

СПОСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЛИТИХ МАШИНОБУДІВНИХ ЗАГОТОВОК НА ОСНОВІ ЗАСТОСУВАННЯ НОВИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ ЕШП¹

Я. К. Антоневиц

*Національний технічний університет України
«Київський Політехнічний Інститут»*

З кожним днем висуваються все вищі вимоги до якості металів та сплавів. Часто структуру металів змінюють за допомогою деформації та термообробки. Деформований метал має дуже високі механічні характеристики, але його обробка досить енергоємна. Методами електрошлакового литва можна досягати, а іноді і перевищувати якісні характеристики металу в порівнянні з деформованим.

С каждым днем выдвигаются все высшие требования к качеству металлов и сплавов. Часто структуру металлов изменяют с помощью деформации и термообработки. Деформированный металл имеет очень высокие механические характеристики, но его обработка достаточно энергоемка. Методами электрошлакового литья можно достигать, а иногда и превышать качественные характеристики металла по сравнению с деформированным.

With every day, all higher requirements are pulled out to quality of metals and alloys. Often the structure of metals is changed by deformation and heat treatment. The deformed metal has ever-higher mechanical descriptions, but his treatment is power-hungry enough. It is possible to arrive at the methods of the elektroshlakovogo casting, and sometimes and to exceed high-quality descriptions of metal as compared to deformed.

Вступ

Електрошлакове литво (ЕШЛ) — це метод отримання відливок фасонних виробів у водоохолоджуваній металевій ливарній формі (кристалізаторі) на основі застосування електрошлакового процесу плавлення електроду, що витрачається. На відміну від звичайного литва при ЕШЛ передбачається одночасне безперервне приготування і

¹ - робота виконана під керівництвом і за участю д.т.н., с.н.с. В. Я. Саєнко, інститут електрозварювання ім. Є.О.Патона НАН України

витрачання рідкого металу в єдиному з ливарною формою агрегаті.

Постановка задачі дослідження

Метою даного дослідження було порівняння механічних характеристик сталей після деформування із металом, що пройшов електрошлакове литво і встановити можливі шляхи підвищення якості металу.

Методика проведення експериментів

На рисунку 1 схематично представлений процес ЕШЛ.

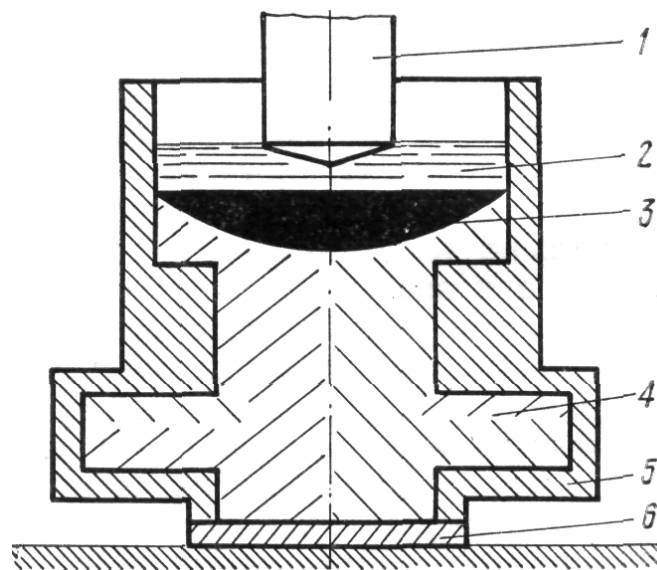


Рис.1. Схема електрошлакового лиття: 1 - електрод, що витрачається; 2 - шлакова ванна; 3 - металева ванна; 4 - отливка; 5 - форма ливарні; 6 - піддон.

