

УДК 621.771.294:621.785

КОНТРОЛЬ ГАЗОНАСЫЩЕННОСТИ МЕТАЛЛА - СОВРЕМЕННЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ

О. Н. Перков¹, И. А. Вакуленко², В. М. Кузьмичёв¹

¹ *Институт черной металлургии им. З. И. Некрасова НАН Украины*

² *ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет»*

Виконано аналітичний огляд щодо проблеми вмісту водню у сталі і його впливу на пластичні і в'язкі характеристики металопрокату. Обґрунтована необхідність контролю вмісту водню в металі готової продукції на прикладі залізничних колес. Запропонована достатньо проста і надійна методика визначення залишкового водню в твердому металі, яка погоджена з Головним управлінням вагонного господарства «Укрзалізниця»

Выполнен аналитический обзор по проблеме содержания водорода в стали и его влияния на пластические и вязкие характеристики металлопроката. Обоснована необходимость контроля содержания водорода в металле готовой продукции на примере железнодорожных колёс. Предложена достаточно простая и надёжная методика определения остаточного водорода в твёрдом металле, согласованная с Главным управлением вагонного хозяйства «Укрзалізниця»

An analytical review on the problem of the hydrogen content in steel and effect of hydrogen on the plastic and viscous properties of rolled metal was carried out. The necessity of controlling the hydrogen contents in the metal of finished products is substantiated, based on the example of railway wheels. A fairly simple and reliable method for determining the residual hydrogen contents in solid metal was proposed, that agreed with the Carriage Main Office of the "Ukrzaliznytsa"

Современное состояние вопроса

Возрастание грузоподъемности перевозок, интенсивности и скорости движения на железнодорожном транспорте, а также строительство высокоскоростных магистралей требуют повышения надежности и долговечности железнодорожных колес. В этих условиях важны современные технологии производства качественной стали для них.

Проблема водорода в жидкой и твердой стали является одной из основных проблем современной металлургии и целого ряда отраслей машиностроительной промышленности. При современных способах производства стали и изделий из нее водород является неизбежной примесью, ухудшающей ее качество и вызывающей при определенных условиях в готовом прокате распространенного дефекта - флокенов. В настоящее время установлено, что высокая концентрация протонов водорода, проникших в электронные оболочки атомов, создает в кристаллической решетке металла т.н. "водородные" напряжения. При соответствующих условиях напряженное состояние решетки может возникнуть не только в отдельных локальных участках, но и в больших объемах металла. Внедрение протонов водорода в электронные оболочки атомов железа приводит к глубоким изменениям физической природы металлов, которые внешне проявляются в том, что сталь становится серебристо-белого цвета, в высокой степени восстановленной и не корродирующей на воздухе [1-4]. Под влиянием водорода резко снижаются пластические и вязкие характеристики стали, а, начиная с некоторого его содержания, разного для сталей разных марок, сортамента, их назначения и структурного состояния, пластические и вязкие свойства могут полностью отсутствовать при одновременном снижении прочности и повышении упругости стали [1, 4 – 12]. Согласно этой теории, влияние водорода проявляется в охрупчивании стали и нарушениях ее сплошности в наиболее охрупченных объемах под влиянием суммарного воздействия внутренних напряжений (напряжений деформации, структурных, термических и создаваемых молекулярным водородом).

Учитывая, что перераспределение водорода и выделение его из стали протекает в широком диапазоне температур, хотя и с разной интенсивностью, в мировой практике производства изделий для железнодорожного транспорта, в первую очередь рельсов и колес, исходя из конкретных условий, используют различные методы с целью снижения содержания водорода в стали и предупреждения образования флокенов в них. Это: уменьшение общего содержания водорода в стали (в процессе выплавки, разливки,ковки, охлаждения); уменьшение количества водорода, находящегося в стали в твердом растворе, путем перевода его в молекулярную или связанную форму (посредством специальной термообработки или введением гидридообразующих элементов V, Ti, Zr, Pd и др.), а также повышения качества стали путем уменьшения ликвации.

