

И.Г.Узлов, К.И.Узлов, А.В.Кныш, Ж.А.Дементьева

**ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И КОМПЛЕКСА СВОЙСТВ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЕС ИЗ МИКРОЛЕГИРОВАННОЙ
ВАНАДИЕМ СТАЛИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ УПРОЧНЯЮЩЕЙ
ОБРАБОТКИ**

Проведено изучение изменения температуры обода железнодорожного колеса на различных его глубинах при охлаждении спрейером. Изучена структура и механические свойства обода железнодорожного колеса в зависимости от режимов термического упрочнения.

Введение. Заключительная технологическая операция изготовления колес – термическая обработка, существенным образом влияющая на структурное состояние и уровень свойств изделий. Температура аустенизации для сталей, содержащих легирующие элементы (в нашем случае ванадий) должна надежно обеспечивать формирование гомогенного γ -твердого раствора перед последующим термоупрочнением. Неполное растворение карбидных и нитридных включений негативно влияет на «закаливаемость» стали. Последующая интенсивность охлаждения в процессе закалки формирует структуру, которая обуславливает получение необходимого комплекса свойств.

Изложение основных материалов исследования. В низколегированных сталях процесс превращения полученной однофазной аустенитной структуры может, при наличии карбидообразующих элементов, идти двумя путями [1]. При невысоких скоростях охлаждения дисперсные частицы карбидов формируются при диффузионном перераспределении компонентов, которыми пересыщен γ -твердый раствор еще до начала $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращения. При малых скоростях на них начинается гетерогенное зарождение эвтектоидных колоний, которые характеризуются грубопластинчатым строением. Структура грубодифференцированного эвтектоида с крупнодисперсными частицами карбидов приводит к получению невысоких как прочностных, так и вязких характеристик сталей.

Было проведено изучение скоростей охлаждения различных слоев обода колеса при охлаждении его с помощью спрейерного устройства, используемого в промышленных условиях для его термического упрочнения. Для записи кривых охлаждения были вмонтированы термопары в обод колеса таким образом, что их горячие спаи находились по его среднему радиальному сечению в точках, отстоящих от поверхности катания на глубинах 15, 30, 45 и 60 мм (рис.1).

Анализ температурных полей, записанных при помощи вмонтированных в обод колес термопар, исследование структуры и свойств (предела текучести, предела прочности, относительного удлинения и сужения,

ударной вязкости), полученных в результате различных скоростей охлаждения, позволили определить оптимальные параметры охлаждения.

Скорости охлаждения в слоях 15, 30, 45 и 60 мм обода колеса (рис. 2) имеют максимальное значение $7^{\circ}\text{C}/\text{сек}$ в интервале температур колеса от температуры нагрева под закалку и до температуры $\sim 700^{\circ}\text{C}$ на глубине 15 мм от поверхности катания. После чего скорость охлаждения снижается до $5\text{--}3^{\circ}\text{C}/\text{сек}$. В более глубоко расположенных слоях (30-60 мм) скорость охлаждения за весь период охлаждения находится примерно на одном уровне и составляет $4\text{--}3^{\circ}\text{C}/\text{сек}$.

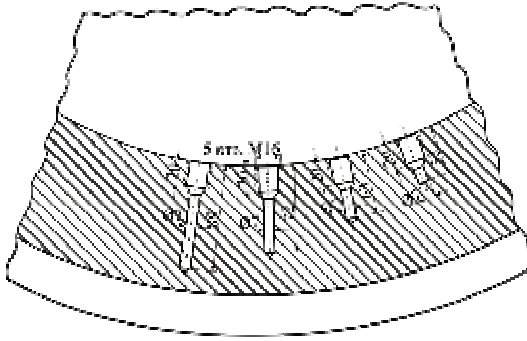


Рис. 1. Схема размещения термопар по длине и глубине обода железнодорожного колеса.

