

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В ВЫСОКОХРОМИСТЫХ СТАЛЯХ**С.И.Губенко, В.Н.Беспалько, Е.В.Жиленкова, А.Е.Балев***Национальная металлургическая академия Украины*

Значительный вес в общем объеме производства проката занимают горячекатаные трубы из высоколегированных сталей, которые применяют в атомной энергетике. Свойства получаемых труб во многом определяются качеством трубной заготовки и в первую очередь содержанием неметаллических включений в стали.

В настоящей работе изучали распределение неметаллических включений в высокохромистых сталях. Исследованию подвергали трубные заготовки промышленных плавок стали 04X14T3P1Ф и 08X18N10T. Идентификацию неметаллических включений проводили металлографическим методом в светлом и темном поле, а также поляризованном свете.

Проведенные исследования [1] с применением металлографического и рентгеноструктурного методов показали наличие в стали 04X14T3P1Ф большого количества крупных и мелких боридов на основе хрома, железа и титана.

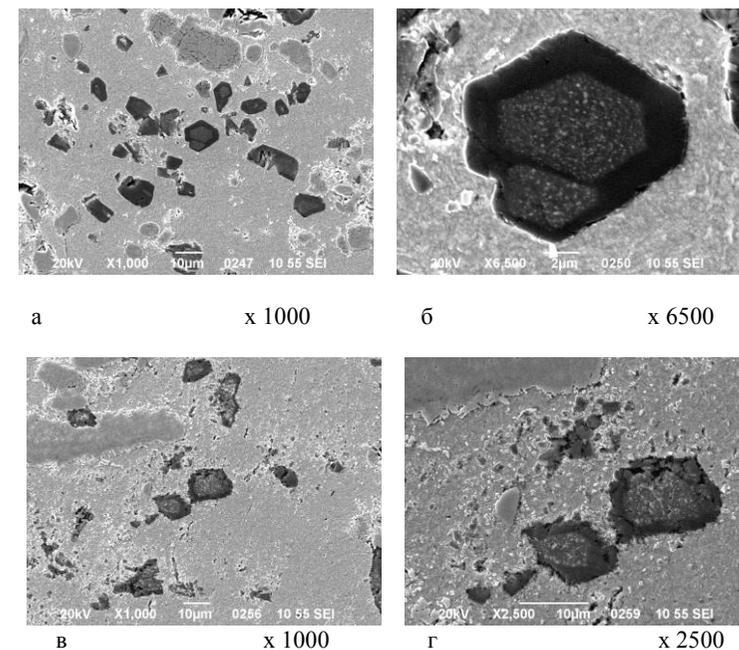
Повышенное содержание неметаллических включений наблюдали и в стали 08X18N10T: нитриды, оксиды, сульфиды являются главным пороком микроструктуры этой стали. Включения располагаются в виде скоплений и строчек, как внутри, так и по границам зерен аустенита. Наличие в заготовке крупных (размерами более 20 мкм), непластичных включений способствует локализации пластичной деформации, приводящей к образованию пор или микротрещин. Наблюдается прямая связь субструктурной неоднородности в стали 08X18N10T с распределением в ней неметаллических включений.

Большое количество неметаллических включений различной степени дисперсности и формы, обуславливающие неоднородность пластической деформации, а следовательно процессов разупрочнения аустенита, приводит к структурной неоднородности исходной трубной заготовки, что затрудняет получение регламентируемой зеренной структуры аустенита в горячедеформированных трубах из стали 08X18N10T.

Наличие в стали 04X14T3P1Ф боридов разного типа потребовало проведения дополнительных исследований с помощью микроскопа РЭММА 102-02. Исследовали структуру образцов после горячей деформации при температурах 1100 и 1150°C. Анализ структуры подтвердил присутствие нескольких типов включений: светлых хрупких включений и темных гетерогенных включений (рис.1).

Темные включения боридов, как показали исследования, являются двух и многофазными частицами, когда включение, появившееся первым, служит подложкой для образования новой неметаллической фазы в виде сплошной оболочки (рис. 1, б). Деформация при температуре 1150°C активизировала диффузионные процессы, проходящие как матрице, так и в бориде, что способствовало делению боридов и образованию большого количества дисперс-

ных фаз (рис.1, в). Возле крупных боридов наблюдали выделение “сателлитных” дисперсных частиц (рис. 1, г). Это связано с тем, что во время горячей деформации изменяется не только форма, но и состав неметаллических включений в результате диффузионного взаимодействия включения с матрицей.



