



The possibility of intensification of the nickel alloys E1437B, E1617, E186 deterioration at thermal heat cycling is considered in the article. The changing of the alloys hardness at heat-cycling treatment in intervals of the temperatures of chilling and deterioration is investigated. It is shown that application of heat cycling allows to increase the hardness and resistance at high temperatures as compared to standard treatment.

А. Г. АНИСОВИЧ, ФТИ НАН Беларуси,
Е. И. МАРУКОВИЧ, ИТМ НАН Беларуси

УДК 669.245:621.785-97

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ СТАРЕНИЯ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ

В основу термоциклической обработки твердых растворов на основе никеля, как и чистого никеля, положены общие закономерности структурообразования [1–4], движущая сила которых – инициированная термическими напряжениями микропластическая деформация, возникающая вследствие превышения напряжениями предела текучести материала [5]. Периодичность действия термических напряжений обеспечивает формирование специфических суб- и микроструктур. При термоциклировании никеля в интервале температур 900–20°С наблюдали формирование дислокационных сеток разной пространственной ориентации с различными векторами Бюргера внутри субзерен, угол разориентировки которых увеличивался с ростом количества циклов. Упрочнение, обеспечиваемое такой структурой, больше, чем при пластической деформации. Аналогичные результаты получены при ТЦО в интервале 700–20°С. Эволюция дислокационной структуры идет в направлении повышения плотности дислокаций на начальных этапах термоциклирования, фрагментации и роста фрагментов при увеличении числа циклов с последующей стабилизацией их размеров. Фрагментация происходит в условиях как консервативных, так и неконсервативных перемещений дислокаций, с образованием фрагментов, отличающихся углами разориентировки и характером границ, которые могут быть классифицированы как субзерна или полигональные блоки (фрагменты с малоугловыми границами). В последнем случае наблюдается изменение зеренной структуры при соответствующем снижении твердости. Трансформация субструктуры никеля после

термоциклирования в интервале 100 – 196°С проявляется в повышении плотности дислокаций и образовании дислокационных сеток. В последнем случае упрочнение и твердость снижаются. При ТЦО никеля в интервале 700–400°С наблюдали начало рекристаллизации. Весьма перспективным для создания стабильной структуры является сочетание термических воздействий с изотермическими выдержками [6].

Основные закономерности структурообразования при термоциклировании сохраняются и для никелевых сплавов. При этом эффект обработки зависит от концентрации легирующих элементов, степени структурного несоответствия атомов легирующего элемента и никеля. Структурные напряжения при этом усиливают генерирование дислокаций, способствуют формированию развитой субзеренной структуры, обладающей высокой диффузионной проницаемостью.

Применительно к стареющим никелевым сплавам могут быть использованы эффекты термоциклирования, связанные не только с формированием особой дислокационной структуры матрицы, но и с гомогенизацией и повышением концентрации легирующих элементов в твердом растворе, процессами растворения-выделения, со спецификой распада пересыщенного твердого раствора.

В настоящей работе рассмотрена возможность интенсификации старения никелевых сплавов системы никель-хром при термоциклировании.

Исследование проводили на сплавах ЭИ437Б, ЭИ617, ЭИ86 (табл. 1).

Таблица 1. Состав исследуемых никелевых сплавов (ГОСТ 5632-72)

Марка сплава	Содержание элементов, %					
	Cr	Ti	Al	Fe	C	Прочие
ХН77ТЮР (ЭИ437Б)	19–22	2,3–2,7	0,55–0,95	4,0	0,06	≤Ce, 5–7W, 2,04Mo
ХН70ВМТЮ (ЭИ617)	13–16	1,8–2,3	1,7–2,3	5,0	0,12	0,1–0,5V, <0,02B
ХН62ВМКЮ (ЭИ867)	10	–	11,5	–	≤0,1	10 Mo, 5W 4,6Co, 0,02B

Режимы термической обработки: ЭИ437Б – закалка и ТЦО 800–20°C, 750–20°C, 850–750°C; циклическая закалка 1150–20°C и старение при 700°C; ЭИ617 – закалка от 1190°C и ТЦО 750–20°C; закалка от 1190°C и ТЦО 850–750°C; закалка от 1190°C, закалка от 1050°C и ТЦО 850–750°C; ЭИ837 – закалка 1220°C, ТЦО 1000–20°C; закалка 1220°C, ТЦО 1000–750°C.

