

УДК: 669.187.56

Бережний С. П., Куликовський Р. А., Капустян О. Є., Куртов О. А.

ДОСЛІДЖЕННЯ ФОРМУВАННЯ ПОВЕРХНІ ЗЛИТКА ПРИ ЕШП З НИЗЬКИМ КОЕФІЦІЄНТОМ ЗАПОВНЕННЯ КРИСТАЛІЗАТОРА

Виробничі потреби вимагають отримання масивних злитків великого перерізу з використанням наявного обладнання малої потужності. Обмеження обладнання по силі струму вимагає ведення процесу електрошлакового переплаву (ЕШП) з низьким коефіцієнтом заповнення кристалізатора (КЗК), що призводить до проблем формування злитка, таких як: глибокі гофри на поверхні злитків, незадовільне формування нижньої частини, що вимагає великої кількості металу, який відрізається. При цьому низькі КЗК вимагають використання витратних електродів великої довжини. Довжина електрода також обмежена технологічними можливостями обладнання.

На сьогоднішній день в науковій літературі та довідниках відсутні практичні рекомендації щодо ЕШП з низьким КЗК. Тому це питання потребує додаткового вивчення [1, 2].

Метою роботи є розробка технологічних прийомів для забезпечення формування якісної поверхні злитків, отриманих ЕШП з низьким КЗК.

Дослідження формування поверхні злитка та його нижньої частини проводились при переплаві витратного електрода у кристалізаторі перерізом 140×170 мм, висотою 500 мм на установці А-550 з трансформатором ТШС 3000-1.

Для отримання злитка перерізом 140×170 мм виконано попередні розрахунки режимів за загально рекомендованими значеннями технологічних параметрів, а саме: $KЗК = 0,4 \dots 0,6$. При цьому, площа перерізу електрода становить 14280 мм^2 . Для його переплаву мінімально допустима щільність струму становить $0,45 \dots 0,5 \text{ А/мм}^2$ [1], а сила струму – $4,0 \dots 4,5 \text{ кА}$.

Але трансформатор ТШС-3000-1 може забезпечити струм до 3,0 кА. Виходячи з можливостей наявного обладнання, враховано максимальний переріз електрода, який можна переплавити на струмах до 3,0 кА. При мінімально допустимій щільності струму $0,51 \text{ А/мм}^2$ він складає 5245 мм^2 . При цьому, КЗК становить 0,22.

Як відомо, найбільша кількість теплоти при ЕШП виділяється під електродною зоною [2, 3]. Таким чином, при низькому КЗК, периферичні ділянки шлакової ванни у стінок кристалізатора недостатньо розігріті внаслідок малої кількості тепла. Це призводить до блокування твердого, нерозплавленого флюсу на початку процесу та коливанням товщини гарнісажу в ході переплаву. Внаслідок цього утворюються такі дефекти злитків як: глибокі гофри на поверхні та «завалення» донної частини злитка при твердому старті.

Згідно даних [3] причиною утворення гофр є короткочасне зниження потужності, що виділяється в шлаковій ванні, або переплав на свідомо «холодних» режимах. У цих випадках рекомендують корегувати режим переплаву, а саме вести переплав на більших струмах. При малих КЗК це може привести до формування металеві ванни незадовільної форми.

Для отримання якісної поверхні було розроблено конструкцію витратного електрода, яка забезпечує рівномірний розподіл тепла по всій площі шлакової ванни. Для цього електрод був зроблений з пластин, які з'єднані з певними проміжками (рис. 1). В цьому випадку є можливість максимальну кількість тепла отримати в поверхневих шарах шлакової ванни та рівномірно розподілити її по всьому периметру електрода. Крім того, така конструкція дозволяє максимально наблизити електрод до стінок кристалізатора і розігріти шлакову ванну на периферійних ділянках біля панелей кристалізатора. Для ведення подальших розрахунків процесу ЕШП введено поняття «геометрична площа перерізу електрода» ($F_{\text{ел.}}^{\text{геометр.}}$, мм^2). Геометрична площа перерізу електрода – це площа, яку займає розщеплений електрод ($F_{\text{ел.}}^{\text{геометр.}}$) при фактичній площі цілісного електрода ($F_{\text{ел.}}$).

Розрахунок геометричної площі перерізу електрода ведеться з урахуванням мінімальної відстані між електродом та стінкою кристалізатора 30 мм. Менші значення відстані до стінок обирати недоцільно через збільшення протікання «бокового струму», внаслідок чого зменшується теплова ефективність переплаву. А це додатково потребує збільшення потужності процесу ЕШП [2].

