

# HUTNIK



7

1954

CZASOPISMO NAUKOWO-TECHNICZNE POŚWIĘCONE ZAGADNIENIOM HUTNICTWA  
WYDAWNICTWO GÓRNICZO-HUTNICZE – STALINOGRÓD

# T R E Ś C

	Str.
E. W. Drogi rozwoju socjalistycznego przemysłu hutniczego w okresie dziesięciolecia Polski Ludowej . . . . .	205
PROF. DR INŻ. WŁADYSŁAW ŁOSKIEWICZ. 100 lat hutnictwa aluminium 1854—1954 . . . . .	207
MGR INŻ. JULIAN KWIATKOWSKI. Otrzymywanie tlenku glinu . . . . .	212
INŻ. MAREK BRAFMAN. Kierunki rozwoju produkcji aluminium za pomocą elektrolizy . . . . .	217
INŻ. ZOFIA MAŚLANKA-ORMAN. Elektrolityczna rafinacja aluminium . . . . .	224
DR ERWIN KAMIEŃSKI. Przeróbka hutnicza oraz zastosowanie aluminium i jego stopów . . . . .	227
INŻ. MARIAN ORMAN. Przerób złomu aluminiowego . . . . .	229
NOWOŚCI Z DZIEDZINY HUTNICTWA . . . . .	235
SŁOWNICTWO HUTNICZE . . . . .	241
NOTATKI BIBLIOGRAFICZNE . . . . .	241
PRZEGLĄD CZASOPISM . . . . .	243



## СОДЕРЖАНИЕ

Э. В. Пути развития социалистической металлургической промышленности за период десятилетия народной Польши
ВЛ. ЛОСКЕВИЧ. 100 лет металлургии алюминия 1854—1954
Ю. КВЯТКОВСКИ. Получение окиси алюминия
М. БРАФМАН. Пути развития производства алюминия при помощи электролиза
З. МАСЬЛЯНКА-ОРМАН. Электролитическое рафинирование алюминия
Э. КАМЕНЬСКИ. Металлургическая переработка и применение алюминия и его сплавов
М. ОРМАН. Переработка алюминиевого скрапа
НОВОСТИ ИЗ ОБЛАСТИ МЕТАЛЛУРГИИ
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКАЯ ТЕРМИНОЛОГИЯ
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ЗАМЕТКИ
ОБЗОР ЖУРНАЛОВ

## CONTENTS

E. W. Development trends in socialist metallurgical industry in the periode of ten years of People's Poland
W. ŁOSKIEWICZ. Hundred years of aluminium metallurgy 1854 — 1954
J. KWIATKOWSKI. Recovery of aluminium oxide
M. BRAFMAN. Development trends in aluminium production by electrolysis
Z. MAŚLANKA-ORMAN. Electrolytic refinement of aluminium
E. KAMIEŃSKI. Metallurgical treatment and application of aluminium and its alloys
M. ORMAN. Preparation of aluminium scrap
METALLURGICAL NEWS
METALLURGICAL NOMENCLATURE
BIBLIOGRAPHICAL NOTES
REVIEW OF PERIODICALS

ADRES REDAKCJI I ADMINISTRACJI: STALINOGRÓD, UL. STAWOWA 19. TEL. 324-44/45  
KOLPORTAŻ: PPK „RUCH“ STALINOGRÓD, UL. 3 MAJA 16. TEL. 375-43

WARUNKI PRENUMERATY: ABONAMENT: OPLATA NORMALNA ROCZNIE 108,— ZŁ

KONTO PKO STALINOGRÓD III-13763/110. CENA ZESZYTU POJEDYNCZEGO 9,— ZŁ

# HUTNIK

CZASOPISMO NAUKOWO-TECHNICZNE POŚWIĘCONE ZAGADNIENIOM HUTNICTWA

ROCZNIK XXI

STALINOGRÓD – LIPIEC 1954

NR 7

669. 011 : 338. 9 (438) „1945 – 1954

## Drogi rozwoju socjalistycznego przemysłu hutniczego w okresie dziesięciolecia Polski Ludowej

Szybki rozwój socjalistycznego przemysłu hutniczego w Polsce Ludowej zapewniony został ustawą o Planie 6-letnim, a konieczność jego nieustannego wzrostu podkreślona została w art. 3 i 7 Konstytucji, które stwierdzają, że: „Polska Rzeczpospolita Ludowa zapewnia rozwój i nieustanny wzrost sił wytwórczych kraju przez jego uprzemysłowienie, przez likwidację zacofania gospodarczego, technicznego i kulturalnego” oraz że „Polska Rzeczpospolita Ludowa, opierając się na uspołecznionych środkach produkcji, wymiany, komunikacji i kredytu, rozwija życie gospodarcze i kulturalne kraju na podstawie narodowego planu gospodarczego, w szczególności przez rozbudowę państwowego przemysłu socjalistycznego, rozstrzygającego czynnika w przekształceniu stosunków społeczno-gospodarczych.“

W myśl tych założeń cała Polska stała się wielkim placem budowy. Nie ma prawie takiego zakątka w naszym kraju, w którym nie powstawałyby nowe obiekty produkcyjne, nowe osiedla, budynki przeznaczone na cele ochrony zdrowia lub upowszechnienia oświaty.

Uwaga całego społeczeństwa w coraz wyraźniejszy sposób skupia się wokół podstawowych obiektów, decydujących o wykonaniu Planu 6-letniego, o zbudowaniu podstaw socjalizmu, wokół wielkich budowli socjalizmu.

Te obiekty pochłaniają ogromne środki finansowe, gromadzone przez państwo przede wszystkim na drodze akumulacji socjalistycznego przemysłu. Budowa tych obiektów wymaga ogromnej koncentracji zasobów materialnych, sprzętu budowlanego, siły roboczej, kadr kierowniczych i personelu inżynieryjno-technicznego.

Realizując wielki program socjalistycznego uprzemysłowienia Polski idziemy śladami Związku Radzieckiego, śladami sławnych stalinowskich planów pięcioletnich, które przekształciły wielki i bogaty, ale zacofany i nieuprzemysłowiony niegdyś kraj w przodujące socjalistyczne mocarstwo przemysłowe, w kraj zwycięskiego socjalizmu. Realizując nasz Plan 6-letni wnosimy swój wkład w dzieło obrony i utrwalenia pokoju, w niezwykłą siłę obozu pokoju i socjalizmu.

Nasze wielkie budowle socjalizmu przeobrażają nasz kraj z zacofanego, rolniczego, stanowiącego dawniej surowcowo-rolniczą półkolonię świata kapitalistycznego, w niezależne i nowoczesne państwo przemysłowo-rolnicze, mocne ogniwo światowego obozu pokoju, demokracji i socjalizmu.

Wśród naszych wielkich budowli socjalizmu naczelną rolę zajmują budowy hutnicze. Rozwój hutnictwa żelaza ma podstawowe znaczenie dla uprzemysłowienia naszego kraju: bez potężnego rozwoju hutnictwa nie może się rozwinąć przemysł maszynowy, serce ciężkiego przemysłu, od którego zależą rekonstrukcja techniczna i rozwój wszystkich gałęzi gospodarki narodowej. Przewidziane w Planie 6-letnim podwojenie pro-

dukcji naszego hutnictwa w 1955 r. wymaga, prócz modernizacji i lepszego wyzyskania istniejącego potencjału produkcyjnego, budowy nowych wielkich obiektów, nowych wielkich pieców martenowskich, walcowni, koksowni, spiekalni, składowisk rudy, elektrowni, zbiorników wodnych, stacji kolejowych, węzłów drogowych itd.

Należy zatem, zestawiając bilans osiągnięć polskiego socjalistycznego przemysłu hutniczego, rozpocząć od stwierdzenia niskiego jego stanu w okresie międzywojennym. Wystarczy uprzytomnić sobie, że w latach od 1918 ÷ 1938, w okresie upadku naszego przemysłu, produkowaliśmy w przeliczeniu na głowę ludności 25 do 45 kg stali. Podczas 20 lat istnienia Polski przedwojennej produkcja przemysłu nie przewyższała poziomu 1913 r., a na wielu ważnych odcinkach (węgiel, nafta, stal, cynk, itp.) spadła poniżej tego poziomu.

W Polsce Ludowej wskaźnik ten wzrasta szybko z roku na rok i osiągnął już 145 kg. Na przestrzeni lat 1946 do 1953 coroczny wzrost produkcji hutniczej był u nas procentowo niemal dwa razy wyższy niż w Anglii, prawie cztery razy wyższy niż we Francji i sześć razy wyższy niż we Włoszech. Dzięki ofiarnemu wysiłkowi i wytrwałej pracy hutników, techników i inżynierów, pod kierownictwem naszej Partii staliśmy się dzisiaj potęgą stalową.

Szybki rozwój tej potęgi stalowej datuje się od chwili, gdy w dniu 26 kwietnia 1950 r. pierwszy robotnik wyrzucił pierwszą łopatę ziemi pod budowę naszej Nowej Huty — kombinatu im. Lenina. Nowa Huta pod Krakowem jest największym obiektem Planu 6-letniego. Jest to wielki kombinat hutniczy realizowany w skali dotychczas u nas — i nie tylko u nas — nie spotykanej. Budujemy gigant przemysłowy, jeden z największych na świecie, składający się z 9 oddziałów, z których każdy — to wielka fabryka z dziesiątkami wielkich obiektów. Są nimi: fabryka przygotowania rudy, wytwórnia koksu, oddział wielkopiecowy, oddział stalowni, zespół oddziałów walcowni, zespół warsztatów remontowych, zespół energetyczny z własną ogromną elektrownią, wytwórnia materiałów ogniotrwałych, wytwórnia prefabrykatów.

Sam kombinat przemysłowy zamuje obszar 475 ha. Nowa Huta będzie dostarczała 1½ miliona tonn stali surowej rocznie, tzn. mniej więcej tyle, ile wynosiła cała roczna produkcja hutnicza przedwojennej Polski. Nowa Huta wznoszona jest całkowicie na podstawie radzieckiej dokumentacji technicznej. Związek Radziecki dostarcza również w komplecie wszystkich podstawowych urządzeń produkcyjnych. Budowniczość Nowej Huty korzysta też ze stałych konsultacji radzieckiego doradcy. Już w roku bieżącym nasz kombinat metalurgiczny im. Lenina będzie hutą nie tylko z nazwy. Rozpocznie produkcję sześć nowych gigantów: siłownia, oddział wielkopiecowy, spiekalnia, pierwsze baterie ko-

ksownicze, pierwsze piece martenowskie i kolos-zgniatacz.

Rok 1954 będzie rokiem przełomowym w dziejach polskiego hutnictwa. W jubileuszowym roku dziesięciolecia Polski Ludowej uruchomimy i oddamy do użytku czternaście kompleksów rozruchowych i obiektów głównych, cztery podstawowe jednostki hutnicze w drugim kwartale, pięć — w trzecim, pięć — w czwartym, a więc blisko sześć razy więcej niż roku ubiegłego w hucie im. Bolesława Bieruta.

Huta im. Bolesława Bieruta w Częstochowie jest drugą wielką budową naszego hutnictwa. Inwestycja ta składa się właściwie z dwóch części: z rozbudowanej starej huty Raków i z budowanych na nowych terenach nowych zakładów. W latach 1949 ÷ 1952 zbudowano w Rakowie nową stalownię składającą się z sześciu pieców martenowskich i nowej walcowni. Wybudowany został zakład wielkopieczowy wraz z obiektami gospodarki energetycznej i wodnej oraz sieć drogową i kolejową. W 1953 r. uruchomiono dwa wielkie piece, w niedługich odstępach czasu rozpoczyna produkcję dalsze zespoły. Już dziś rozmiary budownictwa w hucie częstochowskiej osiągają około połowy rozmiarów budownictwa przemysłowego Nowej Huty. Po zakończeniu rozbudowy huta im. B. Bieruta nie będzie obiektem wiele mniejszym niż krakowska Nowa Huta.

Huta im. B. Bieruta korzysta również z dużej pomocy radzieckiej w postaci urządzeń jak turbodmuchawa, urządzenia skipowe, urządzenia spiekalni, automatyka dla wielkich pieców, kompletna walcownia, dokumentacja i większa część urządzeń koksowni. Konsultacje radzieckich projektodawców wpłynęły decydująco na ostateczne ukształtowanie się planu generalnego huty. Poza tym jednak zarówno dokumentacja, jak i urządzenia są dziełem polskich inżynierów, techników i robotników.

Trzecią wielką inwestycją hutniczą jest rozbudowa huty Kościszko w Chorzowie. W ubiegłych latach zbudowano tu jako pierwsze w Polsce Ludowej, wielkie piece „B“ i „C“. Przy budowie wielkich pieców w hucie Kościszko korzystaliśmy z pomocy radzieckiej w postaci urządzeń zespawanych, wagonu-wagi, napędu skipu, kompletnej automatyki oraz kompresora urządzeń sygnalizacyjnych i turbodmuchawy, jak również z pomocy konstruktorów radzieckich przy montażu.

Duże znaczenie dla naszego hutnictwa ma zbudowana w hucie Bobrek wielka walcownia-zgniatacz o wydajności przekraczającej wielokrotnie istniejące dotąd w kraju tego typu urządzenia. Brak podobnego zgniatacza był słabym punktem naszego hutnictwa. Gdy dyskryminacyjna polityka rządu amerykańskiego uniemożliwiła wywiezienie takiego zgniatacza ze Stanów Zjednoczonych, gdzie został on nabyty przez polski przemysł hutniczy, rząd radziecki, pospieszył nam z pomocą. Przemysł radziecki dostarczył kompletne urządzenia mechaniczne i elektryczne zgniatacza. Zgniatacz uruchomiono w 1952 r.

Rozbudowa naszego hutnictwa nie ogranicza się do wymienionych tu wielkich obiektów. Niemal każda ze starych hut polskich uległa rozbudowie, rekonstrukcji i modernizacji. Całkowicie nowe lub przebudowane są stalownie i walcownie w hutach „Dzierżyński“, „Stalin“, „Jedność“, „Florian“, „Nowotko“, „Zawiercie“. W generalnej rekonstrukcji znajdują się huty „Pokój“, „Batory“ i „Baildon“. W budowie jest huta cynkowo-olowiana w Bolesławcu, miedzi — w Legnicy, aluminium — w Skawinie.

Wiele gałęzi przemysłu maszynowego wymaga stali wysokiej jakości. Należą do nich np. przemysł samochodowy, elektrotechniczny, precyzyjno-optyczny, obrabiarkowy, kotłowy, turbinowy i okrętowy. Tym wymaganiom sprostać będzie mogła w coraz większym

stopniu budowa huty stali specjalnych „Warszawa“, rozpoczęta w 1952 r. na podstawie kompletnej radzieckiej dokumentacji technicznej i radzieckich dostaw urządzeń. W najbliższych latach obiekt ten stanie się jedną z głównych pozycji naszego hutnictwa. Uruchomienie tej huty podniesie o całą klasę poziom naszego hutnictwa i całego przemysłu.

Dzięki tym ciągłym ulepszeniom konstrukcji urządzeń hutniczych i budowie nowych obiektów hutniczych średnia objętość wielkich pieców w Polsce osiąga 1000 m<sup>3</sup>, gdy w 1938 r. nie przekraczała ona 200 m<sup>3</sup>. Nie mieliśmy wówczas wielkich pieców o całkowicie zmechanizowanym załadunku, gdy dziś w Polsce Ludowej udział surówki wytopionej w piecach o zmechanizowanym załadunku materiałów przekroczył 75 %, w tym w piecach o całkowitej mechanizacji i automatyzacji 34 %. Zlikwidowano też całkowicie ręczne ładowanie pieców martenowskich, zapoczątkowano w niektórych z nich automatyzację procesów cieplnych. Znaczne postępy uzyskano w mechanizacji i elektryfikacji walcowni.

To wszystko w sumie przyczynia się nie tylko do szybkiego wzrostu naszej produkcji hutniczej, ale jednocześnie zmienia charakter pracy hutnika, przekształca go z fizycznie ciężko pracującego robotnika w sternika maszyn i urządzeń. Wzrastające zatem zadania produkcyjne, które przed przemysłem hutniczym stawia gospodarka narodowa, stają się realne i wykonalne dzięki rozwojowi postępu technicznego, który stanowi jedną z gwarancji wykonania planów produkcyjnych. Instalowanie nowoczesnych urządzeń oraz opanowanie postępowych metod produkcji i wprowadzenie usprawnień organizacyjno-technicznych pozwala na osiąganie szybszych i lepszych wyników przy jednoczesnym zmniejszaniu nakładu pracy i zwiększaniu jej bezpieczeństwa. Stały postęp techniczny umożliwił po raz pierwszy w historii polskiego hutnictwa osiągnięcie liczby 8 tysięcy tonn surówki, 10 tysięcy tonn stali i 5 tysięcy tonn rudy żelaza dziennej produkcji.

Tymi osiągnięciami, które torują drogę do dalszych lepszych jeszcze rezultatów produkcyjnych, hutnicy realizują uchwały II Zjazdu PZPR. Szczególnie ostro postawione zostało przed hutnikami zadanie asortymentowego zaopatrzenia wszystkich gałęzi przemysłu. Jest to podstawowy warunek planowej produkcji maszyn rolniczych i traktorów, elektryfikacji wsi, dostaw stali potrzebnej do rozbudowy przemysłu chemicznego, a zwłaszcza przemysłu nawozów sztucznych i środków owadobójczych. Wymagają tego od przemysłu hutniczego również potrzeby transportu kolejowego i drogowego, potrzeby budownictwa mieszkaniowego, fabryk produkujących artykuły domowego użytku itd.

Dla całkowitego zaspokojenia wzrastających coraz bardziej potrzeb mas pracujących i zapewnienia stałego wzrostu stopy życiowej społeczeństwa hutnicy muszą wyzyskać wszystkie rezerwy produkcyjne, aby plany wykonywane były nie tylko przez przemysł jako całość, ale i przez wszystkie zakłady, aby wykonywane były plany produkcji wartościowo i ilościowo, lecz także w zupełnym asortymencie. Tym wysiłkiem towarzyszyć musi nie mniej uporcezywa walka o poprawę jakości naszej produkcji, o obniżkę kosztów własnych.

Równoległe z zadaniami stawianymi hutnikom idzie troska Rządu i Partii o zaspokojenie potrzeb hutnika. Bilans osiągnięć dziesięciolecia rozwoju polskiego przemysłu hutniczego staje się dopiero wówczas wszechstronny, gdy uzupełnimy go zdobyczami socjalnymi i kulturalnymi, którymi Rząd Polski Ludowej obdarzył hutników doceniając znaczenie ciężkiej i odpowiedzialnej ich pracy. Zapewnione więc zostały hutnikom wysokie zarobki wzrastające zależnie od kwalifi-

kacji i wydajności ich pracy oraz nowe dodatkowe wynagrodzenie znane pod nazwą Karty Hutniczej. Różnorodnie są formy opieki nad hutnikami i ich rodzinami: nie ma hut, przy której by nie istniał dom młodego hutnika, hotel hutniczy, przedszkole, żłobek, świetlica czy klub hutniczy, siedemnaście tysięcy dzieci hutników wyjedzie w bieżącym roku na kolonie letnie, roz-

wija się życie kulturalne w hutniczych domach kultury, których amatorskie zespoły artystyczne liczą już ponad dziesięć tysięcy czynnych członków, rozwijający się ruch współzawodnictwa pracy, racjonalizatorstwa i wynalazczości służy krzewieniu postępu technicznego czyniąc z hutników świadomych swych celów budowniczych Polski Ludowej.

E. W.

Prof. dr inż. WŁADYSŁAW ŁOSKIEWICZ

669. 71. 011

## 100 lat hutnictwa aluminium 1854—1954

Dzięki wyodrębnieniu w 1825 r. przez Oerstedta i w 1827 r. przez Wöhlera pierwiastka Al<sup>1)</sup> w stanie metalicznym, ludzkość zdobyła nowy materiał metaliczny, który jednak aż do 1854 r. nie był wręcznięty do pracy dla jej dobra. Główną przyczyną niewłączenia go do metali przemysłowych była jego wysoka cena, spowodowana przede wszystkim wysoką ceną surowców do jego produkcji oraz kosztownością samej metody wytwarzania.

Dopiero 14 sierpnia 1854 r. chemik francuski Henri Sainte-Claire-Deville przedstawił Francuskiej Akademii Nauk opracowany przez siebie nowy sposób produkcji aluminium, który według jego zdania nadawał się do eksploatacji przemysłowej. Mianowicie zastąpił on drogi potas znacznie tańszym sodem, a trudny do odwodnienia chlorek glinu łatwiejszym do odwodnienia podwójnym chlorem glinu i sodu. Sama reakcja wymiany odbywała się w jego procesie znacznie spokojniej niż przy zastosowaniu potasu.

Należy zaznaczyć, że już na początku tegoż roku (6 lutego i 20 marca) Sainte-Claire-Deville zakomunikował Francuskiej Akademii Nauk, że udało mu się uzyskać metaliczne aluminium przez elektrolizę stopionego podwójnego chlorku glinu i sodu, i zademonstrował bloczek tego metalu, a 9 lipca 1854 r. doniósł o tym samym Bunsen w Poggendorfsche Annalen der Physik und Chemie. Metoda elektrolityczna nie mogła stanowić w tym czasie metody przemysłowej, gdyż jedynym znanym wówczas źródłem prądu elektrycznego był stos Volty.

Sainte-Claire-Deville przeświadczony o wielkiej przyszłości aluminium, potrafił przekonać szereg osób o wartości tego nowonarodzonego metalu i jeszcze w 1854 roku przystąpił do produkcji aluminium swoją metodą. Stosował on sól wytwarzany własną, znacznie tańszą metodą.<sup>2)</sup> Produkcję uruchomiono w fabryce

chemicznej „de la Glacière“ w dzielnicy Javel w Paryżu.

Dzięki temu na wystawie paryskiej w 1855 r. znalazły się zarówno bloczki tego metalu, jak i różne wyroby z niego. Pomimo znacznego spadku ceny aluminium (por. tablicę 1, okres produkcji chemicznej) wystawione wyroby były bardzo drogie i służyły do celów zdobniczych i galanterijnych, a nie do celów użytkowych w znaczeniu technicznym. Do przedmiotów użytkowych można by może było zaliczyć kołyskę wykonaną z aluminium dla następcy tronu francuskiego, gdyby nie jej specyficzne przeznaczenie. W każdym razie był to pierwszy mebel z aluminium. Teraz wytwarza się je masowo.

Tak więc rok 1854 jest rokiem narodzin hutnictwa aluminium, którego produkcja w ciągu tych stu lat wzrosła z kilku kilogramów do 2,5 miliona tonn na rok (tablice 1 i 2).

Proces Deville'a był początkowo jedynym procesem stosowanym do przemysłowej produkcji aluminium.

Tablica 1  
Produkcja aluminium od r. 1854 ÷ 1855 do 1953 r.

Okres produkcji chemicznej			Okres produkcji elektrolitycznej		
rok	kg	cena Fr/kg	rok	t	cena Ft/kg
1854 ÷ 1855	25	1250	1890	175	19
1859	1680	300	1894	1240	5
1865	1000	175	1897	3394	3,10
1869	455	85	1899	6098	2 75
1872	2550	85	1905	11500	4,40
1882	2350	85	1909	31200	1,70
1884	2400	85	1912	62600	1,85
1839	7100	50			

Tablica 2  
Porównanie światowej produkcji aluminium i innych metali nieżelaznych w latach 1900—1953 (tys. tonn)

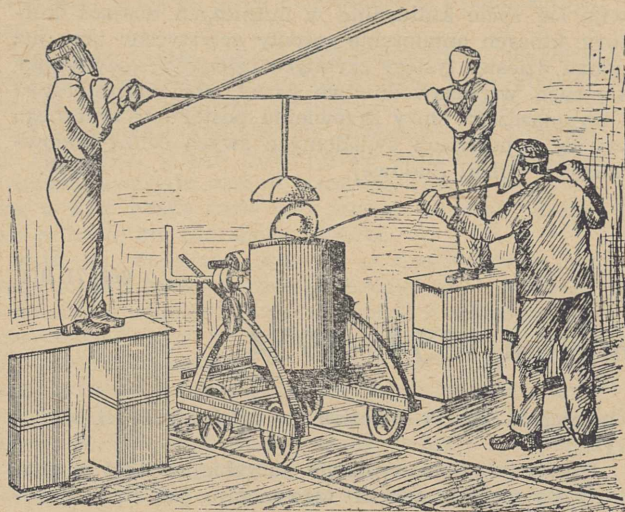
Rok	Al	Cu	Zn	Pb	Sn
1900	8	—	—	—	—
1913	77	1022	1000	1086	182
1920	127	942	714	910	134
1925	187	1395	1135	1504	161
1930	267	1578	1405	1675	191
1935	259	1455	1336	1380	127
1937	491	2259	1635	1858	229
1939	685	2140	1691	1869	202
1941	1120	2620	1894	1812	266
1943	1992	2860	1965	1755	124
1950	1510	—	—	—	—
1951	1800	—	—	—	—
1952	2100	2950	2248	1820	170
1953	~ 2500	—	—	—	—

<sup>1)</sup> Glin jako nazwa pierwiastka Al przyjęła się w naszym słownictwie chemicznym i nie budzi zastrzeżeń, gdyż chemicy muszą się wyrażać bardzo dokładnie (co innego kwas siarkawy, co innego siarkowy), ale jeszcze dalecy jesteśmy od tego, aby przeciętny obywatel lub obywatelka rozróżniali subtelną różnicę między przymiotnikami „gliniany“ i „glinowy“ (np. garnek) choć doskonale wiedzą jaka jest różnica między garnkami glinianymi a aluminiowymi. Również dopiero po zapoznaniu się z treścią można się dowiedzieć, o jakim materiale mówi autor w swej pracy „O powłokach ochronnych na glinie“. Czyjakolwiek pomyłka może łatwo zniekształcić treść depeszy z żądaniem przysłania np. wagonu glinu itd.

