

ВЛИЯНИЕ ОТПУСКА НА РАСПАД ОСТАТОЧНОГО АУСТЕНИТА В СТАЛЯХ ПОСЛЕ ЗАКАЛКИ

Недыбалюк А.Ф., Атаманюк В.В., Мозговой А.В.*, Билюк А.И.

Винницкий государственный педагогический университет имени Михаила Коцюбинского,
21100, Острожского, 32, Винница, Украина

*e-mail: mozgovyj@yandex.ua

În acest articol se analizează influența revenirii asupra descompunerii austenitei remanente în oțeluri de construcție călite. S-a stabilit că în oțeluri investigate apar două intervale de temperaturi cu descompunerea austenitei reziduale, cinetica căroră este afectată semnificativ de elementele de aliere.

Cuvinte-cheie: revenire, călire, oțel de construcție, austenită remanentă.

This paper analyzes the impact of releasing on the decay of remanent austenite in tempered construction steels. It is shown that in the investigated steels there are two temperature decay intervals of residual austenite, the kinetics of which is significantly affected by alloying elements.

Keywords: releasing, tempering, construction steel, remanent austenite.

ВВЕДЕНИЕ

Поиск новых технологий для создания материалов с заданными физико-механическими свойствами требует использования неразрушающих методов контроля фазовых и структурных превращений, происходящих в конструкционных и инструментальных сталях в результате действия различных силовых полей.

Как известно, отпуск является одной из важных технологических операций термической обработки сталей и других сплавов на основе железа. Совершенствование технологий отпуска, а также выбор режимов обработки для сталей новых марок должны базироваться на четком представлении о природе процессов, которые происходят в сплавах при нагреве после закалки.

В связи с этим исследования преобразований при отпуске сталей является одной из самых актуальных задач современного физического металловедения.

Разработка комбинированных способов упрочнения сталей, связанных с целенаправленными изменениями структурного состояния сплавов, кроме операций термической обработки, требует создания полной теории фазовых и структурных превращений при отпуске, учитывающая роль всех факторов,

определяющих физико-механические свойства материала.

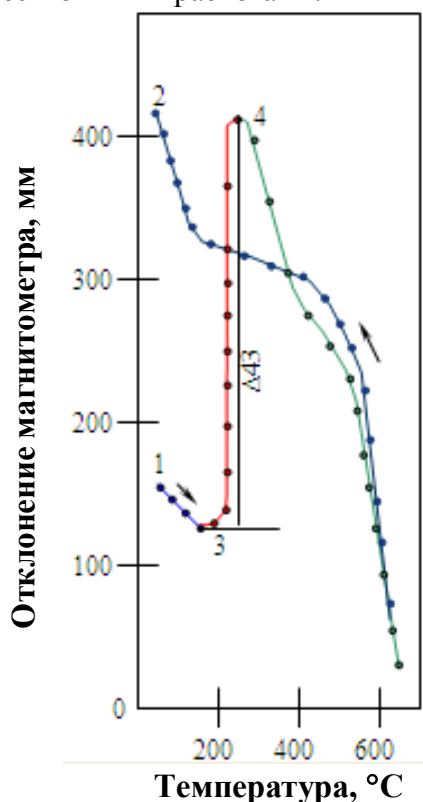
Наряду с другими методами неразрушающего контроля (механической спектроскопии, электрического сопротивления) метод магнитного анализа [1,2] дает возможность следить за процессами распада метастабильных фаз, контролировать структурные превращения при отпуске сталей, оценивать содержание углерода на различных этапах обработки, изучать структурные преобразования на атомном уровне.

Анализ литературных источников и экспериментальных данных свидетельствует о большом диапазоне использования методов магнитного контроля, основанных на существовании определенных зависимостей магнитных свойств от фазового состава и структуры ферромагнитных материалов.

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

В данной работе проведен количественный анализ магнитных эффектов при отпуске закаленных конструкционных сталей 15X2МФА, 15X3НМФА, 12ХГНМФ, 5ХНМ, 40Х, которые связаны с распадом остаточного аустенита. На рисунке приведена характерная для данного класса сталей термомагнитная кривая.