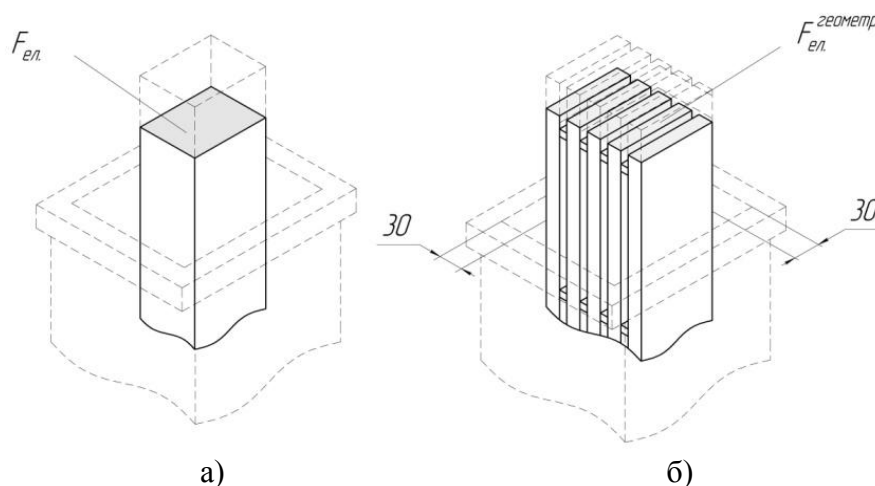


Рис. 1. Конструкція основної частини витратного електрода ЕШП:
а) – цілісний витратний електрод; б) – розщеплений витратний електрод

Геометрична площа такого розщепленого електрода становить 8800 мм^2 . Отже, КЗК з урахуванням геометричної площі електрода тепер дорівнює 0,37, тобто у 1,7 разів більше фактичної. Така конструкція електрода дозволила отримати злитки з рівною поверхнею без глибоких гофр, максимальна глибина яких не перевищує 0,5...0,7 мм (рис. 2).



Рис. 2. Стан поверхні злитка при переплаві розщепленого електрода з геометричним коефіцієнтом заповнення 0,37

Для підвищення якості формування донної частини було оптимізовано процес твердого старту ЕШП.

За класичною схемою [4] витратний електрод торкається «затравки» у центральній частині кристалізатора, де і розпочинається плавлення флюсу. При подальшій подачі та плавленні основної частини електрода в кутах кристалізатора відбувається блокування твердого

флюсу та формується «завалення» донної частини злитка. Причиною цього є недостатність часу та тепла для розігріву флюсу на периферійних ділянках кристалізатора.

З метою зменшення розмірів заваленої нижньої частини в роботі запропоновано використання розщепленої стартової частини електрода для наведення шлакової ванни (рис. 3). В цьому випадку забезпечується рівномірне розплавлення флюсу по всій площі кристалізатора (рис. 3, а, б).

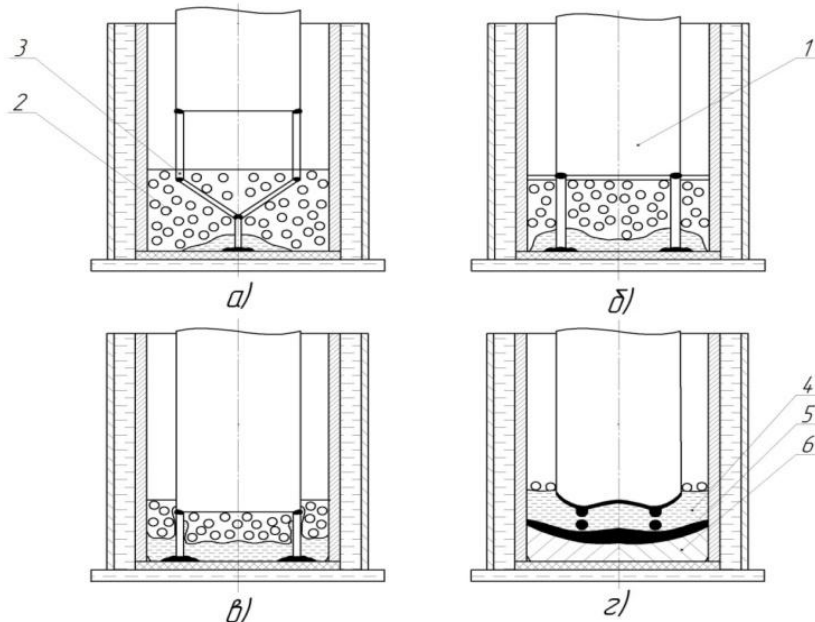


Рис. 3. Схема твердого startу ЕШП з розщепленою стартовою частиною електрода:

а) – початок твердого startу; б) – плавлення флюсу, по площі кристалізатора; в) – закінчення процесу плавлення стартової частини електрода; г) – вихід на стаціонарний режим;
1 – витратний електрод; 2 – розщеплена стартова частина електрода; 3 – твердий флюс; 4 – шлакова ванна; 5 – металева ванна; 6 – злиток

Наближення пластин стартової частини електрода до стінок кристалізатора забезпечує розігрів периферійних ділянок шлаку, внаслідок чого в донній частині забезпечується необхідна кількість рівномірно розігрітого та розплавленого шлаку для плавлення основної частини електрода, та остаточного розплавлення залишків флюсу на стабільних робочих режимах (рис. 3, в). Такий прийом позитивно впливає на якість формування нижньої частини злитка ЕШП з низьким КЗК (рис. 3, г).

