

УДК 669. 187.56

А. Власов, канд.техн.наук; Н. Макаренко, докт.техн.наук

Донбаська державна машинобудівна академія

ЕЛЕКТРОШЛАКОВИЙ ПЕРЕПЛАВ ВИРОБІВ НА ТВЕРДОМУ СТАРТІ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕКЗОТЕРМІЧНИХ ФЛЮСІВ

Резюме. Експериментальними методами встановлено, що розроблений спосіб твердого старту з використанням екзотермічних флюсів, що проводять електричний струм у твердому стані, істотно знижує час наведення шлакової ванни необхідного обсягу, підвищуючи продуктивність процесу. Запропонований спосіб старту електрошлакового процесу із використанням екзотермічних електропровідних флюсів не здійснює негативного впливу на якість донної частини злитка. Розроблені технологічні процеси прискореного наведення шлакової ванни на твердому старті як за монофазною, так і біфазною, або трифазною схемою ведення процесу. Властивості литої електрошлакової сталі 5ХНМ задовольняють вимоги, які пред'являються до механічних властивостей кованого металу відкритої виплавки. Гранулометричний склад екзотермічного флюсу в основному впливає тільки на процес наведення шлакової ванни витратним електродом.

Ключові слова: екзотермічний електропровідний флюс, електрошлаковий переплав, шлакова ванна, гранулометричний склад, продуктивність процесу, якість металу.

A. Vlasov, N. Makarenko

ELECTROSLAG REMELTING OF WARES AT SOLID START WITH THE USE OF EXOTHERMIC FLUXES

Summary. The authors established that an effective way to improve performance of such electroslag processes as casting and remelting was the use of exothermic fluxes containing such components as: slag, ferro alloys and aluminum powder in quantities sufficient for exothermic reactions. In particular, the experimental techniques revealed that the presence of electrically conductive layer of exothermic flux allowed for electroslag process being carried out according to the monofilar, as well as bifilar or three-phase schemes at «solid» start. The conducted research testified that the use of exothermic alloyed flux does not result in lower quality of the metal on the bottom of an ingot. The macro-structural analysis revealed that the cast metal of the ingot-bottom was dense; cracks, cavities and other defects did not occur, and columnar crystals were directed almost in parallel to the center line of a templet; in the middle and upper parts a zone of columnar crystals is clearly revealed; in the central part there was a zone of equiaxed crystals; besides the content of sulfur in the bottom of the ingot under the proposed method of start was smaller than that in its middle and upper part. The micro-structural study of pollution of the stamping dice metal by nonmetallic inclusions demonstrated that the metal had low content of non-metallic inclusions, while the pollution of wrought metal was significantly higher than the pollution of electroslag cast metal. The authors proved that the properties of electroslag cast steel 5HNM met the requirements for mechanical properties of openly melted wrought metal. The component of exothermic flux was found to be worthy being used, which is a waste of rolling or forging and pressing industry with particle size of 0.1 ... 2.5 mm and alloying elements with particle size of 0.1 ... 6.0 mm. It has been determined experimentally that granulometric composition of exothermic flux mainly affected only the process of restoring the slag bath in the application of consumable electrode. As a result of comparative tests of the effective option of the developed method of start and the applied methods of solid and liquid starts of the electroslag remelting, the parameters were obtained, which testify that the developed method of start of electroslag remelting can improve the performance of electroslag remelting process and increase the production of useful metal by 2...7 %. In addition, the authors found that the melting of exothermic flux the component of slug is formed: aluminum oxide (Al_2O_3), the mass of which can contain up to 20% of the required mass of the working flux being melted.

Key words: electrically conductive exothermic flux, electroslag remelting, slag bath, granulometric composition, process productivity, metal quality.

Постановка проблеми. Значна увага приділяється проблемі підвищення якості металопродукції й ефективному використанню металу на основі впровадження

маловідходних технологій. Важливим напрямком підвищення ефективності машинобудівної промисловості є подальший розвиток й удосконалювання заготівельного виробництва. Вирішення цього завдання вимагає розроблення й упровадження нових прогресивних технологічних процесів виробництва заготовок деталей відповідального призначення. Нині акцентується увага на інтенсивному розвитку металургії й машинобудування, усіялому підвищенні якісних характеристик металу і його економічному використанні.

Зносостійкість штампного інструмента не задовольняє зростаючі вимоги виробництва. Низька стійкість штампів призводить до частоті зупинки в роботі високопродуктивного ковальсько-пресового устаткування, великої витрати дорогих штампних сталей і значних витрат часу на виготовлення й переналагодження інструмента.

У даний час великі пресові й молотові штампи гарячої штамповки і прокатні валки в машинобудуванні в основному виготовляються з кованого металу. Ця технологія пов'язана з рядом недоліків [1]: низькою якістю заготовок, що виплавляються у відкритих сталеплавильних агрегатах; підвищеною анізотропією механічних властивостей у сталі при гарячій пластичній деформації, особливо при збільшенні ступеня ковкки; видаленням якісного поверхневого шару заготівлі при механічній обробці; застосуванням дефіцитного ковальсько-пресового устаткування; великими припусками заготовок штампів (від 30 мм – на невеликих штампах, до 100...200 мм – на великих).

З метою підвищення надійності й економічності штампного інструмента на підприємствах країни ширше застосовується електрошлаковий переплав із використанням електродів з відходів штампних сталей [2–4].

Розроблена на підприємствах країни [1] технологія отримання штампних кубиків методом ЕШЛ передбачає «рідкий» старт (шляхом сифонного заливання в кристалізатор розплавленого в окремі флюсоплавильній печі флюсу).

