

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКОНЧАНИЯ УСКОРЕННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ НА РАЗВИТИЕ ПРОЦЕССОВ УПРОЧНЕНИЯ В УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

INFLUENCE OF STOPPING SPEED-UP COOLING TEMPERATURE ON DEVELOPMENT OF WORK-HARDENING IN CARBON STEEL PROCESSES

Вакуленко И.А. *, Кнапински М. **, Грищенко Н.А. *, Надеждин Ю.Л. *

**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*

Abstract

The complex properties of carbon steel depending on the temperature of stopping of the speed-up cooling. The effect of strengthening is based on blocking of mobile dislocations from a pick out on them atoms of carbon and work-hardening from the particles of cementite.

Состояние проблемы

В процессе ускоренного охлаждения градиент структур по пересечению металлического материала определяется температурой окончания принудительного охлаждения. Одновременно с этим последующий нагрев за счет тепла внутренних объемов, может приводить к существенным изменениям структуры термоупрочненного металла [1÷3]. Изучение структурных превращений в процессе самоотпуска после прекращения ускоренного охлаждения представляет интерес относительно уточнения природы эффекта разупрочнения углеродистой стали. Полученные результаты позволят оценить ресурс повышения прочности в изделиях, в которых сложно достигнуть равномерности структуры и свойств по сечению при ускоренном охлаждении [4÷6].

1. Материал и методика исследований

Материалом для исследования служила углеродистая сталь железнодорожного колеса с содержанием 0,54% C, 0,63% Si, 0,47% Mn, 0,0028% S, 0,012% P. Образцы для исследования в виде пластин толщиной 18мм вырезали из фрагментов железнодорожного колеса. Для ускоренного охлаждения образцы подвергали аустенитизации при температурах выше A_{c3} , выдерживались при этой температуре для гомогенизации химического состава по толщине образцов. Далее следовало их ускоренное

охлаждение до температур $200\div 450^{\circ}\text{C}$. Микроструктурные исследования осуществляли с использованием методик световой и электронной микроскопии. Оценку структурных характеристик проводили с использованием методик количественной металлографии. Комплекс механических свойств определяли при статическом растяжении со скоростью деформации 10^{-3} c^{-1} .

2. Результаты и их обсуждение

Структура металла вблизи с поверхностью основного теплоотвода после завершения ускоренного охлаждения по достижению определенной температуры подобна структуре, которая формируется из продуктов отпуска мартенсита при этой температуре [2, 6]. Микроструктурные исследования свидетельствуют (рис.1), что в результате прекращения ускоренного охлаждения после достижении температур $200\div 400^{\circ}\text{C}$ в исследуемой стали происходят качественно различные изменения внутреннего строения.



Рис. 1. Структура исследуемой стали после ускоренного охлаждения до температур 200 (а) и 400°C ; увеличение 18000

При температурах завершения охлаждения 200°C наблюдается развитие начальных стадий полигонизации. Детальный анализ показал, что на фоне приблизительно однородного распределения дислокаций наблюдается формирование дислокационных ячеек, которые по внешним признакам подобны полосовой структуре. Одновременно с указанной дислокационной структурой присутствует определенное количество разорванных контуров с повышенной плотностью дислокаций. Существование участков с расположенными дисперсными глобулами цементита в середине ячеек с низкой плотностью дислокаций является дополнительным подтверждением развития полигонизации при самоотпуске углеродистой стали. Более того, как свидетельствует анализ

результатов известных экспериментальных исследований [3, 4, 6], совместимое развитие приведенных процессов способствует формированию модулированной структуры, когда отдельные дислокационные образования с пониженной плотностью дислокаций разделяются широкими стенками с повышенной плотностью дислокаций. Анализ характера зависимости пределов прочности и текучести от температуры самоотпуска подтверждает сложный характер структурных превращений в процессе ускоренного охлаждения металла. Так, для температур 200÷450°С благодаря снижению степени пресыщения твердого раствора наблюдается соответствующее уменьшение характеристик прочности (рис. 2). Практически эквидистантный ход зависимостей для пределов прочности и текучести свидетельствует, что степень пресыщения твердого раствора атомами углерода остается основным фактором влияния, который определяет уровень прочности металла [2, 3]. Дополнительным свидетельством приведенных объяснений является монотонное снижение характеристик прочности при увеличении температуры завершения ускоренного охлаждения (рис. 2).