Обработка сплава ЭИ437Б приводит к повышению твердости (рис. 1, 2). Наиболее значителен прирост твердости для ТЦО 1150–20°C, 5 циклов с последующим старением 700°C 12–14 ч. Значение HRC достигает 38 ед.; для стандартного старения при тех же временах выдержки HRC=36 ед. По данным [7], при стандартном старении твердость сплава ЭИ437Б достигает уровня 40 ед. HRC при выдержке 100 ч. В данном случае при ТЦО существенна экономия времени – процесс упрочнения может быть реализован за 30 мин. Изменение твердости сплава связано с процессами выделения упрочняющих фаз из твердого раствора при старении. Электронно-микроскопическое исследование сплава после закалки и термоциклирования в интервале температур старения подтверждает гомогенность распада пересыщенного твердого раствора; выделения γ -фазы на дислокациях или субзеренных границах отсутствуют (рис. 3), однако на границах заметны дисперсные частицы избыточной фазы. Учитывая возможность образования в сплаве карбидов хрома и их предпочтительное выделение на субграницах, можно полагать реализацию этого процесса при термоциклировании. Образование карбидов замедляет рост частиц γ -фазы, отмеченный при ВТМО сплава ЭИ437Б [8]. Структурные изменения определяют изменение свойств сплава при повышенных температурах (табл. 2).

Максимальный уровень твердости, достигаемый при стандартной обработке сплава ЭИ617, 40 ед. HRC при отжиге в течение 10 ч. ТЦО в интервале 850–20°C не достигает этого значения. Наибольшее значение твердости (42 ед. HRC) получено при ТЦО 750–20°C, 10 циклов после однократной закалки (рис. 4).

Режимы обработки и твердость сплава ЭИ867 приведены в табл. 3. Стандартная обработка сплава (закалка и старение при 950°C 8 часов с охлаждением на воздухе) [7] обеспечивает уровень твердости ~ 34,5 ед. HRC. ТЦО в интервале температур 1000–20°C, 5 и 10 циклов практически не изменяет твердости сплава по сравнению со стандартной обработкой. Обработка 1000–750°C обеспечивает прирост твердости по сравнению со стандартной обработкой на 4–5 ед. HRC. Такой уровень твердости обусловлен повышением количества упрочняющей фазы и ее дисперсности при ТЦО.

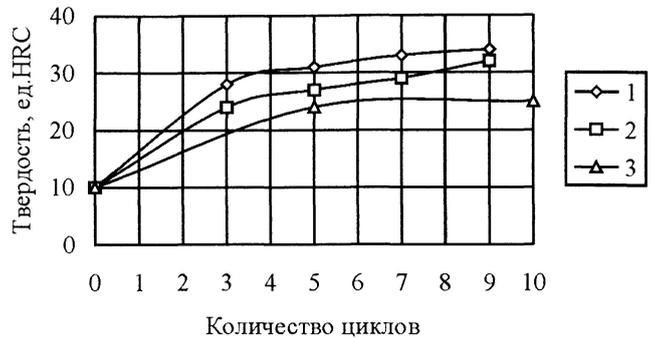


Рис. 1. Изменение твердости сплава ЭИ437Б после закалки и ТЦО 800–20°C (1), 750–20°C (2) и 850–750°C (3)

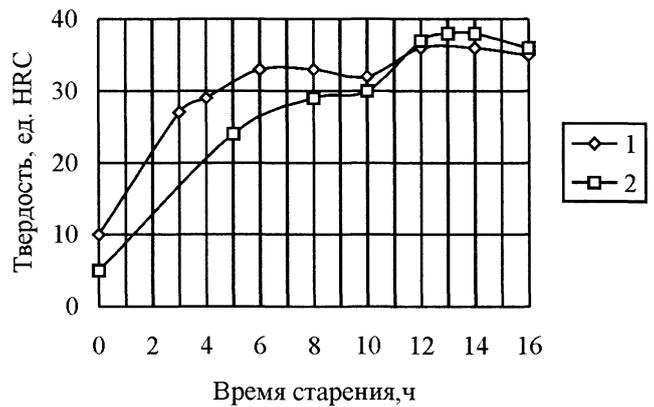


Рис. 2. Изменение твердости сплава ЭИ437Б при старении при 700°C после закалки (1), ТЦО 1150–20°C, 5 циклов (2)

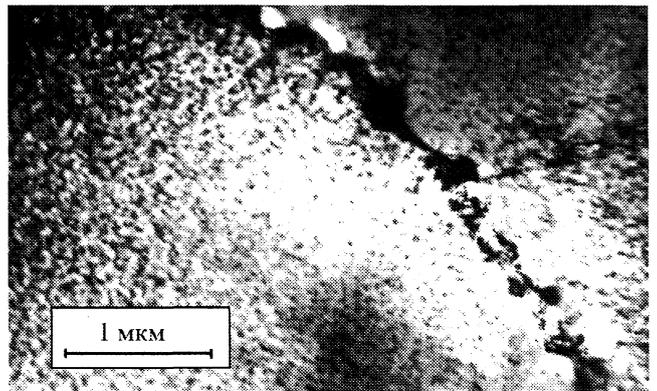


Рис. 3. Субструктура сплава ЭИ437Б после закалки от 1080°C и ТЦО 750–20°C



Рис. 4. Изменение твердости сплава ЭИ617 после закалки и ТЦВ: 1 – закалка от 1190°C и ТЦО 750–20°C; 2 – закалка от 1190°C и ТЦО 850–750°C; 3 – закалка от 1190°C, закалка от 1050°C и ТЦО 850–750°C

