

Рис. 10. Размещение РН на универсальном стартовом столе

Библиографические ссылки

1. Динеев В. А. Направления развития космических средств выведения / В. А. Динеев, Ю. С. Жердев // Космонавтика и ракетостроение. – 1999 – № 15. – С. 129 – 132.
2. Коптев Ю. Н. Космическая деятельность России до 2005 года / Ю. Н. Коптев, В. В. Алавердов // Фундаментальные и прикладные проблемы космонавтики. – 2001. – № 1. – С. 16 – 23.
3. Облик и основные характеристики ракетно-космического комплекса с РКН «Маяк – 12Ц» и «Маяк – 22Ц»: технический отчет / А. В. Дегтярев, А. П. Кушнарв, А. Э. Кашанов, Н. Г. Литвин. – Днепропетровск: ГП «КБ «Южное»», – 2010. – 392 с.
4. Техничко-экономические показатели создания РКК «Маяк» на острове Маджуро: техническая справка / А. В. Дегтярев, А. П. Кушнарв, А. Э. Кашанов, Н. Г. Литвин. – Днепропетровск: ГП «КБ «Южное»», – 2010. – 101 с.

Надійшла до редколегії 16.06.2012.

УДК 669.295.04

Е. А. Джур, Т. В. Носова, С. И. Мамчур, А. В. Шульга

Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара

ПРИМЕНЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ КОНВЕРСИОННЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ МАЛОУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

Конструкційні сталі застосовуються у всіх галузях промисловості, в тому числі і в аерокосмічній. Широким апробуванням та впровадженням у промисловість дове-

дено перспективність застосування технологічних добавок з відходів аерокосмічних виробництв, завдяки їх багатофункціональній дії на розплави досліджених сталей.

Ключові слова: багатокомпонентні, багатофункціональні розкислювачі, модифікування, мікролегування, технологічні добавки з промислових конверсійних відходів.

Конструкционные стали применяются во всех отраслях промышленности, в том числе и в аэрокосмической. Широким апробированием и внедрением в промышленность доказана перспективность применения технологических добавок из отходов аэрокосмических производств, благодаря их многофункциональному действию на расплавы исследованных сталей.

Ключевые слова: многокомпонентные, многофункциональные раскислители, модифицирование, микролегирование, технологические добавки из промышленных конверсионных отходов.

Constructional steels are used in all industries, including aerospace. Perspective application of technological additives from wastes aerospace industries is proved by extensive testing and implementation in industry, due to their multifunctional effect on melts of the investigated steels.

Key words: multicomponents, multifunctional deoxidizers, modifying, microalloying, technological additives from industrial aerospace wastes.

Углеродистые и низколегированные стали являются широко применяемыми в отечественной и зарубежной промышленности, объем их производства составляет ~ 90% от общего. Поэтому задачи повышения и стабилизации механических свойств путем совершенствования состава, уменьшения размеров литого зерна, количества неметаллических включений, повышения дисперсности и улучшения морфологии структуры являются важными и актуальными.

Для их решения в научной работе применен нетрадиционный подход:

– использование принципиально новых многокомпонентных и многофункциональных раскислителей, разработанных профессором, доктором технических наук Шаповаловой О. М. с целью одновременного глубокого и эффективного раскисления – модифицирования – микролегирования; это позволило уменьшить количество вредных примесей и неметаллических включений, изменить морфологию структуры, повысить уровень и стабильность механических свойств;

– изучение взаимодействия легирующих элементов и примесей путем применения современных методов исследования; что позволило выявить механизмы взаимодействия элементов в многокомпонентных системах сталей.

Новизна полученных результатов заключается в следующем:

– показано, что взаимодействие легирующих элементов и примесей в многокомпонентных системах – сталях с разным содержанием легирующих элементов разных способов производства, оказывает существенное влияние на структуру и ее однородность, повышение уровня и стабильности механических свойств;

– установлено уменьшение первичных зерен в 1,2–1,8 раза, повышение дисперсности и улучшение морфологии структуры после обработки расплавов сталей принципиально новыми технологическими добавками;

– показано, что высокоразвитая реакционная поверхность технологических добавок повышает их эффективность при взаимодействии с расплавом, многокомпонентность обеспечивает более глубокое раскисление, рафинирование, модифицирование расплавов, пористость способствует ускоренному растворению и повышению усвоения расплавом;

– доказана возможность значительного уменьшения количества неметаллических включений, повышения уровня пластичности и ударной вязкости, стабилизации характеристик механических свойств исследованных сталей под влиянием технологических добавок.

