

УДК 621.74.045

Канд. техн. наук В. В. Наумик¹, О. В. Гнатенко², д-р техн. наук В. В. Луцьов¹¹ Національний технічний університет, ² ВАТ «Мотор Січ»; м. Запоріжжя

ОТРИМАННЯ ЯКІСНИХ ВИЛИВКІВ З ЖАРОМІЦНИХ НІКЕЛЕВИХ СПЛАВІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ВЛАСНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ВОРОТТЯ

Досліджено вплив попередньої термочасової обробки розплаву та спрямованої кристалізації на хімічний склад, структуру та властивості жароміцних нікелевих сплавів. Показано принципову можливість отримання виливків з жароміцних нікелевих сплавів із використанням в шихті власного технологічного вороття таких, що за якістю не поступаються тим, що були виготовлені тільки зі свіжого імпортного робочого сплаву.

Ключові слова: жароміцний нікелевий сплав, виливок, технологічне вороття, термочасова обробка, спрямована кристалізація, макроструктура, хімічний склад, механічні властивості, тріщиностійкість.

Постановка проблеми

В сучасних силових установках для авіаційного та енергетичного машинобудування широко застосовуються відповідальні литі вироби із жароміцних нікелевих сплавів зі спрямованою макроструктурою. Згідно з директивною технологією Всеросійського інституту авіаційного машинобудування ці виливки виготовляються виключно із готового робочого сплаву, який завозиться в Україну з Росії. Однак, сучасні економічні умови вимагають вживання всіляких заходів по зниженню собівартості та підвищенню конкурентоспроможності вітчизняних виробів, в тому числі і таких високотехнологічних.

На підприємствах накопичується велика кількість власного технологічного вороття кошових жароміцних сплавів, відправлення якого на переробку за кордон є економічно невигідним. Тому актуальною є проблема вивчення та вдосконалення технологічних процесів, що забезпечують отримання відповідальних виливків із застосування в шихті вторинних матеріалів таких, що за якістю не поступаються тим, що були виготовлені тільки зі свіжого імпортного робочого сплаву.

Основний матеріал досліджень

Статистичним аналізом виробничих даних встановлено, що основною причиною відбракування є невідповідність виливків вимогам, що висуваються до їх макроструктури за кількістю, напрямом меж макрокристалів, кристалографічною орієнтацією, наявністю та кількістю «паразитних кристалів». Встановлено, що причиною цього є зниження теплопровідності рідкометалевого кристалізатора через його забруднення під час експлуатації, що призводило до порушення

умов відведення тепла в процесі спрямованої кристалізації [1].

Жароміцні нікелеві сплави, що використовуються у сучасному авіаційному двигунобудуванні, відрізняються дуже складною системою легування і є дуже коштовними матеріалами. Виливки з них отримують вакуумним переплавом готового робочого сплаву і багато елементів в їх складі в процесі цього сильно вигорає, що неодмінно впливає на властивості матеріалу у разі використання технологічних відходів.

Ще однією проблемою, яку необхідно вирішити в зазначеному випадку, є забезпечення однорідності розплаву перед початком процесу кристалізації, для чого може бути використано відомий метод термочасової обробки. З літератури та власних досліджень відомо, що в результаті термочасової обробки суттєво знижується структурна неоднорідність рідкого металу, що призводить до його суттєвого переохолодження відносно ліквідусу при кристалізації та, як результат, до суттєвого подрібнення структурних складових. Однак, під час витримки металу при високій температурі, навіть під захисною атмосферою аргону, також відбувається сильний вигар багатьох елементів. Так, в сплаві ЖСЗДК-ВІ особливо вигорають алюміній, реній та вуглець [2].

Дослідили зразки зі спрямованою макроструктурою із жароміцних нікелевих сплавів ЖС26-ВІ та ЖС32-ВІ, які було отримано на установках типу УВНК-8П. Шихта при цьому складалась з 50 % свіжого робочого сплаву та 50 % технологічного вороття, а також зі 100 % технологічного вороття після попередньої термочасової обробки, яку проводили в вакуумній печі типу УППФ-3М під захисною атмосферою аргону з тиском $1 \cdot 10^{-4}$ Па.

Зразки були щільними без видимих усадкових дефектів. Макроструктура поверхні зразків складалася з 4–6 стовбчастих кристалів.

Середні показники механічних властивостей при кімнатній температурі, та тривалості міцності при 975 °С зразків, що були отримані з 50 % свіжого робочого сплаву та 50 % технологічного вороття, відповідали рівню вимог технічних умов.

