

ПІДВИЩЕННЯ ЕКОНОМІЧНОСТІ ОТРИМАННЯ ЗЛИТКА ЕШП
ДІАМЕТРОМ 800 мм І МАСОЮ ШІСТЬ ТОНН
ЗА РАХУНОК ЛИТОГО ЕЛЕКТРОДА
ЗБІЛЬШЕНОГО ЗМІННОГО ПЕРЕРІЗУ

С.Г. Кійко, І.М. Логозинський, С.В. Давидченко, О.Г. Федьков, М.С. Мосієвич, Ю.В. Роговська

ПрАТ «Електрометалургійний завод «Дніпроспецсталь».
69008, м. Запоріжжя, Південне шосе, 81. E-mail: info@dss.com.ua

Виконано роботи з проектування та виготовлення виливниці для виливки електрода змінного збільшеного перерізу для виплавки злитка ЕШП діаметром 800 мм і масою шість тонн. Відпрацьовано технологічну схему виготовлення литого витрачуваного електрода змінного перерізу й технологію його ЕШП в кристалізатор діаметром 800 мм зі збільшеним коефіцієнтом заповнення кристалізатора. Наведено результати з витрат електроенергії при ЕШП литого електрода і зниження собівартості зливка ЕШП на 10...15 %. Розроблено технологію виливки електродів збільшеного діаметра для виробництва злитків ЕШП перетином 800 мм і масою шість тонн ледебуритного типу Х12МФ-Ш та інших марок сталей 40Х13-Ш, 15Х12Н2МВФАБ-Ш (ЕП517-Ш). Визначено оптимальну геометричну форму електрода та режим електрошлакового переплаву зі збільшеним коефіцієнтом заповнення кристалізатора, що забезпечують якість поверхні злитків ЕШП для деформаційного переділу. Бібліогр. 8, табл. 4, рис. 12.

Ключові слова: собівартість, електрошлаковий переплав, електрод, злиток ЕШП, виливниця, кристалізатор, поковка

Вступ. Поковки збільшеного перерізу до кристалізатора 600 мм і смуги від 202×805 до 300×805 мм із марок сталей Х12МФ-Ш, 40Х13-Ш, 4Х5МФ1С та ін. на ПрАТ «Дніпроспецсталь» виготовляють із злитка ЕШП діаметром 800 мм та масою 6 т.

Електроди для виплавки злитка ЕШП діаметром 800 мм ледебуритних марок сталей отримують куванням зі злитка масою 7,4 т, для інших марок виготовляють прокаткою зі злитків відкритої дугової виплавки (ОДВ). При цьому на виплавку одного злитка ЕШП витрачається два злитки ОДВ масою 3,7 т.

Собівартість злитка ЕШП найбільше залежить від електрода, частка витрат на виготовлення якого сягає 80 %. Тому для ПрАТ «Дніпроспецсталь» питання зниження собівартості злитка ЕШП дуже

актуально. Найбільш раціональним за способом виробництва є литий електрод, але на заводі немає установок безперервного розливання, тому єдиний можливий спосіб виготовлення литого електрода — розлив зверху у виливницю рідкого металу. Основна перевага цього способу — витрати нижчі, ніж при безперервному розливанні за рахунок відсутності спеціальної ділянки та обладнання для розливання сталі. Другим чинником на користь розливу зверху є можливість організації виливки електродів у двох сталеплавильних цехах ПрАТ «Дніпроспецсталь», що дозволяє охопити весь марочний асортимент як конструкційних, так і корозійностійких марок сталей, що за обсягом замовлень має значення для заводу та цеху електрошлакового переплаву СПЦ-5.

