

УДК 669-14

Канд. техн. наук В. А. Федьков<sup>1</sup>, А. В. Федьков<sup>2</sup>, Є. І. Меньяло<sup>1</sup>, В. І. Минакова<sup>1</sup><sup>1</sup> Национальный технический университет, <sup>2</sup> ОАО «Запорожсталь»;  
г. Запорожье

## МОДИФИЦИРОВАНИЕ ЧУГУНОВ ОТХОДАМИ ТИТАНО-МАГНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА

*Изучена, разработана и предложена рациональная экономичновыгодная технология эффективного модифицирования чугунов, позволившая повысить механические и специальные свойства чугунов.*

**Ключевые слова:** модифицирование, чугун, пластинчатый графит, структура, сплав, износостойкость, отходы.

По принятой на отечественных титано-магниевого производствах технологии хлорирования титановых шлаков образуется 0,2–0,3 тонны твердых хлоридных отходов (пыли, отработанных расплавов) на каждую тонну получаемого тетраоксида титана. В отработанных отходах содержатся элементы, которые могут быть хорошими раскислителями, модификаторами, микролегирующими элементами для всех литейных сплавов.

С хлоридными отходами безвозвратно теряются эти ценные элементы и 15–20 % хлора от общего количества, расходуемого на хлорирование при производстве титана и магния.

Эти отходы на предприятиях не перерабатываются и не применяются и как вредные выбросы транспортируются в отвалы как в твердом, так и жидком виде, при этом происходит загрязнение ценной земли и окружающей среды.

Научно-исследовательским и проектным институтом титана (г. Запорожье) разработана схема магнито-термического восстановления хлоридных отходов, позволившая получить из них два основных продукта: полиметаллические порошки-полимодификаторы (ПМ) и хлормagneвые соли-хлориды (ХЛ).

В качестве исходного сырья для получения этих товарных продуктов использовали хлоридные твердые отходы Запорожского (ЗТМК, Украина) и Березниковского (БТМК, Россия) титано-магниевого комбинатов (таблица 1).

Химический состав полимодификаторов (ПМ) – (таблица 2) зависит от химического состава хлоридных отходов – ХЛ и соответствует нумерации таблицы 1.

Анализ состава полимодификаторов (ПМ) (таблица 2) и хлоридных отходов (ХЛ) – (таблица 1) показал, что наличие в них нитридо- и карбидообразующих элементов (титана, ванадия, хрома, ниобия, марганца, тантала и др.) должно положительно отразиться на прочностных показателях литейных сплавов за счет легирования и модифицирования твердого раствора, а присутствие поверхностно активных элементов, таких как алюминий, магний, кальций, калий, натрий и хлор, положительно скажется на показателях пластичности, вязкости и содержания газов в металле.

В связи с вышеизложенным представляло большой интерес изучение влияния полимодификаторов (ПМ) и хлоридных отходов (ХЛ) на свойства серого чугуна (СЧ18) и износостойкого высокохромистого чугуна (250Х25Т).

Опытно-промышленные плавки проводили в условиях литейного цеха Запорожского огнеупорного завода в дуговой печи емкостью 0,5 т (ДСП-0,5) с основной футеровкой. Хлоридные отходы и полиметаллические порошки задавали на дно ковша, прогретого до (600–700) °С, в виде кусков полимодификаторов-ПМ и хлоридов-ХЛ или брикетов ПМ и хлоридов (ХЛ), при этом в ковше удалялась вся влага из ПМ и хлоридов (ХЛ).

**Таблица 1** – Химический состав хлоридных отходов титано-магниевого производства (ХЛ)

№ состава	Наименование отходов	Массовая доля, %														
		TiO <sub>2</sub>	FeCl <sub>2</sub>	C	FeCl <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> Cl <sub>6</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub>	MgCl <sub>2</sub>	MnCl <sub>2</sub>	KCl	NaCl	CrCl <sub>2</sub>	NbOCl <sub>3</sub>	TaCl <sub>5</sub>	CeCl <sub>3</sub>
1	БТМК: Плав-1	9,71	0,21	3,02	31,05	27,16	1,54	1,58	2,93	0,84	–	19,31	1,35	0,55	0,11	0,009
2	Плав-2	8,16	0,45	2,04	7,84	27,96	3,01	0,97	2,3	0,57	–	23,1	0,89	1,98	0,08	0,018
3	Отработанный расплав	4,16	16,65	2,9	0,9	6,14	8,85	4,46	7,58	4,47	–	35,87	2,02	0,13	0,05	0,021
4	ЗТМК: Отработанный расплав	3,9	12,5	2,0	0,5	1,4	8,6	3,0	14,0	3,0	30,8	14,6	3,0	–	–	0,025
5	Плав-1	13,3	0,3	2,7	30,0	31,2	1,0	1,4	1,1	0,39	19,5	2,95	0,53	1,33	0,032	0,008

**Таблица 2** – Химический состав полиметаллических порошков (ПМ)

№ состава	Обозначение полимодификатора	Массовая доля, %										
		Al	Ti	Zr	Mg	V	Ca	Nb+Ta	Mn	Cr	Cu	Fe
1	ПМ1	13,2	20,3	4,2	2,5	3,7	0,5	0,3	1,2	1,7	11,1	ост
2	ПМ2	13,6	9,0	4,4	17,3	0,7	0,6	0,75	0,85	1,3	0,9	ост
3	ПМ3	5,5	7,0	0,5	17,9	0,3	1,9	0,47	3,0	2,5	4,0	ост
4	ПМ4	12,0	18,0	0,2	15,2	0,85	0,25	–	0,5	2,2	0,2	ост
5	ПМ5	11,6	5,0	0,1	8,6	20,4	0,3		0,8	10,8	0,2	ост

