

---

УДК: 621.771.29: 621.78

**ВЛИЯНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ПФО БАНДАЖЕЙ НА ИХ  
МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, МАКРО- И МИКРОСТРУКТУРУ**

**к.т.н., с.н.с. Бабаченко А.И., м.н.с. Кононенко А.А.,**

**\*к.т.н. Шрамко А.В., \*Рослик А.В.**

*Институт черной металлургии НАНУ им. З.И. Некрасова*

*\*ОАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ»*

В условиях рыночной экономики одной из основных составляющих конкурентоспособности металлопродукции предприятий черной металлургии Украины на мировом рынке является ее себестоимость. Известно, что значительную ее долю составляет цена энергоносителей (природного газа). Все это в полной мере относится и к колесо-бандажному производству. Поэтому снижение затрат на производство железнодорожных бандажей за счет внедрения энергосберегающих технологий является актуальной задачей и имеет большое практическое значение.

Вопросам борьбы с образованием флокенов в процессе изготовления многих ответственных изделий, в частности железнодорожных рельсов, цельнокатаных колес, бандажей, осей и др., уделяется много внимания, т.к. флокены снижают конструктивную и эксплуатационную прочность, эксплуатационную надежность этих изделий [1-7].

Целью настоящей работы было совершенствование технологии термической обработки бандажей из вакуумированной и невакуумированной стали, направленной на уменьшение энергозатрат на их производство, при условии исключения возможности образования флокенов в стали и отрицательного влияния на уровень механических свойств.

Принято считать, что основными факторами, определяющими образование флокенов в сталях склонных к флокенообразованию, являются содержание водорода в стали и величина остаточных напряжений в металле, возникающих в результате структурных изменений в процессе его горячего деформирования и последующего охлаждения [1, 2, 3].

Наиболее действенным методом, позволяющим предотвратить образование флокенов в стали колесной и бандажной марок, является ее дегазация (вакуумирование). При этом содержание водорода в стали снижается до 2 ppm и менее [4]. Известно, что при содержании водорода менее 2 – 1,8 ppm углеродистая сталь теряет склонность к флокенообразованию независимо от условий ее горячей деформации и последующего охлаждения [5].

В тоже время, влияние водорода на флокенообразование в колесных сталях изучено недостаточно. В результате этого на ряде предприятий при изготовлении железнодорожных бандажей из вакуумированной стали продолжает действовать технология, предполагающая наличие водорода в ковшевой пробе на уровне 6 – 8 ppm и более. В связи с этим, одной из технологических операций при производстве бандажей является нагрев стоп

готовых бандажей от 350 до 650°C и их выдержка при этой температуре в течение 6 часов [6, 7].

Таким образом, вопрос оптимизации процесса противфлокеной обработки (ПФО) железнодорожных бандажей является актуальным и требует дальнейшего изучения.

Для проведения исследований влияния длительности ПФО на механические свойства, макро-, микроструктуру и чувствительность к образованию флокенов в бандажах из невакуумированной стали в условиях колесопрокатного цеха ОАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ» проведена термообработка опытных стоп по 4 бандажа Ø1060мм, изготовленных из стали бандажного назначения марки 2 по ГОСТ 398-96 плавов №№ 22394, 42386, 31447, 41386, 31395, 22393. Состав опытных плавов: C=0,57-0,62%, Mn=0,6-0,9%, Si=0,31-0,41%, Cr=0,06-0,08%, Ni=0,04-0,06%, Ti=0,011-0,014%, P=0,009-0,015%, S=0,011-0,016% (масс.), H<sub>2</sub>=6,5-7,2ppm. ПФО опытных бандажей проводилась по трем режимам: продолжительностью 4, 2 и 0 часов. По технологии, принятой на предприятии, длительность ПФО - 6 часов. Остальные операции термической обработки бандажей (закалка, отпуск) проводились по текущей технологии.

По результатам УЗК и контроля макроструктуры на поперечных темплетях флокены в опытных бандажах всех плавов не обнаружены.

Отбор проб и изготовление образцов для исследования структурного состояния и механических свойств производились в соответствии с требованиями ГОСТ 398-96. Микроструктура исследуемых бандажей (рис. 1) представляет собой перлит с небольшим количеством структурно-свободного феррита, независимо от режима ПФО для бандажной стали характерна разнотернистость.

