

2. Чигілейчик С.Л., Петрик І.А., Овчинников О.В., Кирилах С.В. Досвід впровадження адитивних технологій при ремонті деталей ГТД зі сплавів ЕП 648 ВІ (ХН50ВМТЮБ-ВІ) в умовах серійного виробництва. *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. 2022. № 1(177). С.57-64. DOI: 10.32620/aktt.2022.1.07

УДК 669.35:621.74.011

**Т.В. Кімстач<sup>1,2</sup>, А.П. Білий<sup>1</sup>, О.П. Білий<sup>1</sup>, В.Ф. Мазорчук<sup>1</sup>, Ю.С. Воронко<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Український державний університет науки і технологій (УДУНТ), Україна

<sup>2</sup>Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАНУ, Україна

### **ВЛИВ ЛЕГУЮЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЛИВАРНИХ БЕЗОЛОВ'ЯНИХ БРОНЗ НА ЇХ РІДКОПЛИННІСТЬ**

Рідкоплинність – один із ливарних параметрів, що характеризує ливарні сплави з точки зору можливості повного заповнення їх розплавами робочих порожнин ливарних форм.

З метою дослідження впливу легуючих елементів ливарних безолов'яних бронз на їх рідкоплинність в роботі, перш за все, визначали величини відносної (щодо бронзи марки БрА9ЖЗЛ) рідкоплинності (РВ) ливарних бронз, які заливали в ливарні форми з перегрівом на 100...110 °С вище їх температури ліквідус.

Температуру ліквідус кожної з бронз визначали за результатами термографування затвердіння розплавів бронз у піщаній склянці. Під час термографування температуру вимірювали хромель-алюмелевою термопарою в комплекті з електронним потенціометром. З метою підвищення точності вимірювання використовували термоелектроди діаметром 0,3 мм, у яких гарячий спай діаметром 0,5 мм попередньо покривали шаром суспензії рідкого скла з пилоподібним кварцом товщиною до 0,1 мм.

Рідкоплинність оцінювали довжиною залитого каналу спіральної проби, виконаної в півформах з піщано-глинистої суміші. Довжину спіральної проби вимірювали лінійкою з точністю до 1 мм. Хімічний склад сплавів визначали на прецизійному аналізаторі EXPERT 4L.

Для плавки бронз використовували шихтові матеріали технічної чистоти в числі яких: мідь катодна марки М2, алюміній марки АІ99,7, кремній марки Кр1, марганець металевий Мн95, сталь марки Ст3.

## ЛИТВО.МЕТАЛУРГІЯ. 2025

Плавку бронз проводили в індукційній печі з графітовим тиглем, з використанням деревного вугілля для захисту дзеркала розплаву від впливу повітря. Після розплавлення наважок шихти температуру розплаву в тиглі доводили до  $1200 \pm 10$  °С, розкислювали розплав фосфористою міддю, знижували температуру розплаву до температури заливки (t) і через 1 хвилину розплав з тигля заливали в ливарну форму. Результати дослідження хімічного складу та вимірів РВ приведено в таблиці 1.

Таблиця 1 - Результати вимірів РВ

| Марка<br>бронзи | Масовий вміст хімічних елементів, % |       |      |      |      |      | t, °C | РВ   |
|-----------------|-------------------------------------|-------|------|------|------|------|-------|------|
|                 | Cu                                  | Al    | Fe   | Ni   | Mn   | Si   |       |      |
| БрА9ЖЗЛ         | 87,95                               | 8,97  | 3,02 | 0,03 | 0,02 | 0,01 | 1130  | 1,00 |
| БрА10Мц2Л       | 89,85                               | 10,10 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 1110  | 0,52 |
| БрА10ЖЗМц2      | 87,10                               | 9,91  | 2,96 | 0,01 | 0,02 | 0,00 | 1150  | 0,81 |
| БрА10Ж4Н4       | 81,68                               | 10,14 | 4,05 | 4,11 | 0,01 | 0,01 | 1210  | 0,86 |
| БрА11Ж6Н6       | 76,91                               | 10,98 | 5,92 | 6,14 | 0,03 | 0,02 | 1180  | 0,80 |
| БрК4Мц1         | 94,8                                | 0,00  | 0,02 | 0,00 | 1,11 | 4,07 | 1100  | 0,81 |

З даних таблиці 1 витікає, що з числа використаних бронз найбільшу рідкоплинність має бронза марки БрА9ЖЗЛ, найменшу – бронза БрА10Мц2Л.

