Boni, Bruno / Loria, Mario

Włoski wkład do elektrometalurgii żelaza

Kwartalnik Historii Nauki i Techniki 13/1, 41-52

1968

Artykuł umieszczony jest w kolekcji cyfrowej Bazhum, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych tworzonej przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego.

Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie ze środków specjalnych MNiSW dzięki Wydziałowi Historycznemu Uniwersytetu Warszawskiego.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

Mario Loria, Bruno Boni

WŁOSKI WKŁAD DO ELEKTROMETALURGII ŻELAZA *

Zastosowanie energii elektrycznej miało dla Włoch poważne znaczenie ekonomiczne. Włoscy uczeni przyczynili się w bardzo poważnej mierze do naukowego i technicznego postępu w dziedzinie elektrotechniki. Dość wymienić Alessandra Voltę i wynalezione przez niego ogniwo galwaniczne, Antonia Pacinottiego i jego maszynę elektryczną na prąd stały, Galileo Ferrarisa i wynalezione przez niego wirujące pole magnetyczne. Przemysł włoski w XIX w. był jednak wysoce opóźniony w rozwoju; podstawowe te wynalazki znalazły więc uznanie, a tym samym możliwość zastosowania w skali przemysłowej, jedynie poza granicami Włoch. To samo dotyczyło pieców elektrycznych, choć Włochy mogą się w tej dziedzinie poszczycić dwoma prawdziwymi pionierami: byli nimi Ernesto Stassano i Sebastiano Ziani de Ferranti.

Stassano poświęcił się badaniom nad wykorzystaniem ciepła pieców łukowych dla prowadzenia procesów metalurgicznych [1].

Urodzony w Neapolu Ernesto Stassano (1859—1922) zaczął od kariery artylerzysty. Wykazawszy duże zdolności techniczne i naukowe, pracował w 1886 r. w stopniu kapitana w fabryce broni w Terni, następnie zaś aż do 1898 r. — w Rzymie, w Dowództwie Artylerii. W okresie tym zajmował się klasyfikacją stali i kierował stalownią, zdobywając gruntowną wiedzę w zakresie teorii świeżenia i rafinacji stali. Był więc przede wszystkim chemikiem-metalurgiem.

Taki zasób wiadomości teoretycznych i praktycznych posłużył Stassanowi do badań nad zastosowaniem energii elektrycznej do produkcji stali. Uzyskawszy bezpłatny urlop, opracował patenty i rozpoczął doświadczenia na skalę przemysłową. Wezwano go wówczas z powrotem do służby, polecając zastosować piece elektryczne swojej koncepcji w artyleryjskich zakładach konstrukcyjnych przy arsenale w Turynie. Zakłady te i służbę wojskową opuścił ostatecznie w 1905 r. w stopniu majora.

Stassano miał poprzedników w dziedzinie budowy pieców elektrycznych i w elektrometalurgii. Bezpośrednim następstwem wynalezienia ogniwa galwanicznego było już w pierwszej połowie XIX w. zastosowanie elektrolizy do wyodrębniania coraz nowych pierwiastków metalicznych.

---

* Artykuł, stanowiący rozszerzoną wersję komunikatu wygłoszonego na XI Międzynarodowym Kongresie Historii Nauki, tłumaczył z francuskiego (a aneksy — z włoskiego i angielskiego) Czesław Dyja przy współpracy doc. Mieczysława Radwana.

Mario Loria jest współpracownikiem Włoskiego Instytutu Historii Techniki (por. jego informację o tym instytucie w nrze 1—2/1966 „Kwartalnika", s. 191), Bruno Boni — współpracownikiem Ośrodka Historii Hutnictwa Włoskiego Towarzystwa Hutniczego. (Przypis redakcji).

[1] Por.: L. Cambi, *Pagine di storia della Elettrometallurgia in Italia. Elettrosiderurgia l'opera di Ernesto Stassano.* „La Metallurgia Italiana", nr 1/1963.

Pionierską rolę w tej dziedzinie odegrał Anglik Humphry Davy, który był również jednym z odkrywców łuku elektrycznego.

Zastosowanie elektryczności do wytopu metali stało się jednak możliwe dopiero z chwilą pojawienia się prądnic, pozwalających na uzyskanie niezbędnych tu znacznych ilości energii. Do tego okresu odnieść więc można powstanie pierwszych pieców elektrycznych. W 1879 r. William Siemens opatentował taki piec do wytapiania stali (zbudowany w 1881 r.), lecz największe znaczenie miało zastosowanie pieców elektrycznych w 1886 r. przez Héroulta (a jednocześnie przez Halla) do produkcji aluminium, a w 1892 r. przez Moissana do produkcji karbidu.

Punkt wyjścia Ernesta Stassana jako specjalisty w dziedzinie produkcji stali był zupełnie odmienny, a problem, który sobie postawił — całkowicie nowy: chodziło o znalezienie sposobu bezpośredniego wytwarzania stali z wsadu rudnego w jednym urządzeniu, w którym zachodziłyby wszystkie reakcje chemiczne (redukcja, nawęglanie i świeżenie), prowadzące do wytworu hutniczego o ściśle określonych własnościach.

Bodźcem, który skłonił Stassana do zajęcia się elektrometalurgią, był udział w kilku doświadczeniach prowadzonych w 1896 r. w Saint Marcel (w dolinie Aosty) nad piecem trójfazowym, przeznaczonym do produkcji karbidu według metody Moissana (ryc. 1), który zbudował jeden z jego kolegów, oficer artylerii, inż. Roberto Memmo [2].

Po dwu latach, 7 III 1898, Stassano zgłosił patent we Włoszech (*Aneks 1*), następnie w głównych krajach Europy, a wreszcie, 18 VI 1898, w Stanach Zjednoczonych.

Encyklopedia chemii stosowanej z 1912 r., podając szczegółowy opis pieca Stassana, podkreśla wielkie zalety pieca; m.in., zwracając uwagę na niebezpieczeństwo zwarć przy podłączaniu pieców elektrycznych do sieci, *Encyklopedia* stwierdza, że „dotychczas jedynie piece Stassana (łukowe) i Rochlinga-Rodenhausena (indukcyjne) mogą być bezpośrednio podłączane do ogólnej sieci" [3].

