

УДК: 669.14.018.292.294.001.5

**ОПТИМАЛЬНОЕ СТРУКТУРНОЕ СОСТОЯНИЕ  
МИКРОЛЕГИРОВАННЫХ ВАНАДИЕМ КОЛЕСНО-БАНДАЖНЫХ  
СТАЛЕЙ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЕ  
СОЧЕТАНИЕ ВЫСОКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТВЕРДОСТИ,  
ПРОЧНОСТИ И УДАРНОЙ ВЯЗКОСТИ**

**д.т.н., проф. И.Г. Узлов, к.т.н., доц. К.И. Узлов, к.т.н. А.В. Кныш,  
А.Н. Хулин, Ж.А. Дементьева**  
*Институт черной металлургии НАНУ*

«Комплексная программа обновления железнодорожного подвижного состава Украины на 2008-2020 годы» [1], утвержденная министром транспорта и связи (приказ №1259 от 14.10.2008г.) установила в качестве обязательных, в частности, следующие положения:

- пробег колесной пары подвижного состава нового поколения до переточки должен составить величину  $\geq 500$  тыс. км при современном показателе ремонта инвентарного парка железных дорог, в среднем, 100 тыс. км;
- при этом поверхность катания колеса должна иметь твердость не менее 320 НВ.

Вместе с тем, с целью обеспечения эксплуатационной надежности и безопасности колесно-бандажных изделий, указанная продукция должна, одновременно с высокой твердостью и временным сопротивлением разрушению, демонстрировать и высокие характеристики ударной вязкости. В связи с чем, например, проект нового ГОСТ 10791 «Колеса цельнокатаные. Технические условия», разработанный при непосредственном участии авторов настоящей работы (окончательная редакция стандарта согласована и принята в августе 2009 года), содержит, дополнительно к ранее принятым нормативным показателям, для колес марки КП-Т, в качестве **обязательных**, еще и высокие требования к ударной вязкости диска колеса при температуре плюс 20°C – 18 Дж/см<sup>2</sup>; обода колеса при плюс 20°C – 18 Дж/см<sup>2</sup> и диска колеса при минус 60°C – 15 Дж/см<sup>2</sup>.

В предыдущих публикациях авторов настоящей работы (см., например [2, 3]) было показано, что установленное сочетание высоких твердости ( $\geq 320$ НВ) и ударной вязкости ( $\geq 20$  Дж/см<sup>2</sup>) достигается в микролегированных оптимальным количеством ванадия (0.08-0.15 масс.%) колесно-бандажных сталях при их структурном состоянии, характеризующимся, в сравнении с углеродистыми сталями, следующими особенностями (рис. 1):

- размер зерна колесно-бандажной стали Т (по ТУ У 35.2-23365425-628:2008 и ТУ У 35.2-23365425-600:2006) существенно меньший (Балл 10–12 [2, 3]) чем у углеродистой стали 2 (Балл 8-9 [4]) по ДСТУ ГОСТ 10791:2006 и тонкая структура перлитной составляющей значительно мельче (0.14мкм против 0.3мкм, соответственно);
- феррит стали марки Т имеет игольчатую морфологию (рис. 1, в), и, со-

гласно [5, 6], имеет сдвигово-диффузионный генезис.

