

Металлические загрязнения пищевых продуктов. — М., 1985. — 184 с. 3. П р е й с Г.А., С о л о г у б Н.А., Н е к о з А.И. Повышение износостойкости оборудования пищевой промышленности. — М., 1979. — 208 с. 4. К о л е с н и ч е н к о Л.Ф., Д е р к а ч В.Д., С у х о с т а в е ц С.В. Защитные покрытия на деталях оборудования продовольственного назначения // Порошковая металлургия. — 1985. — № 6. — С. 39—41. 5. Инструкция по санитарно-химическому исследованию изделий, изготовленных из полимерных и других синтетических материалов, предназначенных для контакта с пищевыми продуктами: № 880—71 // Минздрав СССР. — М., 1972. — 155 с. 6. С у х а р е в а Л.В. Фотометрический метод определения ванадия в жидких средах, имитирующих пищевые продукты // Методы определения химич. веществ, выделяемых из полимер. материалов, применяемых в пищевой пром-сти. — Киев, 1981. — С. 33—36. 7. Исследование структуры и свойств комбинированных гальванодиффузионных защитных покрытий / Л.Г.Ворошнин, Г.Г.Панич, Ю.С.Шолпан, С.А.Тамело // Металлургия. — Мн., 1987. — Вып. 21. — С. 97—99.

УДК 621.785.5

Б.З.ПОЛЯКОВ, Э.П.ПУЧКОВ

### ОСТАТОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ОДНОФАЗНЫХ БОРИДНЫХ СЛОЯХ НА ОБРАЗЦАХ ИЗ СТАЛЕЙ У8 и 5ХНМ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ ГАЛЬВАНИЧЕСКИМ ЖЕЛЕЗНЕНИЕМ

Гальваническое железнение с последующим борированием относится к способам реставрации изношенного штампового инструмента. Методом расчленения твердого тела [1] исследовали формирование временных и остаточных напряжений в борированных после гальванического железнения образцах из сталей У8 и 5ХНМ. Исходные данные для расчета были заимствованы из [2—4]. Структура борированных образцов и расчетные эпюры остаточных напряжений представлены на рис. 1, а—в, расчет напряжений — в табл. 1.

В однофазном боридном слое с железной подложкой на образце из стали У8 имеет место плавное уменьшение сжимающих остаточных напряжений от поверхности к сердцевине изделия. В процессе эксплуатации изделия сжимающие остаточные напряжения в боридном слое суммируются с растягивающими напряжениями от рабочей нагрузки, что приводит к уменьшению результирующих действующих напряжений. Так как на поверхности детали имеют место максимальные действующие напряжения, то наличие здесь максимальных сжимающих остаточных напряжений, безусловно, благоприятно. На эпюре остаточных напряжений наблюдается плавный переход сжимающих остаточных напряжений в растягивающие благодаря наличию железной прослойки, играющей роль буфера между боридным слоем и сердцевинной изделия. Недостатком такого распределения напряжений является излишне высокий уровень сжимающих остаточных напряжений в боридном слое, так как суммирование сжимающих рабочих контактных напряжений с остаточными может привести к местным сколам боридного слоя. Остаточные напряжения на поверхности аналогичной борированной пластинки из стали У8, но без железнения составляют  $-9 \cdot 10^2$  МПа. Желательно при борировании обеспечить получение такого диффузионного слоя, в котором уровень сжимающих остаточных напряжений был бы ниже представленного на рис. 1, б, при сохранении харак-

Табл. 1. Расчет временных и остаточных напряжений в однофазном боридном слое на стали У8 с предварительно нанесенным железным покрытием

