



УДК 669.187.56

# ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА КОНУСНЫХ ЗАГОТОВОК ИЗ СТАЛИ 20Х13, ПОЛУЧЕННЫХ СПОСОБОМ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ЭЛЕКТРОШЛАКОВОГО ЛИТЬЯ

С. В. Скрипник, Д. Ф. Чернега, А. В. Горячек

Приведены сведения о химическом составе, структуре, механических свойствах электрошлаковой стали 20Х13 в сравнении с ковальной сталью аналогичного состава. Обоснована возможность применения заготовок ЦЭШЛ из этой стали в производстве корпусных деталей газовых турбин.

Information is given about chemical composition, structure, mechanical properties of electroslag steel 20Kh13 as compared with a forged steel of similar composition. The feasibility of application of CESC billets of this steel in the production of casing parts of gas turbines is grounded.

**Ключевые слова:** детали газовых турбин; жаропрочные стали; центробежное электрошлаковое литье; пластичность; ударная вязкость

По новой технологии способом центробежного электрошлакового литья (ЦЭШЛ) [1, 2] получена партия заготовок диаметрами 716 и 490 мм, высотой 500 мм, массой 0,6 т из стали 20Х13. В настоящей работе исследовали качество металла заготовок деталей газовых турбин, изготовленных этим способом из жаропрочной стали мартенситного класса типа 20Х13.

Заготовки, представляющие собой толстостенный усеченный конус (рис. 1), получали на установке КЦЭШЛ-1 с вертикальной осью вращения [3].

Исследование химического состава заготовок ЦЭШЛ из стали 20Х13 выполнено количественным спектральным анализом. Массовая доля элементов в отливке ЦЭШЛ соответствует содержанию их в исходном металле, за исключением кремния и серы, и соответствует требованиям ГОСТ 5632-72 для этой стали (табл. 1). Макроструктура заготовок — плотная, без дефектов усадочного происхождения. Она состоит из двух основных зон, отличающихся друг от друга дисперсностью кристаллической структуры, — наружной протяженностью 5... 8 мм с мелкокристаллической структурой и основной с более крупной структурой, представленной столб-

чатыми кристаллами. Ультразвуковой контроль дефектов литейного характера не обнаружил.

Для изучения свойств по высоте отливки вырезали несколько колец (№2, 3, 4) высотой и толщиной стенки 85×85 мм, для проведения макро- и микроисследований — еще одно кольцо (№1). Из полученных колец изготовили образцы. Продольные, тангенциальные и разрывные образцы подвергли

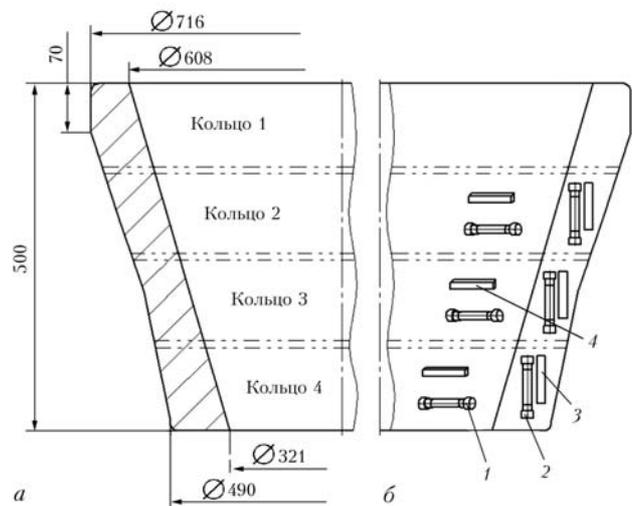


Рис. 1. Заготовка ЦЭШЛ (а) и схема вырезки образцов (б): 1 — тангенциальные разрывные; 2 — продольные разрывные; 3 — продольные ударные; 4 — тангенциальные ударные

Таблица 1. Химический состав стали 20Х13

Объект исследования	Массовая доля элементов, %							
	C	Si	Mn	Cr	Fe	Ni	S	P
Исходный металл (литые электроды)	0,16	0,25	0,35	12,0	Основа	0,5	0,012	0,021
Заготовка ЦЭШЛ	0,16	0,22	0,35	12,0	»	0,5	0,008	0,021
Требования ГОСТ 5632-72	0,16...0,25	Не более 0,8	Не более 0,8	12,0... 14,0	»	—	Не более 0,025	Не более 0,030



Таблица 2. Механические свойства стали 20Х13 в отливке после термической обработки

