

ДОСЛІДЖЕННЯ ЖАРОСТІЙКОСТІ БАГАТОКОМПОНЕНТНОГО НІКЕЛЕВОГО СПЛАВУ, МОДИФІКОВАНОГО НАНОДИСПЕРСНИМИ КОМПОЗИЦІЯМИ

Вступ

Проблема зміцнення багатокомпонентних кольорових сплавів особливо важлива для відповідальних виробів машинобудування та авіаційної техніки [1]. Вироби мають володіти комплексом механічних характеристик, високою питомою міцністю, надійністю та експлуатаційними властивостями. В авіації і турбобудуванні застосовують багатокомпонентні нікелеві сплави, які мають структурну термостабільність, високу жароміцність і жаростійкість, тривалу міцність. Ефективним способом диспергування структури на макро- і макрорівнях є модифікування розплавів.

Постановка задачі

Проведення порівняння дослідження схильності до високотемпературної корозії жароміцного нікелевого сплаву для лопаток газотурбінного двигуна у вихідному стані та після модифікування нанодисперсними композиціями.

Матеріал та методика

Об'єктом дослідження є багатокомпонентний нікелевий сплав ХН60ВТ. Модифікатором обрано нанодисперсну композицію на основі карбонітриду титану $Ti(C, N)$, який отримано плазмохімічним синтезом. Жаростійкість оцінювали зі схильності до високотемпературної корозії до температури $1000\text{ }^{\circ}C$ в окислювальному середовищі. Параметрами оцінювання були глибина корозії та зміна маси зразків.

Аналіз отриманих результатів

В останнє десятиліття інтерес до цієї проблеми істотно зріс. Було встановлено [1–3], що зменшення розміру кристалів нижче певної порогової величини може радикально змінювати властивості металів і сплавів. Одним з актуальних науково-технічних напрямків отримання високоміцних сплавів є модифікування тугоплавкими композиціями. Високий рівень жаростійкості є однією з важливих вимог, що висуваються до сплавів для лопаток авіаційних двигунів. Межі витривалості лопаток з корозійними пошкодженнями можуть знижуватися в кілька разів, і це зниження посилюється зі збільшенням часу випробувань. На межу витривалості лопаток істотно впливає і глибина корозійного пошкодження [2]. Підвищення робочих температур лопаток двигунів зробило актуальним завдання забезпечення високого опору газової корозії. Високий рівень жаростійкості є одним із важливих вимог, що пред'являються до сплавів для лопаток газотурбінних двигунів [4–6].

Матеріалом дослідження обраний ливарний жароміцний нікелевий сплав ХН60ВТ системи Ni-Cr. Модифікатором обрано нанодисперсна композиція – карбонітрид титану ($Ti(C, N)$) отриманий плазмохімічним синтезом. Гранулометричний склад порошків складав 50–100 нм. Проведено дослідні плавки сплаву ХН60ВТ зі введенням модифікатора у розплав. Вивчення структурних змін у сплаві до і після наномодифікування проводили методом металографічного аналізу. Жаростійкість оцінювали стійкістю до високотемпературної корозії зі втрати маси зразків та глибини корозії металографічним методом.

З метою стабілізації структури і підвищення корозійної стійкості вихідний нікелевий сплав модифікували нанодисперсними композиціями на основі карбонітриду титану. Механізм дії тугоплавких модифікаторів в нікелевому розплаві полягає у зародженні численних первинних кристалів матричної фази на поверхнях введених наночастинок. Наномодифікатор на основі $Ti(C, N)$ диспергує дендрити матричної γ - фази.

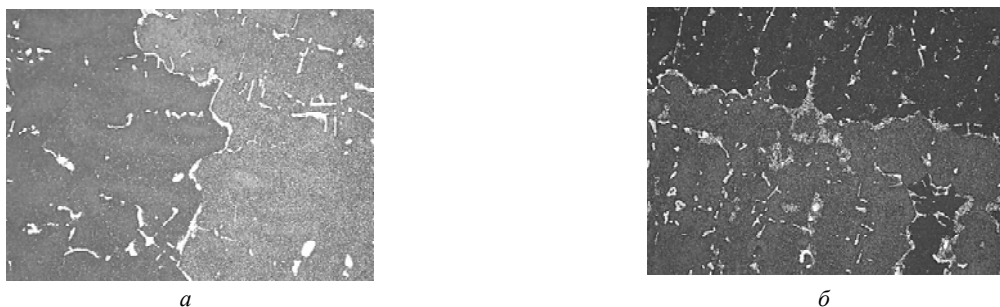


Рис. 1. Мікроструктура нікелевого сплаву до (а) та після (б) модифікування, $\times 200$

Дослідження мікроструктури нікелевого сплаву до модифікування показало неоднорідність по перетину відливок. Вихідні зразки мали крупнокристалічну структуру з розміром зерен 5...6 мм. Зразки з модифікованого сплаву характеризувалися однорідною, дрібнозернистою структурою з розміром зерен до 1 мм (рис. 1). Отже, внаслідок модифікування середній розмір зерна зменшився в середньому у 5 разів.