На рисунке 2 представлены изменения механических свойств (временного сопротивления, относительного удлинения, относительного сужения, ударной вязкости и твердости) опытных бандажей после ПФО по различным режимам (горизонтальная жирная линия на всех графиках показывает нормативное значение исследуемой характеристики по ГОСТ 398-96). Анализ результатов механических испытаний показывает, что исследуемые плавки, прошедшие ПФО по стандартному режиму (6 часов) соответствуют всем требованиям стандарта. Опытные бандажи соответствуют стандарту по временному сопротивлению, относительному удлинению и сужению, твердости. Что касается ударной вязкости, то в трех из шести анализируемых плавов для бандажей без ПФО значения ударной вязкости ниже нормативного (2,5 кГ/см<sup>2</sup>). Для бандажей с ПФО 2 часа одна плавка из шести также не соответствует требованиям стандарта. Для всех плавов только опытные бандажи, прошедшие ПФО в течение 4 часов, соответствуют всем требованиям нормативного документа.

Анализ содержания водорода в готовом изделии на образцах, отобранных на глубине 30 – 40 мм от поверхности катания показал, что его содержание ниже критического для всех режимов ПФО. Количество водорода в готовых изделиях колеблется от 1,4 до 0,4 ppm (рис. 1, г).

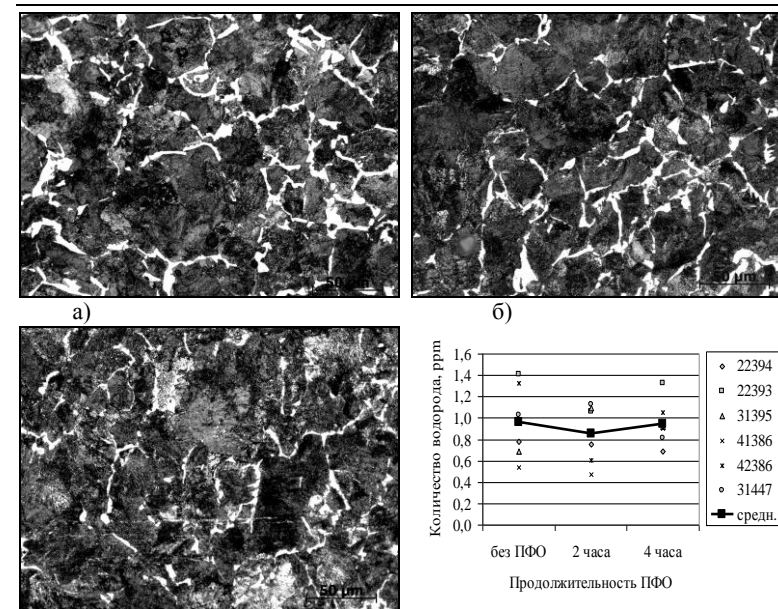


Рис.1. Микроструктура бандажной стали после ПФО продолжительностью: а) 0ч, б) 2ч, в) 4ч.  $\times 500$ ; г) количество водорода в готовых бандажах, подвергавшихся ПФО по опытным режимам

Для проведения исследований влияния отмены ПФО на механические свойства, макро-, микроструктуру и чувствительность к образованию флокенов в бандажах из вакуумированной стали в условиях колесопрокатного цеха ОАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ» проведена термообработка опытных стоп по 4 бандажа  $\varnothing 1060$ мм, изготовленных из стали бандажного назначения марки 2 по ГОСТ 398-96 плавки №№22675, 21756, 22670, 21680, 31187, 22632. Химический состав опытных плавки: C=0,59-0,65%, Mn=0,72-0,86%, Si=0,31-0,34%, Cr=0,07-0,10%, Ni=0,04-0,06%, Ti=0,005-0,006%, P=0,008-0,017%, S=0,006-0,013% (масс.),  $H_2=1,3-2,0$  ppm. Сравнение свойств и структуры стали выполняли с бандажами из вакуумированной стали, подвергавшейся ПФО в течение 6 часов.

По результатам УЗК и контроля макроструктуры на поперечных темплетях флокены в опытных бандажах всех плавки не обнаружены.