Miedzynarodowa nazwa pierwiastka Al jest aluminium, jedynie zdaje się my nazywamy go „glinem“, a Czesi „glinikiem“. Początkowa nazwa rosyjska „glinij“ (Bekietow) została bardzo szybko zastąpiona nazwą „aluminij“.

Opierając się na tych przesłankach PKN przed wojną przyjął nazwę „aluminium“ jako określenie glinu pod postacią metalu technicznego nie naruszając nazwy pierwiastka chemicznego „glin“, przyjętej w chemii. Dlatego pisząc o wytwarzaniu aluminium mówi się, że wytwarza się je z rozmaitych związków glinu. W literaturze technicznej spotykamy obydwie nazwy zależnie od uznania autorów i redaktorów.

<sup>2)</sup> Cena sodu wynosiła początkowo 2000 Fr, jak podaje J. Łubiński. Na 1 kg Al zużywano 3 kg Na. Potem cena sodu wynosiła tylko 10—12 Fr, a zużycie na 1 kg Al spadło do 1—1,5 kg.



Rys. 1. Szkic pierwszej instalacji do wytwarzania aluminium w drodze chemicznej według książki „Miałurgia logkich metali” A. J. Bielajewa. Wyczerpywanie stopionego aluminium z tygla-reaktora

Hutę aluminium z owych lat przedstawia rys. 1, zapożyczony z książki A. J. Bielajewa pt. „Miałurgia logkich metali” (Miałurgizdat 1944).

Chcąc zmniejszyć koszty wytwarzania proponowano różne metody. Między innymi N. N. Bekietow stwierdził, że podobnie jak z podwójnego chlorku glinu i sodu można otrzymać aluminium działając na niego sodem, tak samo z podwójnego fluorku glinu i sodu można wydzielić aluminium za pomocą magnezu. Ponieważ czysty podwójny fluorek glinu i sodu jest minerałem zwanym kriolitem, który w 1854 r. zaczęto sprowadzać do Europy z Grenlandii, więc aluminium wytwarzane metodą Bekietowa mogło być w pewnych warunkach tańsze niż aluminium wytwarzane z czystego chlorku glinu i sodu. Metodę tę stosowała przez pewien czas huta w Rouen we Francji oraz pierwsza niemiecka huta aluminium w Gmelingen.

Większość proponowanych w tym okresie metod polegała na zastąpieniu glinu w różnych jego związkach innym pierwiastkiem metalicznym, gdyż węgiel (lub węgiel zgazowany) i wodór nie redukują związków glinu w zwykłych warunkach. Wszystkie te metody czysto chemiczne nie pozwalały produkować wielkich ilości glinu (na który zresztą nie było jeszcze zapotrzebowania) i po niskiej cenie. W tym pierwszym okresie produkcji przemysłowej metodą chemiczną, zapotrzebowanie stopniowo wzrastało, gdyż poznawano lepiej własności tego metalu, a cena jego nie była już nadmiernie wysoka.

Okres „produkcji chemicznej” trwał do roku 1886, gdy Heroult we Francji, a Hall w USA zgłosili prawie identyczne patenty, według których można wytwarzać aluminium lub jego stopy elektrolizując roztwór tlenku glinu w roztopionym kriolicie. Stało się to możliwe dopiero po roku 1872, gdy Gramm zbudował pierwszą przemysłową elektrownię prądu stałego. Elektrownie zastąpiły stopy Volty, którymi posługiwali się Deville i Bunsen.

Wprowadzenie tej metody zrewolucjonizowało przemysł aluminiowy. W związku z tym trzeba było opracować technologię wytwarzania czystego tlenku glinu i cały proces elektrolizy. Sposoby opracowane wówczas zachowały się w głównych zarysach dotychczas i współczesna metalurgia aluminium dzieli się na dwa etapy:

1. wytwarzanie czystego tlenku glinu z minerałów zawierających ten pierwiastek,
2. wytwarzanie czystego (technicznie) aluminium

przez elektrolizę stopionego roztworu tlenku glinu w kriolicie.

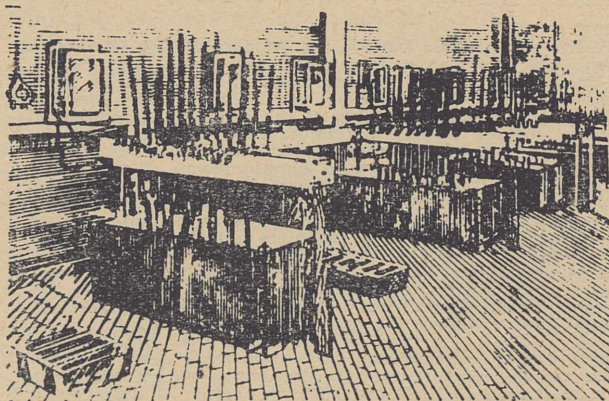
Z licznych minerałów zawierających glin stosuje się obecnie prawie wyłącznie boksyt (bauxite), który jest dość rozpowszechniony na kuli ziemskiej, chociaż są państwa, w których tej rudy dotychczas nie znaleziono, jak np. Polska, Niemcy i wiele innych. Boksyt jest mieszaniną wodorotlenków glinu, zanieczyszczoną tlenkami żelaza i krzemionką. Żelazo i krzem znajdujące się w rudzie zanieczyściłyby aluminium, gdyby się ich nie usunęło przed rozpuszczeniem rudy w stopionym kriolicie. Boksyty, które przerabia się obecnie na aluminium, zawierają przeważnie przeszło 50%  $Al_2O_3$ . Boksyty można oczyszczać różnymi metodami. Najbardziej rozpowszechniona jest klasyczna metoda Bayera. Wynałazł on ją w latach 1889—1892 podczas pracy w Tentielskiej Manufakturze w Petersburgu (obecnie Krasnyj Chimik w Leningradzie), i w Jelubuzkich Zakładach nad Kamą (obecna nazwa zakładu w dostępnych mi źródłach nie jest podana).

Poprzednio stosowano metodę opracowaną przez Le Chateliera i Morina polegającą na spiekaniu boksytu z sodą i węglem. Obecnie obie te metody uzupełniające się do pewnego stopnia, są z pewnymi zmianami stosowane w dalszym ciągu (np. w metodzie A. A. Jakowkina i Z. S. Lilejewa).

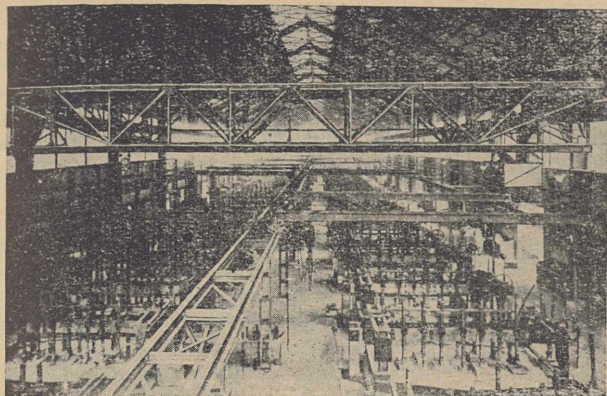
Przeróbka innych rud (uboższych) jest również możliwa i jej metody już opracowano, na razie jednak ich przeróbka opłaca się tylko w wyjątkowych przypadkach, gdy oprócz tlenku glinu otrzymuje się jeszcze inne wartościowe materiały. Mimo to nie należy rezygnować z poszukiwań nowych metod przeróbki tych rud, ponieważ stanowią one główne zapasy Al w skorupie ziemskiej.

Ponieważ elektrolizie poddaje się roztwór tlenku glinu w roztopionym kriolicie, początkowo dobrano najkorzystniejsze warunki doświadczalne. Naukowo uzasadnili skład elektrolitu w latach 1910 ÷ 1913 P. P. Fedotow i W. P. Iljinskij oraz niezależnie od nich N. A. Puszin, ustalili oni wykresy równowagi  $AlF_3$  i  $NaF$  oraz  $Al_2O_3$  i  $AlF_3 \cdot 3NaF$ . Drugi etap produkcji wymaga odpowiednich zasobów energetycznych (energia wodna, tani węgiel), toteż zakłady przetwarzające rudę na tlenek (tlenkarnie) i zakłady elektrolizy rzadko buduje się w jednej miejscowości, a często są bardzo oddalone od siebie, np. jeden zakład w Kanadzie, drugi w Norwegii.

Rysunek 2 przedstawia wygląd pierwszego elektrolizera Halla według Bielajewa, a rys. 3 halę elektrolizerów współczesnych. Z porównania ich wynika, że elektrolizery w zasadzie są takie same.



Rys. 2. Szkic pierwszej elektrolizerni Halla według książki „Miałurgia logkich metali” A. J. Bielajewa. Elektrolizery stoją na podłodze, do belki nad wannami są przymocowane pręty anodowe z blokami anod węglowych



Rys. 3. Fotografia współczesnej elektrolizerni, nie różniącej się w zasadzie od pierwowzoru, z tym wyjątkiem, że wanny są teraz wpuszczone w podłogę. Ciekawą szczegół: dźwig obsługujący elektrolizery o rozpiętości 21,3 m i nośności 7 t jest wykonany z lekkich stopów

Czystość aluminium „chemicznego“ (1883 r.) wahała się między 92,5 a 97,4 % Al, a „elektrolitycznego“ (1889 r.) między 99,14 a 99,9 % Al. Przez elektrorafinację można uzyskać aluminium o czystości powyżej 99,95 % Al.

Niebywale gwałtowny wzrost produkcji aluminium w ostatnich czasach jest wynikiem stale wzrastającego zapotrzebowania aluminium i jego stopów w przemyśle ze względu na ich cenne własności (tablica 2).

Podczas gdy w roku 1913 produkcja miedzi była 13 razy, cynku 13 razy, ołowiu 14 razy, a cyny 2 razy większa od produkcji aluminium, to w roku 1925 stosunki te uległy zmianie na korzyść aluminium, gdyż była ona już tylko 7 razy mniejsza od produkcji miedzi, 6 razy mniejsza od produkcji cynku, 8 razy mniejsza od produkcji ołowiu, a nieznacznie większa od produkcji cyny. W roku 1943 sytuacja uległa radykalnej zmianie i produkcja miedzi była tylko 1,4 razy większa od produkcji aluminium, produkcja cynku i aluminium były prawie równe, a produkcja ołowiu stanowiła tylko 0,8 cyny zaś 0,06 produkcji aluminium. W roku 1952 stosunki te uległy tylko nieznacznej zmianie.

Liczby te świadczą, że w okresie 1913 ÷ 1952 stosunek ten uległ zmianie na korzyść aluminium nie wskutek zmniejszenia się produkcji miedzi, cynku i ołowiu, gdyż produkcja ich wzrosła w tym okresie prawie dwukrotnie, ale wskutek niebywałego wzrostu produkcji aluminium (około 275 razy), spowodowanego niesłychanym wzrostem zapotrzebowania aluminium i jego stopów. Świadczy to o tym, że ten młody metal ma jeszcze olbrzymie możliwości rozwojowe.

Tablica 3

## Zużycie aluminium we Włoszech w 1952 r.

	t	%
Linie i przewody elektryczne	11 000 ÷ 12 000	26 ÷ 27
Transport lądowy, wodny i powietrzny	8 000 ÷ 9 000	18 ÷ 20
Przemysł spożywczy i chemiczny	2 500 ÷ 3 000	5,5 ÷ 6,7
Naczynia domowe itp.	4 000 ÷ 5 000	9 ÷ 11
Opakowania (łącznie z folią)	2 500 ÷ 3 000	5,5 ÷ 6,7
Budownictwo	2 500 ÷ 3 000	5,5 ÷ 6,7
Przemysł maszynowy	3 000 ÷ 3 500	6,7 ÷ 7,8
Różne	6 000 ÷ 7 000	13,5 ÷ 15,5
<b>Razem:</b>	<b>39 000 ÷ 46 500</b>	<b>100 %</b>

Tablica 4

## Zużycie aluminium w Anglii w latach 1951 i 1952

	t	%	t	%
Eksport bezpośredni	38 464	16	32 257	12
Pojazdy drogowe	48 211	20	48 178	20
Konstrukcje	35 531	13	22 878	9
Przemysł elektryczny	10 693	4,5	13 349	5
Opakowania	15 808	7	27 989	10
Przemysł maszynowy	13 017	5,5	11 170	5
Wyposażenie domowe	13 099	5,5	14 193	5
Naczynia kuchenne itp.	8 596	3,5	9 732	3,5
Przemysł chemiczny i spożywczy	1 865	1	1 648	0,5
Marynarka	2 190	1	1 913	1
Różne	56 000	23	74 875	29
<b>Razem:</b>	<b>243 779 t</b>		<b>258 182 t</b>	

Tablica 5

## Sprzedaż wytworów aluminiowych w Anglii

	1951	1952
Blachy, taśmy i krążki	144 631 t	141 787 t
Pręty	39 325 t	46 742 t
Folia	14 618 t	12 392 t
Drut	9 332 t	11 309 t
Odkuwki	20 463 t	27 450 t
Materiał przerobiony plastycznie	228 369 t	249 683 t
Odlewy	73 401 t	78 585 t
<b>Ogółem:</b>	<b>301 770 t</b>	<b>328 268 t</b>

O zapotrzebowaniu aluminium w różnych gałęziach przemysłu, które już obecnie wyzyskują jego ciekawe własności, mówią liczby zebrane w tablicach 3 i 4.

Tablica 3 podaje zużycie aluminium we Włoszech w 1952 r., a tablica 4 jego zużycie w Anglii w latach 1951 i 1952.

Jest rzeczą charakterystyczną, że nie podano zużycia na urządzenia transportu lotniczego, a liczba dotychczas pojazdów drogowych wydaje się przesadzona, gdyż przemysł samochodowy nie w pełni jeszcze używa aluminium na karoserie, podwozia itp. Na przykład 6-osobowy samochód Panhard, model 1954, wykonany prawie całkowicie ze stopów Al, waży tylko około 600 kg. W innych gałęziach przemysłu motoryzacyjnego (produkcja ciągników, traktorów i przyczep) można by było stosując lekkie stopy oszczędzić około 47 % ciężaru martwego itd. W tablicy 5 podano przykładowo liczby charakteryzujące zbyt wytworów z aluminium i jego stopów w latach 1951 i 1952 w Anglii. Oczywiście zbyt tych wytworów w każdym państwie kształtuje się inaczej, zależnie od stopnia uprzemysłowienia i struktury przemysłu.

Jaka jest organizacja przemysłu aluminiowego?

Przemysł aluminiowy w krajach kapitalistycznych był przed wojną, a zapewne jest i teraz w rękach międzynarodowego kartelu, który dysponuje zarówno kopalniami boksytu, jak i hutami aluminium, i reguluje produkcję tak surowego aluminium, jak i zakładów przetwórczych oraz ustala ceny. Przed wojną kartel ten nie dopuszczał do budowy nowych hut aluminium przez postronnych przedsiębiorców, toteż w Polsce przedwojennej wszelkie próby uruchomienia tego przemysłu, mimo pełnego poparcia postępowego świata inżyniersko-technicznego, napotykały opór nie do przewyciężenia, gdyż kartel nie był zainteresowany w uruchomieniu huty aluminium w Polsce i uniemoż-

liwiał zakup boksytu, tlenku glinu i innych surowców koniecznych do produkcji aluminium.

O stanowisku polskiego świata technicznego świadczą manifestacyjna uchwała II Zjazdu Inżynierów Mechaników w 1926 r. Przyjął on przez aklamację wnioski inżynierów: Łoskiewicza, Paca i Smolagi, wzywający odpowiednie czynniki do zainteresowania się sprawą hutnictwa aluminium w Polsce, jako jednego z koniecznych warunków rozwoju przemysłu mechanicznego.

W tym samym czasie Rada Wydziału Hutniczego Akademii Górniczej, rozumiejąc potrzebę stworzenia hutnictwa aluminiowego w Polsce i zdając sobie sprawę z konieczności przygotowania dla niego kadry inżynierskiej, wydzieliła hutnictwo lekkich metali z zakresu katedry „Metalurgii metali innych poza żelazem“, a metaloznawstwo lekkich stopów z zakresu katedry „Metalografii“ i stworzyła zupełnie samodzielny kurs „Lekkie metale i stopy“. To wyodrębnienie miało na celu podkreślenie ważności zagadnienia. Jeśli się nie myli, był to pierwszy specjalny kurs poświęcony lekkim metalom w uczelniach wyższych.

Ponieważ nie mogliśmy uzyskać za granicą surowców potrzebnych do normalnej produkcji aluminium, wielu naukowców przeprowadzało badania i próby wytwarzania aluminium z uboższych surowców krajowych. Wymienię tych, z którymi wówczas utrzymywałem kontakt w tej sprawie, a mianowicie dra L. Wasilewskiego, inż. J. Zaleskiego, inż. S. Bretsznajdera, inż. J. Kwiatkowskiego, inż. L. Okszańskiego, którzy walcząc z trudnościami finansowymi opracowali kilka metod przeróbki glin lub kaolinów na tlenek aluminium. (Wszystkich innych przepraszam za pominięcie i proszę czytelników o nadsyłanie uzupełnień). Niestety, niedostateczne środki nie pozwoliły zainteresowanym wyjść poza skalę laboratoryjną lub wielkolaboratoryjną.

Dopiero w latach 1938 ÷ 1939 koncern Huty Pokój w porozumieniu z członkiem kartelu „Aluminium Français“ przystąpił do projektowania i budowy huty aluminium o wydajności 3000 t Al. Huta miała powstać w Nisku. Roboty te przerwał wybuch wojny.

Huta miała w pierwszej fazie przerabiać importowany z Francji tlenek glinu, a w drugiej fazie miała powstać tlenkownia oparta na francuskich boksytach. Przy tlenkowni tej miała też powstać doświadczalna stacja, w której miano przetwarzać surowce krajowe; miała ona wypróbować metodę inż. J. Kwiatkowskiego.

Po wojnie sytuacja radykalnie się zmieniła. Ówczesny dyrektor Centralnego Zarządu Przemysłu Hutniczego inż. I. Borejdo, rozumiejąc znaczenie hutnictwa metali lekkich dla gospodarki Polski Ludowej, powołał Komisję Lekkich Metali przy CZPH. Komisja ta, złożona z kilkunastu osób, miała po pierwsze rozpatrzyć możliwości stworzenia tego przemysłu, po drugie — zorganizować na większą skalę prace badawcze nad realizacją niektórych metod przeróbki naszych uboższych surowców aluminiowych. Po szeregu reorganizacji zadania te przejęło Biuro Budowy Hut Metali Lekkich, które zorganizowało odpowiedni ośrodek dla doświadczeń w skali półtechnicznej.

Inż. J. Kwiatkowski, który — jak wspomniałem — jeszcze przed wojną żywo interesował się hutnictwem aluminium i magnezu, zgrupował wokół siebie w BBHMt szereg entuzjastów hutnictwa tych lekkich metali. Ci młodzi hutnicy opracowali pod jego kierunkiem wiele zagadnień dotyczących metalurgii aluminium. Tak np. inż. M. Orman i inż. Z. Maślankówna uruchomili po raz pierwszy w Polsce elektrolizernię aluminium w skali półtechnicznej, w której wyprodukowano pewną ilość tego metalu, inż. Z. Maślankówna, inż. Cz. Wójcicki i mgr Morawski opracowali elektrorefinację aluminium itd.

Zapoczątkowany w 1926 r. przez Wydział Hutniczy AGH Kurs Lekkich Metali i Stopów zaczął więc przynosić owoce w Polsce Ludowej, dając jej pierwszą kadre hutników aluminium. Mieli oni co prawda tylko teoretyczne przygotowanie: żaden z nich nie pracował w hucie aluminium, gdyż ze względu na panujące wówczas stosunki nie tylko uzyskanie praktyki w hutach kartelu, ale nawet ich zwiedzenie było niemożliwe.

Należy podkreślić, że ci pionierzy hutnictwa lekkich metali w Polsce musieli sami rozwiązać szereg praktycznych zagadnień na podstawie z trudem zdobywanego własnego doświadczenia i literatury, zwłaszcza podręcznika A. J. Bielajewa, cytowanego poprzednio.

Obecnie, w setną rocznicę powstania przemysłu hutniczego aluminium, zostanie uruchomiona wybudowana pod kierownictwem inż. Brafmana pierwsza w Polsce przemysłowa elektrolizernia w Skawinie pod Krakowem.

Nie mieliśmy żadnego doświadczenia w projektowaniu tego rodzaju obiektów, toteż budowę tę prowadził inż. Brafman według planów i wskazówek radzieckich. Pomoc radziecka, obejmująca również wyposażenie, umożliwiła nam zrealizowanie planu.

Elektrolizernia skawińska będzie na razie przerabiać tlenek glinu, którego będzie nam dostarczała zaprzyjaźniona Węgierska Republika Ludowa, posiadająca bodaj najobfitsze złoża boksytów.

Niezależnie od tego wkrótce powstanie w Polsce jedna duża tlenkownia, która będzie przetwarzała krajowe rudy ubogie w Al, jak np. tufy wskazane przez prof. J. Tokarskiego, na tlenek glinu według metody inż. J. Kwiatkowskiego.

Drugim źródłem tlenku glinu będzie przemysł cementowy, który będzie go wytwarzał metodą prof. Grzymka.

A więc można już uważać aluminium za metal krajowy i stosować go wszędzie, gdzie zastosowanie innych metali nie jest konieczne. Pewną przeszkodą jest jeszcze cena aluminium. Jest ona stosunkowo wysoka, gdy się ją porównuje z ceną 1 kg innych metali, inaczej jednak przedstawia się sprawa, gdy się porównuje ceny jednostki objętości (tablice 6 i 7).

Z tablicy 7 wynika, że aluminium od roku 1945 jest objętościowo, wbrew często powtarzanej opinii, najtańszym metalem nieżelaznym. Gdy się uwzględni znacznie mniejsze koszty obróbki mechanicznej i inne korzyści, które przynosi stosowanie aluminium w porównaniu do stali, to częstokroć okazuje się, że wykonywanie pewnych przedmiotów i konstrukcji z aluminium jest rentowniejsze niż wykonywanie ich ze stali (por. rys. 3).

Ciekawe jest porównanie ceny aluminium z początków przemysłu aluminiowego z obecnymi. J. Łubieński podaje, że w 1854 r. aluminium było droższe od złota (1,7 razy), od srebra (36 razy), od miedzi (4285 razy) i od żelaza (26.500 razy). Już na początku okresu elektrolitycznego wytwarzania aluminium (około 1893 r.)

Tablica 6  
Cena 1 lbs (funt. ang.) różnych nieżelaznych metali w USA 1 lutego 1953 r. w centach z 1938 r.

	Al	Cu	Pb	Zn	Uwagi
1938	20	10,1	4,7	5	Cena aluminium w dolarach z 1938 r. spada o połowę podczas gdy ceny innych metali wzrosły
Stosunek cen Me: Al	1	0,5	0,235	0,15	
I (II) 153	10	12,2	7	6,7	
Stosunek cen Me: Al	1	1,22	0,7	0,67	
Spadek lub wzrost cen	- 50 %	+ 21 %	+ 47 %	+ 33 %	



Tablica 7

Cena w dolarach za stopę sześcienną różnych metali i drzewa w okresie 1930 ÷ 1950 (nie uwzględniono devaluacji dolara). Cena w dolarach 1 stopy sześciennej różnych materiałów

	1930 r.		1935 r.		1940 r.		1945 r.		1950 r.	
	cena	stosunek cen Me : Al	cena	stosunek cen Me : Al	cena	stosunek cen Me : Al	cena	stosunek cen Me : Al	cena	stosunek cen Me : Al
Aluminium <sup>1)</sup>	39,46	1	34,00	1	31,00	1	24,88	1	29,34	1
Miedź <sup>2)</sup>	72,92	1,85	48,73	1,43	63,41	2,46	66,02	2,7	119,37	4,0
Cynk <sup>3)</sup>	21,95	0,56	21,01	0,60	30,08	0,97	38,66	1,57	65,26	2,2
Ołów <sup>4)</sup>	39,10	1,00	28,76	0,80	36,69	1,18	46,04	1,9	94,20	3,2
Stal <sup>5)</sup>	11,29	0,3	10,86	0,34	12,88	0,4	13,27	0,5	21,38	0,7
	7,10	0,18	—	—	—	—	—	—	11,64	0,4
Drzewo <sup>6)</sup>	—	—	16,00	—	21,26	—	35,20	—	76,30	—

sytuacja się zmieniła: aluminium było tańsze od złota (170 razy) i srebra (8,4 razy), a droższe od niklu (3,3 razy), od miedzi (14,3 razy) i od żelaza (87 razy).