При ЕШЛ повністю відсутня взаємодія рідкого металу з матеріалом ливарної форми. Специфіка умов кристалізації металу у водоохолоджуваній ливарній формі сприятливо позначається на будові електрошлакового відливання. По-перше, відбувається посилене відведення тепла в донну частину форми, що викликає наближення теплових потоків до осевого напрямку. По-друге, безперервне підведення тепла до верхньої частини виливка здійснюється розплавленим і перегрітим електродним металом. По-третє, у зв'язку з відсутністю безпосереднього контакту металу виливка із стінкою ливарної форми із-за шлакової скориночки, що утворюється між ними, значно знижується відведення тепла в радіальному напрямі. По-четверте, шлакова ванна в ливарній формі грає роль, схожу з роллю теплової надставки в звичайному

зливку. В результаті електрошлаковий виливок відрізняється осьовою або радіально-осьовою кристалізацією (рис. 2).

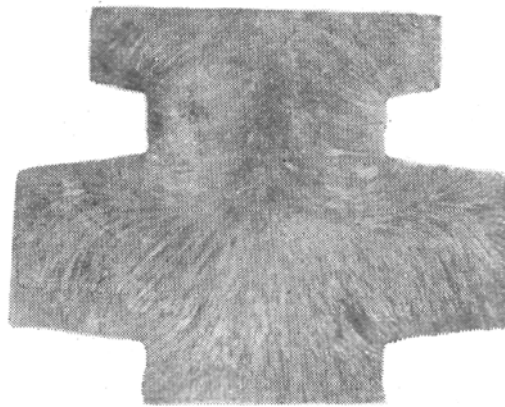


Рис. 2. Будова електрошлакової виливки замкового клапану суцільного перетину

Підвищений градієнт температур і направлене відведення тепла сприяють формуванню у виливку стовпчастих кристалів, а осьова або радіально-осьова спрямованість кристалів виключає можливість утворення в структурі виливку місць слабого місця і пов'язаних з ними тріщин. Усадкова раковина в головній частині виливку, як правило, відсутня.

Завдяки рафінуючій дії шлакової ванни і сприятливим умовам поступового наплавлення і кристалізації виливку, литий електрошлаковий метал відрізняється високими властивостями. Хімічний склад сталі, що переплавляється, практично не змінюється. Вона очищається від неметалічних включення, шкідливих домішок і газів. Наприклад, в конструкційних сталях загальна кількість включень знижується більш ніж в два-три рази.

Електрошлакові виливки мають показники механічних властивостей на рівні і вище за показники кованого металу відкритої виплавки. Ударна в'язкість литого і деформованого електрошлакового металу практично не залежить від ступеня деформації. Литий електрошлаковий метал характеризується підвищеною тривалою міцністю в порівнянні з початковим. В результаті підвищення чистоти металу по неметалічним включенням його контактна втома підвищується в порівнянні з металом відкритої виплавки. Литий електрошлаковий метал відрізняється значно нижчою чутливістю до термічних ударів.

За певних умов тепловідводу в електрошлаковому виливку може мати місце зустрічна кристалізація. Наявність подібної картини в металі звичайного литва є однієї з причин його знижених властивостей. Механічні властивості литого електрошлакового металу практично не залежать від

макроструктури вилівку. Більш того, вони відрізняються ізотропністю в напрямі вздовж і поперек кристалів і по межі між кристалами.

Великий ступінь деформації литого електрошлакового металу породжує анізотропію механічних властивостей, якою не мав литого електрошлакового металу. Таким чином, литий електрошлаковий метал немає необхідності піддавати деформації, принаймні значній, з метою поліпшення його властивостей.

Основна перевага методу ЕШЛ полягає в тому, що з його допомогою можна надати конкретному виробу необхідну форму і одночасно забезпечити високу якість металу. Метод ЕШЛ забезпечує геометричну форму литої заготовки, що максимально наближається до розмірів готового виробу. В результаті заготовка має мінімальні припуски на механічну обробку. Відсутність при цьому у виливках прибуткових частин і систем літників істотно підвищує вихід придатного. Останнє особливо важливе при виготовленні виробів з дорогих матеріалів, економія яких є важливим складовим елементом загальної ефективності методу. Вельми перспективне використання ЕШЛ у виробництві литих виробів складної форми шляхом зварювання окремих частин, відлитих даним методом. Це дозволяє розширити виробництво великогабаритних виробів, не поступливих по експлуатаційних характеристиках виробам з штампосварних і кованозварних заготовок, і дає можливість практично повністю відмовитися від застосування ковальсько-пресового устаткування. Нижче приведені деякі порівняльні характеристики литого і деформованого металу.