Таблица 2. Свойства сплава ЭИ437Б при повышенных температурах

Вид термообработки	Свойства при 700°C		Время до разрушения при 700°C и $\sigma=400$ МПа, ч
	σ , МПа	δ , %	
Закалка от 1080°C, старение 700°C, 16 ч	750	25	60
ТЦО 1150–20°C, 5 циклов, старение при 700°C, 12 ч	735	33	129
Закалка от 1080°C, ТЦО 750–20°C, 5 циклов	826	32	99

Таблица 3. Твердость сплава ЭИ867

Обработка	Кол-во циклов	Твердость, ед. HRC
Стандартная: закалка от 1220°C и старение 950°C, 8 ч	–	34,5
Закалка от 1220°C, ТЦО 1000–20°C	5	35,8
	10	33,5
Закалка от 1220°C, ТЦО 1000–750°C	5	38,7
	10	39

Таким образом, для упрочнения никелевых сплавов ЭИ437Б, ЭИ617, ЭИ86 может быть рекомендована термоциклическая обработка.

Литература

1. Механическая неустойчивость дислокационной ячеистой структуры / Е.Э. Засимчук, С.И. Селицер // Металлофизика. 1981. Вып. 4. № 6. С. 75–80.
2. Многорядные дислокационные границы, образованные в крупнокристаллическом никеле при его термоциклировании / Р.И. Гонтарева, Л.В. Тихонов // Физика металлов и металловедение. 1971. Т. 31. Вып. 3. С. 658–660.
3. О влиянии предварительных термообработок на кристаллоструктурные изменения, происходящие в мелкокристаллическом никеле при периодическом тепловом нагруже-

нии / Р.И. Гонтарева, Л.В. Тихонов // Металлофизика. 1973. Вып. 47. С. 36–42.

4. Анциферов П.Н., Засимчук Е.Э., Засимчук И.К. и др. Динамический возврат и рекристаллизация: Тез. докл. Всесоюз. конф. Красноярск, 1980. С. 195–196.

5. Механизм развития усталости в металлах и сплавах при термоциклировании / Л.В. Тихонов, Е.Э. Засимчук // Проблемы прочности. 1983. № 4. С. 79–83.

6. Влияние чередований термоциклической обработки и отжига на структуру поликристаллического никеля / Р.И. Гонтарева, И.А. Осипенко, Л.В. Тихонов // Металлофизика. Киев. 1974. Вып. 56. С. 42–47.

7. Тоффенен Р.Л. Разупрочняющие процессы в стареющих сплавах. Мн.: Наука и техника. 1979.

8. Левич В.И., Бахтеева Н.Д. Физика металлов и металловедение. 1981. Т. 51. Вып. 2. С. 385–393.



12.01.2006 г. на ОАО «МЗОО» состоялось **объединенное заседание Совета БелОЛИМ, редсовета, редколлегии и редакции журнала «Литье и металлургия».**

Присутствовало 17 членов Совета и приглашенные лица.

Повестка дня:

1. Об итогах работы БелОЛИМ за 2005 год и плане работы на 2006 г.
2. Об итогах работы журнала «Литье и металлургия» за 2005 г. и планах работы на 2006 г.
3. Об организации и проведении Международной ежегодной научно-технической конференции «Литейное производство и металлургия 2006. Беларусь» в г. Барановичи.
4. Об участии БелОЛИМ в международных мероприятиях 2006 г.
5. Разное.

Присутствовавшие постановили признать работу Совета БелОЛИМ в 2005 г. удовлетворительной. Очередную конференцию БелОЛИМ поручено провести в г. Барановичи 17–18 мая с.г. на Барановичском станкостроительном заводе ЗАО «Атлант». Утвержден план проведения мероприятий по конференции и выставке.

Утверждены стоимости подписки на журнал «Литье и металлургия» и размещения рекламы на 2006 г.

Редакции поручено обновить веб-страницу журнала в Интернете и улучшить производство его электронной версии.

Членам Совета было рекомендовано принять участие в работе Всемирного конгресса литейщиков и металлургов (4–7 июня, Великобритания).

Секретариату БелОЛИМ поручено собрать у членов БелОЛИМ предложения по целесообразности использования фондов электронной информации Национальной библиотеки РБ, а также создать веб-страницу БелОЛИМ с привлечением уже имеющихся веб-страниц белорусских литейных и металлургических заводов и цехов.

Секретариат Совета БелОЛИМ