УДК 621

Педченко Є.О., наук. співр.
Полішко Г.О., докт. техн. наук
Костецький Ю.В., докт. техн. наук, доцент
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Pedchenko1992@nas.gov.ua

РЕЦИКЛІНГ НІКЕЛЕВИХ СУПЕРСПЛАВІВ З ВІДПРАЦЬОВАНИХ АВІАЦІЙНИХ КОМПОНЕНТІВ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОШЛАКОВОГО ПЕРЕПЛАВУ ЗА ДВОКОНТУРНОЮ СХЕМОЮ З КВАЗІ ПАСИВНИМ ЕЛЕКТРОДОМ

У роботі розглянуто актуальне питання рециклінгу нікелевих суперсплавів, що застосовуються у критичних елементах авіаційних газотурбінних двигунів – лопатках, дисках, валах, які працюють за умов тривалого високотемпературного та механічного навантаження. Через дефіцитність та вартість легуючих елементів (кобальт, хром, молібден, реній тощо) ефективна переробка таких сплавів є стратегічно важливою для авіаційної та металургійної галузей.

Проаналізовано основні джерела утворення відходів нікелевих сплавів — виробничі, експлуатаційні та ті, що виникають внаслідок утилізації авіаційної техніки. Згідно зі статистичними даними, щороку утилізується приблизно 400–450 літаків, з яких понад 30 000 тон металів, включаючи 1 800 тон спеціальних сплавів повертаються в обіг через переробку до вторинного обігу, зокрема нікелевих.

Як ефективну технологію рециклінгу запропоновано електрошлаковий переплав за двоконтурною схемою (ЕШП ДС) [1-4] із застосуванням квазі пасивного електрода. Проведено цикл лабораторних полавок електродів змінного перетину (у формі трефа), сформованих із обрізків сплаву ЕП648 (кругляк d=70 мм, кільця Ø510 мм та Ø370 мм тощо). В якості основи флюсу для переплаву нікелевого сплаву було обрано АНФ-29. Для зменшення температури його плавлення та вмісту SiO2 його було модифіковано чистим CaF2 в кількості 1/10 від маси. Отримані зливки за хімічним складом відповідають вимогам ТУ 14-1-4103-86. Подальша обробка (ковка, виготовлення кілець) засвідчила належну якість металу за результатами металографічних досліджень та УЗК.

Показано, що застосування ЕШП ДС забезпечує ефективне очищення металу, контрольовану кристалізацію, рівномірний хімічний склад та отримання зливків високої якості. Запропонований підхід демонструє технічну, економічну та екологічну ефективність, зокрема зниження викидів CO_2, зменшення промислових відходів та зниження потреби в первинному добуванні критичних елементів. Розроблена технологія може бути впроваджена у замкнені цикли виробництва й ремонту авіаційної техніки.

Список посилань

1. Recycling of Steel Using the Esr Method in the Conditions of Limited Resources of Raw Materials to Preserve the Chemical Composition and Properties / Y. Pedchenko et al. *International Young Scientists Conference on Materials Science and Surface Engineering*. 2023. URL: https://doi.org/10.15407/msse2023.047

2. Pedchenko Y., Medovar L., Kostetsky Y. ELECTROSLAG REMELTING AS A METHOD OF RECYCLING NON-COMPACT HIGH-SPEED STEEL TOOLS. *METAL 2022*, 18–19 May 2022. 2022. URL: https://doi.org/10.37904/metal.2022.4455

3. Recycling of used noncompact tools from high-speed steel by electroslag remelting / E. O. Pedchenko et al. *Sovremennaâ èlektrometallurgiâ*. 2022. Vol. 2022, no. 3. P. 23–28. URL: https://doi.org/10.37434/sem2022.03.04

4. Electroslag remelting of variable cross-section electrodes using a two-circuit scheme / Y. O. Pedchenko et al. *Welding and Related Technologies*. London, 2025. P. 25–28. URL: https://doi.org/10.1201/9781003518518-5