

*М. В. Темлянецв, К. С. Слажнева,
А. А. Уманский, Н. В. Темлянецв*

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»,
г. Новокузнецк

А. Ю. Дзюба

ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»,
г. Магнитогорск

uchebn_otdel@sibsiu.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ОКИСЛЕНИЯ И ОБЕЗУГЛЕРОЖИВАНИЯ РЕССОРНО-ПРУЖИННОЙ СТАЛИ МАРКИ 60С2ХА ПРИ НАГРЕВЕ ПОД ПРОКАТКУ

Представлены результаты лабораторных исследований кинетики высокотемпературного окисления и обезуглероживания стали марки 60С2ХА. Получены эмпирические зависимости, позволяющие прогнозировать угар металла при нагреве под прокатку. Установлены температурные интервалы интенсификации окалинообразования и обезуглероживания.

Ключевые слова: окисление, обезуглероживание, сталь.

The outcomes of laboratory researches of a kinetics of high-temperature oxidation and decarbonizations of steel of the mark 60S2HA are shown. The empirical relations permitting to predict an intoxication of metal at heating under rolling are obtained. Set temperature intervals intensification scaling and decarbonization.

Keywords: oxidation, decarbonizations, steel.

К прокату из рессорно-пружинной стали предъявляют высокий уровень требований к качеству поверхности, в том числе к глубине видимого обезуглероженного слоя [1–3].

Для изготовления пружин для автомобилей различного назначения широкое распространение получила сталь марки 60С2ХА. Круглый прокат для навивки пружин из такой стали получают на сортовых станах посредством горячей прокатки заготовок. Традиционно нагрев заготовок осуществляют в методических печах, при этом, помимо окисления стали, происходит процесс ее обезуглероживания. Исследованию кинетики высокотемпературного окисления и обезуглероживания рессорно-пружинной стали марки 60С2 посвящены работы [1, 4, 5], однако для стали марки 60С2ХА с повышенным содержанием хрома 0,7–1,0 % данные по влиянию температурно-временного фактора на окисление и обезуглероживание фактически отсутствуют. В то же время известно [1, 6], то хром способствует снижению интенсивности окисления стали, вследствие формирова-

ния окалины, обладающей более высокими защитными свойствами, а являясь карбидообразующим элементом, снижает интенсивность диффузии углерода в стали и замедляет ее обезуглероживание [1].

В настоящей работе проведено исследование кинетики высокотемпературного окисления и обезуглероживания стали марки 60С2ХА следующего химического состава, в процентах: 0,576 С; 1,439 Si; 0,66 Mn; 0,736 Cr; 0,024 Ni; 0,031 Cu; 0,004 S; 0,008 P. При проведении лабораторных экспериментов использовали три вида образцов: цилиндрические диаметром 11–13 мм и длиной 20–30 мм массой 16–27 г (для определения обезуглероживания и угара по убыли массы), 3×3×6 мм (для определения угара на дериватографе по методу непрерывной регистрации увеличения массы образца во времени) и 4×4×10 мм (для определения температуры плавления окалины).

При проведении исследований кинетики окисления и обезуглероживания стали использовали дискретный гравиметрический метод, основанный на убыли массы образцов, которые нагревали в электрической печи сопротивления СУОЛ-0,25.1/12,5-И1 до температур 800, 850, 900, 950, 1000, 1050, 1100, 1150, 1200 и 1250 °С и выдерживали при постоянной температуре в течение 5, 15 и 25 мин. Время разогрева образцов от 20 °С до температуры выдержки составляло 3–5 мин, причем в области температур ниже начала интенсивного окисления (до 800 °С) – порядка 3 мин. При выдержке температура образцов менялась в пределах ±5–10 °С. Температуру образцов измеряли хромель-алюмелевой термопарой. Термопару устанавливали в высверленное в центре образца отверстие диаметром 3,2 мм и глубиной 12 мм. Температуры образца фиксировали многоканальным программным регулятором температур «Термодат 19Е2».

До и после опытов геометрические размеры образцов измеряли штангенциркулем с точностью до 0,1 мм, массу определяли на весах Vibra AF-220SE с точностью до 0,1 мг. Для удаления окалины с поверхности образцы подвергали травлению в подогретом до 40–60 °С в 10 %-м растворе серной кислоты с добавлением 0,1 г/л тиомочевины.

После определения угара стальные образцы распиливали на две части и изготавливали шлифы поперечного разреза. Глубину видимого обезуглероженного слоя определяли с помощью металлографического метода. Микроструктуру выявляли в 4 %-м растворе азотной кислоты и исследовали на оптическом микроскопе при увеличении 100–500 крат.

При обработке экспериментальных данных считали, что зависимость угара (или толщины окисленного слоя) от времени подчиняется закону квадратного корня [1].