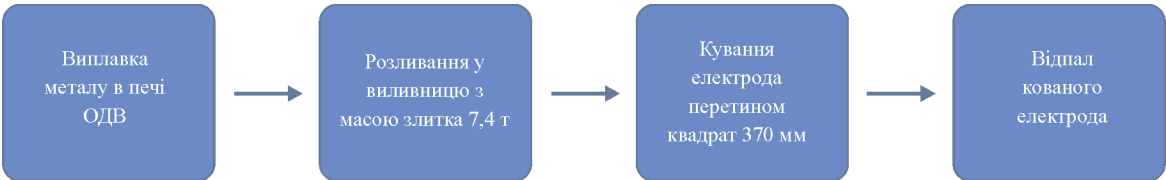


Рис. 1. Діюча структурно-технологічна схема виготовлення електродів куванням для ЕШП ледебуритних марок сталі

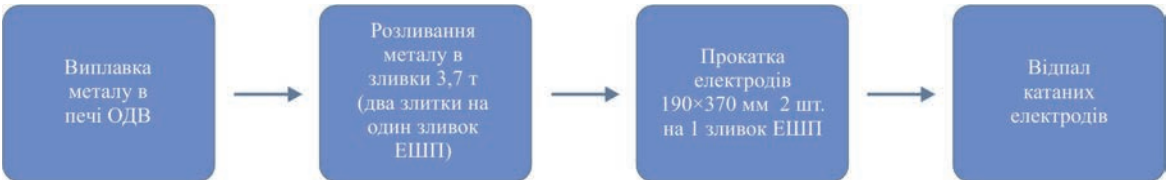


Рис. 2. Діюча структурно-технологічна схема виготовлення електродів прокаткою



Рис. 3. Ковані експериментальні електроди змінного перерізу із сталі Х12МФ-Ш для злитка діаметром 800 мм

Діючі структурно-технологічні схеми виготовлення електродів представлені на рис. 1, 2.

Подані схеми показують, що розлив металу в зливки та деформаційний переділ їх на електрод доцільно замінити однією операцією — розливом металу безпосередньо на електрод. Ще одним значним недоліком даних схем є велика довжина витратного електрода, яка становить 6,7 м. Це призводить до підвищеної витрати електроенергії через те, що переважна більшість активних витрат при електрошлаковому переплаві посідає електрод, його частка у сумарному активному опорі печі становить 60...80 % [1–8]. Таким чином, виготовлення литого електрода збільшеного діаметра замість розливання металу в злитки під кування або прокатку дозволить вирішити три завдання: знизити питому витрату металу; виключити дорогий деформаційний переділ; зменшити витрати електроенергії; знизити собівартість злитка ЕШП.

Мета роботи — зниження собівартості зливка ЕШП діаметром 800 мм та масою 6 т для поковок діаметром до 600 мм, товщиною від 200 до 300 мм



Рис. 4. Виливниця для виливки електрода змінного перерізу діаметрами 560/400 мм



Рис. 5. Зовнішній вигляд головної частини виливниці з проміжною ємністю після виливки електрода для ЕШП

та шириною до 800 мм. Покращення техніко-економічних показників процесу ЕШП.

Завдання роботи. Спроекувати і виготовити виливницю для виливки електрода для ЕШП, форма та геометричні розміри якого дозволять знизити витрату електроенергії. Розробити технологію виливки та ЕШП литого електрода, дослідити якість металу із злитків ЕШП, забезпечити вимоги нормативної документації та споживачів до якісних характеристик поковок.

Методика досліджень, обладнання та матеріали. Об'єктом досліджень є технологічний процес отримання зливка ЕШП діаметром 800 мм і масою шість тонн, який включає проектування та виготовлення виливниці для виливки електрода збільшеного змінного перерізу, відпрацювання технології розливання електрода і режимів електрошлакового переплаву в кристалізатор діаметром 800 мм з підвищеним коефіцієнтом заповнення кристалізатора. ЕШП проводили на печі ОКБ 1065, яку модернізували для виплавки злитка діаметром 800 мм.



Рис. 6. Теплоізолююча вставка для формування головної частини хвостовика для затискання електрода в електродотримачі



Рис. 7. Електрошлаковий переплав електрода змінного перерізу на печі ЕШП ОКБ 1065, кристалізатор діаметром 800 мм

Геометричну форму та розміри електрода визначали методом математичного моделювання, який враховував параметри електрода, кристалізатора, режим ЕШП. За результатами моделювання способом кування виготовляли дослідні електрооди (рис. 3), на яких експериментально відпрацьовували режими електрошлакового переплаву, проводили дослідження та атестацію якості металу. Поковки відвантажували споживачам на замовлення. На основі аналізу накопиченої бази даних переплаву дослідних електродів, отриманих куванням, визначили форму та розміри литого електрода, відповідно до яких виготовили виливницю для вилівки електрода ЕШП (рис. 4).