Jak widać w ciągu tego stulecia cena aluminium kolosalnie się zmniejszyła, jakkolwiek jeszcze nie do tego stopnia, aby aluminium mogło stać się już obecnie metalem najbardziej rozpowszechnionym. Należy stale i ciągle pracować nad stwarzaniem coraz doskonalszych i tańszych metod „wydzierania“ aluminium z jego rud, aby ten najpospolitszy pierwiastek metaliczny skorupy ziemskiej stał się również najpospolitszym metalem użytkowym.

Sprawdzą się wówczas prorocze słowa twórcy hutnictwa aluminium, Sainte-Claire-Deville'a: „Gdyby się jednak z czasem udało wydobywać aluminium w sposób tani wprost z gliny, to jest z materiału najpospolitszego na ziemi, to metal ten stałby się najpowszechniej i najczęściej używanym.“

Ziści się wówczas również wizja M. Czernyszewskiego, tak sugestywnie opisana w jego powieści „Co robić?“ Ludzkość w tej wizji w pełni wyzyskuje aluminium do wytwarzania nakryć stołowych i mebli, a nawet do budowy domów. Trzeba podkreślić, że powieść ta ukazała się w 1863 r. (a więc musiała być napisana wcześniej), tzn. w kilka lat po uruchomieniu przemysłu aluminiowego. Czernyszewski dzięki genialnej intuicji dostrzegł szerokie możliwości stosowania Al wcześniej niż wielu techników, którzy dopiero teraz stopniowo je realizują.

W roku 1952 zużycie aluminium i jego stopów w przemyśle budowlanym wynosiło 183 000 t, a na rok 1954 planuje się zużycie 340 000 t. Ramy okienne z lekkich stopów stanowiły tylko 5 % całkowitej ilości ram w 1949 r., a w 1953 r. już 20 %, gwoździ ze stopów aluminium wyprodukowano w roku 1945 — 90 t, a w roku 1953 — 1800 t itd. Meble z lekkich stopów są stosowane rzadko w krajach produkujących Al, a nakryć stołowych z Al używamy już od dawna. Niestety jakość wykonania tych nakryć, które według Czernyszewskiego powinny być piękne („Wspaniała zastawa. Wyłącznie aluminium i kryształ“) nie jest jeszcze odpowiednim i zniechęca kupujących.

Jedną z przeszkół w realizacji wizji Czernyszewskiego jest nie dość niska cena aluminium. Wypływa z tego nakaz dla nas hutników: Wynaleźć taką „rewolucyjną“ metodę wydobycia aluminium z jego rud, która by zastąpiła dotychczasową metodę elektrolityczną. Metoda elektrolityczna jest stosunkowo droga, gdyż do wydzielenia 1 kg Al przez elektrolizę potrzeba teoretycznie 2981,6 amperogodzin. Ze względu na poboczne reakcje i straty prądu, zużywa się obecnie około 17 ÷ 18 kWg na 1 kg Al. Ową „rewolucyjną“ metodą będzie może metoda oparta na energii atomowej, wtedy gdy będzie ona faktycznie „sługą“ ludzkości.

Podkreślić tu należy słowa I Sekretarza PZPR Bolesława Bieruta: „Jako pilne zadanie staje nadrobienie opóźnień w tym względzie i forsowanie produkcji krajowych surowców żelazodajnych. Dotyczy to także rud miedzi, surowców do produkcji aluminium itd.“

Rentowność wydobycia metali z rud zależy od bogactwa rud i kosztów technologicznych, a więc opracowanie takiej metody wydobycia metalu z rud rozszerzy podstawę surowcową dla danego metalu.

#### Literatura

1. J. Łubieński. Glin (Aluminium), Tow. Przyj. Nauk w Poznaniu 1895, rocz. XXI.
2. W. Łoskiewicz. Lekkie metale i lekkie stopy, Przegląd Górniczo-Hutniczy 1924, str. 1.
3. W. Łoskiewicz. Czy stworzenie przemysłu glinowego w Polsce jest możliwe? Przegląd Górniczo-Hutniczy 1926, nr 15, str. 365.
4. W. Łoskiewicz. Rozwój zastosowań glinu, Przegląd Techniczny 1927, nr 19, str. 435.
5. W. Łoskiewicz. O konieczności stworzenia przemysłu aluminiowego w Polsce, Przegląd Techniczny 1931, str. 325.
6. W. Łoskiewicz i Z. Majewski. Przemysł aluminiowy w Polsce. Księga I Kongresu NOI, 1937.
7. W. Łoskiewicz, J. Kwiatkowski, M. Orman i G. Gołębiowski. Zagadnienie Metali Lekkich w Polsce na tle 3-letniego Planu. Referat na I Zjazd Techników i Inżynierów, Hutnik 1946, str. 579.
8. A. J. Bielajew. Oczerki po historii mietałurgii logkich mietałłow, GHT Izd. 1950.
9. A. J. Bielajew. Mietałurgia logkich mietałłow, Mietałurgizdat 1944.
10. M. Czernyszewski. Co robić? Tłum. J. Brzęczykowski, Książka i Wiedza 1951, str. 429 ÷ 431, oraz bieżące czasopisma specjalne, jak Revue de l'aluminium, Light Metals i inne.

1) Wlewki aluminium hutniczego 99 %.  
 2) Miedź elektrolityczna w N. Y.  
 3) Cynk w płytach w gatunku „Prime Western“ w N. Y.  
 4) Ołów w blozkach, dostawa wagonowa w N. Y.  
 5) Stal (kształtki); według autora notatki w celu porównania, należy podać cenę wlewka lub kęsa (1930 — 7,10, 1950 — 11,64).  
 6) Jodla „Douglas“, deski zwykłe, za 1000 stóp.

W każdym zakładzie pracy biblioteka techniczna

## Otrzymywanie tlenku glinu

*Surowce do wyrobu  $Al_2O_3$ . — Wymagania stawiane  $Al_2O_3$ . — Metody alkaliczne, kwaśne i elektrotermiczne. — Metoda Bayera, wpływ jakości surowców i czynników technologicznych. — Metoda sucha — spiekanie, surowce, reakcje i przebieg przeróbki.*

### 1. Wstęp

Glin jest jednym z najbardziej rozpowszechnionych pierwiastków w skorupie ziemskiej i pod względem ilości zajmuje trzecie miejsce (7,95 %) po tlenie i krzemie.

Glin wchodzi w skład około 250 minerałów, z których najbardziej rozpowszechnione są w przyrodzie: oklaz ( $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6 SiO_2$ ) nefeliny ( $(Na,K)O_2 \cdot Al_2O_3 \cdot 2 SiO_2$ ), kaitit ( $Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot 2 H_2O$ ) i leucyt ( $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4 SiO_2$ ). Wymienione minerały należą do grupy glinokrzemianów, które tworzyły się głównie w procesach wulkanicznych, tzn. w zakresie wysokich temperatur i noszą nazwę minerałów pierwotnych.

Wskutek działania czynników atmosferycznych (woda, temperatura,  $CO_2$  itp.) z pierwotnych glinokrzemianów utworzyły się wtórne minerały jak boksyty ( $Al(OH)_3$  hydrargilit,  $AlOOH$  bemit,  $AlOOH$  diaspor), kaoliny ( $Al_2O_3 \cdot 2 SiO_2 \cdot 2 H_2O$ ), gliny, łupki itp. Spośród nich boksyty są najbardziej cennym surowcem do produkcji tlenku glinu, dzięki małej zawartości krzemionki.

Jednak ze względu na rozwój przemysłu aluminiowego w świecie, a zatem i wzrost zapotrzebowania tlenku glinu, niezbyt wielkie złoża boksytu zostaną w praktyce w niedalekiej przyszłości wyczerpane. Stąd wynika potrzeba przeprowadzenia gruntownych studiów i doświadczeń, zmierzających do opracowania korzystnych metod otrzymywania  $Al_2O_3$  z glinokrzemianów, których pokłady zalegają obficie w skorupie ziemskiej.

Przedzieważ czy później przemysł aluminiowy będzie więc zmuszony oprzeć się na tlenku glinu, produkowanym z glinokrzemianów, jako najobficiej występującym z dotychczas znanych surowców.

W państwach nie posiadających złóż boksytu, i planujących budowę lub rozbudowę przemysłu aluminiowego w oparciu o własne surowce — choćby tylko ze względu na ograniczenie spożycia miedzi lub żelaza — wcześniejsze rozpoczęcie produkcji tlenku glinu z glinokrzemianów uprzedzi tylko fakt, który niewątpliwie w przyszłości musi nastąpić w przemyśle aluminiowym.

### 2. Własności tlenku glinu

Sposób elektrolityczny otrzymywania metalicznego glinu stawia wymagania zarówno co do składu chemicznego, jak i własności fizycznych tlenku glinu.

Tablica 1

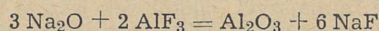
Dopuszczalne zawartości zanieczyszczeń  $Al_2O_3$  w gatunkach  $G_0$  i  $G_1$  według GOST

Zanieczyszczenia w %	$G_0$	$G_1$
$SiO_2$	0,10	0,20
$Fe_2O_3$	0,02	0,03
CaO	0,02	0,03
$Na_2O$ ( $K_2O$ )	0,30	0,40
Straty prażenia ( $H_2O$ )	1,0	1,0

Do przemysłowej produkcji aluminium według norm radzieckich stosuje się dwa gatunki tlenku glinu,  $G_0$  i  $G_1$ , o następującym składzie chemicznym (tablica 1).

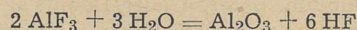
Krzemionka i tlenek żelaza, podobnie jak  $Al_2O_3$ , rozkładają się w elektrolitycznej wannie na pierwiastki i przechodzą do roztopionego aluminium, zanieczyszczając go w mniejszym lub większym stopniu, zależnie od zawartości  $SiO_2$  i  $Fe_2O_3$  w tlenku glinu użytym do elektrolizy.

Tlenek wapnia reaguje ze składnikami elektrolitu i zmienia się jego skład, a tym samym narusza bieg elektrolizy. Tlenek sodu lub potasu reaguje z fluorkiem, glinu, znajdującym się w elektrolicie według reakcji:



wskutek czego elektrolit ubożeje o  $AlF_3$  i dla zachowania w nim odpowiedniego pH trzeba stale dodawać ten składnik do elektrolitu. W ten sposób zawartość alkali w tlenku glinu komplikuje i podraża proces elektrolizy tlenku glinu.

Wprowadzona do elektrolitu z  $Al_2O_3$  wilgoć powoduje rozkład  $AlF_3$  według reakcji:



co powoduje straty fluoru, a tym samym zwiększa koszt produkcji aluminium.

Ograniczenie zawartości domieszek w tlenku glinu, przeznaczonym do produkcji aluminium, podyktowane jest więc ekonomią procesu elektrolizy i potrzebą utrzymania standardowego metalu (min. 99,5 % Al).

Jak wspomniano, tlenek glinu stosowany do elektrolizy winien mieć odpowiednie uziarnienie.

Zasilanie waniek bezpostaciowym lub drobnokrystalicznym tlenkiem glinu powoduje duże straty przez pylenie, natomiast karmienie elektrolizerów grubokrystalicznym  $Al_2O_3$  utrudnia proces elektrolizy wskutek jego powolnego rozpuszczania się w elektrolicie ( $Al_2O_3$  tonie w metalu).

Najodpowiedniejszym do elektrolizy jest tlenek glinu, o ziarnach 20 do 80 mikronów. Do elektrolizy można też używać tlenku glinu o ziarnach mniejszych od 20 mikronów, jednak jego straty przez pylenie są większe.

### 3. Ogólna charakterystyka metod otrzymywania $Al_2O_3$

Znane dotychczas sposoby otrzymywania  $Al_2O_3$ , można podzielić na trzy grupy: metody alkaliczne, kwaśne i elektrotermiczne.

a. *Metody alkaliczne* polegają na przeprowadzeniu tlenku glinu zawartego w surowcu do roztworu jako glinian sodu lub potasu. Roztwór glinianu oczyszcza się od szkodliwych domieszek, po czym przez hydrolizę lub karbonizację wydziela się z niego krystaliczny, uwodniony tlenek glinu ( $Al_2O_3 \cdot 3 H_2O$ ), który po odfiltrowaniu i wymyciu kalcynuje się w piecach obrotowych na  $Al_2O_3$ .

Związanie tlenku glinu zawartego w surowcu z alkali na odpowiedni glinian można przeprowadzać sposobem mokrym albo suchym.

W sposobie mokrym (sposób Bayera) tlenek glinu z surowca, przeprowadza się do roztworu, jako glinian

przy użyciu roztworu sody kaustycznej, a pozostałe składniki surowca, jak  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  i inne tworzą osad.

W sposobie suchym surowiec wyjściowy rozkłada się przez spiekanie z sodą (lub  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) i wapieniem, samym wapieniem, albo  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  w piecu obrotowym. Podczas spiekania tlenek glinu przechodzi w glinian sodowy lub potasowy, albo w glinian wapnia.

Glinian sodowy lub potasowy łąguje się ze spieku gorącą wodą, zaś spieki zawierające glinian wapniowy traktuje się roztworem sody otrzymując roztwór glinianu sodowego.

b. W metodach kwaśnych tlenek glinu zawarty w surowcach przeprowadza się do roztworu w postaci odpowiednich soli np.  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$  zależnie od użytego kwasu.

Otrzymany roztwór soli glinu zawiera mniejszą lub większą ilość rozpuszczonego żelaza lub innych metali (Mg, Na, K, Ca), zależnie od składu chemicznego surowca traktowanego kwasami, krzemionka natomiast, prawie zupełnie nierozpuszczalna, pozostaje w osadzie.

Roztwór soli glinowych oczyszcza się z domieszek, zwłaszcza żelaza, po czym wydzielone kryształy rozkłada się w piecach, a otrzymany tlenek glinu kalcynuje się.

c. W metodach elektrotermicznych surowiec wyjściowy (boksyt) topi się w piecach elektrycznych z reduktorem (koksem). Wówczas domieszki boksytu (głównie  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) redukują się na odpowiednie metale, tworząc stop, który oddziela się od stopionego tlenku glinu wylewając go przez otwór spustowy pieca. Stopiony tlenek glinu granuluje się do wymaganej ziarnistości strumieniem sprężonego powietrza lub parą.

Należy tu nadmienić, że metoda elektrotermiczna otrzymywania  $\text{Al}_2\text{O}_3$  nie znalazła większego zastosowania w przemyśle aluminiowym podobnie jak metody kwaśne. Głównym powodem, hamującym wprowadzenie do przemysłu kwaśnych metod otrzymywania  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , jest zagadnienie konstrukcji aparatury kwasoodpornej, wymagającej specjalnych materiałów oraz poważne trudności regeneracji kwasów zwracanych w procesie do obiegu.

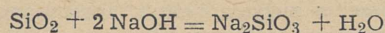
Poza tym oczyszczanie roztworu soli glinowych od związków żelaza, w wyniku poszczególnych operacji pozostających wraz z solami glinu, jest trudne i drogie.<sup>1)</sup> W metodach alkalicznych, na których opiera się dotychczas światowa produkcja tlenku glinu, żelazo znajdujące się w surowcu wyjściowym pozostaje w nierozpuszczalnych osadach i w praktyce nie zanieczyszcza roztworu glinianu sodowego lub potasowego. Z tego powodu metody te można z powodzeniem stosować do przeróbki rud dość bogatych w żelazo.

Zawartość krzemionki w surowcach wyjściowych ogranicza stosowalność metod alkalicznych. Metodą mokrą (Bayera) można przerabiać tylko surowce o małej zawartości  $\text{SiO}_2$  (boksyt), dochodzącej do 3 ÷ 5%. Surowce o dużej zawartości  $\text{SiO}_2$  przerabia się na  $\text{Al}_2\text{O}_3$  tylko metodą spiekania.

Ponieważ dotychczas w przemyśle aluminiowym gospodarcze znaczenie mają tylko metody alkaliczne, opiszę bliżej tylko te metody.

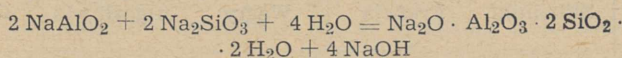
#### 4. Metoda mokra Bayera

Do przeróbki na  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sposobem mokrym nadają się tylko surowce o małej zawartości  $\text{SiO}_2$ , ponieważ w czasie łągowania krzemionka reaguje z sodą kaustyczną według reakcji:



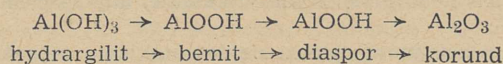
tworząc krzemian sodowy, który przechodzi do roztworu. Krzemian sodowy z kolei reaguje z glinianem

sodowym, dając nierozpuszczalny glinokrzemian sodowy według reakcji:



Otrzymany glinokrzemian sodowy wydziela się z roztworu i wraz z czerwonym szlamem usuwa się go na zwały. Chociaż reakcja ta jest korzystna dla technologii otrzymywania  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , gdyż zmierza do oczyszczenia roztworu glinianu sodowego od szkodliwej krzemionki, pociąga jednak za sobą stratę  $\text{NaOH}$  i  $\text{Al}_2\text{O}_3$  wylugowanego już z boksytu. Ze zwiększeniem się zawartości  $\text{SiO}_2$  w surowcu rosną straty  $\text{NaOH}$  i  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , gdyż każdy procent  $\text{SiO}_2$  wiąże teoretycznie 6,65 kg  $\text{NaOH}$  i 8,5 kg  $\text{Al}_2\text{O}_3$  na 1 t przerobionego boksytu.

W metodzie Bayera ważny jest nie tylko skład chemiczny boksytu, lecz także postać mineralogiczna wodorotlenku glinu. Zależnie od postaci mineralogicznej, wodorotlenek glinu może łatwiej lub trudniej rozpuszczać się w roztworze sody kaustycznej. Rozpuszczalność ta spada według następującej kolejności:



Przy łągowaniu najłatwiej rozpuszczalnym jest boksyt hydrargilitowy, trudniej zaś bemitowy, najtrudniej — diasporowy.

W tablicy 2 przedstawiono w jakim stopniu postać mineralogiczna wodorotlenku glinu zawartego w boksycie wpływa na warunki jego rozpuszczalności.

Skład chemiczny boksytu z różnych krajów podaje tabl. 3.

Z kopalń dostarcza się boksyt w bryłach, których wymiary dochodzą do 40 ÷ 50 cm. Bryły te rozdrabnia się na ziarna 25 × 25 mm, po czym miele na moko w młynach rurowych z dodatkiem roztworów obiegowych (por. schemat rys. 1). Optymalny stopień przemiału ustala się zależnie od budowy mineralogicznej boksytu. Waha się on dla różnych boksytów w dość szerokich granicach od 0,83 mm (20 mesh) do 0,06 mm (250 ÷ 270 mesh). Z młyną materiał przechodzi do klasyfikatora, gdzie oddziela się od szlamu grube ziarna i zwraca je z powrotem do przemiału, szlam zaś kieruje się do mieszalnika, skąd pompuje się go jako surowy szlam boksytowy do łągowni.

Jeżeli np. miele się boksyt o składzie chemicznym:  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 51,5\%$ ;  $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 25,5\%$ ;  $\text{SiO}_2 = 3,0\%$ ;  $\text{TiO}_2 = 2,5\%$ ;  $\text{H}_2\text{O} = 17,5\%$ , a roztwór obiegowy, dawkowany do młyną ma c. wł. 1,435  $a_0 = 4,25$  przy zawartości  $\text{Al}_2\text{O}_3$  130 g/l, to dla otrzymania roztworu glinianu sodowego o module kaustycznym  $a_K = 1,85$  należy na 1 t boksytu dodawać 3,03 m<sup>3</sup> roztworu obiegowego.

Tablica 2

Warunki łągowania	Boksyt o budowie diasporowo-bemitowej (AlOOH)	Boksyt o budowie hydrargilitowej Al(OH) <sub>3</sub>
Przemiał boksytu	30 % p. n. s. 270 mesh	35 % p. n. s. 270 mesh
Ciśnienie łągowania at	13	1
Temperatura łągowania °C	200 ÷ 205	105
Czas łągowania, godz	3 ÷ 3,5	1
Stężenie NaO w roztworze idącym do łągowania, g/l	290 ÷ 300	200 ÷ 230
Stosunek cieczy do ciał stałych w szlamie boksytowym idącym do łągowania	4:1	3:1

<sup>1)</sup> W. A. Mazel. Przemysł glinowy, 1950 str. 47.

Tablica 3

Składniki	Francja	Węgry	Jugosławia	Grecja	Włochy	USA	Gujana Holenderska	Gujana Brytyjska
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	57 ÷ 62	57 ÷ 62	48 ÷ 54	56 ÷ 59	54 ÷ 58	57 ÷ 60	60 ÷ 61	59 ÷ 60
SiO <sub>2</sub>	3 ÷ 5	2 ÷ 7	1 ÷ 4	3 ÷ 7	2 ÷ 4	4 ÷ 7	2 ÷ 2,5	1,5 ÷ 2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18 ÷ 23	12 ÷ 20	20 ÷ 24	16 ÷ 21	22 ÷ 26	2 ÷ 7	2,5 ÷ 3	5 ÷ 6
TiO <sub>2</sub>	3 ÷ 4	2,5 ÷ 3,5	2,5 ÷ 3,5	2 ÷ 2,5	2 ÷ 3	2,5 ÷ 3,5	2,5 ÷ 2	2 ÷ 2,5
H <sub>2</sub> O	10 ÷ 12	14 ÷ 16	18 ÷ 24	13 ÷ 16	12 ÷ 15	28 ÷ 30	29 ÷ 31	29 ÷ 30

Zachowując ten stosunek boksytu do roztworu obiegowego, otrzymuje się z młyna surowy szlam boksytowy, w którym stosunek ciężaru cieczy do części stałych wynosi:

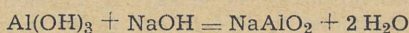
$$(1,435 \times 3,03) : 1 \text{ czyli } 4,35 : 1$$

Ponieważ optymalne warunki mielenia odpowiadają stosunkowi ciężarowemu cieczy do części stałych 1 : 1, do młyna dozuje się tylko część roztworu obiegowego, resztę zaś dodaje się w klasyfikatorze, aby rozcieńczyć szlam.

Szlam boksytowy wlewa się do autoklawu zaopatrzonego w mieszadło i ogrzewa do temperatury, która zależy od struktury mineralogicznej boksytu (hydrargilit, bemit lub diaspor).

Również i inne warunki, w jakich rozpuszcza się tlenek glinu w autoklawie ustala się zależnie od mineralogicznej struktury surowca.

W autoklawie NaOH działa na Al(OH)<sub>3</sub> zawarty w boksycie, wskutek czego tworzy się metaglinian sodowy według reakcji



W miarę przechodzenia Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> do roztworu spada jego

moduł kaustyczny, a stopień wylugowania Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> podnosi się i po upływie 1 do 4 godz proces kończy się osiągając około 85 % wydajności.

Na szybkość i ilość przechodzenia Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> z boksytu do roztworu wpływają: temperatura, stężenie Na<sub>2</sub>O w roztworze oraz moduł kaustyczny glinianu sodowego.

a. *Temperatura.* Im wyższa jest temperatura procesu ługowania, tym szybciej Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> przechodzi do roztworu. Jeżeli np. surowiec ługuje się w autoklawie przez 4 godz przy 205 °C, to wydajność ługowania Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> wynosi 90 %. W tym czasie przy 220 °C wydajność wynosi 100 %.

b. *Stężenie Na<sub>2</sub>O w roztworze.* Podwyższenie stężenia Na<sub>2</sub>O w roztworze obiegowym zwiększa szybkość przechodzenia Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> do roztworu glinianu sodowego przy zachowaniu innych warunków stałych.

c. *Moduł kaustyczny roztworu glinianu sodowego.* Obniżanie α<sub>k</sub> przy ługowaniu Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> w roztworze obiegowym zmniejsza szybkość i przedłuża czas ługowania (zmniejszenie stężenia Na<sub>2</sub>O w roztworze).

Po zakończeniu rozpuszczania Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> zawartość autoklawu wypuszcza się rurą syfonową (pod ciśnieniem pary) do samoodparnicy, gdzie wskutek gwałtownego spadku ciśnienia np. z 12 at do 3 at ciecz silnie wrze, wydzielając duże ilości pary.

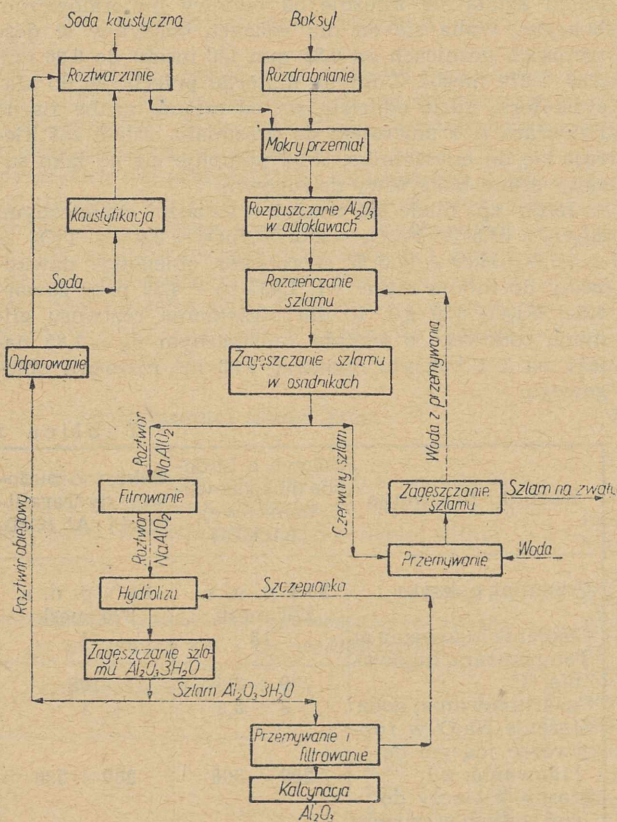
Parę tę wykorzystuje się do podgrzewania roztworu, szlam zaś wypływa dolną rurą i kierowany jest do dalszej operacji.

