

УДК 672.1

АНАЛИЗ ПРОДУКЦИИ, ПОЛУЧЕННОЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВНЕДРЕНИЯ НОВОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВАКУУМНЫМ ДУГОВЫМ ПЕРЕПЛАВОМ

Ильинский А.И., начальник лаборатории переплавных процессов (aleksey@ilyinskiy.ru)

Ливаткин П.А., мастер по ремонту цеха КИПиА, аспирант ИПУ РАН (PAL2010@yandex.ru)

Положенцев К.А., старший мастер по ремонту цеха КИПиА, аспирант

СТИ НИТУ «МИСиС» (kirill.polozhentsev@gmail.com)

ОАО «Металлургический завод «Электросталь»

(144002, Россия, Московская обл., Электросталь, ул. Железнодорожная, 1)

Аннотация. На металлургическом заводе «Электросталь» разработана и внедрена новая система автоматического управления на вакуумной дуговой печи № 8. В настоящей работе рассматривается качество получаемых слитков после вакуумного дугового переплава с использованием новой и старой систем автоматического управления вакуумными дуговыми печами в сталеплавильном цехе № 6. Опыты проводились с использованием сплава ЭИ435. В ходе вакуумного дугового переплава на печах № 8 и № 10 выявлено, что качество слитков, получаемых на печи № 8, выше, чем на печи № 10. Далее была произведена обработка слитков вакуумного дугового переплава на прессе 6300 в кузнечно-прессовом цехе № 2, а затем на стане 250/350 в прокатном цехе № 3. Продукция, полученная из слитков, выплавленных на печи № 8, позволяет экономить до 83 кг с каждой тонны металла.

Ключевые слова: вакуумная дуговая печь, управление вакуумным дуговым переплавом, сплав ЭИ435, серийная технология переплава, опытная технология переплава, ионизация, скорость переплава, макроструктура слитков, технические условия ТУ14-1-1671.

DOI: 10.17073/0368-0797-2015-11-810-814

В настоящей работе рассматривается качество получаемых слитков после вакуумного дугового переплава (ВДП) с использованием новой и старой систем автоматического управления вакуумными дуговыми печами № 8 и № 10 в сталеплавильном цехе № 6 (СПЦ-6) на металлургическом заводе «Электросталь» [1].

С целью исследования качества выплавляемых слитков был выбран сплав ЭИ435.

Электроды диам. 250 мм исследуемого сплава были подготовлены к вакуумному дуговому переплаву методом сплошной обточки поверхности на обдирочных станках. Диаметры и вес подготовленных электродов приведены в табл. 1.

Вакуумный дуговой переплав трех электродов (№ 2, 6, 7) производили на вакуумной дуговой печи № 8 с применением новой системы управления (опытная технология) (рис. 1). Переплав остальных электродов производили по серийной технологии (рис. 2) на вакуумной дуговой печи № 10 [2, 3].

При вакуумном дуговом переплаве с применением новой системы управления подствывания «жидкой» ванны у края кристаллизатора не наблюдалось. Сокращение продолжительности ионизации составляло не более 1 с. Наблюдалось мгновенное подавление зарождающейся ионизации в результате сжатия столба дуги знакопеременным магнитным полем (ЗМП). На протяжении всего переплава на расходуемом электроде

сохранялся четкий «буртик» [4, 5]. Внешний вид оставшихся после ВДП огарков по обеим технологиям приведен на рис. 3.

В табл. 2 приведены параметры переплава и скорость наплавления слитков сплава ЭИ435. При пере-

Таблица 1

Диаметры и вес подготовленных электродов

Table 1. The diameters and weight of prepared electrodes

Номер электрода	Вес подготовленных электродов, кг	Диаметры подготовленных электродов, мм		Дефекты
		голова	хвост	
1	654	250	230	На конусе поперечная трещина
2	596	250	224	–
3	610	250	230	–
4	636	250	226	–
5	638	250	230	На конусе поперечная трещина
6	622	250	230	–
7	648	248	222	–