Виливку електродів проводили зверху через проміжну ємність. Зовнішній вигляд виливниці після розливання показаний на рис. 5. У головну частину виливниці вставляли теплоізолюючу вставку (рис. 6), за допомогою якої формувався хвостовик електрода перетином 370 мм^2 для затискача електрода в електродотримачі печі. Наявність хвостовика на електроді знижує вихід придатного від електрода до злитка ЕШП, але

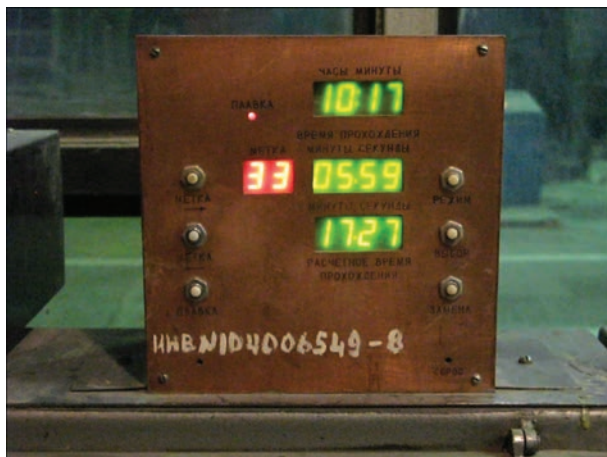


Рис. 8. Прилад для контролю заглиблення і швидкості сплавлення електрода розробки ПрАТ «Дніпроспецсталь»



Рис. 9. Литий електрод змінного перерізу діаметрами 560/400 мм для ЕШП, кристалізатор діаметром 800 мм

виключає трудомістку операцію приварювання електрода до інвентарю, на яку необхідні трудовитрати персоналу, витрата флюсу, електроенергії, зварювального прутка, інвентарних головок для приварювання. Також унеможливилося придбання спеціального дорогого зварювального обладнання.

Відпрацювання технологічних режимів ЕШП проводили експериментально, керуючись результатами вимірювань ЕШП проводили на флюсі АНФ-6 і синтетичній суміші, яка була розроблена раніше та впроваджена у технологію переплаву. Кількість шлаку для ЕШП встановили таким чином, щоб висота його становила $200 \dots 250 \text{ мм}$. Ця висота шлаку була визначена на підставі досвіду виплавки злитків



Рис. 10. Злиток Х12МФ-Ш діаметром 800 мм та масою шість тонн з литого електрода змінного перерізу

Таблиця 1. Середні витратні коефіцієнти за дослідною та діючою технологіями

Марка сталі	Спосіб виробництва електродів	Середня маса електродів, кг	Маса злитків ЕШП, кг	Витратний коефіцієнт, кг/т	Економія, кг/т
				Електрод/злиток	
Х12МФ-Ш	Лиття	6540	5950	1099	82
	Кування	7090	6002	1181	
40Х13-Ш, 15Х12Н2МВФА Б-Ш (ЭП1517-Ш)	Лиття	6697	5972	1121	120
40Х13-Ш, 15Х12Н2МВФАБ-Ш	Катання	7621	6142	1241	

ЕШП перерізом квадрат 565 мм і масою до 4,5 т, яка дозволяє забезпечити гарне рафінування металу, стабільність процесу та високу якість злитка. Початок процесу (розведення) проводили на твердому старті. Для забезпечення якості донної частини тривалість розведення збільшили на 50 % порівняно зі стандартною технологією. Електричний режим ЕШП електрода змінного перерізу визначали варіюванням потужності та зміною заглиблення електрода в шлаку. У початковий період при перепаві тоншої донної частини електрода діаметром 400 мм встановлювали заглиблення аналогічне діючої технології для електрода квадрат 370 мм. При переході на період ЕШП основної частини збільшеного електрода діаметром 560 мм для стабілізації процесу заглиблення збільшували до 0,3...0,5 висоти шлакової ванни. Процес електрошлакового переплавлення електрода змінного перерізу представлений на рис. 7.

