

Sanchez J.V. *Structural energies and phase stability in NiCr alloys // Bull. Alloy Phase Diagr.* 1989. 10. N 4. P.319-329. 7. W.Prokhorenko, N.Turczenco, E.Pleszakow, A.Bylica, S.Prokhorenko, W.Czajka *Interior pressure and repeated shaping of a structure after laser melting away // Journal Solidification of Metals and Alloys.* 1998. N 36. P.175-181.

УДК 620.186:621.785.539

ВПЛИВ МІКРОЛЕГУВАННЯ КАЛЬЦІЄМ НА ТЕХНОЛОГІЧНІ І ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ СТАЛІ 25Ю10С

© Ростислав Яцюк, Тетяна Мещеракова, Олег Кузін, Сергій Беспалов, 1999
ДУ "Львівська політехніка"

Досліджено вплив кальцію на фізико-хімічні властивості сталі, легованої алюмінієм. Введення кальцію значно зменшує поверхневий натяг і в'язкість розплавів за рахунок взаємодії його із домішками. При цьому спостерігається подрібнення зерна і усунення зони стовпчастих кристалів у виливках, експлуатаційна стійкість їх при підвищених температурах зростає до рівня аналогічних виробів из стандартних марок високолегованих хромонікелевих сталей.

Окалиноутворення є однією із найбільш важливих характеристик сталей, які експлуатуються і піддаються технологічним обробкам при високих температурах. Зростання жаростійкості відбувається при легуванні сталей елементами, які мають високу спорідненість до кисню і формують на поверхні металу стійкі оксидні плівки, що захищають метал від окислення. До таких елементів належать хром і нікель, які роблять сталь дорожчою і в той же час не забезпечують достатньої жаростійкості при температурах 800...1100 °С. Легування алюмінієм підвищує жаростійкість сталей, але значно знижує їх опір крихкому руйнуванню і ливарні властивості. Це негативно впливає на працездатність деталей термічного обладнання, які працюють в умовах підвищених температур і виготовляються методом литва. Тому в роботі вивчали вплив мікролегування кальцієм на ливарні і експлуатаційні властивості, а також структуру литої сталі 25Ю10С.

Сталь виплавляли в індукційній печі. Мікролегування кальцієм проводили шляхом введення сілікокальцію СК-30 за допомогою ампул перед розливанням сталі. Вивчали кінематичну в'язкість методом крутильних коливань при охолодженні металічного розплаву від температури 1650 °С до моменту кристалізації [1], а також густину і поверхневий натяг методом максимального тиску в газовому пухирі [2]. Проводили також дослідження мікроструктури на оптичному і електронному мікроскопах. Визначали ударну в'язкість, аналізували механізм руйнування сталі.

Дослідження поверхневого натягу показали, що мікролегування кальцієм змінює стан атомів на поверхні рідини і покращує здатність розплаву заповнювати форму. Мінімальне значення поверхневого натягу спостерігається при введенні кальцію в кількості 0,3 % від маси шихти (рис.1). значення поверхневого натягу при цьому знижується на 30 % (рис.2). Кінематична в'язкість сталі при введенні кальцію

зменшується, що пов'язано із зміною об'ємної частки суспензованих частинок у розплаві (рис.3).

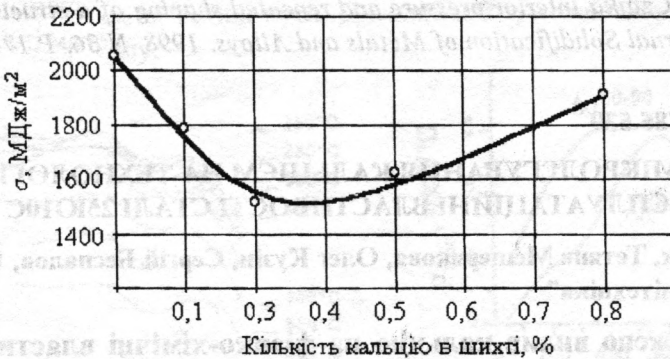


Рис.1. Вплив кальцію на поверхневий натяг залізоалюмінієвої сталі при температурі 1530 °С.

