

И.Г. Узлов, Г.Д. Сухомлин, К.И. Узлов, А.В. Кныш

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ОТПУСКА ЦЕЛЬНОКАТАНЫХ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЕС ПОВЫШЕННОЙ ПРОЧНОСТИ И
ИЗНОСОСТОЙКОСТИ НА ОСНОВАНИИ
ЭЛЕКТРОННОМИКРОСКОПИЧЕСКОГО АНАЛИЗА**

Приведены результаты исследования влияния различных температур отпуска железнодорожных колес, из микролегированной стали, на формирование структурного состояния и процессов, протекающих при отпуске стали.

Современное состояние вопроса.

Отпуск железнодорожных колес, после прерывистой (ГОСТ 10791) закалки и подстуживания, это операция, предназначенная для снятия внутренних напряжений, которые возникают в процессе неодинакового термического влияния на разные элементы колеса в процессе ускоренного охлаждения [1]. В принятой промышленной практике производителей цельнокатаных железнодорожных колес стран СНГ предусмотрен отпуск этого вида продукции при температуре не менее 500⁰С. Некоторые стандарты эту нижнюю температурную границу устанавливают нормативно – TTS 094, UIC 812–3.

Изложение основных материалов исследования.

В работе проведены исследования влияния температуры отпуска на характер изменения характеристик твердости, временного сопротивления разрушению и ударной вязкости. Результаты испытаний представлены на рисунках 1; 2 и 3. Как видно из рисунков, эти характеристики имеют экстремальную зависимость от температуры отпуска, причем экстремум характеристик проявляется при температуре 500⁰С.

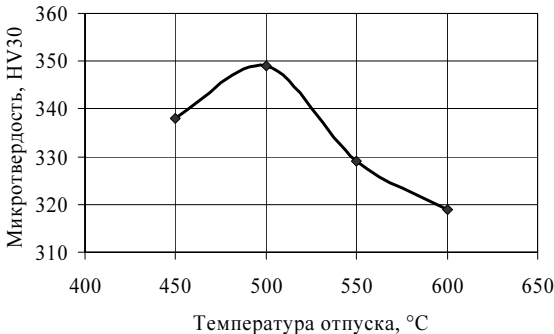


Рис.1. Зависимость микротвердости от температуры отпуска.

Железнодорожные колеса из стали, микролегированной ванадием по ТУ У 35.2–23365425–600:2006, после их закалки от температуры 875⁰С с последующим отпуском при температурах 450, 500, 550, 600⁰С исследовали с применением электронномикроскопического анализа.

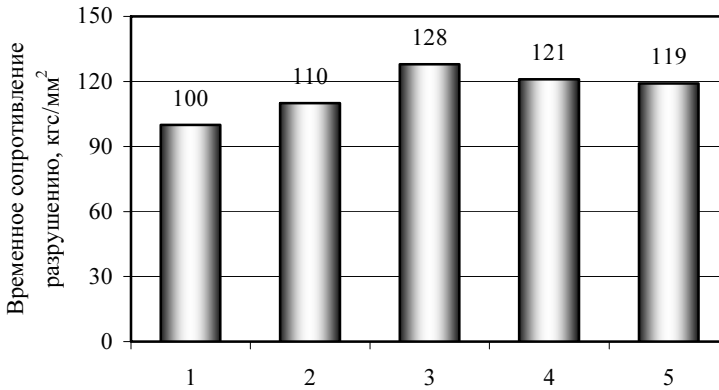


Рис.2. Временное сопротивление разрушению колес в зависимости от температуры отпуска

- 1 – требования ГОСТ 10791 (min);
- 2 – требования ТУ У 27.1-4-571-2004 (min);
- 3 – температура отпуска 450⁰С;
- 4 – температура отпуска 500⁰С;
- 5 – температура отпуска 520⁰С.

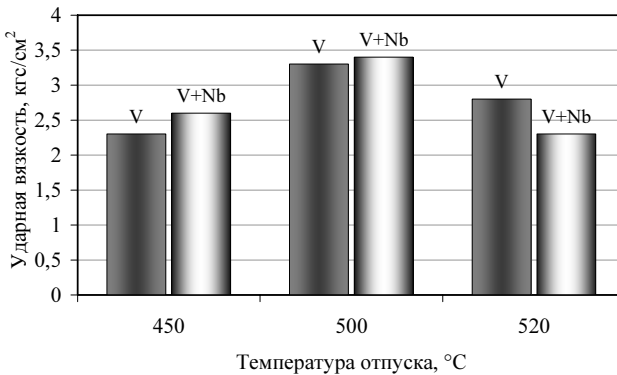


Рис.3. Зависимость ударной вязкости микролегированной колесной стали от температуры отпуска.

Изучение и фотографирование образцов: экстракционных реплик и тонких фольг проводили с применением просвечивающего электронного микроскопа ЭМ-125К с углом отклонения гониометра 60⁰. Ускоряющее напряжение – 100кВ. Постоянная прибора $\lambda L=18,8\text{мм}\cdot\text{Å}$. При определении межплоскостных расстояний в кристаллических решетках цементита и феррита, а также разориентировки на малоугловых границах применяли микродифракцию от участка диаметром 1,3 мкм. Интерпретацию изобра-

жений и микродифракционных картин проводили с учетом известных правил дифракционной электронной микроскопии [2, 3, 4].