№ кольца	Место вырезки образца в отливке	Направление вырезки образца	$T_{исп}$ , °C	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	$KCU$ , Дж/см <sup>2</sup>	$d_{отп}$ , НВ	
2	Верхняя часть	Тангенциальное	20	890	710	17,0	55	68	63	3,8/255
				890	720	16,0	51	65	75	
				880	690	17,5	49	55	63	
				880	730	15,5	54	65	73	
	Продольное	20	900	710	16,5	56	70	58	3,8/255	
			890	720	16,5	56	63	75		
			880	690	16,5	51	68	45		
			890	730	15,0	43	63	56		
3	Средняя часть	Тангенциальное	20	870	710	14,5	51	55	53	3,8/255
				870	680	18,5	53	63	60	
				860	710	17,0	57	58	50	
				870	720	16,5	56	75	73	
	Продольное	20	860	670	15,0	57	63	63	3,8/255	
			860	710	14,0	48	53	53		
			870	710	14,5	51	50	40		
			870	720	16,5	51	60	65		
4	Нижняя часть	Тангенциальное	20	870	710	14,15	51	55	53	3,8/255
				880	730	15,5	54	65	73	
				870	720	16,17	56	75	73	
				880	690	17,5	51	55	63	
	Продольное	20	870	710	14,5	51	53	51	3,8/255	
			890	720	16,5	56	63	75		
			860	710	15,0	57	63	63		
			880	730	15,5	54	65	73		
			20	>70	>55	>12	>40	>40	4,1...3,7	

\* Здесь  $d_{отп}$  — диаметр отпечатка в миллиметрах.

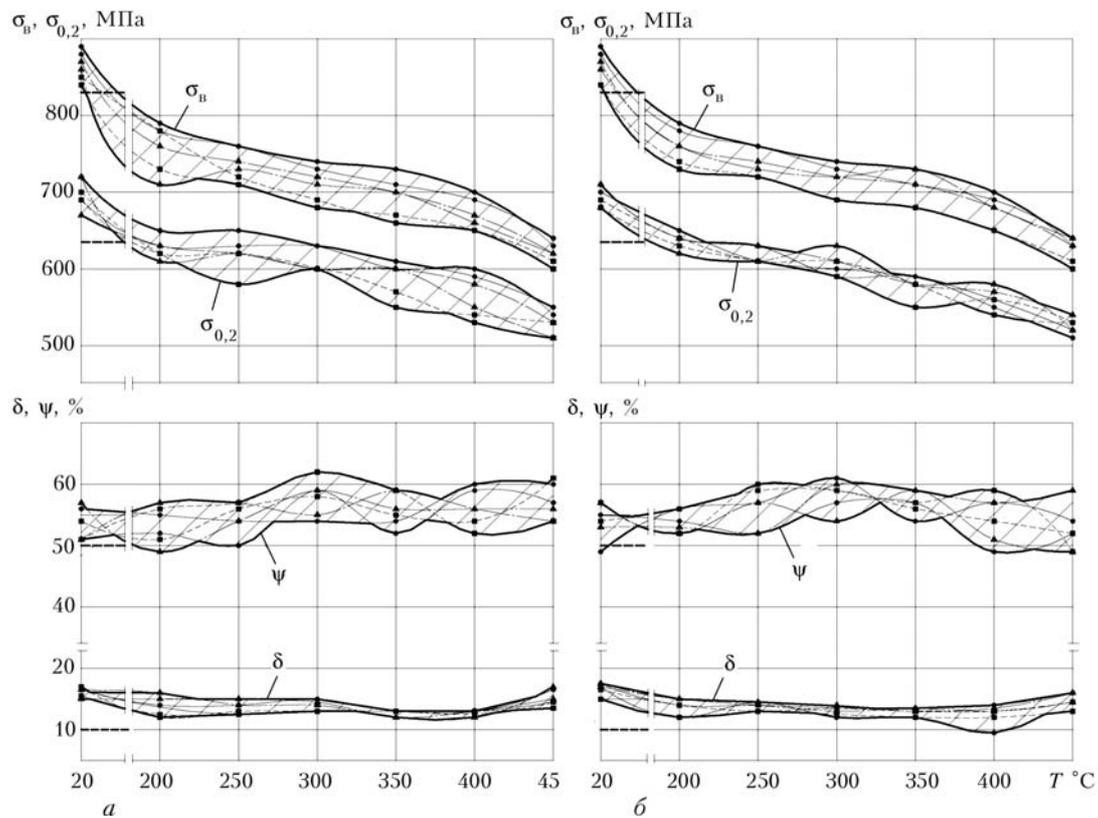


Рис. 2. Графики механических свойств литой термически обработанной на твердость  $HB\ 269...255$  ( $d_{отп} = 3,7...3,8$  мм) стали 20Х13: а — продольные; б — тангенциальные образцы; ● — кольцо № 2; ▲ — кольцо № 3; ■ — кольцо № 4; жирными штриховыми линиями обозначены значения механических свойств по ГОСТ 5632 – 72



Рис. 3. Микроструктура (X100) кольца

термообработке по следующему предварительному режиму: нормализация при  $T_1 = 950\text{ }^\circ\text{C}$ , охлаждение на воздухе; двойной отпуск при  $T_2 = 680\text{ }^\circ\text{C}$ , охлаждение на воздухе (дважды). Окончательную термическую обработку проводили по режиму: нормализация при  $T_3 = 950\text{ }^\circ\text{C}$ , охлаждение на воздухе; отпуск при  $T_4 = 710\text{ }^\circ\text{C}$ , охлаждение на воздухе. После термической обработки измеряли твердость колец шариком диаметром  $D=10\text{ мм}$  под нагрузкой  $P = 27,3\text{ кН}$  с выдержкой  $t = 10\text{ с}$ .