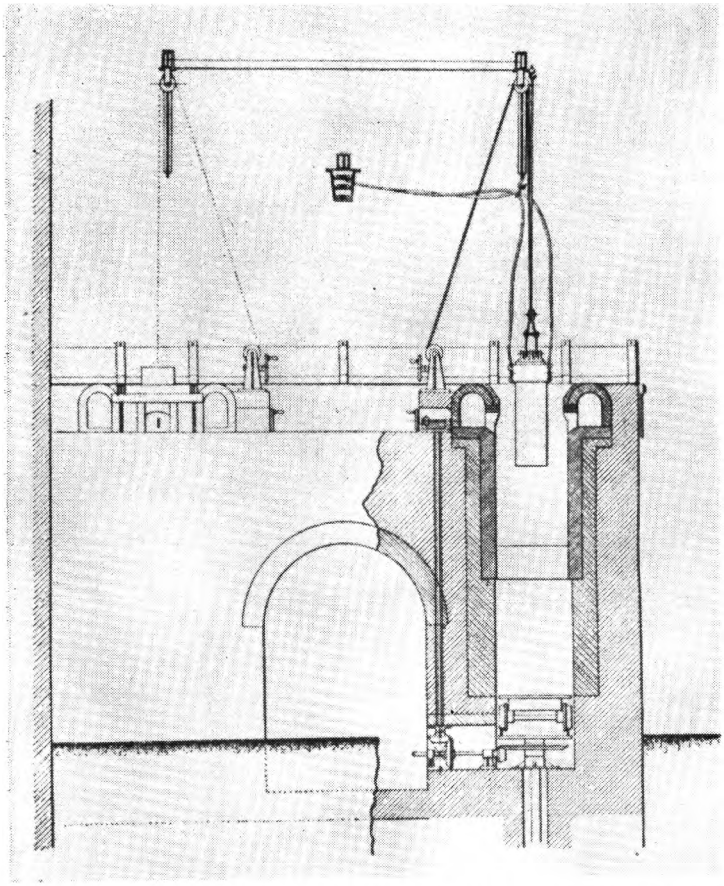
Piec zaprojektowany przez Stassana był w istocie połączeniem pieca elektrycznego z wielkim piecem, przy czym był regulowany w sposób zapewniający uzyskanie produktu właściwej jakości. Głównym celem było tu odsiarczenie metalu; wynalazcy udało się uzyskać produkt zawierający zaledwie ślady siarki.

Stassano rozumiał doskonale zasadnicze znaczenie składu żużla w procesie wytwarzania stali. Wsad do jego pieca był więc starannie dobierany: do rudy i węgla wprowadzano dodatki w takiej proporcji, ażeby żużel składał się (ciężarowo) z jednej części krzemionki i czterech części zasady. Mieszaninę taką, dokładnie zmieloną i sprasowaną w brykiety, wprowadzano do wielkiego pieca. Reakcje chemiczne przebiegały naj-

---

[2] Por. patent nr 45 693 z 9 IX 1897 oraz: B. Boni, *Origini dello stabilimento idroelettrico di Saint Marcel (Aosta)*. „La Metallurgia Italiana", nr 7/1960. Stassano zastosował tę samą zasadę co Moissan, a więc wyraźnie oddzielił w piecu działanie elektrotermiczne od elektrolitycznego, wykorzystując jedynie potężne działanie cieplne łuku elektrycznego, a pomijając działanie czysto elektrolityczne. Właśnie dzięki zastosowaniu tej zasady Moissan zbudował słynny piec, opisany w komunikacie *Description d'un nouveau four électrique*, przedstawionym 12 XII 1892 paryskiej Akademii Nauk (por.: A. Coutagne, *La fabrication des ferro-alliages*. Paris 1924). Na tej samej zasadzie opierał się również piec Memma, którym posługiwał się Stassano w pierwszej fazie doświadczeń.

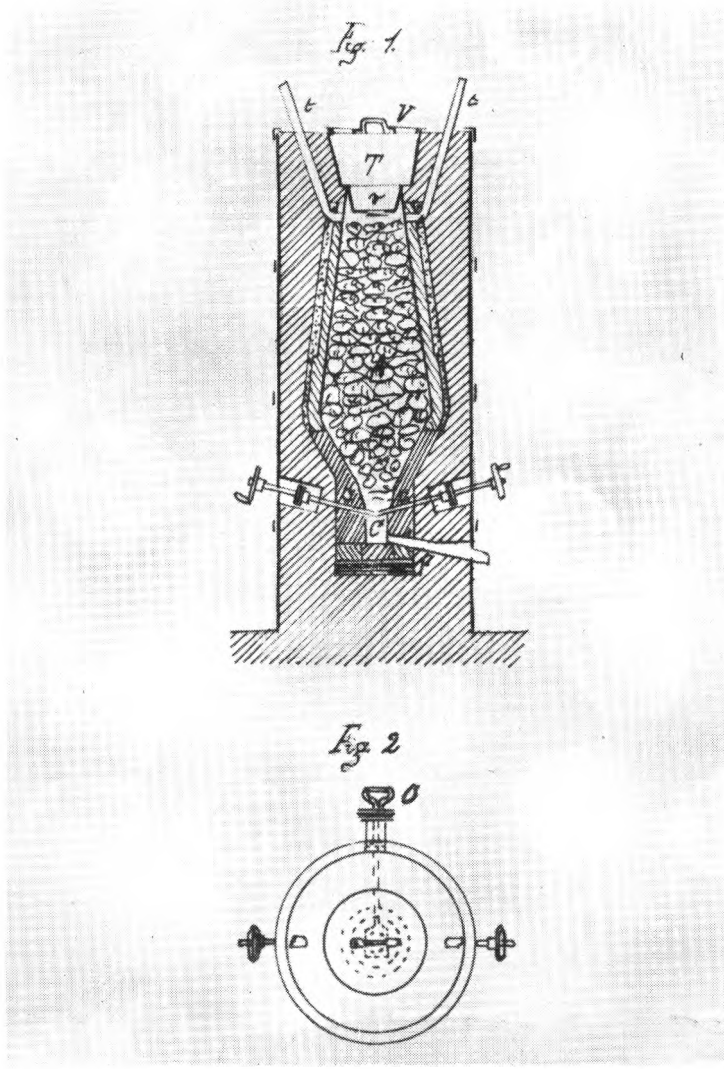
[3] *Encyclopédie de science chimique appliquée*. Pod redakcją C. Chabriego. Paris-Liège 1912, t. 1, ss. 217 i nast.