Отбор проб и изготовление образцов для исследования структурного состояния и механических свойств производились в соответствии с требованиями стандарта ГОСТ 398-96. Микроструктура исследуемых бандажей представляет собой перлит с небольшим количеством структурно-

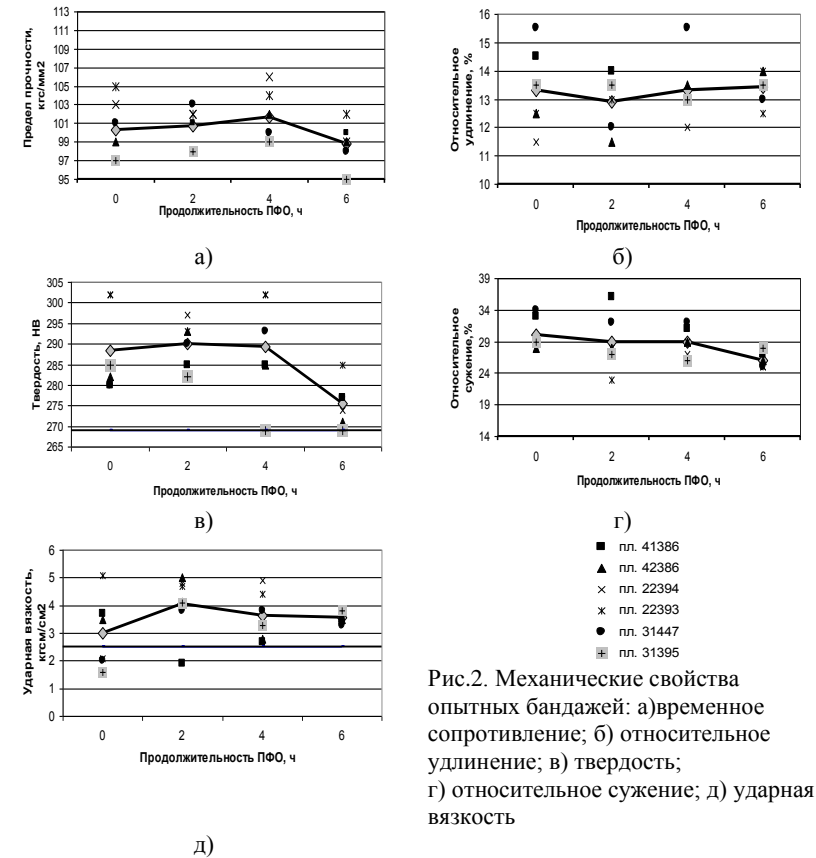


Рис.2. Механические свойства опытных бандажей: а) временное сопротивление; б) относительное удлинение; в) твердость; г) относительное сужение; д) ударная вязкость

свободного феррита, независимо от наличия ПФО характерна разнотернистость.

Значения механических свойств (временного сопротивления, относительного удлинения, относительного сужения, ударной вязкости и твердости) опытных бандажей после исключения операции ПФО бандажей опытной партии полностью соответствуют требованиям указанного стандарта.

Выводы.

1. Результаты исследований показали, что при сокращении продолжительности ПФО бандажей из невакумированной стали до 4, 2 и 0 часов содержание водорода в готовом изделии составляет от 1,4 до 0,4 ppm находится ниже критического уровня (2 ppm).

2. Результаты опробования технологии производства бандажей Ø1060мм из невакумированной стали бандажного назначения марки 2 с сокращенной ПФО свидетельствуют о возможности уменьшения продолжительности этой технологической операции, так как при выдержке на протяжении 4 часов изделия полностью соответствуют требованиям ГОСТ 398-96 по макро-, микроструктуре и механическим свойствам .

3. Опытная технология производства бандажей Ø1060мм из вакумированной стали бандажного назначения марки 2 без применения операции противоблоксной обработки может быть рекомендована для внедрения в условиях кольцебандажной линии КПЦ ОАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ» при содержании водорода в стали (по ковшевой пробе) не более 2 ppm и 100% УЗК готовых изделий.

#### **ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

1. Дубовой В.Я. Флокены в стали. – М.: Металлургия, 1950. – 327 с.
2. Мороз Л.С., Чечулин Б.Б. Водородная хрупкость металлов. - М.: Металлургия , 1967. – 341 с.
3. Заика В.И., Кащенко Ю.А. Водород в промышленных сталях. - Запорожский Госуниверситет: 1998. – 181 с.
4. И.Г. Узлов, С.И. Лавренко, Г.С. Морозова, С.Х. Липцен, З.М. Босис, З.И. Холявко Температурные условия охлаждения цельнокатаных колес, обеспечивающие снижение в них флокенообразования.: «Термическое упрочнение проката», №37, М.: Металлургия, 1970. – с.36-39.
5. Склюев П.В. Водород и флокены в крупных поковках. М., Машгиз, 1963.- 188 с.
6. Морозов А.Н. Водород и азот в стали. Металлургиздат, 1950
7. Л.М. Школьник Повышение прочности осей железнодорожного подвижного состава.: М., «Транспорт», 1964, 224 с.