

НАУГЛЕРОЖИВАНИЕ МЕТАЛЛА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ ЭШП НЕКОМПАКТОВАННОЙ СТАЛЬНОЙ СТРУЖКИ

Ю.М. Кусков, О.Г. Кузьменко

ІЗС ім. Е.О. Патона НАН України. 03150, г. Київ, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Выполнены исследования по науглероживанию металла при переплаве стружки четырех типов сталей (быстрорежущих, штамповых, жаропрочных, конструкционных) и жаропрочного сплава. Установлено, что науглероживание электрошлакового металла зависит как от химического состава стали (сплава), так и технологических особенностей плавки. К последним относятся техника переплава, способ и степень очистки стружки, состав используемых флюсов и температурные условия плавления стружки в шлаке. В большинстве случаев науглероживание определяется наличием в стружке остатков СОЖ. Показано, что для переплава стружки рекомендовано использовать токоподводящий кристаллизатор, позволяющий упростить процесс переплава при достижении минимального науглероживания металла. Библиог. 15, табл. 7.

Ключевые слова: стружка; электрошлаковый переплав; расходуемые и нерасходуемые электроды; шлак; очистка; науглероживание

По данным работы [1] отход металла в стружку при изготовлении деталей машин и механизмов из заготовки составляет 25...40 %. В результате, согласно данным работы [2], в 2017 г. в Украине при токарной и других видах механической обработки черных металлов образовывалось свыше 60 тыс. т стружки сталей различного назначения и химического состава.

Учитывая то, что наиболее рациональным способом передела стружки может стать электрошлаковый переплав (ЭШП) [3–5], необходимо оценить, как в результате использования различных технологий переплава изменяется содержание одного из главных химических элементов стали — углерода. Даже незначительное отклонение содержания углерода за пределы марочного состава существенно влияет как на механические свойства стали, так и на ее технологические и специальные свойства (свариваемость, теплостойкость, сопротивление изнашиванию и коррозии и т. п.).

Особое значение эта проблема приобретает при переделе стружки инструментальных сталей, в частности быстрорежущих, как достаточно дорогих материалов. При этом результаты сложной термической обработки во многом определяются содержанием в стали углерода [6, 7].

Началом появления многочисленных исследований по изучению процессов науглероживания следует считать годы разработки новых технологических процессов электрошлаковой обработки металлов (ЭШО, ПЭШО, ЭШВР), в которых в качестве нерасходуемых электродов обычно используют графитированные электроды [8–10].

Косвенно этой же теме были посвящены исследования по изнашиванию во время электрошлакового процесса электродов из углеродистых материалов [11, 12].

Результаты первоначально выполненных и более поздних исследований позволили сделать следующие выводы:

состав подвергаемого электрошлаковой обработке металла существенно влияет на перераспределение углерода в системе шлак–металл [10];

степень науглероживания будет тем выше, чем меньше исходное содержание углерода в металле [8];

повышение содержания углерода в наплавленном металле значительно зависит от содержания фтористого кальция в рабочем флюсе [13];

с повышением содержания в шлаке оксида кальция и температуры шлакового расплава науглероживание металла повышается [9];

введение в шлак системы Al_2O_3 –CaO–CaF₂ до 15...20 % SiO₂ позволяет ослабить науглероживание металла [8];

степень науглероживания во многом зависит от времени контакта металла со шлаком и шлака с электродом [8].

Наряду с применением графитированных электродов известны иные способы электрошлакового переплава стружки и других дискретных материалов. Например, использование металлических водоохлаждаемых электродов [4], дополнительных расходуемых электродов, по химическому составу соответствующих составу металла стружки [14] либо электродов, получаемых шнековым уплотнением подаваемой из бункера стружки [15], и др.

Следует также иметь в виду, что в большинстве случаев на процесс науглероживания электрошлакового металла существенное влияние оказывает степень очистки стружки от посторонних примесей, главным образом от СОЖ.

Целью работы является оценка науглероживания металла при различных способах ЭШП стружки и разной степени ее очистки.

Для рассмотрения более широкого класса сталей в работе кроме результатов собственных экспериментов представлены данные, полученные другими исследователями.

Методика исследований. Переплавы некомпактированной стружки осуществляли с помощью аппарата А-550 в двух типах кристаллизаторов: в обычном водоохлаждаемом диаметром 130 мм и токоподводящих (ТПК) [3] диаметрами 60 и 180 мм. Для переplавы использовали стружку разной степени очистки.