Ryc. 1. Trójfazowy piec elektryczny zbudowany przez Roberta Memma do produkcji karbidu, którym posługiwał się Ernesto Stassano w pierwszej fazie doświadczeń (1896 r.)

Рис. 1. Трехфазная электропечь Роберто Меммо, предназначенная для производства карбида. Такую печь использовал Эрнесто Стассано в первой стадии своих экспериментальных исследований (1896)

Fig. 1. Il forno elettrico di Roberto Memmo, la prima base sperimentale di Stassano (1896)



Ryc. 2. Piec elektryczny do wytopu stali: rysunek Ernesta Stassana dołączony do jego zgłoszenia patentowego (1898 r.)

Рис. 2. Электрическая печь для выплавки стали: чертеж Эрнесто Стассано, приложенный к его заявке о выдаче патента (1898)

Fig. 2. L'altoforno elettrico di Ernesto Stassano: sua tavola unita al brevetto (1898)

pierw podobnie jak w wielkich piecach na koksie (wówczas już powszechnie stosowanych), a następnie — jak w piecach stalowniczych (Siemensa-Martina, Thomasa, Bessemera) [4].

Pierwszy wielki piec Stassana o mocy ok. 100 kW zbudowano w Rzymie nieopodal zakładów Santa Maria dei Cerchi. Zachowały się dane dotyczące pierwszych doświadczeń rzymskich Stassana (tablica I).

Tablica I [5]

Składniki wsadu	Namiar w kG	Skład chemiczny
Ruda	1 000	Fe_2O_3 — 93% SiO_2 — 3,8% S — 0,058%
Węgiel	160	C — 91,0% popiół — 3,3% wilgoć — 5,7%
Topniki	125	CaO — 51% CO_2 — 43% MgO — 3,1%

Otrzymywany przez Stassana produkt końcowy był rodzajem miękkiego żelaza gąbczastego o zawartości 99,7% Fe, 0,10% Mn i 0,19% C. Zużycie energii elektrycznej wynosiło 3,36—5,12 kWh/kgFe, wydajność — 62%.

Koncepcje i doświadczenia Stassana uzyskały rozgłos w 1899 r., kiedy opublikował w Rzymie pierwszy komunikat na ten temat [6].

Wynalazca przeniósł następnie doświadczenia do zakładów w Darfo (Val Camonica, Lombardia). Należały one wówczas do Società Elettrosiderurgica „Camuna", później zaś przeszły na własność Società Ferriere di Voltri wraz z nowym piecem elektrycznym o mocy ok. 370 kW. Do 1902 r. prób dokonywano z różnymi rodzajami rudy (magnetyt z Cogne, syderyt z wyspy Elby, syderyty z okolic Bergamo), szczególnie jednak doniosłe doświadczenia przeprowadzono jesienią 1901 r. z wypałkami pirytu. Na równinie lombardzkiej zalegały wówczas poważne ilości tych wypałków o zawartości 40—50% Fe, stanowiących odpady powstałe przy produkcji kwasu siarkowego i innych związków siarki. Wsad ten był tani, a w dodatku chodziło o oczyszczenie terenu z hałd.

Doświadczenia te, w których otrzymywano metal z bardzo niską zawartością siarki (0,06%), co pozwalało przewidywać możliwość uzyskiwania jeszcze wyższego stopnia odsiarczania, stanowiły dla Stassana dowód, że opanowanie procesu bezpośredniego wytwarzania żelaza i stali jest w pełni osiągalne. Okazało się jednak niebawem, że wyniki ekonomiczne bynajmniej nie były tak zadowalające, jak rezultaty techniczne,

---

[4] Por.: A. F. Holleman, *Trattato di chimica inorganica*. Przekład włoski B. Bruniego. Wyd. 2. Milano 1906, s. 401.

[5] Por.: G. Zuliani, *Elettrosiderurgia — ghisa — acciaio — ferroleghe*. Milano 1955, s. 66.

[6] E. Stassano, *Nuovo processo di estrazione del ferro dai suoi minerali*. „Annali della Società degli Ingegneri ed Architetti Italiani". Roma 1899, ss. 797—798.

tak, że po 1902 r. Stassano całkowicie zaprzestał redukowania rudy w piecu elektrycznym [7].

Przypomnieć wszakże należy, że idee Ernesta Stassana znalazły praktyczne zastosowanie we Włoszech, ale dopiero po uprzednim wypróbowaniu ich i udoskonaleniu w przemyśle zagranicznym. Szwedzkie towarzystwo „Elektrometal" przyjęło bowiem jego koncepcję wielkiego pieca elektrycznego i zaczęło budować takie piece na skalę przemysłową według projektu Grönwalla, Lindblada i Stahlhane'a. Korzystając z tych doświadczeń, włoskie towarzystwo „Ansaldo-Cogne" zainstalowało w 1917 r. w swych zakładach w Aosta piec elektryczny o mocy 3600 kW i dobowej wydajności 30 t żelaza [8].

Idea natomiast wykorzystania wypałków pirytowych w piecu elektrycznym znalazła praktyczne urzeczywistnienie dopiero w 1925 r. w zakładach Acciaierie e Ferriere Lombarde Falck, gdzie użyto norweskich pieców niskoszybowych, zamkniętych, typu Thysland-Hole, z odzyskiwaniem ciepła spalin i z ciągłymi elektrodami Södeberga. Firma potrafiła przy tym z wielką zręcznością nadać metodzie wykorzystywania wypałków charakter przemysłowy i uczynić ją zupełnie zadowalającą nie tylko z technicznego, ale i z czysto ekonomicznego punktu widzenia [9].