За даним способом старту стійкий процес ЕШП досягається за менший проміжок часу, ніж за іншими відомими способами ведення цього процесу. Однак трудомісткість виплавки тієї або іншої заготовки в печах ЕШП із використанням способу «рідкого» старту (з урахуванням часу розплавлення робочого флюсу у флюсоплавильних печах, бо збільшуються витрати електроенергії на розплавлення робочого флюсу) значно вища, ніж за способом «твердого» старту, бо підвищуються втрати флюсу при застиганні в лютках і ковші, що призводить до підвищення собівартості переплаву однієї тонни сталі.

Метою роботи є підвищення продуктивності стартового періоду наведення шлакової ванни необхідного обсягу шляхом застосування екзотермічного флюсу, що проводить електричний струм у твердому стані, й дослідження якості виплавленого електрошлакового металу за монофілярною і біфілярною схемі ведення процесу ЕШП.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існуючі електрошлакові процеси (електрошлакове зварювання, електрошлаковий переплав, електрошлакове лиття) здійснюються на твердому або рідкому старті. Найпростішим і розповсюдженим є спосіб, за яким розплавлення флюсу й наведення шлакової ванни необхідного обсягу виконується в дуговому режимі із застосуванням металевий стружки й алюмінієвого порошку, які розташовані між електродом і затравкою [5]. Однак даному способу властиві наступні недоліки: нестабільне розведення електрошлакового процесу, що супроводжується частими короткими замиканнями й різкими спадами струму; нерівномірне розплавлення флюсу; значна тривалість процесу й низька продуктивність печі; незадовільне формування нижньої частини електрошлакового злитка; можливість його застосування тільки при роботі в печах монофілярного типу.

При «твердому» старті флюс, засипаний у кристалізатор, розплавляється витратним електродом. Розплавлення флюсу й наведення шлакової ванни при цьому виконується різними способами: застосуванням електропровідного у твердому стані флюсу АН-25, використанням пресованих екзотермічних брикетів або самоплавких флюсових сумішей. Витрата самоплавких флюсових сумішей зазвичай невелика і не перевищує 2% від маси робочого флюсу. Основна роль таких флюсових сумішей полягає в забезпеченні початку розплавлювання флюсу шляхом швидкого переходу від дугового до бездугового процесу. При цьому на повне розплавлювання флюсу витрачається значна кількість часу, у результаті чого знижується продуктивність печі.

Розведення електрошлакового процесу з використанням флюсу АН-25 виконується в такій послідовності: невеликі шматки флюсу вкладаються на затравку і підтискаються витратним електродом. При проходженні електричного струму через цей флюс, останній поступово нагрівається, розплавляється й утворює первісну невелику шлакову ванну. Потім рівномірним підсипанням робочого флюсу відповідної грануляції глибину й обсяг шлакової ванни доводять до заданої величини. Протягом періоду наведення шлакової ванни відбувається одночасне плавлення шлаку і металу витратного електрода. При цьому температури шлаку й металу низькі, створюються умови для поглинання часток шлаку у металі і незадовільного формування нижньої частини злитка. Крім того, для розплавлювання шлаку у кристалізаторі потрібний тривалий час, що призводить до зниження продуктивності печі.

У зв'язку з широким упровадженням електрошлакової технології в промисловості даний спосіб наведення шлакової ванни замінений більш вдосконаленими способами, які ґрунтуються на застосуванні для таких цілей спеціальних екзотермічних сумішей.

З метою швидкого наведення шлакової ванни без тривалих коротких замикань і різких коливань робочого струму, підвищення якості наплавленого металу або злитків розроблена металофлюсова суміш [6], що складається із флюсу (20...25%), що містить оксиди TiO_2 , SiO_2 , CaO , MgO , CaF_2 , Al_2O_3 , робочого флюсу (25%) і металевої стружки (30...50%). Однак процес розплавлювання даної суміші аналогічний розплавлюванню флюсу АН-25 і при розведенні шлакової ванни великого обсягу не призводить до істотного скорочення часу його розплавлювання. Флюс АН-25 виявився цілком придатним для електрошлакового переплаву вуглецевих сталей. При електрошлаковому ж перепаві легованих сталей і сплавів у нижній частині злитків спостерігаються підвищене вигорання легкоокислюючих елементів (Ti і Al) через наявність у флюсі 35...40% TiO_2 і 6...9% SiO_2 . Цим же недоліком, очевидно, володіє й металофлюсова суміш [6], яка містить таку ж кількість TiO_2 і SiO_2 , що й флюс АН-25.

Відомо, що деякі оксиди металів є добрими провідниками у твердому стані. Наприклад, нижчі оксиди заліза. Однак використання їх у чистому вигляді для початку електрошлакового процесу недоцільно, тому що в шлак переходить окис заліза (FeO), що призводить до додаткового окиснювання легуючих елементів сталей, які переоплавляються, і насиченню металевої ванни киснем. За рубежом для наведення шлакової ванни використовують таблетки, або брикети, виготовлені з екзотермічних сумішей, у яких для кращої електропровідності запресовується сталевий дріт [7]. Однак виготовлення таких брикетів є складною й трудомісткою операцією. Застосування ж таких брикетів можливе в основному тільки при роботі на монофілярній печі. При роботі в печах біфілярного типу застосування екзотермічних брикетів вимагає використання додаткових заходів для забезпечення протікання через них струму. До недоліків використання пресованих брикетів, що складаються з терміту (25% Al + 75% Fe_3O_4) і флюсу наповнювача, відноситься схильність до їхнього подрібнення при необережному підведенні витратного електрода. При цьому під електрод підсипається робочий флюс і процес плавлення припиняється.