Исследования на ударную вязкость, разрыв ( $T = 20\text{ }^\circ\text{C}$ ), растяжение при повышенных температурах и длительную прочность проводились на тангенциальных и продольных образцах, вырезанных с противоположных сторон колец. Испытания на ударную вязкость проведены на 10 образцах каждого направления, на разрыв и растяжение — на 4 образцах каждого направления. Полученные результаты испытаний на разрыв, ударную вязкость колец соответствуют требованиям, предъявляемым к деформированному металлу открытой выплавки (табл. 2). Временная прочность  $\sigma_v$  оказалась выше требований стандарта на поковки на 30 %, а предел текучести  $\sigma_{0,2}$  — на 55 %.

На рис. 2 представлены результаты испытаний механических свойств в интервале температур 20... 450 °C на 6 образцах каждого направления. Из рисунка видно преимущество стали 20X13 в отливках ЦЭШЛ по пластичности ( $\delta, \psi$ ), в сравнении с кованным металлом. Так, по относительному удлинению  $\delta$  превышение составляет 50 %, а по относительному сужению  $\psi$  — 5... 8 %. Следует ожидать, что при более высокой температуре отпуска пластичность ( $\delta, \psi$ ) в большей степени превысит требования стандарта на поковки.

При испытании на длительную прочность по режимам  $T_1 = 250\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\sigma = 530\text{ МПа}$ ;  $T_2 = 300\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\sigma = 495\text{ МПа}$ ;  $T_3 = 350\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\sigma = 460\text{ МПа}$ ;  $T_4 = 400\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\sigma = 410\text{ МПа}$  все образцы отстояли по 200 ч без разрушения, что более чем в два раза превышает требования технических условий Украины.

Ударная вязкость электрошлаковой стали 20X13, термически обработанной на твердость

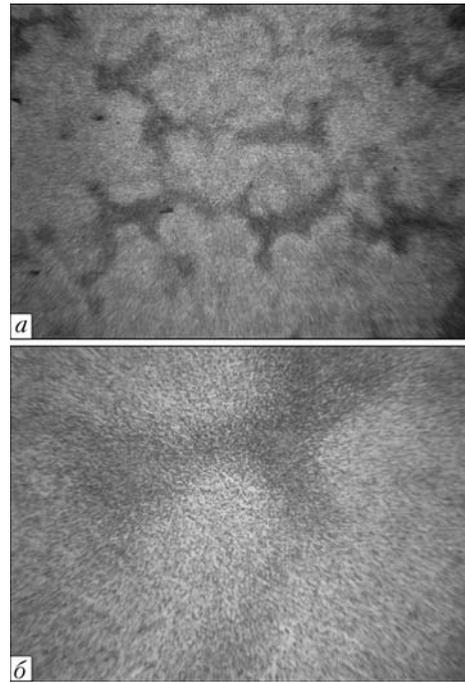


Рис. 4. Микроструктура кольца после термической обработки на твердость  $HB\ 269...255$ : а — X100; б — X400

$HB\ 269...255$  ( $d_{отп} = 3,7...3,8\text{ мм}$ ), также превысила требования стандарта на 50 %.

Микроисследование показало (рис. 3) наличие в структуре стали небольшого количества мелких глобулярных неметаллических включений, которые равномерно распределены в теле отливки.

Микроструктура стали после термической обработки на твердость ( $HB\ 269...255$ ) представляет собой сорбит отпуска (рис. 4), обуславливающий высокие значения вязкостных и пластических свойств стали.

Таким образом, проведенные исследования качества центробежных электрошлаковых заготовок из стали 20X13 свидетельствуют о полном соответствии (а по ряду показателей — и о превышении) свойств литого металла требованиям технических условий Украины на поковки из этой стали открытой выплавки. Электрошлаковые отливки из стали 20X13 можно рекомендовать для использования в качестве заготовок в деталях газовых турбин взамен поковок. Работы по совершенствованию технологии продолжаются.

1. Медовар Б. И., Миринский Г. С., Шевцов В. Л. Центробежное электрошлаковое литье. — Киев: О-во «Знание» УССР, 1983. — 48 с.
2. Электрошлаковая тигельная плавка и разливка металла / Б. И. Медовар, В. Л. Шевцов, В. М. Мартын и др.; Под ред. Б. Е. Патона, Б. И. Медовара. — Киев: Наук. думка, 1988. — 216 с.
3. Комплекс КЦЭШЛ-1 для получения электрошлаковых кольцевых заготовок весом до 1000 кг / Ю. Н. Бондин, А. В. Горячек, С. В. Скрипник и др. // Металлургия машиностроения. — 2006. — № 3. — С. 35–37.

НПФ «Титан»

НТУУ «КПИ», г. Киев

ГП НПКи «Зоря»-«Машпроект», г. Николаев

Поступила 18.07.2008