



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 61519

(13) A

(51) 7 C21C7/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІДВИДАЄТЬСЯ ПІД
ВІДПОВІДАЛЬНІСТЬ
ВЛАСНИКА
ПАТЕНТУ

(54) СПОСІБ ОБРОБКИ СТАЛІ ТА СПЛАВІВ

1

2

(21) 2003021540

(22) 21 02 2003

(24) 17 11 2003

(46) 17 11 2003, Бюл. № 11, 2003 р.

(72) Середенко Володимир Олексійович

(73) ФІЗИКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ МЕТАЛІВ
ТА СПЛАВІВ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК
УКРАЇНИ

(57) Спосіб обробки сталі та сплавів, що включає подання добавок (легуючих та модифікуючих) і алюмінію у рідкі сталь або сплави, а також перед поданням у метал, який обробляється, попередні періоди нагрівання добавок і алюмінію до температур, вищих за температуру плавлення алюмінію, та сумісного охолодження до температур твердого стану алюмінію, який **відрізняється** тим, що в період нагрівання добавок і алюмінію по них пропускають електричний струм, величина якого не

повинна виходити за граничні значення I_{\min} та I_{\max} , що визначаються залежностями

$$I_{\min} = 3,44 \cdot 10^3 \sqrt{\frac{\rho h^3}{\mu}},$$

$$I_{\max} = 3,95 \cdot 10^3 \sqrt{\frac{\rho h^3}{\mu}},$$

де $3,44 \cdot 10^3$ та $3,95 \cdot 10^3$ - чисельні коефіцієнти пропорційності, $A/m^{3/2}$,

ρ - середня щільність рідкого алюмінію у температурному діапазоні обробки струмом, kg/m^3 ,

h - висота об'єму рідкого алюмінію, в якому знаходяться добавки, m ,

μ - середня відносна магнітна проникність об'єму рідкого алюмінію з добавками у температурному діапазоні обробки струмом

Винахід відноситься до ливарного виробництва та металургії і може бути застосований при обробці рідких сталі та сплавів (алюмінієвих чавунів, складнолегованих нікелевих сплавів і т.інш.) добавками для розкиснення, легування і модифікування металу.

Відомий спосіб обробки сталі та сплавів у ковші, що складається з розкиснення та модифікування металу через додавання волокнистого жаростійкого матеріалу у ківш (А с СРСР № 1076461 - аналог). Цей матеріал з великою питомою поверхнею попередньо обробляють розкислювачем, додають у ківш, нагрівають сумісно з ковшем, потім зливають у ківш шлак, після чого випускають у ківш метал. При обробці сталі та сплавів по цьому способу волокнистий жаростійкий матеріал забруднює метал.

Відомий також спосіб легування сталі, у якому з метою зменшення угару і стабілізації засвоєння легуючих елементів, їх у ковші покривають рівномірним шаром алюмінієвого порошку (А с СРСР № 293862 - аналог). При обробці сталі таким способом виникають втрати алюмінієвого порошку за рахунок його механічного виносу. При випуску плавки у ківш алюмінієвий порошок легко відділя-

ється від легуючих добавок і, внаслідок малої у порівнянні зі сталлю щільності, спливає догори розплаву. При цьому розкислення зазнають переважно верхні шари розплаву у ковші, значна кількість алюмінію окислюється киснем повітря, заплутується у шлаці, що погіршує якість обробки металу і збільшує втрати легуючих елементів.

Найбільш близьким до способу, який заявляється, є спосіб легування і розкислення сталі (А с СРСР № 645969 - прототип). При цьому способі перед додаванням у метал легуючі добавки сумісно з алюмінієм нагрівають до температури 650-900°C, а потім охолоджують до температури 200-500°C. При нагріванні сумісно з легуючими добавками алюміній обволікає їх, займає більшу поверхню, а при охолодженні фіксується на цих добавках. Вони мають більш високу щільність ніж алюміній і у процесі додавання їх у розплавлену сталь утягують приєднаний до них алюміній у нижні шари розплаву.

Недоліком цього способу є недостатня щільність зв'язку алюмінію з легуючими добавками, внаслідок їх забрудненої пилом та адсорбованими газами поверхні. Це також протидіє змочуванню рідким алюмінієм поверхні добавок, що перешко-

(13) A

(11) 61519

(19) UA

дає затіканню алюмінію у щілини між ними і не дає змоги значно збільшити поверхню алюмінію перед контактом зі сталлю.