У флюсових самоплавких екзотермічних сумішах у якості палива використовується алюмінієво-магнієвий порошок, а окислювачами служать селітра калієва або барієва, перхлорат калію й перекис барію. Самі по собі такі суміші не утворюють рідких шлаків, тому до їхнього складу додатково вводяться відповідні компоненти: плавиковий шпат, вапно, глинозем. У роботі [8] рекомендується флюс С-І, що складається з алюмінієво-магнієвого порошку марки ПАМ-3 – 16,5%; калієвої селітри – 16,5% і наповнювача (плавиковий шпат) – 67%. Однак витрата самоплавких флюсів звичайно невелика і не перевищує 2% від маси робочого флюсу, тобто основна роль таких флюсів полягає в забезпеченні початку розплавлення робочого флюсу шляхом утворення шлакової ванни з обсягом, який дозволяє перехід у бездуговий процес. При цьому на повне розплавлення робочого флюсу йде значна кількість часу, у результаті чого знижується продуктивність печі і якість донної частини злитка.

За кордоном для прискорення твердого старту використовується спосіб [9], при якому на піддон кристалізатора встановлюється металевий контейнер з екзотермічною сумішшю, що містить в %: плавиковий шпат – 40...60, алюміній – 10...20, окалину – 20...30 і перхлорат амонію – 5...10. Даний спосіб старту (порівняно з вищевказаними способами) дозволяє прискорити процес розплавлення флюсу й наведення шлакової ванни необхідного обсягу. Однак цьому способу властиві такі недоліки: необхідність виготовлення металевих контейнерів зі сталевими осердями, що поміщаються в екзотермічну суміш із метою забезпечення надійного контакту між витратним електродом і затравкою, та запалювання суміші; складний склад екзотермічних брикетів; можливість застосування тільки при роботі на печах монофілярного типу.

Витрати металу донної частини злитка, що видаляють при вищезазначених способах наведення шлакової ванни, становлять 5...10% від загальної маси злитка.

Електрошлакове лиття великих заготовок здійснюється у печах біфілярного, або трифазного типу з використанням тільки «рідкого» старту шляхом сифонного заливання розплавленого за межами печі шлаку в нижню частину кишені (при електрошлаковому зварюванні), кристалізатора (при електрошлаковому переплаві) або тигля (при електрошлаковому кокільному литті).

З наведеного бачимо, що всі вищезазнані способи наведення шлакової ванни необхідної величини й розплавлення робочого флюсу, поряд з позитивними характеристиками, мають ті або інші істотні недоліки. Попередньо проведені дослідження показали, що ряд перерахованих недоліків можна усунути шляхом застосування екзотермічних флюсів відповідного складу й розроблення способів електрошлакового зварювання [10], наплавлення [11] й електрошлакового переплаву [12].

Слід також зазначити, що ні у вітчизняній, ні в закордонній практиці немає розробок екзотермічних сумішей (флюсів), що забезпечують отримання заданого (марочного) хімічного складу сталі. Основна мета існуючих екзотермічних сумішей – це отримання додаткового джерела тепла, забезпечення газового, шлакового захисту розплавленого металу або його рафінування.

Результати досліджень. Досліджено вплив екзотермічного флюсу, що являє собою механічну металофлюсову суміш окалини, алюмінієвого порошку та легуючих елементів (у вигляді феросплавів або порошоків) і робочого флюсу (АНФ-6 чи ін.).

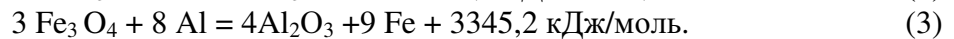
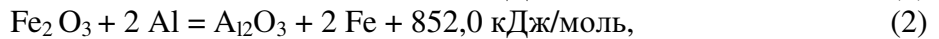
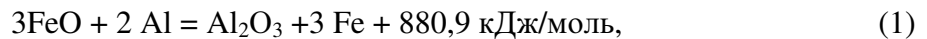
Основною складовою екзотермічних сумішей (флюсів), що застосовуються у зварювальному і металургійному виробництвах, є окалина, яка зазвичай містить 70...80 масових відсотків екзотермічної суміші (від її фізико-хімічних властивостей залежить якість металу шва або виплавленого металу донної частини злитка).

На машинобудівних заводах країни окалина є відходом ковальсько-пресового виробництва. Проведені в Донбаській машинобудівній академії дослідження [13] показали, що її склад (залежно від марки сталі, що проковується) змінюється в досить

вузьких межах, унаслідок чого рекомендовано застосування окалини в якості компонента екзотермічної суміші від будь-якої низьколегованої сталі, що проковується.

Елементи Ni, Cr, Mo, V у процесі нагрівання й кування окиснювалися не повністю і в окалині перебувають у неокисненому вигляді. Таким чином, окалини, взяті після кування заготовок із легованих сталей, можуть бути раціонально використані за необхідності легування металу зазначеними елементами без введення відповідної кількості у вигляді феросплавів або металевих порошоків.

