

**ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ
ЖАРОСТІЙКИХ СТАЛЕЙ У МЕТАЛУРГІЙНОМУ ВИРОБНИЦТВІ**

В. Г. Міщенко, д.т.н., проф., О. В. Гречка, асп.

Запорізький національний університет

Виплавка корозійностійких сталей представляє одне з найскладніших завдань. Це пов'язано насамперед з труднощами одержання заданого складу зважаючи на кількість складових елементів сплаву, необхідністю отримання наднизького вмісту вуглецю для більшості цих сталей, а також з підвищених вимог, які пред'являються до їхньої якості.

Вимоги до дуже низького вмісту вуглецю в ферохромі обумовлено тим, що виплавляемі з них феритні сталі при наявності в них таких елементів, як вуглець, кисень та азот мають незадовільні технологічні та експлуатаційні властивості, що обмежують їх широке використання в хімічній та металургійній промисловості. Низькі значення технологічної пластичності значно ускладнюють отримання дроту в холодному стані та сприяють крихкості в процесі експлуатації при температурах вище 900°C є наслідком того, що вуглець та азот утворюють з хромом як мінімум три вельми стійких карбіди: кубічний Cr₂₃C₆, тригональний Cr₇C₃ та орторомбічний Cr₃C₂ та нітриди типу Cr₂N та CrN [1]. Окрім того вміст вуглецю та термічна обробка мають великий вплив на корозійну стійкість хромистих сталей. Після гартування хром та вуглець знаходяться у твердому розчині та сталь має високі показники корозійної стійкості. При відпуску після гартування виділяються карбіди хрому. При цьому 1% С може зв'язати біля 10–12% Cr. В феритних сплавах з 30% Cr і більше при високому вмісті вуглецю і відповідно більшій кількості нерозчинених карбідів окалиностійкість знижується з підвищенням вмісту вуглецю. В результаті утворення карбідів вміст хрому в твердому розчині зменшується та корозійна стійкість сплаву знижується. При високому вмісті вуглецю знижується точка плавлення та, таким чином, область використання сплавів з високим вмістом хрому обмежується, незважаючи на їх високу окалиностійкість [2], [3]. Для усунення шкідливого впливу вуглецю часто використовують легування елементами-стабілізаторами (Ti, Nb та іншими, що мають більшу, ніж хром, хімічну спорідненість до вуглецю та з'єднуються з вуглецем процесі повільного охолодження), все ж таки провідні виробники хромистих корозійностійких сталей обмежують вміст в них вуглецю до 0,1% [1].

Для задоволення вимог щодо хімічного складу хромвмісних сталей необхідно забезпечити виробництво як металевого хрому високої технічної чистоти, так і ферохрому, в якому вміст вуглецю змінюється в широких межах (8...0,01% С), а концентрація фосфору, сірки та домішок повинна бути мінімальна.

Основна кількість низьковуглецевого ферохрому виробляється різноманітними видами силікотермічного способу, тобто шляхом відновлення феросилікохрому оксидів хромової руди в присутності флюсу – кальцію, для

Строительство, материаловедение, машиностроение

зниження активності утворюваного кремнезему та підвищення активності Cr_2O_3 . Високохромисті сталі виробляють головним чином в електричних дугових печах з основною футеровкою та індукційних печах [4], [5].

Таблиця 1

Хімічний склад основних сплавів системи Fe–Cr–Al

Виробник	Вміст легувальних елементів в мас. %								
	Cr	Al	C	Si	Mn	S	P	Інше	Fe
Aluchrom 4 18 YHf (ThyssenKrupp VDM)	17..19	3,5..5,0	<0,08	<0,6	<0,5	<0,03	<0,4	Ni<0,5 Y<0,15 Zr<0,15 Hf<0,15 Cu<0,5	Ост.
Kanthal A1 (Kanthal)	20,5..23,5	5,8	<0,08	<0,7	<0,4				Ост.
Росія X27Ю5Т (МЗ «Електросталь», Росія)	26..28	5,0..5,8	<0,05	<0,6	<0,3	<0,015	<0,02	<0,6Ni 0,2..0,5Ti 0,1Ca 0,1Ce	Ост.
Resistohm 145 (Aperam Alloys Rescal, Франція)	23	6	<0,02						Ост.

Метал, вироблений в дугових печах, за якістю поступається металу індукційної виплавки. Попадання в задані межі при виплавці в дугових печах представляє досить складне завдання у результаті необхідності присадки великої кількості ферохрому та хромвмісної лігатури під час рафінування металу, а також наявності великої кількості алюмінію в рідкому металі. Перший фактор призводить до збільшення вмісту вуглецю, внаслідок науглецьовування під час розплавлення лігатури і ферохрому, а другий призводить до збільшення вмісту кремнію, так як алюміній відновлює кремній з кремнезему шлаку. Відповідно до цього вміст вуглецю і кремнію в готовому металі, як правило, знаходиться на верхній межі (так, в сплаві X23Ю5 – 0,05% С міститься в 75% плавках, а 0,40 – 0,60% Si в 87% плавках), що може бути причиною незадовільних технологічних властивостей в гарячому і особливо в холодному переділах.

