

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СКАНДИЯ РАЗЛИЧНОЙ ЧИСТОТЫ

В.М.Ажажа, Г.И.Волокита, С.Д.Лавриненко, П.Н.Вьюгов, Т.Г.Емлянинова

*Институт физики твердого тела, материаловедения и технологий
Национального научного центра «Харьковский физико-технический институт»,
61108, г. Харьков, ул. Академическая, 1*

В роботі досліджено вплив ступеню чистоти скандію на мікротвердість та механічні властивості при кімнатній та підвищеній температурі. Розглянуто вплив прокатки та послідовних відпалень на зміну механічних властивостей.

В работе исследовано влияние степени чистоты скандия на микротвердость и механические свойства при комнатной и повышенной температурах. Рассмотрено влияние прокатки и последующих отжигов на изменение механических свойств

The influence of degree of purity of scandium on microhardness and mechanical properties at room and heightened temperatures is investigated in this paper. Influence of rolling and subsequent annealings on change of mechanical properties is reviewed.

Введение

Скандий обладает рядом уникальных свойств - это и высокая температура плавления ($T_{пл} = 1539^\circ\text{C}$) и сопротивляемость атмосферной коррозии, малая удельная плотность ($3,0 \text{ г/см}^3$), а также мощное рафинирующее воздействие, что позволяет использовать скандий для получения сплавов специального назначения. В последнее время в странах СНГ и за рубежом значительно возрос интерес к скандию высокой степени чистоты ($>99,9 \text{ мас.}\%$). В СНГ промышленность выпускает скандий в виде слитков и порошка марок СкМ-1, СкМ-2, СкМ-3, содержащего большое количество примесей внедрения ($\sim 3...5 \text{ мас.}\%$). Более чистый металл получается после дугового и электронно-лучевого переплава, однако металл общей чистотой $>99,9\%$ получают только методами дистилляции или электролиза [1].

Кроме применения в качестве добавок в сплавах скандий используют в виде лент и проволоки. Однако его деформационные и механические свойства мало изучены. Известно, что металлы с гексагональной решеткой интенсивно упрочняются в процессе холодной деформации. При этом существенно возрастает их сопротивление деформации и уменьшаются пластичность и способность к обработке давлением [2]. По литературным данным технический скандий чистотой $94...96 \text{ мас.}\%$ не поддается прокатке при комнатной температуре, тогда как чистый скандий с содержанием кислорода менее $0,2 \text{ мас.}\%$ может быть прокатан на холоду [3]. Однако вследствие интенсивного упрочнения после достижения суммарной деформации порядка $30...35 \%$ необходимо проводить промежуточный часовой отжиг в высоком вакууме при 800°C . Повышение темпера-

туры прокатки до 700°C позволяет увеличить степень суммарного обжата между отжигами до 50% [4]. Также следует учитывать наличие провала пластичности при деформации скандия высокой чистоты в районе температур $350...600^\circ\text{C}$, обусловленного деформационным старением.

Приводимые в литературе сведения о механических свойствах скандия разрознены и противоречивы. Как правило, это данные о твердости или микротвердости, часто без указания конкретной чистоты металла, его предыстории и методики измерения. В работе [5] показано, что твердость монокристаллического скандия имеет сильную анизотропию - так твердость в плоскости (0001) втрое выше, чем в плоскости призмы ($10\bar{1}0$), а микротвердость вдвое и составляет 2100 и 1020 МПа соответственно. Очистка металла от примесей вызывает резкое снижение твердости и уменьшение параметров кристаллической решетки [3]. Скандий технической чистоты при комнатной температуре имеет следующие механические свойства: $\sigma_{0,2} = 238$, $\sigma_B = 310 \text{ МПа}$, $\delta = 20 \%$ [4,5].

Сведения о механических свойствах компактного скандия, полученного методом дистилляции, практически отсутствуют. Поэтому представляет интерес подробнее изучить особенности деформации и некоторые свойства металла различной чистоты. Целью настоящей работы являлось изучение влияния очистки, деформации и термообработки скандия на его структуру и механические свойства.