Рабочими флюсами для переplавы стружки служили АН-75, АН-15, АНФ-6, АН-29, АНФ-29, АНФ-32, АНФ-1П, а также смеси флюсов АН-15 + АНФ-6 и АН-20 + АН-348А. Такой выбор флюсов позволял получать при переplаве различную степень их основности. Составы флюсов (по ТУ) представлены в табл. 1.

Использовали три типа нерасходуемых электродов: графитированные с внутренним отверстием диаметром 30 и 60 мм; трехсекционные водоохлаждаемые электроды-кристаллизаторы (ТПК) диаметром 60 и 180 мм; электроды в виде трубчатой конструкции, собранной из вольфрамовых стержней; расходуемые электроды, представленные в виде сваренных между собой протяжек (полые заготовки) длиной примерно 120 мм и внутренним диаметром 70 мм.

Для оценки влияния графитовой футеровки ТПК (в случае ее применения) на науглероживание низкоуглеродистого металла выполняли переplав на флюсе АНФ-32 бестоковой заготовки из стали ОХ17Т диаметром 160 мм в ТПК диаметром 210 мм с отбором металла на разных стадиях формирования слитка длиной около 1300 мм. Одновременно оценивали содержание углерода в шлаке и гарнисаже. Пробы шлака периодически отбирали металлической ложкой из шлаковой ванны.

Результаты исследований и их обсуждение. Из всех применяемых типов графитированных электродов (охлаждаемых и неохлаждаемых) наименее исследован электрод-кристаллизатор (ТПК), который выполнен в виде водоохлаждаемой медной втулки с установленным по ее внутреннему диаметру кольцом толщиной не более 20 мм, обычно изготавливаемым из графита, и предназначенным для защиты от электроэрозии медной втулки. Исходя из результатов работы [11], можно сделать вывод о том, что при такой толщине кольца заметного его износа и, соответственно, внесения углерода в шлаковую ванну происходить не должно. Это предположение было проверено путем переplавы электрода из низкоуглеродистой стали ОХ17Т в ТПК диаметром 210 мм.

Установлено, что при исходном содержании в стали электрода 0,063 % С колебания его содержания в слитке составляют 0,060...0,070 %. Таким образом, можно утверждать, что наличие в ТПК защитного кольца из графита не оказывает заметного влияния на переход углерода из материала футеровки в шлак.

В этом же эксперименте дополнительно исследовали науглероживание шлака при плавлении флюса АНФ-32 в графитовом тигле для последующего его использования при выполнении жидкого старта, а также содержание углерода в шлаке и гарнисаже при выполнении переplавы электрода (табл. 2).

Установлено, что при содержании углерода в исходном флюсе 0,018 %, в шлаке, заливаемом в кристаллизатор (после 20 мин расплавления флюса), оно составляет 0,025 %.

Исследование науглероживания металла при ЭШП стружки изучено на четырех типах сталей (быстрорежущих, штамповых, жаропрочных, конструкционных) и жаропрочном сплаве. Результаты исследований представлены в табл. 3–8.

Таблица 1. Химический состав флюсов, используемых при переplаве стружки сталей разного химического состава, мас. %

Марка флюса	CaF ₂	Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	MgO	MnO	Температура плавления, °С
АН-348А	4...5	<4,5	<6,5	41...44	5,0...7,5	37...48	1250...1300
АН-15	20...23	22...25	15...19	24...29	9...10	–	1120...1140
АН-15М*	16...20	36...40	29...33	6...10	≤ 2,0	≤ 0,9	1300...1370
АН-20	25...33	27...32	3...9	19...24	9...13	–	1140
АН-29	10...15	40...50	35...45	–	–	–	1410
АН-75	56...59	9...12	6...8	18...21	68	5...7	1050...1230
АНФ-1П	92...96	3	5	2,5	–	–	1390...1410
АНФ-6	остальное	23...31	8	–	–	–	1320...1340
АНФ-25	50...60	12...20	10...15	2...7	10...15	–	1250...1270
АНФ-29	37...45	13...17	24...30	11...55	2...6	–	1230...1250
АНФ-32	–	20...25	–	5...9	–	0,3...1,3	1260
АН-291	10...20	35...45	20...28	≤ 2,5	17...25	–	1400

*Флюс содержит 20...25 % NaF.

