

Григ ТАРАН, Василий ЕСАУЛОВ  
Светлана ГУБЕНКО, ОЛЬГА ДЕМИДОВА

Днепропетровский металлургический институт

### ИЗМЕНЕНИЯ В ОБОДЬЯХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЕС С РАЗНЫМ ПРОФИЛЕМ ПОВЕРХНОСТИ КАТАНИЯ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

**Резюме.** Рассмотрены структурные изменения в стали вблизи поверхности катания железнодорожных колес с предельным износом ободьев. Исследовались колеса с плоскоконическим и криволинейным профилем поверхности катания. Показано, что в процессе эксплуатации износ поверхности катания сопровождается появлением зоны пластической деформации и "белого слоя". Качественно структурные изменения для обеих профилей поверхности одинаковы, однако, уровень пластической деформации и глубина этой зоны по ширине обода для них различны. Это связано с различными по величине контактными напряжениями, а также соответствием профиля криволинейной поверхности катания характеру износа железнодорожных колес при эксплуатации.

Полученные результаты указывают на несовершенство плоскоконической поверхности катания с уклонами 1:20 и 1:7, способствующей неоднородному развитию пластических сдвигов вблизи поверхности катания и ускоренному износу колес.

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 аустенитную 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 разработкой оптимального профиля поверхности катания.

Исследованы цельнокатаные колеса, проработавшие 5 лет под пассажирским составом маршрута Днепропетровск - Москва. Колесо № 1 имело стандартный плоскоконический, колесо № 2 - криволинейный профиль поверхности катания [I]. Химический состав стали исследованных колес приведен в табл. I. В результате переточек был полностью удален термически обработанный слой.

Химический состав сталей исследованных колес

Номер колеса	Содержание элементов, Об.%							
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Сu
1	0,59	0,72	0,34	0,025	0,012	0,14	0,15	0,20
2	0,57	0,73	0,34	0,023	0,012	0,14	0,16	0,21

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, 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 ПМТ-3 при нагрузке на индентер 0,48 Н. 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 дифрактомере ДРОН - 2,0.

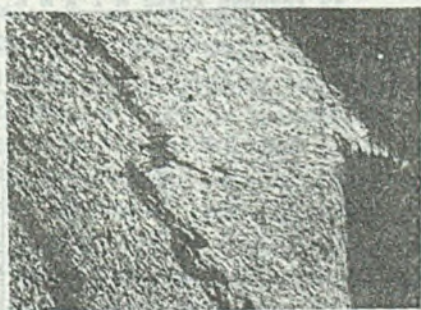
Микроструктура ( $\times 200$ ) обоих колес вблизи поверхности катания характеризуется наличием зоны деформированных зерен (рис. 1а) и участков "белого слоя" (рис. 1б). Появление зоны деформированных зерен связано со смятием металла в контакте с рельсом от давления. Пластические сдвиги в тонком поверхностном слое прошли в условиях относительно высоких давлений и циклически изменяющейся температуры. Характер микроструктуры свидетельствует о неоднородном протекании пластической деформации по сечению обода колеса №1. В зоне выкружки 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 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.



а



б



в

Рис. 1

В зоне наплыва обнаружены расслоения, ориентированные параллельно поверхности катания. Как правило, они располагаются на границе между областями с резко различной микроструктурой и разделяют зоны вытянутых и равноосных зерен. Наплыв происходил постепенно, слоями, которые при своем смещении деформировались. При этом в них возникали хрупкие трещины, способствующие разрушению металла в слоях. На самом краю наплыва на боковую грань обода нависают лепестки с сильно деформированной структурой (рис. 1в). Они также

свидетельствуют о послойном механизме напыла. Между этими слоями, а также между напыленным металлом и боковой гранью видны трещины.

Глубина зоны деформированных зерен по ширине обода не одинакова (табл. 2). Наиболее глубоко пластическая деформация распространилась в месте выкружки гребня и в зоне напыла у края обода. Степень вытянутости зерен  $\epsilon$  позволяет судить о степени деформации стали в поверхностном слое обода. В зоне выкружки величины  $\epsilon$  достигают 65–75%, затем снижаются приблизительно до 22–25% в середине поверхности катания и значительно возрастают (до 90%) в зоне напыла, характер изменения микротвердости аналогичен. Плотность дислокаций, определенная рентгеноструктурным методом, также не одинакова в различных местах поверхности катания (табл. 2).