Методика эксперимента

Исходным металлом для исследований служил переплавленный в дуговой печи и дистиллированный в вакууме скандий марки СкМ-2 [6]. Дистиллированный металл представлял собой плотный конденсат толщиной до 6,5 мм, а технический металл - слиток такой же толщины. Дистиллят прокатывали на холоду до толщины 1,5 мм с единичным обжатием 10 % и промежуточным отжигом (800 °С x 1ч в вакууме) после 60...65 % деформации. Образцы для механических испытаний на растяжение с длиной базы 8 мм вырезали электроэрозионным методом из исходных и деформированных слитков вдоль и поперек направления прокатки. Механические испытания проводили при комнатной температуре. Скорость деформации составляла $3 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$. Микротвердость литого и дистиллированного материалов измеряли в 2-х, а прокатанного металла в 3-х взаимно перпендикулярных направлениях. Металлографические исследования проводили на микроскопе МИМ-7 в светлом поле и в поляризованном свете. Шлифы образцов готовили полировкой в водной суспензии окиси хрома без применения травителей.

Результаты и их обсуждение

В табл.1 приведен химический состав исходного скандия СкМ-2 и металла, взятого из верха колонки после дистилляции в установке с термическим нагревом.

Таблица 1

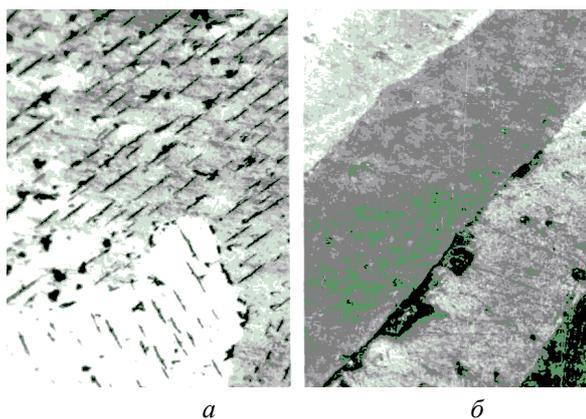
Химический состав исходного скандия и металла после дистилляции

Примесь	Содержание примесей, мас. %	
	исходный	после дистилляции
Кислород	2...4	0,056
Фтор	-	0,0004
Кремний	0,011	0,0014
Кальций	0,01	-
Магний	0,006	-
Иттрий	0,001	0,0029
Титан	0,005	0,00045
Железо	0,02	0,0076
Медь	0,001	0,002
Алюминий	0,0017	0,0068
Цирконий	0,005	-
Тантал	-	<0,001
Сера	-	0,0006
Всего	95,94...97,94	99,91

На рисунке, а, б приведена микроструктура исходных образцов. Видно, что в скандии технической чистоты (см. рисунок, а) содержится большое количество выделений второй фазы, равномерно расположенных по объему зерен - блоков. На границах

они практически отсутствуют. В дистиллированном скандии выделений второй фазы не обнаружено, но имеется пористость по границам кристаллитов, которая в зависимости от условий дистилляции может изменяться.

Результаты механических испытаний представлены в табл.2. Как и следовало ожидать, исходный скандий отличается от дистиллированного более высокими прочностными свойствами и низкой пластичностью. Более низкие, чем в работах [2,4] значения механических свойств исследуемого дистиллированного скандия объясняются не только его повышенной чистотой, но и наличием пористости по границам кристаллитов, а также способом приготовления образцов (наклеп при механической обработке). Возможно, что вследствие релаксации напряжений на порах и обеспечивается дополнительный ресурс пластичности. Прочностные характеристики прокатанного металла в результате деформационного упрочнения возрастают до уровня свойств скандия технической чистоты, при этом пластичность падает. Свойства прокатанного листа в направлении прокатки несколько выше, видимо, по причине более мелкозернистой структуры в плоскости призмы и преимущественной ориентации зерен в данном направлении.