Таблиця 2. Содержание углерода (%) в шлаке и гарнисаже

Объект исследования	Расстояние от донной части слитка, мм					
	20	200	400	600	840	1300
Шлак из шлаковой ванны	–	–	–	–	0,016	0,015
Гарнисаж	0,033	0,024	0,027	0,026	–	–

Как видно из табл. 3, на науглероживание электрошлаковых быстрорежущих сталей, в основном, влияет износ неохлаждаемых графитированных электродов и степень очистки стружки. Для переплава следует применять ТПК, как наиболее простое технологическое приспособление, совмещающее в себе водоохлаждаемый электрод и формирующий металл кристаллизатор. Отсутствие в токоподводящей секции защитной футеровки не повлияло на эрозию. С другой стороны, как показали представленные выше результаты оценки работы ТПК с защитной футеровкой, ее наличие не оказывает влияния на науглероживание получаемого металла.

Использование при переплаве стружки быстрорежущих сталей флюсов различных марок не показало заметного преимущества какого-либо со-

става флюса на процесс науглероживания такого типа сталей.

Результаты, представленные в табл. 4, показывают, насколько важно применять оптимальную технику очистки стружки от СОЖ для получения металла с содержанием углерода, соответствующим марочному составу жаропрочной стали.

Результаты переплава стружки стали 5ХНМ с использованием флюсов различного химического состава (табл. 5) подтверждают тот факт, что введение в шлаки системы $Al_2O_3-CaO-CaF_2$ и $Al_2O_3-CaO-MgO-CaF_2$ определенного количества SiO_2 оказывает положительное влияние на снижение науглероживания штамповой стали.

Помимо состава шлака, на науглероживание штамповой стали влияют и температурные усло-

Таблиця 3. Науглероживание металла при переплаве стружки быстрорежущей стали P18*

№ п/п	Обработка стружки с СОЖ до переплава	Тип электрода	Диаметр (D), мм и тип кристаллизатора	Применяемый флюс	Содержание углерода в металле, мас. %	
					стружки	слитка
1	Сухая, без СОЖ	Полый графитированный, $D_{вн} = 60$ мм	130, медный водоохлаждаемый	АН-15+ АНФ-6	0,70	1,01
					0,71	1,01
					0,70	0,92
2	Промывка в растворителе + в горячей воде с кальцинированной содой	–	–	АН-20+ АН-348А	0,77	0,95
3	Без обработки	–	–	АН-15	–	1,91
4	–	–	–	АН-20+ АН-348А	–	1,1
5	–	Полый электрод из вольфрамовых стержней	–	АН-15	–	0,80...0,83
6	–	Полый электрод из протяжек	–	АНФ-6	–	1,0...1,03
7	Промывка в горячей воде + прокатка горелкой	–	–	АНФ-6	–	0,80
8	Без обработки	Полый графитированный, $D_{вн} = 30$ мм	170, графитовый	АН-15+ АН-292	–	1,08
9	–	–	140, медный водоохлаждаемый	АН-15+ АНФ-6	–	1,21
10	промывка в горячей воде + прокатка горелкой	Полый графитированный, $D_{вн} = 60$ мм	130, медный водоохлаждаемый	–	–	1,06
11	Промывка в горячей воде	–	–	–	–	1,15
12**	Без обработки	–	–	–	–	1,05
13***	Промывка в горячей воде + прокатка при температуре 300...350 °С	ТПК (без футеровки)	60, ТПК	АН-75	0,92	0,96

*По ГОСТ 19205–73 сталь P18 содержит 0,70...0,80 % С.

**В смесь флюсов добавлено 7 % окалины.

***Материал стружки — быстрорежущая сталь P6M5.

Таблиця 4. Науглероживание металла при переплаве стружки жаропрочной стали 15X11МФ*

№ п/п	Обработка стружки с СОЖ до переплава	Тип нерасходуемого электрода	Диаметр (D), мм и тип кристаллизатора	Применяемый флюс	Содержание углерода в металле, мас. %
1	Без обработки	ТПК с графитовой футеровкой	180, ТПК	АНФ-29	3,86
2	Промывка в горячей воде с кальцинированной содой + прокатка при 600 °С, 0,5 ч	—	—	—	0,44
3	Пятиразовое кипячение с кальцинированной содой и стиральным порошком	—	—	—	0,28
4	Промывка на автомойке	—	—	—	0,17

*По ГОСТ 5632 сталь 15X11МФ содержит 0,12...0,19 % С.