Враховуючи складність розрахунків динамічних процесів твердого startу, експериментальним шляхом визначено необхідну довжину стартової частини електрода, яка забезпечує найкраще формування донної частини. Досліджено вплив конструкції розщепленої стартової частини витратного електрода (а саме її довжини l , мм) на формування злитка.

Для визначення оптимальної довжини стартової частини електрода нами було обрано 3 значення l , мм: $l_1 = 120$ мм; $l_2 = 320$ мм; $l_3 = 550$ мм, а також розведення на витратному електроді $l_0 = 0$ мм (без стартової частини).

При розведенні на витратному електроді та з використанням стартової частини електрода довжиною меншою ніж 220 мм виявлені «завалення» нижньої частини злитка висотою до 70 мм (рис. 4, а), що є наслідком передчасного входження основної частини витратного електрода і витискання шлакової ванни на поверхню нерозплавленого флюсу.

В результаті використання стартової частини електрода більшою ніж 360 мм якість поверхні донної частини злитка виявилась незадовільною, були виявлені «пережими», наявність гофрованої поверхні та «завалення», причиною яких є замерзання шлаку при недостатній кількості тепла при плавленні стартової частини електрода (рис. 4, в).

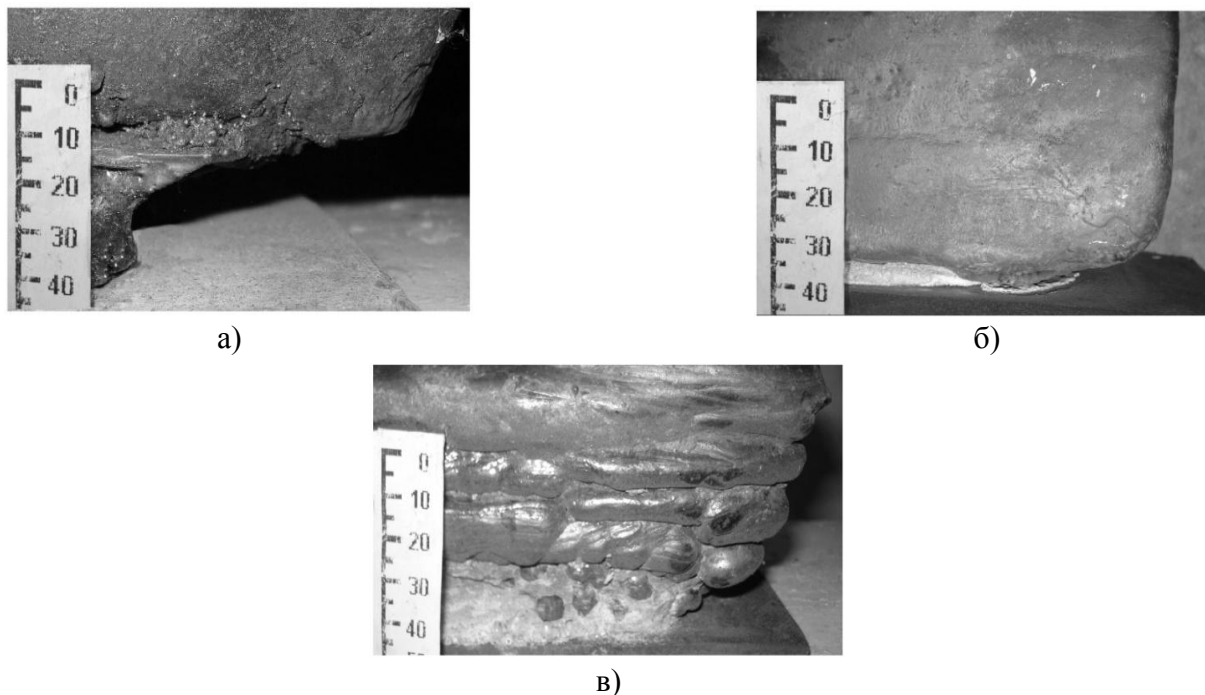


Рис. 4. Донна частина злитка отриманого ЕШП з низьким коефіцієнтом заповнення кристалізатора при різних варіантах стартової частини:

а) – висота «завалення» 52 мм при довжині стартової частини 120 мм; б) – висота «завалення» 28 мм при довжині розщепленої стартової частини 320 мм; в) – висота «завалення» 48 мм при довжині розщепленої стартової частини 550 мм

Під час переплаву з довжиною стартової частини рівній 320 мм була отримана найбільш якісна поверхня донної частини з мінімальними «заваленням» (рис. 4, б).