При плавленні екзотермічного флюсу відбувається відновлення заліза ($\approx 70\%$ від маси окалини), що осідає на піддон або затравку і утворює донну частину відливки. При введенні до складу екзотермічного флюсу легуючих елементів у вигляді феросплавів або порошоків відбувається легування відновленого заліза. Для повного розплавлення феросплавів, що вводяться до складу флюсу, необхідно затратити відповідну кількість тепла. У розглянутому випадку такою є теплота, що виділяється при протіканні екзотермічних реакцій у процесі взаємодії (в основному) оксидів заліза з алюмінієм за реакціями:



За даними [14] залежно від кількості екзотермічної суміші різниця температур, що розвиваються екзотермічними реакціями, складала $540\text{...}1280^\circ\text{C}$ і є достатньою для розплавлення феросплавів відповідної грануляції, що вводяться в екзотермічний флюс.

При електрошлаковому переплавленні відбувається розплавлення електрода у шарі рідкого шлаку. Розплавлений метал стікає в металеву ванну, при охолодженні якої утворюється злиток (заготовка). Застосування витратного електрода (як показали дослідження впливу гранулометричного складу феросплавів на їх розчинність у відновлюваному металі й на хімічний склад виплавленого металу) недоцільно через складне врахування впливу витратного електрода на відновлений метал при їхньому перемішуванні. У зв'язку з цим виникла необхідність використання невитратного водоохолоджуваного електрода.

Для проведення експериментальних плавок з метою визначення впливу гранулометричного складу феросплавів на хімічний склад електрошлакового металу виконувалося подрібнення феромарганцю, ферохрому, феромолібдену, ферованадію, феросиліцію з наступним їх просіюванням через відповідні сита.

Розплавлення екзотермічного флюсу з розміром часток: $0,10\text{...}0,16$; $1,6\text{...}2,5$; $4,0\text{...}6,0$ мм виконувалося в мідному водоохолоджуваному кристалізаторі діаметром $170/160$ мм невитратним електродом на твердому старті за монофілярною схемою під'єднання джерела живлення. Режим плавки: $I=3\text{...}4$ кА, $U = 60$ В. Кількість екзотермічного флюсу (12 кг) і флюсу АНФ-6 (4 кг) у проведених плавках була однаковою і забезпечувала отримання злитків діаметром 160 мм і висотою $50\text{...}60$ мм. Розмір часток окалини – $0,1\text{...}2,5$ мм. Процес розплавлення екзотермічного флюсу виконувався таким способом: на водоохолоджуваний піддон (у середину кристалізатора) насипався екзотермічний флюс і підводився невитратний електрод діаметром 160 мм. Подавалася напруга на джерело живлення й при подачі невитратного електрода до екзотермічного флюсу він запалювався і розплавлявся. В міру розплавлення екзотермічного флюсу невитратний електрод подавався нагору і після повного розплавлення екзотермічного флюсу процес припинявся.

У табл.1 наведено хімічний склад металу досліджуваних злитків, що отримані при переплавленні екзотермічного флюсу витратним і невитратним електродами.

У якості витратного електрода використовувалися заготовки зі сталі 9ХФ діаметром 90 мм. Також був випробуваний варіант розплавлення екзотермічного флюсу, поміщеного в тонкостінну трубу. Склад екзотермічного флюсу в усіх випадках був однаковий. З табл.1 виливає, що хімічний склад електрошлакового металу залежить як від гранулометричного складу феросплавів, так і від способу розплавлення екзотермічного флюсу, а вміст сірки (рис.1) у ньому незначний при використанні невитратного електрода.

Зміна хімічного складу шлаку (за рахунок збільшення вмісту в ньому оксиду алюмінію) не знижує десульфуривальну здатність фторидних флюсів. Основним постачальником сірки в електрошлаковому металі є витратний електрод.

Макроструктура досліджених злитків, яка наведена на рис.2, показує, що відновлений метал є щільним, однорідним і характеризується відсутністю у ньому пор, флокенів або інших дефектів.

Таблиця 1

Вплив гранулометричного складу феросплавів на хімічний склад електрошлакового металу

Зона відбору металу	Вміст елементів, мас. %						Розмір часток, мм	Примітка
	C	Si	Mn	Cr	V	S		
Торець донної частини злитка	0,80	0,07	0,06	1,19	0,30	0,015	0,10...0,16	Невитратний електрод
	0,86	0,13	0,11	1,31	0,27	0,016	1,60...2,50	
	0,89	0,16	0,16	1,89	0,35	0,012	4,0...6,0	
Те ж саме	0,80	0,21	0,22	1,59	0,18	0,040	0,10...0,16	Витратний електрод
30 мм від торця	0,84	0,17	0,18	1,65	0,15	0,038	0,10...0,16	
Торець донної частини злитка	0,84	0,18	0,20	1,54	0,18	0,037	1,60...2,50	Те ж саме
	0,85	0,14	0,17	1,69	0,18	0,044	1,60...2,50	Те ж саме
Те ж саме	0,82	0,14	0,15	1,57	0,15	0,044	4,0...6,0	Те ж саме
30 мм від торця	0,84	0,14	0,15	1,67	0,15	0,040	4,0...6,0	Те ж саме
Торець донної частини злитка	0,99	0,33	0,37	1,89	0,30	0,016	4,0...6,0	Труба
Витратний електрод	0,84	0,30	0,30	1,85	0,18	0,046	-	-