**Таблица 3** – Влияние хлоридных отходов (ХЛ) и полиметаллических порошков (ПМ) на свойства серого чугуна СЧ18

Присадка модификатора, %	Содержание газов			Содержание S, %	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Жидкотекучесть, мм	Механические свойства			
	[O], %	[N], %	[H], см <sup>3</sup> /100 г				σ <sub>B</sub> , МПа	σ <sub>0,2</sub> , МПа	НВ	Стрела прогиба f, мм
0	0,0032	0,0095	3,97	0,0086	7,0330	830	185	365	205	2,6
0,8–1,2 ПМ	0,0021	0,0090	3,0	0,0600	7,1140	1250	245	485	225	3,8
1,8–2,2 ХЛ	0,016	0,0088	2,5	0,055	7,1151	1280	255	495	224	3,9

**Таблица 4** – Влияние полимодификатора (ПМ) и хлоридных отходов (ХЛ) на свойства чугуна 250Х25Т

Присадка модификатора, %	Содержание газов			Содержание S, %	Механические свойства			Относительная абразивная износостойкость	Окалиностойкость, мг/м <sup>2</sup> ч
	[O], %	[N], %	[H], см <sup>3</sup> /100 г		σ <sub>B</sub> , МПа	HR <sub>C</sub> *	Стрела прогиба f, мм		
0	0,0080	0,0028	5,2	0,055	655	56	2,2	1,00	0,085
1,2–1,5 ПМ	0,0061	0,0022	4,1	0,040	775	61,5	2,8	1,40	0,065
2,2–2,5 ХЛ	0,0051	0,0020	3,5	0,025	775	62,5	3,4	1,42	0,055

Примечание: \* – твердость HR<sub>C</sub> после нормализации.

Установлено, что наиболее высокие показатели свойств чугунов обеспечивали хлоридные отходы (ХЛ) составов 2 и 5 (см. табл. 1) и полимодификаторов составов ПМ2 и ПМ5 (см. табл. 2). При этом оптимальные присадки ПМ и хлоридных отходов ХЛ составляли соответственно 0,8–1,2 % ПМ и 1,8–2,2 % ХЛ для серого чугуна СЧ18 (таблица 3); 1,2–1,5 % ПМ и 2,0–2,5 % ХЛ для износостойкого чугуна 250Х25Т (таблица 4).

Повышение свойств серого чугуна происходило за счет измельчения, равномерного распределения графитовых включений в объеме отливки (из-за присутствия Al, V, Zr, Ti как модификаторов II рода), их перехода из пластинчатой формы в вермикулярную, уменьшения содержания газов и серы (из-за присутствия Mg, Ca, K, Na и Cl как модификаторов I рода), измельчения макро- и микроструктуры (из-за присутствия модификаторов I и II рода), а также увеличения в структуре перлитной составляющей за счет присутствия в модификаторах перлитизаторов (Cr, Mn).

Влияние полимодификаторов (ПМ) и хлоридных отходов (ХЛ) на свойства износостойкого хромистого чугуна 250Х25Т показано в таблице 4.

Высокие механические и специальные свойства высокопрочного чугуна 250Х25Т модифицированного ПМ и хлоридами ХЛ получены за счет снижения содержания серы, образования в структуре вокруг зерен каркаса мелкодисперсных прочных твердых карбонитридных включений (таблица 4).

Уменьшение содержания газов во всех литейных сплавах можно объяснить присутствием в модификаторе высокоактивных элементов алюминия, титана, тантала, кальция, калия, натрия, ниобия, хлора и др.

Проведенные исследования показали, что полимодификатор (ПМ) и хлориды (ХЛ) являются универсальными, которые наряду с повышением пластических показателей обеспечили одновременно повышение прочности и других специальных свойств.

Необходимо отметить, что широкое использование хлоридных отходов для модифицирования требует надежной вентиляции ввиду большого выделения хлора вследствие диссоциации хлоридов.

Применение хлоридных отходов (ХЛ) и полимодификатора (ПМ), простота технологии их изготовления, а также универсальность их действия – перспективное направление в повышении физико-механических и эксплуатационных свойств чугунного литья.

*Одержано 13.12.2010*

**Федьков В.О., Федьков О.В., Міняйло В.І., Мінакова В.І. Модифікування чавунів відходами титано-магнієвого виробництва**

*Вивчено, розроблено і запропоновано раціональну економічно вигідну ефективну технологію модифікування чавунів, що дозволило підвищити механічні і спеціальні властивості чавунів.*

**Ключові слова:** *модифікування, чавун, графіт пластівчатий, структура, сплав, зносостійкість, відходи.*

**Fed'kov V., Fed'kov A., Menyajlo Ye., Minakova V. Iron cast modification with titanium-magnesium production**

*A rational cost-effective technology of cast iron advantageous modification was offered and developed. This technology allows to increase mechanical and special properties of cast iron.*

**Key words:** *modification, cast iron, flaked graphite, structure, alloy, wear-resistance, waste products.*