В немодифікованих зразках присутні великі включення по межах зерен. У модифікованих зразках включення дисперсніше і розташовуються як по межах, так і в середині зерен, що сприяє зміцненню сплаву.

Випробування на жаростійкість є одним з важливих видів досліджень при розробці ливарних нікелевих сплавів для лопаток турбін. Безперервне підвищення температури газу перед турбіною висуває все більш високі вимоги до проблеми забезпечення необхідного рівня жаростійкості цього класу матеріалів. Поверхнєве окислення лопаток турбін виробляє, внаслідок вибіркості процесу окислення по межах зерен – до значного погіршення якості поверхні, що викликає зниження механічних та експлуатаційних властивостей виробів.

Жароміцні сплави на нікелевій основі в окислювальному середовищі мають високу стійкість до високотемпературної газової корозії. Однак потрапляння в тракт двигуна пилу з різними солями виробляє до значного зростання швидкості окиснення. Ці явища належать до сульфідної і високошвидкісної сольової корозії [7, 8]. Оскільки в газотурбінних двигунах застосовують корозійностійкі матеріали, для деталей двигуна актуальна проблема високотемпературної газової корозії.

Жаростійкість – опір газовій корозії, визначається швидкістю окислення і привесом матеріалу на одиницю поверхні за певний проміжок часу при температурі випробування. При температурах 1000 °С і вище утворюються продукти згоряння палива – оксиди. Жаростійкість визначається втратою маси або масою матеріалу зразків зі знятою окалиною.

Визначення жаростійкості проведено при температурі 1000 °С при тривалості термоекспозиції від 2,5 до 20 годин. Час кожної термоекспозиції становив 2,5 години. Результати випробування оцінювали гравіметричним методом щодо зміни маси зразків і металографічним методом вимірювання глибини корозії. З метою підвищення схильності до окислення і перед нагріванням зразки піддавали електролітичному травленню. Після 20 годин маса зразків зменшилася в середньому на 6%; виявлені ознаки корозійного пошкодження вихідного сплаву. У модифікованому зразку втрата маси не перевищувала 2%, корозійних пошкоджень не спостерігалось.

Металографічна оцінка інтенсивності високотемпературного окислення і корозійного ураження металу дозволила встановити, що немодифіковані зразки були найбільш інтенсивно пошкоджені (до ~ 30...40 мкм) з утворенням множинних розгалужень і оксидів алюмінію. У модифікованих зразках внутрішнього окислення з утворенням оксидів не виявлено, глибина пошкодження складала до 15–20 мкм.

Запропоновано механізм дії нанодисперсного модифікатора у розплаві, який полягає в утворенні багатьох центрів кристалізації на частках модифікатора. В результаті утворюється дрібнозерниста структура модифікованого сплаву з дисперсними включеннями зміцнюючих фаз на межах та в центрі зерен.

Отже, внаслідок модифікування сплаву ХН60ВТ нанодисперсними композиціями Ti(C, N) досягнуто підвищення жаростійкості.

Висновки

1. З метою стабілізації структури і підвищення жаростійкості багатокомпонентного нікелевого сплаву ХН60ВТ запропоновано модифікування розплаву тугоплавкими наноконпозиціями на основі Ti (C, N) з розміром часток 50–100 нм.

2. Досягнуто підвищення стійкості до високотемпературної корозії модифікованого сплаву. Випробування на жароміцність при температурі 1000 °С показало зменшення глибини корозії на 20–25 % в модифікованому сплаві порівняно з вихідним сплавом.

3. Запропоновано механізм дії наномодифікатора в розплаві, що полягає у зародженні дисперсних центрів кристалізації матричної фази на нанодисперсних частинках тугоплавкого модифікатора та утворенні дисперсних фаз, які обумовлюють зміцнювальний ефект сплаву.