В основу винаходу покладено задачу створити такий спосіб обробки сталі та сплавів, який би забезпечував очищення їх поверхні від речовин і газів, що перешкоджають щільному контакту алюмінію і добавок, надійне і швидке зварювання рідкого алюмінію з поверхнею твердих легуючих і модифікуючих добавок та гарантував би як збільшення ступеню засвоєння елементів, які розкислюють, легують і модифікують метал, так і підвищення якості сталі і сплавів.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі обробки сталі та сплавів, який включає подання добавок і алюмінію у рідкі сталь або сплави, а також перед поданням у метал, що обробляється, попередні періоди нагрівання добавок і алюмінію до температур, вищих за температури плавлення алюмінію, та сумісного охолодження їх до температур твердого стану алюмінію, згідно з винаходом, в період нагрівання добавок і алюмінію по них пропускають електричний струм, величина якого не повинна виходити за граничні значення I_{\min} та I_{\max} , що визначаються залежностями

$$I_{\min} = 3,44 \cdot 10^3 \sqrt{\frac{\rho h^3}{\mu}}, \text{ А}$$

$$I_{\max} = 3,95 \cdot 10^3 \sqrt{\frac{\rho h^3}{\mu}}, \text{ А}$$

де $3,44 \cdot 10^3$ та $3,95 \cdot 10^3$ - чисельні коефіцієнти пропорційності, $\text{А}/\text{м}^{3/2}$,

ρ - середня щільність рідкого алюмінію у температурному діапазоні обробки струмом, $\text{кг}/\text{м}^3$,

h - висота об'єму рідкого алюмінію, в якому знаходяться добавки, м,

μ - середня відносна магнітна проникність об'єму рідкого алюмінію з добавками у температурному діапазоні обробки струмом.

Відомо, що питома електропровідність рідкого алюмінію значно відрізняється від цього показника інших добавок, які додають у сталь та сплави. Тому об'єм рідкого алюмінію з твердими добавками являє собою середовище з локальними неоднорідностями електропровідності, біля яких при пропусканні електричного струму викривляються його лінії. Внаслідок взаємодії електроструму з власним магнітним полем в зонах викривлення ліній електроструму виникають локальні магнітогідродинамічні течії, інтенсивність яких пропорційна квадрату величини електроструму (Гельфгат Ю М, Лиелау-сис О А, Щербинин Э В Жидкий металл под действием электромагнитных сил Рига, Зинатне, 1972 - 248 с). Ці течії безпосередньо прилягають до поверхні твердих добавок, що забезпечує розмиття цієї поверхні, активізує проникнення рідкого алюмінію у щілини між добавками та у пори і тріщини на їх поверхневому шарі. До того ж, біля поверхні добавок завдяки згущенню струмових ліній підвищується прямо пропорційно квадрату величини електроструму виділення тепла (закон Джоуля-Ленца). Завдяки цьому концентрованому тепловиділенню інтенсифікація взаємодії рідкого алюмінію з твердими добавками відбувається при менших температурах, ніж на вільній поверхні

(дзеркалі) розплав, що контактує з повітрям. Це сприяє зменшенню окислення киснем повітря рідкого алюмінію, яке, як відомо, зростає з підвищенням температури дзеркала розплав.

При пропусканні електричного струму з величиною I (А) по об'єму рідкого алюмінію з добавками глибиною h (м) в ньому виникає об'ємна електромагнітна сила, яка стискає цей об'єм. Величина електромагнітного тиску $P_{\text{ем}}$ на метал дорівнює

$$P_{\text{ем}} = 2\pi \cdot 10^{-7} \mu^2 I^2 / h^2, \text{ Па}$$

де π - число Піфагора (3,14),

μ - відносна магнітна проникність рідкого металевго об'єму.

(Фомин Н Н, Затуловський Л М Электрические печи и установки индукционного нагрева М - Металлургия - 1979 - 247 с.)

Протидіє цьому електромагнітному тиску гідростатичний $P_{\text{гс}}$ тиск у об'ємі рідкого алюмінію. Згідно з відомою формулою він дорівнює

$$P_{\text{гс}} = \rho g h, \text{ Па}$$

де ρ - щільність рідкого алюмінію, $\text{кг}/\text{м}^3$,

g - прискорення земного тяжіння ($9,8 \text{ м}/\text{с}^2$).

