

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ ГОРЯЧЕЙ ДЕФОРМАЦИИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ И СВОЙСТВА ОБРАЗЦОВ СПЛАВА ХН55ВМТКЮ-ВД

*Б.В. Ощепков, Т.А. Жильцова*

## ANALYSIS OF INFLUENCE OF HOT DEFORMATION CONDITIONS ON CHARACTERISTICS AND PROPERTIES OF THE NICKEL-BASED HEAT-RESISTANT ALLOY.

*B.V. Oschepkov, T.A. Zhiltsova*

Проанализировано влияние условий горячей деформации на характеристики и свойства образцов сплава ХН55ВМТКЮ-ВД. Показана возможность управления величиной длительной прочности за счет изменения температуры конца прокатки и режимов охлаждения.

*Ключевые слова:* никелевые сплавы, горячая деформация, механические свойства.

The influence of hot deformation conditions on characteristics and properties of the nickel-based heat-resistant alloy is analyzed. The possibility of controlling the long-term strength value by changing the rolling finishing temperature and cooling conditions is shown.

*Keywords:* nickel-based heat-resistant alloy, hot deformation, mechanical properties.

Испытание свойств образцов жаропрочного сплава ХН55ВМТКЮ-ВД позволяет наблюдать случаи колебания длительной прочности. При среднем уровне длительной прочности 79 часов металл 3,5% плавок имел близкие к предельным значения этого параметра (до 45 часов при норме  $\geq 40$  часов). В то же время металл отдельных плавок имел длительную прочность выше 100 часов.

В работе [1] показано, что изменение порядка присадки легирующих элементов (хрома и молибдена) в расплав открытой индукционной плавки (ОИП) влияет на длительную прочность сплава ХН55ВМТКЮ после вакуумного дугового переплава (ВДП).

Целью настоящей работы было определение возможностей управления величиной длительной прочности сплава путем изменения условий горячей деформации.

В ходе экспериментов из промышленных прутков сплава ХН55ВМТКЮ-ВД диаметром 35 мм с удовлетворительными результатами по длительной прочности вырезались заготовки  $18 \times 18 \times 300$  мм и прокатывались на лабораторном стане со степенью обжатия 30 %.

Использовались различные температуры прокатки (1090, 1050, 1020 °С), а также режимы охлаждения (в воде, на воздухе, в печи до 490 °С).

Термообработка образцов проводилась одновременно в одной печи по стандартному для сплава ХН55ВМТКЮ-ВД режиму – нагрев и выдержка

при 1220 °С в течение 2 часов и охлаждение на воздухе, затем нагрев и выдержка при 1050 °С в течение 4 часов и охлаждение на воздухе и, наконец, старение при 850° в течение 8 часов, а после охлаждения на воздухе.

До и после термообработки экспериментальные образцы, а также (для сравнения) – образцы, прошедшие только промышленную прокатку, изучались металлографическими, электронно-микроскопическими и рентгенографическими методами. Образцы, прошедшие термообработку, испытывались на длительную прочность.

Данные по длительной прочности получены в ходе испытаний по стандартной методике. Методом металлографии на микроскопе Мим-8 определялся средний размер зерна и подсчитывался коэффициент разноточности. Электронная микроскопия углеродных реплик использовалась для изучения размера и распределения включений интерметаллидной фазы.

Данные, приведенные в таблице, показывают, что влияние температуры конца прокатки в избранном интервале 1020–1090 °С для образцов с одинаковым способом охлаждения практически не проявляется: длительная прочность сплава ХН55ВМТКЮ-ВД колеблется в интервале отклонений, характерных для стандартных испытаний.

Более существенным является влияние способа охлаждения. Охлаждение с печью и в воде дает сильный разброс значений длительной прочности.

Результаты испытаний и исследования сплава ХН55ВМТКЮ-ВД

№	Температура конца прокатки, °С	Способ охлаждения	Средний размер зерна после прокатки, мкм		Коэффициент разносторонности после прокатки	
			вдоль прокатки	поперек прокатки	вдоль прокатки	поперек прокатки
0	По ТУ	Воздух	32,2	17,9	0,47	0,44
1	1090	Печь	25,1	16,1	0,70	0,56
2	1050	Печь	27,6	17,2	0,55	0,63
3	1020	Печь	32,2	19,4	0,61	0,48
21	1090	Воздух	33,6	17,8	0,60	0,55
22	1050	Воздух	30,8	20,4	0,49	0,44
23	1020	Воздух	36,9	21,8	0,48	0,60
31	1090	Вода	24,9	21,2	0,58	0,57
32	1050	Вода	30,1	18,5	0,50	0,36
33	1020	Вода	38,1	24,9	0,48	0,55

Окончание таблицы

№	Параметр решетки, Å		Средний размер частиц $\gamma'$ -фазы, мкм	Длительная прочность, ч (два образца)	
	сразу после прокатки	после термообработки			
0	3,5830	3,5800	0,63	60	54
1	3,5811	3,5806	0,68	26	40
2	3,5817	3,5811	0,62	75	41
3	3,5822	3,5778	0,71	41	37
21	3,5834	3,5844	0,65	55	55
22	3,5827	3,5800	0,63	62	61
23	3,5831	3,5796	0,60	55	54
31	3,5855	3,5809	0,67	53	39
32	3,5841	3,5821	0,72	35	33
33	3,5855	3,5800	0,64	60	52

При этом часто значения длительной прочности не достигают требований ТУ или находятся на пределе требуемых значений.