Рис. 1. Слиток ВДП сплава ЭИ435, переплавленный по опытной технологии

Fig. 1. VAR ingot of EI435 alloy remelted with the experienced technology



Рис. 2. Слиток ВДП сплава ЭИ435, переплавленный по серийной технологии

Fig. 2. VAR ingot of EI435 alloy remelted with serial technology



Рис. 3. Внешний вид оставшихся после ВДП огарков

Fig. 3. Exterior of the cinders after VAR

Параметры переплава и скорость наплавления слитков сплава ЭИ435

Table 2. Parameters of remelting and meltrate of the ingots of EI435 alloy

Технология	Номер слитка	Номер электрода	Рабочий ток переплава, кА	Параметры ЗМП (ток соленоида, кА)	Скорость наплавления слитка, кг/мин
Серийная	1	1	3,8	0	1,71
	2	5			1,75
	3	3			1,80
	4	4			1,77
	Среднее значение				
Опытная	1	6	3,8	3,5	1,71
	2	2			1,70
	3	7			1,69
	Среднее значение				

плаве требовалось поддерживать желаемую скорость наплавления слитка равной 1,70 кг/мин. Из данных табл. 2 видно, что скорости наплавления слитков, переплавленных по серийной и опытной технологиям, находятся на одном уровне. Однако постоянство технологических параметров новой системы (напряжение, ток, расстояние и др.) позволяет поддерживать идентичность технологии ВДП, которая заложена в профиль плавки по току и напряжению, и снизить влияние человеческого фактора [6 – 8].

Выгруженные из кристаллизатора слитки охлаждались на воздухе.

После обработки поверхности на слиткообдирочных станках вакуумные дуговые слитки диам. 320 мм сплава ЭИ435 поступали в кузнечно-прессовый цех № 2 (КПЦ-2) на горизонтальный пресс 6300 [9, 10]. При этом было отмечено, что на слитке № 2 плавки по серийной технологии произведена обреза с головной части на 125 мм (из-за неудаляемых дефектов поверхности слитка – шлаковые включения). Подготовку, нагрев и прессование слитков проводили по серийной технологии из контейнера диам. 310 мм на заготовку диам. 95 мм для прокатного цеха № 3. Замечаний при прессовании слитков не было. Полученные заготовки

без обработки поверхности были сданы в прокатный цех № 3. Передел заготовок на стане 350/250 осуществлялся по действующей технологии [11, 12]. Замечаний по исполнению технологии не было. Механические свойства, определяемые при комнатной температуре, соответствовали нормам ТУ и имели достаточный запас по всем характеристикам. Контрольно-сдаточные испытания плавки опытной технологии в диам. 28/26 мм и в диам. 27/25 мм проводили в соответствии с ТУ 14-1-3957. Свойства фактические. Макроструктура всех плавков удовлетворительная [13 – 15]. Сквозной расход металла от «черного» вакуумного дугового слитка до катаного сорта со стана 350/250 представлен в табл. 3. Видно, что сквозной расход металла на плавке, выполненной с применением опытной технологии, ниже серийной на 83 кг/т.

На рис. 4 представлена макроструктура расходоуемого электрода сплава ЭИ435.

На рис. 5 представлена макроструктура продольного сечения слитка № 3 сплава ЭИ435, полученного с помощью опытной технологии на вакуумной дуговой печи № 8.

На рис. 6 представлена макроструктура головной части слитка № 2 сплава ЭИ435, полученного с помощью

Сквозной расход металла слитка докатанного сорта

Table 3. The through consumption of metal of rolled stock ingot

Технология	Расходный коэффициент, кг/т						выходной
	СПЦ-6			КПЦ-2	прокатный цех № 3		
	на подготовку к переплаву	на переплав	на обработку	на прессование	на обдирку	на прокат заготовок	
Серийная	1308	1086	1180	1165	1040	1045	2122
Опытная		1103	1142	1149	1060	1016	2039

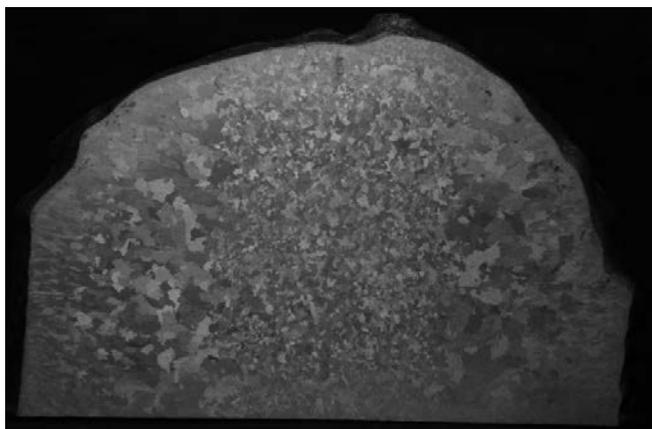


Рис. 4. Поперечное сечение переплавляемого расходоуемого электрода сплава ЭИ435 на вакуумной дуговой печи №8

Fig. 4. Cross section of the consumable electrode of EI435 alloy remelted at the vacuum arc furnace no. 8

опытной технологии на вакуумной дуговой печи № 8.