Основной операцией термической обработки, обуславливающей снижение флокеночувствительности стали, является изотермическая выдержка при 640-660°C, приводящая к уменьшению содержания водорода в ликвационных участках и снижению содержания растворенного водорода за

счет его диффузии в несплошности металла с превращением в них в молекулярную форму, неактивную в отношении образования флокенов [5, 13, 14]. По данным работ [14, 15] стандартные технологии ПФТО, используемые в отечественной и зарубежной практике являются весьма энерго- и трудоемкими, характеризуются большой продолжительностью (от 3-6 часов для готового колеса и до 8-15 суток для слитков).

Мировой опыт производства железнодорожных колес и рельсов из вакуумированной стали свидетельствует о том, что гарантией отсутствия флокенов в металле является содержание в стали не более 2,0 ppm водорода. К примеру, один из ведущих металлургических концернов мира *British Steel* при производстве металла железнодорожного назначения, газопроводных труб большого диаметра, толстых листов бурильных платформ, тяжелых профилей проводят дегазацию стали до содержания в ней водорода 1,0 - 2,0 ppm. Это, по мнению зарубежных экспертов, позволяет значительным образом повысить эксплуатационную надежность и многократно снизить риск отказа изделий при производстве железнодорожных колес, рельсов и ответственных конструкций [16].

Анализ последних достижений

В настоящее время, с переходом к современной сталеплавильной технологии, включающей внепечную обработку и вакуумирование, в странах СНГ и за рубежом получил признание простой способ оценки склонности железнодорожного металла к флокенообразованию - по содержанию водорода в стали [6, 17-27]. При его количестве менее 1,5 см³/100 г (1,5 ppm) становится излишней операция противоблокеновой обработки заготовок или готового проката [18,20,25].

Несмотря на безусловную правомерность такого подхода, названный критерий представляется чрезмерно упрощенным, поскольку известно, что помимо водорода на образование флокенов влияют содержание в стали серы, углерода и других элементов, а также характер распределения внутренних напряжений в сечении рельсов и колес [15, 26-31]. Кроме того, метод, по существу, основан на прогнозе качественных характеристик по одному из ряда технологических значимых параметров. Эффективность и надежность такого критерия обеспечиваются при высокой стабильности технологии.

На Нижнетагильском металлургическом комбинате (НТМК) после реконструкции в 1997 г. сталеплавильного производства (объем инвестиций 700 млн. долларов) осуществлен переход на выпуск рельсов и колёс из непрерывнолитых заготовок конвертерной стали, которую перед разливкой рафинируют на установке ковш-печь и вакуумируют на RH-установке [21]. Для охлаждения и передачи заготовок диаметром 430 мм в

рельсобалочный и колесопрокатный цеха предусмотрены специальные вагоны-термосы. В результате перехода на новую технологии выплавки стали улучшены комплекс механических свойств железнодорожных рельсов и колес и их макроструктура, уменьшено содержание водорода, азота, кислорода, загрязненность металла всеми видами неметаллических включений и т.д., например, снизилась флокеночувствительность рельсовой стали вследствие уменьшения содержания водорода перед разливкой от 6 до 1-2 ppm, что позволяет рассматривать вакуумирование как процесс противоблокенной обработки. Вместе с этим инвестирование в реконструкцию колесопрокатного производства в объеме 110 млн. долларов позволило осуществить к концу 2004 г. механизацию работ на участке отделки колес, эксплуатацию дробеструйной установки, внедрить автоматизированную установку для обнаружения поверхностных дефектов, монтаж и эксплуатацию современных средств неразрушающего контроля, обеспечивающие выполнение ультразвукового контроля необходимой части сечения колеса в полном соответствии, с требованиями любого стандарта.