Szlam z samoodparnicy kieruje się do mieszalnika, gdzie rozcieńcza się go pochodzącą z następnej operacji (mycie czerwonego szlamu-osadnik II), a następnie przepompowuje do pierwszego osadnika Dorra, skąd sklarowany roztwór glinianu sodowego przetłaczany jest do błotniarki w celu usunięcia reszty drobnej zawiesiny. Zagęszczony szlam przepompowuje się do drugiego osadnika, gdzie rozcieńcza się go po raz drugi wodą pochodzącą z mycia białego szlamu oraz z końcowego mycia czerwonego szlamu. Roztwór sklarowany w drugim osadniku przechodzi do mieszalnika do rozcieńczenia szlamu, wychodzącego z samoodparnicy, a częściowo odmyty zagęszczony szlam kieruje się do płuczek Dorra i filtrów Kelly'ego, aby ostatecznie wymyć go od alkali (glinianu).

Odmyty czerwony szlam wywozi się na zwały, a odfiltrowany i rozcieńczony roztwór glinianu sodowego, wypływający z błotniarki, kieruje się na oddział hydrolizy. Rozcieńczenie roztworu glinianu sodowego, które jest związane z pierwszą fazą mycia czerwonego szlamu ma na celu:

- zwiększenie efektu hydrolizy roztworu glinianu sodowego;
- zwiększenie efektu odkrzemowania roztworu glinianu sodowego i ułatwienie odstawiania czerwonego szlamu;
- zmniejszenie zużycia płótna filtracyjnego w czasie filtrowania roztworu glinianu sodowego.

Objętość szlamu otrzymanego z samoodparnicy zwiększa się dwukrotnie wskutek rozcieńczenia, a jego ciężar właściwy zmniejsza się z około 1,55 do około 1,28,



Rys. 1. Schemat otrzymywania Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> metodą mokrą (Bayera)

stosunek cieczy do części stałych powiększa się do około 19,1.

W czasie rozcieńczania szlamu w mieszalniku oraz zagęszczania czerwonego szlamu w osadniku utrzymuje się temperaturę (szlamu)  $90 \div 100$  °C, przy czym odklarowany roztwór glinianu sodowego zawiera maksimum osadu 1 g/l, w zagęszczonym szlamie zaś stosunek cieczy do części stałych równa się 3,5 : 1.

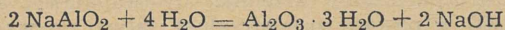
Straty Na<sub>2</sub>O w czerwonym szlamie wahają się zależnie od składu chemicznego wyjściowego surowca i wynoszą około 22 kg/t boksytu.

Przefiltrowany roztwór NaAlO<sub>2</sub>, kierowany do hydrolizy charakteryzują następujące liczby:

$$\begin{aligned} \text{zawartość Al}_2\text{O}_3 &= 100 \div 120 \text{ g/l} \\ \text{zawartość Na}_2\text{O} &= 120 \div 150 \text{ g/l} \\ \text{moduł kaustyczny} &= 1,85 \div 1,88 \\ \text{stosunek } \frac{\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ g/l}}{\text{SiO}_2 \text{ g/l}} &= 250 \div 300 \end{aligned}$$

Proces hydrolizy NaAlO<sub>2</sub> przeprowadza się w zbiornikach żelaznych, zaopatrzonych w mieszadło.

Rozpad glinianu sodowego przebiega według równania:



Proces wydzielania Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 3 H<sub>2</sub>O z roztworu glinianu sodowego składa się z dwóch stadiów: hydrolizy roztworu glinianu sodowego oraz krystalizacji Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 3 H<sub>2</sub>O. Ten ostatni proces przyspiesza się, wprowadzając dostateczną ilość zarodków krystalizacji, czyli tzw. szczepionki i mieszając roztwór.

Kinetykę wydzielania Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 3 H<sub>2</sub>O z roztworu określa tylko szybkość jego krystalizacji, a zatem szybkość rozpadu glinianu sodowego musi zależeć od szybkości krystalizacji Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 3 H<sub>2</sub>O, aby uzyskać z hydrolizy tlenek glinu o pożądanej ziarnistości. Wydajność Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> z rozpadu NaAlO<sub>2</sub> można obliczyć ze wzoru:

$$a = \left(1 - \frac{n}{N}\right) \cdot 100$$

gdzie:

*a* — wydajność Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %,

*n* — moduł kaustyczny wyjściowego roztworu glinianu sodowego (np. 1,8),

*N* — moduł kaustyczny roztworu po hydrolizie (np. 4,5).

Następujące czynniki wpływają na przebieg procesu hydrolizy roztworu glinianu sodowego.

a. *Moduł kaustyczny wyjściowego roztworu.* Im niższy jest moduł kaustyczny wyjściowego roztworu, tym intensywniej przebiega proces hydrolizy, należy jednak podkreślić, że nie powinno się zmniejszać zbyt  $\alpha_k$ , gdyż wtedy roztwór traci trwałość (następuje przedwczesny rozpad NaAlO<sub>2</sub>) i powstają straty Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

b. *Koncentracja Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> w roztworze wyjściowym.* Zwiększenie koncentracji Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> w roztworze zmniejsza szybkość hydrolizy. Dla każdego modułu kaustycznego roztworu wyjściowego dobiera się odpowiednie stężenie Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i odpowiednio go się rozcieńcza.

W praktyce najczęściej stosuje się roztwory o stężeniu około 120 g Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/l, c. wł. 1,23 ÷ 1,24,  $\alpha_k = 1,75$  do 1,8.

c. *Temperatura.* Przy stałym module kaustycznym i stężeniu Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> temperatura wpływa zarówno na szybkość hydrolizy, jak i na jakość otrzymanego tlenku glinu. Obniżenie temperatury roztworu od 80 °C do 30 °C przyspiesza rozpad NaAlO<sub>2</sub>. Dalsze jej obniżanie poniżej 30 °C zmniejsza szybkość hydrolizy, a kryształy słabo narastają i wskutek tego otrzymuje się w osadzie bezpostaciowy Al(OH)<sub>3</sub>, utrudniający dalsze operacje (np. filtrowanie).

d. *Ilość i jakość dodanej szczepionki do roztworu NaAlO<sub>2</sub>.* Dodatek szczepionki (która składa się ze świeżo wydzielonych z roztworu kryształów Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 3 H<sub>2</sub>O) do roztworu przyspiesza proces hydrolizy. Ilość dodawanej do procesu szczepionki zależy od stężenia Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> w wyjściowym roztworze (w g/l). W praktyce przyjmuje się stosunek ciężaru szczepionki do Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> w roztworze 1 : 1 lub 1,5 : 1.

Przed użyciem jej do procesu szczepionka powinna być wymyta z roztworu macierzystego i składać się z kryształów kości 1 ÷ 80 mikronów. Drobniejsze ziarna w szczepionce nie sprzyjają należytemu rozrostowi kryształów w czasie hydrolizy.

e. *Mieszanie roztworu w czasie hydrolizy.* Mieszanie przyspiesza proces rozpadu NaAlO<sub>2</sub> i ułatwia równomierny rozrost kryształów Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 3 H<sub>2</sub>O (wyrównanie stężenia Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i modułu kaustycznego oraz zapewnienie kontaktu ziarn szczepionki z roztworem).

Silne mieszanie hamuje rozrost kryształów. Mieszanie roztworu reguluje obrotami mieszadła : 8 ÷ 10 obr/min.

f. *Czystość roztworu wyjściowego.* W roztworze wyjściowym jako domieszki występują SiO<sub>2</sub> i związki organiczne. Krzemionka zmniejsza szybkość rozpadu NaAlO<sub>2</sub> i zanieczyszcza tlenek glinu, zaś związki organiczne przy odpowiednim stężeniu hamują hydrolizę i wzrost kryształów Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 3 H<sub>2</sub>O.

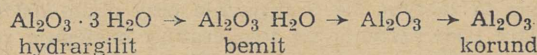
Proces hydrolizy prowadzi się zazwyczaj w wytwórniach tlenku glinu w następujących warunkach:

stężenie roztworu wyjściowego w g/l	160 ÷ 120
moduł kaustyczny	1,7 ÷ 1,8
stosunek ciężaru szczepionki do Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
w roztworze wyjściowym	1 ÷ 1,5
czas hydrolizy, godz	96 ÷ 120
początkowa temperatura procesu, °C	60
końcowa temperatura procesu, °C	30
szybkość obrotów mieszadła, obr/min	8 ÷ 10
moduł kaustyczny roztworu końcowego	4 ÷ 5

Po zakończeniu procesu biały szlam (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 3 H<sub>2</sub>O + końcowy roztwór) przechodzi do odstojników, skąd część zagęszczonego szlamu (50 ÷ 75 %) kieruje się, jako szczepionkę, do oddziału hydrolizy, resztę zaś przemawia się w płuczkach gorącą wodą (zazwyczaj kondensatem). Otrzymany z odstojnika roztwór macierzysty, zawierający przeciętnie około 140 g Na<sub>2</sub>O<sub>R</sub>/l · 15 g Na<sub>2</sub>O<sub>uw</sub>/l · 35 g Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/l  $\alpha_k = 4,5$  kieruje się do wyparek, a wody z płuczek do rozcieńczania szlamu wychodzącego z samoodparnic.

Przemity hydrat tlenku glinu, zawierający do 40 % wilgoci i maks. 0,2 % Na<sub>2</sub>O kalcynuje się w piecu obrotowym przy 1200 do 1250 °C.

W miarę nagrzewania się trójwodny tlenek glinu traci stopniowo wilgoć i wodę konstytucyjną, przechodząc w końcu przy około 1200 °C w odmianę niehigroskopijną o budowie heksagonalnej — Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (korund) według schematu:

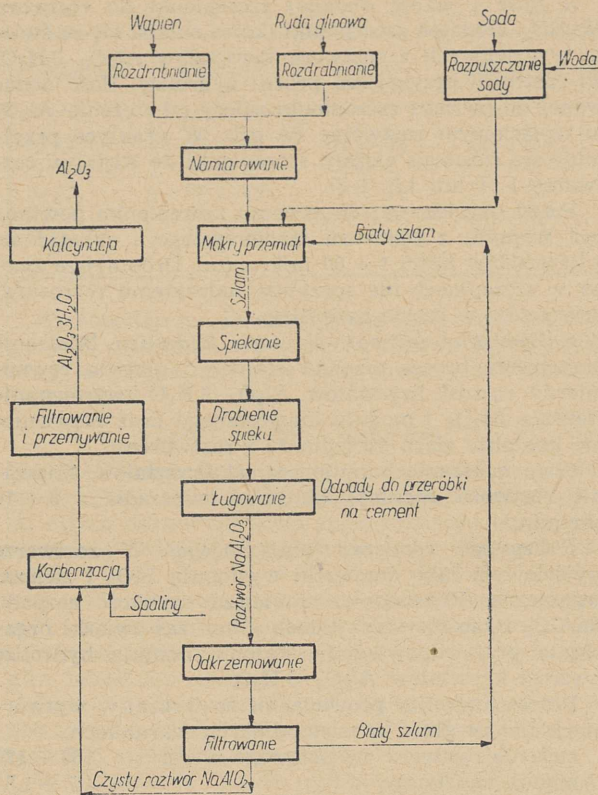


Kalcynowany tlenek glinu wychodzi z pieca do chłodnika bębnowego, a stąd do pakowni.

## 5. Metoda sucha — spiekanie

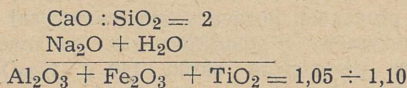
Z surowców zawierających znaczne ilości SiO<sub>2</sub> można produkować tlenek glinu tylko metodą suchą — spiekania.

Jak już podano przy opisie metody mokrej, uzysk Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i straty Na<sub>2</sub>O przy przerobieniu surowca zależą od zawartości krzemionki. Gdyby do metody mokrej użyto surowca bogatego w SiO<sub>2</sub>, nie otrzymano by z nich w praktyce tlenku glinu.



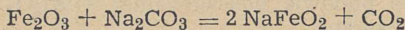
Rys. 2. Schemat otrzymywania Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> metodą suchą — spiekana

Dlatego rudy glinowe zawierające dużo SiO<sub>2</sub> po rozdrobnieniu miele się przeważnie na mokro z dodatkiem wapienia i sody lub potażu (por. schemat rys. 2), przy czym stosunki ciężarów tych surowców są tak dobrane, aby stosunki molowe składników w szlamie otrzymanym z młyna wynosiły:

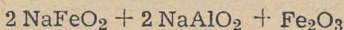


Surowy szlam wychodzący z młyna zawiera około 37 do 40 % H<sub>2</sub>O, zaś stopień jego przemiału wynosi od 7 ÷ 9 % p. n. s. na sicie 4900 oczek/cm<sup>2</sup>.

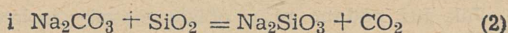
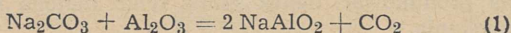
Po skorygowaniu w basenach szlam przechodzi do pieca obrotowego opalanego pyłem węglowym lub innym opałem w celu wysuszenia, a następnie przepalenia go przy około 1200 °C. W czasie spiekania w namiarze suchym zachodzą następujące reakcje:



Reakcja ta zaczyna się praktycznie przy około 700 °C. W miarę podwyższania się temperatury następuje reakcja wymienna między wolnym Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i ferrytem sodowym według równania

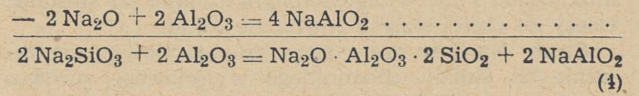
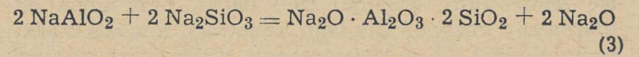


a zatem tworzy się glinian sodowy kosztem ferrytu sodowego. Przy około 200 °C przebiegają w namiarze dwie reakcje:



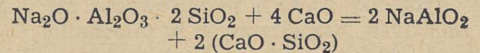
Przy tej temperaturze reakcja (2) przebiega szybciej niż (1) i jeśli w namiarze brak Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> do pełnego związania Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i SiO<sub>2</sub>, to część tlenu glinu pozosta-

nie wolna. Gdy namiar podgrzeje się do 1200 °C, nie zawiera on już wolnego Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i stąd należy wnosić, że w tym czasie zaszły bardziej złożone reakcje, a mianowicie:



W wyniku reakcji wymiennych (3) i (4) w spieku przy około 1200 °C otrzymuje się nierozpuszczalny glinokrzemian sodowy i rozpuszczalny glinian sodowy.

Na wstępie zaznaczono, że do namiaru dodano wapień w ilości odpowiadającej stosunkowi molowemu CaO : SiO<sub>2</sub> = 2. Gdy namiar podgrzeje się do około 1100 °C, CaO zaczyna reagować z SiO<sub>2</sub>, w wyniku czego rozpocznie się rozkład glinokrzemianu sodowego według równania:



W ten sposób otrzymuje się w spieku glinian sodowy i nierozpuszczalny krzemian dwuwapniowy, a zatem Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> w postaci rozpuszczalnej, łatwej do wyługowania wodę ze spieku.

W praktyce jednak trudno przygotować namiar, który by zapewnił idealny kontakt wszystkich reagentów ze sobą i dlatego wszystkie reakcje nie mogą zająć do końca; w spieku zawsze pozostanie część Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i Na<sub>2</sub>O w postaci Na<sub>2</sub>O · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 2 SiO<sub>2</sub>, co stanowi źródło strat tych składników.

Na podstawie własnych doświadczeń stwierdzono, że po prawidłowym przygotowaniu surowego szlamu i jego wypału w piecu ilość rozpuszczalnego w wodzie Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dochodzi do 90 % całkowitej ilości Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> zawartej w spieku.

Stąd wypływa wniosek, że z surowca bogatego w SiO<sub>2</sub> można metodą spiekania wyługować podobne ilości Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> jak z boksytu metodą mokrą.

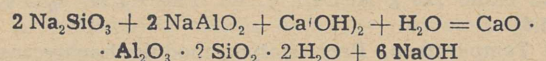
Z pieca otrzymuje się spiek, którego główną masę stanowią ziarna o granulacji od 0 ÷ 20 mm. Pozostała część spieku ma kształt brył o wymiarach dochodzących do 100 mm lub więcej.

W młynach miele się spiek na mokro na ziarna przechodzące przez sito 60 mesh, po czym szlam filtruje się, a osad myje na filtrach próżniowych albo kruszy się na ziarna od 0,5 ÷ 8 mm i ługuje przeciwprądem wody w dyfuzorach.

Po wielu własnych doświadczeniach do ługowania ziarn spieku o granulacji od 0 ÷ 8 mm zastosowano pochylony bęben obrotowy, zaopatrzonej wewnątrz w spiralę gdzie spiek ługuje się i myje w przeciwprądzie gorącą wodą o temperaturze 90 ÷ 95 °C.

Wyługowany spiek, jako odpady, przerabia się na cement. Roztwór glinianu sodowego (potasowego) o stężeniu około 90 g Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/l t filtruje się i odkrzemowuje w autoklawach z dodatkiem około 5 gr/CaO/l roztworu przy około 160 °C.

Proces odkrzemowania przebiega według następującej reakcji:



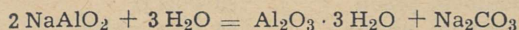
gdzie glinokrzemian wapniowy wydziela się jako nierozpuszczalny osad.

Roztwór glinianu sodowego, otrzymany z ługowania spieku zawiera od 2 ÷ 3 g SiO<sub>2</sub>/l po odkrzemowaniu zaś stosunek

$$\frac{\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ g/l}}{\text{SiO}_2 \text{ g/l}} = \text{około } 1800$$

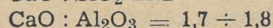
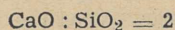
Po przefiltrowaniu poddaje się odkrzemowany roztwór glinianu sodowego karbonizacji oczyszczonymi spaliniami o zawartości około 10 ÷ 12 % CO<sub>2</sub> przy 75 ÷ 78 °C.

W wyniku działania CO<sub>2</sub> glinian sodowy rozpada się według równania:



Po zakończeniu procesu karbonizacji roztwór sodu oddziela się na filtrze próżniowym i zawraca do obiegu w celu przygotowania świeżego szlamu surowego, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 3 H<sub>2</sub>O zaś przerabia się dalej jak w procesie Bayera.

Rudy glinowe bogate w SiO<sub>2</sub> można spiekać również z samym wapniem, bez dodatku sodu. Wówczas stosunki molowe składników surowcowych w namiarze ustala się następująco:

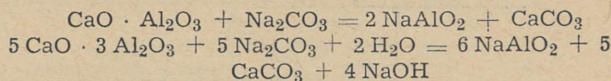


Surowy szlam przygotowuje się w sposób analogiczny jak dla spieków sodowych, przy czym wypalanie wyżarzonego szlamu prowadzi się przy około 1350 °C.

W czasie spiekania namiaru zachodzi w nim (oprócz innych) reakcja między CaO i Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i tworzą się głównie dwa rodzaje glinianów wapnia: CaO<sub>2</sub> · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i 5 CaO · 3 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Otrzymany z pieca żużel po ostygnięciu poniżej 650 °C samorzutnie rozpada się na mączkę, którą ługuje się roztworem sody przy około 60 °C.

W czasie ługowania zachodzą reakcje:



gdzie Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, jako glinian sodowy, przechodzi do roztworu, CaCO<sub>3</sub> zaś opada do szlamu.

Roztwór glinianu sodowego oddziela się od osadu na filtrach, następnie odkrzemowuje i przerabia dalej jak roztwór otrzymany ze spieków sodowych. Osad z filtrów przerabia się na cement.

Ze względu na charakter złóż glinowych, znajdujących się w Polsce, najbardziej interesujące są metody suche.

W okresie powojennym przystąpiono do zbadania obu wyżej wymienionych metod od skali laboratoryjnej aż do technicznej.

W ten sposób stworzono podstawy do uruchomienia produkcji tlenku glinu z własnych surowców, jako niezbędnej do rozwoju hutnictwa aluminium w Polsce Ludowej.

#### Literatura

- W. A. Mazel. Proizwodstwo glinoziema Moskwa, 1950.  
A. J. Bielajew. Metalurgia logkich metalow.

Inż. MAREK BRAFMAN

669. 713. 7

## Kierunki rozwoju produkcji aluminium za pomocą elektrolizy

*Jakkolwiek aluminium należy do najbardziej rozpowszechnionych metali w przyrodzie, jego metalurgia stanowi ze względu na trudność produkcji tego metalu jedną z młodszych gałęzi hutnictwa. — Z punktu widzenia metalurga jest on metalem bardzo interesującym, a spośród metali nieżelaznych wielkością produkcji dorównują mu jedynie miedź i cynk.*

### Produkcja aluminium za pomocą elektrolizy ogniowej kriolitowych roztworów tlenku glinu i konstrukcja wanien elektrolitycznych

Otrzymywanie aluminium najczęściej stosowanymi w metalurgii metodami, jakimi są procesy redukcji termicznej, jest bardzo trudne, a zarazem i bardzo kosztowne ze względu na to, że jedynymi pierwiastkami o większym niż aluminium powinowactwie z tlenem są takie metale, jak sód i potas. Dopiero rozwój techniki procesów elektrolizy roztworów stopionych soli, tak pod względem metod technologicznych, jak i dużych agregatów przetwórczych prądu stałego oraz konstrukcji elektrolizerów, umożliwił właściwy rozwój metalurgii aluminium.

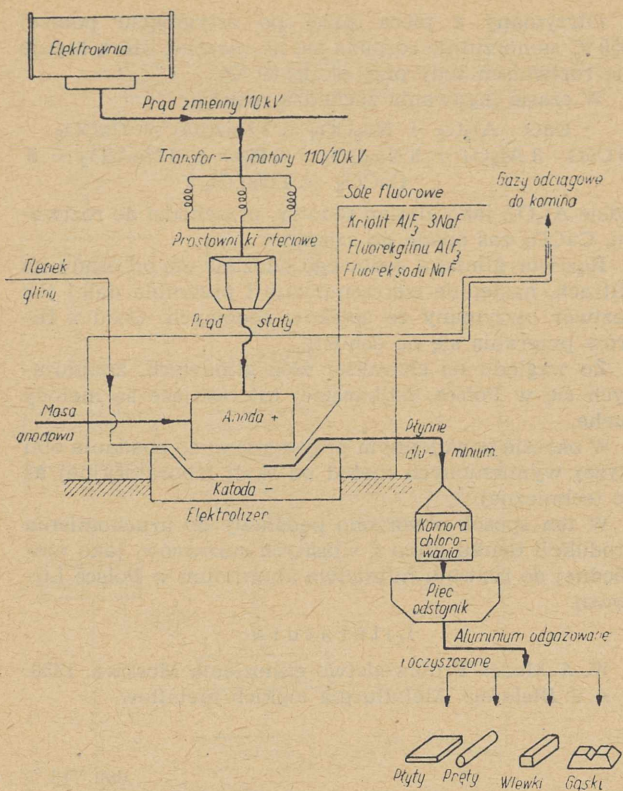
W ten sposób powstała metoda elektrolizy tlenku glinu w roztopionym kriolicie, która stanowi podstawę współczesnej elektrometalurgii aluminium. Schemat produkcji tego rodzaju elektrolizy przedstawia rys. 1.

Materiałami wyjściowymi produkcji aluminium za pomocą elektrolizy są: tlenek glinu, sole fluorowe (w postaci kriolitu, fluorku glinu i fluorku sodu) oraz masa anodowa. W produkcji metalu tlenek glinu jest surowcem, a kriolit stopiony jego rozpuszczalnikiem przez co uzyskujemy roztwór elektrolitu. Fluorkiem glinu i fluorkiem sodu koryguje się skład elektrolitu w przebiegu elektrolizy; węglowa masa anodowa natomiast stanowi ciągłą, samospiekającą się i samowypalającą się anodę.

Elektrolizę aluminium przeprowadza się w elektrolizerach, których schemat przedstawia rys. 2, a nowoczesną konstrukcję rys. 3. Elektrolizer składa się z prostokątnego płaszcza wykonanego ze stali, umocowanego

na fundamencie za pomocą śrub kotwowych. Na fundamencie układa się trzon złożony z kilku warstw cegły czerwonej i z kolei cegły szamotowej. Na powierzchni trzonu ubija się poduszkę z masy węglowej, a na niej ustawia się bloki węglowe z zalanymi rdzeniami stalowymi, których końce wypuszczone są poprzez otwory poza płaszc. Te końce łączy się z katodowym oszynowaniem anody przyspawanymi taśmami miedzianymi. Wewnętrzne powierzchnie boczne płaszcza wymurowuje się koroną szamotową, po czym układa się je bocznymi blokami węglowymi. Odstęp między blokami dennymi i między blokami dennymi i bocznymi ubija się masą węglową. W ten sposób tworzy się trzon węglowy odprowadzający prąd i stanowiący katodę elektrolizera.