Выводы. Сквозной расход металла от «черного» вакуумного дугового слитка до катаного сорта со стана 350/250 для слитка, выплавленного на вакуумной дуговой печи № 8 ниже, чем при переплаве на вакуумной дуговой печи № 10 на 83 кг/т.

Применение при вакуумном дуговом переплаве новой системы управления способствует подавлению зарождающейся ионизации во время переплава, поддержанию постоянной скорости переплава и стабилизации процесса.

Макроструктура всех слитков сплава ЭИ435, переплавленных на вакуумной дуговой печи № 8 с новой системой управления однородна и удовлетворяет предъявляемым требованиям.

Механические свойства плавок, проведенных на вакуумной дуговой печи № 8, имеют достаточный запас по всем характеристикам.

Установка новой системы управления на остальных вакуумных дуговых печах сталеплавильных цехов металлургического завода «Электросталь» экономически целесообразна, это позволит вывести предприятие на более высокий технологический уровень.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Логунова О.С. / Под ред. Б.Н. Парсункина. Автоматизация и оптимизация управления выплавкой стали в электродуговых печах. – Магнитогорск: изд-во МГТУ, 2012. – 304 с.
2. Kazak O.V., Semko A.N. Electro-vortex motion of a melt in dc furnaces with a bottom electrode // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2011. January. Vol. 84. Issue 1. P. 223 – 231.
3. Dednev A.A., Kisselman M.A., Nekhamin S.M. etc. Modernization of the control system and the electrical equipment of DSV vacuum arc furnaces // Russian Metallurgy (Metally). 2010. June. Vol. 2010. Issue 6. P. 517 – 521.
4. Колесниченко Е.А., Жульев С.И., Пегешева С.А., Руцкий Д.В. Исследование неоднородности литого металла вблизи вторичной усадочной раковины слитка с прямой конусностью //