вия переплава стружки (табл. 6), что подтверждают выводы в работе [9].

Возможность получения низкоуглеродистого металла при переплаве сухой стружки жаропрочного сплава ХН70ВМЮТ с использованием смеси флюсов известных марок показана в табл. 7.

Как видно из табл. 7, науглероживание металла можно исключить и при использовании шлаков, не содержащих SiO₂.

Результаты, полученные при переплаве стружки конструкционной стали, представлены в табл. 8.

Несмотря на то, что автор неизменно содержание углерода при переплаве стружки стали 35ХГСА объясняет наличием во флюсе АНФ-32 5...9 % диоксида кремния, это объяснение не подтверждается результатами переплава на флюсе АН-29 (SiO₂ составляет 12...18 %). По-видимому основное влияние на рост науглероживания ме-

Таблиця 5. Науглероживание металла при переплаве стружки штамповой стали 5ХНМ

№ п/п	Обработка стружки с СОЖ до переплава	Тип нерасходуемого электрода	Тип кристаллизатора	Применяемый флюс	Содержание углерода, мас. %		
					металл		шлак до/после переплава
					стружки	слитка	
1	Без СОЖ	Водоохлаждаемый с графитированным наконечником	Медный водоохлаждаемый	АН-15	0,55	0,55	0,030/0,025
2	—	—	—	АН-15М	0,58	0,58	0,040/0,035
3	—	—	—	АНФ-1П	0,55	0,63	—
4	—	—	—	АНФ-6	0,52	0,58	0,035/0,030
5	—	—	—	АНФ-25	0,22	0,55	0,040/0,035

Таблиця 6. Влияние температуры и состава шлака на процесс науглероживания стали 5ХНМ

№ п/п	Марка флюса	Температура шлака, °С	Содержание углерода, мас. %			
			Исходное	Расстояние от нижней плоскости слитка, мм		
				3	10	50
1	АНФ-6	1550	0,52	0,55	0,53	0,52
		1750	0,59	0,72	0,61	0,59
2	АН-15М	1550	0,56	0,59	0,56	0,56
		1800	0,62	0,64	0,63	0,62

Таблиця 7. Науглероживание металла при переплаве стружки жаропрочного сплава ХН70ВМЮТ [15]*

Обработка стружки с СОЖ до переплава	Тип нерасходуемого электрода	Тип кристаллизатора	Применяемый флюс	Содержание углерода в металле, мас. %	
				стружки	слитка
сухая, без СОЖ	Стержни из W, Мо, графита (тип электрода не уточнен)	Металлический	60 % АНФ-6 + 40 % АН-291	0,12	0,11

*Химический состав шлака использованной смеси флюсов, %: 48,42 CaF₂; 35,05Al₂O₃; 10,56 CaO; 6,00 MgO.

Таблиця 8. Науглероживание металла при переплаве стружки конструкционной стали 35ХГСА [1]

№ п/п	Обработка стружки с СОЖ до переплава	Тип нерасходуемого электрода	Тип кристаллизатора	Применяемый флюс	Содержание углерода в металле, мас. %	
					стружки	слитка (низ/середина/верх)
1	Способ обработки не указан	Полый графитированный	Медный водоохлаждаемый	АНФ-6	Не определяли*	0,35/0,40/0,48
2	—	—	—	АН-29	—	0,34/0,80/1,36
3	—	—	—	АНФ-32	—	0,34/0,36/0,38

*По ГОСТ 4543-71 сталь содержит 0,32...0,39 % С.

талла при плавке стружки на флюсе АН-29 можно соотнести с повышенным содержанием в нем оксида кальция (35...45 %) и образованием в шлаке в процессе переплава карбида кальция. Возможно определенное влияние на науглероживание металла оказывает температура шлаковой ванны (электропроводность флюсов АН-29 и АНФ-32 при температурах 1500...1600 °С составляет 1,0...1,5 и 1,6...2,0 Ом⁻¹·см⁻¹ соответственно).

Выводы

1. Электрошлаковые технологии переплава стружки сталей и сплавов различного химического состава и назначения позволяют получать качественный металл с содержанием в нем углерода согласно требованиям ТУ.