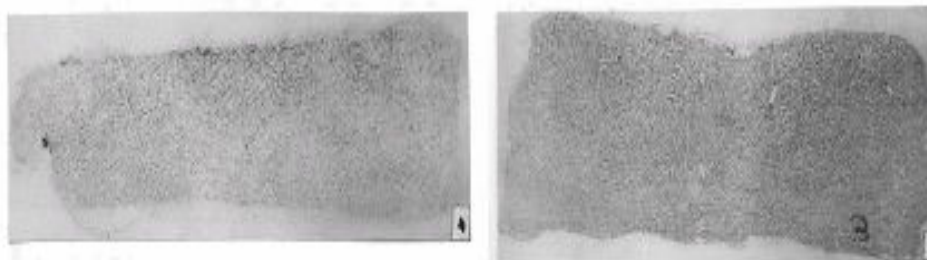


Рисунок 1. Сірчані відбитки поздовжніх темплетів зі злитків, що виплавлені із застосуванням феросплавів з розміром часток 4...6 мм невитратного (4) і витратного електрода (3)

Figure 1. Sulfur prints of longitudinal templates of ingots, melted with the use of ferroalloys with particle size of 4 ... 6 mm of non-consumable (4) and consumable electrode (3)

При застосуванні витратного електрода вплив гранулометричного складу феросплавів на хімічний склад металу незначний, тому наступні дослідження виконувалися при розмірі часток феросплавів 0,1...6,0 мм.

У промислових умовах в печі ЕШП-10Г (ПАО«НКМЗ») у мідному водоохолоджуваному кристалізаторі (висотою 2600 мм і діаметром 800/850 мм) виконувалася виплавка злитка витратним електродом із відпрацьованого валка зі сталі 60Х2СМФ (діаметром 500 мм і довжиною 3500 мм) із застосуванням розробленого «твердого» способу старту [12] (рис.3).

На затравку (у середину кристалізатора) було засипано 200 кг екзотермічної суміші і 400 кг флюсу АНФ-6 у 3 шари з відповідним співвідношенням екзотермічної суміші та робочого флюсу. Електрошлакове переплавлення виконувалося на твердому старті за монофілярною схемою на такому режимі: сила струму – 20...22 кА, напруга – 60...65 В. Заданий стійкий електрошлаковий процес з виходом на заданий режим був установлений наприкінці 30-ої хвилини.

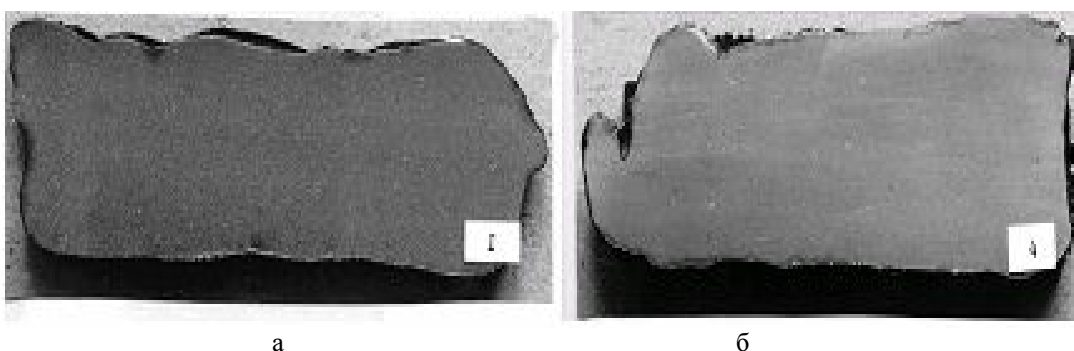


Рисунок 2. Макроструктура поздовжніх темплетів зі злитків, що виплавлені невитратним електродом із застосуванням феросплавів з розміром часток 0,10...0,15 мм (а) і 4,0...6,0 мм (б)

Figure 2. Macrostructure of longitudinal templets of ingots, melted with non-consumable electrode with the use of ferroalloys with particle size of 0,10...0,15 mm (a) and 4,0...6,0 mm (b)

Час виплавки злитка діаметром 810 мм і висотою 1340 мм склав 6,5 години; при виплавленні такого ж злитка на звичайному твердому старті – 8,5 години, а при рідкому старті – 6,5 години (без урахування розплавлення флюсу у флюсоплавильній печі –1,5 години). Зовнішніх і внутрішніх дефектів у виплавленому злитку не виявлено (шар відновленого металу на рисунку має білий колір з боку затравки (рис.3)).



Рисунок 3. Вид поперечного перерізу п'ятитонного злитка, відлитого в печі ЕШП-10Г

Figure 3. Cross-sectional view of five-ton ingot cast at the furnace EShP-10G

Для визначення впливу розробленого способу «твердого» старту з використанням екзотермічних флюсів на однорідність хімічного складу металу донної частини злитка за біфілярною схемою ведення процесу виконувалося електрошлакове виплавлення у сталевому кристалізаторі штампового кубика розміром 330×330×400 мм [15].

У якості витратних електродів використовувалися катані заготовки перерізом 80×200 мм і довжиною 2150 мм зі сталі 5ХНМ. Робочий флюс попередньо прожарювався при температурі 873 К упродовж двох годин. Шлакова ванна в процесі електрошлакового лиття не розкислювалася. Вихідні дані й параметри процесу електрошлакового лиття досліджуваного штампового кубика наведено в табл.2.

Після закінчення плавки виливка утримувалася у кристалізаторі до завершення процесу затвердіння шлакової й металевої ванн, після чого виймалася із кристалізатора й завантажувалася в нагріту термічну піч для ізотермічного відпалу.

Процес електрошлакового лиття штампового кубика за біфілярною схемою зображено на рис.4.

