

Установлено значительное увеличение неоднородности распределения электротока в объеме расплава. Плотность тока у короткого электрода i_k была в 1,6 раза больше, чем у длинного. Минимальное значение i на поверхности расплава сместилось от центра к длинному электроду на $0,25 l_э$ и составило $0,18 i_k$. Распределение тока у дна емкости отличалось зеркально от распределения его на поверхности жидкости – от минимального значения под коротким электродом ($0,05 i_k$) до максимального $0,9 i_k$ на расстоянии $0,25 l_э$ от длинного электрода и при $0,36 i_k$ непосредственно возле него.

Таким образом, необходим учет особенностей действия на локальные зоны расплава электротока различной плотности.

Список литературы

- Chernega D. Treatment of Metals and Alloys under Solidification by the Direct Current // Proc. 15th Riga and 6th PAMIR Conference of Fundamental and Applied MHD. Latvia – 2005. Vol. 2. – P.53-56.
 Миненко Г.Н. Обработка электротоком модифицированного серого чугуна // Литейное производство. – 2001. – №2. – С. 11.

УДК 669.245: 536.421.4

В. М. Сімановський, Г.Ф. Мьяльница, І. І. Максюта, Ю. Г. Квасницька, А. С. Притуляк, О. В. Михнян
 Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Києв

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВІТКУ ТЕХНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ ДЕТАЛЕЙ ГТД З ОРИЄНТОВАНОЮ СТРУКТУРОЮ

Актуальною та економічно важливою проблемою вітчизняного газотурбобудування на цей час є налагодження серійного виробництва робочих та соплових лопаток з орієнтованою структурою для транспортних та стаціонарних ГТД, в тому числі, наприклад, ГТД з потужністю 25...45 МВт (розробка ДП НВКГ «Зоря» - «Машпроект», м. Миколаїв).

ФТІМС НАНУ на протязі останніх 10 років проводить роботи зі створення жароміцних корозійностійких сплавів для деталей ГТД та композицій вогнетривкої ливарної кераміки, а також вдосконалює технологічні процеси отримання складнопрофільних виливків, в тому числі робочих лопаток турбіни ГТД з орієнтованою структурою за допомогою нових модифікованих матеріалів для тиглів, оболонкових форм та стрижнів.

В роботі, що виконувалась в лабораторії точного лиття жароміцних сплавів ФТІМС НАНУ та на базі ДП НВКГ «Зоря»- «Машпроект», показана можливість управління фазово-структурними характеристиками, такими як ступінь регулярності структури, дендритний параметр, дисперсність та об'ємна частка зміцнюючих інтерметалідних та карбідних фаз виливків з жароміцного корозійностійкого сплаву типу ХН6ОКМЮВТ (базового - без гафнію та модельного - з 0,2%, мас., гафнію), отриманих шляхом спрямованої кристалізації на промисловій установці УВНК-8П (ДП НВКГ «Зоря» - «Машпроект») в умовах регульованого тепловідводу. Також проведено вибір температурно-часового режиму термічної обробки деталей (робочих лопаток ГТД) з метою підвищення їх експлуатаційних характеристик.

Для встановлення впливу технологічних параметрів процесу кристалізації на такі характеристики модельних сплавів, як макро- та мікроструктура, склад та морфологія зміцнюючих фаз, пов'язаних з коефіцієнтами ліквідації елементів у рівноважному та орієнтованому стані, проведено серії експериментів з варіюванням швидкості кристалізації на 2-ох рівнях: 5 та 10 мм/хв і градієнтом температур на фронті кристалізації 15-20 °С/см для базового (без гафнію) і модельного (з 0,2%, мас., гафнію) сплавів. Показано, що із збільшенням швидкості кристалізації і при введенні в базовий сплав 0,2% гафнію, збільшується об'ємний зміст інтерметалідної зміцнюючої γ' - фази з одночасним корегуванням розмірів її частинок, а також зростає кількість дисперсних карбідів МС-типу в міждендритному просторі. Таким чином, гафній в досліджуваному типі сплавів сприяє поліпшенню працездатності

матеріалу як за рахунок підвищення температури повного розчинення γ' - фази, також і завдяки зміцненню міжвісних ділянок матриці великою об'ємною кількістю більш стабільних дисперсних виділень карбідів.

В якості матеріалу оболонкових форм застосовувалася багат шарова кераміка на основі електрокорундової суспензії з модифікаторами, що підвищують термічну міцність форм. Як матеріал стрижнів для формування внутрішньої порожнини лопатки були опробувані модифіковані суміші на основі корунду та на основі кварцу.