Широким апробированием и внедрением в промышленности доказана перспективность применения в производстве технологических добавок из конверсионных отходов благодаря их многофункциональному действию на расплавы сталей.

Окончательной операцией процесса выплавки малоуглеродистых и низколегированных сталей является внепечное раскисление их в ковше с целью снижения содержания кислорода и азота, уменьшения количества неметаллических включений, ответственных за уровень и стабильность механических свойств, качество литого и деформированного металла. Основными раскислителями малоуглеродистых сталей, например стали 07ЮТ, являются ферросилиций или силикомарганец, ферромарганец, алюминий чушковый и ферротитан, которые вводят в стальной расплав в ковше в указанной последовательности. Эту сталь выплавляли способом конвертерной плавки на КМК «Криворожсталь», ныне «Арселор Mettal Steel Кривой Рог», низколегированную сталь 09Г2С изготавливали способом мартеновской плавки на Алчевском металлургическом комбинате.

По идее и разработке О. М. Шаповаловой [1–5] были созданы перспективные раскислители – технологические добавки марок ДТ из промышленных конверсионных отходов титано-магниевого, Запорожского моторостроительного заводов, ПМЗ и ЮМЗ. Частичная замена традиционных раскислителей (алюминия и ферротитана) на технологические добавки позволяет существенно сэкономить энергетические и сырьевые ресурсы Украины, поскольку новые материалы изготавливают безрасплавным способом – компактированием измельченных отходов. Значительная экономия энергии (в 100 раз) определяет перспективу развития научного направления по созданию раскислителей из отходов (стружка титана и алюминия) и широкое их внедрение в промышленность. Сырьевые композиты из измельченных отходов менее плотные в сравнении с плавленными раскислителями и более чистые по примесям, поскольку изготовлены их отходов высококачественных сплавов на основе алюминия, титана, железа и др.

В табл. 1, 2, 3 представлены данные химического состава чушкового алюминия и ферротитана по ГОСТ 295-98 (ДСТУ 3753-98) и ГОСТ 4761-91 в сравнении с химическим составом технологических добавок (09-2006-5-95). Как видно из табл. 1, 2 чушковый алюминий и ферротитан более загрязнены примесями в сравнении с технологическими добавками (табл. 3), прежде всего серой, фосфором, медью, цинком, свинцом, оловом. Эти элементы являются легкоплавкими металлами (табл. 4).

Указанные легкоплавкие элементы, их эвтектики и перитектики затвердевают при значительно более низких температурах, чем аустенит. Располагаясь в межзеренных и междендритных участках затвердевающего стального расплава, легкоплавкие элементы, эвтектики и перитектики кристаллизуются в слитке последними. При нагреве же металла под обработку давлением они оплавляются в первую очередь, ослабляя связь между зернами и микрообъемами металла, где они локализируются. Это вызывает красноломкость стали в процессековки, прокатки, прессования, возникновение и распространение горячих трещин.

Таблица 1

Марки и химический состав алюминия (ГОСТ 295-98, ДСТУ 3753-98)

Марка	Массовая доля, %							
	Сумма алюминия и магния, не меньше	В том числе магния, не больше	Примеси, не более					
			Медь	Цинк	Кремний	Свинец	Олово	Всего
АВ97	97,0	0,1	0,1	0,1	1,0	0,1	0,1	3,0
АВ91	91,0	3,0	3,0	0,8	3,0	0,3	0,2	9,0
АВ87	87,0	3,0	3,8	3,3	5,0	0,3	0,2	13,0

Таблиця 2

Химический состав ферротитана (ГОСТ 4761-91, ИСО 5454-80)

Марка	Массовая доля, %												
	титана	алюми- ния	крем- ния	угле- рода	фос- фора	серы	меди	вана- дия	молиб- дена	цирко- ния	оло- ва	марган- ца	хро- ма
		не более											
ФтИ70С05	68-75	5,0	0,5	0,2	0,05	0,05	0,3	1,8	2,0	1,5	0,15	0,8	0,8
ФтИ35С7	28-40	9,0	7,0	0,2	0,07	0,05	2,0	0,8	0,5	0,2	0,05	-	-
ФтИ25	20-30	5-25	5-30	1,0	0,08	0,03	-	-	-	-	-	-	-

Таблиця 3

Химический состав технологических добавок

Мар- ка	Массовая доля, %													Σ л.э., %
	титана	алюми- ния	крем- ния	угле- рода	фос- фора	серы	меди	вана- дия	молиб- дена	желе- за	маг- ния	марган- ца	хро- ма	
		не более												
ДТ1	68	30	0,2	0,5	-	-	-	0,1	0,4	0,2	0,3	0,2	0,1	32
ДТ6	0,1	98	0,4	0,4	-	-	0,1	-	-	1,0	-	-	-	2

