

нии ЭДУ в слабоконцентрированных сплавах объясняются, очевидно, особенностями дислокационной структуры этих сплавов. Полученные значения  $a$  в этих случаях определяются пределом чувствительности метода.

В сплавах, легированных галлием или германием (5%), большие значения  $a$  отмечены для сплава с германием, что объясняется как большей разницей валентностей, так и меньшей растворимостью германия в меди; этот сплав располагается ближе к фазовой границе. Оценка энергии дефектов упаковки по  $a$  приводит к значениям порядка  $7 \cdot 10^{-3}$  и  $12 \cdot 10^{-3}$  Дж/м<sup>2</sup> для сплавов Cu + 5% Ge и Cu + 5% Ga соответственно.

Проведенное исследование позволяет анализировать структурообразование сплавов при термоциклической обработке с учетом влияния энергии дефектов упаковки на эффект их деформационного упрочнения и разупрочнения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Вишняков Я.Д. Дефекты упаковки в кристаллической структуре. — М., 1970. — 215 с. 2. Горелик С.С., Расторгуев Л.Н., Скканов Ю.А. Рентгенографический и электронно-оптический анализ. — М., 1970. — 368 с. 3. Куколь В.В. Определение положения максимума  $K_{a_1}$ -положения дублета по профилю дублетной дифракционной линии // Завод. лаб. — 1966. — Т. 31, № 6. — С. 706—708. 4. Gallagher P.G.J. The Influence of Alloying, Temperature and Related Effects on the Stacking Fault Energy / Met. Frans. — Vol. 1, N 9. — 1970. — P. 2429—2461.

УДК 669.14.018.8:669-157.97

И.И.ШИМАНСКИЙ

### ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МАРТЕНСИТНОСТАРЕЮЩЕЙ СТАЛИ H27Ю2Т2Б

В связи с увеличением производства мартенситностареющих сталей актуальной становится задача выбора наиболее эффективного и оптимального метода их термической обработки. Мартенситностареющие сплавы представляют сложные многокомпонентные системы, термическая обработка которых основана на реализации прямого и обратного  $\gamma \rightleftharpoons \alpha$ -превращений, распаде пересыщенного твердого раствора легирующих элементов в железе. Перспективными в отношении воздействия на характер превращений являются способы термической обработки с использованием циклических тепловых воздействий.

На примере стали H27Ю2Т2Б была исследована возможность улучшения структуры и свойств мартенситностареющих сталей за счет сочетания различных вариантов термоциклирования в области температур закалки и старения. Сталь H27Ю2Т2Б относится к высокопрочным стареющим аустенитно-мартенситного класса. Температурный интервал мартенситного  $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращения составляет  $-25 \dots -160$  °С, обратного  $\alpha \rightarrow \gamma$ -превращения —  $500 \dots 670$  °С. Традиционная термическая обработка включает закалку от температур  $850 \dots 900$  °С и старение при  $520 \dots 540$  °С.

Высокотемпературная термоциклическая обработка (ВТЦО) проводилась

в интервале температур  $950 \pm 700$  и  $950 \pm 20$  °С, низкотемпературная (НТЦО) –  $550 \pm 440$  и  $550 \pm 20$  °С; количество циклов при этом изменялось от 3 до 10. При всех исследуемых режимах термообработки после закалки в воду следовало глубокое охлаждение в жидком азоте.

Многokrратно реализующиеся фазовые  $\gamma \rightleftharpoons \alpha$ -превращения существенно изменяют структуру как закаленной, так и состаренной мартенситностаренной стали. Высокотемпературная термоциклическая обработка приводит к повышению однородности аустенита, его фазовому наклепу. Заметна большая фрагментация зерен аустенита, определяющая однонаправленность пластин мартенсита внутри фрагментов и его дисперсность. Кристаллы мартенсита имеют преимущественно дислокационную структуру, отличающуюся повышенной плотностью дислокаций и равномерностью их распределения. На некоторых участках отчетливо проявляется двойниковая структура мартенсита как результат фазового наклепа при  $\gamma \rightleftharpoons \alpha$ -превращении. Эффект термоциклирования состоит в изменении соотношения фаз, дисперсности субструктуры.

При исследовании процесса старения сплава, прошедшего ВТЦО, отмечается повышенная стабильность мартенсита с сохранением характера его дислокационной структуры и двойников превращения. Сохраняются также кристаллогеометрические соотношения между  $\gamma$ - и  $\alpha$ -фазами. По границам фрагментов имеются высокодисперсные выделения.