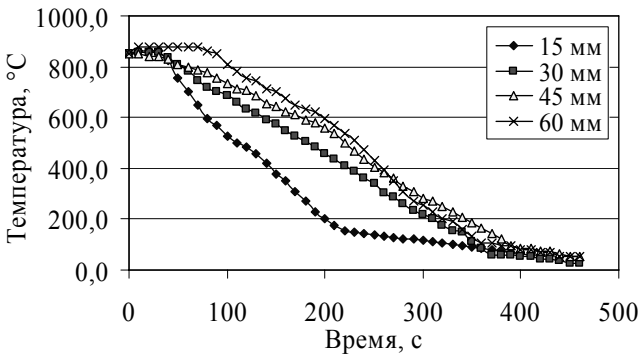


Рис. 2. Изменение температуры обода железнодорожного колеса во времени при охлаждении спрейером.

Результаты экспериментальных исследований влияния скорости охлаждения на предел прочности, предел текучести, относительное удлинение, относительное сужение и ударную вязкость приведены на рис.3–7.

Увеличение скорости охлаждения колесной стали до $7^{\circ}\text{C}/\text{с}$ сопровождается повышением предела прочности и предела текучести. Повышение прочностных характеристик колесной стали с перлитной структурой, в основном, определяется дисперсностью структурных составляющих [2, 3].

С увеличением скорости охлаждения незначительно уменьшается значения относительного удлинения и относительного сужения.

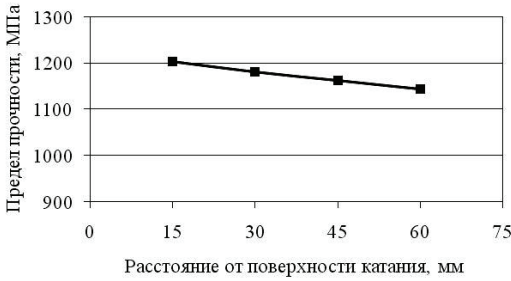


Рис. 3. Зависимость предела прочности от глубины отбора образцов.



Рис. 4. Зависимость предела текучести от глубины отбора образцов.

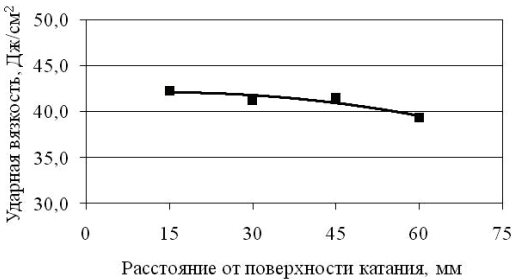


Рис. 5. Зависимость ударной вязкости от глубины отбора образцов.

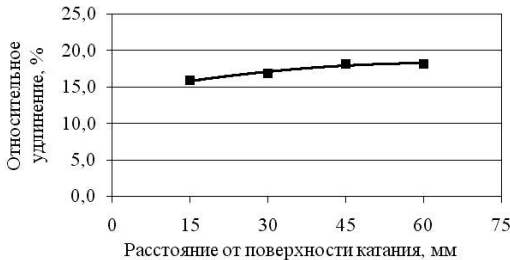


Рис. 6. Зависимость относительного удлинения от глубины отбора образцов.



Рис. 7. Зависимость относительного сужения от глубины отбора образцов.

с участками игольчатого феррита. По мере удаления от поверхности катания в структуре исчезает игольчатый феррит, структура становится перлитной с ферритной сеткой по границам.

Результаты исследования. Анализ результатов экспериментальных исследований показал, что микроструктура исследуемых сталей после охлаждения изменяется от феррито–перлитной до бейнитной. Изменяется и форма кристаллов феррита от равноосной к игольчатой в поверхностных слоях обода колеса (рис.8).

Так, если при скоростях охлаждения $1-3^{\circ}\text{C}/\text{с}$ в микроструктуре наблюдается свободный феррит, выделившийся по границам зерен, то при скоростях $7^{\circ}\text{C}/\text{с}$ феррит наблюдается внутри зерен (структура тонкого видманштетта). Ферритные иглы растут от границ к центру зерна и имеют четко выраженную ориентацию, которая обеспечивает наилучшее сопряжение феррита и перлита, а также наименьшую поверхностную энергию [4]. Направление ориентации игольчатого феррита отличается при переходе от зерна к зерну.

Известно, что ферритные иглы, растущие от границы зерен исходного аустенита, иллюстрируют характерную начальную стадию образования верхнего бейнита [5].