а, б - 1100°C; в, г - 1150°C

Рис. 1. Структура исследуемой стали после деформации

Анализ структуры образцов стали после деформации при 1150°C показал, что диффузионное взаимодействие боридов с матрицей приводит к дроблению, растворению и выделению новых включений. При более высокой температуре в процессе деформации, происходят и структурные превращения в самих боридах (рис. 1, г). Полученные данные показали, что при горячей деформации диффузионное взаимодействие боридов с матрицей приводит к изменению не только формы, но и состава боридов. Поэтому в работе была поставлена задача - проанализировать состав боридов при разных температурах деформации. С помощью рентгеновского спектрометра анализировали содержание элементов в боридах разного вида и феррите. Для анализа были отобраны участки стали после деформации при температурах 1100, 1150°C, содержащие бориды разного вида.

В таблицах 2, 3 приведено содержание химических элементов в разных фазах исследуемой стали после деформации при температурах 1100 и 1150°C.

Анализ полученных данных показал, что темные бориды являются многофазными включениями сложного состава. Содержания титана в этих боридах было максимальным и составляло 48 – 68%, содержание хрома и железа было больше в центральной части боридов (7,4 – 9,9% Cr и 17-24% Fe), чем в периферийной (5,9 – 6,6% Cr и 1,1-5,6% Fe). Поэтому можно принять, что основой этих боридов служит сложный борид на основе титана состава $(Ti,Fe,Cr)_2B$, а оболочкой борид $(Ti,Cr)_2B$, в которых присутствует фаза, содержащая ванадий.

Таблица 2 - Содержание химических элементов в фазах стали 04X14T3P1Ф при температуре 1100°C

Фаза	Содержание химических элементов, % (весовой)						
	B	Si	Ti	V	Cr	Fe	S
Участок 1							
Темный борид №1, центральная часть	13,866	0,139	50,260	0,941	9,990	24,804	-
Темный борид №1, периферийная часть	21,876	0,018	68,893	1,231	6,737	1,134	0,113
Матрица (феррит)*	-	0,54	0,50	-	18,78	82,40	-
Светлый борид №1	-	0,20	0,91	0,53	45,93	52,43	-
Разрушенный участок темного борида №2	9,406	0,068	79,231	-	2,968	8,158	0,194
Участок 2							
Темный борид №2, центральная часть	26,17	0,086	48,4	0,805	7,707	16,831	-
Темный борид №2, периферийн. часть	31,516	-	55,059	0,934	6,601	5,890	-
Светлый борид №3	-	-	0,68	0,61	50,65	48,06	-
Темный борид №3, периферийн. часть	30,331	-	61,183	1,334	5,975	1,107	0,071
Темный борид №3, центральная часть	29,371	0,104	44,814	0,787	7,441	17,484	-
Светлый борид №4	-	0,74	-	0,29	15,53	83,80	-

*содержит 0,48 % Al

Повышение температуры деформации способствует диффузионному перераспределению легирующих элементов в боридах, что приводит к изменению их химического состава, при этом происходит изменение и строения боридов. Так борид № 3 на основе титана (темные бориды) еще сохраняет многофазное строение. Однако его состав мало изменялся, и содержание основных элементов оставалось на прежнем уровне (7 – 9% B, 59-77% Ti, 10%

Cr, 4-23%Fe). Структура и состав боридов №1, №2, №5 значительно изменяется: уменьшается содержание титана до 1,4 -14%, ванадия до 0,28-0,5%, увеличивается содержание хрома до 12 -37 %, железа до 59,3-71,6%, повышается однородность боридов.

Таблица 3 - Содержание химических элементов в фазах стали 04X14T3P1Ф при температуре 1150°C

