

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНО-ВРЕМЕННОГО ФАКТОРА НА УГАР БОРСОДЕРЖАЮЩЕЙ СТАЛИ 20Г2Р

Слажнева К.С., Темлянцев М.В., Темлянцев Н.В., Базайкин В.И.

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

*В статье представлены результаты исследования кинетики окисления среднеуглеродистой борсодержащей стали 20Г2Р, получившей широкое распространение для изготовления изделий методами холодной штамповки. На основе экспериментальных данных для осуществления прогнозных расчетов получено соотношение, позволяющее определить угар в зависимости от температурно-временного фактора, установлено, что для стали марки 20Г2Р угар резко интенсифицируется при достижении металлом температуры порядка 1000 °С.*

*Ключевые слова: сталь, угар, нагрев, температурно-временной фактор.*

*In the article the outcomes of research of a kinetics of oxidation of steel 20G2R, received broad distribution for manufacturing of items by methods of cold punching are shown. Because of of experimental data for implementation of calculations the ratio permitting to determine an intoxication depending on the temperature-time factor is obtained is established, that for steel of the mark 20G2R the intoxication is sharp intensified at reaching by metal of temperature of the order 1000 C.*

*Keywords: Steel, intoxication, heating, temperature-time factor*

Стремление к повышению качества высокопрочных сложнопрофильных металлических изделий без дополнительных затрат на их производство выдвигает в число первостепенных задач расширение выпускаемого сортамента и применение экономнолегированных сталей, в том числе за счет микролегирования металла бором. Способность интенсивно измельчать структуру при ускоренном охлаждении делает бор обязательным компонентом многих высокопрочных низколегированных сталей, разработка которых является одним из важнейших направлений в металлургии и металловедении. Микродобавки бора позволяют экономить такие остродефицитные легирующие элементы как никель, хром и марганец не снижая качества и комплекса свойств стали. Положительно микролегирование бором сказывается на прокаливаемости и закаливании конструкционных сталей. Характерно, что присадка к стали всего 0,001–0,003 % бора уже повышает ее прочность. Высокий уровень характеристик прокаливаемости при значительно меньшем, чем в легированных сталях, содержании легирующих элементов, и при меньшем, чем в среднеуглеродистых сталях, уровне закаливаемости, позволяет применять стали, легированные бором, при производстве деталей, в том числе крепежа для автомобилей. Особенности борсодержащей стали являются их высокая технологическая пластичность, благоприятное соотношение прочностных и пластических свойств в отожженном и термоупрочненном состояниях.

В настоящее время для изготовления высокопрочных изделий (крепежа), получаемых методами холодной штамповки (высадки), широкое распространение получила борсодержащая сталь 20Г2Р. Круглый прокат из такой стали получают на сортовых или проволочных станах посредством горя-

чей прокатки заготовок. Нагрев заготовок перед прокаткой осуществляют в методических печах, при этом контакт нагретого металла с окислительной печной атмосферой сопровождается безвозвратными потерями стали с угаром. Для разработки малоокислительных температурных режимов нагрева металла необходимы практические данные о закономерностях влияния температуры и времени нагрева на кинетику окисления стали. Анализ специальной технической литературы [1–4] показывает, что особенности высокотемпературного окисления среднеуглеродистых и легированных марганцем и кремнием сталей изучены достаточно хорошо, однако данные по влиянию на этот процесс бора фактически отсутствуют.

В настоящей работе проведено исследование кинетики высокотемпературного окисления и обезуглероживания стали марки 20Г2Р следующего химического состава, %: 0,2 С; 0,26 Si; 1,20 Mn; 0,2 Cr; 0,04 Ti; 0,011 S; 0,026 P; 0,002 В. При проведении лабораторных экспериментов использовали цилиндрические образцы диаметром 7–8 мм и длиной 27–34 мм массой 8,5–11,3 г. Образцы вырезали из отрезков (стержней) круглого проката диаметром 10 мм. Перед вырезкой образцов стержни отжигали и обтачивали на токарном станке для полного удаления обезуглероженного слоя. Нагрев образцов проводили в электрической печи сопротивления СУОЛ-0,25.1/12,5-И1 с нагревателями из карбида кремния в атмосфере воздуха.

Для определения зависимости угара от температурно-временного фактора использовали дискретный гравиметрический метод, основанный на убыли массы образцов, которые нагревали до температур 950, 1050, 1150, 1200 и 1250 °С и выдерживали при постоянной температуре в течение 5, 20 и 35 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 и фиксировали прибором «Термодат 19Е2». До и после опытов геометрические размеры образцов измеряли штангенциркулем с точностью до 0,1 мм, массу определяли на весах Vibra AF-220CE с точностью до 0,1 мг. Для удаления окалины с поверхности образцы подвергали травлению в подогретом до 40–60 °С 10 %-ном растворе серной кислоты с добавлением в качестве ингибитора 0,1 г/л тиомочевины. При обработке экспериментальных данных считали, что зависимость угара (или толщины окисленного слоя) от времени подчиняется закону квадратного корня.