Korzystne wyniki ekonomiczne produkcja żelaza w piecach elektrycznych zawdzięcza przede wszystkim taniej energii elektrycznej, gdyż zarówno zakłady „Cogne", jak później A.F.L. Falck rozporządzały własnymi hydroelektrowniami o wielkiej mocy.

Stassano, porzuciwszy ideę redukcji rudy, poświęcił się teraz całkowicie badaniom nad wytopem i rafinacją stali. I w tej właśnie dziedzinie wywarł najgłębszy i najbardziej decydujący wpływ na dalszy rozwój elektrometalurgii żelaza.

„Stassano stopniowo udoskonalał swe piece: od pierwszych, jednofazowych i statycznych, przeszedł do obrotowych i przechylnych, a w końcu do wahadłowych z zawieszeniem Cardana, o pojemności do 5 t. Doszedł on do «superrafinacji» dzięki osiągnięciu dokładnej styczności

---

[7] Por.: L. Cambi, *op. cit.*, s. 5.

[8] Por.: A. Fossati, *Lavoro e produzione in Italia.* Torino 1951, s. 505.
W 1923 r. towarzystwo „Ansaldo-Cogne" rozpoczęło produkcję żelaza w piecach elektrycznych typu Grönwalla (były to zminiaturyzowane wielkie piece), osiągając w 1926 r. produkcję 5866 t. Te piece szybowe musiano jednak zarzucić, wymagały bowiem węgla drzewnego jako czynnika redukcyjnego (por.: A. Piccinini, *Fabbricazione ghisa e acciaio.* Milano 1938). W 1939 r. w zakładach „Nazionale Cogne" (jest to nowa, do dziś obowiązująca nazwa firmy) działały dwa piece elektryczne do produkcji surówki, typu szwedzkiego z ciągłymi elektrodami Södeberga, o mocy po 8000 kW i wydajności dobowej 50 t (por.: *Annuario della Industria Metallurgica Italiana.* Milano 1939, s. 135). Obecnie elektryczne wielkie piece firmy „Cogne" są już nieczynne.

[9] Zakłady A. F. L. Falck pierwsze we Włoszech i drugie w świecie produkowały poza tym surówki w piecach elektrycznych o elektrodach zanurzonych i zamkniętym sklepieniu, umożliwiającym rekuperację gazów. W 1964 r. w zakładach „Vulcano" w Sesto San Giovanni koło Mediolanu było czynnych 5 pieców typu Falck-Thysland przerabiających wypałki pirytowe, zamkniętych, trójfazowych, z których największy, wybudowany w 1961 r., miał moc 16 800 kW i wydajność dobową 120 t (por.: *Repertorio delle industrie siderurgiche italiane.* Milano 1964, s. 123). Obecne metody przeróbki wypałków pirytowych nie mają, oczywiście, nic wspólnego ze śmiałymi, lecz niezdecydowanymi próbami Ernesta Stassana, stanowiąc przy tym wyraźny postęp w stosunku do pierwotnych pieców typu Thysland-Hole.

metalu z żużlem, przy pozostawieniu żużlowi roli prowadzącej. Wreszcie poświęcił się stalom jakościowym, osiągając lepsze wyniki ekonomiczne i wyższą jakość produktu w porównaniu z przetopem w tyglu klasycznym.

Piece typu Stassana upowszechniły się w stalowniach europejskich. Niezaprzeczenie Stassano otworzył drogę stalom elektrycznym" [10].

Stassano pozostawał wierny swemu typowi pieca łukowego z elektrodami zawieszonymi poza wsadem, ten typ bowiem czynił zadość najbardziej rygorystycznym wymogom w zakresie kontroli procesu rafinacji i „superrafinacji" oraz większej swobody w uzyskiwaniu najbardziej szlachetnych rodzajów stali. Bez wątpienia Stassano dowiódł wyższości swego pieca w zakresie czystości produktu w porównaniu do pieców elektrycznych o elektrodach zanurzonych (Héroult i inni), a tym bardziej w porównaniu do pieców z trzonem przewodzącym (Girod i inni). Oba te typy jednak, mimo wielu braków pod względem chemicznym i metalurgicznym, szybciej zdobyły sobie popularność dzięki łatwiejszej obsłudze i większej pojemności (piec Stassana nie zdołał przekroczyć granicy 5 t, podczas gdy piece oparte na koncepcji Héroulta osiągnęły pojemność ponad 150 t), a przede wszystkim zapewne dzięki znacznie bardziej sprzyjającemu środowisku, w jakim wypadło działać Héroultowi i Girodowi, którzy byli zresztą wysokiej miary specjalistami i utalentowanymi wynalazcami.

W każdym razie Stassanowi przypada niewątpliwy zaszczyt wniesienia najbardziej doniosłego wkładu do elektrometalurgii żelaza dzięki pogłębieniu teoretycznej i praktycznej analizy podstawowych zasad działania żużla i wymiany zachodzącej między żużlem a metalem.

Dzieło Ernesta Stassana kontynuowali we Włoszech wybitni specjaliści, m.in. Bassanese, Angelini, Tagliaferri, Lubatti. Działając w korzystniejszych warunkach, zdołali oni osiągnąć doskonałe wyniki w dziedzinie pieców elektrycznych do produkcji stali.

Słabym punktem elektrycznego pieca łukowego były elektrody, których wysoki koszt i szybkie zużycie wpływały ujemnie na ekonomiczność eksploatacji. Poza tym, szczególnie w piecach o elektrodach zanurzonych i w piecach z przewodzącym trzonem, kąpiel metalowa ulegała zanieczyszczeniu odpadkami elektrod.

---

[10] L. Cambi, *op. cit.*, s. 5.

R. Pitaval w artykule *Les hommes d'origine* („Journal du Four Électrique et des Industries Électrochimiques", nr 4/1950, s. 93) pisze: „Stassano był niewątpliwie prekursorem w dziejach elektrometalurgii żelaza, jednakże ten ujmujący i powszechnie lubiany człowiek nie miał zmysłu praktycznego. Powiadano, że dosiadał on stale Chimery, a z tyłu siadał Pech. Piece Stassana, w mniejszym lub większym stopniu udoskonalone przez innych wynalazców, są stosowane głównie we Włoszech".