Основні споживачі виробів з "суперсплавів" - енергетичне і хімічне машинобудування, а також двигунобудування. В даний час одним з основних сплавів для виробництва сучасних енергетичних газових турбін став сплав на нікелевій основі типу Інконель 718. Сплави подібного типу чутливі до плямистої ліквіації. Зазвичай важкі злитки з "суперсплавів" виготовляють по схемі ВПП – ЕШП – ВДП. Проте сьогодні вже відчувається обмеженість цих стандартних металургійних підходів до виробництва крупних ковальських злитків масою 20 т і діаметром 1000 мм. Для подолання проблем сегрегації потрібно знаходити нові можливості контролю твердіння злитків великих розмірів.

Навіть при застосуванні сучасних систем автоматичного управління ЕШП уникнути сегрегації по перетину і висоті зливка, а потім - по довжині і перетину зливка, вдається далеко не завжди. Таким чином, традиційна проблема отримання бездефектного крупного зливка в сучасному машинобудуванні як і раніше існує.

Останні розробки ІЕС по створенню ЕШП з двоконтурною схемою живлення (ЕШП ДС) дозволяють сподіватися на успішне рішення цієї задачі.

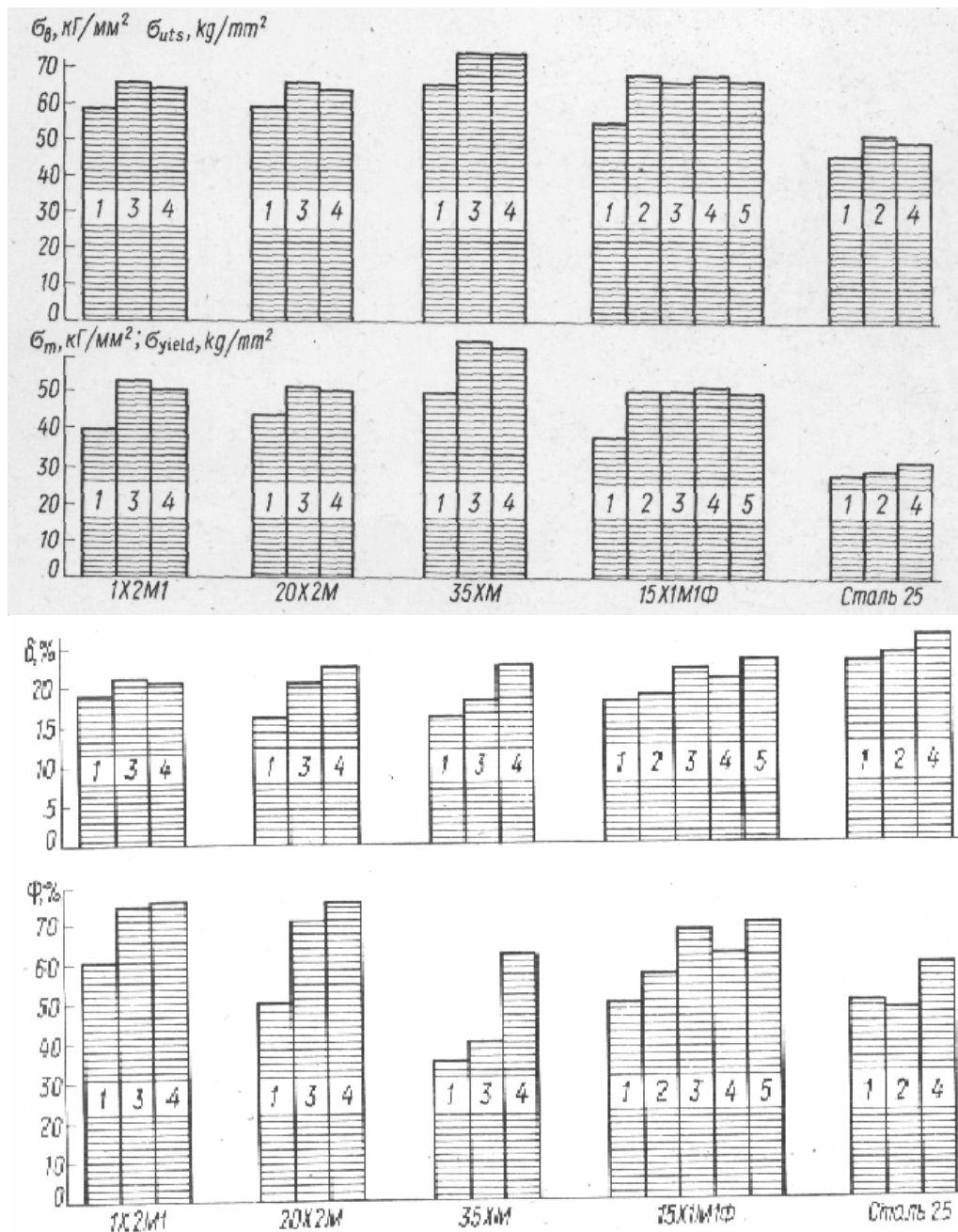


Рис.3. Порівняльні характеристики деяких сталей. 1 – вимоги ТУ, 2 – звичайне литво, 3 – прокат відкритої виплавки 4 – електрошлакове литво, 5 – прокат ЕШП