Таблиця 2

Параметри процесу електрошлакового лиття досліджуваного штампового кубика

Режим плавки			Температура води на виході із кристалізатора, К	Час плавки, хв.
I, кА	U, В	V _{сл} , мм/хв		
9...10	60...62	10...11	300...310	85

У зв'язку з тим, що розрахункова товщина відновлюваного металу з екзотермічного флюсу не перевищувала 10 мм, тому глибина свердління нижньої торцевої частини злитка при отриманні стружки для хімічного аналізу не перевищувала 5...7 мм.

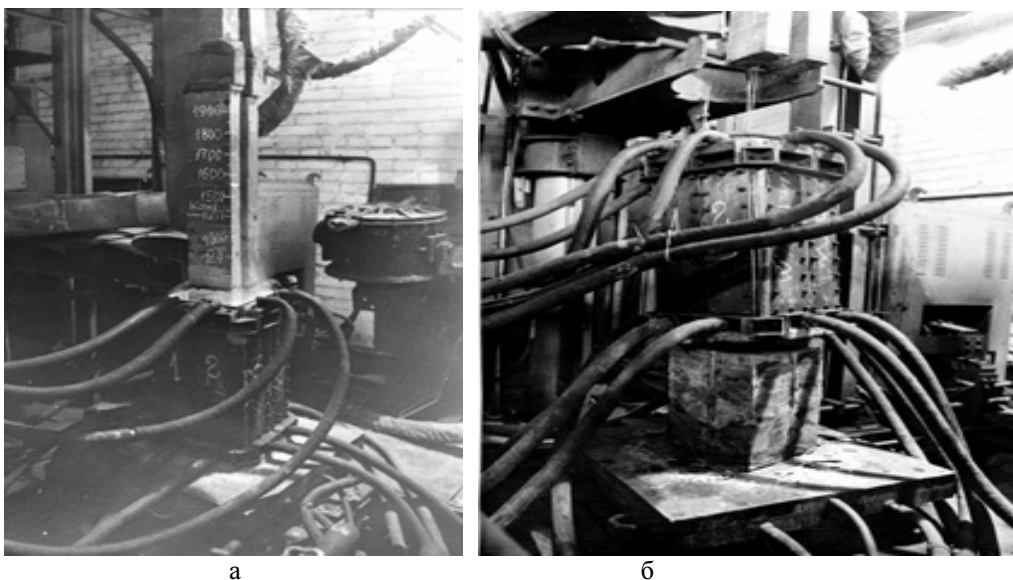


Рисунок 4. Електрошлакове лиття штампового кубика в процесі виплавки за біфілярною схемою (а) і після закінчення плавки (б)

Figure 4. Electroslag casting of stamping dice in the process of melting by bifilar scheme (a) and after melting (b)

З метою визначення наявності перехідної зони, яка пов'язана з різними хімічними складами відновлюваного металу і металу, що переплавляється, хімічний склад досліджуваного металу визначався на відстані 15, 30 і 60 мм від нижньої частини заготовки.

Для вивчення макроструктури і зняття сірчаного відбитка з досліджуваної заготовки вирізався поздовжній центральний темплет. Дослідження макроструктури проводилося згідно з ГОСТом 10243-75 шляхом визначення ліквацийної неоднорідності по сірці та вивчення будови макроструктури і дефектів металу. Ліквацийна неоднорідність по сірці визначалася за відбитком, що був знятий з темплета за методом Баумана. Дослідження макроструктури виконувалося після глибокого травлення поверхні темплета в 50-відсотковому водяному розчині сірчаної кислоти, який був нагрітий до 353^oК.

Ліквацийна неоднорідність донної частини злитка по сірці виражена у вигляді крапок (рис.5).



Рисунок 5. Розподіл сірки в центральному повздовжньому темплеті штампового кубика

Figure 5. Distribution of sulfur in the longitudinal temper of the stamping dice

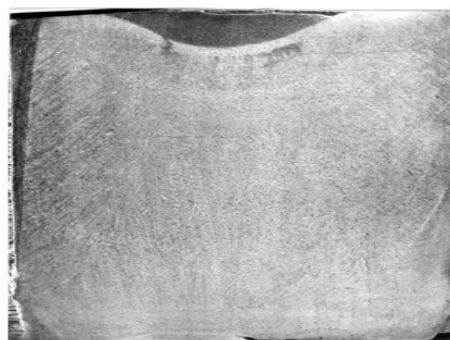


Рисунок 6. Макроструктура сталі 5XHM (центрального повздовжнього темплета зі штампового кубика)

Figure 6. Macrostructure of steel 5XHM (the central longitudinal temper of the stamping dice)

Зменшено в 2,5 рази
Reduced by 2,5 times

При цьому вміст сірки в донній частині злитка менший, ніж у його середній і верхній частинах, що вказує на позитивний вплив пропонованого способу старту на забруднення донної частини злитка.

Вивчення макроструктури досліджуваної сталі проводилося шляхом візуального перегляду поверхні протравленого темплета (рис.6). Установлено, що литий метал донної частини злитка щільний; тріщини, порожнини та інші дефекти відсутні, а стовпчасті кристали спрямовані майже паралельно осьовій лінії темплета. У середній і верхній частинах чітко виражена зона стовпчастих кристалів, що розташовані під кутом 45...60 до осьової лінії темплета. У центральній частині є зона рівновісних кристалів.