Gwoli prawdy należy zaznaczyć, że temu ostatniemu twierdzeniu przeczą dane statystyczne. W 1914 r. poza granicami Włoch było już zainstalowanych 11 pieców Stassana: 2 w Niemczech, 4 w Anglii, 2 w Austrii, 1 w Stanach Zjednoczonych i 2 w Rosji (por.: C. F. Bonini, *I processi termoelettrici nella siderurgia moderna.* Milano 1914, s. 15).

Poważnym wkładem do historii włoskiego hutnictwa żelaza, zwłaszcza odnośnie do rozwoju elektrometalurgii żelaza w okresie pierwszej wojny światowej, była praca: R. Catani, P. Jannaccone, *La grande industria siderurgica in Italia.* „La Riforma Sociale", nr 6/1917.

By zaradzić tym ujemnym zjawiskom, związanym z niedoskonałością ówczesnych elektrod, Szwed Frederik Adolf Kjellin (1872—1910) powrócił do systemu pieca oporowego i rozwiązał w 1899 r. problem wytwarzania i doprowadzania prądów niezbędnie wysokiego natężenia, uzyskując je na drodze indukcji w samym piecu.

Kjellin nawiązał tym samym do koncepcji, którą postawił Sebastiano Ziani de Ferranti (1864—1930) [11].

Ten prawdziwy pionier w dziedzinie stosowania elektryczności, obdarzony wybitnym talentem wynalazczym, urodził się w Liverpoolu. Był z pochodzenia Włochem i wywodził się z weneckiej rodziny Zianich, której przedstawiciel Sebastian był w 1172 r. czterdziestym pierwszym, a jego syn Piotr — czterdziestym czwartym dożą Republiki Weneckiej. W drugiej połowie XIX w. ojciec przyszłego wynalazcy osiedlił się w Liverpoolu, gdzie w 1860 r. ożenił się z córką malarza Williama Scotta.

Już w 1882 r. Ferranti, licząc zaledwie 18 lat, opatentował nowy typ prądnicy. Wynalazek ten zwrócił uwagę londyńskich sfer przemysłowych i w 1886 r. firma Grosvenor Gallery Company, która od 1883 r. stosowała oświetlenie elektryczne, powierzyła Ferrantiemu zadanie przeróbki szwankującej elektrowni w Deptford. Na przekór panującej wówczas opinii, młody technik zastosował niezmiernie ryzykownie prąd zmienny o napięciu 10 kV, stając się niebawem przywódcą szkoły, która przeciwstawiała się zgrupowanym wokół Edisona zwolennikom prądu stałego.

Pośród problemów, które wypadło Ferrantiemu zaatakować, był nowy typ transformatora (od niedawna wówczas dopiero doświadczalne konstrukcje Gaularda i Gibbsa oraz teoria Ferrarisa wprowadziły wbrew oporom to wspaniałe urządzenie do powszechnego użytku, otwierając tym samym drogę do zwycięstwa prądów zmiennych). W toku tych prac badawczych Ferranti przewidział możliwość przekształcenia w ciepło energii indukowanej i w 1887 r. opatentował w Anglii nowy typ pieca elektrycznego, wyposażonego w urządzenie transformatorowe, z tym, że miejsce uzwojenia wtórnego zajął metal znajdujący się w kolistym tyglu z ogniotrwałego i izolacyjnego materiału (*Aneks 2*).

Tak narodził się pierwszy piec indukcyjny. Warunki do jego rozwoju jednak jeszcze nie dojrzały, gdyż wysoki koszt energii elektrycznej nie pozwalał na opłacalną eksploatację. Musiało więc minąć 12 lat, nim Kjellinowi udało się zastosować piec indukcyjny do wytwarzania stali w hutach Gysinge w Szwecji.

Piece indukcyjne rozpowszechniały się jednak w niewielkim stopniu, i to nawet po wprowadzeniu pieców bezrdzeniowych wysokiej i bardzo wysokiej częstotliwości. Piece łukowe natomiast znalazły szerokie zastosowanie w produkcji i rafinacji stali we wszystkich krajach, w których istnieją znaczniejsze zasoby energii elektrycznej. Rozwój elektrometalurgii stali ilustruje tablica II, zawierająca dane z 1963 r. [12].

W ciągu ostatnich 70 lat wprowadzono do konstrukcji pieca elektrycznego wiele istotnych udoskonaleń, zwłaszcza odnośnie do spraw-

---

[11] Por. w nrze 3—4/1964 „Kwartalnika" (s. 460) informację o wystawie w Londynie poświęconej stuleciu urodzin Ferrantiego. (Przypis redakcji).

[12] Jak wynika z tablicy II, w niektórych krajach, i to zarówno takich, które produkują ograniczone ilości stali (np. Szwajcaria, Norwegia, Finlandia), jak i takich, które produkują jej wiele (np. Japonia, Włochy, Szwecja), produkcja w piecach elektrycznych stanowi podstawowy element rozwoju hutnictwa stali.

Tablica II

	Kraj	Udział stali elektrycznej w ogólnej produkcji stali, w %%	Ogólna produkcja stali w tys. t	Produkcja stali elektrycznej w tys. t
1	Szwajcaria	100,0	322	322
2	Norwegia	70,4	543	382
3	Finlandia	57,6	313	180
4	Szwecja	45,0	3 871	1 742
5	Włochy	42,0	10 157	4 266
6	Meksyk	38,3	2 017	772
7	Japonia	20,8	31 501	6 552
8	Hiszpania	15,9	2 277	362
9	NRD	13,3	3 626	482
10	Czechosłowacja	12,5	7 597	950
11	Kanada	12,0	7 429	891
12	Stany Zjednoczone	11,5	99 100	11 396
13	Austria	11,1	2 947	327
14	Holandia	10,3	2 347	242
15	Jugosławia	9,4	1 588	149
16	ZSRR	8,9	80 200	7 138
17	Francja	8,9	17 557	1 562
18	Rumunia	8,9	2 630	234
19	Węgry	8,5	2 374	202
20	NRF	7,9	31 597	2 496
21	Polska	7,6	8 003	608
22	Wielka Brytania	7,1	22 881	1 624
23	Dania	6,0	359	21
24	Belgia	5,9	7 523	444
25	Luksemburg	1,6	4 031	64
26	Turcja	0,5	331	2
	Łącznie 26 krajów	10,8	353 221	43 409

ności cieplnej i elektrycznej, obsługi i kosztów eksploatacji. Wielką jednak zasługą Ernesta Stassana było to, że po raz pierwszy w sposób wysoce racjonalny postawił problem budowy i zastosowania pieców łukowych w elektrometalurgii żelaza.