$\Delta t, ^\circ\text{C}$	Номер слоя $i$	$x_i$	$E_i \cdot 10^{-5}$ , МПа	$k_i = \frac{E_i}{E_V}$	$k_i x_i$	$\Delta \epsilon_i \cdot 10^4$	$k_i x_i \Delta \epsilon_i \cdot 10^4$	$\Delta \epsilon \cdot 10^4$	$(\Delta \epsilon - \Delta \epsilon_i) \cdot 10^4$	$\Delta \sigma_i \cdot 10^{-1}$ , МПа	$\sigma_i \cdot 10^{-1}$ , МПа	$\Delta \sigma_i x_i \cdot 10^{-1}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
950-800	I	0,12	2,45	2,45	0,294	-16	-4,704	-19,563	-3,563	-8,73	-8,73	-1,047
	II	0,16	2,0	2,0	0,32	-9,6	-3,072		-9,963	-19,93	-19,93	-3,188
	III	0,16	1,6	1,6	0,256	-3,1	-0,794		-16,463	-26,34	-26,34	-4,214
	IV	0,06	1,45	1,45	0,037	+3,3	-0,287		-22,86	-33,15	-33,15	-1,989
	V	1	1	1	1	-30	-30		10,437	10,44	10,44	10,437
					$\Sigma = 1,957$		$\Sigma = -38,285$					$\Sigma = 0$
800-700	I	0,12	2,5	2,1	0,252	-10	-2,520	-16,26	-6,26	-15,65	-24,38	-1,878
	II	0,16	2,2	1,83	0,293	-11,7	-3,426		-4,56	-10,03	-29,96	-1,605
	III	0,16	1,85	1,54	0,246	-13,3	-3,277		-2,96	-5,48	-31,82	-0,876
	IV	0,06	1,55	1,3	0,078	-15	-1,170		-1,26	-1,95	-35,1	-0,117
	V	1	1,2	1	1	-20	-20		3,74	4,49	14,93	4,488
					$\Sigma = 1,869$		$\Sigma = -30,393$					$\Sigma = 0$
700-500	I	0,12	2,55	2,0	0,240	-	-	5,495	5,495	14,01	-10,37	1,681
	II	0,16	2,2	1,7	0,272	-	-		5,495	12,09	-17,87	1,934
	III	0,16	1,9	1,46	0,234	-	-		5,495	10,44	-21,38	1,670
	IV	0,06	1,6	1,23	0,074	-	-		5,495	8,79	-26,31	0,527
	V	1	1,3	1	1	+10	+10		-4,505	-5,86	9,07	-5,86
					$\Sigma = 1,820$		$\Sigma = 10$					$\Sigma = 0$
500-300	I	0,12	2,6	1,625	0,195	-18	-3,510	-30,343	-12,343	-32,09	-42,46	-3,851
	II	0,16	2,3	1,44	0,230	-22,7	-5,221		-7,643	-17,58	-35,45	-2,813
	III	0,16	2,0	1,25	0,200	-27,3	-5,46		-3,043	-6,09	-27,47	-0,974
300-20	IV	0,06	1,64	1,02	0,061	-32	-1,968		1,657	2,72	-23,59	0,163
	V	1	1,6	1	1	-35	-35		4,657	7,45	16,52	7,450
						$\Sigma = 1,686$		$\Sigma = -51,159$				$\Sigma = 0$
500-300	I	0,12	2,75	1,53	0,184	-17	-3,121	-28,932	-11,932	-32,81	-75,27	-3,938
	II	0,16	2,4	1,33	0,213	-21,7	-4,629		-7,232	-17,36	-52,81	-2,777
	III	0,16	2,1	1,17	0,187	-26,3	-4,909		-2,632	-5,53	-33	-0,884
	IV	0,06	1,76	0,98	0,058	-31	-1,818		2,068	3,64	-19,95	0,218
	V	1	1,8	1	1	-33	-33		4,068	7,32	23,84	7,322
					$\Sigma = 1,641$		$\Sigma = -47,477$					$\Sigma = 0$
300-20	I	0,12	2,9	1,45	0,174	-21	-3,654	-33,034	-12,034	-34,9	-110,2	-13,22
	II	0,16	2,6	1,30	0,208	-24,3	-5,054		-8,734	-22,71	-75,5	-12,083
	III	0,16	2,2	1,10	0,176	-27,7	-4,875		-5,334	-11,73	-44,7	-7,157
	IV	0,06	1,9	0,95	0,057	-31	-1,767		-2,034	-3,86	-23,8	-1,429
	V	1	2,0	1	1	-38	-38		4,966	9,93	33,8	33,772
					$\Sigma = 1,615$		$\Sigma = -53,35$					$\Sigma = 0$