Установлено, что в температурном интервале 450–500⁰С активизируются релаксационные процессы, вследствие чего изменяется плотность дислокаций, с другой стороны, имеет место формирование микрочастиц карбидов, которые когерентно связаны с матрицей. При отпуске 450⁰С в игольчатой составляющей феррита происходит формирование малоугловых границ, т.е. явление, которое характеризует сугубо релаксационные процессы. Формирование карбидов не зафиксировано (рис.4,а). Выделение мелкодисперсных карбидов начинается при 500⁰С (рис.4,б). При их малых размерах (10×10нм), можно сделать вывод об их кубическом габитусе, хотя окончательно сингонию, с помощью микродифракции, вследствие малых размеров частиц, установить не представляется возможным (рис.4, в, г).

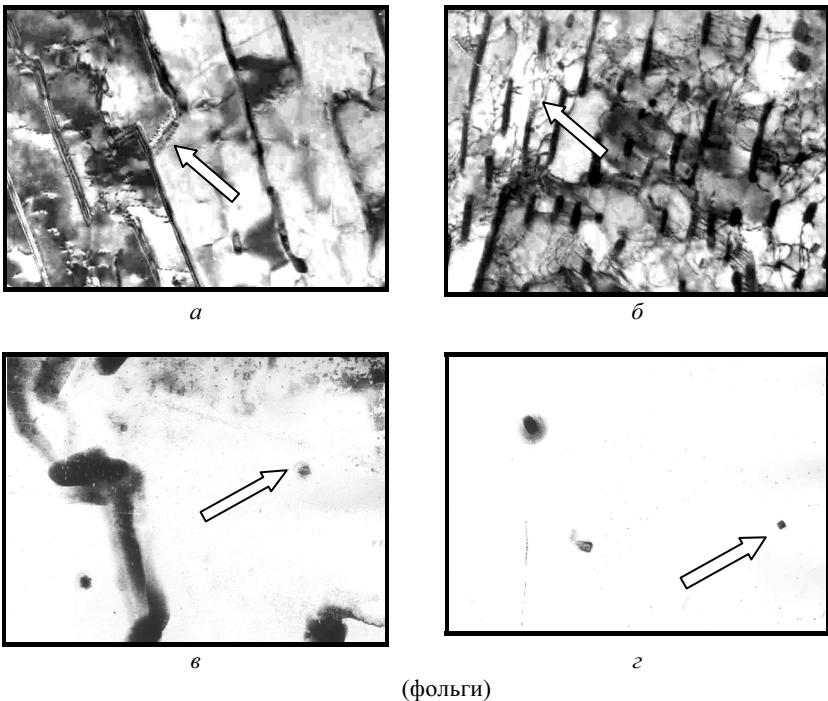


Рис.4. Трансмиссионная электронная микроскопия. Тонкая микроструктура опытной колесной стали после отпуска: а) 450⁰С – формирование малоугловых границ (×28000); б) 500⁰С – выделение карбидов (×28000); в, г) 500⁰С – карбидная фаза с кубической огранкой в игольчатом феррите (×88000).

Рис.5,а демонстрирует цементит перлита образцов, которые были изготовлены из колес стандартного производства по ГОСТ 10791–89

