

матеріалу як за рахунок підвищення температури повного розчинення  $\gamma'$  - 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 MnS<sub>2</sub>. 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 мм<sup>2</sup> площини шліфів знижувалась з 38-35 одиниць у полі зору у зразках без

рафінування до 8-10 одиниць у зразках після процесу рафінування. Також спостерігалось помітне зменшення їх розмірів – з 12-15 мкм до 5-7 мкм.

УДК 669.18:621.746

*Л. А. Соколовская*

*Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины,  
Киев*

### **ВЛИЯНИЕ ДРОБИ НА ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ СЛИТКА В ИЗЛОЖНИЦЕ**

Одним из способов улучшения качества слитков (и крупных отливок) является введение оптимального количества дроби в жидкую сталь при ее разливке [1]. В процессе кипения стали в объеме слитка происходит интенсивное перемешивание жидкого металла газовыми пузырьками, которые всплывают в верхнюю часть слитка, что препятствует комкованию введенной в расплав дроби.

Стальная дробь, введенная в расплав при интенсивном перемешивании стали разливочной струей, резко понижает температуру металла в объеме слитка. При затвердевании слитка тепловые потоки от его жидкой сердцевинки к корочке уменьшаются, что ослабляет тепловую конвекцию расплава в объеме слитка.

Чтобы улучшить подпитку жидким металлом нижних объемов слитка, в его верхнюю часть дробь не вводится. При этом более горячий расплав из верхних объемов затвердевающего слитка подпитывает охлажденные дробью нижние объемы кристаллизующейся стали, уменьшая зону подусадочной рыхлости.

Расчеты показали [2 - 6], что в слитке с дробью быстрое снятие начального перегрева стали уменьшает время его затвердевания. Увеличение дозы дроби способствует снижению температуры поверхности стального слитка, рабочей и наружной поверхностей чугунной изложницы. При этом перепады температуры между центральными (осевыми) и периферийными участками поперечного сечения слитка уменьшаются, что расширяет двухфазную зону затвердевания. Это свидетельствует о взаимосвязи между процессами внутреннего теплоотвода от жидкой стали к дробинкам-микрохолодильникам и внешнего теплоотвода от затвердевающего расплава через стенки изложницы в окружающую среду.

Опытная проверка показала [7], что в слитке с введенной в расплав дробью толщина мелкокристаллической корковой зоны плотного металла

увеличивается в 2,5 – 3 раза, а зона сотовых пузырей расположена дальше от поверхности слитка, что исключает окисление внутренних слоев металла при нагреве и прокатке [2]. Протяженность зоны столбчатых кристаллов уменьшается и расширяется зона крупных разориентированных кристаллов в центральной части слитка.

Полученные результаты подтвердили [7], что распределение основных элементов (углерода и марганца) и вредных примесей (серы и фосфора) по толщине и высоте 19,2т слитка кипящей стали, отлитого с введением в расплав 1,3 % дроби, более равномерное по сравнению с обычным слитком без дроби.

Образование дополнительных центров кристаллизации в слитке с дробью приводит к измельчению дендритной структуры литого металла. Изменение дозы дроби, введенной в перегретый расплав, позволяет регулировать внутренний и внешний теплоотвод в системе слиток-изложница-окружающая среда с целью получения более дисперсной структуры литого металла и минимальной ликвации по сечению и высоте стального слитка.

#### Список литературы

- Соколовская Л.А., Мамишев В.А., Осипов В.П. Определение степени влияния дозы и фракции микрохолодильников на температурное состояние затвердевающего слитка методом математического моделирования на ЭВМ // Разливка кипящей стали. – К.: Ин-т проблем литья АН УССР, 1984. – С. 99-106.
- Соколовская Л.А., Осипов В.П., Мамишев В.А., Диук Е.Ф. Особенности теплофизического и физико-химического взаимодействия кипящей стали с введенной в расплав дробью // Процессы литья. – 2000. - № 2. - С. 35 - 37.
- Соколовская Л.А., Осипов В.П. Применение ПЭВМ к обоснованию технологических режимов получения стальных слитков с дробью // Процессы литья. - 2004. - № 1. - С. 34 - 38.
- Соколовская Л.А., Осипов В.П., Мамишев В.А. Использование математического моделирования при исследовании теплофизических процессов взаимодействия расплава с твердыми добавками // Процессы литья. - 2000. - № 4. - С. 72 - 78.
- Соколовская Л.А., Мамишев В.А. О математическом моделировании задач с фазовыми переходами в металлургии и литейном производстве // Процессы литья. - 2009. - №2. - С. 24 - 29.
- Соколовская Л.А., Мамишев В.А. Численное моделирование прикладных задач с фазовыми переходами // Праці міжнарод. симпозіуму "Питання оптимізації обчислень" (ПОО-XXXIII). - К.: Ін-т кібернетики НАН України. - 2007. - С. 264 - 265.
- Соколовська Л.А., Осіпов В.П., Мамішев В.А. Особливості формування структури суспензійнолітих зливок киплячої сталі // Металознавство та обробка металів. - 2000. - № 1-2. - С. 16 - 19.