

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЛИТОГО НИКЕЛЕВОГО СПЛАВА

М.А. Смирнов, Ю.Д. Корягин, С.Л. Кузнецов

Использование выкотемпературной термомеханической обработки (ВТМО), заключающейся в совмещении горячей пластической деформации с закалкой, исключающей развитие рекристаллизационных процессов, позволяет повысить кратковременную и длительную прочность многих дисперсионно-твердеющих жаропрочных сплавов на основе железа и никеля [1,2]. Такие данные были получены на материалах, которые перед осуществлением ВТМО подвергались обработке давлением. Представлялось целесообразным выяснить характер влияния ВТМО на структуру и свойства дисперсионно-твердеющих сплавов с исходной литой структурой. В производственных условиях такая обработка может быть реализована при изготовлении деталей штамповкой из литых заготовок. ВТМО можно применять и для поверхностного упрочнения литых изделий, например, путем обкатки роликами.

В настоящей работе рассмотрено воздействие ВТМО на механические свойства литого сплава ХН77ТЮР (ЭИ437Б). Слиток этого сплава диаметром 500 мм имел до половины своей толщины зону столбчатых кристаллов и внутреннюю зону равноосных кристаллов. Из обеих зон параллельно оси слитка вырезали заготовки сечением 12х16 мм. После нагрева на 1080 °С с выдержкой 8 часов их подвергали деформации прокаткой с обжатиями 15 и 30 % и скоростью 1 с⁻¹ с последующим охлаждением в воде. Такая обработка сопровождалась образованием субзеренной структуры и незначительным развитием рекристаллизационных процессов: рекристаллизованные зерна составляли не более 5 % объема металла. На большеугловых границах наблюдалось формирование характерной для ВТМО зубчатости. Обычная термическая обработка (ОТО) заключалась в закалке заготовок от 1080 °С.

Кратковременные и длительные испытания на растяжение проводили на пятикратных образцах с диаметром рабочей части 5 мм после стандартного режима старения (750 °С, 16 ч). Кроме того, определяли ударную вязкость *KCU* и на сканирующем микроскопе Tesla BS301 изучали характер изломов.

ВТМО по сравнению с ОТО заметно повысила прочностные характеристики литого сплава ХН77ТЮР при комнатной температуре испытания и в тем большей мере, чем выше степень обжатия при прокатке (табл. 1). Эффект термомеханического упрочнения наблюдался вне зависимости от характера литой структуры. Образцы, вырезанные из зоны с равноосными кристаллами, имели мень-

шие значения пределов текучести и прочности, чем образцы из зоны со столбчатыми кристаллами, но для них прирост прочностных свойств после ВТМО оказался наиболее значительным. В этом случае деформация 30 % обеспечила повышение пределов текучести и прочности на 20...27 %. Одновременно с прочностью после ВТМО увеличилась пластичность сплава. Наибольший рост относительного удлинения (в 1,5...4 раза) и относительного сужения (в 1/7...3 раза) имел место после деформации с обжатием 30 %. Использование ВТМО позволило также значительно повысить ударную вязкость. Испытания образцов, вырезанных из зоны со столбчатыми кристаллами, показали, что характер воздействия ВТМО на механические свойства сохраняется и в условиях кратковременного нагружения при 650 °С (табл. 2).

Дополнительно влияние ВТМО с деформацией 30 % на ударную вязкость оценивали после 16-часового старения в широком интервале температур (650...850 °С). Установлено, что существенный рост *KCU* после такой обработки (в 1,5...2раза) наблюдается при всех исследованных режимах старения. Разрушение состаренного литого сплава при динамическом нагружении происходило в основном хрупко по границам столбчатых кристаллов. На зернограничной поверхности изломов, как правило, присутствовали стержнеобразные

Таблица 1
Механические свойства сплава ХН77ТЮР при комнатной температуре испытания

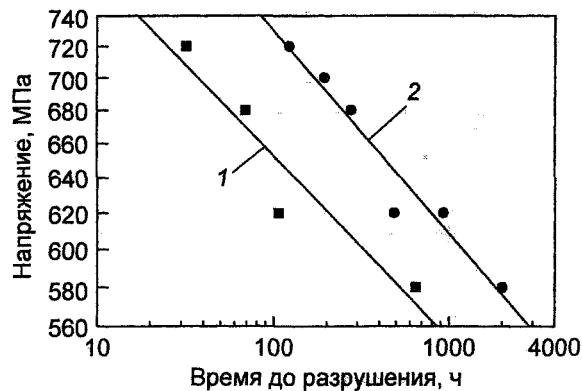
Режим обработки	$\sigma_{0,2}$, МПа	$\sigma_{в}$, МПа	δ , %	ψ , %	<i>KCU</i> , МДж/м ²
Образцы из зоны столбчатых кристаллов					
ОТО	740	840	4,0	9,0	0,30
ВТМО: $\epsilon=15\%$	820	930	12,0	19,5	0,53
$\epsilon=30\%$	850	1000	16,0	26,0	0,70
Образцы из зоны равноосных кристаллов					
ОТО	690	780	5,0	12,5	0,34
ВТМО: $\epsilon=15\%$	820	890	9,5	16,5	0,55
$\epsilon=30\%$	830	990	12,5	22,0	0,70

Таблица 2
Механические свойства сплава ХН77ТЮР при 650 °С

Режим обработки	$\sigma_{0,2}$, МПа	$\sigma_{в}$, МПа	δ , %	ψ , %	<i>KCU</i> , МДж/м ²
ОТО	560	720	11,2	20,0	0,42
ВТМО: $\epsilon=15\%$	660	800	15,0	26,0	—
$\epsilon=30\%$	690	850	16,8	26,0	0,80

частицы. После ВТМО преобладал вязкий чашечный излом, характерный для транскристаллитного развития трещин.

Учитывая данные работы [1], влияние ВТМО на жаропрочность образцов, вырезанных из зоны со столбчатыми кристаллами, оценивали при умеренной температуре (600 °С). Термомеханическая обработка увеличила время до разрушения в несколько раз (см. рисунок). Судя по наклону линий длительной прочности для ОТО и ВТМО, для упрочненного состояния характерна достаточно высокая стабильность.



Длительная прочность сплава ХН77ТЮР при 600 °С:
1 – ОТО, 2 – ВТМО с деформацией 30 %

Таким образом, для дисперсионно-твердеющего сплава ХН77ТЮР использование ВТМО позволяет повысить кратковременную и длительную прочность при умеренных температурах нагружения, а также обеспечить рост пластичности и ударной вязкости. Такое благоприятное воздействие термомеханической обработки реализуется при исходной структуре как со столбчатыми, так и с равноосными кристаллами. Причины наблюдаемого характера изменения свойств литого сплава при ВТМО аналогичны тем, которые имеют место при термомеханическом упрочнении дисперсионно-твердеющих никелевых сплавов с исходной деформированной структурой.

Литература

1. Влияние высокотемпературной термомеханической обработки на свойства жаропрочности сплава ХН77ТЮР / В.Д. Садовский, Е.Н. Соколов, СИ. Петрова и др. // Физика металлов и металловедение. - 1964. — Т. 17. -Вып. 6. - С. 845-852.
2. Смирнов М.А., Петрова С.Н., Смирнов Л.В. Высокотемпературная термомеханическая обработка и хрупкость сталей и сплавов. — М.: Наука, 1991.-167 с.