Термоциклирование в области температур старения изменяет дисперсность мартенсита, вызывает повышение плотности дислокаций и их перераспределение, приводит к более интенсивному распаду мартенсита с выделением пластин интерметаллидов. В некоторых крупных кристаллах мартенсита наблюдаются сгущения двойников, появившихся в процессе закалки сплава и сохранившихся после его старения. На микроэлектронограммах стали после НТЦО наблюдаются рефлексы, свидетельствующие о выделении фазы  $Ni_3Al$ . Характер рефлексов и их расположение указывают на ориентированность выделений. При большом количестве циклов обработки возможна реализация

Табл. 1. Влияние режимов термической обработки на содержание остаточного аустенита и твердость стали Н27Ю2Т2Б

Режимы термической обработки		Содержание остаточного аустенита, %	Твердость HRC
закалка	старение		
875 °С, 1 ч	–	48	38
	525 °С, 1 ч	22	52
	550 $\pm$ 20 °С, 3 цикла	28	53
	550 $\pm$ 20 °С, 10 циклов	32	53
	550 $\pm$ 440 °С, 6 циклов	24	55
950 $\pm$ 20 °С, 10 циклов	–	48	32
	525 °С, 1 ч	20	57
	550 $\pm$ 20 °С, 3 цикла	29	53
	550 $\pm$ 20 °С, 10 циклов	30	55
	550 $\pm$ 400 °С, 6 циклов	25	55

$\alpha\text{-}\gamma$ -превращения, сопровождающегося растворением фаз, выделившихся при старении.

Сочетание высоко- и низкотемпературной ТЦО приводит к повышению дисперсности мартенсита, а также к увеличению скорости его распада с выделением интерметаллидов высокой дисперсности.

Содержание аустенита определяли рентгеновским методом, сравнивая среднюю интегральную интенсивность отражений (220) и (311) аустенита и интенсивность отражения (211) мартенсита. Результаты, приведенные в табл. 1, показывают, что содержание аустенита зависит от режима циклирования (температурный интервал, число циклов). Твердость термоциклированных образцов изменяется незначительно и находится в пределах 52–55 НRC.

Указанные структурные особенности термоциклической обработки мартенситностареющей стали H27Ю2Т2Б позволяют повысить ее прочностные и пластические характеристики.

*УДК 621.762*

**Л.Ф.КЕРЖЕНЦЕВА, Г.Г.МАКАЕВА,  
Е.С.ТУРОВСКАЯ**

## **РАЗРАБОТКА РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ШЛАМОВЫХ ОТХОДОВ СТАЛИ Р6М5**

Известно [1, 2], что порошок, полученный из шламовых отходов быстрорежущей стали Р6М5, обладает нулевой текучестью, неудовлетворительной прессуемостью и имеет низкую насыпную плотность. Частицы отходов быстрорежущей стали имеют разнообразную форму: тонкую "вьюнообразную", тонкую изогнутую, вытянутую и осколочную различных размеров (5–180 мкм). Кроме того, порошок из отходов после сушки и магнитной сепарации характеризуется повышенным содержанием кислорода (~ 5,4 %). Для улучшения технологических свойств и уменьшения содержания кислорода, снижающего конструкционную прочность материалов, порошок из шламовых отходов стали Р6М5 подвергали отжигу в среде диссоциированного аммиака. С целью повышения текучести и прессуемости указанный порошок смешивали с порошком железа марки ПЖРВ, фракционный состав которого соответствовал фракционному составу порошка Р6М5.

Для проведения исследований по изучению свойств порошковых материалов на основе отходов стали Р6М5 было выбрано 3 состава: I – 100 % Р6М5; II – 70 % ПОР6М5 + 30 % ПЖРВ; III – 60 % ПОР6М5 + 40 % ПЖРВ. Из всех трех составов прессовали образцы диаметром 10 мм, высотой 10–12 мм. Относительная плотность и твердость образцов после их спекания и повторного прессования соответственно составляли: состав I – 78–80 %; 62–65 НRB; II – 83–85 %, 48–50 НRB; III – 87–89 %, 52–54 НRB. Для улучшения свойств порошковые материалы указанных составов подвергали термообработке. Основные закономерности термической обработки порошковых материалов аналогичны закономерностям обработки компактных материалов. Однако