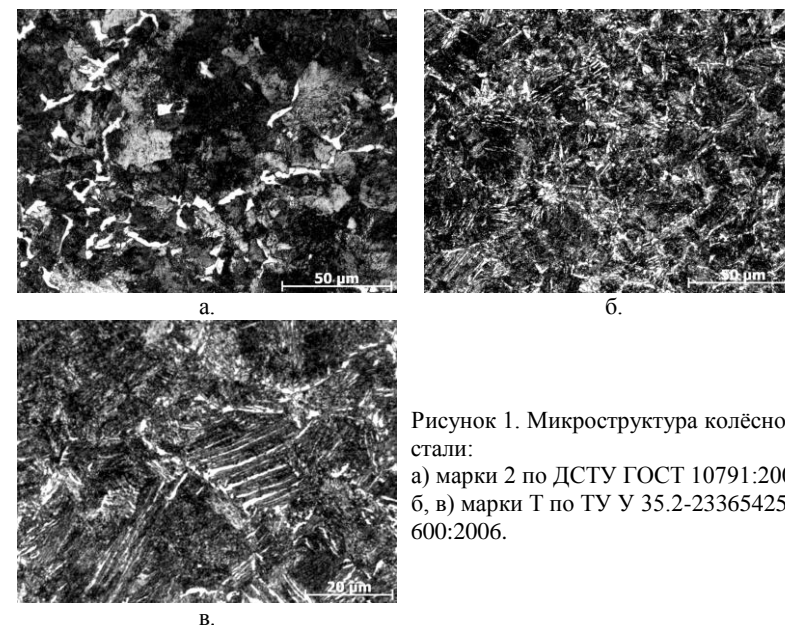


Рисунок 1. Микроструктура колёсной стали:  
а) марки 2 по ДСТУ ГОСТ 10791:2006;  
б, в) марки Т по ТУ У 35.2-23365425-600:2006.

Согласно фундаментальным представлениям о механизме позитивного влияния микролегирования ванадием стали [5, 7], достигнутые структурные преимущества достигаются за счет:

- устойчивости аустенита к рекристаллизации при повышении температуры аустенитизации, вследствие повышения характеристической температуры Дебая (в данном случае – Т рекристаллизации);
- рассматриваемый эффект при микролегировании связан с ретикулярным воздействием ванадия на исходный аустенит при нагреве под закалку (по принципу Юм-Розери), поскольку разница атомных радиусов Fe и V составляет всего 6%;
- легированный таким образом аустенит оказывается более устойчивым к перекристаллизации в перлитной области превращения в ходе закалки, что и обеспечивает при определенных скоростях охлаждения сдвигово – диффузионную реакцию в отсутствие гетерофазных центров активизации перлитного (диффузионного) превращения.

Как показали исследования [8], смена кинетики диффузионного превращения на смешанный механизм формирования феррито – перлитно – бейнитных структур наблюдается для микролегированных, высокопрочных колесно – бандажных сталей нового поколения (с очевидным позитивным влиянием на

сдаточные характеристики изделий) при скоростях охлаждения  $\sim 7^\circ\text{C}/\text{сек}$  и более.

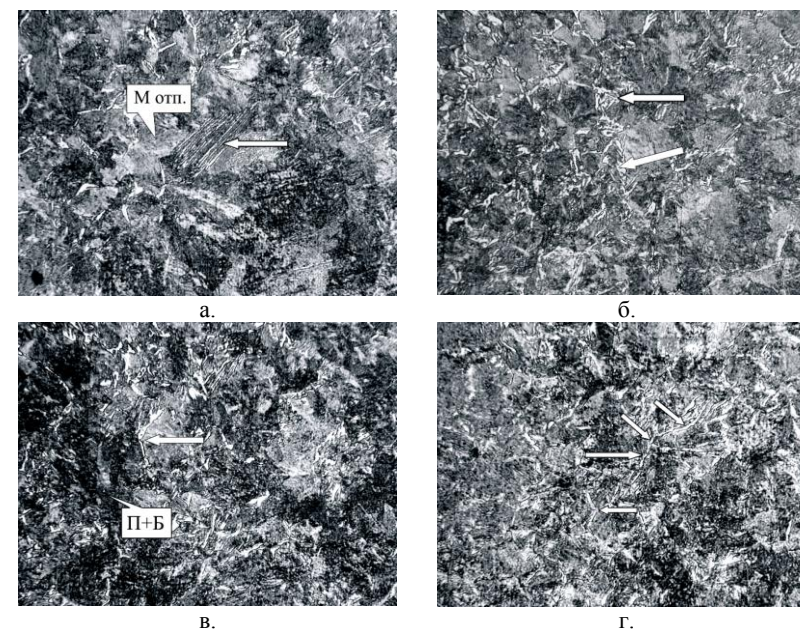


Рисунок 2. Микроструктура стали КПТ по ТУ У 35.2-23365425-600:2006. Закалка -  $885^\circ\text{C}$ , 10 мин;  $V_{\text{охл.}}=6.8^\circ\text{C}/\text{сек}$ ; Отпуск -  $490\pm 5^\circ\text{C}$ , 2,5 час. ( $\Rightarrow$  - Ф игольч.)