Індукційні печі, внаслідок відсутності науглецьовуючого фактору (електроди), менших угарів елементів, являє собою певну перевагу. У зв'язку з різким збільшенням випуску Fe–Cr–Al сплавів використання відходів за прямим призначенням стало представляти істотний інтерес як з економічної точки зору, так і з точки зору потреби дефіцитних шихтових матеріалів. Введення алюмінію в рідкий метал під час розплавлення (у даному випадку з

відходами) призводить до збільшення вмісту кремнію через відновлення його з шлаку і забрудненню металу глиноземом. Це є небажаним для Fe–Cr–Al сплавів, особливо для сплаву Х27Ю5Т, оскільки призводить до зниження технологічної пластичності сплаву. Відходи краще вводити в кінці періоду розплавлення, що обмежує час присутності алюмінію в металі. Крім того, як шлакоутворювані доцільно використовувати матеріали з мінімальним вмістом кремнезему. Наявність алюмінію в період розплавлення металу призводить до дещо більшого його угару [6]. Тому при виробництві сталі в електричних дугових печах для отримання низьких значень вмісту вуглецю використовують аргоно-кисневе зневугльцювання, що дозволяє отримати більш гомогенну структуру сталі та знизити вміст вуглецю без помітних втрат хрому. Ще однією проблемою при виробництві сплавів є те, що у процесі розливання збільшується газонасиченість і забрудненість металу неметалевими включеннями, негативний вплив яких на властивості сплавів опору встановлено досить чітко. Наявність у сплавах високоактивних елементів вимагає розливання із застосуванням захисних пристроїв і засобів. Найефективнішим є метод ізоляції металу від атмосфери за допомогою спеціальних вакуум-аргонних камер. При розливання зверху використовується також подача аргону у виливниці. При сифонному способі організувати захист металу важче.

Специфіка гарячого переділу виробництва сплавів на Fe–Cr–Al основі пов'язана з їх механічними і фізичними властивостями. Низькі пластичні характеристики в холодному стані, особливо в литому стані або у великих поковках, викликають необхідність ретельного відпрацювання і строгого дотримання технології виплавки та гарячої деформації.

Відносно високі значення температурного коефіцієнту лінійного розширення ($15,3 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) і схильність до утворення тріщин при охолодженні (у тому числі і при охолодженні виливка) пояснюють чутливість цих сплавів до швидкостей нагріву та охолодження. В випадку високохромистих сталей феритного класу або мартенситно-феритного (з переважною кількістю фериту) особливо строго повинні дотримуватись температурні режими нагріву та гарячої деформації. При цьому при температурного нагріву не повинна перевищувати $950\text{--}1000^\circ\text{C}$ з тим, щоб деформація закінчувалась не вище $700\text{--}720^\circ\text{C}$. При відхиленнях від цього режиму можливий ріст зерна, зниження пластичних властивостей та ударної в'язкості сталі при кімнатній температурі внаслідок утворення σ -фази [6], [7].

Виливки надходять на ковку в гарячому стані, у футерованих контейнерах з температурою поверхні не нижче 600°C . Охолодження виливків слід уникати

через можливість утворення тріщин в литій структурі, тому їх слід деформувати після підігріву до 1200°C з можливо більшим ступенем укову (не менше 35%), щоб запобігти утворенню тріщин в кованих заготовках при охолодженні і наступному підігріві їх перед прокатуванням.

Виробники корозійностійких сталей переходять на використання машин неприливної лиття заготовок (МНЛЗ) малого перерізу та планетарної сортової прокатки з високим ступенем обтиснення за один прохід. Це дозволяє скоротити технологічний цикл, знизити енерговитрати та збільшити вихід гідного за рахунок зменшення головної і донної обрізки. Оптимальне поєднання роботи МНЛЗ з роботою прокатних станів дає змогу отримати оптимальні геометричні переріз продукції, а також її високу якість – підвищення фізичної однорідності виливка, зниження рівня ліквації і т.п.

Висновки

Зниження вмісту вуглецю при виплавці грає значну роль в отриманні заданих технологічних та експлуатаційних властивостей сплавів. Виробництво сталі в дугових печах з наступним аргано-кисневим зневугледцюванням або в індукційних печах забезпечує отримання сталі з мінімально необхідними вмістом вуглецю та концентрацією шкідливих домішок. Розливка сталі за допомогою МНЛЗ та планетарне прокатування забезпечують високу якість продукції.

Список використаних джерел

1. Коломбье Л. Нержавеющие и жаропрочные стали : Коломбье Л., Гохман И. ; пер. с фр. А. М. Ладогина. – М. : Metallurgizdat, 1958. – 479 с.
2. Семенова И. В. Коррозия и защита от коррозии : Семенова И. В., Флорианович Г. М., Хорошилов А. В. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 336 с.
3. Гудремон Э. Специальные стали : Э. Гудремон ; пер. с нем. под ред. А. С. Займовского, М. Л. Бернштейна, В. С. Меськина. – М. : Metallurgia, 1966. – 1275 с.
4. Гасик М. И. Теория и технология электрометаллургии ферросплавов : Учебник для вузов / Гасик М. И., Лякишев Н. П. – М. : СП Интернет инжиниринг, 1999. – 764 с
5. Рысс М. А. Производство ферросплавов – Рысс М. А. – М. : Metallurgia, 1985. – 344 с.
6. Сплавы для нагревателей / [Жуков Л. Л., Племянникова И. М., Миронова М. Н. и др.]. – М. : Metallurgia, 1985. – 144 с.
7. Ланская К. А. Высокохромистые жаропрочные стали / Ланская К. А. – М. : Metallurgia, 1976. – 216 с.