У процесі ЕШП кожного електрода контролювали технологічні параметри: заглиблення електрода, лінійну швидкість сплаву, струм і напругу. Витрату електроенергії контролювали за лічильником, встановленим на живильній підстанції. Заглиблення і лінійну швидкість електрода контролювали приладом для контролю швидкості сплавлення розробки ПрАТ «Дніпроспецсталь». Прилад дозволяє встановлювати заглиблення з точністю до одного міліметра і показує на електронному табло лінійну швидкість переміщення кожні 100 мм електрода. Дані зберігаються у пам'яті приладу протягом усієї плавки. Зовнішній вигляд приладу подано на рис. 8.

Таблиця 2. Витрати електроенергії при ЕШП литих і катаних електродів у кристалізатор діаметром 800 мм

Значення витрат електроенергії	Витрата електроенергії, кВт·ч/т		Економія, кВт·ч/т
	Литий 560/400	Катаний 190×370	
Min	1440	1647	–207
Max	1785	1800	–15
Середнє	1611	1754	–143

Якість макроструктури поковок досліджували візуально на протравлених поперечних темплетях.

Мікродослідження зразків проводили за допомогою мікроскопа OLYMPUS IX70.

Оцінку забрудненості неметалевими включеннями поковок сталі марок Х12МФ-Ш і 40Х13-Ш виконали на поздовжніх шліфах зі збільшенням ×100 за шкалами ASTM E45 та DIN 50602.

Контроль карбідної неоднорідності сталі марки Х12МФ-Ш проводили на поздовжніх зразках, вирізаних на середині радіусу поковки, зі збільшенням ×100 за шкалою фірми «Белер».



Рис. 11. Зливки ЕШП сталі 40Х13-Ш з литого електрода змінного перерізу



Рис. 12. Карбідна неоднорідність у зразку від поковки діаметром 520 мм сталі марки Х12МФ-Ш, ×100

Таблиця 3. Результати контролю якості металопродукції зі сталі марки 40X13-Ш

Профіль, мм	Результати оцінки забрудненості неметалевими включеннями за ASTM E45, метод А, min–max/середній бал							
	$A_{тн}$	$A_{тл}$	$B_{тн}$	$B_{тл}$	$C_{тн}$	$C_{тл}$	$D_{тн}$	$D_{тл}$
Смуги перетином від 202×805 до 300×805	$\frac{1,0...1,0}{1,0}$	$\frac{0...1,0}{0,6}$	$\frac{1,0...1,0}{1,0}$	$\frac{0...1,0}{0,7}$	0	0	$\frac{1,0...1,0}{1,0}$	$\frac{0...1,0}{0,85}$
Вимоги замовника	Не більше, середній бал							
	1,5	1,0	1,5	1,0	1,5	1,0	1,5	1,0

Таблиця 4. Результати контролю якості металопродукції із сталі марки Х12МФ-Ш

Профіль, мм	Результати оцінки забрудненості неметалевими включеннями за DIN 50602, метод К	Результати оцінки карбідної неоднорідності за шкалою фірми «Белер», номер фотоеталона
	Сумарний параметр K1 (оксиди+сульфіди)	
Діаметр 520	K1 = 1,3	43
Вимоги замовника	K1 ≤ 15	Не більше 41; 42; 43; 44

Результати досліджень та їх обговорення. В результаті проведення роботи були отримані електроди змінного перерізу (рис. 9) і визначено електричний режим електрошлакового переплаву литого електрода змінного перерізу. Після переплаву електродів отримані злитки ЕШП діаметром 800 мм різних марок сталі — Х12МФ-Ш, 15Х12Н-2МВФАБ-Ш (ЕП517-Ш), 40Х13-Ш. Якість поверхні злитків відповідає вимогам під кування (рис. 10, 11).

Зі злитків ЕШП відкували смуги перетином від 202×805 до 300×805 мм і поковки діаметром до 600 мм. Металопродукція атестована та відвантажена споживачам відповідно до вимог замовлень.