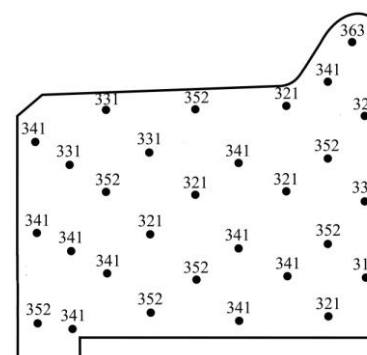


Рисунок 3. Диаграмма распределения твердости по сечению бандажа марки Бандаж Г по ТУ У 35.2-23365425-628:2008.

Вместе с тем, прямые измерения технологически достижимых скоростей охлаждения при закалке, например цельнокатаных колес, в производственных условиях ОАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ» показали [9], что реально достижимой

скоростью охлаждения на вертикальных закалочных машинах является  $V_{охл.}=4.5$  °C/сек и  $V_{охл.макс}=6.0$  °C/сек в приповерхностных слоях изделия. Внедрение в промышленную практику новых спрейерных устройств [10] позволило, по данным собственных измерений скоростей охлаждения на натуральных образцах колесных изделий [11], надежно увеличить указанный показатель до значений 7.0-10.0 °C/сек.

При этом, сформированное структурное состояние (рис. 2) оптимально микролегированных колесно – бандажных сталей нового поколения по ТУ У 35.2-23365425-628:2008 и ТУ У 35.2-23365425-600:2006 представлено искомым игольчатым ферритом (рис. 2 – Ф игольч.) широкого спектра морфологических признаков и структурных позиций, перлитом – бейнитной структурной составляющей (рис. 2 – П+Б) и продуктами высокотемпературного отпуска мартенсита (рис. 2 – Мотп.) – сорбитом отпуска. Следует отметить, что в реальных производственных условиях завершения охлаждения при закалке на уровне 400-500°C, появление мартенсита ( $M_n=270^\circ\text{C}$ ) с последующим «улучшением» структуры при высоком отпуске ( $\sim 500^\circ\text{C}$ ) мало вероятно. Однако такая процедура целесообразна и необходима с точек зрения возникновения несанкционированных технологических несоответствий и появления локальных мартенситных участков на микросегрегациях сталеплавильного происхождения.

Необходимо подчеркнуть, что рассмотренный механизм структурообразования с соответствующим достижением преференционных приемов – сданных и эксплуатационных характеристик колесно – бандажных изделий не реализуем для углеродистых сталей экипажной части подвижного состава по действующим ГОСТ 10791 и ГОСТ 398. Этот факт экспериментально установлен авторами настоящего исследования [8] и находится в полном соответствии с ранее опубликованным положением [12] о том, что аустенит углеродистой колесной стали без микролегирования, содержащей углерода 0.54 и 0.64 масс.% и марганца 0.64 и 0.84 масс.%, распадается с образованием феррита и перлита при скоростях охлаждения до 18°C/сек и 15°C/сек, соответственно. То есть, промышленно реально достижимый максимум интенсивности охлаждения 10°C/сек, в данном случае, принципиального изменения термической кинетики диффузионного структурообразования не обеспечивает.

Представленные в настоящей работе особенности структурообразования и, как следствие, формирования механических и эксплуатационных характеристик микролегированных промышленных колесно – бандажных изделий нового поколения получили однозначное подтверждение в ходе индустриального производства ОАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ» [13]. Так, по данным анализа

более 500 плавок колесной стали серийного производства по ТУ У 35.2-23365425-600:2006, установлено, что подавляющее их большинство характеризуется такими показателями: твердость  $\geq 333\text{НВ}$ ,  $\sigma_B \geq 1160\text{Н/мм}^2$ ,  $\delta \geq 11\%$ ,  $\text{КСУ}_{\text{диска}_{(+20^\circ\text{C})}} \geq 25\text{Дж/см}^2$ ,  $\text{КСУ}_{\text{обода}_{(+20^\circ\text{C})}} \geq 22\text{Дж/см}^2$ .