Таблиця 4

Температуры плавления эвтектического и перитектического превращений вредных примесей в Fe-C-сплавах

Элемент	Температура, °С			Элемент	Температура, °С		
	плавления	эвтектики	перитектики		плавления	эвтектики	перитектики
Сера	112,8	988	-	Цинк	419	183	424
Фосфор	44,1	1050	-	Свинец	327	252	-
Медь	1083	-	902,834,700, 598	Олово	232	198	246

Фосфор и сера, будучи неметаллами, заметно ослабляют межатомную связь по границам зерен, блоков, плоскостям скольжения и другим дефектам стали. Это обуславливает резкое снижение, прежде всего, ударной вязкости, особенно при циклическом нагружении, повышение порога хладноломкости, а следовательно, ограничение функциональных возможностей сталей с повышенным содержанием серы и фосфора [6, 8, 14]. Поэтому удаление неметаллических и легкоплавких металлических примесей является основной задачей сталеварения. Ее решают с помощью раскисления, модифицирования, вакуумирования, продувки расплава аргоном и другими способами [7, 9, 10, 12, 13].

В этой связи первой задачей является введение в расплав с раскислителями, технологическими добавками возможно меньшего количества примесей. Технологические добавки марок ДТ более чистые по примесям, как видно из табл. 3, благодаря следующему: использованию при компактировании более чистых исходных шихтовых материалов – стружки, обрезки, отсевок, корольков титановых, алюминиевых, железных, магниевых сплавов, чистых углеродосодержащих веществ машиностроительных, авиационных, титано-магниевых производств, которые жестко регламентированы по примесям; в табл. 5 приведены составы используемых титановых и алюминиевых сплавов по ГОСТ 19807-91 и ГОСТ 4784-97.

Как видно из табл. 5, суммарное количество загрязняющих примесей в титановых сплавах не превышает 0,30–0,32 %, в алюминиевых сплавах 0,15 %. Количество примесей в ферротитане и сплавах отличается в 103–40 раз, а в чушковом алюминии и алюминиевых сплавах в 87–20 раз. В процессе раскисления чушковым алюминием и ферротитаном все загрязняющие примеси переходят в жидкий расплав обрабатываемых сталей. Перспективные технологические добав-

ки изготавливают из стружки и других отходов, которые собирают в короба у станков или в местах их образования, поэтому они более чистые.

Разработчиками технологических добавок созданы ТУ и ТИ не только на технологии изготовления ДТ и их составы, но и на технологии сбора, измельчения, смешивания и дозирования отходов [1, 2, 4, 9, 10]. Такие технологии и организация производства переработки отходов в раскислители–модификаторы–лигатуры ограждает их от смешивания с отходами черных и цветных металлов. Для исследования влияния технологических добавок на качество сталей использовали раскислители марок ДТ разных партий со следующими характеристиками.

Таблица 5

Химический состав некоторых титановых и алюминиевых сплавов, отходы которых использованы в ДТ

Марка	Химический состав, % мас.															
	Титан	Алюминий	Ванадий	Молибден	Марганец	Хром	Кремний	Железо	Цирконий	Цинк	Медь	Магний	Кислород	Водород	Азот	Углерод
BT6C	Основа	5,3-6,5	3,5-4,5	-	-	-	0,15	0,25	0,30	-	-	-	0,15	0,01	0,04	0,10
BT3-1	Основа	5,5-7,0	-	2,0-3,0	-	0,8-2,0	0,15-0,40	0,2-0,7	0,50	-	-	-	0,15	0,01	0,05	0,10
BT1-0	Основа	-	-	-	-	-	0,10	0,25	-	-	-	-	0,20	0,01	0,04	0,07
AMг2	0,15	Основа	-	-	0,10-0,50	0,05	0,40	0,50	-	0,15	0,15	1,7-2,4	по 0,05, сумма 0,15			
AMг6	0,02-0,10	Основа	Бериллий 0,0002-0,005	0,5-0,8	-	0,4	0,4	-	0,20	0,10	5,8-6,8	по 0,05, сумма 0,15				

Таблица 6

Характеристики технологических добавок разных партий

Марка добавки	Масса, кг	Плотность, кг/м	Геометрические размеры		Осыпаемость, %
			Диаметр, м	Высота, м	
ДТ1	3,60	3500	0,17	0,055	0,05
ДТ1	3,55	3420	0,17	0,050	0,06
ДТ6	3,68	3390	0,17	0,064	0,02
ДТ6	3,62	3320	0,17	0,059	0,03