Хімічний аналіз зразків, що були отримані зі 100 % технологічного вороття сплаву ЖС32-ВІ після попередньої термочасової обробки показав, що через вигар вміст деяких легуючих елементів зменшився нижче рівня, припустимого згідно до ТУ 1-92.177-91. Найбільше піддавались вигару вуглець, алюміній, хром та реній. На рівні вимог ТУ лишився вміст молібдену, кобальту, танталу, ніобію та вольфраму.

Середня міцність матеріалу цих зразків, при кімнатній температурі, а також тривала міцність при 1000 °С були декілька нижчими за вимоги ТУ. Одночасно пластичність цього матеріалу перевищувала означені вимоги приблизно в три рази [3].

Як відомо, саме пластичність є показником ступеню чистоти та однорідності основи ливарного сплаву, а також рівня комплексу фізико-механічних властивостей, що може бути принципово досягнуто. Рівень міцності матеріалу при цьому може бути підвищений, відповідно до необхідного, додатковим легуванням жароміцного сплаву.

Металографічний аналіз нетравлених та травлених реактивом Марбле шліфів (рис. 1) показав, що в зразках, що були виплавлені зі 100 % технологічного вороття після попередньої термочасової обробки, у порівнянні з отриманими зі свіжої шихти значно зменшились кількість та розміри евтектичних карбідів, що явно свідчить про суттєвий вигар вуглецю. Тип та морфологія карбідів лишилися практично незмінними. Одночасно збільшились кількість та розміри евтектичної $\gamma + \gamma'$ -фази. Вочевидь, в неї перейшла частина тих карбідоутворюючих елементів, що вивільнилися.

З жароміцних нікелевих сплавів часто виготовляють виливки із внутрішніми порожнинами, тобто із використанням внутрішніх стержнів, тому окреме питання складає їх поведінка в умовах утрудненої усадки.

Дослідили структуру та властивості тонкостінних зразків із жароміцних нікелевих сплавів ЖС26-ВІ та ЖС32-ВІ із внутрішнім стрижнем із матеріалу, що характеризується практично нульовою податливістю. Дослідні зразки отримували в результаті керованої рівноважної та спрямованої кристалізації.

На зразках із рівноважною макроструктурою було виявлено гарячі тріщини з окисленими краями, що проходили по межах окремих макрокристалів.

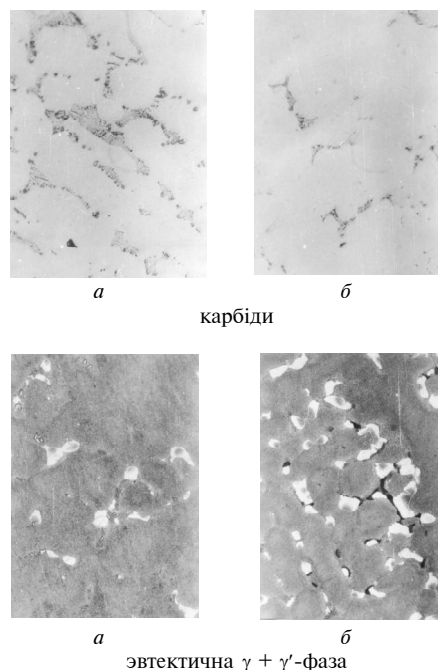


Рис. 1. Структурні складові зразків зі спрямованою макроструктурою жароміцного нікелевого сплаву ЖС-32ВІ, що були виплавлені на свіжій шихті (а), та зі 100 % технологічного вороття після попередньої термочасової обробки (б) $\times 200$

Встановлено, що зародження цих тріщин відбувалося по карбідному каркасу перпендикулярно поверхні зразка (рис. 2).

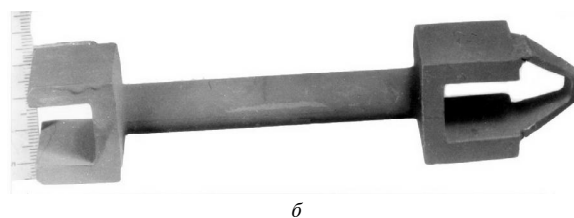
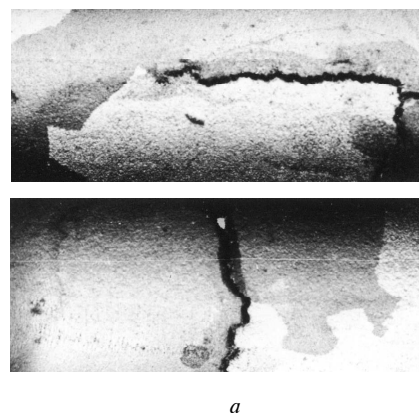


Рис. 2. Гарячі тріщини в зразках після рівноважної кристалізації (а) та бездефектний зразок після високошвидкісної спрямованої кристалізації (б)

На зразках зі спрямованою макроструктурою окремі поздовжні гарячі тріщини виникали лише по межах паразитних кристалів, виникнення яких обумовлено порушенням теплових умов кристалізації. На зразках із монокристалічною макроструктурою гарячих тріщин виявлено не було.