На підставі результатів досліджень процесу твердого старту, було експериментально визначено діапазон оптимальних значень довжини розщепленої стартової частини електрода $l_{\text{опт}}$. Оптимальна довжина становить 240...350 мм, забезпечує мінімальні завалення, при відсутності гофр (табл. 1).

Таблиця 1

Стан поверхні нижньої частини дослідних злитків ЕШП

Довжина стартової частини електрода l , мм	Розмір «завалення» h , мм	Якість стану поверхні донної частини злитка
0	72	незадовільна
120	52	незадовільна
320	28	задовільна
550	48	незадовільна

Це дозволяє зменшити обрізь донної частини злитка з 90 до 45 мм, що заощаджує близько 16 % металу злитка.

За отриманими результатами побудовано графік залежності висоти «завалення» (h) та донної обрізі (b) від довжини стартової розщепленої частини електрода (l) (рис. 5).

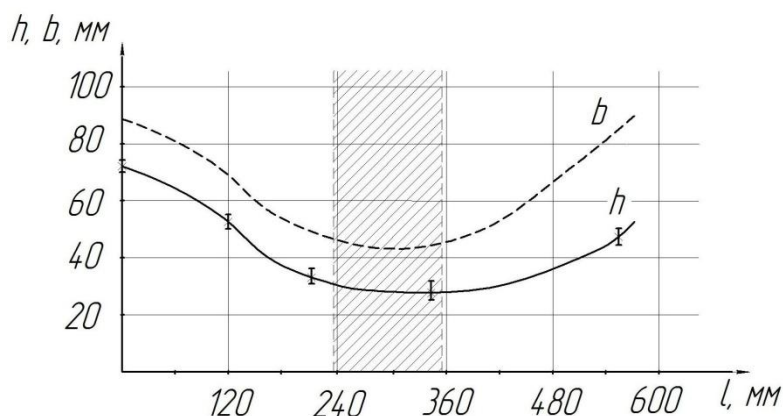


Рис. 5. Залежність висоти «завалення» (h) та обрізі (b) від довжини стартової частини електрода (l)

Практична новизна полягає в тому, що запропонована конструкція витратного електрода дозволяє розширити технологічні можливості обладнання.

Наукова новизна – введено поняття «геометрична площа перерізу електрода» та отримано залежність розмірів «заваленої» частини злитка від довжини розщепленої стартової частини електрода при низьких КЗК.

ВИСНОВКИ

1. Досліджено формування поверхні злитка при ЕШП з низьким КЗК, розроблено технологічні прийоми для забезпечення формування якісної поверхні злитків, а саме конструкцію витратного електрода та технологію твердого старту ЕШП.

2. Використання розщепленого електрода при ЕШП з коефіцієнтом заповнення 0,37, при фактичному 0,22, забезпечує рівномірний розподіл теплової потужності в шлаковій ванні при ЕШП та, як наслідок, формування задовільної поверхні, при веденні процесу на «холодних» режимах переплаву з максимальною щільністю струму на електроді 0,51 А/мм².

3. При ЕШП з низьким КЗК використання розщепленої стартової частини витратного електрода покращує процес розведення шлакової ванни на твердому старті та формування донної частини злитка.

4. Встановлено, що при КЗК 0,22 для кристалізатора перерізом 140×170 мм оптимальною довжиною стартової частини витратного електрода є 240...350 мм, що забезпечує формування рівної поверхні злитка на відстані 28...32 мм від піддону та зменшує донну обрізь на 50 %.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Воробьев А.А. Электрошлаковый переплав : учеб. пособ. / А.А. Воробьев., Ю.В. Пожидаев. – Сиб-ГИУ. – Новокузнецк, 2002. – 116 с.
2. Биктагиров Ф. К. Особенности теплового взаимодействия между шлаком и металлом в условиях электрошлакового обогрева / Ф. К. Биктагиров, И. В. Крикент // Современная электрометаллургия. – 2004. – №4. – С. 13-17.
3. Медовар Б.И. Тепловые процессы при электрошлаковом переплаве / Б.И. Медовар. – К. : Наук. думка, 1978. – 304 с.
4. Глебов А. Г. Электрошлаковый переплав / А. Г. Глебов, Е. И. Мошкевич. – М. : Metallurgia, 1985. – 343 с.

Стаття надійшла до редакції 20.05.2016 р.