Мікродослідження забруднення металу неметалічними включеннями, що проведені відповідно до ГОСТу 1778-70 (при збільшенні 400) і хімічний аналіз осаду, який отриманий способом електролітичного розчинення зразків, що виготовлені з досліджуваного штампового кубика, показали, що метал характеризується низьким умістом неметалічних включень, а забруднення кованого металу (як сульфідами, так і оксидами) значно вищі, ніж литого електрошлакового металу (табл.3). При цьому, неметалічні включення (у вигляді алюмосилікатів з невеликим вмістом оксидів заліза і марганцю) розташовані рівномірно як по перерізу, так і по висоті заготовки.

Таблиця 3

Вміст неметалічних включень у досліджуваному зливку зі сталі 5ХНМ

Місце відбору зразків		Вміст, %	
По висоті	По перетину	сульфідів	оксидів
Низ	Поверхня	0,016409	0,0055653
	Центр	0,010098	0,009757
Середина	Поверхня	0,0167535	0,005967
	Центр	0,010901	0,0099832
Верх	Поверхня	0,012507	0,00786
	Центр	0,01922	0,0085488
Кована заготовка		0,02857	0,011016

З табл.4 випливає, що з підвищенням температури випробувань механічні властивості литого штампового кубика перебувають на рівні досліджуваного кованого металу відкритої виплавки. Високі значення коефіцієнта анізотропії свідчить про досить високу однорідність властивостей литого електрошлакового металу при температурі роботи штампів гарячого деформування.

Твердість зразків з кованої заготовки ковки (укол 8) і штампового кубика ЕШЛ після термічної обробки становила відповідно 45...46 і 44...48 HRC.

Випробування механічних властивостей досліджуваного кубика [16] показали, що вони перебувають на рівні кованого металу відкритої виплавки, а високі значення коефіцієнта анізотропії (0,91...0,98) свідчать про високу однорідність литого електрошлакового металу.

Таблиця 4

Вибіркові характеристики розсіювання механічних властивостей сталі 5ХНМ

Вид заготовки	Механічні властивості	Коефіцієнт анізотропії	Вид заготовки	Механічні властивості	Коефіцієнт анізотропії
Температура випробувань 693 К			Температура випробувань 823 К		
Поковка (метал відкритої виплавки)	σ_B	0,93	Поковка (метал відкритої виплавки)	σ_B	0,92
	σ_T	0,94		σ_T	0,93
	δ	0,80		δ	0,80
	ψ	0,62		ψ	0,76
	KCU	0,50		KCU	0,42
Штамповий кубик(ЕШЛ)	σ_B	0,97	Штамповий кубик(ЕШЛ)	σ_B	0,98
	σ_T	0,96		σ_T	0,97
	δ	0,90		δ	0,90
	ψ	0,89		ψ	0,92
	KCU	0,90		KCU	0,91

Таблиця 5

Техніко-економічні показники порівнюваних способів startу
електрошлакового переплаву

Техніко-економічні показники розглянутих способів startу		Спосіб startу			
		«Твердий»		«Рідкий»	
		Металева стружка, алюмінієвий порошок, флюс АНФ-6	Розроблений	«Рідкий»	Розроблений
1	2	3	4	5	6
Діаметр, мм	кристалізатора	235/240	235/240	350	350
	електрода	150	150	190	190
Режим плавки	струм, кА	5,5	5,5	7,2...7,4	7,2...7,4
	напруга, В	48	48	48	48
Час встановлення сталого режиму плавки, хв		15	4	75	63
Довжина електрода, що розплавився, мм		260	435	3080	3080
Маса виплавленої виливки, кг		35,5	60,0	650	652
Час плавки, хв		24	20	325	305
Час повного розплавлення флюсу, хв		23	16	-	-
Маса розплавленого флюсу, кг		12	12	31	31
Питома продуктивність розплавлення флюсу, кг/хв		1,48	3,0	2,0	2,1
Масова швидкість розплавлення флюсу, кг/хв		0,52	0,75	-	-
Вихід придатного металу, %		85	95	90	92

Таким чином, проведені дослідження показують, що розроблений спосіб startу може бути успішно використаний і при біфілярній схемі ведення електрошлакового процесу.

У результаті проведених порівняльних випробувань оптимального варіанта розробленого способу startу і застосовуваних на сьогодні способів твердого й рідкого startів електрошлакового переплавлення були отримані показники, що наведені відповідно в табл.5, з яких випливає, що розроблений спосіб startу ЕШП (при однакових умовах) дозволяє підвищити продуктивність процесу електрошлакового переплавлення й збільшити вихід придатного металу на 2...7%. Крім того, встановлено, що при розплавленні екзотермічного флюсу утворюється складова

шлаку: оксид алюмінію (Al_2O_3), маса якого може складати до 20% від необхідної маси робочого флюсу, що розплавляється.

Висновки. Встановлено, що ефективним способом підвищення продуктивності електрошлакових процесів є використання екзотермічного флюсу (окалини, феросплавів і алюмінієвого порошку в кількостях, що достатні для протікання екзотермічних реакцій). Експериментально доведено, що наявність електропровідного шару екзотермічного флюсу дозволяє здійснювати електрошлаковий процес, як за моно-, так і біфілярною або трифазною схемою на «твердому» старті. Проведені дослідження продемонстрували, що застосування екзотермічного легованого флюсу не чинить негативного впливу на якість металу донної частини злитка. Встановлено, що моно- й біфілярна схема здійснення електрошлакового процесу з використанням «твердого» старту й екзотермічного електропровідного легованого флюсу дозволяють використовувати звільнені флюсоплавильні печі під електрошлакове лиття деталей відповідального призначення. Доведено, що властивості литої електрошлакової сталі 5ХНМ задовольняють вимоги, які пред'являються до механічних властивостей ковального металу відкритої виплавки. Встановлено, що доцільно використовувати в якості компонента екзотермічного флюсу окалину, яка є відходом прокатного або ковальсько-пресового виробництва з розміром часток 0,1...2,5 мм і легуючих елементів з розміром часток 0,1...6,0 мм. Експериментально доведено, що гранулометричний склад екзотермічного флюсу в основному впливає тільки на процес наведення шлакової ванни при застосуванні витратного електроду.