Однако, в ходе промышленного выпуска колес нового поколения, следует учитывать экспериментально зафиксированный в работе [11] факт уменьшения скорости охлаждения в ходе закалки обода от поверхности катания к зоне перехода обод – диск («яблоко»), обусловленный активной передачей тепла диска и ступицы через диск в эту зону в процессе охлаждения изделия. Такое явление не характерно, по очевидной причине, для бандажа. Диаграмма распределения твердости бандажа марки «Бандаж Т» по ТУ У 35.2-23365425-628:2008 (рис. 3), термически упрочненного по оптимальному режиму на КБЛ ОАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ», однозначно свидетельствует о сквозной его прокаливаемости в ходе объемной закалки [3, 14]. То есть о надежном обеспечении скорости охлаждения  $7\text{-}10^\circ\text{C/сек}$  по всему сечению изделия и, как следствие, о формировании требуемого структурного состояния, характеризующегося твердостью  $321\text{-}363\text{НВ}$  (рис. 3) по всем элементам конструкции бандажа.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Комплексна програма оновлення залізничного рухомого складу України на 2008 – 2020 роки. Київ: Укрзалізниця, ДНДЦ УЗ. 2009. – 299 с.
2. Узлов И.Г., Узлов К.И., Перков О.Н., Кныш А.В. Оптимизация параметров микролегирования и процессов термоупрочнения высокопрочной колесной стали / В сб. «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии».- К.: Наукова Думка. Вып. 6, 2003. – С. 286-294.
3. Узлов И.Г., Узлов К.И., Хулин А.Н., Дементьева Ж.А., Батюшин И.Е., Логвинов Г.В. Определение структурного состояния и свойств железнодорожных бандажей и рельсов с целью минимизации их износа в паре взаимодействия // Металлургическая и горнорудная промышленность. 2009, №2. – С. 63-66.
4. Узлов И.Г., Бабаченко А.И., Дементьева Ж.А. Исследование влияния действительного зерна на износостойкость и сопротивление хрупкому разрушению углеродистой стали // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2002. - № 5. – С. 21-23.
5. Курдюмов Г. В., Утевский Л. М., Энтин Р. И. Превращения в железе и стали. М.: Наука, 1997. – 263 с.
6. Коган Л.И., Файлевич Г.А., Энтин Р.И. Исследование условий и ме-

---

ханизма образования Видманштеттского феррита в сталях // Физика металлов и металловедение. Т. 27, вып. 4, 1969.- С.693-702.

7. И.Н. Голиков, М.И. Гольдштейн, И.И. Мурзин. Ванадий в стали. М.: Металлургия, 1968. – 320с.

8. Узлов І.Г., Узлов К.І., Книш А.В., Хулін А.М., Дементьева Ж.А. Аналіз кінетики фазових перетворень колісно-бандажної сталі за даними гартувально - мікроструктурного аналізу. /В сб. «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии».- К.: Наукова Думка. Вып. 20, 2009. – С. 222-231.

9. Узлов И.Г., Данченко Н.И. Влияние скорости охлаждения при закалке на свойства углеродистой стали // МиТОМ. - №5. - 1971. – С.54-56.

10. Патент України № 43438. Пристрій для термічного зміцнення залізничних коліс / Козловський А.І., Узлов І.Г., Кірсанов В.М., Перков О.М. та інші.; опубл. 17.12.2001, Бюл. № 11.

11. Узлов И.Г., Узлов К.И., Книш А.В., Дементьева Ж.А. Формирование структуры и комплекса свойств железнодорожных колес из микролегированной ванадием стали при различных режимах упрочняющей обработки. /В сб. «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии», НАН Украины, ИЧМ НАНУ, Вып.17, Київ: Наукова Думка, 2008. - С.185-191.

12. Евсюков М.Ф., Узлов В.И., Шаповал Е.А., Романенко Е.С. Термокинетические диаграммы превращения аустенита колесной стали./ Тем. сб. научн. трудов «Производство термически обработанного проката». М.: Металлургия, 1986.- С.76-79.

13. Узлов И.Г., Узлов К.И., Книш А.В., Польский Г.Н., Горб Е.В., Рослик А.В. Промышленное производство высокопрочных железнодорожных колес // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2008. - №1. – С.98-101.

14. Узлов И.Г., Узлов К.И., Бабаченко А.И, Хулин А.Н. др. Разработка технологии производства высокопрочных локомотивных бандажей на ОАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ» // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2009. - №3. – С.104-108.