На основе полученных экспериментальных результатов можно предположить, что в закаленных исследуемых сталях наблюдаются два температурных интервала распада остаточного аустенита, которые разделены интервалом повышенной нестабильности. Проверку данного предположения подтвердим соответствующими количественными расчетами.



Термомагнитная кривая нагрева и охлаждения закаленной стали

Для получения решения магнитного эффекта рассматриваемого преобразования при отпуске закаленных сталей рассмотрим магнитный момент образца в состоянии "1" (рисунок) и обозначим его через $(I_0V_0)_1$, I_0 — интенсивность намагничивания образца; V_0 — объем образца. Понятно, что выполняется равенство:

$$(I_0V_0)_1 = (\delta_0P_0)_1, \quad (1)$$

где δ_0 — удельная намагниченность образца; P_0 — масса образца.

По данным рентгеноструктурного анализа для исследуемого материала, закаленного из области гомогенного аустенита, фазовыми составляющими являются мартенсит и остаточный

аустенит, поэтому выражение (1) можно записать в виде:

$$(I_0V_0)_1 = (\delta_0P_0)_1 = \delta_M P_M + \delta_A P_A, \quad (2)$$

где δ_M , δ_A и P_M , P_A — плотность и масса мартенсита и аустенита соответственно. Поскольку масса аустенита по сравнению с мартенситом мала, то в первом приближении выражение (2) можно записать в виде:

$$(I_0V_0)_1 = \delta_\phi(1 - C \cdot 10^{-2}). \quad (3)$$

Во всех исследованиях, в которых с помощью количественного магнитного анализа изучались процессы отпуска железоуглеродистого мартенсита, использовалась зависимость

$$\delta_M = \delta_\phi(1 - C \cdot 10^{-2}), \quad (4)$$

где δ_M — намагниченность мартенсита; $C\%$ — содержание углерода (массовая доля, %); δ_ϕ — намагниченность α — модификации железа (феррита). В исследуемых сталях значение C мало, поэтому можно записать, что $\delta_\phi = \delta_M$.

Представим массу образца (P_0), как сумму масс мартенсита (P_M) и аустенита (P_A), тогда:

$$P_M = P_0 - P_A = P_0(1 - A \cdot 10^{-2}). \quad (5)$$

С учетом (1-5) получаем

$$(I_0V_0)_1 = \delta_\phi(1 - A \cdot 10^{-2}), \quad (6)$$

где A — содержание аустенита (массовая доля, %).

Магнитный момент образца в состоянии "2" можно представить в виде:

$$(I_0V_0)_2 = \delta_\phi P_\phi + \delta_u P_u, \quad (7)$$

где δ_u и P_u — удельная намагниченность и масса цементита. Поскольку масса цементита по сравнению с массой феррита мала, тогда можно записать

$$(I_0V_0)_2 = \delta_\phi P_\phi. \quad (8)$$

Масса образца в этом состоянии состоит из суммы масс феррита (P_ϕ) и цементита (P_u), то есть $P_0 = P_\phi + P_u$ или

$$P_\phi = P_0 - P_u. \quad (9)$$

В связи с тем, что $P_u = 15C \cdot 10^{-2} P_0$ [1],

$$P_\phi = P_0(1 - 15C \cdot 10^{-2}) P_0. \quad (10)$$

Выражая магнитный эффект как разность магнитных моментов в состояниях "1" и "2", получим

$$(I_0V_0)_2 - (I_0V_0)_1 = k\Delta_{21}, \quad (11)$$

$$k\Delta_{21} = [\delta_\phi(1 - 15C \cdot 10^{-2}) - \delta_\phi(1 - A \cdot 10^{-2})]P_0, \quad (12)$$

где k – постоянная прибора.

Постоянную прибора k можно определить расчетным путем или по соответствующей градуировке. Удобно вести расчет, используя в качестве градуированной кривой термомагнитную кривую охлаждения такого образца, после нагрева которого до 823-873 К весь углерод становится связанным в цементите, магнитные свойства которого хорошо известны.