Conclusions. It is established that the use of exothermic flux (cinder, ferroalloys and aluminum powder in quantities sufficient for the occurrence of exothermic reactions) is an effective way to improve the performance of electro flux processes. The experiments prove that the presence of the electro conductive layer of exothermic flux allows to conduct electro flux process, both in mono- and bifilar or in three-phase scheme with the «solid» start. The conducted research showed that the use of exothermic alloyed flux does not have a negative impact on the quality of the metal of the bottom part of the ingot. It is established that mono- and bifilar scheme of electro flux process with the «solid» start and use of the exothermic alloyed electro conductive flux allows exploiting the released flux melting furnaces for electro flux casting of the responsible destination parts. It is proved that the properties of electro flux cast steel 5ХНМ meet the requirements for the mechanical properties of openly smelted forged metal. It is established that cinder should be used as a component of exothermic flux, it is a waste of rolling or forging and pressing industry with particle size of 0,1...2,5 mm and alloying elements with particle size of 0,1...6,0 mm. It is experimentally proved that the granulometric composition of exothermic flux mainly affects only the process of restoring the slag bath in the application of consumable electrode.

Список використаної літератури

1. Повышение стойкости крупных молотовых штампов, изготовленных из литого металла ЭШП. [Текст] / В.С. Гринюк, В.Ф. Карпов, Г. А. Бойко и др. // В кн: Рафинирующие переплавы. Вып.2.К., 1975. – С. 109 – 111.
2. Южанин, Ж.И. Изготовление заготовок контейнерных втулок из стали 5ХНМ с помощью электрошлакового литья [Текст] / Ж.И. Южанин, И.Р. Цыпунова, А.С. Агафонов // Металловедение и термическая обработка. — 1979. — №6. — С. 53 – 55.
3. Кубарев, Б.И. Изготовление деталей методом ЭШЛ и ЭКЛ [Текст] / Б.И. Кубарев, В.В. Шапаров // Информационный листок 007-78, серии 10-05. – НИИИНФОРМаш. – М., 1978.
4. Зайцев, Ю.Н. Применение электрошлакового переплава при изготовлении штампового инструмента для горячего деформирования металлов [Текст] / Ю.Н.Зайцев, В.Н.Дурманов. В кн.: Прогрессивная технология обработки металлов давлением // Вып.12, М., ЭНИКМаш. – 1965. – С. 51 – 68.
5. Патон, Б.Е. Электрошлаковые печи [Текст] / Б.Е. Патон и Б.И. Медовар. – Киев: Наукова думка, 1976. – 414 с.
6. А.с. №215024. Металлофлюсовая смесь [Текст] / В.Т.Арсенкин и др. – Опубл. в Б.И.,1968. – №12.

7. Патент 181663(Англия) Способ наведения шлаковой ванны при ЭСП [Текст] / W.O.Alexander, Y.Ravault.
8. Максимович, Б.И. Наведение шлаковой ванны с помощью самоплавящегося флюса. // Автоматическая сварка. – 1959. – №10. – С. 90 – 91.
- 9 Патент 1225783 (Англия) Способ электрошлакового переплава [Текст] / заяв.26.04.1967; №1181663; опубл. 24.03.1971.МКИ В22Д, 23/06.
10. Декларацийний патент 36618А, Україна, МКИ В23К 25/00.Спосіб електрошлакового зварювання [Текст] / Карпенко В.М, Власов А.Ф.; заявлено 13.01.00 №200001024;опубл.16.01.01р, Бюл №3.
11. Декларацийний патент 71290А, Україна, МКИ В23К 9/04.Спосіб електродугового наплавлення [Текст] / Власов А.Ф., Карпенко В.М, Жаріков С.В, Нерівний А.В. Заявлено 18.12.03 №20031211810; опубл.15.11.04р, Бюл №11.
12. А.с.№1200581 СССР, МКИ В 22 д, 27/02. Способ старта электрошлакового переплава [Текст] / А.Ф.Власов, Г.А. Молодан, А.С Волков, В.В Бежин, В.А.Волвенко. – №3421264/25; заявл.12.04.82.
13. Власов, А.Ф. Применение окалины в электродном производстве [Текст] / А.Ф. Власов, В.М. Карпенко // Сварочное производство. – 1982. – №2. – С. 6 – 8.
14. Власов, А.Ф. Экспериментальное определение экзотермического процесса, протекающего при нагреве и плавлении электродов // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. – №2(4). – 2006. – С. 65 – 68.
15. А.с.№1396618 СССР, МКИ С22 В 9/18. Способ старта электрошлакового переплава [Текст] /А.Ф. Власов, Г.А. Молодан, А.С Волков, А.И. Боровко, С.С. Анциферов. – №4090560/23-02; заявл.09.07.86.
- 16 Власов, А.Ф. Исследованные качества литой электрошлаковой штамповой стали 5ХНМ [Текст] / А.Ф. Власов, В.М.Карпенко, В.К.Лысак. Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні // Тематич.зб. наук. праць ДДМА. – Краматорськ. – 2004. С. 139 – 144.

Отримано 28.12.2013