Використовуючи дані таблиці 1 склали наступну систему лінійних рівнянь:

$$\begin{cases} 87,95 \cdot \text{Cu} + 8,97 \cdot \text{Al} + 2,96 \cdot \text{Fe} + 0,03 \cdot \text{Ni} + 0,02 \cdot \text{Mn} + 0,01 \cdot \text{Si} = 1,00; \\ 89,85 \cdot \text{Cu} + 10,1 \cdot \text{Al} + 0,01 \cdot \text{Fe} + 0,02 \cdot \text{Ni} + 0,01 \cdot \text{Mn} + 0,01 \cdot \text{Si} = 0,52; \\ 87,10 \cdot \text{Cu} + 9,91 \cdot \text{Al} + 2,96 \cdot \text{Fe} + 0,01 \cdot \text{Ni} + 0,02 \cdot \text{Mn} + 0,00 \cdot \text{Si} = 0,81; \\ 81,68 \cdot \text{Cu} + 10,14 \cdot \text{Al} + 4,05 \cdot \text{Fe} + 4,11 \cdot \text{Ni} + 0,01 \cdot \text{Mn} + 0,01 \cdot \text{Si} = 0,86; \\ 76,91 \cdot \text{Cu} + 10,98 \cdot \text{Al} + 5,92 \cdot \text{Fe} + 6,14 \cdot \text{Ni} + 0,03 \cdot \text{Mn} + 0,02 \cdot \text{Si} = 0,80; \\ 94,80 \cdot \text{Cu} + 0,00 \cdot \text{Al} + 0,02 \cdot \text{Fe} + 0,00 \cdot \text{Ni} + 1,11 \cdot \text{Mn} + 4,07 \cdot \text{Si} = 0,81. \end{cases}$$

Вирішення складеної системи лінійних рівнянь здійснили методом Крамера. Результати розрахунків коефіцієнтів регресії узагальненого рівняння наведено у таблиці 2.

Таблиця 2 – Коефіцієнти регресії

| Хімічний елемент     | Si     | Fe     | Cu     | Ni     | Al       | Mn      |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|----------|---------|
| Коефіцієнти регресії | 0,4741 | 0,1229 | 0,0248 | 0,0128 | -0,16655 | -3,1279 |

З аналізу коефіцієнтів регресії таблиці 2 витікає, що в безолов'яних бронзах при масовому вмісті міді ~77...95%, алюмінію ~0...11%, заліза ~0...6%, нікелю ~0...6%, марганцю ~0...1,1% та кремнію ~0...4% рідкоплинність найбільше підвищує кремній. Значно

в меншому ступені рідкоплинність підвищують залізо, мідь та нікель. В той же час, алюміній та особливо марганець зменшують рідкоплинність безолов'яних бронз. При цьому від'ємний характер впливу марганця на рідкоплинність у 18 разів більший ніж у алюмінію.

УДК 621.74.002.6:669.131.6

**В.В. Кудін<sup>1</sup>, В.Г. Єфременко<sup>2,3</sup>, В.М. Сажнів<sup>1</sup>, М.О. Кармазін<sup>1</sup>, О.М. Шалдін<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Національний університет «Запорізька політехніка», Запоріжжя, Україна

<sup>2</sup> Приазовський державний технічний університет, Дніпро, Україна

<sup>3</sup> Institute of Materials Research, Slovak Academy of Science, Kosice, Slovakia

### **ВПЛИВ ЛЕГУВАННЯМ ВАНАДІЄМ І ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ ВИСОКОМАРГАНЦЕВОЇ СТАЛІ**

Незважаючи на багатолітній досвід виробництва високомарганцевої сталі, чисельні дослідження впливу різних факторів на комплекс її властивостей, питання підвищення якості сталевих виливків зберігають свою актуальність [1]. Навіть однотипні вилівки з цієї сталі, в практично однакових умовах експлуатації відрізняються між собою за стійкістю (терміном експлуатації) в 2-5 рази [2]. Цей факт свідчить про те, що резерви покращення якості високомарганцевої сталі залишаються ще далеко не вичерпаними [3]. Одним із головних напрямків підвищення якості виливків із високомарганцевої сталі є застосування раціонального легування і модифікування [4, 5].

В даній роботі вивчали вплив легування ванадієм на структуру та властивості виливків із високомарганцевої сталі 110Г13Л, а також вдосконалювали режим термічної обробки. Сталь виплавляли на кафедрі «Машин і технології ливарного виробництва» НУ «Запорізька політехніка» методом переплаву в індукційній печі ІСТ-0,16. Після розплавлення шихти, рідкий метал нагрівали до температури 1600°C, яку контролювали вольфрам-молібденовою термопарою. Для легування сталі використовували ферованадій марки FeV80. На кафедрі проводили механічні випробування та металографічний аналіз. Дослідження виливків проводили на литих та термооброблених при 1050°C зразках.

В сталі, легованої ванадієм, крім основної карбідної та фосфідної фаз, відбувалося утворення додаткової фази, збагаченої ванадієм. Ванадієві виділення являли собою округлі або багатогранні частини, розташовані як усередині зерен, так і в прикордонних зонах. Металографічними дослідженнями було встановлено, що неметалеві включення мають розмір від 0,05 мкм до 10 мкм. Кількісний аналіз карбідного осаду