

mgr inż. Sławomir KOZŁOWSKI

Opracowanie i wdrożenie innowacyjnych rozwiązań w procesach karbotermicznej redukcji krzemionki podczas produkcji żelazostopów w piecach rezystancyjno-lukowych w oparciu o optymalizację zużycia surowców i energii

Streszczenie

W niniejszej pracy doktorskiej zostało przedstawione opracowanie i wdrożenie innowacyjnych rozwiązań w procesach karbotermicznej redukcji krzemionki podczas produkcji żelazostopów w piecach rezystancyjno-lukowych w oparciu o optymalizację zużycia surowców i energii. Celem pracy jest zwiększenie efektywności procesu wytwarzania wysokoprocentowych stopów krzemu z żelazem. Poprzez zwiększenie efektywności procesu technologicznego rozumie się obniżenie wskaźnika zużycia jednostkowego energii elektrycznej oraz wzrost wskaźnika wydajności produkcji przy jednoczesnym dotrzymywaniu wymagań jakościowych wyrobu końcowego. W pracy doktorskiej wykazano możliwość poprawy efektywności produkcji poprzez wdrożenie opracowanego w ramach realizacji niniejszego projektu doktorskiego wielomodułowego kompleksowego i zintegrowanego systemu informatycznego PSOTnik (Podstawowy System Obliczeń Technologicznych).

W rozdziale 1 przedstawiono teorię i technologię wytwarzania stopów krzemu. Opisano rozwój historyczny przemysłu żelazostopowego na ziemiach polskich, zaprezentowano hutę Re Alloys wraz z jej wyposażeniem technicznym, scharakteryzowano budowę pieca rezystancyjno-lukowego wraz z urządzeniami pomocniczymi, i przedstawiono opracowany 5-reaktorowy model fizykochemiczny procesu wytopu stopów krzemu w piecach rezystancyjno-lukowych.

W rozdziale 2 przedstawiony został zrealizowany w ramach niniejszej pracy doktorskiej kompleksowy system sterowania procesem wytwarzania stopów krzemu – Podstawowy System Obliczeń Technologicznych – PSOTnik. Opisany został stan informatyzacji procesu przed wdrożeniem programu PSOTnik oraz rozwiązań wynikających z projektu ALGOR, wyszczególnione zostały wymagania i założenia odnośnie nowego systemu sterowania procesem wytwarzania stopów krzemu, przedstawiono architekturę i opisano działanie nowego, zintegrowanego kompleksowego systemu informatycznego sterowania procesem wytwarzania stopów krzemu wraz z programem PSOTnik.

Rozdziały 3, 4, 5 i 6 zostały poświęcone surowcom wsadowym. Zawierają one charakterystykę kwarcytów, reduktorów węglowych, surowców żelazonośnych i surowców poprawiających gazoprzepuszczalność wsadu. Opisano wymagania technicznych wobec surowców wsadowych wraz z uzasadnieniem. Przedstawiono ich właściwości kluczowe z punktu widzenia zastosowania w procesie technologicznym wytopu stopów krzemu wraz z opisem przebiegu dotychczasowych badań laboratoryjnych i ich wyników. Przedstawione zostały wyniki własnych badań laboratoryjnych i zaprezentowany został cykl prób technologicznych ze stosowania w namiarze wsadowym różnych surowców wsadowych wraz z uzyskanymi wynikami produkcyjnymi w zakresie jakości gotowego stopu, wydajności agregatów piecowych, wskaźników zużycia surowców i energii elektrycznej, które można było zgromadzić i poddać szczegółowej analizie dzięki zastosowaniu programu PSOTnik.

W rozdziale 7 przedstawiona została stosowana w Re Alloys technologia rafinacji FeSi obniżająca zawartość glinu, wapnia i węgla. Opisane zostało stanowisko do rafinacji ciekłych stopów krzemu, przebieg procesu oraz badania własne z wykorzystaniem modelu wodnego kadzi rafinacyjnej oraz w skali przemysłowej.

Rozdział 8 zawiera opis technologii rozlewania ciekłych stopów krzemu. Opisany został mechanizm krystalizacji FeSi, przedstawione zostały metody rozlewania stopów krzemu z żelazem i ich wpływ na strukturę otrzymanego wlewka oraz na uzysk frakcji docelowej 10÷50 mm po kruszeniu i przesiewaniu. Opisano badania własne w zakresie krystalizacji stopów krzemu oraz zmian sposobu rozlewania oraz osiągniętych rezultatów.

Pracę zakończono wnioskami z realizacji prób oraz budowy i wdrażania do działalności przemysłowej programu PSOTnik.

Abstract

This doctoral dissertation presents the development and implementation of innovative solutions in the carbothermic reduction processes of silica during the production of ferroalloys in submerged arc furnaces, based on the optimization of raw material and energy consumption. The objective of the dissertation is to enhance the efficiency of the production process for high-silicon alloys with iron. Increasing process efficiency is understood as reducing the unit consumption of electrical energy and improving production yield while maintaining the required quality standards of the final product. This dissertation demonstrates the potential to improve production efficiency through the implementation of a multi-module, comprehensive, and integrated information system, PSOTnik (Basic Technological Calculations System), developed as part of this doctoral project.

Chapter 1 outlines the theory and technology of silicon alloys production. It describes the historical development of the ferroalloy industry in Poland, presents the Re Alloys plant along with its technical equipment, characterizes the construction of submerged arc furnaces and their auxiliary equipment, and introduces a developed 5-reactor physicochemical model of the silicon alloy smelting process in submerged arc furnace.

Chapter 2 discusses the comprehensive control system for silicon alloy production—Basic Technological Calculations System (PSOTnik) – developed as part of this dissertation. The state of computerization prior to the implementation of the PSOTnik program is described, as well as solutions arising from the ALGOR project. The requirements and assumptions for the new silicon alloy production control system are detailed, along with the architecture and functionality of the new integrated comprehensive control system featuring the PSOTnik program.

Chapters 3, 4, 5, and 6 focus on charge materials. They provide a detailed characterization of quartzites, carbon reductants, iron-bearing raw materials, and materials that enhance gas permeability of the charge. The technical requirements for the charge materials are outlined and justified. The key properties of these materials, from the perspective of their application in the silicon alloy smelting process, are discussed, along with a description of previous laboratory studies and their results. Results from the author's own laboratory studies are also presented, along with a series of technological trials involving different charge

materials in the burden mix. The production outcomes are analyzed in terms of the quality of the final alloy, furnace efficiency, and indices of raw material and electrical energy consumption, all of which were meticulously gathered and analyzed using the PSOTnik program.

Chapter 7 presents the refining technology employed at Re Alloys to reduce aluminum, calcium, and carbon content in FeSi. The setup for refining liquid silicon alloys, the process itself, and the author's own research utilizing a water model of the refining ladle, as well as industrial-scale studies, are described.

Chapter 8 contains a description of the casting technology for liquid silicon alloys. The crystallization mechanism of FeSi is explained, and different methods of casting silicon alloys with iron are presented, along with their impact on the structure of the cast ingot and the yield of the target fraction (10–50 mm) after crushing and screening. The author's research on the crystallization of silicon alloys and the changes in casting methods, as well as the achieved results, are detailed.

The dissertation concludes with findings from the technological tests and the design and industrial implementation of the PSOTnik program.