Górną część elektrolizera stanowi konstrukcja nośna z mechanizmem podnoszenia anody i zasłonami. Wewnątrz niej zawieszona jest rama anodowa, w której znajduje się anoda pokryta koszulką z blachy aluminiowej o grubości 1,5 ÷ 2 mm. Podczas normalnej pracy wanny anoda zanurzona jest w elektrolicie; w celu doprowadzenia prądu do niej umocowuje się w jej miąższu cztery rzędy stalowych sworzni anodowych o długości 700 ÷ 800 mm i średnicy 60 ÷ 70 mm. Dwa dolne rzędy sworzni łączy się z anodowym oszynowaniem wanny taśmami aluminiowymi lub miedzianymi. Odległość między sworzniami anodowymi wynosi 30 cm, a między rzędami sworzni 20 cm. Sworznie te wbija się w miąższ anody pod kątem 15 ÷ 20°. Rama anody (o jej wycięcia opierają się sworznie anodowe) jest zawieszona na górnej konstrukcji elektrolizera za pomocą lin. Za pośrednictwem kół zębatach, reduktora i koła łańcuchowego reguluje się wysokość zawieszenia



Rys. 1. Schemat produkcji aluminium za pomocą elektrolizy

Pracę takiego nowoczesnego elektrolizera jednoanodowego na 50 000 A charakteryzują następujące wskaźniki:

gęstość anodowa prądu	0,8 ÷ 0,7 A/cm <sup>2</sup>
napięcie	4,6 ÷ 4,7 V
wydajność prądu	80 ÷ 85 %
wydajność energii	55 ÷ 57 g/kWh
zużycie energii	17 500 ÷ 18 200 kWh prądu stałego na jedną tonnę aluminium.

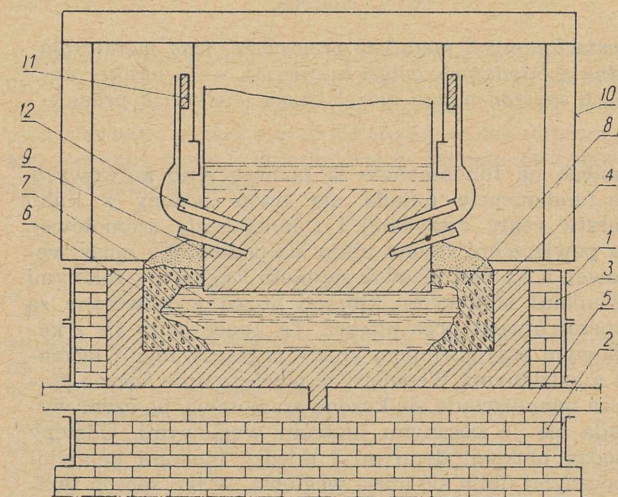
Opisany elektrolizer jest najnowocześniejszym ze stosowanych obecnie w przemyśle i stanowi znaczny postęp techniczny w porównaniu z dawnymi, wieloanodowymi elektrolizerami o mniejszych wymiarach i mniejszym natężeniu prądu. Wykazuje on jednak jeszcze pewne wady, z których największe są: mały współczynnik wykorzystania energii ( $\eta_e = 30 \div 35 \%$ ) spowodowany stratami elektrycznymi i cieplnymi oraz nie zmechanizowana obsługa, zwłaszcza czynności pochłaniających najwięcej czasu jak np. wyciąganie dolnych rzędów i nabijanie nowych górnych rzędów sworzni przy ciągłym wypalaniu się anody. Do usprawnień w tej dziedzinie należy zmiana konstrukcji (schemat przedstawiony na rys. 5) polegająca na doprowadzeniu prądu do anody nie z boków, lecz przez jej górną część.

W tego rodzaju elektrolizerze prąd do anody doprowadza się kilkoma rzędami pionowych sworzni przechodzących przez nie spieczoną część anody do części spieczonej. Anoda nie wisi już na ramie anodowej, lecz tylko na sworzniach, umieszczonych w różnych głębokościach. W miarę wypalania się anody sworznie znajdujące się w głębszych jej warstwach wyciąga się z części wypalanej do części niewypalanej. Przy zastosowaniu sworzni pionowych w anodzie na nich właśnie spoczywa cały ciężar i są one zawieszane na górnych szynach anodowych, doprowadzających prąd. Ponieważ tego rodzaju anoda nie ma sworzni na bocznych powierzchniach, a rama anodowa jest stała i nieruchoma można wannę szczelniej obudować i zmniejszyć w ten sposób straty ciepłe a więc i zużycie energii elektrycznej. Ponadto system doprowadzający prąd do anody zawiera mniej styków, a droga prądu do spieczonej części anody jest krótsza, co także zmniejsza straty energii elektrycznej. Wreszcie obsługa tego rodzaju elektrolizerów nie wymaga przedłużania koszulek aluminiowych wokół anody oraz pozwala na zmechanizowanie wyciągania i wbijania sworzni anodowych.

**Podstawy teoretyczne elektrolizy stopionych mieszanin kriolitu i tlenku glinu**

Chociaż doświadczalnie zasady elektrolizy aluminium stosowano już od 1854 roku, a więc od stu lat, jej podstawy teoretyczne, umożliwiające całkowite opanowanie procesu i jego niebywały postęp techniczny oparto na podstawach naukowych dopiero w ostatnich dziesięcioleciach.

Na ogół zjawiska elektrolizy roztopionych soli, a zwłaszcza elektrolizy roztworów tlenku glinu w stopionym kriolicie, przesłania wiele zjawisk wtórnych, wywołanych charakterem topionych soli i wysoką temperaturą ośrodka. Poprzednia interpretacja zachodzących w tej elektrolizie procesów opierała się przede wszystkim na analogii z elektrolizą roztworów wodnych. Dopiero szczegółowe badania zachodzących zjawisk i właściwości używanych materiałów, prowadzone od 1920 roku do ostatnich lat dokładnie określiły prawa rządzące tego rodzaju elektrolizą. Twórcą współczesnej teorii w latach 1923 ÷ 1932 był wybitny uczony radziecki P. P. Fiedotiew, a szczegółowe badania przeprowadzone następnie przez grupę radzieckich specjalistów jak: P. F. Antipin, J. W. Bajmakow, W. P. Maszowiec, S. A. Pletieniew, G. A. Abramow, W. W. Guś-



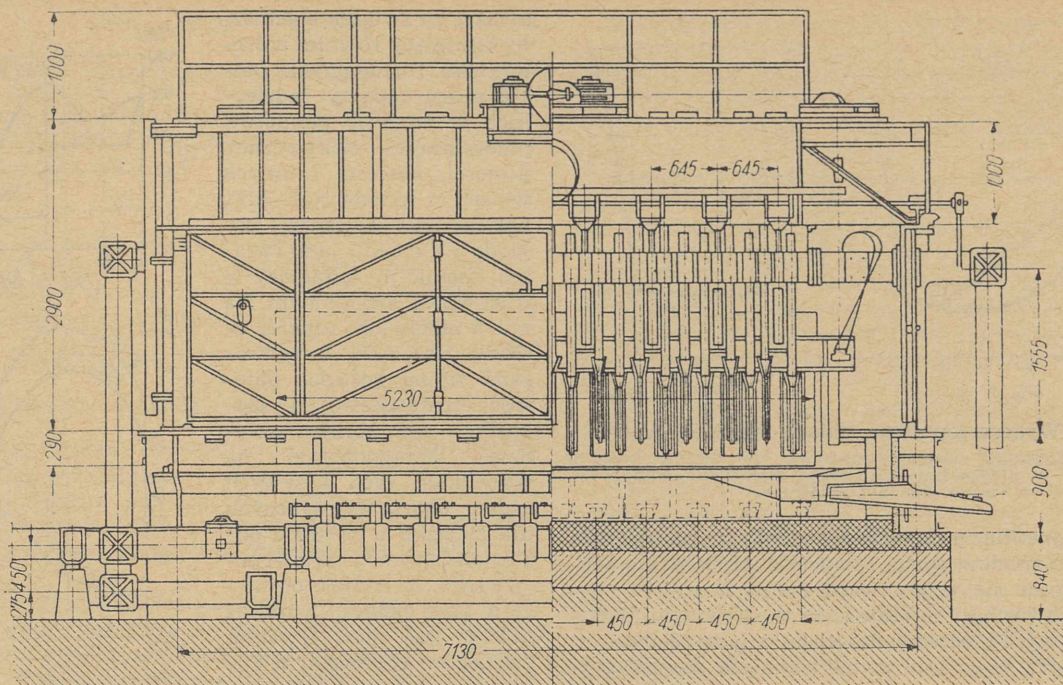
Rys. 2. Schemat jednoanodowego elektrolizera do produkcji aluminium w przekroju poprzecznym

- 1 — płaszcz, 2 — trzon ogniotrwały, 3 — izolacja szmatowa, 4 — wyłożenie węglowe (bloki denne i cokół boczny), 5 — rdzenie katodowe, 6 — aluminium w stanie ciekłym, 7 — elektrolit ciekły, 8 — elektrolit skrzepły (garnisaz i skorupa), 9 — anoda, 10 — konstrukcja nośna, 11 — szyny anodowe, 12 — sworznie anodowe

anody. Zasłony wanny i górne przykrycie pozwalają na odprowadzenie gazów wydzielających się podczas elektrolizy. Nad wanną znajduje się pomost do obsługi anody.

W ten sposób skonstruowany elektrolizer do produkcji aluminium wykorzystuje przepływający prąd stały nie tylko do elektrolizy, lecz także, dzięki dobrej izolacji cieplnej, do wewnętrznego nagrzewania elektrolitu i utrzymania go w stanie roztopionym. Odbywa się to kosztem ciepła, które (według prawa Joule'a) wytwarza się podczas przepływu prądu przez opór, który stanowi warstwa elektrolitu.





Rys. 3. Elektrolizer z anodą ciągłą na prąd o natężeniu 50 000 A (przekrój podłużny i widok z boku)

kow, A. F. Ałabyszew, A. J. Bielajew i wielu innych doświadczalnie stwierdziły teorie Fiedotiewa i w sposób wyczerpujący scharakteryzowały zachodzące zjawiska.

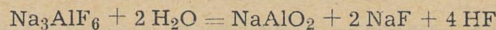
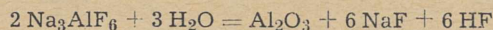
#### Właściwości fizyko-chemiczne elektrolitu

Ponieważ podstawę elektrometalurgii aluminium stanowi proces elektrolizy roztopionych mieszanin kriolitu i tlenku glinu, należy przede wszystkim rozpatrzyć, czy środowisko to czyni zadość warunkom niezbędnym do zrealizowania tego procesu. Z własności użytych materiałów wynika, że

1. elektrolit nie zawiera metali bardziej elektrododatnich niż aluminium, które wydzielając się na katodzie mogłyby zanieczyszczać osadzany metal;
2. kriolit roztopiony dobrze rozpuszcza tlenek glinu;
3. kriolit z tlenkiem glinu tworzy stopy, których temperatura topnienia ( $930 \div 1000 \text{ }^\circ\text{C}$ ) jest dość zbliżona do temperatury topnienia aluminium ( $660 \text{ }^\circ\text{C}$ );

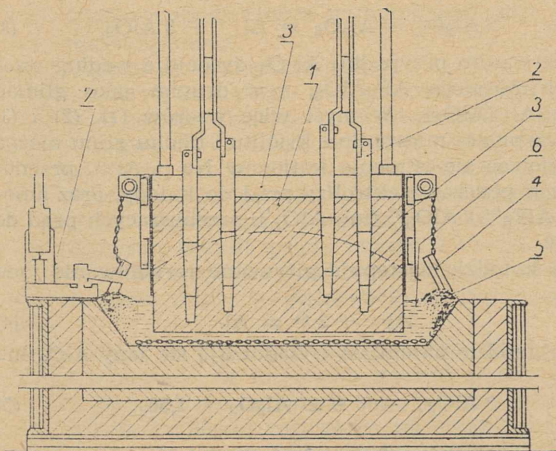
4. gęstość roztopionego kriolitu i jego roztopionych mieszanin z tlenkiem glinu jest mniejsza niż gęstość roztopionego aluminium, co sprzyja procesowi, umożliwiając wydzielanie się i pozostawianie metalu w dolnej części wanny i upraszcza konstrukcję elektrolizerów;
5. roztopione mieszaniny kriolitu i tlenku glinu są dostatecznie ciekłe, co pozwala na odpowiednie krążenie elektrolitu podczas procesu, na wydzielanie się tworzących się gazów oraz na wyrównywanie składu elektrolitu;
6. roztopiony kriolit oraz jego stopy z tlenkiem glinu mają dostateczną przewodność elektryczną, co z kolei umożliwia stosowanie niewielkiego spadku napięcia w warstwie roztopionego elektrolitu;
7. kriolit nie reaguje z węglową anodą i katodą;
8. kriolit roztopiony jest małołotny przy temperaturach stosowanych w procesie elektrolizy.

Badania układu kriolit-tlenek glinu ze względu na jego doniosłe znaczenie w procesie elektrolizy przeprowadzono wielokrotnie, jednak między wynikami uzyskanymi przez różnych badaczy istnieją znaczne różnice. Przyczyną tych różnic upatruje się w częściowym rozkładzie kriolitu w stanie stopionym wskutek styczności z zawartą w powietrzu wilgocią, w myśl reakcji:

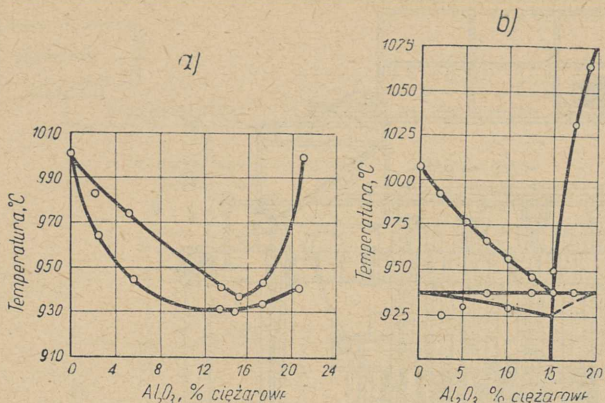


Na rys. 5 pokazano wykres topnienia układu  $\text{Na}_3\text{AlF}_6 - \text{Al}_2\text{O}_3$  dla przypadku dostępu powietrza do stopu podczas badań i starannego izolowania stopów od styczności z powietrzem. W pierwszym przypadku najniższa temperatura topnienia ( $935 \text{ }^\circ\text{C}$ ) odpowiada  $27,5 \text{ } \%$  mol, czyli  $15,5 \text{ } \%$  ciężar.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , a w drugim jest ona wprawdzie bardzo zbliżona, ponieważ wynosi  $938 \text{ }^\circ\text{C}$  przy zawartości  $14,8 \text{ } \%$  ciężar.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , lecz jest to minimum eutektyczne.

Przeciętnie najniższa temperatura topnienia mieszanek kriolitu z tlenkiem glinu wynosi  $935 \div 938 \text{ }^\circ\text{C}$  przy zawartości  $\text{Al}_2\text{O}_3$  około  $15 \text{ } \%$  ciężar., natomiast przy  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ , która stanowi górną granicę procesu elektrolizy rozpuszczalność  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dochodzi do około  $20 \text{ } \%$  ciężar.



Rys. 4. Schemat z pionowymi sworzniami anodowymi  
1 — anoda, 2 — pionowe sworznie anodowe, 3 — stalowa rama anodowa, 4 — pokryw, 5 — tlenek glinu, 6 — elektrolit, 7 — palnik gazów anodowych



Rys. 5. Wykres topnienia układu  $\text{Na}_3\text{AlF}_6\text{-Al}_2\text{O}_3$   
 a — w przypadku dostępu powietrza do stopów podczas badań, b — w przypadku starannego izolowania stopów od styczności z powietrzem

W praktyce dla uniknięcia tworzenia się na katodzie szkodliwych osadów górną zawartość  $\text{Al}_2\text{O}_3$  w elektrolicie utrzymuje się w granicach  $8 \div 10\%$ .

Wzrost zawartości fluorku sodu w stopionym kriolicie aż do składu odpowiadającego eutektyce  $\text{NaF} + 3\text{NaF} \cdot \text{AlF}_6$  powoduje zwiększenie się rozpuszczalności  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , po czym dalszy wzrost zawartości  $\text{NaF}$  wpływa na zmniejszenie się rozpuszczalności  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . W czystym stopionym fluorku sodu tlenek glinu nie rozpuszcza się, natomiast zwiększenie się zawartości fluorku glinu w stopionym kriolicie powoduje zmniejszenie się rozpuszczalności tlenku glinu. Na przykład już w holicie  $5\text{NaF} \cdot 3\text{AlF}_3$  trudno jest rozpuścić  $10\%$  ciężar.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , operacja taka bowiem wymaga długiego okresu czasu, przegrzania stopu oraz intensywnego mieszania.

Również ważnym czynnikiem elektrolizy aluminium jest gęstość stopów kriolitu z tlenkiem glinu oraz gęstość aluminium metalicznego. Aluminium metaliczne przy temperaturze normalnej jest lżejsze niż kriolit stały i jego stopy z tlenkiem glinu, natomiast gęstość metalu roztopionego jest większa niż gęstość kriolitu i roztopionych mieszanek tlenku glinu z kriolitem. W ten sposób wydzielające się podczas elektrolizy aluminium w stanie ciekłym zbiera się na spodzie wanny pod warstwą roztopionego elektrolitu. Najlepiej obrazuje to następująca tablica:

Składnik elektrolizy	Gęstość przy $1020 \div 1025^\circ\text{C}$	Gęstość przy $960^\circ\text{C}$
$\text{Na}_3\text{AlF}_6$	2,090	—
$\text{Na}_3\text{AlF}_6 + 5\% \text{Al}_2\text{O}_3$	2,046	2,073
$\text{Na}_3\text{AlF}_6 + 10\% \text{Al}_2\text{O}_3$	2,027	2,053
Al ciekłe	—	2,302

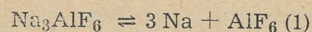
**Mechanizm elektrolizy roztopionych mieszanin kriolitu i tlenku glinu**

Jak już zaznaczono, twórcą nowoczesnej teorii przenoszenia prądu (mechanizmu elektrolizy) w kąpeli stopionych soli był uczony radziecki P. P. Fiedotiew.

W przeciwieństwie do innych uczonych (Andriego, Drossbacha, Pruvau, Terebezi'ego, Fiedotiew jako pierwszy, wysunął hipotezę, że w roztopionej mieszaninie kriolitu i tlenku glinu zachodzi dysocjacja na jony właściwe dla obu tych ciał jako określonych związków chemicznych i że jony te przenoszą prąd do elektrod. Inni natomiast badacze sądzili, że kriolit roztopiony jest jedynie mieszaniną fluorków sodu i glinu. Główną zasługą Fiedotiewa było wskazanie, że kriolit należy

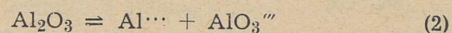
uważać za związek chemiczny istniejący również w środowisku roztopionym. Dalsze prace badaczy radzieckich w zakresie pomiarów przewodności elektrycznej, gęstości, lepkości i innych własności układu  $\text{NaF-AlF}_3$  potwierdziły słuszność poglądu na kriolit, jako związek chemiczny istniejący w środowisku roztopionym. Na rys. 6 zestawiono wykres układu  $\text{NaF-AlF}_3$  z wykresami zmian gęstości, objętości cząsteczkowej i lepkości w tym samym układzie. Występowanie na wszystkich tych krzywych zmian charakterystycznych dla związku o składzie odpowiadającym kriolitowi potwierdza, że istnieje on także w fazie ciekłej. Ponieważ kriolit jest dość trwałym związkiem chemicznym istniejącym także w fazie ciekłej, jasnym jest, że roztopiony powinien się jonować.

Dane te stanowią podstawę wystarczającą do stwierdzenia, że dysocjacja roztopionego elektrolitu przebiega według wzoru:

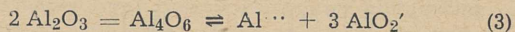


Co się tyczy dysocjacji tlenku glinu, istnienie jej potwierdzają następujące okoliczności: równoważna przewodność elektryczna roztopionej mieszaniny kriolitu i tlenku glinu jest nieco większa niż czystego roztopionego kriolitu, a ciężar cząsteczkowy tlenku glinu obliczony z temperatury krzepnięcia i wrzenia jest mniejszy od rzeczywistego, ponadto sieć krystaliczna tlenku glinu odznacza się wyraźnym charakterem jonowym.

Co do charakteru dysocjacji tlenku glinu w roztopionym kriolicie istnieją dwie różne hipotezy, które można wyrazić następującymi wzorami:



lub

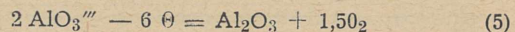


W pierwszym przypadku  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dysocjuje według wzoru chemicznego  $\text{Al} \cdot \text{AlO}_3$ , a w drugim jako glinian glinu  $\text{Al} (\text{AlO}_2)_3$ . W myśl więc wzorów (1), (2) i (3) w roztopionej mieszaninie kriolitu i tlenku glinu można spodziewać się istnienia kationów  $\text{Na}^+$  i  $\text{Al}^{\cdot\cdot}$ , przenoszących podczas elektrolizy prąd do katody, oraz anionów  $\text{AlF}_6^{\cdot\cdot\cdot}$  i  $\text{AlO}_3^{\cdot\cdot\cdot}$  (lub  $\text{AlO}_2'$ ), przenoszących prąd do anody.

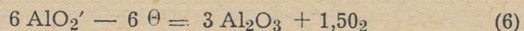
Na katodzie następuje pierwotne wyładowanie jonu glinu



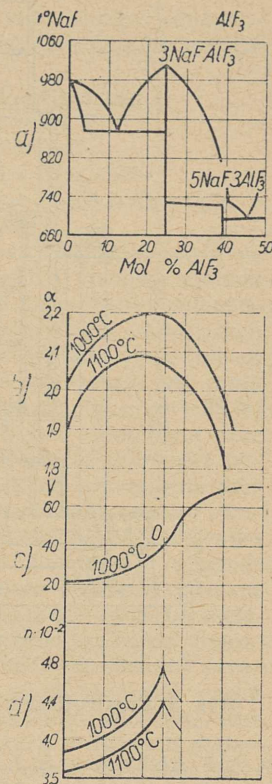
Na anodzie natomiast wyładowują się jony  $\text{AlO}_3$  lub  $\text{AlO}_2'$ .



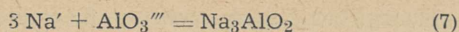
lub



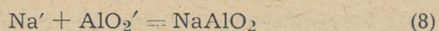
Niezależnie od tego gromadzenie się przy katodzie jonów  $\text{Na}^+$  i  $\text{AlO}_3^{\cdot\cdot\cdot}$  (lub  $\text{AlO}_2'$ ) powinno wywołać pojawienie się w przestrzeni katodowej glinianu sodu.



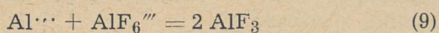
Rys. 6. Zmiany własności fizyko-chemicznych układu  $\text{NaF-AlF}_3$  zależnie od składu



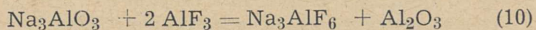
lub



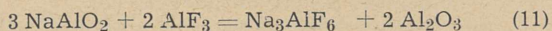
Poza tym nagromadzone przy anodzie jony  $\text{Al}^{\dots}$  i  $\text{AlF}_6'''$  powodują występowanie w przestrzeni anodowej nadmiaru  $\text{AlF}_3$ .



Wskutek dużej konwekcji elektrolitu w warunkach przemysłowych oraz niedużej odległości pomiędzy katodą a anodą, nie będzie różnicy w składzie elektrolitu przy katodzie i przy anodzie dzięki reakcjom:



lub



Wyniki badań doświadczalnych z zastosowaniem porowatej przepony korundowej lub elektrolizera aluowego wąskim kanałem dla oddzielenia anolitu od kriolitu, niemal całkowicie potwierdziły powyższe rozważania na temat procesów przebiegających przy elektrodach.

Zjawiska zachodzące na anodzie podczas elektrolizy roztopionych mieszanin kriolitu i tlenku glinu. Najważniejszym zjawiskiem podczas elektrolizy roztopionej soli są okresowo występujące wyładowania iskrowe, czyli tak zwany efekt anodowy. Zjawisko to powoduje nagły wzrost napięcia z 4,5 do 30 ÷ 40, a niekiedy nawet 60 i więcej woltów. Jednocześnie zmniejsza się natężenie prądu, przy czym na granicy elektrolitu i powierzchni anody pojawia się pierścien światlny wyładowań łukowych z charakterystycznym szmerem i trzaskiem. W czasie trwania tego zjawiska pęcherzyki gazów nie wydzielają się na anodzie, a elektrolit jest jakby odsunięty od jej powierzchni, czyli jej dostatecznie nie zwilża.