Дополнительно проведена серия экспериментов по дифференциально-термическому анализу образцов при помощи термоанализатора LABSYS в атмосфере воздуха.

Для прогнозных расчетов угара получена зависимость, позволяющая определить угар в зависимости от температуры T , К и времени τ , мин нагрева: $Y = 348,6 \cdot \exp(-12660/T) \cdot \sqrt{\tau}$.

Анализ полученных экспериментальных данных показывает, что для стали марки 60С2ХА угар резко интенсифицируется при достижении металлом температур 1000–1050 °С.

Результаты дифференциально-термического анализа показывают, что при нагреве образца стали в атмосфере воздуха происходит увеличение его массы за счет окисления железа и легирующих компонентов. В то же время окисление углерода и удаление его оксидов в газовую фазу способствует некоторому снижению массы образца.

На дериватограмме присутствуют два пика на кривой теплового состояния. Один соответствует началу интенсификации угара после перехода стали в аустенитное состояние (для стали марки 60С2ХА $A_{c1} = 765$ °С, $A_{c3} = 780$ °С,) и образования вюстита и второй – интенсификации угара в области температур порядка 1000 °С. Данные исследований угара с помощью гравиметрического метода по потере массы и на дериватографе согласуются между собой.

Анализ результатов исследований температуры плавления окалины показывает, что для окалины, образующейся на стали 60С2ХА, появление первых жидкофазных участков происходит при температурах 1270–1280 °С. Оплавление окалины, сопровождающееся ее стеканием с поверхности металла, начинается при температурах 1300 °С. По сравнению с температурой начала плавления окалины стали 60С2, которая составляет 1229–1251 °С, эта температура для окалины стали марки 60С2ХА выше, что связано с более высоким содержанием хрома, который повышает температуру плавления окалины в среднем на 2 °С на каждые 0,1 % его содержания в стали [1, 5, 7]. Результаты рентгеноспектрального анализа окалины показывают, что она содержит, в процентах: 1,66 Si; 0,70 Mn и 0,67 Cr.

Анализ результатов исследования микроструктуры поверхностных слоев образцов, подвергнутых нагреву по различным режимам, показывает, что для исследуемой марки стали характерно образование полностью обезуглероженного слоя металла глубиной до 0,05–0,15 мм при нагреве до 750 °С и выдержке 5–25 мин. В температурном интервале 750–1100 °С происходит формирование видимого обезуглероженного слоя глубиной до 0,223 мм. При более высоких температурах происходит поглощение обезуглероженного слоя окалиной, связанное с превышением скорости окисления стали над скоростью обезуглероживания.

Полученные результаты свидетельствуют о достаточно интенсивном обезуглероживании стали 60С2ХА не только при температурах, соответствующих стадии нагрева в методической печи, но и при температурах прокатки и последующего охлаждения проката.

При температурах 1175 °С и выше на поверхности металла наблюдается образование смешанной зоны толщиной 0,030–0,045 мм, представляющей собой полностью обезуглероженную сталь (феррит) и оксиды. Наличие такой зоны способствует формированию сталагмитообразного вида поверхности раздела окалина – сталь, для которого характерно наиболее проблемное отделение окалины от металла [6]. Это может стать причиной образования дефектов поверхности, связанных со вкатанной окалиной.

Список литературы

1. *Темлянцев М. В.* Окисление и обезуглероживание стали в процессах нагрева под обработку давлением / М. В. Темлянцев, Ю. Е. Михайленко. М.: Теплотехник, 2006. 200 с.
2. *Рахштадт А. Г.* Пружинные стали и сплавы / А. Г. Рахштадт. М.: Металлургия, 1971. 496 с.
3. *Федин В. М.* Объемно-поверхностная закалка деталей подвижного состава и верхнего строения пути / В. М. Федин. М.: Интекст, 2002. 208 с.
4. *Темлянцев М. В.* Высокотемпературное окисление и обезуглероживание кремнистых пружинных сталей / М. В. Темлянцев, Н. В. Темлянцев // Заготовительные производства в машиностроении. 2005. № 3. С. 50–52.
5. *Темлянцев М. В.* Исследование химического состава окалины пружинной стали 60С2 / М. В. Темлянцев, Н. В. Темлянцев // Изв. вузов. Чер. металлургия. 2005. № 2. С. 75–76.
6. *Перетяцько В. Н.* Нагрев стальных слябов / В. Н. Перетяцько, Н. В. Темлянцев, М. В. Темлянцев, Ю. Е. Михайленко М.: Теплотехник, 2008. 192 с.
7. *Темлянцев М. В.* Исследование температур оплавления образующейся при нагреве стали печной окалины / М. В. Темлянцев, Н. В. Темлянцев // Изв. вузов. Чер. металлургия. 2005. № 9. С. 51–53.