Електроди на поверхні мали незначні забруднення, які перед ЕШП у процесі підготовки до переплаву видаляли. Якість поверхні хвостовика литого електрода дещо поступається якістю катанам і кованим, тому для забезпечення якісного контакту з струмопідвідними щочками в електродотримачі печі його грані зачищали машиною абразивної зачистки. Ці операції передбачені технологією ЕШП і застосовувалися як для дослідної, так і діючої технології ЕШП.

Злитки ЕШП діаметром 800 мм представлені на рис. 10, 11. Видно, що на поверхні відсутні дефекти шлаку, перетискання або гофри, якість злитків відповідає вимогам під кування. У табл. 1 наведено середні витратні коефіцієнти металу від електрода до зливка ЕШП. З таблиці видно, що середня економія металу на сталі Х12МФ-Ш становила 82 кг/т, на марках сталі 40Х13-Ш, 15Х12Н-2МВФАБ-Ш (ЕП517-Ш) — 120 кг/т.

Дані щодо витрати електроенергії при ЕШП литих електродів змінного перерізу порівняно з катаними наведені в табл. 2. З таблиці видно, що мінімальна витрата електроенергії при ЕШП литого електрода змінного перерізу становить 1449; максимальна — 1785; середня — 1611 кВт·год/т. Економія з витрат електроенергії по відношенню до чинної технології в середньому склала 143 кВт·год/т.

Відповідно до розрахунку (без урахування зниження витрати електроенергії) зниження собівартості зливка ЕШП діаметром 800 мм за дослідною технологією становить 10...15 %.

Якість металопродукції. При візуальному контролі макроструктури протравлених поперечних темплетів сталі марок 15Х12Н2МВФАБ-Ш (ЕП517-Ш), Х12МФ-Ш, 40Х13-Ш, вироблених за діючою та дослідною технологіями, встановили, що метал щільний, порожнечі, пузири, тріщини, розшарування, шлакові включення в макроструктурі проб відсутні. Якість металопродукції по макроструктурі вище перерахованих марок сталей, виплавлених за діючою і дослідною технологіями, знаходиться на одному рівні та відповідає вимогам нормативної документації.

Результати контролю забрудненості неметалевими включеннями металу представлені в табл. 3, 4. Аналіз отриманих результатів показує, що забрудненість неметалевими включеннями дослідних плавок відповідає вимогам замовника.

Результати контролю карбідної неоднорідності сталі марки Х12МФ-Ш представлені в табл. 4, з якої видно, що карбідна неоднорідність у дослі-

джуваних зразках дослідної плавки відповідає вимогам споживача і виглядає як слабо деформована сітка карбідів з ділянками евтектики (рис. 12).

Висновки

1. Виконано проект, виготовлено виливницю та відпрацьовано технологію виливки електродів збільшеного змінного перерізу для виплавки зливка ЕШП діаметром 800 мм, масою шість тонн.

2. Відпрацьовано режими електрошлакового переплаву литого електрода збільшеного діаметра змінного перерізу.

3. Електрошлаковий переплав електрода змінного перерізу дозволив знизити витрати електроенергії в середньому на 143 кВт·год/т.

4. Якість поковок зі зливка ЕШП з використанням литого електрода відповідає вимогам замовників.

5. Зниження собівартості зливка ЕШП з литого електрода в порівнянні з технологією, що діє, становить 10...15 %.

Список літератури

1. Медовар Б.И., Цыкуленко А.К., Дяченко Д.М. (1990) *Качество электрошлакового металла*. Патон Б.Е., Медовар Б.И. (ред.) Киев, Наукова думка.
2. Медовар Б.И. (2006) *Вибрані праці НАН України Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона*. Київ, Наукова думка.
3. *Материалы V Междунар. симп. по технологии электрошлакового перепада (г. Питсбург, США)*. Электрошлаковий перепад. Вып. 4. Медовар Б.И. (ред.).
4. Свенчанский А.Д., Жердев И.Т., Кручинин А.М. и др. (1981) *Электрические промышленные печи: Дуговые печи и установки специального нагрева*: Уч. для вузов. Свен-

чанский А.Д. (ред.). 2-е изд., перераб. и доп. Москва, Энергоиздат.

