой силой в процессе рыскания колесной пары объясняются большие пластические изменения структуры металла в зоне выкружки, что в конечном счете и приводит к интенсивному износу гребней колесных пар. Главный рост боковой силы для криволинейного профиля и постепенное сдвигание контактной зоны от круга катания и выкружки позволяют уменьшить уровень пластических деформаций для колес с данным профилем.

Таким образом, результаты металлографических исследований колесной стали подтвердили вывод о несовершенстве плоскоконического профиля поверхности катания, способствующего неоднородному развитию пластических сдвигов в поверхностном слое и, как следствие, повышенному износу колес. Применение колес с криволинейным профилем приводит к уменьшению износа их гребней, что увеличивает межремонтный срок и повышает их долговечность. Косвенным выводом может быть также утверждение о том, что применение данных колес должно способствовать уменьшению интенсивности износа рельсов.

Библиографический список

1. ГОСТ 9036-88. Колеса цельнокатаные.
2. Салтыков С.А. Стереометрическая металлография, М.: Металлургия, 1976, 376с.

СО Д Е Р Ж А Н И Е

Пустовойт В.Н. Об изменении условий фазовых равновесий под действием внешнего магнитного поля	4
Блиновский В.А. Термическая обработка как одна из проблем порошковой металлургии. Порошковые быстрорежущие стали	14
Жак К.М., Соколова Т.А. Влияние наследственной микронеоднородности на структурную неоднородность и трещинообразование в литой и деформированной стали	19
Русин П.И., Курдюков В.А., Берлин Г.А., Радченко А.Т., Осинковский М.Ю. Влияние исходной структуры на твердость закаленной графитизированной стали.	23
Бровер Г.И., Кацнельсон Е.А., Варавка В.Н., Логинов В.Т., Трофимов Г.Е., Критин В.Д. Оптимизация режимов лазерной обработки гальванических никелевых покрытий на сталях.	28
Таран Ю.Н., Есаулов В.П., Губенко С.И., Сладковский А.В., Демидова О.А. Влияние конструкции обода цельнокатаного железнодорожного колеса на структурные изменения в приконтактной зоне	35
Тарабанова В.П., Мищенко Л.Д., Миргородская Е.М., Дьяченко С.С. Влияние восстановительной термической обработки на свойства и структуру материала лопаток газовых турбин	42
Маматкулов Д.Д. Коробление инструментальных сталей при термической обработке	45
Симоненко А.Н., Порошин В.В., Фоменко Н.Л., Беспаягова О.М. Влияние процесса старения на обезлегирующую активность индукционной соляной ванны.	46
Беспаяго В.Н., Погребная Н.Э., Кирважидзе Н.С., Жак К.М. О возможности получения регламентированной зеренной структуры в горячекатаных трубах из стали.	51
Кудряков О.В. Адаптация расчетного метода глубинного нагрева для импульсной обработки ТВЧ с концентрацией магнитного потока	55
Мавриков В.Б. Влияние температуры на структуру свойства легированного половинчатого чугуна	62

Шевцов А.М., Бугаец М.П., Киричек О.М., Приходько А.И. Влияние низкотемпературного отжига на качество нержавеющей труб	66
Маматкулов Д.Д., Сергеев Ю.Г. Влияние предварительной закалки на деформацию инструментальных сталей.	70
Тарабанова В.П., Мищенко Л.Д., Миргородская Е.М., Дьяченко С.С. Характер структурных изменений, происходящих в материале лопаток газовых турбин в процессе эксплуатации	74
Таран Ю.Н., Есаулов В.П., Губенко С.И., Варавка В.Н., Полуянов В.А., Демидова О.А. О возможности лазерного упрочнения поверхности катания железнодорожных колес	75
Бровер Г.И., Бабичев И.А., Кацнельсон В.А. Влияние ППД на эффективность проведения лазерной закалки и легирования инструментальных сталей	81
Гриценко С.В., Сергеев С.Н. Исследование кинетики размола бронзовой стружки в атриторах	89
Вернигоров Ю.М., Биткина Н.С., Егорова С.И., Наследников Ю.М., Поздняков В.В. Текучесть тонкодисперсных магнитокипящих порошков сплава КС-37.	93
Егорова С.И., Лемешко Г.Ф., Соколов Н.П. Бесситовое разделение порошков магнитных материалов по размерам.	97
Дорофеев В.Ю., Миргородский И.В., Плещев А.В. Бездефектный способ формообразования изделий сложной формы из порошковых материалов при горячей деформации.	100
Вернигоров Ю.М., Биткина Н.С., Гасанов Б.Г., Наследников Ю.М. Технологическая схема получения анизотропных магнитов методом резонансного текстурирования	102
Бондаренко А.В., Семенченко С.А. Обработка порошка, полученного в двухслойной ванне	107
Дорофеев В.Г., Гусейнов Ш.С., Симилейский И. Условия бездефектного формирования порошковых заготовок высшей степени сложности	III
Науменко А.А., Радикайнен Л.М., Бондаренко А.В. Анодный материал из железных руд и концентратов, подвергнутых восстановительной обработке.	III4

Овчинников В.И., Федосиенко С.С. Упрочнение металлообрабатывающего инструмента с использо- ванием высококонцентрированного индукционного нагрева . . .	118
Дорофеев Ю.Г., Устименко В.И., Ива- нов С.А. Изменение химического состава порошка при полу- чении горячештапованного железа	121
Овчинников В.И. Технология упрочнения поршневых колец с использованием индукционного нагрева ТВЧ..	127
Гасанов Б.Г., Стопченко А.Ю., Ба- бец А.В., Куликов В.В. Циклическая и изотермичес- кая термомагнитная обработка дисперсионно-твердеющих сплавов на основе	129
Ананченко В.Н., Головкин В.В. К оцен- ке качества термической обработки	136
Деревянних А.П., Дтишев А.С. Разработка метода бездефектной осадки порошковых заготовок из малопла- стичных материалов	137
Халявко П.Л. Влияние термоциклической обработки на износостойкость восстановленных бронзированием деталей. .	141
Содержание	144

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛИ
(Теория, технология, техника эксперимента)

Межвузовский сборник научных трудов

Редактор О.А. Водолазова

Свод. тем. пл. 1992, поз. 662

Подписано к печати 3 11. 92. Бумага тип № 3.
Формат 60x84/16. Офсет. Объем 8,4 усл.п.л., 8,0 уч-изд.л.
Заказ 355 Тираж 150. Цена 48р.

Редакционно-издательский отдел РИСХМа.
Отпечатано в лаборатории офсетной печати РИСХМа.
Адрес института и полиграфического предприятия:
Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1.