На рис. 1 представлена зависимость угара  $У$  стали марки 20Г2Р от температуры  $t$  и времени  $\tau$  выдержки при постоянной температуре, построенная по результатам экспериментальных данных.

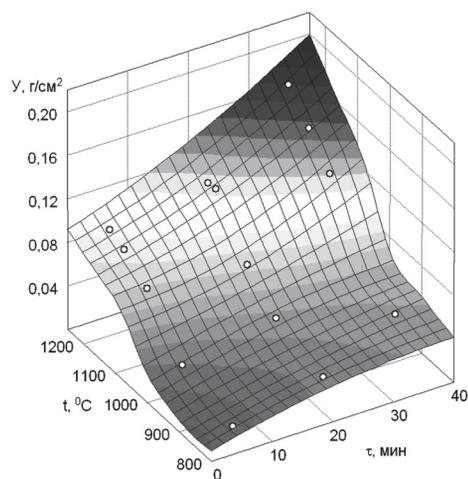


Рис. 1. Зависимость угара стали марки 20Г2Р от температуры и времени выдержки

Для прогнозных расчетов угара получено соотношение [5], позволяющее определить угар в зависимости от температуры и времени нагрева:

$$Y = 3,46 \cdot \exp(-7060/T) \cdot \sqrt{\tau}.$$

На рис. 2 представлена зависимость логарифма константы скорости окисления от температуры  $T$ , К. Для сравнения показаны аналогичные зависимости для сталей с близким химическим составом 20 и 25Г2С, полученные ранее [2, 4].

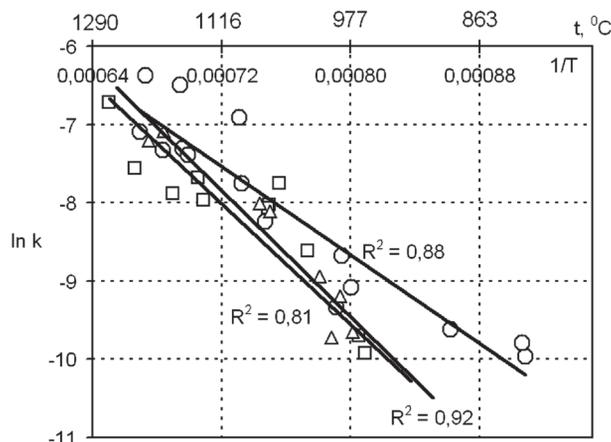


Рис. 2. Зависимость логарифма константы скорости окисления от температуры для сталей марок 20Г2Р (о), 20 (□) [2] и 25Г2С (Δ) [4]

Анализ экспериментальных данных показывает, что для стали марки 20Г2Р угар резко интенсифицируется при достижении металлом температуры порядка 1000 °С. Стали марок 20 и 25Г2С с близким содержанием углерода и других легирующих элементов имеют аналогичный угар при температурах более 1000 °С. При меньших температурах борсодержащая сталь окисляется интенсивнее, чем ее аналоги без бора. Возможно, это связано с величиной зерна стали. В частности по данным [6, 7] в интервале температур 930–1150 °С для стали с мелким зерном характерен более высокий угар по сравнению с крупнозернистой сталью.

#### Список использованных источников

1. Темлянец М.В. Окисление и обезуглероживание стали в процессах нагрева под обработку давлением / М.В. Темлянец, Ю.Е. Михайленко. – М.: Теплотехник, 2006. – 200 с.
2. Окисление углеродистых конструкционных сталей при нагреве в атмосфере воздуха под обработку давлением / М.В. Темлянец, В.С. Стариков, Н.В. Темлянец, Б.К. Журавлев // Заготовительные производства в машиностроении, 2004. – № 5. – С. 44–46.
3. Корочкин Е.И. К вопросу о влиянии углерода на окисление стали / Е.И. Корочкин, А.А. Калинин, А.А. Борисовский // Изв. вуз. Черная металлургия, 1971. – № 8. – С. 11, 12.
4. Темлянец М.В. Исследование окисления низколегированных кремнемарганцовистых сталей при нагреве в электрических печах сопротивления / М.В. Темлянец, В.С. Стариков, Б.К. Журавлев, Н.В. Темлянец // Изв. вуз. Черная металлургия. – 2004. – № 4. – С. 47–49.
5. Перетяцько В.Н. Нагрев стальных слябов / Перетяцько В.Н., Темлянец Н.В., Темлянец М.В., Михайленко Ю.Е. – М.: Теплотехник, 2008. – 192 с.
6. Копытов В.Ф. Безокислительный нагрев стали / В.Ф. Копытов. – М.: Машигиз, 1947. – 144 с.
7. Копытов В.Ф. Нагрев стали в печах / В.Ф. Копытов. – М.: Металлургиздат, 1955. – 264 с.