Достаточно высокие и стабильные значения (54–62 часа) длительной прочности получены после опытной прокатки с охлаждением на воздухе.

Размеры зёрен металла после прокатки по всем вариантам невелики и разброс определённых значений незначителен (25–38 мкм). При этом для каждого способа охлаждения фиксируется обратная зависимость величины зерна от температуры деформации. Наблюдается также обратная зависимость между величинами разносторонности и длительной прочности.

Параметр решетки зёрен сплава как непосредственно после деформации, так и после термообработки практически не зависит от температуры деформации, изменяясь в пределах ошибки измерения. Вместе с тем, можно заметить влияние способа охлаждения на величину этого параметра. Среднее значение параметра решетки для металла, охлажденного с печью, составляет 3,5819, на воздухе – 3,5828 и в воде – 3,5850 Å. Для металла после промышленной прокатки эта величина равна 3,5830 Å – значение близкое опытному металлу, охлажденному на воздухе. Можно предположить, что быстрое охлаждение сдерживает развитие

процессов распада твердого раствора, что, по-видимому, и проявляется в некотором увеличении параметра зерна при увеличении скорости охлаждения в ходе динамической рекристаллизации.

Электронно-микроскопическое исследование реплик со сплава ХН55ВМТКЮ-ВД показало, что в горячекатаном металле без термообработки при всех скоростях охлаждения присутствует  $\gamma'$ -фаза в виде мелких сферических частиц размером 0,04–0,06 мкм. Результаты электронно-микроскопического исследования продемонстрировали, что дисперсная  $\gamma'$ -фаза текстурирована в соответствии с текстурой деформированной матрицы сплава. Границы зерен в состоянии после прокатки во всех случаях тонкие.

После термообработки (рис. 1) в структуре имеется два вида упрочняющей фазы: одна мелкая дисперсная, другая в форме квадратиков, расположенная упорядоченно в соответствии с ориентировкой зерна матрицы. Результаты исследования показывают, что параметр решетки мелких и крупных частиц  $\gamma'$ -фазы одинаков.

Изучение образцов с неудовлетворительной стойкостью показало, что для такого металла характерна неравномерность распределения  $\gamma'$ -фазы: отдельные группировки более крупных частиц  $\gamma'$ -фазы образуют полосы (рис. 2, образец, деформи-

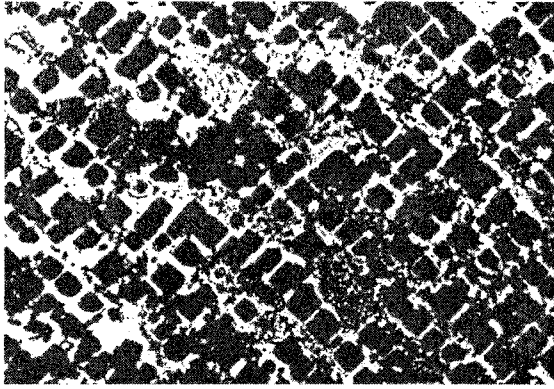


Рис. 1. Микроструктура образца сплава XH55BMTKY-VД после термообработки.  $\times 12\ 000$

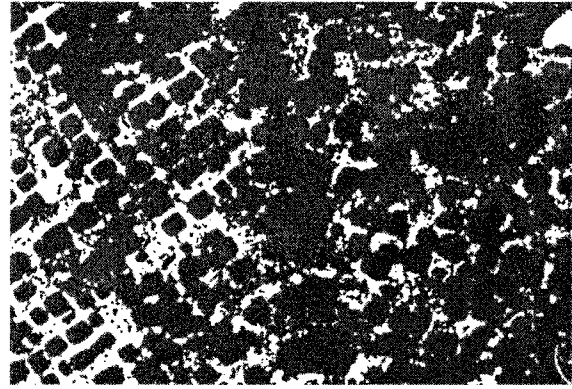


Рис. 2. Микроструктура образца сплава XH55BMTKY-VД, показавшего неудовлетворительную жаропрочность после термообработки.  $\times 12\ 000$

рованный при температуре  $1020\ ^\circ\text{C}$  и охлажденный в печи).

#### Выводы

1. Показана возможность управления величиной длительной прочности сплава XH55BMTKY-VД за счет изменения условий горячей деформации и режимов охлаждения.

2. Сплав XH55BMTKY-VД, прокатанный так, чтобы температура конца прокатки была не ниже  $1020\ ^\circ\text{C}$ , и охлажденный на воздухе, стабильно демонстрирует удовлетворительную жаропрочность.

Анализ и обобщение представленных результатов выполнены в ходе НИР, проведенной в рамках реализации научной программы Министерства образования и науки РФ «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2011 годы)», код проекта – 713 (10909).

#### Литература

1. Ощепков, Б.В. Влияние последовательности присадки легирующих на свойства сплава XH55BMTKY, выплавленного по схеме ОИП + ВДП / Б.В. Ощепков, Т.А. Жильцова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2009. – № 14. – С. 38–41.

*Поступила в редакцию 21 февраля 2011 г.*