Изученные результаты исследований структуры хорошо согласуются с результатами [4]. По температурно–временным параметрам они могут быть отнесены ко второй области образования видманштеттовых структур в углеродистой стали, что также подтверждается соответствием структур граничащих с данной областью.

В диапазоне скоростей ниже $7^{\circ}\text{C}/\text{с}$ твердый раствор аустенита по диффузионному механизму распадается на две фазы – избыточный феррит и перлит. При малых скоростях охлаждения образуется грубодисперсная структура, легко дифференцируемая под световым микроскопом (феррит и цементит). Увеличение скорости до $7^{\circ}\text{C}/\text{с}$ сопровождается образованием структуры тонкопластинчатого перлита.

Подавление структурно свободного феррита, по данным [6, 7], обеспечивает повышение характеристик прочности при формировании квази-

Микроструктура обода колеса (рис.8) на глубине 15 мм представляет собой структуру перлита

эвтектоидных структур. Полное исчезновение свободного феррита в структуре стали наблюдается при скоростях охлаждения более $5^{\circ}\text{C}/\text{с}$.

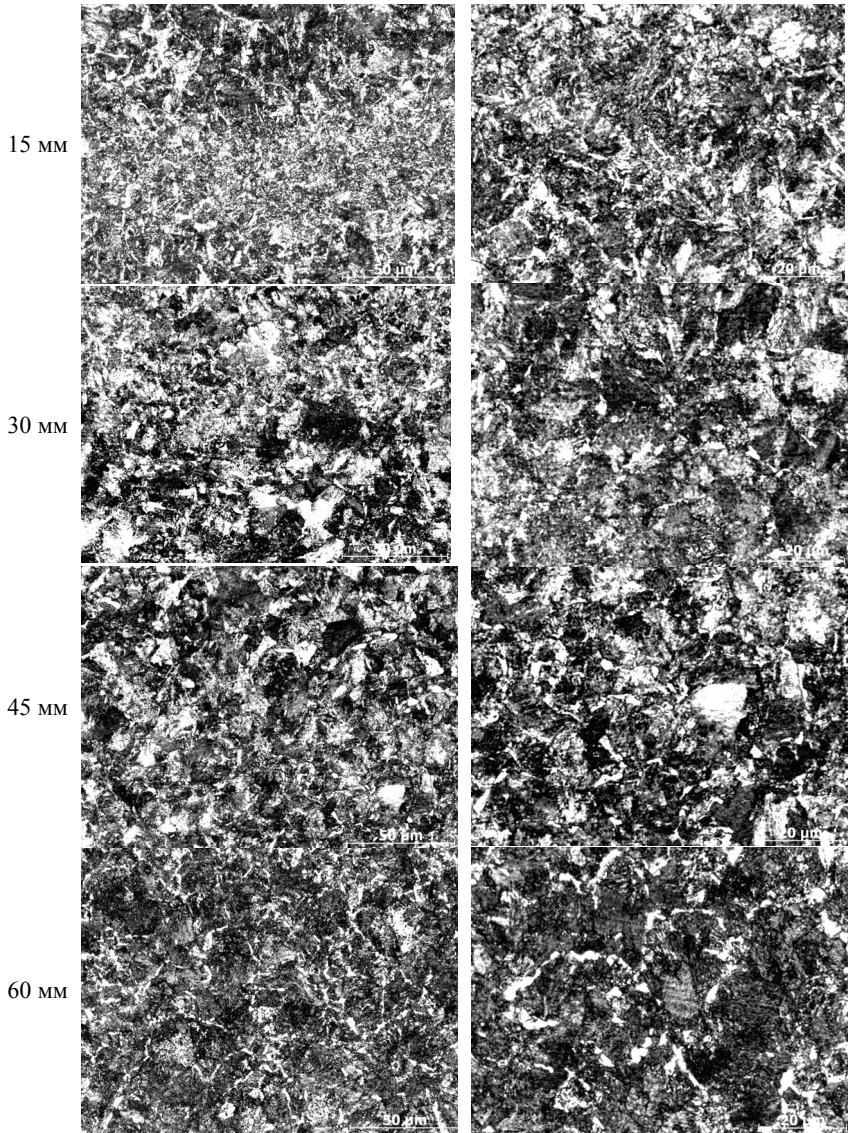


Рис. 8. Микроструктура обода колеса на различных глубинах.