Мікролегування кальцієм суттєво впливає на структуру злитка сталі. Під час затверднення сталі без мікродобавок на поздовжньому розрізі злитка виділяється дві зони: в зовнішній частині – зона стовпчастих кристалів, а посередині злитка – вузька зона розорієнтованих кристалів. Схильність до утворення великозернистої орієнтованої структури є причиною виникнення міжкристалітних тріщин у виливках. При введенні в сталь кальцію відбувається подрібнення зерен і зменшення зони направленої кристалізації. Найбільші зміни структури, зокрема зменшення розмірів зерен у 4-5 разів, а також усунення зони стовпчастих кристалів виявляється при введенні кальцію в кількості 0,3%.

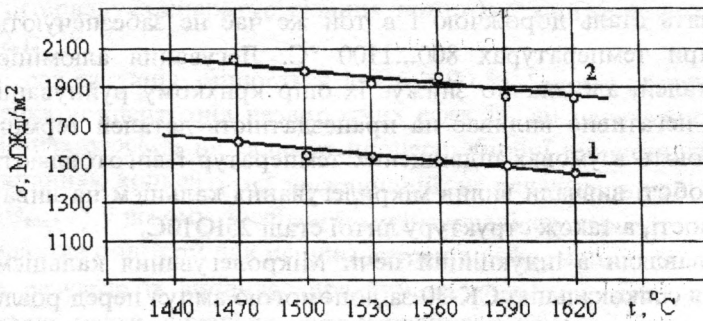


Рис.2. Зміна поверхневого натягу залежно від температури для сталей:
1 – залізоалюмінієвої сталі, модифікованої 0,3 % кальцієм;
2 – тієї ж сталі без кальцію.

Така зміна структури в сплаві з кальцієм пов'язана із його впливом на поверхневий натяг розплаву, міжфазну енергію на границі розподілу рідка-тверда фази і механізм затверднення. Мікрооб'єми рідкої фази із впорядкованим розміщенням атомів перетворюються під час кристалізації в зародки твердої фази. Здатними до зростання є зародки, що мають розмір більший від критичного або однаковий $\Gamma_{\text{кр}}$, оскільки в цьому разі розвиток зародків супроводжується зменшенням вільної енергії.

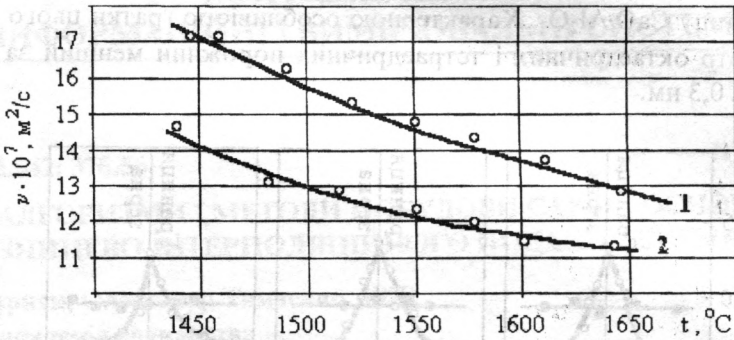


Рис.3. Температурні залежності кінематичної в'язкості рідких сталей:
1 – залізоалюмінієва сталь;
2 – залізоалюмінієва сталь + 0,3% кальцію.

Розмір критичного зародка визначається із співвідношення [3]

$$r_{кр} = \frac{2\sigma}{\Delta f_v},$$

де σ – поверхневий натяг рідкого металу; Δf_v – різниця вільних енергій рідкого і твердого металів.

Тобто критичний радіус зародка зменшується пропорційно до зміни поверхневого натягу металу під час введення кальцію. Внаслідок цього зростає кількість центрів кристалізації в сплаві, що сприяє подрібненню зерна в твердому стані. Мікролегування кальцієм підвищує густину сталі, що пов'язано із меншою газонасиченістю і міждендритною пористістю металу.

Кальцій не змінює фазового складу сталі в твердому стані, але впливає на форму, розмір зерен фериту, структурно-енергетичний стан внутрішніх поверхонь розподілу. При цьому спостерігається утворення рівноосних зерен легованого фериту з нерівномірною травимістю границь, що свідчить про зниження рівня зернограничної енергії мікролегованої сталі.