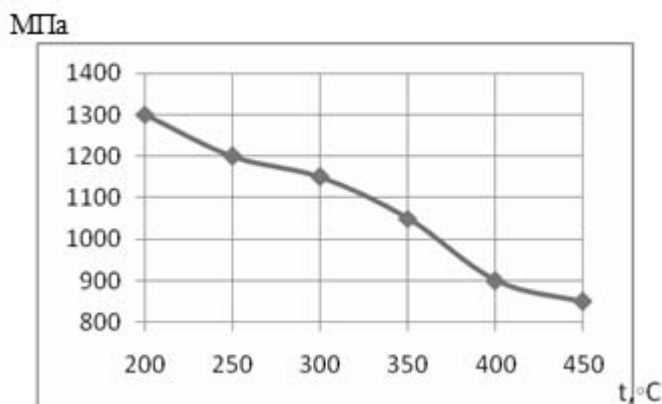


Рис. 2. Зависимость предела прочности стали от температуры прекращения ускоренного охлаждения

Как показали микроструктурные исследования при указанной температуре завершения ускоренного охлаждения возрастает количество дисперсных частиц цементита, которые повышают роль дисперсионного упрочнения. Таким образом, прирост прочностных характеристик исследуемой стали в зависимости от температуры прекращения ускоренного охлаждения обусловлен блокировкой подвижных дислокаций от выделения на них атомов углерода и дисперсионным упрочнением от карбидной фазы [3, 4]. Вместе с этим, чем на большем расстоянии от поверхности основного теплоотвода располагаются объемы металла, тем при более низкой скорости охлаждения происходят структурные

превращения. Полученные результаты исследования на образцах, толщина которых близка к толщине диска железнодорожного цельнокатаного колеса, могут быть использованы для оценки возможности термического упрочнения диска. При ускоренном охлаждении диска колеса до температур порядка 350°C, формируется определенный градиент структур от сформированных по промежуточному механизму на поверхности до диффузионного вблизи с серединой диска. Анализ внутреннего строения ускоренно охлажденного металла свидетельствует, что структура состоит из тонко дифференцированного перлита с расположением по границам перлитных колоний мелких участков структурно свободного феррита. Толщина пластин цементита в перлите составляет значения порядка 0,02÷0,04 мкм, а прослойка феррита до 0,15 мкм. Исследованиями было обнаружено, что зерна структурно свободного феррита, в свою очередь, состоят из субзерен, размер которых изменяется в интервале значений 1,5÷3,5 мкм. При этом, объемы в середине субзерен имеют повышенную плотность взаимозаблокированных дислокаций. Более того, кроме полиэдрической формы ферритных зерен, в отдельных микрообъемах наблюдаются вытянутые участки феррита, подобные игольчатому строению. На основе известных результатов по термическому упрочнению проката из углеродистых сталей [5, 6], формирование градиента структур и соответствующего уровня прочности по толщине диска в результате его ускоренного охлаждения указывают на резервы увеличения комплекса свойств высокопрочных цельнокатаных железнодорожных колес в условиях промышленного производства.

Литература

1. Вакуленко І.О., Анофрієв В.Г., Грищенко М.А., Перков О.М.: Дефекти залізничних коліс. Вид-во «Маковецький», Дніпропетровськ 2009.
2. Вакуленко И.А., Большаков В.И.: Морфология структуры и деформационное упрочнение стали. Из-во «Маковецкий», Днепропетровск 2008.
3. Stradomski Z.: Mikrostruktura w zadaniach zużycia staliw trudnościernalnych. Wydaw. «Politechniki Czestochowskiej», Czestochowa 2010.
4. Stachura S., Gwoździk M., Stradomski Z.: Microstructura and strengthening mechanisms in martensitic cast steel of 12% Cr. Collective monograph «Material and exploitation problems in modern Materials Engineering», Wydaw. «Politechniki Czestochowskiej», Czestochowa 2010, p. 94÷110.
5. Бабаченко А.И.: Надежность и долговечность железнодорожных колес и бандажей. Изд-во «ПГАСА», Днепропетровск 2015.
6. Бернштейн М.Л.: Термомеханическая обработка металлов и сплавов. Изд-во «Металлургия», Москва 1968.