2. В зависимости от марки стали (сплава) переплавляемой стружки на науглероживание металла влияют техника переплава (выбор оптимального типа электродов), способ и степень очистки стружки, химический состав используемых флюсов и температура шлаковой ванны.

Список литературы

1. Кочкин С.В. (2015) *Разработка технологии переработки металлической стружки методом электрошлакового переплава*. web.snauka.ru/issuses/2015/06/53989
2. (2017) *Державна служба статистики України. Економічна статистика. Економічна діяльність. Навколишнє середовище*. http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/ns.htm
3. Кусков Ю.М. (2001) Электрошлаковый переплав отходов различных производств с использованием нерасходуемого водоохлаждаемого электрода. *Электрометаллургия*, **2**, 24–28.
4. Биктагиров Ф.К. (2003) Применение электрошлакового процесса с нерасходуемыми электродами для плавки, рафинирования и обработки металлов. Сообщение 2. *Современная электрометаллургия*, **1**, 5–9.
5. Жеребцов С.Н. (2012) Применение технологии электрошлакового переплава стружки высоколегированных ста-

лей и сплавов для получения мерной заготовки. *Электрометаллургия*, **4**, 32–34.

6. Першин П.С. (1962) *Литой инструмент*. Москва-Свердловск, Машгиз.
7. Ревис И.А., Лебедев Т.А. (1972) *Структура и свойства литого режущего инструмента*. Ленинград, Машиностроение.
8. Воронин А.Е., Латаш Ю.В., Николаев В.А. и др. (1976) Исследование науглероживания металла при электрошлаковом процессе с графитированным электродом. *Специальная электрометаллургия*, **32**, 22–27.
9. Волкотруб Н.П., Лютый И.Ю., Воронин А.Е., Крутиков Р.Г. (1978) Особенности процесса науглероживания чугуна при электрошлаковой обработке. *Там же*, **37**, 24–30.
10. Воронин А.Е., Латаш Ю.В., Биктагиров Ф.К. и др. (1984) Влияние состава стали на распределение углерода между шлаком и металлом при электрошлаковой обработке. *Там же*, **57**, 12–17.
11. Яковенко В.А., Лютый И.Ю. (1985) Исследование износа графитированных электродов при электрошлаковом процессе. *Пробл. спец. электрометаллургии*, **1**, 19–24.
12. Яковенко В.А., Латаш Ю.В., Лютый И.Ю., Конотоп В.Ф. (1989) Износ электродов из различных углеродистых материалов в условиях электрошлакового процесса. *Там же*, **1**, 25–28.
13. Давыдов А.К., Гончаров А.Е., Соловьев Г.И., Марфинин В.В. (1997) Электрошлаковая наплавка графитовым электродом. *Сварочное производство*, **6**, 47–48.
14. Гохман Г.З., Волков А.Е., Ксендзык Г.В., Кусков Ю.М. (1985) Электрошлаковый переплав стружки быстрорежущей стали. *Специальная электрометаллургия*, **58**, 55–62.
15. Медовар Б.И., Цикуленко А.К., Богаченко А.Г., Литвинчук В.М. (1982) *Электрошлаковая технология за рубежом*. Киев, Наукова думка.

References

1. Kochkin, S.V. (2015) *Development of technology of metal strip recycling by electroslag remelting method*. web.snauka.ru/issuses/2015/06/53989 [in Russian].
2. (2017) State statistics service of Ukraine. *Economical statistics. Economical activity. Environment*. http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/ns.htm [in Ukrainian].
3. Kuskov, Yu.M. (2001) Electroslag remelting of waste of different enterprises using nonconsumable water-cooled electrode. *Elektrometallurgiya*, **2**, 24–28 [in Russian].

