**Кудін Вадим Валерійович. Розробка і випробування технології виробництва виливок газотурбінних двигунів з жароміцних сплавів: дис... канд. техн. наук: 05.16.04 / Національна металургійна академія України. - Д., 2004**

|  |  |
| --- | --- |
| |  | | --- | | Кудін В.В. Розробка і випробування технології виробництва виливок газотурбінних двигунів з жароміцних сплавів. – Рукопис.  Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.16.04 – Ливарне виробництво. – Національна металургійна академія України, Дніпропетровськ, 2004.  Дисертація присвячена розробці та промисловому випробуванню удосконалених технологій виробництва виливок газотурбінних двигунів з жароміцних нікелевих сплавів для підвищення їх фізико-механічних властивостей, надійності та експлуатаційної довговічності.  В роботі встановлені закономірності впливу модифікування гафнієм і цирконієм та термічної обробки на структуру і властивості виливок з жароміцних нікелевих сплавів. На підставі отриманих залежностей розроблені удосконалені технології виробництва виливок, які забезпечують підвищення фізико-механічних властивостей, надійності та експлуатаційної довговічності литих деталей гарячого тракту газотурбінних двигунів.  Основні результати роботи рекомендовані до практичного застосування при виготовленні відповідальних виливків для газотурбінних двигунів. | |
| |  | | --- | | В дисертації наведене теоретичне узагальнення і нове вирішення науково-технічної задачі розробки удосконалених технологій виробництва виливок газотурбінних двигунів з жароміцних нікелевих сплавів, зокрема, за рахунок отримання нових науково-обгрунтованих результатів про закономірності впливу модифікування гафнієм і цирконієм та термічної обробки на структуру і властивості виливок з вказаних сплавів. Це забезпечило збільшення фізико-механічних властивостей та експлуатаційної довговічності литих деталей ГТД, а в підсумку, дозволить підвищити надійність та ресурс роботи ГТД. По матеріалах, одержаних у роботі, сформульовані наступні висновки.  1. Одержало подальший розвиток визначення причин зниженої експлуатаційної довговічності робочих лопаток ГТД з жароміцних нікелевих сплавів ЖС6У-ВІ та ЖС3ДК-ВІ. Встановлено, що для литих деталей з вказаних сплавів характерний великий розмір макрозерна, несприятлива морфологія і недостатня кількість зміцнюючих фаз, їх термічна нестабільність. Як наслідок, в процесі експлуатації відбувалися структурні зміни в матеріалі деталей, які призводили до зниження фізико-механічних властивостей, розвитку втомлених тріщин та виходу лопаток з ладу.  2. Одержали подальший розвиток якісні та кількісні залежності, що характеризують вплив модифікування гафнієм і цирконієм та термічної обробки на макро- і мікроструктуру, склад, форму, кількість, розмір та морфологію структурних складових жароміцних нікелевих сплавів ЖС6У-ВІ та ЖС3ДК-ВІ, а також на фізико-механічні властивості цих сплавів:  - відсоток засвоєння елементів розплавом тим менше, чим більше кількість їхньої присадки та час витримки рідкого розплаву з моменту модифікування до заливки ливарної форми;  - підвищення масової частки елементів призводило до зменшення середнього розміру макрозерна, зниження кількості та розмірів крихкої складової у вигляді фасеток внутрішньо зеренного сколу, зменшення розмірів дендритних осередків та відстані між осями дендритів другого порядку;  - введення в сплави гафнію і цирконію збільшувало кількість, середній розмір карбідів та змінювало їхній склад, форму і морфологію. Підвищення вмісту гафнію призводило до утворення замість карбідів типу «китайських ієрогліфів», карбідів глобулярної, кубічної та іншої різноманітної форми, які містять гафній. Масові частки цирконію забезпечували утворення карбідів на його основі у вигляді «стрижня» і карбідів, які мають хрестоподібну форму;  - додатки елементів змінювали морфологію, кількість та розміри евтектичної (g+g)-фази. Гафній сприяв утворенню евтектичних включень у вигляді «пелюстків» (g+g)-фази