ANEKS 1

ZGŁOSZENIE ERNESTA STASSANA Z 1898 R. O WŁOSKI PATENT PRZEMYSŁOWY NR 47 476
(przekład z włoskiego)

Opis wynalazku pod tytułem: „Nowy elektrometalurgiczny proces produkcji żelaza, stali oraz stopów żelaza z chromem, wolframem, niklem itp.".

Autor: Ernesto Stassano, Rzym.

Obmyślona przeze mnie nowa metoda produkcji żelaza i stali, jak również stopów żelaza z chromem, wolframem, niklem itp., będąca przedmiotem niniejsze-

go patentu, polega na wyzyskaniu wypromieniowywanego przez łuk elektryczny ciepła do wywołania redukcji tlenków żelaza oraz innych metali, z którymi żelazo ma utworzyć określony stop, kosztem węgla wprowadzonego do pieca z wymienionymi tlenkami, a następnie stopienie powstałych w ten sposób mas metalicznych, które, przeszedłszy w stan ciekły, gromadzą się na dnie pieca, a następnie odlewane są w specjalnych formach, by w końcu znaleźć odpowiednie zastosowanie w przemyśle.

W tym celu rudę, przygotowaną w sposób szczegółowo opisany poniżej, wprowadza się do pieca elektrycznego, który przedstawiają załączone rysunki [ryc. 2]. W piecu ruda zostaje poddana działaniu ciepła wydzielanego przez łuk elektryczny, znajdujący się w dolnej jego części.

Piec, o którym mowa, składa się z szybu *A* mającego kształt dwu stożków ściętych o wspólnej podstawie. Przedłużeniem ich od spodu jest trzeci stożek lub tygiel *C* o lekko pochyłych ściankach, zamknięty w części dolnej i zaopatrzony w otwór spustowy *f*, którym odpływa gromadzący się tam metal w stanie płynnym.

Na wysokości tygla wmontowane są wewnątrz pieca dwie elektrody węglowe *c*, połączone z biegunami źródła energii elektrycznej. Między elektrodami płonie łuk elektryczny.

Górną część pieca zamyka dzwon *T* zaopatrzony w podwójne zamknięcie, tak że gdy otwiera się dolny stożek za pomocą hermetycznej klapy *O* w celu wprowadzenia rudy do wnętrza pieca, powietrze z zewnątrz nie wchodzi w bezpośredni kontakt z wnętrzem pieca.

W górnej części pieca są umieszczone ponadto dwa otwory zaopatrzone w rury, którymi wydostawać się mogą na zewnątrz uboczne produkty zachodzących w piecu reakcji.

U wylotu tych rur znajdują się zawory o zamknięciu hydraulicznym, nie uwidocznione na rysunku. Celem ich jest zapobieganie wtargnięciu powietrza do wnętrza pieca w wypadku, gdy znajdujące się tam gazy nie mają dostatecznego ciśnienia.

Przygotowanie rudy odbywa się w następujący sposób:

Niezależnie od tego, czy chodzi o tlenki czy też o węglan żelaza, rudę poddaje się najpierw dokładnemu sortowaniu, a następnie — przy użyciu odpowiednich urządzeń — kruszy, zamienia w proszek i przesiewa.

Tak otrzymany proszek płucze się, suszy i w końcu przepuszcza przez separator magnetyczny w celu usunięcia resztek skały płonnej, która — po sproszkowaniu — stanowi domieszkę rudy.

Następnie na podstawie dokładnej analizy próbek pobranych z kilku miejsc ustala się skład rudy, by móc określić ilość węgla oraz wapienia lub krzemionki, niezbędnych do zredukowania rudy, ożużlenia resztek zanieczyszczeń oraz nawęglenia otrzymanego drogą redukcji żelaza; wszystko to w celu uzyskania produktu końcowego o założonej z góry jakości.

Po tej czynności dokonuje się dokładnego wymieszania rudy z określonymi ilościami wymienionych składników, również sproszkowanych. Całość zostaje nawilżona pewną ilością wody (5—10%), a następnie sprasowana przy pomocy prasy hydraulicznej lub innego podobnego urządzenia o nacisku 150—200 kG/cm².

Tak otrzymaną masę suszy się, a następnie rozdrabnia w specjalnym łamaczu na kostki o boku 3—4 cm, stanowiące nabój pieca.

Gdy celem jest wyprodukowanie stopów żelaza, do rudy dodaje się, równocześnie z węglem i topnikami, odpowiednią ilość tlenku metalu, z którym żelazo ma utworzyć stop, tak aby produkt końcowy uzyskał wymaganą charakterystykę.

Przedmiot zastrzeżeń patentowych

1. Wyzyskanie energii cieplnej łuku elektrycznego do wywołania redukcji tlenków żelaza oraz redukcji metali, które z żelazem mają stworzyć stopy, następnie zaś stopienie uzyskanych w ten sposób mas metalicznych w celu osiągnięcia produktu końcowego w stanie ciekłym.

2. Przygotowanie rudy według powyższego opisu, kształt pieca widoczny na załączonych rysunkach oraz urządzenia służące do jego zamykania, również uwzględnione w poprzednim opisie i uwidocznione na rysunkach.

Data zgłoszenia: 7 marca 1898 r.

ANEKS 2

ZGŁOSZENIE SEBASTIANA ZIANIEGO DE FERRANTIEGO O ANGIELSKI PATENT NR 700 Z 1887 R.
(przekład z angielskiego)

Data wniosku	15 stycznia 1887 r.
Złożenie całości	15 stycznia 1887 r.
Akceptacja całości	15 stycznia 1887 r.

Rok 1887, 15 stycznia, nr 700.

