

2. Homepage of COMSOL – Multiphysics Modeling [Electronic resource]. – 1998. – Mode of access: <http://www.comsol.com>. – Date of access: 14.01.2008.

3. Homepage of CEDRAT Group: software, actuators, technologies and services in electrical and mechatronic engineering [Electronic resource]. – 2005. – Mode of access: <http://www.cedrat.com>. – Date of access: 2.11.2007.

4. Иванов, Д.Г. Моделирование структурных превращений в стальных деталях при индукционной закалке / Д.Г. Иванов, С.П. Кундас // Информатика. – 2009. – № 1 (21). – С. 48 – 59.

5. Лемзиков, А.В. Применение нейросетей для определения характерных точек фазовых превращений в сталях с различным химическим составом / А.В. Лемзиков [и др.] // Информатика. – 2007. – №1 (13). – С. 89 – 97.

6. Иванов, Д.Г. Математическая модель процессов формирования остаточных напряжений в стальных деталях при индукционной закалке / Д.Г. Иванов, С.П. Кундас, А.В. Лемзиков // Информатика. – 2008. – № 2 (18). – С. 14 – 25.

УДК 621.78; 621.785.5; 519.711.3

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ НАГРЕВА ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ЗАКАЛКИ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

А.В. Лемзиков

*УО «Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники», Минск*

Целью закалки как технологического процесса термической обработки является формирование в стальных деталях требуемыми эксплуатационных характеристик, в частности, твердости. Как известно [1], механические свойства стали при закалке изменяются вследствие распада переохлажденного аустенита на различные закалочные структуры – мартенситные и промежуточные (троостит, бейнит, сорбит и пр.). При этом вид структуры, полученной при закалке, для различных сталей определяется следующими факторами [2]:

- 1) температурой и скоростью нагрева;
- 2) составом и исходной структурой стали (содержание углерода, естественных и легирующих добавок, размер зерен);
- 3) нагреваемой областью детали (поверхность, нагрев на определенную глубину, сквозной нагрев), а также гомогенностью образовавшегося аустенита и размером его зерна;
- 4) теплофизическими свойствами стали;
- 5) интенсивностью теплоотвода, определяемой коэффициентом теплообмена с охлаждающей средой и расстоянием исследуемой области от поверхности, с которой производится теплоотдача.

Существующие в настоящий момент методы математического моделирования процессов, возникающих при распаде переохлажденного аустенита, основаны на использовании справочных термокинетических и изотермических диаграмм [4, 5]. Существенным недостатком такого подхода является невозможность учета влияния процесса нагрева на свойства образующихся при охлаждении структур. Кроме того, часто используемые для моделирования диаграммы были получены для условий нагрева, значительно отличающихся от условий моделируемого процесса. Вследствие указанных недостатков подобные модели обладают значительной погрешностью при прогнозировании эксплуатационных характеристик образующихся закалочных структур.

На основании анализа ряда экспериментальных данных, полученных исследователями в НИИТВЧ (Санкт-Петербург) [1, 2, 6], автором разработана модель, позволяющая осуществлять прогнозирование процессов образования и распада аустенита при закалке. В основе алгоритма лежит анализ температурной истории охлаждения, полученной произвольным методом (например, путем моделирования методом конечных элементов), и определение скоростей нагрева (в интервале от A_{c1} до температуры гомогенизации T_g) и охлаждения (в интервале от 700 до 500 °C). На основании скорости нагрева для указанной стали определяется степень гомогенности аустенита и размер его зерна. Скорость охлаждения сравнивается с рядом критических скоростей для используемой стали, что позволяет определить тип образующейся структуры и ее твердость с учетом размера аустенитного зерна.

На рис. приведены экспериментально полученные зависимости размера аустенитного зерна, образовавшегося в результате нагрева с различными скоростями.

Как видно, аустенитное зерно увеличивается с ростом температуры нагрева, и, в то же время, уменьшается при увеличении скорости нагрева. Эти данные хорошо согласуются с рассуждениями, согласно которым медленный нагрев до температуры выше T_g или длительная выдержка при высокой температуре приводят к росту аустенитного зерна.