На мал. 5 представлена принципова схема ЕШП ДС. Видно, що живлення струмопідвідного кристалізатора, винайденого в ІЕС під керівництвом І.І.Фрумїна, і електроду, що переплавляється, здійснюється від різних джерел. Це означає, що корінна суть ЕШП змінилася: жорсткий зв'язок між швидкостями плавлення електроду і формування злитка розірваний. А це у свою чергу значно розширює можливості контролю як

профілю, так і глибини рідкометалевої ванни і двофазної зони при твердінні злитка.

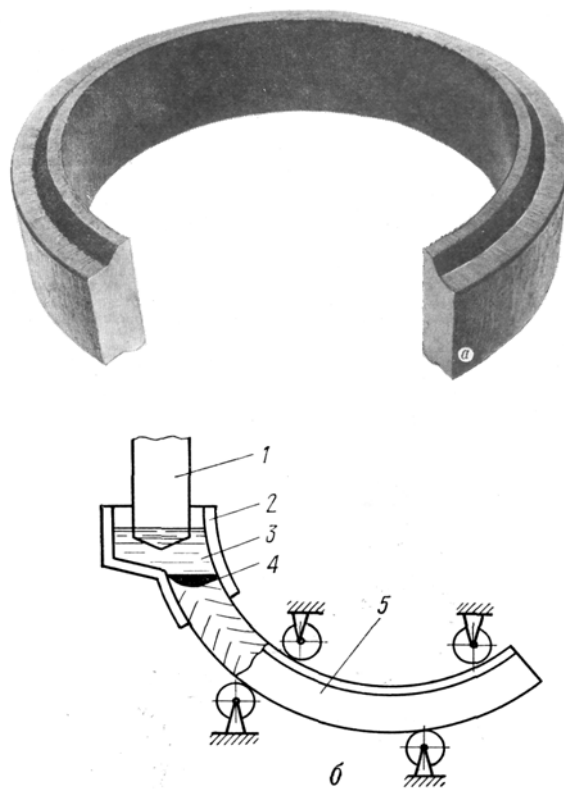


Рис. 4. Бандаж спеціального профілю і схема його отримання : 1- електрод, що витрачається ;2 - форма ливарні ;3 - шлакова ванна; 4 - металева ванна; 5 - відливання бандажа.

Перевірка даної ідеї в лабораторних і випробувальних умовах підтвердила це припущення. На рис. 6 представлені деякі приклади макроструктури досвідчених злитків діаметром 350 мм та діаметром 500 мм (рис.7) з дрібною, а у ряді випадків і практично плоскою ванною (суцільна лінія), отриманою з нікелевого сплаву IN 718 (штриховою лінією умовно показаний профіль металевої ванни, що отримується для злитка такого ж розміру при стандартному ЕШП).

