

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ДЛИТЕЛЬНОСТИ ОТПУСКА НА ПАРАМЕТРЫ ТОНКОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ МЕТАЛЛА ТЕРМИЧЕСКИ УПРОЧНЕННОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО КОЛЕСА

INFLUENCE TEMPERATURE AND DURATION OF TEMPERING ON THIN-CRYSTALLINE STRUCTURE PARAMETERS OF METAL AFTER HARDENING RAILWAY WHEEL

Пройдак С.В. *, Кавалек А. **, Вакуленко И.А. *, Перков О.Н. ***

**Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им.акад. В.Лазаряна, каф. «Технология материалов»;*

***Czestochowa University of Technology, Faculty of Production Engineering and Materials Technology, Institute of Metal Forming and Safety Engineering;*

****Институт черной металлургии НАН Украины*

Abstract

The change of structure and properties after the preliminary speed-up cooling of carbon steel railway wheel is determined correlation of development processes redistribution and annihilation defects of crystalline structure at tempering. Tempered of temperatures in the middle interval provides recombination of considerable part of dislocations which are formed as a result of phase transformation at cooling of metal.

Состояние проблемы

Исследование зависимости комплекса свойств от температуры и длительности отпуска термически упрочненной углеродистой стали [1÷3] составляет основу разработки технологии изготовления железнодорожных колес повышенной и высокой прочности [4]. В процессе ускоренного охлаждения обода цельнокатаного железнодорожного колеса, увеличение расстояния от поверхности основного теплоотвода сопровождается снижением скорости охлаждения металла. На расстоянии 45 мм скорость охлаждения составляет значение на уровне 2град/с, а на расстоянии до 5мм - приблизительно в 4÷5 раз больше [5]. При возрастании скорости охлаждения совместное влияние измельчения зерен структурно свободного феррита и диспергирования перлита способствует увеличению характеристик прочности и пластичности [1, 2]. После ускоренного охлаждения, подвергая обод железнодорожного колеса отпуску при определенных температурах, можно изменять соотношение прочностных и пластических свойств в достаточно широком диапазоне.

1. Материал и методика исследований

В качестве материала для исследования использована углеродистая сталь железнодорожного колеса с содержанием химических элементов: 0,57% С, 0,65% Si, 0,45% Mn, 0,0029% S, 0,014% Р после термического упрочнения по режиму промышленного производства. Обод железнодорожного колеса с отдельного нагрева интенсивно охлаждали в специальном устройстве. После ускоренного охлаждения колесо подвергалось отпуску при температуре 550°C при выдержках различной длительности. Структуру изучали с использованием электронного и светового микроскопов. Оценку степени дефектности структуры металла после ускоренного охлаждения и отпуска осуществляли с использованием методик рентгеновского структурного анализа. Пределы прочности и текучести, характеристики пластичности исследуемой стали определяли при растяжении со скоростью деформации 10^{-3} с^{-1} .

2. Результаты и их обсуждение

Анализ характера изменения комплекса свойств от температуры отпуска (рис. 1) не противоречит известным результатам исследований для большинства термически упрочненных углеродистых сталей [1÷5]: увеличение температуры отпуска сопровождается снижением прочности и ростом характеристик пластичности. В соответствии с промышленной технологией производства термически упрочненных железнодорожных колес [5] исследования влияния длительности отпуска были ограничены температурой 550°C. Для металла обода на расстоянии 4÷5 мм от поверхности катания при отпуске 550°C влияние длительности выдержки на характеристики прочности следует разделить на три участка.

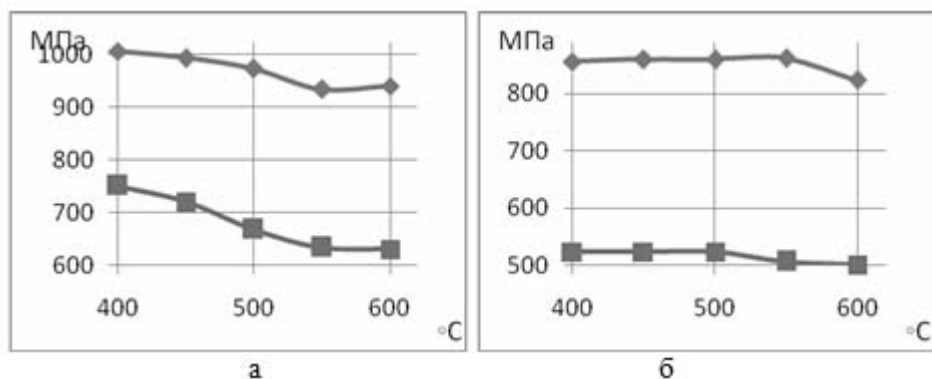


Рис. 1. Влияние температуры отпуска при длительности 1,5ч для пределов текучести (■) и прочности (◆), на расстоянии от поверхности охлаждения 5 мм (а), 45 мм (б)