Moment wystąpienia efektu anodowego zawsze łączy się z chwilą, gdy wskutek elektrolizy wybitnie zaczyna się zmniejszać zawartość tlenku glinu w elektrolicie. Dodanie nowej porcji tlenku glinu i staranne wymieszanie elektrolitu szybko usuwają efekt anodowy i przywracają normalny bieg elektrolizy. Ten uregulowany stan trwa jednak tylko do chwili, gdy koncentracja tlenku glinu w elektrolicie ponownie nie spadnie poniżej pewnej określonej wielkości.

Badania charakteru tego zjawiska wykazały, że efekt anodowy występuje zawsze wtedy, gdy gęstość prądu na anodzie jest większa niż gęstość krytyczna prądu ( $d_k$ , A/cm<sup>2</sup>). Gęstość krytyczna prądu zależy od:

1. rodzaju roztopionej soli;
2. tlenków rozpuszczonych w roztopionej soli;
3. materiału anody;
4. temperatury roztopionej soli.

Gęstość krytyczna prądu roztopionych chlorków jest większa od gęstości fluorków, natomiast tlenki rozpuszczone w roztopionych solach wybitnie powiększają gęstość krytyczną prądu. Zwiększenie zawartości tlenku glinu zmniejsza więc prawdopodobieństwo wystąpienia efektu anodowego. Ponieważ w elektrolizerach przemysłowych gęstość prądu wynosi 0,7 ÷ 1,2 A/cm<sup>2</sup>, w tych warunkach efekt anodowy występuje wówczas, gdy zawartość  $\text{Al}_2\text{O}_3$  w elektrolicie zmniejszy się do 0,5%.

Niezależnie od tego, badania zjawiska efektu anodowego wykazały, że krytyczna gęstość prądu zależy od zdolności soli roztopionych do zwilżania powierzchni stałych. Im lepiej roztopiona sól zwilża powierzchnię anody, to znaczy im mniejsze jest napięcie powierzchniowe tej soli na granicy z anodą, tym większa jest gęstość krytyczna prądu i odwrotnie. Odpowiednio, im większy jest kąt skrajny zwilżania soli, tym mniejsza jest gęstość krytyczna prądu tej soli.

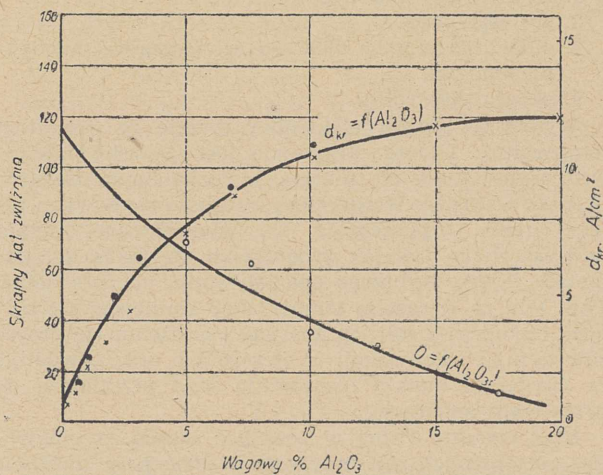
W układach podwójnych roztopionych soli gęstość krytyczna prądu zwiększa się w miarę wzrostu koncentracji składnika aktywnego powierzchniowo, który zmniejsza napięcie powierzchniowe roztopionej soli na granicy z powierzchnią stałą, a więc polepsza warunki zwilżania anody elektrolitem.

Rysunek 7 przedstawia zmianę gęstości krytycznej prądu oraz kąta skrajnego zwilżania stopu  $\text{Na}_3\text{AlF}_6\text{-Al}_2\text{O}_3$  w stosunku do powierzchni węgla przy 1000 °C. Z wykresu wynika, że krzywe zmiany krytycznej gęstości prądu i kąta skrajnego zwilżania, zależnie od zawartości powierzchniowo aktywnego tlenku glinu, przebiegają odwrotnie, ponieważ  $\text{Al}_2\text{O}_3$  zmniejsza napięcie powierzchniowe roztopionego elektrolitu na granicy z węglem.

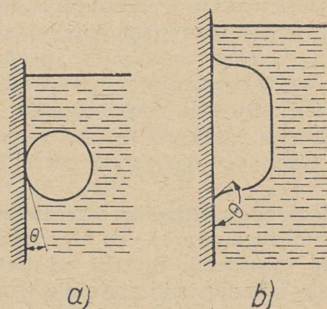
Jak widać, zwilżanie jest głównym powodem powstawania efektu anodowego i możemy teraz szczegółowo rozpatrzeć mechanizm tego zjawiska.

Roztopione mieszaniny kriolitu i tlenku glinu zawierające dostateczną ilość rozpuszczonego tlenku glinu dobrze zwilżają powierzchnię anody, ponieważ  $\text{Al}_2\text{O}_3$  jest substancją aktywną powierzchniowo, a więc zmniejszającą napięcie powierzchniowe na granicy roztopionego kriolitu z materiałem węglistym. Dzięki tej własności elektroliza może przebiegać przy znacznej gęstości prądu na anodzie.

W tych warunkach również wskutek małego napięcia powierzchniowego, a więc i niedużego kąta skrajnego zwilżania  $\theta$  na granicy anody i elektrolitu, gazy anodowe nie mogą utrzymać się na powierzchni anody i odrywają się od niej w postaci drobnych pęcherzyków, jak to schematycznie pokazano na rys. 8a. W miarę postępu procesu elektrolizy, wskutek zmniejszania się zawartości tlenku glinu w elektrolicie powiększa się



Rys. 7. Zmiana krytycznej gęstości prądu oraz skrajnego kąta zwilżania stopów  $\text{Na}_3\text{AlF}_6\text{-Al}_2\text{O}_3$  na powierzchni węgla przy 1000 °C



Rys. 8. Mechanizm tworzenia się błonki gazowej na anodzie

napięcie powierzchniowe, a więc i kąt skrajny zwilżania elektrolitu na granicy z anodą, czyli pogarsza się zwilżanie anody elektrolitem, wskutek tego pęcherzyki gazowe powiększają się i coraz trudniej oddzielają się od powierzchni anody, co schematycznie pokazuje rys. 8b.

Po osiągnięciu pewnej minimalnej zawartości tlenu glinu w elektrolicie, przy której *anodowa gęstość prądu odpowiada gęstości krytycznej*, napięcie powierzchniowe na granicy anody i elektrolitu staje się tak duże, że pęcherzyki gazowe odsuwają elektrolit od anody tworząc na jej powierzchni nie przerwana błonkę. Powoduje to oczywiście zwiększenie się oporu elektrycznego na granicy anody z elektrolitem i wystąpienie opisanego już poprzednio efektu anodowego.

Wpływ różnych czynników na wydajność prądu i wydajność energii w procesie elektrolizy stopów kriolitu z tlenkiem glinu. Zgodnie z prawem Faradaya teoretyczna ilość aluminium wydzielającego się na katodzie wynosi 0,335 g/kWh. W praktyce jednak wskutek ucieczki prądu i procesów wtórnych ilość otrzymywanego aluminium metalicznego jest zawsze mniejsza od teoretycznej.

Zazwyczaj w warunkach przemysłowych *wydajność prądu* przy elektrolizie aluminium wynosi 80 ÷ 85 %, *wydajność energii* natomiast wynosi około 30 % lub wyrażona ilością aluminium metalicznego w gramach wydzielona przez jedną kilowatogodzinę energii elektrycznej prądu stałego 55 ÷ 60 g/kWh zamiast teoretycznej 197 g/kWh.

Ponieważ wydajność prądu a zarazem i wydajność energii są wprost proporcjonalne, stanowią bardzo ważne parametry elektrolizy aluminium i przede wszystkim zależą od następujących czynników:

1. temperatury elektrolitu;
2. gęstości prądu;
3. odległości między elektrodami (odległość międzybiegunowa),
4. składu elektrolitu.

Wydajność prądu elektrolizy maleje ze wzrostem temperatury. Główną przyczyną jest zjawisko katodowe rozpuszczania się metalu w roztopionym elektrolicie. Ze wzrostem temperatury zwiększa się bowiem intensywność rozpuszczania się wydzielonego metalu w elektrolicie wskutek zwiększenia się prężności par metalu i jego szybszego oddziaływania na fazę solną. Poza tym ze wzrostem temperatury zmniejsza się lepkość roztopionej soli, co sprzyja wzmoczeniu się procesów dyfuzji i konwekcji w elektrolicie oraz powoduje, że cząsteczki metalu rozpraszają się i przechodzą do przestrzeni anodowej.

Stąd wynika ważna w praktyce zasada, że elektrolizę roztopionych soli należy prowadzić przy możliwie niskiej temperaturze. Temperatura ta powinna się znacznie różnić od temperatury metalu. Elektrolizę aluminium prowadzi się zazwyczaj przy około 950 °C.

Wpływ gęstości prądu w elektrolicie na wydajność prądu elektrolizy przy zachowaniu innych warunków procesu bez zmian jest następujący: zwiększenie gęstości prądu zwiększa wydajność prądu i odwrotnie. Niezależnie od tego ponieważ wysokość strat wydzielonego metalu wskutek rozpuszczania się w elektrolicie nie zależy w ogóle od zmiany gęstości prądu, należałoby w praktyce dążyć do zwiększenia gęstości prądu.

Wydajność prądu elektrolizy wzrasta ze wzrostem odległości międzybiegunowej, co tłumaczy się tym, że przenoszenie cząsteczek metalu od katody do anody przez dyfuzję i konwekcję staje się trudniejsze wskutek zwiększenia drogi, jaką metal ma przebyć, a to powoduje zmniejszenie strat metalu wskutek rozpuszczania się w elektrolicie.

Na podstawie powyższych wyników można by sądzić, że w celu zwiększenia wydajności elektrolizera należy dążyć do zwiększenia zarówno gęstości prądu, jak i odległości międzybiegunowej. Zarówno jednak zwiększenie gęstości prądu jak i zwiększenie odległości międzybiegunowej zwiększa *napięcie w wannie*. Napięcie to (nie licząc strat w układzie doprowadzającym prąd) wynika z wzoru:

$$E_w = E_T + \rho D l$$

gdzie

$E_w$  — napięcie w wannie, V

$E_T$  — napięcie rozkładu, V

$\rho$  — oporność elektrolitu,  $\text{om/cm}^2$ ,

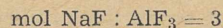
$D$  — gęstość prądu w elektrolicie,  $\text{A/cm}^2$ ,

$l$  — odległość międzybiegunowa, cm.

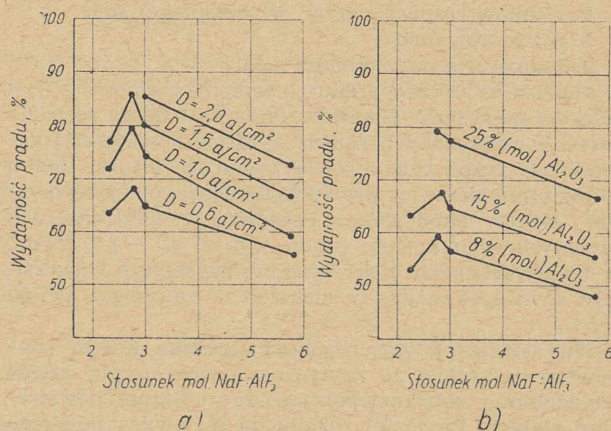
Z wzoru tego wynika, że napięcie w wannie jest proporcjonalne do gęstości prądu  $D$  w elektrolicie i do odległości międzybiegunowej  $l$ , a więc będzie się zwiększało razem ze zwiększeniem się obu tych wielkości. Dlatego ze względu na zmniejszenie się zużycia energii elektrycznej należałoby raczej stosować mniejszą gęstość prądu i mniejszą odległość międzybiegunową. W ten sposób zagadnienie wyboru gęstości prądu i wielkości odstepu między elektrodami nabiera bardzo dużego znaczenia dla projektowania nowych elektrolizerów i nowych wytwórni. Jeżeli rozporządza się tanią energią elektryczną, można wybierać większą gęstość prądu niż w razie droższej energii elektrycznej.

W praktyce stosuje się zazwyczaj gęstość anodową prądu od 1,0 do 0,7  $\text{A/cm}^2$  i odległość międzybiegunową 4 ÷ 6 cm.

Wpływ składu elektrolitu na wydajność prądu elektrolizy przedstawiono na rys. 9. Zarówno przedstawione na wykresach wyniki, jak i wieloletnie doświadczenia przemysłowe wykazują, że największą wydajność prądu w procesie elektrolizy uzyskuje się wówczas, gdy stosunek ilościowy zawartości NaF i  $\text{AlF}_3$  w elektrolicie zbliża się do stosunku cząsteczkowego tych składników w kriolicie:



Nadmiar NaF w elektrolicie prowadzi do wydzielania się na katodzie oprócz aluminium pewnych ilości sodu metalicznego, co powoduje zmniejszenie wydajności prądu. Pewien nadmiar (4 ÷ 5 %)  $\text{AlF}_3$  sprzyja procesowi elektrolizy i zmniejsza prawdopodobieństwo wydzielania się sodu na katodzie. Przy znacznej jednak zawartości  $\text{AlF}_3$  elektrolit bardziej się ulatnia i mniej rozpuszcza tlenek glinu, co bardzo niekorzystnie wpływa na przebieg elektrolizy.



Rys. 9. Zależność wydajności prądu od składu elektrolitu przy elektrolizie roztopionych mieszanin kriolitu i tlenku glinu

a — przy zawartości 15% (mol)  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , b — przy gęstości prądu 0,6  $\text{A/cm}^2$

## Produkcja aluminium drogą elektrolizy roztopionych chlorków

W chwili obecnej cała światowa produkcja aluminium opiera się na procesie elektrolizy roztopionych mieszanin kriolitu i tlenku glinu, ale w procesie tym powyżej szczegółowo opisanym, występują następujące wady:

1. dość wysoka temperatura (1000 °C);
2. duże koszty otrzymania czystego tlenku glinu z boksytów lub innych minerałów;
3. duże zużycie wysokowartościowej anodowej masy węglowej (0,6 ÷ 0,8 kg/kg Al);
4. korozyjne działanie roztopionego kriolitu;
5. zanieczyszczenie otrzymywanego metalu, wskutek czego dla otrzymania wysokiej czystości należy go poddać bardzo kosztownej elektrorafinacji.

Z tych też powodów wielu uczonych stale poszukiwało innej metody, stosującej inne środowisko elektrolizy. Najwięcej możliwości zastosowania ma kąpiel roztopionych chlorków glinu i sodu. Pierwsze doświadczenia dotyczące elektrolizy aluminium wykonał w 1854 r. Bunsen, stosując właśnie tego rodzaju kąpiel, jednakże z powodu dużej lotności chlorku glinu przy temperaturze topnienia, proces ten sprawiał tak wielkie trudności, że z chwilą opracowania metody elektrolizy roztopionych mieszanin kriolitu i tlenku glinu, zarzucono go. Dopiero w ostatnich kilkunastu latach doświadczenia badaczy zmierzały do wznowienia tego procesu, lecz badania te do dziś nie wyszły poza stadium doświadczeń laboratoryjnych.

Stosowanie elektrolizy kąpieli roztopionych chlorków glinu i sodu do produkcji aluminium w porównaniu z elektrolizą roztopionych mieszanin kriolitu i tlenku glinu ma następujące zalety:

1. o wiele niższą temperaturę procesu (około 400 °C),
2. materiały wyjściowe (AlCl<sub>3</sub> i NaCl) są tanie i łatwe do otrzymania;
3. unika się w praktyce zużycia masy węglowej, a chlor wydzielany na anodzie można użyć do produkcji AlCl<sub>3</sub>;
4. roztopiona mieszanka chlorków przy 400 °C nie koroduje i nie rozpuszcza takiego metalu jak nikiel, który może stanowić katodę wanny;
5. otrzymany produkt elektrolizy jest prawie 100-procentowej czystości i nie zawiera on zanieczyszczeń Ni lub Fe;
6. wydajność prądu może dojść do 92 %.

Oczywiście, że przed zastosowaniem tego rodzaju procesu w skali przemysłowej należy jeszcze rozwiązać wiele praktycznych problemów i trudności, do których przede wszystkim należą: transport i magazynowanie AlCl<sub>3</sub>, koncepcja i konstrukcja elektrolizerów nikielowych; urządzenia do wydobywania osadzanych kryształów z wanny, system ładowania chlorku glinu do wanny i wreszcie całość zagadnień prowadzenia elektrolizy sposobem ciągłym.

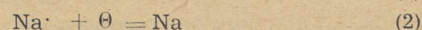
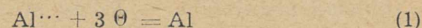
W zasadzie tego rodzaju elektrolizę można prowadzić w wannie niklowej, która stanowi zarazem katodę, stosując anodę węglową. Optymalne warunki elektrolizy są następujące:

1. skład elektrolitu: AlCl<sub>3</sub> i NaCl w stosunku cząsteczkowym 1 : 1;
2. czystość materiałów wyjściowych (użyte sole muszą być wolne od zanieczyszczeń żelazem lub krzemem i zupełnie suche);
3. odległość międzybiegunowa 2,0 cm;
4. katodowa gęstość prądu 10 A/dcm<sup>2</sup>;
5. temperatura 400 °C;
6. napięcie w wannie 5 ÷ 6 woltów;
7. wydajność prądu powyżej 90 %;
8. zużycie prądu 18,8 kWh/kg Al;

9. zużycie anod węglowych w praktyce nie występuje;

10. czystość otrzymanego metalu wynosi prawie 100 % Al.

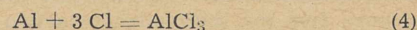
Wyniki doświadczeń przeprowadzonych nad wpływem poszczególnych czynników na wydajność prądu jasno wykazują, że wydajność prądu w elektrolitycznej produkcji aluminium z kąpieli roztopionych chlorków zależy przede wszystkim (jak w przypadku kąpieli roztopionych mieszanin kriolitu i tlenku glinu) od składu elektrolitu, odległości międzybiegunowej, temperatury i gęstości prądu. Ponieważ przeprowadzana wówczas elektroliza w warunkach laboratoryjnych nie jest procesem ciągłym, również czas jej trwania zalicza się do tych czynników. W elektrolizie roztopionych mieszanin chlorku glinu i chlorku sodu mogą zachodzić na katodzie następujące reakcje elektrochemiczne:



Jest także bardzo możliwe, że wskutek hydrolyzy AlCl<sub>3</sub> pod wpływem wilgoci atmosferycznej w elektrolicie znajdują się ślady HCl, co powoduje dodatkową reakcję katodową.



Istnieje także możliwość, że osadzony metal reaguje z silnie korodującym roztopionym elektrolitem, szczególnie przy wysokiej temperaturze elektrolizy i z wydzielającym się na anodzie chlorem według równania:



Spośród wszystkich wyników doświadczeń zasługuje na podkreślenie zagadnienie zawartości chlorku sodu w elektrolicie. Chlorek glinu w stanie czystym jest bardzo lotny i łatwo sublimuje, a w stanie roztopionym jest złym przewodnikiem prądu. Te przyczyny spowodowały zarzucenie jego elektrolizy w produkcji aluminium w ubiegłym stuleciu. Wyniki ostatnio przeprowadzonych badań wykazały, że przy użyciu chlorku sodu jako składnika elektrolitu, w odpowiedniej koncentracji, można w bardzo znacznym stopniu zmniejszyć lotność chlorku glinu i bardzo znacznie podnieść przewodność elektryczną roztopionego roztworu. Zwłaszcza podwójny chlorek AlCl<sub>3</sub> · NaCl w stosunku cząsteczkowym 1 : 1 łatwo się topi, jest dobrym przewodnikiem prądu i w stanie stopionym ma małą prężność pary, dlatego też można go użyć z powodzeniem do elektrolizy bez obawy lotności przy dość wysokich temperaturach.

## Literatura

1. P. P. Fiedotiew. Elektroliz w miedziarzędzi, Moskwa 1935.
2. W. P. Maszowiec. Elektromiedziarzędzi aluminium, Moskwa 1938.
3. W. M. Guškow. Elektrolityczeskoe proizwodstwo aluminium. Moskwa 1940.
4. U. W. Baimakow. Elektroliz w miedziarzędzi, Moskwa 1946.
5. A. J. Bielajew. Fizjiko-chimiczeskoje processy pri elektrolizie aluminium, Moskwa 1946.
6. A. J. Bielajew. Miedziarzędzi logkich miedziarzędzi, Moskwa 1949, (tłumaczenie polskie 1954).
7. A. J. Bielajew i E. A. Zemczuzina. Powierchnostnyje jawlenija w miedziarzędziarzędzi processach, Moskwa 1952.
8. A. J. Bielajew, M. B. Rapoport, L. A. Firsanowa. Elektromiedziarzędzi aluminium, Moskwa 1953.
9. G. A. Abramow, M. M. Wietukow, J. P. Gupalo, A. A. Kostukow, L. N. Lożkin. Tiejoreticzeskie osnovy elektromiedziarzędzi aluminium, Moskwa 1953.

10. S. J. Kuzniecowa, A. M. Epsztejn. Elektrolityczne-koje proizwostwo alumina, Moskwa 1953.

11. A. M. Epsztejn. Elektroliznik aluminowych zawodow, Moskwa 1950.

12. W. P. Maszowiec i G. W. Forsblom. Elektrolityczne-koje proizwostwo alumina, Moskwa 1951.

13. W. A. Kuzniecowa i A. A. Obersztejn. Swarne kontakty w elektrometalurgii alumina, Moskwa 1952.

14. P. Drossbach. Elektrochemie geschmolzener Salze, Berlin 1938.

15. W. Fulde i H. Ginsburg. Tonerde und Aluminium, Berlin 1953.

Inż. ZOFIA MASŁANKA-ORMAN

659.714.7

## Elektrolityczna rafinacja aluminium

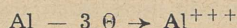
*Własności i zastosowanie aluminium rafinowanego. — Schemat i teoretyczne podstawy procesu rafinacji aluminium. — Wymagania stawiane elektrolitom do rafinacji. — Rodzaje stosowanych elektrolitów. — Konstrukcje elektrolizerów. — Zastosowanie złomu samolotowego do rafinacji. — Polskie osiągnięcia w dziedzinie rafinacji aluminium. — Próby rafinacji przy temperaturach poniżej punktu topnienia aluminium.*

Aluminium hutnicze wytwarzane przez elektrolizę tlenku glinu w stopionym kriolicie zawiera 99,5 % Al. Wyjątkowo, stosując surowce bardzo czyste i pracując bardzo starannie, można osiągnąć czystość 99,8 % Al. Zanieczyszczenia aluminium stanowią: 1. zanieczyszczenia metaliczne (żelazo, krzem, tytan, sód, wapń), 2. zanieczyszczenia niemetaliczne (tlenek glinu, elektrolit, cząsteczki węgla lub węglików, 3. zanieczyszczenia gazami, głównie wodorem. Aluminium jest metalem bardziej elektroujemnym niż większość pozostałych metali, z wyjątkiem metali alkalicznych i ziem alkalicznych, a poza tym ma duże powinowactwo z tlenem. Z tych przyczyn nie można go rafinować sposobami stosowanymi do innych metali, tj. przez utlenianie zanieczyszczeń (świeżenie) lub elektrolitycznie w roztworach wodnych. Wysoka temperatura wrzenia aluminium (1800 °C) nie pozwala również zastosować destylacji, tym bardziej, że prężność par głównych zanieczyszczeń aluminium (żelaza i krzemu) niewiele się różni od prężności par aluminium. Z tych powodów stosowanym w przemyśle sposobem rafinacji Al od zanieczyszczeń metalicznych jest proces elektrolityczny w stopionych solach. Do oczyszczania aluminium z domieszek niemetalicznych, sodu i gazów stosuje się chlorowanie lub chlorkowanie oraz przetapianie w piecu elektrycznym.

Aluminium rafinowane elektrolitycznie (bardzo czyste) zawiera 99,99 ÷ 99,999 % Al; maksymalna zawartość zanieczyszczeń wynosi: Fe 0,003 %, Si 0,003 %, Cu 0,003 %. Własności aluminium bardzo czystego znacznie różnią się od własności aluminium hutniczego. Aluminium bar-

dzo czyste ma większą plastyczność, przewodność elektryczną i ciepłą oraz dużą odporność na korozję, mniejszą natomiast wytrzymałość mechaniczną i twardość. Aluminium bardzo czyste stosuje się przede wszystkim na aparaty chemiczne, które powinny odznaczać się dużą odpornością na korozję, oraz w elektrotechnice (kondensatory, aparaty wymagające materiału mającego własności magnetyczne, a zarazem wysokie przewodnictwo elektryczne i mały ciężar właściwy).