Таблица 7

Основные технологические параметры процесса внепечной обработки стали

Показатели	Предельное содержание параметра		Среднее значение параметра	Среднеквадратичное отклонение
	максимальное	минимальное		
Температура стали при выпуске, °С	1640	1590	1623	8,3
Содержание углерода, % мас.	0,22	0,05	0,12	0,039
Содержание марганца, % мас.	0,33	0,07	0,15	0,057
Расход кислорода, м ³	9900	5400	6875	846
Содержание титана, % мас.	0,042	0,005	0,01	0,006

Технологические добавки ДТ1 и ДТ6 апробировали и внедрили на КМК «Криворожсталь», ныне «Арселор Metall Steel Кривой Рог», и Алчевском металлургическом комбинате. Технологические добавки вводили в струю при сливе металла

из конвертера (150 т) на КМК «Криворожсталь» и из мартеновской печи (300 т) на Алчевском металлургическом комбинате. В табл. 7 приведены основные технологические параметры внепечной обработки стали 07ЮТ на КМК «Криворожсталь», ныне «Арселор Меттал Стел Кривой Рог», и характеристики по заводским паспортным данным. Корреляционно-регрессионным анализом большого массива данных определены коэффициенты корреляции, связь между которыми представлена на рис. 1 в виде гистограммы [11, 15, 16].

Как видно из гистограммы:

- при увеличении температуры расплава снижалось содержание углерода из-за его выгорания в конвертере под влиянием вводимого кислорода;
- с повышением расхода кислорода выгорал в стали углерод;
- между содержанием углерода и кислорода установлена наибольшая корреляционная связь: углерод удерживал титан в расплаве стали, поскольку очень велико сродство между ними согласно термодинамическим данным;
- коэффициент корреляции титана с марганцем $K_r=0,28$ указывает на взаимосвязь их содержания в расплаве как двух сильных карбидообразующих элементов, однако, эта связь, по-видимому, опосредована через углерод;
- коэффициент корреляции K_r между содержанием марганца и углерода значительный, поскольку сродство марганца к углероду достаточно велико;
- доказано хорошее усвоение титана из технологических добавок.

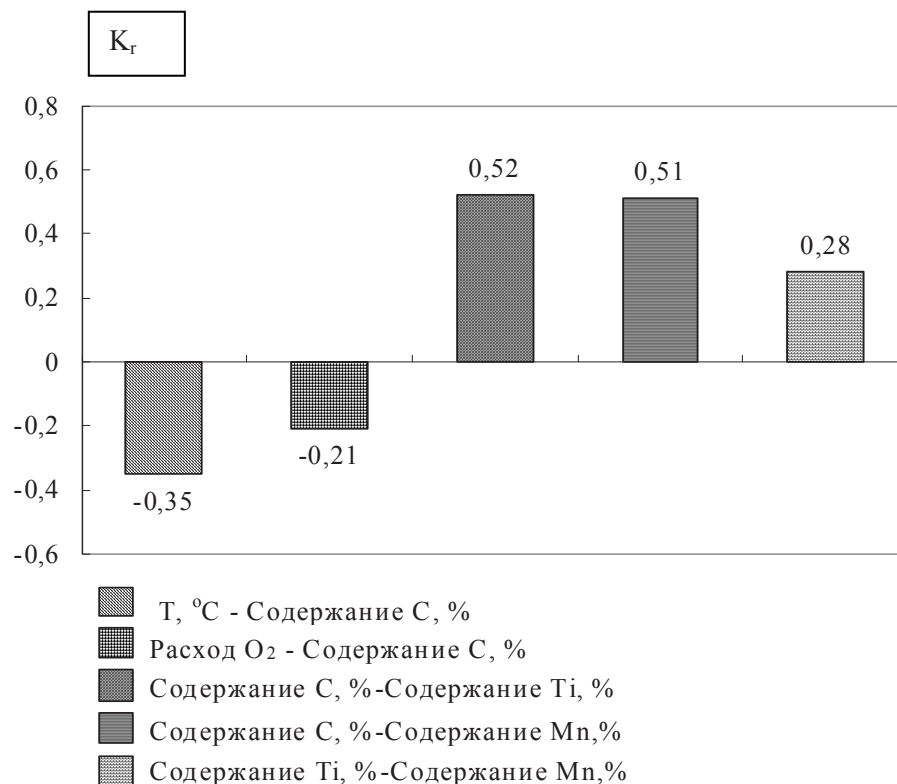


Рис. 1. Гистограмма корреляционных связей (K_r) между параметрами плавки (T $^\circ\text{C}$, расход кислорода O_2), содержанием углерода, марганца, титана

На основании полученных результатов доказана перспективность применения в производстве многокомпонентных технологических добавок многофункционального действия из конверсионных отходов для раскисления, модифицирова-

ния, микролегирования расплавов конструкционных сталей. Эти перспективные материалы широко апробированы и внедрены на металлургических предприятиях Украины и России с положительным экономическим эффектом.