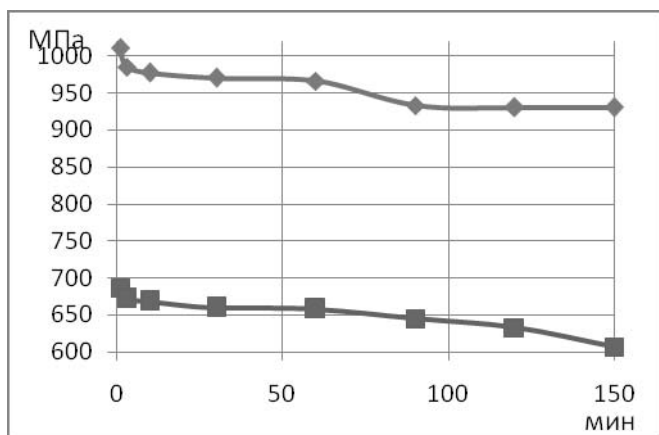


Рис. 2. Влияние длительности выдержки при отпуске 550°C ускоренно охлажденного металла на предел текучести (■) и предел прочности (◆) для расстояния 5 мм (а) от поверхности катания колеса

Для выдержек длительностью до одного часа снижение предела прочности не превышает 40 МПа, а текучести еще меньше – до 30 МПа. Для выдержек длительностью 1÷1,5 ч и 2,5 ч величина снижения прочности осталась практически неизменной. В то время как изменение предела текучести имеет более монотонный вид и после отпуска длительностью до 2,5 ч достигает уровня 600÷610 МПа. Развитие процессов разупрочнения при отпуске термически упрочненного металла подтверждается характером изменения пластических свойств. Интервалу выдержек 1÷1,5 час. отвечает максимальный прирост значений относительных удлинения и сужения. Из совместимого анализа полученных результатов исследований следует, что при повышении степени упрочнения металла вблизи с поверхностью принудительного охлаждения, развитие процессов разупрочнения будет протекать тем интенсивнее, чем выше уровень прочности [2, 4]. Из анализа кинетики превращения аустенита в процессе ускоренного охлаждения следует, что начало эффекта разупрочнения при отпуске исследуемой стали начинается от температур приблизительно на 150÷200°C ниже температуры начала перлитного превращения [4]. Таким образом, уровень упрочнения металла в основном определяется развитием процессов фазового наклепа при превращении аустенита в перлит. Взаимодействие атомов углерода с дислокациями при отпуске становится дополнительным фактором влияния на комплекс свойств термически упрочненной углеродистой стали железнодорожного колеса. В результате рентгеновских структурных исследований (рис. 3) обнаружено, что после отпуска термически упрочненного металла обода колеса минимальная концентрация дефектов кристаллического строения соответствует объемам, которые расположены вблизи поверхности катания.

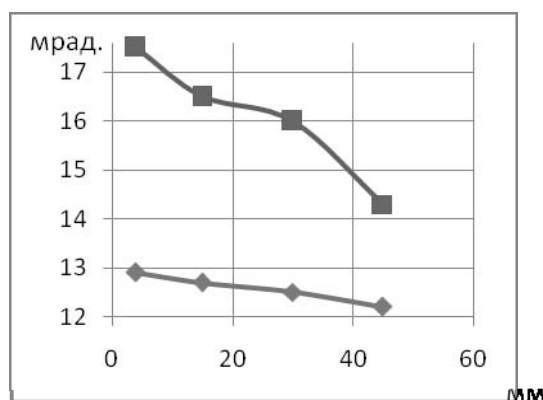


Рис. 3. Зависимость ширины линии рентгеновской интерференции (220) объемов металла от поверхности катания в состоянии после ускоренного охлаждения (■) и отпуска при 550°C длительностью 2 ч (♦)

Пропорционально увеличению расстояния от поверхности теплоотвода в объемах металла обода эффект разупрочнения снижается и на расстоянии 45 мм достигает минимальных значений. Учитывая значительное сечение металла обода железнодорожного колеса и ограничение максимальной скорости охлаждения $9\div 10^{\circ}\text{C}/\text{с}$, фазовый наклеп приводит к приросту плотности дефектов кристаллического строения и, в первую очередь, дислокаций. С другой стороны, закрепление дислокаций в процессе отпуска должно быть незначительным, так как практически отсутствует пересыщение твердого раствора атомами углерода при реализуемых скоростях охлаждения обода колеса [4, 5]. Полученные результаты исследований следует рассматривать как попытку разработки технического решения по повышению прочностных характеристик обода цельнокатаного железнодорожного колеса.

Литература

1. Dyja H., Galkin A., Knapinski M.: Reologia metali odkształcanych plastycznie. Wydaw. Politechniki Czeszochowskiej, Czeszochowa 2010.
2. Stradomski Z.: Mikrostruktura w zadaniach zużycia staliw trudnościeralnych. Wydaw. Politechniki Czeszochowskiej, Czeszochowa 2010.
3. Snopek J., Knapinski M., Dyja H.: Analiza wpływu gniotu na własności wytrzymałościowe blach grubych ze stali S355J2G3. Czeszochowa 2010, s.438÷441.
4. Вакуленко И.А., Большаков В.И.: Морфология структуры и деформационное упрочнение стали. Из-во «Маковецкий», Днепропетровск 2008.
5. Бабаченко А.И.: Надежность и долговечность железнодорожных колес и бандажей. Изд-во «ПГАСА», Днепропетровск 2015.