Schemat procesu elektrolitycznej rafinacji aluminium metodą trzech warstw przedstawia rys. 1. Na węglowym dnie wanny, stanowiącym anodę, leży warstwa aluminium przeznaczona do rafinacji. W celu zwiększenia ciężaru właściwego tej warstwy, aluminium stapia się z metalem obciążającym (miedź). Ponad warstwą stopu anodowego znajduje się warstwa roztopionego elektrolitu, w której skład wchodzi kriolit i fluorek glinu oraz chlorek lub fluorek baru jako sól obciążająca. Skład elektrolitu dobrany jest tak, aby jego gęstość w stanie stopionym była mniejsza od gęstości stopu anodowego (Al-Cu) znajdującego się na dnie wanny, lecz większa od gęstości czystego aluminium. Czyste (rafinowane) aluminium pływa na powierzchni elektrolitu, stanowiąc trzecią warstwę i zarazem katodę. Podczas elektrolitycznej rafinacji aluminium ze stopu anodowego (dolnej warstwy) rozpuszcza się i tworzy jony glinu, które przechodzą do elektrolitu

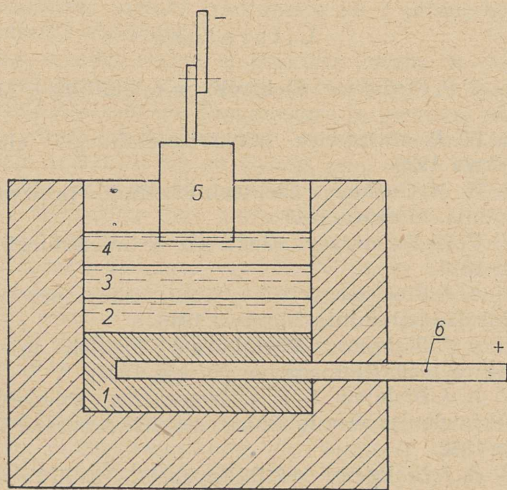


Na katodzie (górną warstwę) następuje proces odwrotny, tj. zubożenie jonów glinu i wydzielanie metalicznego aluminium



Mieszanina stopionych soli nadających się na elektrolit do rafinacji aluminium, powinna być tak dobrana, aby spełniała następujące zasadnicze warunki tego procesu:

1. Elektrolit nie powinien zawierać metali o niższym napięciu rozkładowym niż aluminium, ponieważ mogą one wydzielać się na katodzie i zanieczyszczać rafinowane aluminium.
2. Ciężar właściwy elektrolitu przy temperaturze procesu powinien mieć wartość pośrednią między ciężarem właściwym rafinowanego aluminium a ciężarem właściwym stopu anodowego Al-Cu.
3. Elektrolit musi mieć odpowiednio niską temperaturę topnienia, o ile możliwości bliską temperatury topnienia aluminium.
4. Elektrolit powinien mieć dostateczną przewodność elektryczną, aby możliwie jak najbardziej zmniejszyć spadek napięcia w warstwie roztopionego elektrolitu.

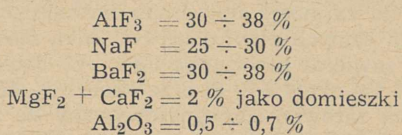


Rys. 1. Schemat procesu rafinacji

1 — węglowe dno elektrolizera, 2 — warstwa stopu anodowego Al-Cu, 3 — warstwa elektrolitu, 4 — warstwa aluminium rafinowanego, 5 — katoda, 6 — szyna boczna

5. Elektrolit musi mieć stosunkowo małą lotność przy temperaturze procesu.

Pierwsze próby rafinacji aluminium w stopionych solach rozpoczęto w 1900 r. [1]. Zastosowano następujący skład elektrolitu:

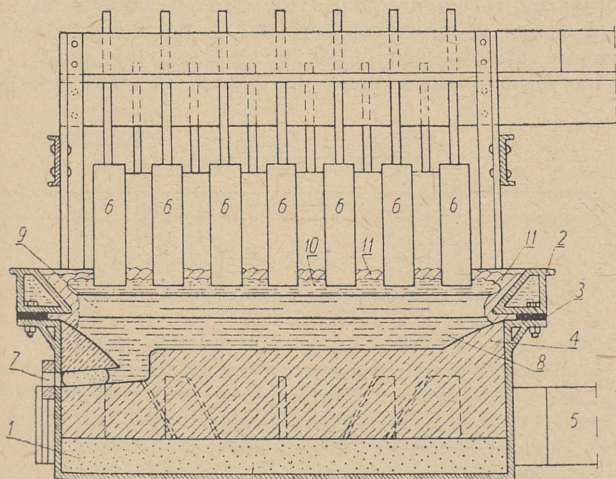


Temperatura procesu, zależna od temperatury topnienia elektrolitu, wynosiła  $950 \div 1000^\circ\text{C}$ . Konstrukcje pierwszych elektrolizerów nie były dostosowane do metody trzech warstw, chociaż próby stosowania tej zasady robiono już w 1901 r. Pierwsze konstrukcyjne rozwiązanie elektrolizera do rafinacji aluminium wprowadzone do przemysłu na szerszą skalę wykonano w 1922 roku. [2].

Elektrolizer ten (rys. 2) łączy zasadę pracy w trzech stopionych warstwach poziomych, z pomysłem wytwarzania — przez chłodzenie ścian — izolacyjnej powłoki ze skrzepłego elektrolitu na ścianach bocznych. Czystość produkowanego metalu wynosiła 99,98 % Al. Elektrolizer pracował przy natężeniu prądu  $7500 \div 12\ 000\ \text{A}$ ; gęstość prądu wynosiła  $0,84 \div 1,3\ \text{A/cm}^2$ . Skomplikowana konstrukcja, niewielkie różnice między ciężarami właściwymi trzech warstw, gromadzenie się dużych ilości tlenku glinu pod postacią grud, które utrudniały proces rafinacji, oraz wysoka temperatura procesu ( $1000^\circ\text{C}$ ) zahamowały rozwój rafinacji tym systemem.

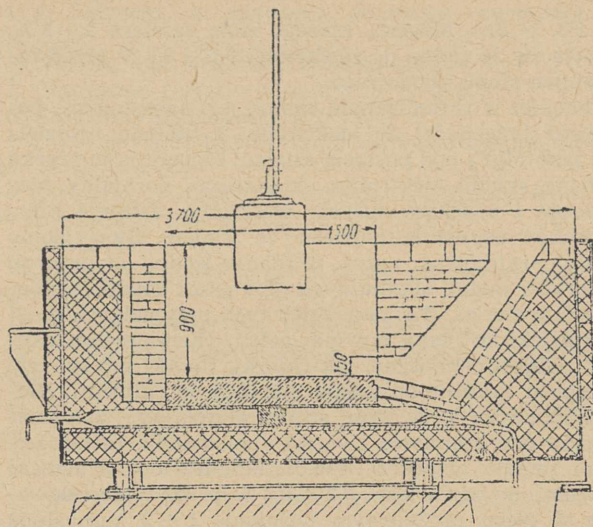
Badania procesu elektrorefinacji aluminium w Polsce zapoczątkował Chemiczny Instytut Badawczy w Warszawie w latach 1933  $\div$  1938 [3]. Prace Instytutu obejmowały badania fizycznych własności elektrolitu (układ potrójny  $\text{AlF}_3\text{-BaF}_2\text{-NaF}$ ), próby rafinacji w skali laboratoryjnej w elektrolizerze na 400 A oraz konstrukcję elektrolizera na skalę przemysłową (9000 A). Konstrukcję elektrolizera oparto na opisanych wyżej zasadach (system trzech warstw, chłodzenie ścian bocznych), lecz pewne jej szczegóły rozwiązano w oryginalny sposób.

Radykalne udoskonalenie rafinacji aluminium polegało na zastosowaniu elektrolitów o niższej temperaturze topnienia (poniżej  $700^\circ\text{C}$ ), umożliwiającą prowadzenie procesu rafinacji przy  $720 \div 740^\circ\text{C}$  i na uproszczeniu konstrukcji elektrolizera. Zaproponowany



Rys. 2. Pierwszy przemysłowy elektrolizer do rafinacji aluminium (rok 1922)

1 — skrzynia dolna, 2 — skrzynia górna, 3 — izolacja elektryczna, 4 — wyściółka węglowa, 5 — szyny anodowe, 6 — katody, 7 — otwór spustowy, 8 — warstwa stopu anodowego Al-Cu, 9 — warstwa elektrolitu, 10 — warstwa aluminium rafinowanego, 11 — skrzepły elektrolit



Rys. 3. Współczesny elektrolizer do rafinacji aluminium

w 1932 r. elektrolit [4] zawierał 23 %  $\text{AlF}_3$ , 17 % NaF oraz 60 %  $\text{BaCl}_2$ . Boczne ściany elektrolizera wyłożono cegłami magnezytowymi, odpornymi na działanie elektrolitu, a nie przewodzącymi prądu. Czyniło to zbędnym chłodzenie ścian bocznych w celu stworzenia izolacji między trzema warstwami:  $\text{Al}_{\text{anod}}$  — elektrolit —  $\text{Al}_{\text{katod}}$ . Czystość wytwarzanego metalu wynosiła 99,99 % Al.

W latach 1933  $\div$  1935 prowadzono badania w Zakładach Badawczych Aluminium w Leningradzie [5], stosowano elektrolit zawierający 60 %  $\text{AlF}_3$ , 3 % NaF, 34 %  $\text{BaCl}_2$ , 2 % NaCl oraz  $0 \div 2\%$   $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Charakterystyczną cechą elektrolizera, którego boczne ściany również wyłożono cegłą magnezytową, było zastosowanie bocznej kieszeni, przegrodzonej ścianą nie przewodzącą prądu i połączoną tylko z dolną warstwą stopu anodowego. Kieszeń służyła do zasilania stopu anodowego surowym aluminium przeznaczonym do rafinacji.

W 1937 roku w Niemczech [7] (Firma Aluminium-Industrie A. G. Neuhausen) wprowadziła jeszcze jeden skład elektrolitu, który uzyskał znaczenie przemysłowe również dzięki niskiej temperaturze topnienia i większej twardości. Przewodność tego elektrolitu jest nieco niższa. Zawiera on 48 %  $\text{AlF}_3$ , 18 % NaF, 18 %  $\text{BaF}_2$  oraz 16 %  $\text{CaF}_2$ . Konstrukcja elektrolizera AI AG oprócz wymiarów, nie różniła się od elektrolizera skonstruowanego w Zakładach w Leningradzie.

Z późniejszych udoskonaleń konstrukcji elektrolizerów większe znaczenie mają udoskonalenia wprowadzone przez WAMI (Wszzechsojuznyj Aluminijowyj i Magnijowyj Instytut) [7]. Charakterystyczną cechą elektrolizera opracowanego przez WAMI było zastosowanie katod aluminiumowych. Uniknięto w ten sposób zanieczyszczania elektrolitu węglem katod.

Obecnie w przemyśle stosuje się elektrolity o składzie: 60 %  $\text{BaCl}_2 + 23\%$   $\text{AlF}_3 + 17\%$  NaF (ZSRR, Francja, Polska) lub 48 %  $\text{AlF}_3 + 18\%$  NaF + 18 %  $\text{BaF}_2 + 16\%$   $\text{CaF}_2$  (Niemcy, ZSRR).

Rysunek 3 przedstawia konstrukcję współczesnego elektrolizera do rafinacji aluminium. Gęstość prądu (anodową) współczesnych elektrolizerów, dzięki lepszej izolacji cieplnej zmniejszono do  $0,36\ \text{A/cm}^2$ , a odległość między anodą (stop Al-Cu), a katodą (Al rafinowane) do 8 cm.

Po drugiej wojnie światowej, z powodu nagromadzenia się dużych ilości złomu aluminiowego, zastosowano do jego rafinacji metodę elektrolityczną systemem trójwarstwowym. Przeciętny rafinowany złom samolotowy w ZSRR [6] i w Niemczech [9] zawiera 6 % Cu,  $2 \div 3\%$  Zn,  $1 \div 3\%$  Si,  $1 \div 2\%$  Fe oraz 1% (Mn + Ni +

+ Pb + Sn). Magnez, którego złom zawiera  $2 \div 3 \%$ , usuwa się ze złomu do zawartości  $0,1 \div 0,2 \%$  przed zalaniem stopu anodowego.

Magnez w rafinowanym złomie jest niepożądany, ponieważ przechodzi do elektrolitu, z którego wydziela się jako  $MgF_2$  pod postacią szlamu. Powoduje to szybką zmianę składu elektrolitu, co narusza normalny bieg procesu i zwiększa zużycie elektrolitu. Istnieje kilka sposobów usuwania magnezu ze złomu. Stop złomu można rafinować przez działanie solami stopionymi chlorków metali alkalicznych albo przez działanie chlorem lub siarką. We wszystkich tych przypadkach magnez dzięki swojemu powinowactwu chemicznemu tworzy związki chemiczne, jak chlorki, fluorki lub siarczki magnezu zależnie od środka użytego do rafinacji. Nieuniknione są przy tym straty aluminium, ponieważ tworzy ono częściowo związki z substancją rafinującą. Zgar metalu wynosi  $7 \div 15 \%$ . Magnez można usuwać również do zawartości  $0,2 \div 0,5 \%$  przez oddestylowanie w piecu próżniowym (ciśnienie  $1 \div 2$  mm słupa rtęci) przy  $900^\circ C$ .

Złom wolny od magnezu wprowadza się przez boczną kieszeń do elektrolizera, gdzie rozpuszcza się on w stopie anodowym. Podczas rafinowania złomu należy stosować grubą warstwę stopu anodowego ( $35 \div 40$  cm). Stop anodowy zanieczyszcza się o wiele szybciej i silniej, toteż trzeba go odświeżać częściej niż zwykle lub systemem ciągłym. Metale ciężkie w miarę gromadzenia się w stopie anodowym wydzielają się pod postacią kryształów na dnie wanny i ścianach kieszeni, skąd usuwa się je co pewien czas. Kryształy zawierające przeciętnie  $10 \div 20 \%$  Cu,  $5 \div 10 \%$  Zn,  $5 \div 10 \%$  Si,  $10 \div 15 \%$  Fe oraz  $2 \div 5 \%$  Mn, przetapia się i przez chłodzenie rozdziela na dwa gatunki: pierwszy (40 % całości) o małej zawartości żelaza, drugi (60 % całości) o dużej zawartości żelaza. Stopy te stosuje się jako dodatki do produkcji stopów odlewniczych. Czystość aluminium rafinowanego ze złomu samolotowego dochodzi do 99,99 % Al.

W Polsce Ludowej podjęto próby rafinowania aluminium w stopionych solach w 1950 r. Celem prób było opracowanie procesu rafinacji mało użytecznego złomu na aluminium wysokiej czystości.

Opracowując [11] technologię rafinacji i konstrukcję elektrolizera oparto się przede wszystkim na wzorach radzieckich, zaczerpniętych z dostępnej nam literatury [7, 8, 10]. Zastosowano elektrolit zawierający 60 %  $BaCl_2 + 23 \%$   $AlF_3 + 17 \%$  NaF. Elektrolizery wybudowano na natężenie 7000 A. Ściany elektrolizera, z boczną kieszenią połączoną ze stopem anodowym, wymurowano cegłą magnezytową. Przegrodę kieszeni stanowią płyty magnezytowe, łączone (podobnie jak i cegły wymurowania) specjalną zaprawą (mączka magnezytowa z gliną ogniotrwałą, rozrobiona roztworem siarczanu magnezu). Praktyka wykazała, że wyłożenie w ten sposób związane jest trwałe i mało nasiąkliwe, a przegroda oddzielająca kieszeń szczelna. Katody zastosowano aluminiowe okrągłe z chłodzącymi żebrami, po sześć sztuk w każdym elektrolizerze (po trzy w dwóch rzędach).

Pierwsze prace po uruchomieniu procesu polegały na właściwym opanowaniu obsługi elektrolizerów. Polega ona na dodawaniu płynnego aluminium hutniczego przez kieszeń, zbieraniu łyżką rafinowanego aluminium z powierzchni, uzupełnianiu strat elektrolitu oraz na utrzymywaniu stałej temperatury, stałego napięcia między biegunami wanny i równomiernego rozłożenia prądu. Okresowo oczyszcza się elektrolit ze szlamu i katody z narostów skrzepłego elektrolitu oraz wymienia się częściowo stop anodowy po nagromadzeniu się w nim zanieczyszczeń ponad dopuszczalną miarę. Po opanowaniu wszystkich technologicznych trudności

procesu rozpoczęto produkcję aluminium rafinowanego na niewielką skalę, uzyskując metal o przeciętnej czystości 99,9 %.

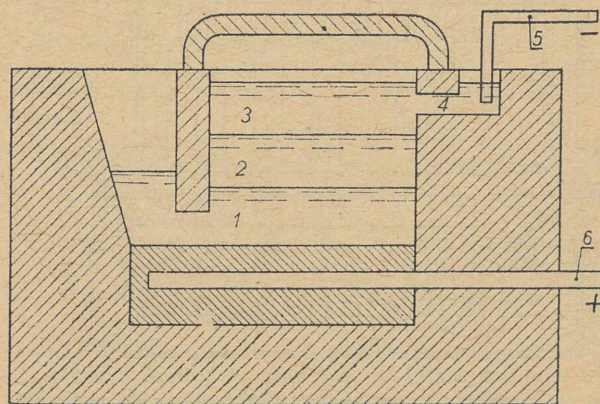
Równocześnie rozpoczęto badania nad rafinacją złomu samolotowego. Zastosowano do niej elektrolit taki sam jak do rafinacji aluminium hutniczego. Do prób użyto tych samych elektrolizerów. Złom stosowany do rafinacji zawierał przeciętnie 92 % Al, około 3 % Cu, około 2 % Fe, około 2 % Si oraz około 1 % Mg. Rafinowano złom zarówno odmagnezowywany do zawartości 0,2 % Mg, jak i nieodmagnezowywany. Zmiana ta nie wpływała na czystość wytwarzanego rafinowanego aluminium. Przeciętna czystość rafinowanego metalu wynosiła 99,9 %. Zużycie elektrolitu było początkowo duże, z powodu tworzenia się znacznych ilości szlamu. Trudność tę opanowano w stopniu dostatecznym, jeżeli uwzględnić doświadczalny charakter elektrolizerni (małe wymiary wanień, przerwy w dostawie prądu, niedostateczna klimatyzacja oddziały). Technologię regeneracji użytego elektrolitu opracowano w skali laboratoryjnej w Instytucie Metali Nieżelaznych [12].

Obecnie w tych samych doświadczalnych elektrolizerach produkuje się na niewielką skalę rafinowane aluminium ze złomu. Czystość produktu wynosi 99,85 do 99,95 %.

Równocześnie dokonano z wynikiem pozytywnym prób mających na celu udoskonalenie konstrukcji elektrolizera. Rysunek 4 przedstawia szkic elektrolizera nowej konstrukcji. Zmiana polega na zastąpieniu katod aluminiowych doprowadzeniem prądu za pomocą szyn aluminiowych do bocznego kanału połączonego z warstwą rafinowanego aluminium. Aluminium, krzepnące wokół szyn, w kanale przechodzi ze stanu stałego w ciekły. Konstrukcja ta ma szereg zalet, a mianowicie:

1. jest prostsza,
2. pozwala przykryć wierzch wanny, co zmniejsza straty ciepłone i chroni metal przed ewentualnymi zanieczyszczeniami mechanicznymi,
3. pozwala pracować przy niższym napięciu, co zmniejsza zużycie energii,
4. ułatwia odcięcie elektrolitu od stykania się z powietrzem, co polepsza atmosferę w elektrolizerni. a zarazem zmniejsza straty elektrolitu spowodowane jego hydrolizą.

Trzyletnia praca zespołu doprowadziła do opanowania procesu rafinacji złomu. Na tej podstawie wykonano projekt i wybudowano przemysłowy zakład elektrolitycznej rafinacji złomu. Uruchomienie zakładu nastąpi jeszcze w tym roku. Zaspokoi on nasze zapotrzebowanie rafinowanego aluminium na szereg lat i umożliwi przerób małowartościowego złomu na metal wy-



Rys. 4. Szkic elektrolizera z bocznym doprowadzeniem prądu do warstwy katodowej

1 — warstwa stopu anodowego Al-Cu, 2 — warstwa elektrolitu, 3 — warstwa aluminium rafinowanego, 4 — kanał boczny, 5 — szyna katodowa, 6 — szyna anodowa



sokiej wartości, tak potrzebny naszemu rozwijającemu się przemysłowi chemicznemu.

Należy wspomnieć jeszcze o próbach rafinacji aluminium przy temperaturach poniżej punktu jego topnienia, za zastosowaniem jako elektrolitu stopionych soli:  $1,5 \div 2$  moli  $AlCl_3 + 1$  mol  $NaCl$ . Temperatura topnienia takiego elektrolitu wynosi  $130^\circ C$ . Anody stanowią płyty zanieczyszczonego aluminium, a katodę blachy stalowe, miedziane lub aluminiowe. Na podstawie wyników badań prowadzonych zarówno w ZSRR [7, 13], Niemczech [14] jak i w Polsce przed wojną [15, 16] i po wyzwoleniu [17] opracowano optymalne warunki procesu. Wydajność prądu, początkowo duża (90%), po osiągnięciu warstwy aluminium na katodzie grubości 0,1 mm silnie się zmniejsza. Aluminium nie wydziela się w postaci zwartej osady, lecz w postaci osypującej się gąbki. Sposób ten nie nadaje się jeszcze do wprowadzenia w przemysł, można go jednak używać w niektórych przypadkach do elektrolitycznego powlekania przedmiotów metalowych aluminium.

#### Literatura

1. Hoopes. Pat. amerykański 673 364, 1901.
2. Hoopes, Frary, Edwardsy. Pat. amerykański 154 315, 1922.

3. J. Zalewski, A. Kotowicz. Przemysł chemiczny, t. 22, 1938.
4. Gadeau. Pat. niemiecki 600 585, 1932.
5. Chazanow. Logkije metally, nr 1, 1935.
6. Zeerleder. Aluminium 20, 1938.
7. Guskow. Elektroliticheskoje rafinirowanje aluminija. Moskwa 1945.
8. Bielajew, Rapaport, Firsanowa. Elektromietalurgija aluminija. Moskwa 1953.
9. BIOS 1089.
10. Bielajew. Metalurgija logkich metalow, Moskwa 1949.
11. Z. Maślanka-Orman. Hutnik 1952, nr 9.
12. J. Wałkow. Sprawozdanie nr 86/N/01. Instytut Metali Nieżelaznych 1952.
13. W. Leiner, Kudriawcew. Osnowy galwanostegii 1949, str. 136.
14. H. Grothe. Z. f. Elektrotech. 54, 1950.
15. Wasilewski, Kaczorowski, Weber. Patent polski 26 528, 1938.
16. Czochralski, Mikołajczyk. Wiadomości Instytutu Metalurgii i Metaloznawstwa 5, 1938.
17. Z. Maślanka-Orman. Sprawozdanie nr 367 Instytutu Metalurgii 1952.

Dr ERWIN KAMIENSKI

669. 715 : 621. 7

## Przeróbka hutnicza oraz zastosowanie aluminium i jego stopów

Przegląd postępu technicznego w zakresie przetwórstwa hutniczego aluminium i jego stopów. — Ich zastosowania i perspektywy rozwoju.

Wzrost światowej produkcji aluminium z 80 000 do 200 000 t rocznie w latach 1914 ÷ 1918 i do 2 000 000 t w 1943 r. jest bezprzekładny. W 1953 r. światowa produkcja aluminium osiągnęła 2,4 mln t, co przeliczone na objętość przekracza produkcję wszystkich pozostałych metali. Głównym czynnikiem rozkwitu produkcji aluminium było stosowanie jego stopów w lotnictwie. Zdobyte dzięki temu doświadczenie spowodowało szerokie rozpowszechnienie aluminium i jego stopów w innych dziedzinach przemysłu, tak że obecnie tylko około 16% aluminium hutniczego zużywa się na produkcję maszyn transportu powietrznego i lądowego.

Podobnie jak metalurgia i odlewnictwo, przeróbka plastyczna oraz obróbka cieplna aluminium i jego stopów, jako najmłodszego z metali technicznie ważnych, zostały oparte na naukowych podstawach i posługują się nowoczesnymi urządzeniami na wielką skalę oraz nową technologią.

Przedmioty z aluminium i jego stopów kształtuje się albo przez topienie surowca i odlewanie albo przez przeróbkę plastyczną wlewków. Trzeci sposób kształtowania — przez prasowanie i spiekanie proszków — nie ma w tym przypadku większego znaczenia.

### Topienie i odlewanie

Do topienia aluminium i jego stopów stosuje się powszechnie piece indukcyjne rdzeniowe, tj. małej częstotliwości. Kanały wtórnej cewki indukcyjnej z ciekłym metalem są w nowszych konstrukcjach położone nieco skośnie do poziomu, dzięki czemu tylna komora pieca ma powyżej dna próg, który zapobiega przedostawaniu się tlenków i innych zanieczyszczeń cięższych od metalu do przedniej komory, z której wylewa się metal. Piece indukcyjne do topienia aluminium i jego stopów o pojemności 1,8 t zaprojektowane przez naszych konstruktorów i budowane w kraju (typ PIAL) zdały egzamin w produkcji.

Odlewanie wlewków ze stopów aluminiowych przeznaczonych do przeróbki plastycznej odbywa się w ostatnich latach sposobem tzw. odlewu półciągnego. Wlewek krzepnie prawie równocześnie z napełnieniem wlewnicy i jest wolny od jamy usadowej. Odlew półciągny umożliwia poza tym dzięki stałemu poziomowi płynnego metalu we wlewnicy (gdyż dno wlewnicy opada) napełnianie wlewnicy równym, nieprzerwanym strumieniem metalu z pieca odstojowego, przechylnego po rynnice aż do ciekłej części metalu we wlewnicy. Taki sposób lania posiada decydujące znaczenie dla jakości wlewka ze względu na szkodliwość skórek tlenku glinu, które by dostawały się do wlewka.

Przemysł nasz dzięki wydatnej pomocy Związku Radzieckiego całkowicie opanował metodę półciągnego odlewania wlewków aluminium i jego stopów.