Закключение. Исходя из полученных данных изменения механических свойств в зависимости от скорости охлаждения можно сделать заключе-

ние, что за оптимальную скорость охлаждения колесного металла, после которой наблюдаются наилучшее сочетание прочностных и вязких свойств можно принять $> 7 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$. При этом следует учитывать массивность обода железнодорожного колеса и обеспечивать равномерную по сечению скорость охлаждения. Данная задача была решена при помощи использования спрейерных устройств конструкции ИЧМ НАНУ [8], в которых из-за особенностей перфорирования отверстий подача воды осуществляется тангенциально к охлаждаемым поверхностям обода, что обеспечивает максимальное удаление паровой рубашки на них, и в связи с этим наилучшее охлаждение в сравнении с ранее применяемыми спрейерами.

При высоких скоростях охлаждения эвтектоидная реакция протекает без предварительного выделения дисперсных частиц. При этом, малые добавки ванадия не влияют на количество перлита в доэвтектоидных сталях [4]. Однако, твердость перлита возрастает вследствие его тонкодисперсного строения. Для игольчатого феррита характерна высокая прочность, из его мелкозернистой структуры и высокой плотности дислокаций, в сочетании с высокими значениями ударной вязкости. Свойства игольчатого феррита являются следствием очень мелкого ферритного зерна и высокой концентрации подвижных дислокаций, что обуславливает хорошие вязкость и пластичность [9,10]. При значительных переохлаждениях реализуется большое количество центров выделения упрочняющих частиц, вследствие чего они мелкодисперсные и это обеспечивает эффективное упрочнение практически без отрицательного влияния на уровень пластичности и вязкости. Поэтому, в ходе промышленного эксперимента были предусмотрены технологические мероприятия, направленные на обеспечение максимальной интенсивности теплоотвода при закалке ободьев колес на вертикальной закалочной машине колесопрокатного цеха ОАО «Интерпайп НТЗ» – количество охлаждаемой среды было увеличено против стандартно используемого в 1,5 раза, время подачи охлаждающей среды назначалось с учетом удовлетворительной для последующего подстуживания температуры обода колеса после завершения охлаждения, т.е. для достижения наибольшей эффективности подачи воды на этой технологической стадии целесообразно использовать спрейерные устройства конструкции ИЧМ НАНУ [8].

1. Курдюмов Г.В., Утевский Л.М., Энтин Р. И. Превращения в железе и стали. – М.: Наука, 1997. – 263 с.
2. Гудремон Э. Специальные стали. – М.: Metallurgizdat, 1966. – т. I, II.
3. Elliot J.F., Gleiser M. Thermochemistry for steelmaking, v.1, Addison-Wesley publishing company, 1960.
4. Голиков И.Н., Гольдштейн М.И., Мурзин И.И. Ванадий в стали. – М.: Металлургия, 1968. – 320 с.
5. Гуляев А.П. Металловедение. – М.: Металлургия, 1977. – 647 с.

6. *Мирошниченко Н.Г.* Разработка и опробование новых низколегированных сталей для цельнокатаных железнодорожных колес: Дис.канд.техн.наук: 05.16.01 – Днепропетровск. – 1970. – 137 с.
7. *Хастеркомп Ф.* Ниобийсодержащие низколегированные стали. – М.: СП интермент инженеринг, 1999. – 94 с.
8. *Патент* Украины №43438 от 17.12.2001. Пристрій для термічного зміцнення залізничних коліс.
9. *Формирование* структурного состояния высокопрочных микролегированных ванадием колес в процессе их отпуска. / И.Г.Узлов, А.М.Нестеренко, К.И.Узлов и др. // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии*. Сб.научн.тр. ИЧМ НАН Украины. – Вып. 11.– 2005. – С.223 – 228.
10. *Исследование* влияния на структуру и свойства температуры отпуска железнодорожных колес из микролегированной ванадием стали. Строительство, материаловедение, машиностроение / И.Г.Узлов, А.М.Нестеренко, К.И.Узлов и др. // *Сб.науч.тр. ПГАСА*. – Вып.36. – Ч.2. – 2006. – С.48–55.

Статья рекомендована к печати д.т.н., проф. В.В.Парусовым