Список літератури

1. Авіаційно-космічні матеріали і технології / В. О. Богуслав, О. Я. Качан, Н. Є. Калініна, В. Ф. Мозговий, В. Т. Калінін. – Запоріжжя : Мотор Січ. – 2009. – 385 с.
2. Кузнецов Н. Д. Перспективні газотурбінні двигуни і проблема корозії / Н. Д. Кузнецов // Проблеми міцності. – 1993. – № 8. – С. 78–86.
3. Каблов Е. Н. Литые лопатки газотурбинных двигателей / Е. Н. Каблов. – М. : МИСиС, 2001. – 631 с.
4. Калініна Н. Є. Технологічні особливості наномодифікування ливарних жароміцних нікелевих сплавів / Н. Є. Калініна, А. Є. Калиновська, В. Т. Калінін // Компресорне та енергетичне машинобудування. – 2013. – №1(31). – С. 54–56.
5. Литейные жаропрочные сплавы. Эффект С. Т. Кишкина. – М. : Наука. – 2006. – 272 с.
6. Беліков С. Б. Питання забезпечення рівня високотемпературної корозійної стійкості жароміцних сплавів на основі нікелю / С. Б. Беліков, Д. Л. Денисов, С. В. Гайдук // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 1999. – № 1. – С. 33–36.

7. Наукові підходи до створення висококорозійностійких жароміцних сплавів для деталей проточної частини суднових і стаціонарних ГТУ / А. Д. Коваль, С. Б. Беліков, Е. Л. Санчугов, А. Р. Андрієнко // Нові конструкційні матеріали, ефективні методи їх обробки, підвищення надійності і довговічності деталей машин і конструкцій : зб. наук. пр. – Київ : УМК ВО. – 1991. – С. 4–7.
8. Лисенко М. А. Дослідження якості заготовки з жароміцного нікелевого сплаву для монокристалічного лиття / М. А. Лисенко, В. В. Клочихін, В. В. Наумік // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2017. – № 1. – С. 7–13.

Одержано 21.11.2019

© Канд. техн. наук Калінін О. В.

Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, м. Дніпро

Kalinin A. Research of the heat resistance of multi-component nickel alloys modified by nanospersion compositions

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ 30ХГСА ПОСЛЕ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ЗАКАЛКИ ИЗ МЕЖКРИТИЧЕСКОГО ИНТЕРВАЛА ТЕМПЕРАТУР ПО НОВОМУ СПОСОБУ

Введение

Изотермическая закалка конструкционных сталей применяется для получения у них хорошего комплекса механических свойств. Во многих работах это объясняют свойствами нижнего бейнита. Однако в работе [1] показано, что значительный вклад в получение хорошего сочетания механических свойств вносит метастабильный аустенит, превращающийся при нагружении в мартенсит деформации. При этом важно обеспечить оптимальное количество метастабильного остаточного аустенита и развитие деформационного мартенситного превращения. В работе [2] предложена изотермическая закалка стали 37ГС из межкритического интервала температур (МКИТ). Показано, что у этой кремнийсодержащей стали может быть получена повышенная пластичность при умеренных прочностных свойствах. Влияние такой закалки для других сталей подобного типа не изучено. Обычно изотермическая закалка проводится в расплаве неэкологичных солей или щелочей. Их приобретение, утилизация, защита от вредных испарений, промывка деталей от солей и щелочей требует дополнительных затрат. В связи с этим актуальной задачей является изучение возможности проведения изотермической закалки без использования расплавов солей или щелочей. Такой способ был предложен в работе [3]. Он включал полную или неполную аустенитизацию, охлаждение в воде до заданной температуры, изотермическую выдержку при этой температуре в печи, последующее охлаждение на воздухе. В работе ставилась задача изучить влияние режимов изотермической закалки по новому способу с нагревом в МКИТ на структуру и свойства стали 30ХГСА для получения у нее хорошего комплекса механических свойств.

Материал и методика исследований

Химический состав стали 30ХГСА приведен в табл. 1

Таблица 1 – Химический состав исследованных сталей

Марка стали	Содержание элементов, масс %							
	C	Si	Mn	Cr	Ni	P	S	Cu
30ХГСА	0,33	0,92	0,96	0,96	0,05	0,012	0,014	0,05

Сталь 30ХГСА имеет следующие критические точки: A_{c1} 760 °С, A_{c3} 830 °С. Нагрев стали под закалку проводился в МКИТ и в аустенитную область (выдержка 2 мин/мм). Охлаждение и выдержка при температуре изотермы осуществлялись по схеме вода-печь. Окончательное охлаждение было на воздухе. Исследовалась также возможность

© Малинов Л. С., Бутова Д. В., 2019
DOI 10.15588/1607-6885-2019-2-16