4. Biktagirov, F.K. (2003) Application of non-consumable electrode electroslag process for melting, refining and treatment of metals. Report 2. *Advances in Electrometallurgy*, **1**, 4–8.
5. Zharebtsov, S.N. (2012) Application of technology of electroslag remelting of high-alloyed steels and alloys for producing of measuring billet. *Elektrometallurgiya*, **4**, 32–34 [in Russian].
6. Pershin, P.S. (1962) *Cast tool*. Moscow-Sverdlovsk, Mashgiz [in Russian].
7. Revis, I.A., Lebedev, T.A. (1972) *Structure and properties of cast cutting tool*. Leningrad, Mashinostroenie [in Russian].
8. Voronin, A.E., Latash, Yu.V., Nikolaev, V.A. et al. (1976) Investigation of carbonizing of metal during electroslag process with graphitized electrode. *Spec. Elektrometallurgiya*, **32**, 22–27 [in Russian].
9. Volkotrub, N.P., Lyuty, I.Yu., Voronin, A.E., Krutikov, R.G. (1978) Peculiarities of the process of cast iron carburizing in electroslag treatment. *Ibid.*, **37**, 24–30 [in Russian].
10. Voronin, A.E., Latash, Yu.V., Biktagirov, F.K. et al. (1984) Influence of steel composition on carbon distribution between slag and metal in electroslag treatment. *Ibid.*, **57**, 12–17.
11. Yakovenko, V.A., Lyuty, I.Yu. (1985) Examination of wear of graphitized electrodes in electroslag process. *Problemy Spets. Elektrometallurgii*, **1**, 19–24 [in Russian].
12. Yakovenko, V.A., Latash, Yu.V., Lyuty, I.Yu., Konotop, V.F. (1989) Wear of electrodes of different carbon materials under conditions of electroslag process. *Ibid.*, **1**, 25–28 [in Russian].
13. Davydov, A.K., Goncharov, A.E., Soloviov, G.I., Marfitsin, V.V. (1997) Electroslag surfacing by graphite electrode. *Svarochn. Proizvodstvo*, **6**, 47–48 [in Russian].
14. Gokhman, G.Z., Volkov, A.E., Ksyondzyk, G.V., Kuskov Yu.M. (1985) Electroslag remelting of high-speed steel. *Spets. Elektrometallurgiya*, **58**, 55–62 [in Russian].
15. Medovar, B.I., Tsykulenko, A.K., Bogachenko A.G., Litvinchuk, V.M. (1982) *Electroslag technology abroad*. Kiev, Naukova Dumka [in Russian].

НАВУГЛЕЦЬОВУВАННЯ МЕТАЛУ ПРИ РІЗНИХ СПОСОБАХ ЕШП НЕКОМПАКТОВАНОЇ СТАЛЕВОЇ СТРУЖКИ

Ю.М. Кусков, О.Г. Кузьменко

ІЕЗ ім. С.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Виконано дослідження по науглецюванню металу при перепавлі стружки чотирьох типів сталей (швидкорі-зальних, штампових, жароміцних, конструкційних) та жароміцного сплаву. Встановлено, що науглецюван-ня електрошлакового металу залежить як від хімічного складу сталі (сплаву), так і технологічних особливостей плавки. До останніх відносяться техніка перепавлу, спосіб і ступінь очищення стружки, склад використовува-них флюсів і температурні умови плавлення стружки в шлаку. У більшості випадків науглецювання визна-чається наявністю в стружці залишків МОР. Показано, що для перепавлки стружки рекомендовано використо-вувати струмопідвідний кристалізатор, що дозволяє спростити процес перепавлу при досягненні мінімального науглецювання металу. Бібліогр. 15, табл. 7.

Ключові слова: стружка; електрошлаковий переплав; витратний і невитратний електроди; шлак; очищення; науглецювання

METAL CARBONIZATION WITH DIFFERENT METHODS OF ESR OF NON-COMPACTED STEEL CHIPS

Yu.M. Kuskov, O.G. Kuzmenko

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine.

11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv, Ukraine. E-mail: office@paton.kiev.ua

Investigations of metal carbonization at remelting of chips of four types of steels (high-speed, stamping, high-temperature, structural) and a high-temperature alloy were performed. It was found that carbonization of electroslag metal depends both on chemical composition of steel (alloy), and on technological features of melting. The latter include remelting technique, method and degree of chips cleaning, composition of the used fluxes and temperature conditions of chips melting in the slag. In most of the cases, carbonization is determined chiefly by presence of LCL remains in the chips. It is shown that application of current-conducting electrode-mould is recommended for chips remelting, which allows simplifying the remelting process after achievement of maximum carbonization of the metal. Ref. 15, Tabl. 7.

Key words: chips; electroslag remelting; consumable and nonconsumable electrodes; slag; cleaning; carbonization

Поступила в редакцію 07.07.2020