Микроструктура исходных заготовок скандия: а - технической чистоты, дуговой переплав; б - высокой чистоты, осаждение на подложку в вакууме, увеличение -50

Представляют интерес данные о влиянии термообработки на свойства прокатанного скандия при комнатной температуре. Принято считать, что в металлах иттриевой группы рекристаллизационные отжиги для получения равноосной мелкозернистой структуры нужно проводить при температуре 800 °С и более, а возврат механических свойств начинается в области температур выше 500...600 °С [5,7]. Из приведенных в табл.2 экспериментальных данных видно, что в прокатанном с деформацией 60-65% скандии высокой чистоты частичный возврат механических свойств начинается уже при температуре 400 °С.

Сложно объяснить причину столь резкого различия в увеличении пластичности после отжига

500 °С в течение 1 ч на воздухе - почти в 3 раза. Предстоит выяснить, что является причиной этому.

Таблица 2

Механические свойства при комнатной температуре исходного и прокатанного скандия

Материал, История	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ , %
Чистота, 98,0 мас.%	129,4	228,3	3,2
Чистота, 99,90 мас.%	21,6	69,6	14,7
То же, прокатанный:			
поперек	199,4	226,7	1,5
То же + т/о 400 °С, 1ч в вакууме:			
поперек	159	175,5	9,6
То же + т/о 500°С, 1ч на воздухе:			
поперек	77,3	119,6	23,2
То же + т/о 600 °С, 1ч в вакууме			

Микротвердость переплавленного скандия технической чистоты составляет 1000 МПа, а дистиллированного - 631 МПа в плоскости осаждения и 751 МПа в перпендикулярной плоскости, что с учетом различия по чистоте удовлетворительно согласуется с литературными данными. Несколько меньшие значения микротвердости конденсата в плоскости осаждения объясняются тем, что в скандии, имеющем гексагональную решетку, призматическая плоскость является плоскостью наиболее легкого скольжения. В прокатанном с обжатием 60 % и отожженном в вакууме (800 °С, 1 ч) дистиллированном скандии микротвердость в плоскости листа составляла 1120 МПа, а в направлении, перпендикулярном направлению прокатки, 910 МПа. Увеличение микротвердости вызвано деформационным упрочнением и фор-

мированием текстуры прокатки, а изменение соотношения ее значений в двух взаимно перпендикулярных направлениях на обратное может быть обусловлено тем, что в процессе деформации произошла переориентация кристаллографических плоскостей.

Выводы

1. Исследованы механические свойства скандия различной чистоты. Показано, что повышение общей степени чистоты скандия до 99,9 мас.% снижает его прочностные свойства и увеличивает пластичность.

2. Рассмотрено влияние прокатки и последующих отжигов на воздухе и в вакууме на изменение механических свойств скандия.

3. Показано, что дистиллированный скандий высокой чистоты можно прокатывать при комнатной температуре без промежуточных отжигов с деформацией 60-65 %.

Литература

1. Б.Г.Коршунов, А.М.Резник, С.А.Семенов. *Скандий*. М.: «Металлургия», 1987, с.183.

2. Б.Л.Линецкий, С.Н.Донцов. *Пластическая деформация редкоземельных металлов*. М.: «Металлургия», 1991, с.185.

3. Симмонс. *Механические свойства редкоземельных металлов*. // Материалы конференции по редкоземельным металлам, Ноябрь 1959, Чикаго. М.: «Иностранная литература», 1960, с.31-75.

4. Л.Д.Соколов, В.А.Скуднов, В.М.Соленов и др. *Механические свойства редких металлов*. М.: «Металлургия», 1972, с.288.

5. Е.М.Савицкий, В.Ф.Терехова. *Металловедение редкоземельных металлов*. М.: «Наука», 1975, с.272 .

6. С.Д.Лавриненко. Получение скандия высокой степени чистоты. // *Материалы VII конференции стран СНГ по проблеме «Радиационная повреждаемость и работоспособность конструкционных материалов»*. Белгород-97, 1997, с.148-151.

7. В.Ф.Терехова, О.Д.Чистяков. Редкоземельные металлы // *Физикохимия сплавов редких металлов*, 1981, с.74-76.