

ОДЕРЖАННЯ ВИЛИВКІВ З КЕРОВАНИМ СПІВВІДНОШЕННЯМ СТРУКТУРНИХ СКЛАДОВИХ

Кондратюк С. Є., Стоянова О. М.

(Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, м. Київ)

The possibility to control of ratio of the structural constituents of alloys using two - stages crystallization under isothermal treatment and high rate cooling has been proved.

Досліджено вплив температурно-часових умов на процес кристалізації і структуроутворення виливків на прикладі сплаву Al – 4,5 % Cu. Показано, що в результаті ізотермічної обробки в інтервалі температур твердо-рідкого стану і наступного інтенсивного охолодження ($V_{ох} = 500 - 600 \text{ }^{\circ}\text{C} / \text{хв}$) реалізується процес двостадійної кристалізації з утворенням різнозернистої структури, яка складається з великих первинних зерен і дрібних вторинних зерен.

Відмінності умов формування великих зерен на першій стадії кристалізації і дрібних вторинних при наступному швидкісному тепловідборі зумовлюють не тільки відмінності в їх дисперсності, але й в хімічному складі. Останнє визначає високу температуру плавлення первинних зерен, значно вищу за температуру плавлення вторинних.

Встановлено, що реалізація такої двостадійної кристалізації з утворенням гетерогенної структури відкриває можливість під час наступної теплової обробки при температурах вище температури солідусу регулювати в певних межах співвідношення рідкої і твердої фаз за рахунок розплавлення вторинних зерен і периферійних ділянок первинних. Кількість дисперсних зерен може бути змінено від 10 % до 65 % залежно від температурно-часових умов теплової обробки. Відповідно змінюються механічні характеристики цих структурних складових. Так, мікротвердість дисперсних зерен у структурі сплаву після теплової обробки підвищується на 40 %, що пов'язано з підвищенням в них міді та зі збільшенням дисперсності і кількості вторинних зерен.

Це відкриває перспективу створення технологій одержання природних литих композитів з регульованою кількістю і дисперсністю різних структурних складових і прогнозованим комплексом фізико-механічних властивостей.

ПІДВИЩЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОКРАЩУВАЛЬНИХ СТАЛЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ГРАНИЦЬ ЗЕРЕН

Кузін О. А., Мещерякова Т. М.¹, Кузін М. О.²

(Національний університет «Львівська політехніка», 1 - Львівська філія ДПТУ,
2 - ДТГО «Львівська залізниця»)

Using computer simulations of grain boundaries are defined quantitative parameters of the microstructure, which increases the resistance intercrystallite chipping heat-hardenable steels.

Застосування технологічних прийомів, що базуються на управлінні структурно-енергетичним станом внутрішніх поверхонь розділу, є найбільш перспективними способами підвищення властивостей сталей, але вимагає врахування багаторівневого характеру їх структури, наявності в ній різноякісних елементів. Зокрема, це стосується використання міжкристалітної внутрішньої адсорбції елементів, мікролегування та термічної обробки для формування заданих термодинамічних і кінетичних властивостей границь зерен.

Фізичні і квантово-хімічні моделі, які використовуються для оцінки впливу внутрішніх поверхонь розділу сталей на їх властивості, в силу неможливості визначити вплив різ-

ноякісних характеристик можуть давати результати тільки в окремих випадках, в яких вони є оптимальним методологічним засобом. В зв'язку з цим існує необхідність розробки і застосування системних засобів, придатних для вирішення завдань керування властивостями внутрішніх поверхонь розділу.

Для аналізу впливу структурно-енергетичного стану границь зерен на схильність до інтеркристалітного руйнування покращувальних сталей використали метод інваріантного моделювання, що ґрунтується на теорії гіперкомплексних динамічних систем.

Дослідження сталей на основі системного підходу вимагає виділення в їх структурі системних властивостей і закономірностей, які були вивчені фізичними методами дослідження. Розроблені моделі структури сталей, які при визначенні критичних значень керівних параметрів структури заміняли реальні об'єкти досліджень. Враховуючи, що механічні навантаження приводять до еволюції структури на рівні пружної деформації, утворення дефектів трансляційного типу, локальних змін, що відповідають дефектам ротаційного типу, локального накопичення пошкоджуваності і утворення тріщин, в якості структурних параметрів, які мають вирішальний вплив на міжзеренне руйнування сталей, вибирали розмір зерна, різнозернистість, структурно-енергетичний стан границь зерен і потрійних зеренних стиків.

Після іонно-плазмового травлення сталей, яке дозволяє виявляти границі зерен з високою роздільною здатністю, визначали їх кількісні характеристики. Для наповнення системних інваріант були взяті наступні параметри структури – площа навколо зерен різних розмірних груп, площа границь з більшою глибиною рівчаків травлення і потрійних зеренних стиків.