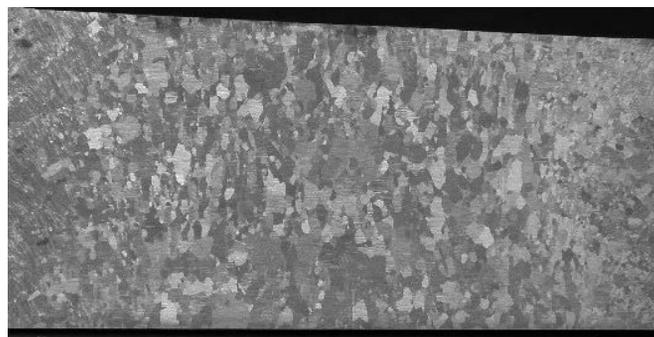


Рис. 5. Продольное сечение полученного слитка № 3

Fig. 5. Longitudinal section of the resulting ingot no. 3

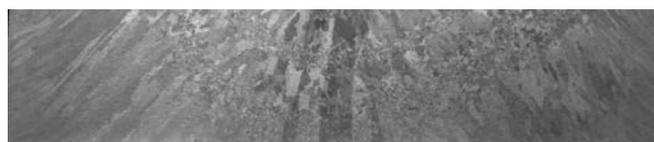


Рис. 6. Макроструктура головной части слитка № 2

Fig. 6. Microstructure of the head of ingot no. 2

5. Известия ВолГТУ. 2009. Т. 10. № 2. С. 144 – 145.
6. Гаманюк С.Б., Яшук С.В., Руцкий Д.В. Особенности внутреннего строения и распределения примесей в слитке стали 38ЧНЗМФА // Известия ВолГТУ. 2008. Т. 10. № 2. С. 154 – 156.
7. Потапов В.И., Сувор А.Н., Игизьянова Н.А., Рябинин Т.В. Генерация тепловой энергии в шлаковой ванне при электрошлаковом переплаве: математическое моделирование // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Металлургия». 2008. № 24 (124). С. 28 – 31.
8. Чуманов И.В., Пятагин Д.А. Влияние рода тока и скорости вращения электрода при ЭШП на химический состав стали // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Металлургия». 2010. № 34 (210). С. 13 – 15.
9. Пятагин Д.А., Порсев М.А., Сувор А.Н., Чуманов И.В. Параметрическая идентификация математической модели ЭШП // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Металлургия». 2009. № 36 (169). С. 28 – 30.
10. Колодкин В.М., Княжин В.С., Колодкин М.В., Сенопальников В.М. Проектирование технологии производства кузнечного слитка // Вестник Удмурдского университета. 2008. № 4 – 1. С. 120 – 128.
11. Зюбан Н.А., Руцкий Д.В., Коновалов С.С., Фирсенко В.В. Влияние геометрии донной части на условия образования шнуров внеосевой ликвации в крупных кузнечных слитках // Известия ВолГТУ. 2013. Т. 7. № 6 (109). С. 127 – 131.
12. Тутьнин А.В., Дворников Л.Т. Фазы движения роликового квантователя прокатного стана и его кинематика // Вестник КузГТУ. 2015. № 1 (107). С. 67 – 69.
13. Антощенко Ю.М., Таупек И.М., Горбачев Д.С. Возможность получения качественных поковок из высоколегированных сталей и сплавов на радиально-обжимных машинах // Современные наукоемкие технологии. 2012. № 7. С. 40 – 42.
14. Беляев И.В., Зорина Е.В., Стукалов В.Ф. Влияние высокотемпературной обработки расплава на газонасыщенность и макроструктуру отливок из сплава ЮНДКТ5БА // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2007. Т. 12. Вып. 3. С. 255 – 261.
15. Камышанченко Н.В., Гальцев А.В., Печерина О.А. Изменение макроструктуры и физико-механических свойств технической чистого никеля в процессе отжига в диапазоне 20 °С – 600 °С

// Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия «Математика. Физика». 2012. Т. 27. № 11. С. 145 – 148.

15. Радченко В.П., Морозов А.П. Влияние режимов упругопластического нагружения и испытаний на ползучесть на характе-

ристики поверхностного слоя образцов из алюминия АД-1 // Вестник Тамбовского университета. Серия «Естественные и технические науки». 2013. Т. 18. № 4 – 2. С. 1823 – 1824.

Поступила 17 марта 2015 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY. 2015. Vol. 58. No. 11, pp. 810–814.

ANALYSIS OF THE PRODUCT AFTER THE INTRODUCTION OF A NEW AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF VACUUM ARC REMELTING

A.I. Il'inskii, Head of the Laboratory of Remelting Processes (aleksey@ilyinskiy.ru)

P.A. Livatkin, Master of Shop Repairing, Postgraduate of V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences (PAL2010@yandex.ru)

K.A. Polozhentsev, Leading Master of Shop Repairing, Postgraduate of STI MISiS (kirill.polozhentsev@gmail.com)

JSC “Metallurgical Plant “Electrostal” (1, Zheleznodorozhnaya str., Elektrostal, Moscow Region, 144002, Russia)

Abstract. The management system of vacuum arc furnace no. 8 at JSC “Metallurgical Plant “Electrostal” was modernized. To determine the quality of the ingot during vacuum arc remelting the central research laboratory of JSC “Metallurgical Plant “Electrostal” made a comparative analysis of ingots produced at the vacuum arc furnaces no. 10 and no. 8. The experiments were performed using the EI435 alloy. It was found that the quality of ingots produced in the furnace no. 8 is higher than the quality of ingots from the furnace no. 10. Next further processing of vacuum arc remelting ingots was produced on the press 6300 in the forging shop no. 2, and then at rolling mill 250/350 in the rolling shop no. 3. Derived products from ingots, melted in the furnace no. 8, save up to 83 kilograms of each ton of metal.

Keywords: vacuum arc furnace, control of vacuum arc remelting, EI435 alloy, serial remelting technology, experienced technology of remelting, ionization, remelting rate, ingots macrostructure, specifications TU14-1-1671.