Дослідження мікротвердості шліфів показало, що в сталі без добавок мікротвердість зростає від центру зерна до його периферії від 2,60 до 3,25 ГПа. Під час введення кальцію мікротвердість на всьому перерізі зерна, включаючи і його границю із сусідніми зернами, стає практично постійною і становить 2,80 ГПа (рис.4). Мікрорентгеноспектральний аналіз показав, що в сталі з кальцієм розподіл алюмінію є рівномірний. Тобто введення кальцію усуває макро- і мікронеоднорідність сталі, сприяє підвищенню гомогенності твердого розчину як в межах злитка, так і в межах зерна.

Зміна структури під час введення кальцію забезпечує підвищення механічних властивостей сталі і, зокрема, ударної в'язкості. Випробування на ударний згин при температурі 900 °C показали, що під час мікролегування сталі ударна в'язкість зростає з 0,4 до 0,6 МДж/м².

Введення кальцію зменшує швидкість утворення окалини при температурах 850...1050 °C, що пов'язано із утворенням на поверхні окисної плівки, в склад якої

входить шпінель типу $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$. Характерною особливістю ґратки цього з'єднання є те, що діаметр октаедричних і тетраедричних порожнин менший за діаметр молекул кисню на 0,3 нм.

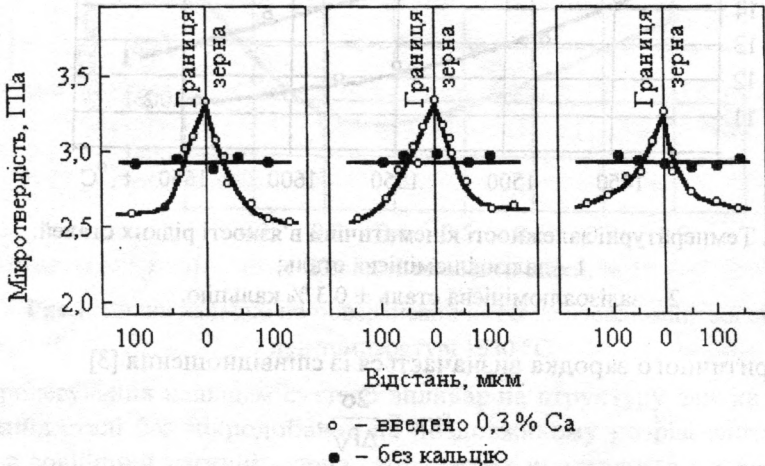


Рис.4. Зміна мікротвердості сталі 25Ю10С по перерізу зерна.

Під час випробовувань на термічну втому, завдяки різним коефіцієнтам термічного розширення металу і окалини, багатocyкловому нагріванню і охолодженню, створюються передумови для прискореного окислення і відшарування окалини. Під впливом термоциклічних напружень відбувається руйнування поверхневого шару окалини, внаслідок якого проходить розвиток тріщин. Наявність кальцію сприяє утворенню під окалиною тонкої окисної плівки, яка захищає сталь від подальшого катастрофічного окислення. У результаті термічна стійкість сталі 25Ю10С під час мікролегування кальцієм є рівноцінною термічній стійкості високолегованих сталей марок 40Х24Н12СЛ і 12Х23Н18Л.

Висновки. 1. Мікролегування кальцієм є ефективним методом підвищення ливарних властивостей алюмінієвих сталей. Під час введення кальцію зменшують поверхневий натяг (на 30 %), в'язкість (на 20 %), зростає рідкотекучість сталі. Кальцій спричиняє подрібнення зерна в 3-4 рази, усунення зони стовпчастості кристалів, підвищує ударну в'язкість сталі на 50 %.

2. На основі проведених досліджень розроблена сталь, легована алюмінієм, яка призначена для виготовлення деталей пічного обладнання, що працюють при підвищених температурах. Під час мікролегування кальцієм зростає експлуатаційна стійкість виливок із сталі 25Ю10С до рівня аналогічних виробів із стандартних марок високолегованих хромонікелевих сталей.

1. Швидковский Е.Г. Некоторые вопросы вязкости расплавленных металлов. 1955. 2. Филиппов С.И. Физико-химические методы исследования металлургических процессов. М., 1968. 3. Крещановский Н.С., Сидоренко М.Ф. Модифицированные стали. М., 1970.