Розроблені інваріантні моделі піддавали абстрактно-логічним дослідженням, при яких процедури вимірювань перетворювали в розрахункові. При оцінці впливу структурних параметрів на схильність до інтеркристалітного руйнування характеристики, знайдені розрахунковим шляхом, перевіряли в ході експериментальних досліджень.

Вивчали вплив кількісних характеристик мікроструктури, а також стану внутрішніх поверхонь розділу на опір крихкому руйнуванню сталей 40X, 40XC, 60C2, 60C2XA. Із прокату виготовляли заготовки, які відпалювали і гартували (після нагрівання в соляній ванні) від температур 870...1050°C. Далі проводили відпуск при температурі 600°C. Частину зразків відпускали повторно при температурі 520°C з витримкою дві години і подальшим охолодженням з піччю.

Дослідження мікроструктури показали, що в сталі 40X зі збільшенням температури гартування середній діаметр зерен зростає від 21,5 до 102 мкм. В сталі 40XC, що загартована від температури 870°C, середній діаметр зерна складає 24 мкм, а після гартування від 1050°C спостерігається різнозернистість, частка зерен діаметром 36 мкм складає 12%, а зерен діаметром 168 мкм - 3%. Кількість потрійних зеренних стиків, що приходяться на одне зерно сталі загартованої від 870°C, знаходяться в межах 2,3...2,7. Після гартування від температури 1050°C кількість потрійних стиків, що відносяться до зерен розміром 36 мкм, складає 2,1, а до зерен розміром 168 мкм - 3,3. Після окрихчуючого відпуску після всіх температур гартування зростає частка границь зерен, що мають більшу здатність до травлення. В сталі 60C2 загартованої від температури 970°C при середньому розмірі зерна 70 мкм різнозернистість відсутня, а в сталі 60C2XA вона спостерігається.

Отримані дані про величину зерна, різнозернистість і густину потрійних зеренних стиків доповнювали аналізом структурно-енергетичного стану внутрішніх поверхонь розділу, який оцінювали за глибиною рівчаків травлення. Для всіх досліджуваних сталей в окрихченому стані криві розподілу границь зерен за глибиною рівчаків травлення зміщені в сторону більших значень, тобто середня статистична вага глибини рівчаків в окрихченому стані є більшою чим у в'язкому. При збільшенні температури гартування спостеріга-

ється зростання неоднорідності розподілу границь зерен, особливо в окрихченому стані, що підтверджується збільшенням частки границь з глибиною рівчаків понад 0,3 мкм.

Зміна структури приводить до зміни опору крихкому руйнуванню сталей, схильності до інтеркристалітного сколу при випробовуванні зразків на ударний згин в інтервалі температур від +100 до -196°C. В сталі 40Х збільшення температури гартування приводить до зміщення порогу холодноламкості в сторону вищих температур на 35°C. В сталях 40ХС, 60С2 та 60С2ХА після окрихчення криві холодноламкості зсуваються в сторону високих температур. Електронно-мікроскопічний аналіз будови зламів показав, що в крихкій зоні руйнування досліджувальних сталей спостерігаються ділянки відколу, міжзеренне і мікрів'язке руйнування.

Для визначення впливу різноякісних характеристик структури на міжзеренне руйнування сталей будували залежність частки міжзеренного руйнування (МЗР) від матричного параметра моделі структури. Дослідження показали, що зі зменшенням матричного параметра частка МЗР зростає для всіх сталей: сталь, яка легована одним елементом (40Х), є менш чутливою до впливу структури на МЗР ніж комплекснолегована сталь 40ХС. В сталі 60С2ХА проявляється висока чутливість МЗР від структурних характеристик. Так при наявності фосфору до 0,015% кількість МЗР є більшою, ніж в сталях, легованих тільки одним елементом, що містять фосфору до 0,025%. Це свідчить про значну чутливість сталі до відпускнуї крихкості. Для сталі 60С2ХА вміст фосфору повинен складати менше 0,015%, а температура гартування не повинна перевищувати 870°C. Аналіз отриманих результатів показує, що вплив структурних факторів на МЗР залежить від системи легування. В сталі легованій тільки карбідотвірними елементами проявляється менша чутливість МЗР в залежності від структурних параметрів. Комплекснолеговані сталі є більш чутливими до впливу структури на МЗР, а зі збільшенням вмісту вуглецю вони значну роль відіграє присутність домішок.

На основі проведених досліджень показані шляхи підвищення опору інтеркристалітному руйнуванню: зменшення різнозернистості, частки границь зерен з вищим рівнем енергії, що досягається для сталей 40Х, 40ХС, 60С2ХА за температури гартування 870°C, а для сталі 60С2 - 970°C і часу витримки 30 хв.