116

9 Зак. 6072

117

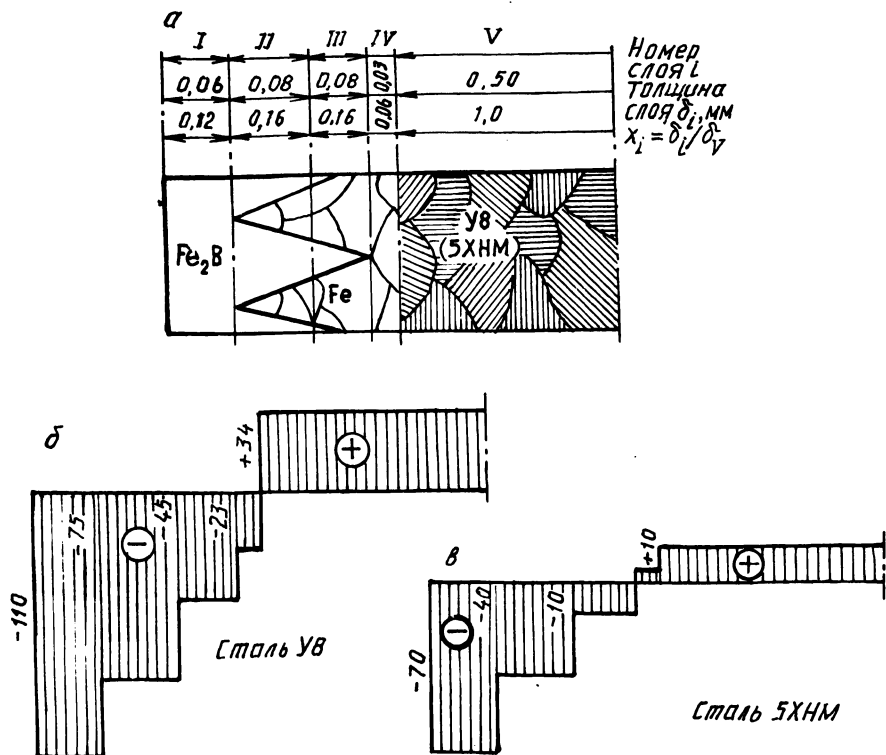


Рис. 1. Строение борированной после гальванического железнения стали (а) и эпюры остаточных напряжений в сталях У8 и 5ХНМ (б, в)

тера распределения остаточных напряжений по сечению образца из борированной стали. Это может быть обеспечено выбором режима термической обработки, отличного от исследованного в данной работе режима охлаждения после борирования в тигле, или подбором марки стали. Подбор химического состава борлируемой стали должен обеспечить снижение коэффициента термического расширения и уменьшение объемного эффекта распада переохлажденного аустенита при охлаждении ниже  $A_{r1}$ . В качестве примера использована широко применяемая для изготовления горячих штампов сталь 5ХНМ. Эпюра остаточных напряжений в ее боридном слое с предварительным гальваническим железнением представлена на рис. 1, в. Общий уровень остаточных напряжений в нем более чем в 1,5 раза ниже, чем в боридном слое стали У8 при одинаковом характере распределения напряжений. Следует ожидать значительного эффекта от реставрации изношенных рабочих частей горячих штампов из стали 5ХНМ гальваническим железнением с последующим однофазным борированием.

## ЛИТЕРАТУРА

1. А б р а м о в В.В. Напряжения и деформации при термической обработке. — Киев, 1985. — 134 с. 2. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. — М., 1981. — 424 с. 3. Справочник по машиностроительным материалам. — М., 1959. — Т. 1. — 630 с. 4. Физические свойства сталей и сплавов, применяемых в энергетике. — М., 1967. — 239 с.

УДК 669.018:66.094.3

Г.М.ЛЕВЧЕНКО, А.В.ЛОМАКО,  
А.А.МАКСИМОВ, А.С.МОСЕКИН

### ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ СИСТЕМЫ МОЛИБДЕН—ТИТАН—КРЕМНИЙ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ ЖАРСТОЙКОСТИ

Настоящее исследование является частью цикла работ по изучению процессов получения композиционных материалов системы  $Me^{IV-VI}Si_2 - Me^{IV-VI}B_2$ ,  $Me_1^{IV-VI}Si_2 - Me_2^{IV-VI}Si_2$  и их свойства при высоких температурах.

Композиционные материалы получали способом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). Использовались порошки молибдена, титана, кремния КР-1 и дисилицидов молибдена и титана. Смешивание компонентов шихты проводилось в шаровой мельнице с использованием шаров из оксида алюминия. Составы смесей указаны в табл. 1.

**Табл. 1. Результаты исследований фазового состава и жаростойкости композиционных материалов системы молибден—титан—кремний**

Содержание компонентов исходной смеси, %					Объемное содержание компонентов смеси после реакции, %					Измене- ние мас- сы мате- риала ( $mg/cm^2$ ) за 50 ч испыта- ний при 1400°C
MoSi <sub>2</sub>	TiSi <sub>2</sub>	Me <sub>1</sub>	Me <sub>2</sub>	Si	MoSi <sub>2</sub>	Mo <sub>5</sub> Si <sub>3</sub>	Mo <sub>3</sub> Si	TiSi <sub>2</sub> тип ZrSi <sub>2</sub>	TiSi <sub>2</sub> ориги- наль- ный	
—	100	—	—	—	—	—	—	—	—	32,0
10	90	8,8	39,4	51,8	7	14	24	24	31	69,8
20	80	16,8	33,5	49,7	23	19	33	12	13	95,3
30	70	24,1	28,2	47,7	13	18	42	23	4	72,2
40	60	31,1	23,1	45,8	—	—	—	—	—	80,0
50	50	37,2	18,6	44,2	25	21	31	23	—	87,3
60	40	43,1	14,3	42,6	—	—	—	—	—	50,0
70	30	48,5	10,4	41,1	22	16	23	39	—	45,0
80	20	53,5	6,7	39,8	36	16	28	20	—	22,0
90	10	58,2	3,2	38,6	81	2	9	8	—	27,0
100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	27,9