Для виконання комплексу робіт були використані оптична та електронна мікроскопія, фазовий фізико-хімічний і високотемпературний диференційно-термічний аналіз, хіміко-спектральний метод для визначення хімічного складу, метод мікрорентгеноструктурного аналізу (МРСА) на установці JEOL «Superprobe – 733».

Список літератури

1. Симановский В. М., Максютя И. И., Квасницкая Ю. Г., Питуляк А. С., Михнян О. В. Процессы формирования ориентированной структуры литых деталей в жаропрочных сплавах на никелевой основе // Процессы литья. - 2010. - №3. - С.69-75.

УДК 669.245: 536.421.4

**В. М. Сімановський, Г.Ф. Мяльниця, І. І. Максютя, Ю. Г. Квасницька,
О. В. Михнян**

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

РАФІНУВАННЯ РОЗПЛАВІВ ЖАРОМІЦНИХ СПЛАВІВ З ЗАСТОСУВАННЯМ МЕТОДУ СПРЯМОВАНОЇ КРИСТАЛІЗАЦІЇ

В останні роки увагу вітчизняних науковців – ливарників, у тому числі у ФТІМС НАНУ, привертають можливості підвищення експлуатаційних властивостей жароміцних сплавів комплексним застосуванням відомих технологій, наприклад, спрямованою кристалізацією з одночасним рафінуванням розплаву у печі. За результатами попередніх досліджень, проведених на базі ДП НВКГ «Зоря» - «Машпроект», м. Миколаїв, було показано, що застосування рафінування розплаву методом зонного плавлення одночасно з виплавленням заготовки дало змогу значно підвищити коефіцієнт використання ливарних відходів.

В роботі представлено результати аналізу процесу рафінування від неметалевих включень, шкідливих домішок та газів розплаву, отриманого з

шихти, яка вміщувала 50%, мас., первинної заготовки серійної марки сплаву ЧС88У - ВІ для лопаток ГТД та 50%, мас. вторинних ливарних відходів однойменної марки. Процес здійснювався в горизонтальній печі ПМП-4 виробництва Росії, яка представляє собою прохідну багатозонну вакуумну піч опору, призначену для спрямованої кристалізації. Для одержання заготовок були розроблені спеціальні багаторівневі керамічні форми, виготовлені як за звичайною промисловою технологією, також більш термостійкі форми, одержані за новою технологією з модифікованої кераміки. Також безпосередньо у формах проводилась примусова фільтрація розплаву. Для забезпечення оптимального режиму рафінування було обчислено час перебування форми з металом в різних температурних зонах та визначено температурні показники в кожній з них, тобто визначено температурний режим роботи, при якому під час переміщення форми з металом вздовж окремих зон, було забезпечено пересування плоского фронту кристалізації зі швидкістю в межах 2-4 мм/хв. При цьому встановлений експериментально градієнт температур на фронті кристалізації складав 15-20° С / см при вибраній швидкості кристалізації з урахуванням як марки сплаву, також співвідношення первинної та вторинної шихти, що використано. Вибрані згідно попереднім розрахункам основні технологічні параметри процесу повинні сприяти формуванню стовбчастої дендритної структури, при якій дендрити витягнуті в конкретному кристалографічному напрямку, а неметалеві включення різної дисперсності компактно зосереджуються перед фронтом кристалізації у верхній частині кожної заготовки і є можливість їх повного видалення механічною зачисткою.

Проте, оскільки відходи забруднені великою кількістю неметалевих включень, є доцільним заздалегідь піддавати розплав очищенню фільтрацією, що також передбачається в розробленому способі відновлення відходів за допомогою фільтрів.

Результати досліджень дослідних зразків заготовок показують, що рафінування методом спрямованої кристалізації призводить до істотного (на 30-60%, мас.) зменшення в сплавах змісту кисню і азоту. Важливим є також забезпечення помітного зниження змісту сірки. Оскільки це супроводжується також скороченням вмісту в сплавах марганцю, допустимо припустити, що ефективно зниження сірки може бути частково пов'язано з утворенням летючого з'єднання MnS₂. Як показало вивчення макро- та мікроструктури шліфів (поперечний перетин), виготовлених зі зразків заготовок з різних зон (по висоті), вибрані температурно – швидкісні режими переміщення фронту кристалізації під час виплавлення сприяли як процесу гомогенізації розплаву, також ефективного рафінуванню від тугоплавких неметалевих домішок, що забруднюють ливарні відходи. Так, кількість неметалевих включень на 1 мм² площини шліфів знижувалась з 38-35 одиниць у полі зору у зразках без