Specyfikacja:

Ulepszenia konstrukcji i działania pieców elektrycznych oraz urządzeń do ogrzewania, oświetlania i przeprowadzania procesów chemicznych.

Ja, Sebastian Ziani de Ferranti, zamieszkały w West Kensington, Stanwich Road 5, hrabstwo Middlesex, elektryk, oświadczam, że istota niniejszego wynalazku jest następująca:

W wynalazku tym buduję piec elektryczny w ten sposób, że prąd krążący w tyglu lub pojemniku nie jest doprowadzany z zewnątrz, lecz jest wynikiem lokalnych prądów indukowanych przy użyciu bądź zmiennego pola magnetycznego, bądź pola wirowego lub ruchomego.

W ten sposób uzyskuje się piec elektryczny bez elektrod w tyglu, unikając przez to jakiegokolwiek oddziaływania elektrod na metal oraz rudę przetapianą lub redukowaną.

Jednym ze sposobów łatwego uformowania pieca jest wykonanie tygla w postaci podłużnego poziomego pierścienia, z rdzeniami magnetycznymi sterczącymi w górę poprzez otwartą przestrzeń w środku oraz umieszczonymi na zewnątrz każdego z dłuższych spłaszczonych boków i z izolowanym przewodem nawiniętym pomiędzy biegunami poniżej tygla. Przewody izoluję najchętniej za pomocą gliny ogniotrwałej, azbestu lub żużla.

Bieguny centralne i zewnętrzne są u dołu połączone tak, by tworzyły dwa podkowiaste magnesy, z których każdy obejmuje po jednym z dłuższych boków tygla.

Połączenia umieszczone są również nad wierzchołkami biegunów, dają się one jednak usuwać, tak że do tygla łatwo można się dostać i załadować go materiałem.

Tygiel jest ciągłym korytkiem, od góry otwartym. Przewidziana też jest odpowiednia pokrywa, za pomocą której przykrywa się go w czasie działania pieca.

Cały piec można zmontować na czopach wystających ze środka jego dłuższych boków, wówczas daje się on przechylać, umożliwiając wylanie płynnej zawartości tygla jednym z jego końców.

Gdy piec ma służyć do wytapiania metalu lub redukowania rudy, wówczas buduję tygiel lub pojemnik z materiału ogniotrwałego, a w razie potrzeby wykładam go wyprawą z jakiejś ogniotrwałej substancji.

Jeżeli w tyglu ma być redukowana ruda metalu, wówczas — dla zapewnienia przewodnictwa w momencie rozruchu — umieszczam dokoła wnętrza kawałki drutu lub krążki wycięte z cienkich blach metalu zawartego w rudzie lub metalu, który z tym ostatnim ma utworzyć stop. By osiągnąć ten sam cel, można również umieścić dokoła wnętrza granulowany materiał przewodzący, elastyczną sztabkę węgla lub nawęglony papier.

Jeżeli redukcja rudy wymaga użycia węgla, można cienkie jego warstwy przekładać cienkimi warstwami rudy albo też w miarę rozwijania się procesu redukcji dostarczać tyglowi gazu czy też pary bogatej w węgiel. Do pewnych procesów metalicznych zaleca się, w razie potrzeby, tworzyć w tyglu próżnię w celu ekstrakcji gazów.

Przy stosowaniu kilku pieców można je ustawić równolegle na obwodzie wzbudnicy. Można także do każdego z pieców doprowadzać prąd za pomocą tzw. rozdzielaczy.

Regulacja działania kilku pieców możliwa jest też przy użyciu oporów indukcyjnych [13].

Jeżeli piec ma służyć do zagotowywania lub podgrzewania cieczy, zamiast ogniotrwałego tygla można użyć kociołka mosiężnego lub miedzianego.

Tak więc piec może służyć do zagotowywania wody lub ogrzewania; może też służyć do celów kucharskich lub np. do podgrzewania wody w rurze czy w kotle stanowiących części obwodowej aparatury ogrzewczej. Pieca tego można też używać do rozkładania cieczy zawartych w kociołku lub naczyniu z materiału izolacyjnego oraz do strącania z nich metalu w wypadkach, gdy nie jest wskazane oddziaływanie na ciecze za pomocą prądów elektrycznych przepływających przez elektrody.

Gdy piec ma służyć do uzyskiwania światła, można użyć płytkiego, otwartego górą tygla, w którym umieszcza się sproszkowany węgiel lub metal taki, jak platyna lub iryd. W tym ostatnim wypadku tygiel można uformować z zaprawy wapiennej.

ВКЛАД ИТАЛИИ В РАЗВИТИЕ ЧЕРНОЙ ЭЛЕКТРОМЕТАЛЛУРГИИ

Итальянские изобретатели Эрнесто Стассано и Себастиано Циани де Ферранти внесли большой пионерский вклад в дело электрометаллургического производства стали.

Эрнесто Стассано (1859—1922) родился в Неаполе. Сначала служил в артиллерии. Проявив большие технические и научные способности, он поступил в 1886 г. на оружейный завод в Терни, а затем переехал в Рим, где до 1898 г. находился на службе в командовании артиллерийскими войсками. В эти годы он занимался классификацией стали и управлял сталелитейным заводом. Стассано всесторонне изучил теоретические основы фришевания и рафинирования стали. Он был прежде всего химиком-металлургом. Располагая большим запасом теоретических и практических знаний в этой области, он занялся исследованием проблемы использования электроэнергии в производстве стали.

Опатентование в 1879 г. Уилиамом Сименсом электропечи для выплавки стали в сущности не имело практического эффекта. Более значимым событием в истории металлургии явилось использование в 1886 г. одновременно П. Эрультом во Франции и Ч. Холлом в США

[13] W oryginale: *induction resistances.* (Przypis redakcji).

электрических печей для выплавки аллюминия, а в 1892 г. применение Муассаном электропечи для производства карбида. Стассано работал над решением совершенно новой проблемы. Он поставил себе задачу найти способ непосредственной выплавки стали из руды с помощью одной установки, в которой происходили бы все химические реакции (восстановительная плавка, цементация, фришевание), позволяющие получить металлургическое изделие требуемого качества. Стассано знал, какую роль играет состав шлака в процессе производства стали. Поэтому он уделял большое внимание подбору состава шихты для своей печи.