та розділяючих їх прожилків g-фази, а також збільшував вміст і розміри цих включень за рахунок ліквації в междендритні області і на межі зерен та за рахунок того, що він входить у їхній склад. Уведення цирконію збільшувало кількість, але зменшувало середній розмір евтектичної (+)-фази і призводило до виділення її у вигляді безперервного ланцюжка по межах зерен, який складається з дрібних включень. Підвищення вмісту цирконію стримувало утворення боридної евтектики, а також викликало появу мікропор та утворення несуцільностей по межах зерен;  - введення в сплави гафнію і цирконію сприяло утворенню замість кульоподібних виділень g-фази, часток кубічної і прямокутної форми, а також збільшувало середній розмір, але зменшувало кількість зміцнюючої g-фази за рахунок збільшенням відстані між частками;  - масові частки елементів підвищували межу міцності, відносне подовження та ударну в'язкість сплаву ЖС6У-ВІ при кімнатній температурі. Довготривала міцність при різних температурах сплаву з гафнієм знижувалася пропорційно його масовій частці, а сплаву який містить цирконій у кількості 0,03-0,048% збільшувалася;  - введення в сплав ЖС3ДК-ВІ гафнію і цирконію як окремо, так і спільно підвищувало межу міцності, відносне подовження при кімнатній температурі і довготривалу міцність при 850С. Ударна в'язкість сплаву з гафнієм збільшувалася, а сплаву що містить цирконій зменшувалася. Визначено, що більш високі фізико-механічні та жароміцні властивості мав сплав, що спільно містить 0,6% гафнію і 0,05% цирконію.  3. Вперше виявлені залежності впливу гафнію і цирконію на мікроструктуру і властивості виливок з сплавів ЖС6У-ВІ і ЖС3ДК-ВІ після температурного перегріву до 1250±5С. Гафній проявив негативний вплив, що викликало оплавлення навколо карбідів, утворення «структур оплавлення» і несуцільностей по межах зерен і, як наслідок, різке зниження довготривалої міцності сплавів. Структура сплавів, що містять цирконій у кількості 0,03-0,048% і 0,046-0,212% відповідно, після температурного перегріву залишалася більш стійкої, що забезпечило підвищення довготривалої міцності.  4. Вперше встановлено вплив гафнію і цирконію на схильність сплаву ЖС6У-ВІ до виникнення топологічно щільно упакованої s-фази. Витримка сплаву більш 200 годин при випробуваннях на довготривалу міцність при 900С призводила до утворення в мікроструктурі металу s-фази. Введення в сплав гафнію значно збільшувало кількість і зменшувало середній розмір s-фази пластинчастої форми, яка підвищувала мікротвердість, але знижувала довготривалу міцність. Підвищення вмісту цирконію зменшувало кількість і середній розмір s-фази та сприяло утворенню її у вигляді часток голчастої форми, завдяки яким підвищувалась як мікротвердість, так і довготривала міцність. Виникнення s-фази відбувалося більш інтенсивно в металі, що знаходився в напруженому стані, а голчасті частки, у порівнянні з пластинчастими, були термічно стабільними і зберігалися в металі при нагріванні до 1240С і годинній витримці.  5. На підставі отриманих залежностей розроблені удосконалені технології виробництва виливок з жароміцних нікелевих сплавів:  - розроблена технологія отримання виливок з жароміцного нікелевого сплаву ЖС6У-ВІ, модифікованого цирконієм в кількості 0,03-0,05% та режим їх термічної обробки (Патент 31934) [5];  - розроблена технологія виробництва виливок з жароміцного нікелевого сплаву ЖС3ДК-ВІ, який додатково містить 0,4-0,7% гафнію і 0,03-0,06% цирконію (Декл. патент 29272А) [6].  6. Використання результатів досліджень у виробництві на ВАТ “Мотор Січ” дозволить збільшити експлуатаційні властивості і строк служби литих деталей гарячого тракту ГТД, зменшити витрати на капітальні ремонти ГТД та підвищити в цілому експлуатаційну надійність газотурбінних двигунів. Економічний ефект від впровадження розроблених рекомендацій з удосконалення технології виробництва литих деталей ГТД складе 592,219 тис. грн. на ресурс роботи (10000 годин) одного двигуна. | |