Фаза	Содержание химических элементов, % (весовой)						
	B	Si	Ti	V	Cr	Fe	Al
Участок 1							
Светлый борид № 1	-	-	0,82	0,52	45,42	53,24	-
Матрица (феррит)	-	0,40	0,39	0,36	15,15	83,15	0,17
Раздробленный темный борид №1	-	0,16	2,93	0,50	37,00	59,28	0,14
Разрушенный темный борид №2	-	0,46	1,40	0,28	14,56	82,71	0,18
Участок 2							
Темный борид №3, центральная часть	0,625	-	60,996	1,331	10,971	26,077	-
Темный борид №3, периферийная часть	-	0,07	85,14	1,67	9,65	3,47	-
Светлый борид №2	0,994	0,060	0,652	0,620	48,983	48,690	-
Матрица (феррит)	-	0,37	0,84	-	14,83	83,43	0,23
Светлый борид №3	-	-	0,43	0,65	52,49	46,44	-
Участок 3							
Светлый борид №4	-	0,19	0,43	0,38	-	68,87	0,15
Темный борид №4, периферийная часть	8,830	-	76,639	1,616	9,323	3,592	-
Темный борид №4, центральная часть	6,799	-	59,202	1,226	10,190	22,582	-
Светлый борид №5	1,409	0,288	0,926	0,363	18,867	77,890	0,257
Участок 4							
Светлый борид №6, левая часть	-	-	0,83	0,68	48,77	49,71	-
Светлый борид №6, правая часть	-	-	0,30	0,62	54,33	44,75	-
Матрица (феррит)	0,538	0,358	0,604	-	14,819	83,137	0,179
Темный борид №5, центральная часть	1,010	0,362	14,430	-	12,360	71,624	-
Темный борид №6*	-	0,09	58,36	1,16	9,35	24,67	0,09

*содержит 6,18 % O; 0,10 % S

Возможно, при более высокой температуре деформации осуществляется боридное превращение $(Ti,Fe,Cr)_2B \rightarrow (Fe,Cr)_2B$. В некоторых темных

боридах содержание бора не определено, что возможно связано с погрешностью метода исследования. Следует отметить, что в бориде №6, содержание основных элементов соответствует составу боридов на основе титана: высокое содержание титана 58%, ванадия 1,2%, низкое содержание хрома 9,3%, железа 25%, но также присутствует кислород в количестве 6,18%.

Анализ содержания легирующих элементов в светлых боридов при температуре 1100°C показал, что борид №2 является разрушенным боридом на основе титана. В остальных частицах светлой фазы содержание бора не определено. Отмечается колебания содержания хрома и железа, а количество титана было достаточно низким и составляло 0,29 – 0,6%. В одних частицах светлой фазы содержание хрома и железа находилось примерно на одном уровне (48 – 52%), а в других количество железа было выше (83%), а содержание хрома было достаточно невысоким (15,5%). Повышение температуры практически не изменяет состав светлой фазы, но значительно изменяется ее строение. В отдельных участках светлой фазы определено содержание бора; оно невелико и равно 0,99 -1,4%. При этом сохраняется неравномерное распределение хрома и железа в разных частицах светлой фазы. Так в частицах №1 - №4, №6 их содержание составляло 45-54 % Cr, 46-53% Fe, в частице №5 – 18,8 % Cr, 77,9 % Fe. Полученные данные свидетельствуют о том, что светлая фаза является фазой на основе железа, или железа и хрома; содержание бора в этой фазе невелико.

Матрица исследуемой стали представляет собой легированный феррит, содержащий 83 %Fe, 14,8-18,8%Cr, 0,4- 0,8%Ti, 0,3-0,38 % Ni. В некоторых участках определяли присутствие бора и ванадия, в количестве 0,54 и 0,4% соответственно.

Выводы. Проведенные исследования показали, что в высокохромистых сталях присутствуют неметаллические включения разных типов. В стали 04X14T3P1Ф установлено несколько типов включений: светлых хрупких включений и темных гетерогенных включений. Темные включения являются многофазными боридов на основе титана состава (Ti,Fe,Cr,V)₂B, имеющие оболочку (Ti,Cr,V)₂B, частицы светлой фазы на основе железа, хрома, возможно, борид (Fe,Cr)₂B. Нитриды, оксиды, сульфиды являются главным пороком микроструктуры стали 08X18H10T. Наблюдали прямую связь субструктурной неоднородности в стали 08X18H10T с распределением в ней неметаллических включений.

Большое количество неметаллических включений различной степени дисперсности и формы, приводит к структурной неоднородности трубной заготовки и обуславливает неоднородность пластической деформации, что способствует снижению технологических свойств высоколегированных сталей.

Литература:

1. С. И.Губенко, В.Н.Беспалько, Е.В.Жиленкова «Влияние температуры и степени деформации на характер изменения боридов в высокохромистой стали с бором». Теория и практика металлургии, , 2006, № 4-5,с.158-160
2. Диаграммы состояния двойных и многокомпонентных систем на основе железа. Справочник. Под редакцией Банных О.А., Дриза М. Е. М., Металлургия, 1986, с. 439.
3. Шанк Ф. Структура двойных сплавов. М., Металлургия,1973, с. 760.