5. Шульте Ю.А., Цивирко Э.И., Улитенко А.Н. и др. (1990) *Качество поверхности металлопродукции из конструкционной стали*. Киев, Техника.
6. Сорокин В.Г., Волосникова А.В., Вяткин С.А. и др. (1989) *Марочник сталей и сплавов*. Сорокин В.Г. (ред.). Москва, Машиностроение.
7. Раузин Я.Р. (1963) *Термическая обработка хромистой стали*. Москва, Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы.
8. Волков С.Е., Волков А.Е., Забалуев Ю.И., Буряковский Г.А. (1979) *Неметаллические включения и дефекты в электрошлаковом слитке*. Москва, Metallurgiya.

References

1. Medovar, B.I., Tsykulenko, A.K., Dyachenko, D.M. (1990) *Quality of electroslag metal*. Ed. by B.E. Paton, B.I. Medovar. Kyiv, Naukova Dumka [in Russian].
2. Medovar, B.I. (2006) *Selected transactions of the NANU, PWI*. Kyiv, Naukova Dumka [in Ukrainian].
3. In: *Proc. of 5th Inter. Symp. on Technology of Electroslag Remelting, Pittsburg, USA*, Issue 4: Electroslag remelting. Ed. by B.I. Medovar.
4. Sventchansky, A.D., Zherdev, I.T., Kruchinin, A.M. et al. (1981) *Electric industrial furnaces. Arc furnaces and installations of special heating: Manual for higher education institutions*. Ed. by A.D. Sventchansky. 2nd Ed. Moscow, Energoizdat [in Russian].
5. Shulte, Yu.A., Tsivirko, E.I., Ulitenko, A.N. et al. (1990) *Quality of surface of metal products from structural steel*. Kyiv, Tekhnika [in Russian].
6. Sorokin, V.G., Volosnikova, A.V., Vyatkin, S.A. et al. (1979) *Database of steels and alloys*. Ed. by V.G. Sorokin. Moscow, Mashinostroenie [in Russian].
7. Rauzin, Ya.R. (1963) *Heat treatment of the chromium steel*. Moscow, State Sci.-Tekhn. Publishing House of Mechanical Engineering Literature [in Russian].
8. Volkov, S.E., Volkov, A.E., Zabaluev, Yu.I., Buryakovsky, G.A. (1979) *Nonmetallic inclusions and defects in electroslag ingot* [in Russian]. Moscow, Metallurgiya.

INCREASE OF COST EFFECTIVENESS OF PRODUCING AN ESR INGOT OF 800 mm DIAMETER AND SIX TON WEIGHT DUE TO APPLICATION OF A CAST ELECTRODE WITH LARGER VARIABLE CROSS-SECTION

S.G. Kiyko, I.M. Logozyń'sky, S.V. Davydchenko, O.G. Fedkov, M.S. Mosievych, Yu.V. Rohovska
PJSC «Electrometallurgical Plant «Dnipropetsstal».

81 Pivdenne Highway, 69008, Zaporizhzhya, Ukraine. E-mail: info@dss.com.ua

Design and manufacturing of a casting mold for casting electrodes of a larger variable cross-section for melting an ESR ingot of 800 mm dia. and six ton weight were performed. The technological scheme for manufacturing a cast consumable electrode of a variable cross-section and technology of its ESR into an 800 mm dia. crucible with an increased crucible filling factor were optimized. Results on power consumption at ESR of a cast electrode and lowering of the ESR ingot cost by 10...15 % are given. Technology of casting larger diameter electrodes for production of ESR ingots of 800 mm cross-section and six ton weight of ledeburite type of Kh12MF-III and other steel grades, namely 40Kh13-III, and 15Kh12N2MVFB-Sh (EP517-III), was developed. An optimal geometrical shape of the electrode and electroslag remelting mode with an increased crucible filling factor were determined, which ensure the quality of ESR ingot surface for deformation processing. 8 Ref., 4 Tabl., 12 Fig.

Keywords: cost, electroslag remelting, electrode, ESR ingot, mold, crucible, forging

Отримано 28.10.2024

Отримано у переглянutoму вигляді 19.12.2024

Прийнято 23.12.2024