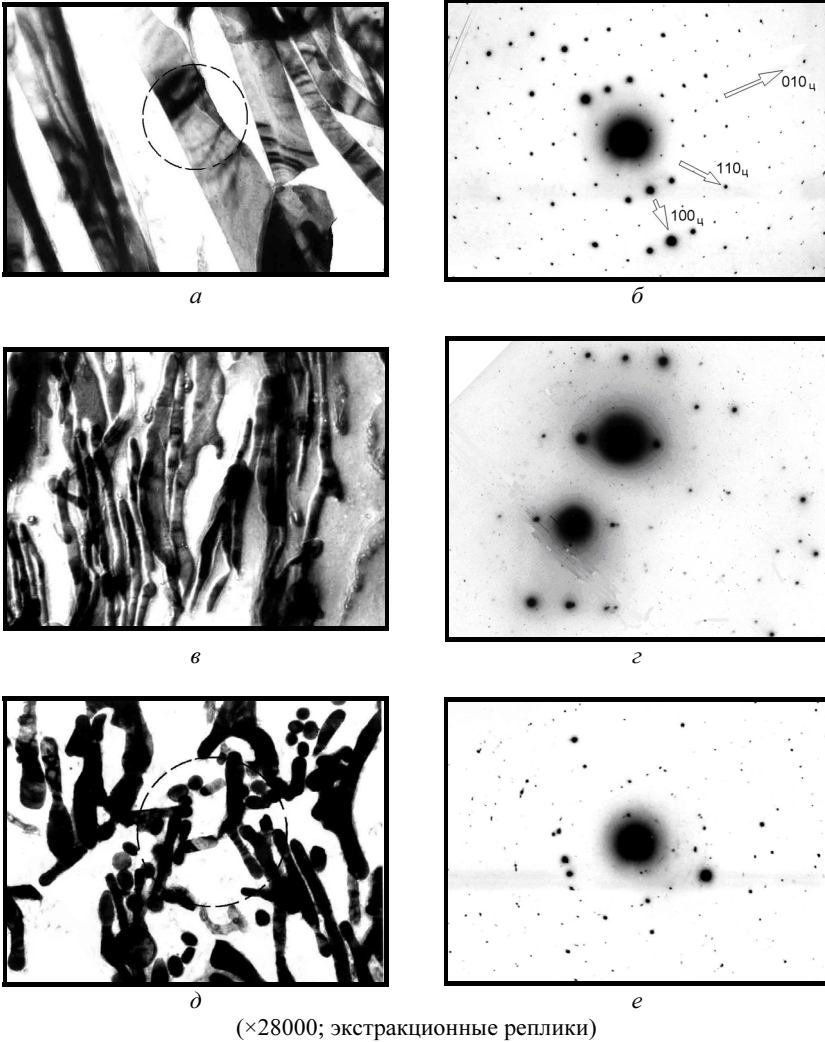


Рис.5. Трансмиссионная электронная микроскопия. Цементит перлита образцов: а) образец колесной стали по ГОСТ 10791; в) опытная сталь с отпуском 450°C ; д) опытная сталь с отпуском 550°C ; б, з, е) электроннограммы – соответственно а,в,д.

Соответствующая электроннограмма (рис.5,б) показывает, что положение рефлексов от одинарной пластины и их радиус–вектор (на рисунке отмечены стрелками) отвечают цементиту с ориентацией решетки плос-

костью (001)_ц нормальной к основному пучку электронов. Межпластиночное расстояние в этом случае составляет в среднем 0,12 мкм.

В случае опытной колесной стали с отпуском при 450⁰С (рис.5,в) цементитные пластины перлита становятся более тонким и межпластиночное расстояние уменьшается до 0,06...0,08 мкм. Вместе с этим, хотя при такой дифференцировке перлита снять электроннограммы с отдельно взятой пластины нет возможности, рис.5,г однозначно свидетельствует о взаимном позиционировании рефлексов от соседних пластин цементита, что четко указывает на их ориентационное соответствие в перлитной колонии.

Переход через температуру 500⁰С принципиально изменяет ситуацию и с точки зрения состояния цементитных пластин перлита. Электроннограмма цементита образца после отпуска 550⁰С (рис.5,е) имеет несколько систем микродифракционных отражений, которые типичны для поликристаллической фазы или для набора мелкодисперсных разориентированных монокристаллов.

Рис.5,д иллюстрирует фрагментацию и сфероидизацию цементита перлита при температуре отпуска 550⁰С.

Заключение.

Таким образом, экспериментально установлено, что при отпуске опытных колес имеет место:

- в интервале 450...500⁰С происходит формирование когерентных дисперсных карбидов; поэтому, при повышении температуры, растет эффект повышения прочности и твердости; пластины цементита не фрагментируются и сохраняют ориентационное соответствие; ферритные иглы сохраняют цельность – зафиксированы лишь малоугловые границы (рис.4,а); поэтому при 450...500⁰С растет и ударная вязкость;

- при 500⁰С развивается выделение карбидов (рис.4,б), благодаря чему твердость и прочность достигают максимальных значений; при этом фрагментация цементита перлита еще не развилась (рис.5,б) – идут коагуляционные процессы на концах цементитных пластин; процесс формирования упорядоченных дислокационных стенок в иглах феррита только начинается (рис.5,а), поэтому вязкость остается на достаточно высоком уровне;

- выше 500⁰С формирование дислокационных стенок продолжается, развивается возврат II рода; вследствие этого уменьшается роль барьера для дислокаций игольчатого феррита с карбидными выделениями и вязкость закономерно снижается; вместе с тем активно проходит коалесценция карбидов; цементитные пластины фрагментируются, частично сфероидизируются (рис.5,в) – твердость и прочность заметно снижаются.

В целом, анализ результатов исследований однозначно свидетельствует о том, что оптимальным температурным интервалом отпуска закаленных опытных сталей по ТУ У 35.2–23365425–600:2006 является 450...500⁰С. Именно эти температуры и были включены в технологиче-

скую документацию производственного процесса с ее внедрением в колесопрокатном цехе ОАО НТЗ.

1. *Колесная сталь* / И.Г.Узлов, М.И.Гасик, А.Т.Есаулов и др. – К.: Техніка, 1985. – 168с.
2. *Курдюмов Г. В., Утевский Л. М., Энтин Р. И.* Превращения в железе и стали. – М.: Наука, 1997. – 263 с.
3. *Салтыков С.А.* Стереологическая металлография: Учебное пособие для вузов. – М.: Металлургия, 1976. – 271 с.
4. *Утевский Л.М.* Дифракционная электронная микроскопия в металловедении. – М.: Металлургия, 1973. – 584 с.

Статья рекомендована к печати д.т.н., проф. Г.В.Левченко