Технология производства рельсов в наиболее развитых странах (Японии, Франции, Канаде, Австрии, Германии, США) в последние годы претерпела коренные изменения. Качество рельсов намного улучшилось, что позволило значительно увеличить скорость движения грузовых и пассажирских поездов. Наиболее существенные улучшения достигнуты по геометрическим параметрам изделий (главным образом, прямолинейности) и показателям, определяемым металлургическими факторами (чистота стали по сере, фосфору, газам и неметаллическим включениям, механические свойства и твердость поверхности катания). Это нашло отражение в стандартах международных организаций (Международного союза железных дорог и Евронормах) и ведущих в производстве рельсов стран (США, Канады, Японии), а также России [18]. Доля водорода в рельсах оговаривается в Евронормах (EN 3WG4Pt1 W62), Канады (CN 12-16), США (AREA P.2) и новом стандарте России (ГОСТ Р) и не нормируется в Международном союзе железных дорог (UIC 860), Японии (JIS E101) и старом ГОСТ 24182-80. Однако, судя по его фактическому содержанию в жидкой стали перед разливкой, принимают решение о проведении и режиме противоблокенной обработки. Установлено, что при содержании водорода менее $1,5 \text{ см}^3/100\text{г}$ ($1,5 \text{ ppm}$) флокены в рельсах не образуются и противоблокенную обработку не проводят. При содержании водорода в стали в пределах $1,5\text{-}2,5 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ обязательно подвергают противоблокенной обработке исходные заготовки или рельсы, а при содержании больше $2,5 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ – только рельсы.

По аналогии с принятыми в действие новыми нормативно-техничес-

кими документами на железнодорожные рельсы, идет обсуждение и принятое нового Межгосударственного стандарта на производство железнодорожных колес [25]. В новой редакции стандарта ужесточены многие требования к аттестационным свойствам, характеристикам колес и методам контроля и направлены на дальнейшее улучшение качества и повышения конкурентоспособности отечественных изделий. Например, в действующем стандарте на производство цельнокатаных колес предусмотрено использование двух марок сталей. В проекте нового стандарта дополнительно включена марка стали 3, предназначенная для изготовления колес для грузовых вагонов, маневровых и грузовых локомотивов. По химическому составу она приближается к рельсовой стали по ГОСТ 51685-2000 и отличается повышенным содержанием углерода и ванадия и пониженным содержанием серы и фосфора (в сравнении с колесной сталью марок 1 и 2). Впервые в отличие от действующего стандарта введена жестко регламентированная норма содержания водорода в вакуумированном металле ($2 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ или 2 ppm). Это означает, что если вакуумирование было недостаточным и остаточное содержание водорода перед разливкой превышает норму, то по стандарту такая сталь считается невакуумированной и изготовленные из нее колеса подлежат обязательной противоблоксной обработке в колодцах изотермической выдержки при 650°C в течение 3-4 часов.

На НТМК с учетом нового проекта ГОСТа на железнодорожные колеса, а также опыта производства колес по стандарту UIC 812-3 (выполнение заказов Швеции и Болгарии с дополнениями: применение вакуумированной стали, содержащей не более 2,5 ppm водорода) проводят противоблоксную обработку колес в колодцах изотермической выдержки при температуре 650°C в течение 3-4 часов в случае, если остаточное содержание водорода перед разливкой превышало 2-2,5 ppm [19, 20, 25].

Точность определения содержания водорода в значительной мере зависит от всей процедуры анализа, включая метод отбора проб и операций по их подготовке. Известные и надежные методы отбора проб жидкой стали на сегодняшний день достаточно хорошо осуществимы в процессе производства стали, что невозможно сказать об известных методиках отбора, обработки и хранения проб на водород из твердой стали [1, 26, 27].

Методика исследования

Для оптимизации технологического процесса производства колес необходимо создание системы сквозного контроля содержания водорода в стали, слитках и колесах на различных стадиях их изготовления. Была разработана достаточно надежная и простая методика определения

количества остаточного водорода, корректный способ отбора проб и операций по их подготовке, на образцах, изготовленных из донной части слитка (рис. 1), фрагмента обода (рис. 2) и ступицы (рис. 3) готового колеса с помощью специально разработанного полого сверла (рис. 4).

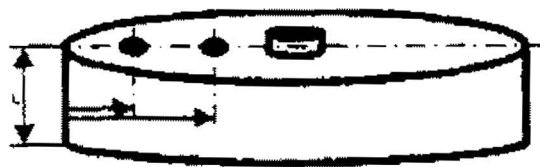


Рис. 1 Схема разметки отбора проб из донной части колесного слитка для определения содержания остаточного водорода