Дослідження показали, що спрямована кристалізація зразків, у порівнянні із рівновісною, призводила до більшої однорідності хімічного складу металу, суттєвого подрібнення його дендритної структури та помітного підвищення мікротвердості всіх структурних складових жароміцного нікелевого сплаву.

На ВАТ «Мотор Січ» розроблено технологію та налагоджено серійне виробництво жароміцного нікелевого сплаву ЖСБК-ВІ з шихти, що складається зі свіжих матеріалів та приблизно 80 % власного технологічного вороття. Проведені дослідження показали, що за хімічним складом, неметалевими включеннями, механічними та жароміцними властивостями сплав повністю відповідає вимогам нормативно-технічної документації і нічим не поступається аналогічному імпортованому [4].

Висновки

Таким чином, не дивлячись на дуже високий рівень вимог, що пред'являються до виливків із жароміцних нікелевих сплавів, принципово можливим та економічно об'рунтованим є промислове використання при їх виготовленні власного технологічного вороття.

Застосування термочасової обробки в комплексі із додатковим легуванням ще більше розширює можливості використання відходів кошових нікелевих сплавів.

Спрямована кристалізація суттєво підвищує рівень однорідності нікелевих сплавів, покращує комплекс фізико-механічних властивостей, як при кімнатних, так і при підвищених температурах, і, як результат, підвищує експлуатаційні властивості виливків, що виготовляються.

Перелік посилань

1. Наумик В. В. Получение качественных отливок методом высокоскоростной направленной кристаллизации на установках типа УВНК-8П / В. В. Наумик // Вісник двигунобудування. — 2010. — № 1. — С. 104–107.
2. Свойства жаропрочных никелевых сплавов после ВТОР / [Клочихин В. В., Жеманюк П. Д., Цивирко Э. И., Наумик В. В.] // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. — 2000. — № 1. — С. 41–46.
3. Наумик В. В. Перспективы использования возврата при получении качественных отливок с управляемой кристаллизацией / Наумик В. В., Цивирко Э. И., Лунев В. В. // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. — 2008. — № 1. — С. 37–43.
4. Гнатенко О. В. Производство жаропрочного никелевого сплава с использованием возврата / Гнатенко О. В., Клочихин В. В., Наумик В. В. // Перспективные технологии, материалы и оборудование в литейном производстве : матер. II междунар. науч.-техн. конф., 7–14 сентября 2009 г. ; под общ. ред. А. Н. Фесенко. — Краматорск : ДГМА, 2009. — С. 56–57.

Поступила в редакцию 10.09.2010

Наумик В.В., Гнатенко О.В., Лунев В.В. Получение качественных отливок из жаропрочных никелевых сплавов с использованием собственного технологического возврата

Исследовано влияние предварительной термовременной обработки расплава и направленной кристаллизации на химический состав, структуру и свойства жаропрочных никелевых сплавов. Показана принципиальная возможность получения из жаропрочных никелевых сплавов с использованием в шихте собственного технологического возврата отливок, по качеству не уступающих полученным только из свежего импортного рабочего сплава.

Ключевые слова: жаропрочный никелевый сплав, отливка, технологический возврат, термовременная обработка, направленная кристаллизация, макроструктура, химический состав, механические свойства, трещиноустойчивость.

Naumyk V., Gnatenko O., Lunev V. Receipt of the high-quality casts from heatproof nickel alloys with the use of own technological return

It is investigated the influence of time-thermal treatment of fusion and directed crystallization on chemical composition, structure and properties of heatproof nickel alloys. It is shown the principle possibility of getting of casts from heatproof nickel alloys with the use in the charge of own technological return which in quality are not worse then casts got only from the fresh imported working alloy.

Key words: heatproof nickel alloy, founding, technological return, time-thermal treatment, directed crystallization, macrostructure, chemical composition, mechanical properties, crack resistanc.