При перевищенні електромагнітним тиском гідростатичного, у об'ємі рідкого алюмінію починають виникати місцеві зниження його висоти (пережими), і як слідство, зниження у цих місцях гідростатичного тиску. Набуває розвитку так званий пінч-ефект. Це призводить до розбризкування рідкого алюмінію і оголення поверхні добавок, значного посилення їх окислення та забруднення алюмінію оксидами, порушує стабільність процесу пропускання електричного струму по алюмінію з добавками. З огляду на вказане, максимальна величина електричного струму, який пропускають по рідкому алюмінію з добавками, визначається рівністю $P_{\text{ем}} = P_{\text{гс}}$, звідки

$$I_{\max} = \sqrt{\frac{\rho g h^3}{2\pi \cdot 10^{-7} \mu}} = 3,95 \cdot 10^3 \sqrt{\frac{\rho h^3}{\mu}}, \text{ А}$$

Враховуючи, що як щільність рідкого алюмінію, так і відносна магнітна проникність його об'єму з добавками змінюються з температурою, то у визначену залежність I_{\max} потрібно підставляти середні значення ρ та μ у температурному діапазоні обробки струмом.

Відомо, що при нагріванні алюмінію та добавок, які використовуються при розкисненні, легуванні і модифікуванні сталі та сплавів, їх питома електропровідність зменшується. Пропускання електроструму по електропровідному середовищу призводить до його нагрівання, тому в процесі обробки неоднорідного по електропровідності, теплоємності і теплопровідності середовища, яким є рідкий алюміній з різноманітними за розмірами та особливостями електро- і теплових властивостей добавками, можливо відхилення величини електроструму в бік зниження від максимального значення.

Зменшення величини електроструму, що пропускають по алюмінієвому розплав з твердими добавками, на 15% веде до зменшення як інтенсивності магнітогідродинамічних течій біля добавок, так і тепловиділення біля них майже на 30%. Тому мінімально допустима величина електроструму

I_{\min} , який перепускається по розплаву, встановлена на рівні $0,87 I_{\max}$. Таке значення I_{\min} забезпечує інтенсивність обробки розплаву алюмінію з добавками на рівні не меншим за 75 % від максимальної з огляду на це

$$I_{\min} = 0,87 I_{\max} = 0,87 \sqrt{\frac{\rho h^3}{2\pi \cdot 10^{-7} \mu}} = 3,44 \cdot 10^3 \sqrt{\frac{\rho h^3}{\mu}}, \text{ А}$$

Експериментальна перевірка запропонованого способу проводилась при виплавці конструкційної легованої сталі марки 20Г1ФЛ. Сталь 20Г1ФЛ згідно діючого на даний час ГОСТ 971-88 повинна містити легуючі компоненти у кількості марганець 0,90-1,40 % мас, ванадій $0,06 \pm 0,12$ % мас, а також в якості модифікуючого компоненту - титан не більше за 0,03 % мас. Кінцеве розкиснення сталі досягається алюмінієм, який додається у ківш у кількості, що забезпечує залишковий вміст цього елементу у сталі в діапазоні 0,02-0,08 % мас. При цьому, згідно діючого стандарту, необхідно забезпечити значення механічних властивостей після термічної обробки (нормалізації) не нижчі за

а) межа текучості $\sigma_T = 314 \text{ МПа}$, б) часовий опір $\sigma_B = 510 \text{ МПа}$, в) відносне здовження $\delta = 17\%$, г) відносне звуження $\Psi = 25\%$, д) ударна в'язкість $KCU = 491 \text{ кДж/м}^2$

Сталь масою 1500 кг виплавляли активним способом в дуговій сталеплавильній печі типу ДСП-1,5 з кислою футеровкою. Потім випускали плавку у ківш та розливали з нього метал у ливарні форми.

Після плавлення шихти, окислювального періоду, присадки феросиліцію, сталь у печі розкислювали феромарганцем з розрахунком вводу у метал 0,6% мас марганцю. Випуск плавки у ківш виконували при температурі металу $1700 \pm 1730^\circ\text{C}$. Перед подачею алюмінію марки АВ91, легуючих добавок - марганцю марки ФМн78, ванадію марки ФВд35 та модифікуючі добавки - титана (феросплав марки ФТі65) в сталь, вони попередньо нагрівалися до температур $680-720^\circ\text{C}$ (вищих за температуру плавлення сплаву АВ 91- 620°C) та охолоджувалися до $20-500^\circ\text{C}$ (температур твердого стану алюмінієвого сплаву).