В качестве такого образца был выбран образец из закаленной стали У8А. Нетрудно убедиться, используя вышеизложенные приемы расчета, что постоянная k для нашего прибора определяется соотношением

$$k = \frac{\delta_y \cdot 15C^* \cdot 10^{-2} P_0}{\Delta_y^*}, \quad (13)$$

где содержание величины Δ_y^* понятно из рисунка; C^* – процентное содержание углерода в стали У8А. Превращая (12) с учетом (13) и решая полученное выражение относительно A , получаем

$$A = 15C + \frac{\delta_y}{\delta_\phi} \cdot 15C^* \cdot \frac{\Delta_{21}}{\Delta_y^*}. \quad (14)$$

Эта формула дает возможность рассчитать количество остаточного аустенита, что останется после закалки в исследуемом материале.

Анализ полученных результатов показывает, что в исследуемых закаленных сталях наблюдаются две области распада остаточного аустенита, поскольку магнитные моменты в состояниях "1" и "2" (обусловленные распадом всего остаточного аустенита, что сохраняется в сталях после закалки) и "4-3" (обусловлены распадом остаточного аустенита в первом температурном

интервале), за исключением стали 5ХНМ, сильно отличаются по величине. Поэтому рассмотрим магнитные моменты образцов в состояниях "3" и "4", с целью получения выражения для определения неустойчивого остаточного аустенита, который распадается в первом температурном интервале.

Для состояний "3" и "4" можно записать:

$$(I_0V_0)_3 = \delta_\phi P_\phi^{(3)} \text{ и } (I_0V_0)_4 = \delta_\phi P_\phi^{(4)}. \quad (15)$$

Массу образца в состоянии "3" можно записать как $P_0^{(3)} = P_\phi^{(3)} - P_A - P_k^{(3)}$ при этом $P_A = P_A^* - P_A^{**}$, де P_A^* – масса неустойчивого остаточного аустенита; P_A^{**} – масса устойчивого остаточного аустенита; $P_k^{(3)}$ – масса образованных карбидов. Тогда

$$P_0^{(3)} = P_\phi^{(3)} + P_A^* + P_A^{**} + P_k^{(3)}. \quad (16)$$

Аналогично

$$P_0^{(4)} = P_A^{**} + P_k^{(4)}. \quad (17)$$

Определим разницу магнитных моментов образца в состояниях "4-3".

$$k\Delta_{43} = \delta_\phi A^* P_0 \cdot 10^{-2}. \quad (18)$$

Тогда с учетом выражения (13) получим

$$A^* = \frac{\Delta_{y3}}{\Delta_y^*} \frac{\delta_y}{\delta_\phi} \cdot 15C^*. \quad (19)$$

Полученное выражение (19) дает возможность определить количество остаточного аустенита (неустойчивого), который распадается в первом температурном интервале. Разница между выражениями (14) и (13) дает возможность определить количество устойчивого остаточного аустенита, который распадается во втором температурном интервале.

$$A_2 = A - A^* \quad (20)$$

Результаты расчетов по формулам (14), (19) и (20) представлены в таблице.

Результаты расчетов по формулам (14), (19) и (20)

Марка стали	C, %	C*, %	Δ_y , мм	Δ_{21} , мм	Δ_{43} , мм	A*, %	A ₂ , %	A, %
15X2МФА	0,17	0,8	200	244	84	2,8	8,4	11,2
15X3НМФА	0,15			260	54	2,0	9,0	11,4
12ХГНМФ	0,10			154	82	3,0	3,0	6,0
5ХНМ	0,55			276	264	12,0	6,0	18,0
40Х	0,42			162	116	8,0	4,0	12,0

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные данные подтверждают предположение о том, что в исследуемых сталях наблюдаются две области распада остаточного аустенита. Причем в более сложно легированных сталях (15X2МФА, 15X3НМФА) распад остаточного аустенита в основном проходит во втором температурном интервале, что свидетельствует о значительном влиянии легирующих элементов на кинетику распада остаточного аустенита.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белоус М. В., Черепин В. Т., Васильев М. А. Превращения при отпуске стали. Москва: Металлургия, 1973. 232 с.
2. Недибалюк А. Ф. Вплив відпуску на мікропластичність та відпускну крихкість сталі 15X2МФА. Наукові записки НПУ ім.М.П. Драгоманова. Фізико-математичні науки. Київ, 2002, том В.3, с. 88-95.

Prezentat la redacție la 26 noiembrie 2013