Библиографические ссылки

1. А. с. 1201342 СССР, МКИ⁴ с22с 7/00. Комплексная добавка для внепечной обработки низколегированных марганцовистых сталей / О. М. Шаповалова, Н. И. Шевченко, Д. И. Подрезенко, Н. Н. Музыка и др. (СССР). – Бюл. № 19; опубл. 01.05.1987. – 5 с.
2. А. с. 1403649 СССР, МКИ⁴ с22с 7/00. Комплексная добавка для обработки низколегированных марганцевых сталей / О. М. Шаповалова, В. М. Шкуренко, Н. И. Шевченко, Е. П. Бабенко, В. М. Демура (СССР). – Бюл. № 6; опубл. 15.02.1988. – 4 с.
3. А. с. 1435618 СССР, МКИ⁴ с21с 7/072. Способ внепечной обработки стали / Н. Ф. Бахчев, А. И. Агарышев, А. Ф. Сарычев и др. (СССР). – Бюл. № 4; опубл. 28.01.1988. – 4 с.
4. А. с. 1059759 СССР, МКИ³ 35/00. Способ получения лигатуры из стружки высокопрочных титановых сплавов / О. М. Шаповалова, В. Д. Мешко, Л. П. Заболотный и др. – Бюл. №5; опубл. 01.03.1993. – 4 с.
5. А.с. 1470778 СССР, МКИ⁴ с21с 7/00, 7/06. Способ обработки стали / Я. Б. Упаговский, В. Л. Найдик и др. – Бюл. № 3; опубл. 21.01.1989. – 5 с.
6. Включения и газы в сталях: справочник. – М.: Металлургия, 1979. – 450 с.
7. Заявка 62-238322, Япония, МКИ⁴ с21с 7/04. Раскислитель для стали / УЭКО Акихино, Сумитомо Киндзоку. – № 6; опубл. 20.09.1999. – 5 с.
8. **Лунев В. В.** Сера и фосфор в стали: учебник / В. В. Лунев, В. В. Аверин. – М.: Металлургия, 1988. – 299 с.
9. Научно-исследовательская тема на 1994-1996 годы «Теоретические основы создания сырьевой базы тяжелой промышленности Украины путем ресурсосбережения и переработки отходов, разработка технологий». Решение ГКНТ (приказ № 52 от 22.03.94 г.). № ГР 0196V000255.
10. Научно-исследовательская контрактная тема на 1999-2000 годы «Створення та впровадження виробництва багатофункціональних розкислювачів з відходів за енергозберігаючими технологіями». Госконтракт № 4.99.29 от 04.01.99 г.
11. **Носова Т. В.** Взаимодействие серы с марганцем в стали 07ЮТ, обработанной технологическими добавками из отходов аэрокосмической промышленности / Т. В. Носова, О. М. Шаповалова // Космічна наука і технологія. – 2002. – Т.8, № 1. – С. 157–159.
12. **Попель С. И.** Теория металлургических процессов: учебник / С. И. Попель, А. И. Сотников, В. Н. Бороненко. – М.: Металлургия, 1986. – 462 с.
13. Раскисление стали при внепечной обработке // Mori Hajline “Tezy to zane J.Iron and steel Inst.Jap”. – 1986. – № 12. – 72 с.
14. **Самсонов Г. В.** Сульфиды: учебник / Г. В. Самсонов, С. В. Дроздова. – М.: Металлургия, 1972. – 248 с.
15. Технологические особенности переработки титановой стружки методом вакуумно-дугового переplava / О. М. Шаповалова, И. А. Маркова, Т. И. Ивченко и др. // Вопросы авиационной науки и техники. Серия: Технология легких сплавов. – 1988. – № 8. – С. 64–74.
16. **Шаповалова О. М.** Комплексное влияние серы и фосфора на механические свойства стали 07ЮТ / О. М. Шаповалова, Т. В. Носова, С. Ю. Васильев // Придніпровський науковий вісник. – Днепропетровск, 1998. – С. 34–39.

Надійшла до редколегії 14.02.2012.