Нагрів алюмінію та його розплавлення виконувалися у індукційній каналній печі типу МДН-3. Потім у тигель печі вводили короб, дно і стінки якого, за винятком торцевих, були вкриті вогнестійкою не електропровідною обмазкою. Торцеві стінки були виготовлені з електропровідного матеріалу (графіту) для підводу електричного струму в об'єм коробу. В короб додавали 2,75 кг ($1,17 \text{ дм}^3$) рідкого алюмінієвого сплаву (вміст алюмінію 2,50 кг) та тверді добавки: а) легуючі ФМн78-7,5 кг, об'єм $1,04 \text{ дм}^3$, вміст марганцю 6,00 кг, ФВд35-3,30 кг, об'єм $0,40 \text{ дм}^3$, вміст ванадію 1,5 кг, б) модифікуючу ФТі65 - 0,40 кг, об'єм $0,08 \text{ дм}^3$, вміст титану 0,30 кг. Об'єм рідкого алюмінію з добавками склав 2,77 дм^3 . При цьому об'ємна частина твердих добавок становила 58%.

Тигель перегорожували коробом і завдяки цьому увесь електричний струм, що був індуктований у печі МДН-3, повністю пропускали по об'єму рідкого алюмінію з твердими добавками. Величину цього електроструму встановлювали за рахунок

регулювання величини електроструму у індукторі печі. Контроль величини електроструму в печі виконували за допомогою датчика струму у каналі печі (поясу Роговського) та вимірювального приладу. При цьому величина електроструму становила $3850 \pm 4250 \text{ А}$ і не виходила за граничні значення

$$I_{\min} = 3,44 \cdot 10^3 \sqrt{\frac{\rho h^3}{\mu}} = 3,44 \cdot 10^3 \sqrt{\frac{2350 \cdot 0,08^3}{1,00}} = 3773 \text{ А}$$

$$I_{\max} = 3,95 \cdot 10^3 \sqrt{\frac{\rho h^3}{\mu}} = 3,95 \cdot 10^3 \sqrt{\frac{2350 \cdot 0,08^3}{1,00}} = 4332 \text{ А}$$

де $\rho = 2350 \text{ кг/м}^3$ (середня щільність алюмінієвого розплаву у температурному діапазоні обробки струмом $680-720^\circ\text{C}$),

Таблиця

Порівнювальна характеристика відомого і запропонованого способів обробки сталі

Спосіб	Відомий		Запропонований	
Вміст розкислюючих, легуючих і модифікуючих елементів у сталі, %мас	У печі	На розливі	У печі	На розливі
Алюміній	-	0,04	-	0,08
Марганець	0,61	0,95	0,60	0,98
Ванадій	-	0,08	-	0,09
Титан	-	0,008	-	0,012
Ступінь засвоєння елементів, %				
Алюміній	24		47	
Марганець	85		94	
Ванадій	80		90	
Титан	40		60	
Механічні властивості сталі після нормалізації				
σ_B , МПа	525		585	
σ , МПа	320		365	
δ , %	17		26	
Ψ , %	25		53	
KCU, кДж/м ²	495		695	

$h = 0,08 \text{ м}$ (висота рідкого алюмінієвого сплаву в коробі),

$\mu = 1,00$ (середня відносна магнітна проникність об'єму рідкого алюмінієвого сплаву з твердими добавками неферромагнітних сплавів ФМн78, ФВд35, ФТі65 у температурному діапазоні обробки струмом $680-720^\circ\text{C}$).

Вплив електроструму на об'єм рідкого алюмінію з твердими легуючими та модифікуючими добавками здійснювали протягом 3 хвилин. Короб з алюмінієм і добавками потім витягали з тигля печі, охолоджували на повітрі до твердіння алюмінію, виймали зливки і розташовували його на дні ковша перед випуском плавки.

Аналогічно виплавляли та розливали сталь ті-

сі ж марки при попередньому перед подаванням у сталь нагріванні тих же кількостей тих же марок легуючих і модифікуючої добавок та алюмінію на дні ковша перед випуском у нього плавки з печі ДСП-1,5. Нагрівання виконували за допомогою газового пальника до температури 720°C протягом 20 хвилин, а сумісне їх охолодження до температури 450°C після цього на протязі 10 хвилин - повітрям на дні ковша при вимиканні пальника.

Хімічний аналіз сталі та визначення її механіч-

них властивостей виконували стандартними методами.

В наданій таблиці порівнюються дані для відомого і запропонованого способів. З таблиці випливає, що при обробці сталі по запропонованому способу, ступінь засвоєння алюмінію, легуючих і модифікуючих добавок підвищується, механічні властивості металу збільшуються, що означає підвищення якості сплаву.