При цьому, не дивлячись на істотне зниження швидкості витяжки злитка (його формування) в порівнянні із стандартною для звичайних злитків ЕШП такого ж діаметру, якість поверхні злитків залишалася хорошою за рахунок обігріву поверхні злитка від струмопідвідного кристалізатора.

У зв'язку з проблемою якісної заготовки для енергетичного машинобудування застосування ЕШП з двоконтурною схемою живлення дозволяє отримувати злитки змінного по висоті хімічного складу з мінімальної довгої перехідної зони.

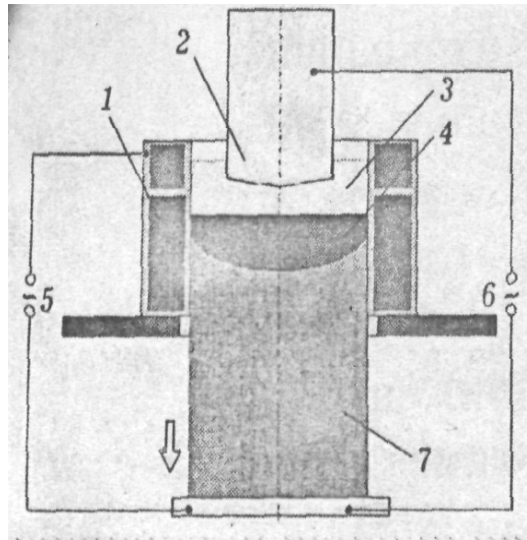


Рис. 5. Схема процесу ЕШП ДС: 1 – токопідводящий кристалізатор 2 – електрод, що витрачається, 3,4 – шлакова і металева ванни 5,6 – джерела живлення №1 і №2, 7 – злиток.

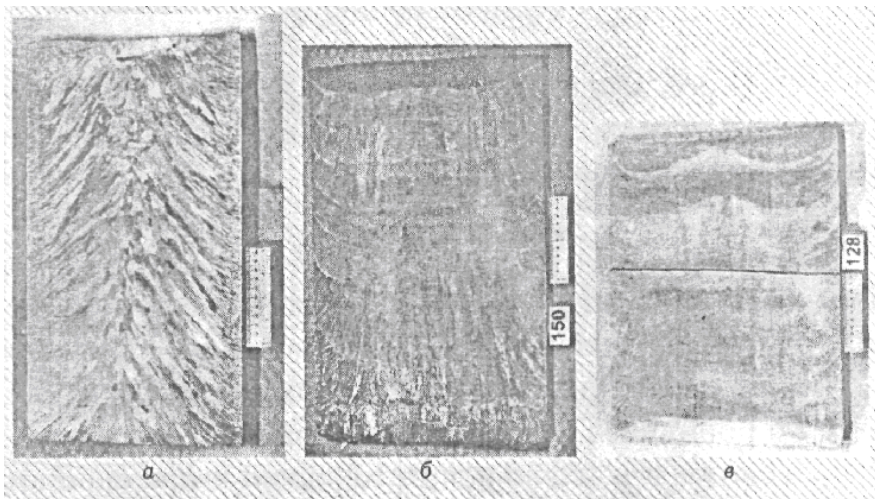


Рис. 6. Макроструктура злитків, отриманих: а – ЕШП, б, в – ЕШП ДС

Результати досліджень

Деформація це формально додання металу заготовки певних розмірів, форми і структури. Але досягнення властивостей деформованого металу можливе так само за допомогою спеціальних методів литва, заснованих на використанні ЕШП.

Заготовки, відлиті методами ЕШП наближаються по властивостям до деформованого металу, мають певну структуру, відрізняються високою чистотою по шкідливих домішках і газах. Так само виробы вимагають значно менше обробки, і характеризуються високим коефіцієнтом використання матеріалу.