Участки белого слоя представляют собой бесструктурный мартенсит (гарденит) (рис. 1б). Это хрупкая структурная составляющая, которая выкрашивается в процессе работы колеса. Появляется "белый слой" вследствие нагрева тонкого поверхностного слоя от тепла торможения до температур выше  $A_3$  и последующего резкого охлаждения после отключения тормозных колодок. Ширина "белого слоя" составляет 20–40 мкм.

Таблица 2

Значения величин степени вытянутости зерен  $\epsilon$ , глубины зоны пластических сдвигов  $h$  и плотности дислокаций  $\rho_{\perp}$  в разных участках поверхности катания колес № 1 и № 2

№ колеса	$\epsilon, \%$			$h, \text{мкм}$			$\rho_{\perp}, \text{см}^{-2}$		
	выкружка	середина	напыл	выкружка	середина	напыл	выкружка	середина	напыл
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	$6,54 \cdot 10^{10}$	$6,41 \cdot 10^8$	$8,06 \cdot 10^{11}$

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 и в центральной части поверхности катания носило ламинарный характер, в то время как в зоне напыла есть области с изогнутыми и закрученными зёрнами, 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, протекающих не равномерно. 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 обода на очень небольшом расстоянии. У наружной боковой грани обода произошел небольшой микронаплыв, не приведший, однако к изменению профиля колеса.

Глубина зоны пластической деформации  $h$  у колеса №2 значительно меньше, чем у колеса №1 (табл. 2). Степень вытянутости зерен вблизи поверхности катания колеса №2 меньше, чем у колеса №1 (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%. Результат рентгенографического определения плотности дислокаций показал, что их плотность по ширине обода изменяется, но остается на порядок меньше плотности дислокаций у колеса №1 (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 равноосных 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 направлениях ширины обода и катания и приобрели в результате оладеобразную 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 вы-

кружки и напыла, ясно, что уровень пластической деформации и глубина 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 колес при эксплуатации.

Напыль у второго колеса практически отсутствует, так как нет нависания 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 течение стали носило более спокойный характер, чем у колеса №1 с плоскоконическим профилем поверхности катания, где были зоны явно выраженного "турбулентного" (вихревого) течения стали на микроуровне.

Исследования структурных изменений указывает на несовершенство плоскоконической поверхности катания (с уклонами 1:20 и 1:7), способствующей неоднородному развитию пластических сдвигов в поверхностном слое, не одинаковой степени деформации зерен в различных зонах.

В выше рассмотренных явлениях важное место занимает задача повышения контактной прочности колес и рельсов, так как интенсивность образования дефектов контактного происхождения в колесах очень велика, а действенных способов их уменьшения до настоящего времени нет. Поэтому одним из эффективных путей снижения, а в ряде случаев для устранения вышеперечисленных явлений, как показали исследования, является выбор и применение оптимального профиля поверхности катания.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1] А.А.Алимов, Н.А.Пономаренко, В.В.Мямин, В.П.Всаулов. Опыт эксплуатации колес с криволинейной поверхностью катания. Железнодорожный транспорт, 1982, №10, с. 45-48.

[2] Салтыков С.А. Стереометрическая металлография. М., Металлургия, 1976, 376 с.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Eugeniusz Świtoński

ZMIANY W WARSTWIE WIERZCHNIEJ KÓŁ KOLEJOWYCH  
O RÓŻNYM PROFILU TOCZNYM WYSTĘPUJĄCE W CZASIE EKSPLOATACJI

S t r e z z e n i e

W pracy omówiono zmiany strukturalne w warstwie wierzchniej powierzchni tocznej kół kolejowych. Badano koła o różnych profilach tocznych. Stwierdzono, że zużycie warstwy wierzchniej kół kolejowych związane jest z odkształceniami plastycznymi i tzw. "biała warstwa".

Otrzymane wyniki pozwalają wyciągnąć wniosek o niecelowości stosowania profilu o pochyleniu 1:20 i 1:7.

THE CHANGES IN THE SURFACE LAYER OF RAILWAY WHEELS  
WITH VARIOUS ROLLING PROFILE OCCURING USING

S u m m a r y

In the paper the structural changes in the surface layer of wheel treated were discussed. Wheels with various rolling profiles were tested. There was ascertained that the wear of surface layer of railway wheel was relevant to plastic deformation and so-called "white layer".