Используя экспериментальные данные (см. рис.), а также зависимости температур аустенитизации и гомогенизации углеродистых сталей от скорости нагрева и размера зерна исходной структуры [1], в предложенной модели определяется количество образовавшегося аустенита и размер его зерна. Для случая, когда температура нагрева превышает T_g , можно предложить зависимость размера аустенитного зерна от температуры и скорости нагрева:

$$\log G(T, HR) = 0,003T + b(HR), \quad (1)$$

где G – размер аустенитного зерна, мкм;
 T – температура, °C;

HR – скорость нагрева в интервале от A_{c1} до $T_{\text{микс}}$, °C/c;

b – коэффициент, зависящий от скорости нагрева, и определяемый по формуле

$$b(HR) = -0,18(1 + \log HR) - 1,45. \quad (2)$$

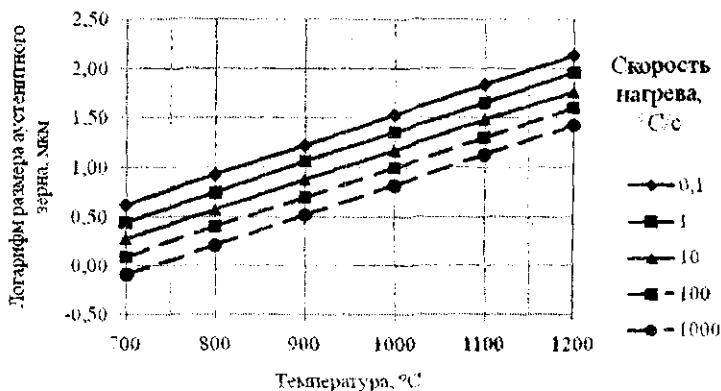


Рис. Зависимость размера аустенитного зерна углеродистых сталей от температуры нагрева с различными скоростями [1]

В работе [2] приведены зависимости твердости поверхностных слоев изделий из углеродистых сталей, закаленных интенсивным водяным душем, от размера аустенитного зерна, полученного в конце нагрева. Согласно этим зависимостям, увеличение размера аустенитного зерна приводит к уменьшению твердости, причем эта зависимость в общем случае является нелинейной. В рамках модели автором принята зависимость типа образующихся мартенситных структур от размера аустенитного зерна, приведенная в табл.

Таблица

Зависимость дисперсности мартенситных структур от размера аустенитного зерна

Размер аустенитного зерна, мкм	Дисперсность самой твердой возможной мартенситной структуры
менее 5,0	Бесструктурный мартенсит
5,0 – 9,0	Мелкоиглочатый мартенсит
9,0 – 12,0	Среднеиглочатый мартенсит
12,0 – 17,0	Грубоиглочатый мартенсит

Твердость конкретной образующейся структуры зависит от содержания углерода в стали и скорости охлаждения в интервале 700 – 500 °С.

Таким образом, предложенная модель позволяет учесть характеристики нагрева для получения размера аустенитного зерна, что в дальнейшем используется для прогнозирования вида мартенситной структуры, образующейся при охлаждении. Подход не требует для применения наличия экспериментальных диаграмм образования и распада аустенита, что позволяет использовать его при моделировании закалки широкого диапазона углеродистых сталей.

Литература

1. Зимин, Н.В. О влиянии температуры, скорости нагрева и исходного состояния структуры углеродистых сталей на процессы образования в них аустенита / Н.В. Зимин // Металлообработка. Политехника. – СПб. – 2006. – № 1 (31). – С. 41 – 47.
2. Зимин, Н.В. Влияние интенсификации охлаждения после различных видов нагрева на прокаливаемость и закаливаемость углеродистых нелегированных сталей / Н.В. Зимин // Металлообработка. Политехника. – СПб. – 2006. – № 2 (32). – С. 41 – 47.
3. Попова, Л.Е. Диаграммы превращения аустенита в сталях и бетараствора в сплавах титана: справ. термиста / Л.Е. Попова, А.А. Попов. – М.: Металлургия, 1991. – 503 с.
4. Reti, T. Computer simulations of steel quenching process using a multi-phase transformation model / T. Reti, Z. Fried, I. Felde // Computational Materials Science, 2001. – P. 261 – 278.
5. Durban, C. Determination of Austenitic Transformation During Fast Heat Treatment / C. Durban, D. Durand, P. Chevre // Proceedings of the 17th Conference «Heat Treating», 1997. – P. 671 – 676.
6. Демидович, В.Б. Энергосберегающие технологии индукционного нагрева в металлообрабатывающей промышленности / В.Б. Демидович [и др.]; под ред. В.Б. Демидовича. – СПб.: СПбГЭТУ («ЛЭТИ»), 2008 г. – 323 с.

УДК621.315.424: 538.569

ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПЛАКИРОВАННЫХ ПОРОШКОВ

М.Н. Сарасеко, В.А. Янусов, В.В. Яснoв

ГНУ «Институт технической акустики НАН Беларуси», Витебск

Композиционные материалы – это материалы, получаемые сочетанием компонентов с различными свойствами. Одним из компонентов является матрица (основа), другим – упрочнители (волокна, частицы). В качестве матриц используют полимерные, металлические, керамические и углеродные материалы. Упрочнителями служат волокна стеклянные, борные,