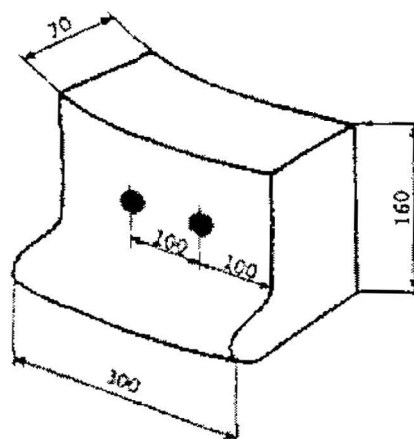


Рис. 2 Схема разметки отбора проб в фрагменте обода колеса для определения содержания остаточного водорода

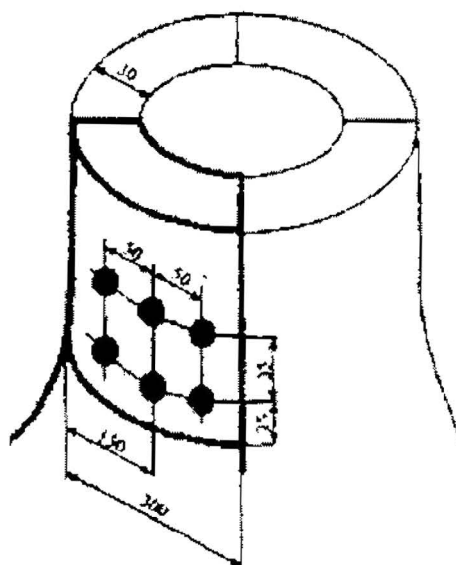


Рис. 3 Схема разметки отбора проб в фрагменте ступицы колеса для определения содержания остаточного водорода

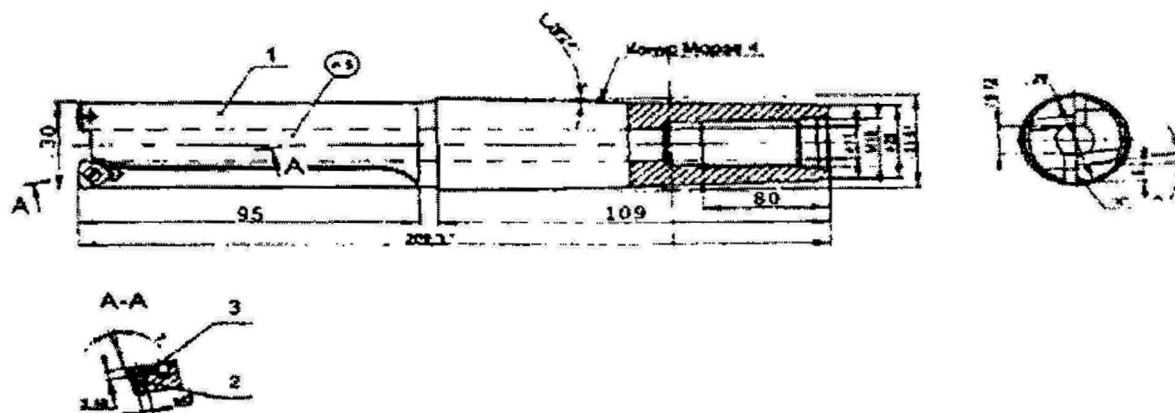


Рис. 4 Конструкция полого сверла для отбора проб при определении содержания остаточного водорода

От плавков по принятой технологии отбирались исследуемые слитки. Разрезку слитков осуществляли на слиткорезных станках модели 18А65 в колесопрокатном цехе. Отделение поперечных темплетов донной части слитков производили механическим способом на прессе для долома слитков.

Отбор металла, который предназначен для изготовления образцов для определения содержания остаточного водорода из готового колеса проводили на фрагментах обода и ступицы. Вырезку заготовок образцов осуществляли полым сверлом из темплетов донной части слитка и фрагментов колеса на радиально-сверлильном станке марки 2А334 в течение 3-х минут. Вследствие малой скорости резания образцов температура пробы превышала окружающую всего на 5-10°C. И заготовки, и сами образцы, представляющие собой цилиндры диаметром 3 мм и длиной 10 мм, хранились в жидком азоте в сосудах Дьюара. Непосредственное определение содержания водорода в пробах проводили в соответствии с методикой работы на газоанализаторе фирмы «ЛЕКО» RH-420. До начала анализа содержания остаточного водорода на газоанализаторе образцы обезжиривали промывкой в спирте (эфире, авиационном бензине или четыреххлористом углероде). Поверхность образцов должна быть чистой, без пор, раковин, задиров. Обработка результатов определения количества остаточного водорода производилась автоматически с помощью встроенного в анализатор микропроцессора.