В результате исследований, проведенный Стассано в 1896—1898 гг., он изобрел новую дуговую электропечь с подвесными электродами. Он считал, что такого типа печь отвечает всем необходимым условиям правильного контроля за процессом рафинирования стали и что она обеспечивает больше возможностей выплавки различных сортов качественных сталей. Стассано доказал, что с точки зрения качества получаемого продукта его печь безусловно превосходит электропечи с погруженными электродами (Эрульт и др.), а тем более печи с проводящим подом (Жирод и др.).

Особого внимания заслуживают экспериментальные опыты Стассано с пиритовыми огарками, проведенные в 1901 г. На территории ломбардской равнины находилось большое количество таких огарков с содержанием 40—50% Fe отходов производства серы и ее соединений. Пиритовые огарки служили дешевым материалом для шихты, а притом использование их для этой цели позволяло ликвидировать отвалы в этом районе. Стассано извлекал из этого материала экспериментальным путем металл, отличавшийся очень небольшим содержанием серы (0,06%), что позволяло рассчитывать на возможность дальнейшего повышения степени десульфурации.

Однако предложенный Стассано метод использования пиритовых огарков для плавки в электропечах нашел практическое применение лишь в 1925 г. Он был внедрен тогда на заводе Acciaierie e Ferriere Lombarde Falck и оказался весьма эффективным как в техническом, так и экономическом отношениях.

Себастиано Циани де Ферранти (1864—1930) — талантливый изобретатель тоже занимался пионерскими исследованиями в области электрометаллургии производства стали. Родился в Ливерпуле, но был итальянцем. Происходил из древнего венецианского рода дожей Циани.

В 1882 г. Ферранти, будучи 18-летним юношей, опатентовал свое изобретение — новый тип генератора. Вопреки распространенным в молодых отраслях современной техники взглядам он, не побоявшись риска, применил переменный ток напряжением 10 кв. Вскоре он возглавил новую школу, которая выступала против идей сторонников применения постоянного тока, группировавшихся вокруг Эдисона.

В своих исследованиях Ферранти предусмотрел, что индуцированную энергию можно преобразовать в тепловую энергию. В 1887 г. он получил в Англии патент на свое новое изобретение — электропечь с трансформаторным устройством, причем вместо вторичной обмотки он применил металл, поместив его в круглом тигеле, сделанном из огнеупорного изоляционного материала. Так возникла первая индукционная печь. Однако она долгое время не находила применения в промышленности, так как высокая стоимость электроэнергии делала ее эксплуатацию нерентабельной. Наконец, двенадцать лет спустя Фридриху Киеллину удалось внедрить индукционную печь для производства стали на металлургическом заводе Гисинге в Швеции.

DUE PIONIERI ITALIANI NEL CAMPO DELL'ELETTROSIDERURGIA

L'Italia ha dato due pionieri nel campo dell'elettrosiderurgia: Ernesto Stassano e Sebastiano Ziani de Ferranti.

Ernesto Stassano (1859—1922), nato a Napoli, abbracciata la carriera militare in artiglieria, si dedicò con passione, presso la Fabbrica d'armi di Terni, e presso

l'Arsenale di Torino, allo studio degli acciai e alla pratica della fonderia. Con questo bagaglio di conoscenze teoriche e pratiche, studiò a fondo l'impiego del forno elettrico ad arco nella produzione della ghisa e dell'acciaio.

Dopo il primo tentativo del 1879 di William Siemens, rimasto senza seguito; dopo le brillantissime realizzazioni di Héroult con la produzione dell'alluminio mediante l'elettrolisi di un bagno fuso; e di Moissan con lo sfruttamento del solo calore, alle altissime temperature del suo forno elettrico, Stassano affrontò per primo, su basi scientifico-sperimentali la produzione diretta della ghisa al suo primo altoforno elettrico (una combinazione di altoforno e di forno elettrico), partendo direttamente dal minerale di ferro, e poi all'affinazione degli acciai in forno elettrico chiuso; tenendo sempre presente la composizione delle scorie come elemento determinante della qualità finale dell'acciaio affinato.

Lo Stassano rimase sempre fedele al suo tipo di forno, con l'arco formantesi fra gli elettrodi nell'aria, senza toccare il materiale in fusione, come quello che assicurava la maggiore purezza dell'acciaio in confronto ai forni ad arco ad elettrodi pescanti (tipo Héroult) o a suola conduttrice (tipo Girod). Si trattava dunque sempre di un processo puramente termoelettrico, come quelli del Moissan che l'aveva preceduto: un procedimento cioè nel quale entrava soltanto il fenomeno calorifico, senza nessun intervento di fenomeni elettrolitici.

Importante anche l'idea di Stassano di utilizzare le ceneri di pirite per la produzione diretta della ghisa al forno elettrico, idea ripresa più tardi dalle Acciaierie & Ferriere Lombarde Falck, che riuscirono a sviluppare il procedimento su scala industriale, con ottimi risultati tecnici ed economici.

Sebastiano Ziani de Ferranti (1864—1930), appartenente ad antichissima famiglia veneziana che aveva dato due Dogi alla Repubblica, nacque a Liverpool, dove il padre si era recentemente trasferito. Appassionato di elettrotecnica, pieno di fiducia, in contrasto con Edison e i suoi collaboratori, nelle correnti alternate che facevano allora timidamente i primi passi nelle utilizzazioni pratiche, e di cui, giovanissimo, aveva fatto importanti applicazioni in Inghilterra, ebbe per primo l'idea, nel 1887, di un trasformatore il cui secondario era costituito dal metallo in fusione. Quest'idea si concretò nel primo forno a induzione. Data l'immaturità dei tempi, questo forno non ebbe sviluppo immediato, finché, 12 anni più tardi, nel 1899, diminuito il costo dell'energia elettrica, lo svedese Kjellin riprese la vecchia idea di Ziani de Ferranti, e costruì, per primo su scala industriale, il suo forno a induzioni, impiegato nella acciaierie di Gysinge nel Dallelf (Svezia) per la produzione dell'acciaio.