В той же час всі матеріали як литі так і деформовані повинні задовольняти технічним умовам, які залежать від умов роботи виробу. Найчастіше для порівняння характеристик матеріалу використовують порівняння механічних властивостей. Таких наприклад як межа міцності, текучість, відносне звуження і подовження, ударна в'язкість і так далі

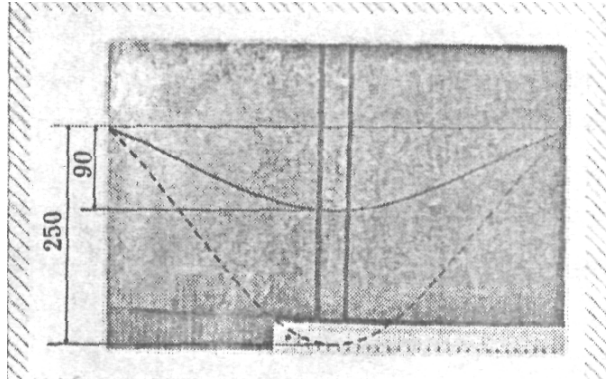


Рис. 7. Профіль металеві ванни при ЕШП

Важливо враховувати, що механічні властивості це функція структури. Литий метал має крупнішу структуру. При деформації зерна металу зменшуються і матеріал набуває якоїсь анізотропії. Критерієм плющення є сумарне обтискання, тобто відношення товщини початкової заготовки до кінцевої товщини готового продукту. Щоб отримати потрібні властивості потрібно зменшити товщину в 4-8 разів.

На якість литого металу впливає велика кількість чинників. Багато що залежить від початкового матеріалу відливань, ще більше від способу і технології виробництва литих заготовок. Так само якість металу залежить від структури, яка визначається режимом термообробки. У енергетичному машинобудуванні використовують високолеговані сталі, так звані суперсплави на нікелевій основі. Ці сплави мають високі показники механічних властивостей, так само вони термостійкі, що вкрай важливе для застосування цих сплавів в енергетиці. Проте в реальних умовах присутні дефекти структури. Більшість проблем, пов'язаних з руйнуванням і виходом з ладу деталей і механізмів пов'язані з дефектами відливань. Для запобігання утворенню дефектів необхідно досягти хімічної і структурної однорідності по перетину заготовки. Найчастіше дефекти утворюються із-за наявності в сплавах небажаних домішок:

- сірки, фосфору;
- кольорових металів;
- газів (водню, кисню, азоту).

Присутність у високоміцних сталях викликає такі дефекти як флокени. Так само прагнуть обмежувати зміст сіри. Відомо, що сіра в

сталях розміщується по межах зерен сплаву, утворюючи легкоплавкі евтектики, які у свою чергу супроводить червоноламкості. З цього виходить, що існує залежність розміру зерен і концентрації сірі на його межах. Чим менше розміри зерна, тим більше розвинена поверхня зерен, тим більше поверхня розподілу сірі в металі. Означає чим менше зерно металу, тим менше концентрація сірки на границях зерен.

Переваги металу ЕШЛ виражені по-перше у високій чистоті металу, кристалізації металу дрібними порціями, направленій кристалізації у бік рідкої фази і витіснення неметалічних домішок і газів в шлак (через різниці розчинностей цих елементів в рідкому і твердому металі).

Висновки

Управління кристалізацією відливок ЕШЛ має здійснюватися з урахуванням нових технологічних схем. Застосування токопідводящих кристалізаторів - один з основних методів. Це змінює розподіл джерел тепла, максимізує температуру, вирівнює градієнт температур по перетину відливання. В результаті отримуємо плоскішу ванну рідкого металу, можливе підведення струму до кристалізатора і до електроду, що витрачається, так само можливе використання рідкого металу для ЕШЛ. Всі ці чинники сприятливо впливають на умови кристалізації, встановлення однорідної структури і в цілому на якість злитка. Рідкий метал можна заздалегідь піддати позапічній обробці, вакуумуванню.

Література

1. Бойко Г.О., Орловский Ю.В. Электрошлаковое литье. – Київ: Наукова думка. – 1976. – 123 с.
2. Патон Є.О. Бойко Г.О. Электрошлаковое литье. – Київ: Наукова думка. – 1976. – 123 с.
3. Патон Б.Є., Медовар Б.І., Бойко Г.О. Электрошлаковое литье и его свойства. – Международная конференция по электрошлаковому и вакуумно-дуговому переплаву сталей и сплавов. – 1972.