Выводы

Таким образом, разработана типовая, надежная и простая методика отбора проб из твердого колесного металла для анализа на содержание остаточного водорода, согласованная и утвержденная Главным

управлінням вагонного господарства, інспекцією «Укрзалізниця» і підприємством - виробником колес. Контроль вмісту залишкового водороду на всіх переделах мартиновського і колесопрокатного виробництва дозволить реалізувати корекцію окремих операцій скрізного технологічного процесу.

Література

1. Види руйнувань термомеханічно зміцненої високопрочної арматури, підданої водородному охрупчуванню / О.Г.Сидоренко, І.П. Федорова, Е.М.Демченко і др. // Сб. науч.тр. ИЧМ. «Фундаментальні і прикладні проблеми чорної металургії». - К.: Наукова думка, 1995. - С. 222-229.
2. Башнин Ю.А., Цурков В.Н., Коровина В.М. Термічна обробка крупногабаритних, виробів і напівфабрикатів на металургічних заводах: - М.: Металлургия, 1985. - 220 с.
3. Термоміцнення товстолистового прокату з низьколегірованих марок сталі, підданого протифлоксній обробці / В.А. Харченко, І.Е. Силасва, С.В. Коваленко і др. // Изв. ВУЗов. Чорна металургія. - 1991. - №1. - С. 77-78.
4. Вплив водороду на механічні властивості і флоксоутворення сталі 30ХГСА / Р.Г. Мурадова, А.В. Гольцов, Г.Д. Умайська і др. // Изв. ВУЗов. Чорна металургія. - 1991. - № 1. - С. 71-73.
5. Полторацький Л.М., Громов В.Е., Чинкалов В.Я., Целлермаєр В.Я. Вплив водороду на пластичність дроту при холодній осадці // Изв. ВУЗов. Чорна металургія. -1991. -№ 4. - С. 56-58.
6. Целлермаєр В.Я., Кравченко І.Е., Громов В.Е. Зміна при технологічних випробуваннях структури сталі 20Г2Р, підданої наводороживанню // Изв. ВУЗов. Чорна металургія. -1996. - № 12. - С. 70-71.
7. Сидоренко О.Г. Водородне охрупчування високопрочної термомеханічно зміцненої арматури і способи його запобігання // Металургічна і гірничодобувна промисловість. -1999. - № 5. - С. 68-71.
8. Синяков К.А., Фуникова М.П., Лукин С.А. Вплив водороду на в'язкість руйнування сталей і сплавів // МІТОМ. - 1990. - № 3. - С. 11-12.
9. Вороненко В.І. Водород і флокени в сталі // МІТОМ. - 1997. - № 11. - С. 12-18.
10. Millman M.S. Secondary steelmaking developments in British Steel // Ironmaking and Steelmaking. 1999. V.26. № 3. PP. 169-175.
11. Флокоутворення залізничних рейок виробництва НТМК / Дерябин Л.А., Горшенин І.Г., Матвеев В.В. і др. // Сталь. - 2003. - № 11 - С. 88-91.
12. Оптимізація протифлоксній обробки слябів з метою покращення якості товстолистового прокату / І.Л. Бродський, А.І. Троцан, О.В. Носоченко і др. // Сталь. - 1996. - № 11 - С. 60-63.
13. Узлов І.Г., Приходько Э.В., Школа В.І. Вплив вуглецю і водороду на фізичні і службові характеристики конструкційних сталей. / Int. Hydrogen Energy, Vol. 22, № 2/3, pp. 291-298, 1997.
14. Вплив водороду на процеси структуроутворення в залізоуглеродистих сплавах / В.І. Большаков, І.Г. Узлов, Л.Н. Дейнеко, В.І. Школа // Сб.науч.тр. ИЧМ НАНУ "Фундаментальні і прикладні проблеми чорної металургії". - К.: Наукова думка. - 2004. - Вип. 7. - С. 220-230.