DOI: 10.17073/0368-0797-2015-11-810-814

REFERENCES

- Parsunkin B.N., Andreev S.M., Logunova O.S. *Avtomatizatsiya i optimizatsiya upravleniya vylavkoi stali v elektrodugovykh pechakh: monografiya* [Automation and optimization of steel production management in electric arc furnaces: Monograph]. Parsunkin B. N. ed. Magnitogorsk: izd-vo Magnitogorsk. gos. tekhn. un-ta, 2012, 304 p. (In Russ.).
- Kazak O.V., Semko A.N. Electro-vortex motion of a melt in dc furnaces with a bottom electrode. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. 2011, vol. 84, no. 1, pp. 223–231.
- Dednev A.A., Kisselman M.A., Nekhamin S.M., Kalinin V.I., Koshelev Yu.N. Modernization of the control system and the electrical equipment of DSV vacuum arc furnaces. *Russian Metallurgy (Metally)*. 2010, vol. 2010, no. 6, pp. 517–521.
- Kolesnichenko E.A., Zhul'ev S.I., Pegisheva S.A., Rutskaa D.V. The study of heterogeneity of cast metal near the secondary shrinkage cavity of the bar with a straight. *Izvestiya Volgogradskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta*, 2009, vol. 10, no. 2, pp. 144–145. (In Russ.).
- Gamanyuk S.B., Yashchuk S.V., Rutskaa D.V. Features of the internal structure and the distribution of impurities in the ingot of 38ChN3MFA steel. *Izvestiya Volgogradskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta*, 2008, vol. 10, no. 2, pp. 154–156. (In Russ.).
- Potapov V.I., Surov A.N., Igiz'yanova N.A., Ryabinin T.V. Generation of thermal energy in the slag bath at electroslag remelting: mathematical modeling. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Metallurgiya*, 2008, no. 24 (124), pp. 28–31. (In Russ.).
- Chumanov I.V., Pyatygin D.A. Effect of the current type and the rotational speed of the ESR electrode in the chemical composition of steel. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Metallurgiya*, 2010, no. 34 (210), pp. 13–15. (In Russ.).
- Pyatygin D.A., Porsev M.A., Surov A.N., Chumanov I.V. The parametric identification of the ESR mathematical model. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Metallurgiya*, 2009, no. 36 (169), pp. 28–30. (In Russ.).
- Kolodkin V.M., Knyazhin V.S., Kolodkin M.V., Senopal'nikov V.M. Technological design in production of forging ingots. *Vestnik Udmurtskogo Universiteta*, 2008, no. 4–1, pp. 120–128. (In Russ.).
- Zyuban N.A., Rutskaa D.V., Konovalov S.S., Firsenko V.V. Influence of geometry at the bottom part on the formation conditions of the off-axis segregation cords in large forging ingots. *Izvestiya Volgogradskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta*, 2013, vol. 7, no. 6 (109), pp. 127–131. (In Russ.).
- Tutylin A.V., Dvornikov L.T. Phases of roller quantizer movement of rollin mill and its kinematics. *Vestnik Kuzbasskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta*, 2015, no. 1 (107), pp. 67–69. (In Russ.).
- Antoshchenkov Yu.M., Taupek I.M., Gorbachev D.S. The possibility of obtaining high-quality forges of high-alloyed steel and alloys at radial crimping machines. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*, 2012, no. 7, pp. 40–42. (In Russ.).
- Belyaev I.V., Zorina E.V., Stukalov V.F. Effect of high temperature treatment of the melt on the gas saturation and macrostructure of castings of YuNDKT5BA alloy. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal)*, 2007, vol. 12, no. 3, pp. 255–261. (In Russ.).
- Kamyshanchenko N.V., Gal'tsev A.V., Pecherina O.A. Changes of macrostructure and physico-mechanical properties of technically pure nickel during annealing at the range from 20 °C to 600 °C. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Matematika. Fizika*, 2012, vol. 27, no. 11, pp. 145–148. (In Russ.).
- Radchenko V.P., Morozov A.P. Effect of elastic-plastic loading and creep tests on the characteristics of the surface layer of samples of AD-1 aluminum. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki*, 2013, vol. 18, no. 4-2, pp. 1823–1824. (In Russ.).

Received March 17, 2015