### Stopy aluminium

W dziedzinie nowych stopów aluminium nie ma rewalacyjnego postępu, jeśli stopy magnezowo-cynkowe o wytrzymałości około 55 kg/mm<sup>2</sup> zaliczyć do rzędu już wprowadzonych. Choć wpływ dodatku indu, kadmu lub cyny na drobnoziarnistość utwardzających składników stopów uznano za istotny, a beryl w ilości 0,004% zapobiega reakcji między stopami Al-Mg a piaskiem formierskim, to jednak stopy takie nie mogą mieć praktycznego znaczenia ze względu na deficytowość tych dodatków.

Utwardzane stopy Al-Mg-Si są wartościowymi tworzywami konstrukcyjnymi, dzięki dużej wytrzymałości i odporności na korozję. Dodatek manganu i chromu do stopu przeznaczanego na blachy zapobiega obserwowanej „słabości” międzykrystalicznej.

Interesujące jest zastosowanie do metalurgii siluminu radioaktywnego fluoru sodu jako modyfikatora, co pozwoliło stwierdzić równomierność rozmieszczenia sodu za pomocą autoradiogramów.

Znaczny postęp osiągnięto w technologii rafinującego przetapiania drobnych odpadów stopów aluminium, np. przez wlewanie do kadzi ze stopioną mieszaniną chlorków magnezu, sodu i potasu w równych częściach [1] lub przez mieszanie metalu z topnikami w bębnach obrotowych.

Zamiast chlorku do rafinowania przetapianego złomu stosuje się obecnie organiczne związki chloru, np. sześciochloroetan.

### Przeróbka plastyczna

Stopy aluminium typu duralu i magnezowokrzemowe nabierają coraz większego znaczenia jako kształtowniki. Wyciska się je przez otwór w matrycy przy pomocy pras hydraulicznych i równocześnie utwardza. Kształtowniki o wymiarach przekroju powyżej 250 mm [2] służą do konstrukcji maszyn i środków transportowych, jak samoloty, samochody ciężarowe i autobusy, wagony osobowe i okręty, oraz do konstrukcji mostów i dachów.

W celu wyciskania tak ciężkich profili buduje się w krajach uprzemysłowionych olbrzymie hydrauliczne prasy o nacisku do 50 000 t.

Kształtowniki ze stopów lekkich zaczynają poważnie konkurować ze stalą w przemyśle budowy środków transportu lądowego i morskiego.

Wlewki do wyciskania nagrzewa się indukcyjnie w urządzeniach średniej, a ostatnio normalnej [3] częstotliwości. Wydajność tych urządzeń w porównaniu z wielkimi piecami komorowymi elektrycznymi czy też gazowymi jest bardzo dobra. Postęp w budowie samolotów wymaga blach duralowych wielkich wymiarów i o doskonałej powierzchni, co można osiągnąć stosując ciężkie walcarki zmechanizowane i zautomatyzowane.

Spśród stopów do przeróbki plastycznej za najbardziej podatny do kształtowania w prasach został uznany stop AlMg<sub>5</sub>. Stopy aluminium mają niekiedy na walcowanej powierzchni siatkę włoskowatych pęknięć [4]. Jej powstawaniu można zapobiec przez skórowanie wlewków, właściwe smarowanie podczas walcowania i trawienie po gorącym walcowaniu.

Często zachodzi konieczność prasowania przed walcowaniem.

### Łączenie

Ważnym zagadnieniem budowy maszyn i urządzeń ze stopów lekkich jest łączenie części, np. konstrukcji samolotów czy urządzeń dla przemysłu chemicznego, jak zbiorniki i aparaty. Na tym polu dokonano wielkich ulepszeń, których znaczenie jest oczywiste, jeżeli wziąć pod uwagę, że w jednym samolocie transportowym jest około 1 miliona nitów, które obecnie można częściowo zastąpić zgrzewaniem punktowym.

Powszechnie stosuje się elektrody ze stopu AlSi<sub>5</sub>. Ostatnim słowem postępu jest spawanie zbiorników łukiem w atmosferze argonu oraz zgrzewanie przy zastosowaniu ultradźwięku.

### Korozja

Dążenie wszystkich metali technicznych do powrotu do stanu mineralnego jest przyczyną wielkich strat, a zapobieganie tym stratom wymaga wielkiego nakładu środków. Stwierdzono ogólnie, że metalurgiczna historia metalu i jego tekstura oraz stan wykończenia powierzchni wywierają wielki wpływ na odporność wyrobów z tych metali na korozję. Wiadomo ogólnie, że stopy które obróbio się cieplnie są zawsze mniej odporne na korozję, niż stopy, które tej obróbce nie poddawano.

Najniebezpieczniejszy ze względu na korozję naprężeniową stopów lekkich jest około 30-procentowy stop gniotu.

Do ochrony stopów lekkich nie należy stosować farb z minią; najlepszy jest chromian cynku. Znanym i powszechnie stosowanym sposobem ochrony wyrobów Al i stopów jest utlenianie anodowe.

W odporności na korozję w wilgotnym powietrzu aluminium przewyższa stal, która wymaga lakierowania, emaliowania, albo pokrywania galwanicznego.

### Zastosowanie

Okresy wielkiego wzrostu produkcji aluminium w krajach uprzemysłowionych występowały w czasie wzrostu zapotrzebowania tego metalu na cele lotnicze. Mimo to okazało się, że produkcja i konsumpcja aluminium po okresach wielkiego wzrostu nie tylko nie maleje, lecz systematycznie rośnie, co dowodzi, że aluminium i jego stopy dzięki swym cennym właściwościom znajdują coraz szersze zastosowanie w gospodarce pokojowej. Ze względu na swą przewodność i ciężar właściwy 1 kg aluminium zastępuje 2 kg miedzi; dlatego czyste aluminium jest stosowane na przewody wysokiego napięcia. Coraz więcej aluminium zużywa się na przewody izolowane. Rozpoczęto produkcję kabli w osłonie aluminiowej zamiast ołowianej. Przewody trakcji elektrycznej i uzwojenia silników i transformatorów w wielu krajach wykonuje się z aluminium. Znaczne zastosowanie ma folia aluminiowa w przemyśle budowy kondensatorów elektrycznych.

Obecnie zużycie aluminium na jeden samochód wynosi około 12 kg, przewiduje się jednak, że już w niedalekiej przyszłości będzie się zużywało około 250 kg aluminium na jeden samochód, co umożliwi lepsze wyzyskanie mocy silników i większe bezpieczeństwo jazdy dzięki lekkości pojazdów.

Najczystsze aluminium znajduje szerokie zastosowanie w przemyśle chemicznym, środków spożywczych i opakowań, dzięki swej odporności na korozję zwłaszcza jeśli chodzi o czynniki utleniające. Duża przewodność cieplna aluminium 4 ÷ 5 razy większa od przewodności stali i równa połowie przewodności miedzi ma poważne znaczenie dla przemysłu budowy aparatów przemysłu chemicznego i spożywczego. Zdolność odbijania promieni zmniejsza nagrzewanie się zbiorników i straty cieczy w nich zawartych. Niemalże znaczenie ma również mała zdolność emisji promieni przez powierzchnię aluminium, gdyż zmniejsza promieniowanie gorących cieczy w zbiornikach aluminiowych.

Na tych własnościach opiera się zastosowanie warstw folii aluminiowej do izolacji budynków, zbiorników oraz maszyn ciepłych.

Folia użyta do opakowania środków spożywczych przeciwdziała wysychaniu, zakażeniu bakteriami i pochłanianiu zapachów z zewnątrz.

Jak widać, aluminium dzięki postępowi metalurgii i metaloznawstwa oraz swym dobrym własnościom stało się najważniejszym z metali nieżelaznych, zajmując w wielu dziedzinach ich miejsce. Stopy odlewnicze w wielu przypadkach zastąpiły żeliwo, a plastycznie kształtowane wyroby ze stopów aluminium są materiałem konstrukcyjnym, który dzięki wytrzymałości, lekkości i nierdzewności zwycięsko współzawodniczy ze stalą w przemyśle budowy środków transportu i w budownictwie

### Literatura

1. Metal Industry, 1948.
2. Metal Progress, 1953.
3. Metal Industry, 1952, str. 407 ÷ 408.
4. Sheet Metal Industries, 1953, str. 591 ÷ 596, 548.

## Przerób złomu aluminiowego

*Problem złomu w skali światowej. — Metody weryfikowania i sortowania złomu. — Metody przetapiania i rafinowania złomu.*

### 1. Wstęp

W pierwszych latach rozwoju przemysłu aluminiowego złom aluminiowy był metalem bez dodatków stopowych, ponieważ nie znano jeszcze stopów aluminium. Użytkownicy przetapiali ten złom bez żadnych zastrzeżeń. Pierwsze odlewy ze stopów aluminium przypadają dopiero na początek XX wieku, ale i wtedy nie było problemu złomu aluminiowego, ponieważ kilka zaledwie odlewni stopów lekkich, produkujących jeden lub dwa gatunki stopów, zużywało swoje odpady i braki na miejscu, wypuszczając je po przetopieniu jako nowe odlewy.

Podczas pierwszej wojny światowej zużycie różnych gatunków stopów lekkich gwałtownie wzrosło. W Stanach Zjednoczonych przetop złomu pokrywał 19 % zapotrzebowania, natomiast angielscy kupcy złomu odsyłali go przeważnie do Niemiec, gdyż próby przetapiania złomu w Anglii nie dały zadowalających wyników. Stopy miały zawsze nieoczekiwany skład chemiczny, wahający się w szerokich granicach, a ich własności mechaniczne były nieszczególne. Niemniej stopy te jako materiał do wyrobu części mniej ważnych. Złom aluminiowy był bardzo niechętnie widziany przez angielskich producentów aluminium hutniczego, nie tylko jako konkurent dla metalu nowego, lecz przede wszystkim jako materiał, który psuł opinię stopów aluminium, o którą producenci aluminium hutniczego usilnie zabiegali. Około 1930 roku rozpoczęło się przetapianie złomu aluminiowego na wielką skalę. Problemem wyzyskania i przetapiania złomu zajmowali się nie odlewnicy, lecz kupcy (w krajach kapitalistycznych) oraz zbiornice złomu (w Związku Radzieckim). W latach 1930 ÷ 1940 nastąpił dalszy rozwój przemysłu aluminiowego. Wzrosła zarówno ilość aluminium hutniczego, jak i ilość złomu. W roku 1939 przetop złomu aluminiowego pokrył połowę zapotrzebowania aluminium w Związku Radzieckim. Podobnie było w Anglii, w Niemczech i innych krajach. Przetop oparty na naukowych podstawach dostarcza stopów o stałym składzie i stałych własnościach mechanicznych. Dzięki niskiej cenie surowca odlewy z tych stopów były o 20 ÷ 50 % tańsze od odlewów z aluminium hutniczego i dodatków stopowych. Pomimo znacznie niższej ceny odlewów z przetopionego złomu oraz pomimo ich wysokiej jakości, producenci stopów z metalu nowego i dodatków stopowych mieli ogromną przewagę nad odlewniami przerabiającymi złom dzięki normom, warunkom technicznym i specyfikacjom. Normy (np. brytyjskie) wymagały, aby stopy były wykonywane z aluminium hutniczego, a nie z przetopionego złomu, bez względu na fakt, że ogromny postęp techniczny w dziedzinie rafinacji złomu zapewnił tym stopom wysoką jakość równą jakości stopów nowych. To spowodowało, że brytyjskie rafinerie złomu opracowały i wydały własne normy stopów wytwarzanych z przetopionego złomu, a potem rozpoczęły produkcję stopów ujętych w normy British Standards i udowodniły, że stopy z przetopionego złomu, jeśli mają ten sam skład chemiczny, co stopy pierwotne, nie są pod żadnym względem gorsze od nich. Podczas drugiej wojny światowej wobec konieczności szybkiego dobrojenia i w związku z tym gwałtownego wzrostu zapotrzebowania stopów alumi-

nium, lotnictwo musiało pozwolić na częściowe używanie złomu do wyrobu stopów.

W ten sposób urzędowo niedoceniany złom stał się cennym źródłem surowców do produkcji samolotów i innych środków komunikacji. W związku z tym w krajach anglosaskich nastąpił gwałtowny rozwój produkcji zakładów rafinujących złom. Produkcja ta osiągnęła punkt szczytowy w 1944 r. (np. w Wielkiej Brytanii uzyskano z przetapiania złomu 95 900 t stopów).

Doświadczenie drugiej wojny światowej wykazało, że stopy aluminium uzyskane ze złomu są wysokowartościowym tworzywem konstrukcyjnym, w niczym nie ustępującym stopom wytworzonym z aluminium hutniczego. Zwyciężyła zasada, według której własności stopu nie zależą od pochodzenia i surowców, z których stop został wykonany, lecz tylko od składu chemicznego i od sposobu wytwarzania stopu.

Po zakończeniu wojny przeprowadzono w Anglii rewizję norm lotniczych wszystkich lekkich stopów i opracowano szereg nowych norm (BS 1470-76, 1490) stopów lekkich, zarówno lanych, jak i przerabianych plastycznie. Z norm tych usunięto wszystkie dotychczasowe ograniczenia, zakazujące używania złomu do wyrobu stopów. Stop może być wytwarzany z dowolnej mieszaniny złomu i metalu nowego. Podział na stopy pierwotne i na stopy z przetapianego złomu przestał istnieć. Pod tym względem aluminium i jego stopy stały się podobne do stali, o której jakości od szeregu lat decyduje tylko jej skład chemiczny i sposób wytapiania.

### 2. Zbiornice złomu

Wysoki poziom organizacyjny zbiórki, sortowania, przechowywania i przerobu złomu aluminiowego osiągnięto w Związku Radzieckim. W ZSRR rejonowe zbiornice złomu aluminiowego odsyłają złom do centralnych zakładów przerobu złomu. Każdy taki zakład posiada składnicę z urządzeniami do rozdzielania, sortowania i rozdrabniania złomu, oddział przetapiania złomu, oddział rafinacji złomu, oddział przygotowania topników (soli), oddział usługowy, który wykonuje analizy chemiczne i spektralne oraz badania metalograficzne, a wreszcie warsztaty.

Problem złomu metali lekkich jest w Polsce nowością. Przed drugą wojną światową nie mieliśmy przemysłu metali lekkich, toteż ich złomu, nie było niemal wcale na naszym rynku. Podczas drugiej wojny światowej nagromadziły się w Polsce duże ilości złomu samolotowego. Złom ten może stanowić dla naszego przemysłu surowiec do produkcji metali lekkich na kilka lat. Dlatego też, wobec trudności w nabywaniu aluminium hutniczego na rynku światowym zagadnienie przerobu złomu metali lekkich w naszych warunkach ma wielkie znaczenie.

W Polsce zbiórką złomu i produkcyjnych odpadów stopów lekkich zajmuje się Centralny Zarząd Gospodarki Złomem. Złom ze zbiórki i odpady produkcyjne napływają do zbiornic rejonowych, skąd kieruje się je do Centralnej Zbiornicy Złomu Stopów Lekkich w Rajsku. Po częściowym przesortowaniu w zbiornicy złom odsyła się do zakładów podległych Centralnemu Zarządowi Przemysłu Metali Nieżelaznych do przeróbki metalurgicznej (przetapiania i rafinacji). Wyprodukowane ga-

ski stopowe odsyła się do odlewni. W chwili obecnej roczny przerób złomu metali lekkich w Polsce wynosi około 7000 t. Należy się liczyć ze wzrostem produkcji.

Centralna zbiornica złomu w Rajsku zajmuje się tylko sortowaniem złomu. Przesortowany złom odbierają w całości zakłady podległe CZPMN. Zakłady — nabywcy złomu — przetapiają go i otrzymują gąski metalu, dość często zawierające zanieczyszczenia (przeważnie cynk) w ilościach niedopuszczalnych. Zakłady przetapiające złom przypisują to złomu sortowaniu, natomiast zakład sortujący twierdzi, że sortowanie było dobre, a zawiodło topienie albo dobrze przesortowany materiał został pomieszany u odbiorcy. Ostatecznie produkt jest zły, a winowajcy znaleźć nie można. Nasuwa się wniosek, że odpowiedzialność za jakość gąsek musi być skoncentrowana w jednym zakładzie podobnie jak w Związku Radzieckim. Sortowanie złomu i przetapianie go powinien wykonywać ten sam zakład i dostarczyć produkt — gąski — o kontrolowanym składzie chemicznym. Tzw. „sortowany złom” można bowiem ocenić tylko przetapiając go lub ponownie sortując. Równocześnie wydaje się właściwym zaliczać do wykonania planu zakładu tylko gąski o właściwym składzie chemicznym. Tym sposobem sytuacja krajowej gospodarki złomem zmieni się na korzyść jakości stopów wtórnych.

### 3. Przerób złomu

Przerób złomu w Związku Radzieckim i w krajach anglosaskich odbywa się podobnymi metodami, lecz dzięki lepszej, centralnie kierowanej zbiórce złomu oraz racjonalniejszemu sortowaniu i magazynowaniu, złom metali lekkich w Związku Radzieckim jest dużo lepszej jakości niż w krajach anglosaskich. Wskutek tego przeróbka hutnicza złomu w Związku Radzieckim jest łatwiejsza.

Złom surowy zawierający aluminium dzieli się w Związku Radzieckim na następujące grupy:

- I — złom — wybrakowane lub zużyte gotowe przedmioty,
- II — odpady z walcowni, kuźni i odlewni w kawałkach,
- III — otoczki i popioły.

Każda z tych grup dzieli się na klasy. Klas jest trzy: najwyższa zawiera najwięcej aluminium. Zawartość aluminium w poszczególnych klasach podano w tabelicy 1.

Przerób złomu klasyfikowanego i odpadów klas 1. i 2. obejmuje:

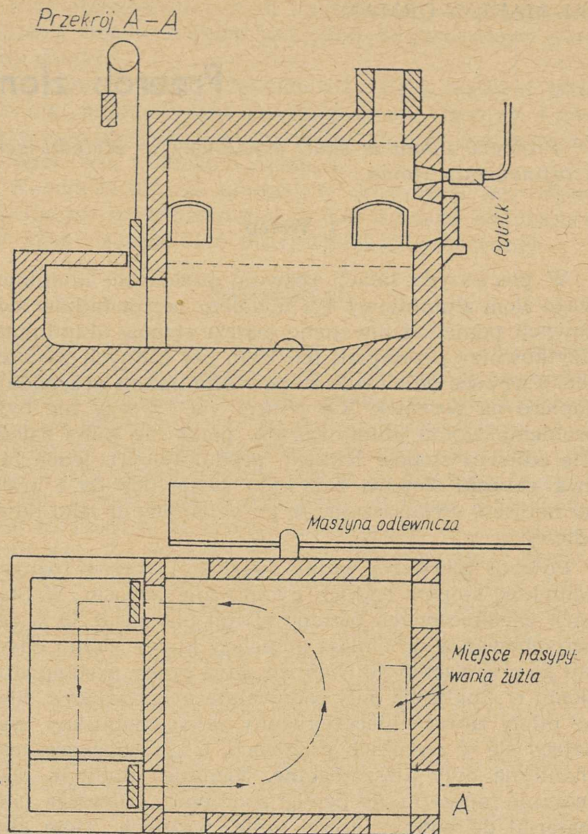
1. doprowadzenie złomu do wielkości gabarytowych,
2. przetapianie i rafinację,
3. odlewanie w gąski lub wlewki do przeróbki plastycznej.

Przerób złomu nie klasyfikowanego, zawierającego duże ilości stali i innych części trudno topliwych, przedstawia się inaczej. Pierwszą czynnością jest oddzielanie aluminium od części stalowych, po czym następuje szereg operacji w celu usunięcia poszczegól-

Tablica 1

Podział grup na klasy w zależności od zawartości aluminium

Klasa	Minimalna zawartość aluminium lub stopu aluminowego		Minimalny uzysk metalu
	I grupa złomu	II grupa odpady w kawałkach	III grupa otoczki i popioły
1	95,0	100,0	75,0
2	85,0	95,0	50,0
3	40,0	50,0	30,0



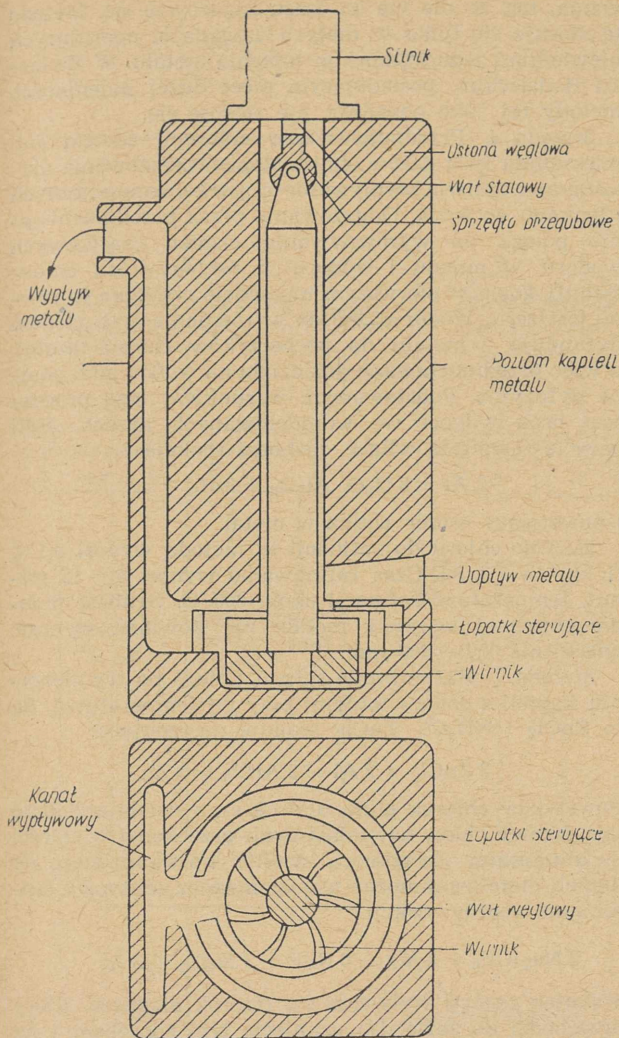
Rys. 1. Piec do przetapiania złomu z otwartą przestrzenią ładowania

nych zanieczyszczeń lub grup zanieczyszczeń. Omówimy bliżej zarówno zasady przerobu złomu klasyfikowanego jak i nie klasyfikowanego (złomu klasy 3).

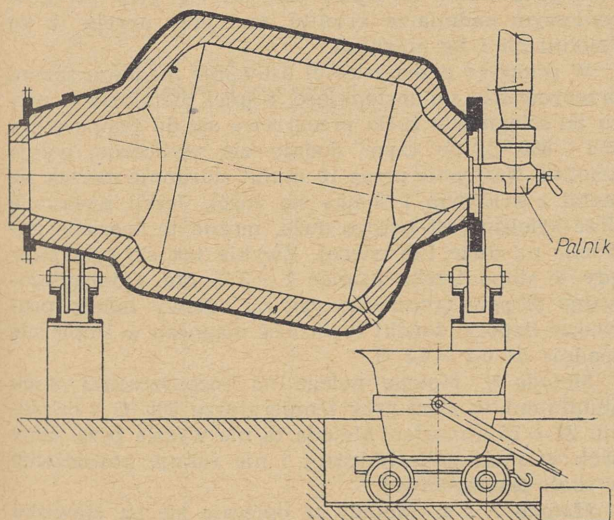
Do przetapiania złomu klasyfikowanego stosuje się piece gazowe. Szkic takiego pieca przedstawia rys. 1. Pojemność tych pieców waha się od 5 do 25 t. Piec ma otwartą przestrzeń do ładowania metalu, co bardzo ułatwia wprowadzanie złomu bezpośrednio pod powierzchnię metalu. W tej przestrzeni dokonuje się rafinacji, przy czym zarówno ładowanie jak i rafinacja nie wpływają na stan powierzchni metali w głównej części pieca. Powierzchnia ta jest zawsze spokojna, pokryta nieruchomą ciągłą warstwą tlenku glinu. Dzięki tej warstwie utlenianie aluminium przez płomień palników jest minimalne.

Ponieważ otwarta przestrzeń nie jest ogrzewana, metal może łatwo skrzepnąć. Aby temu zapobiec, stosuje się silny przepływ metalu (zaznaczony na rysunku strzałkami) z otwartej przestrzeni do głównej części pieca. Przepływ wywołuje się za pomocą pomp (np. grafitowych) lub innych urządzeń służących do wprawienia cieczy w ruch. Przedstawiona na rys. 2 pompa ma wydajność 3,5 t metalu na minutę. Według danych amerykańskich straty metalu podczas przetapiania złomu w tych piecach wynoszą od 2 % (w razie przetapiania złomu grubego) do 4,5 % (w razie przetapiania zbrzykietowanych otoczek). Zużycie soli ochronnych podczas przetapiania złomu w tych piecach wynosi od 1 do 10 %.

Do przetapiania otoczek, pakietowanych odpadków folii i tym podobnego wsadu używa się w Europie zazwyczaj pieców obrotowych (rys. 3), opalanych gazem lub ropą przy zastosowaniu kąpieli solnej. Zbrzykietowane otoczki wprowadza się pod zwierciadło płynnej soli, dzięki czemu prawie zupełnie unika się strat metalu wskutek utleniania.

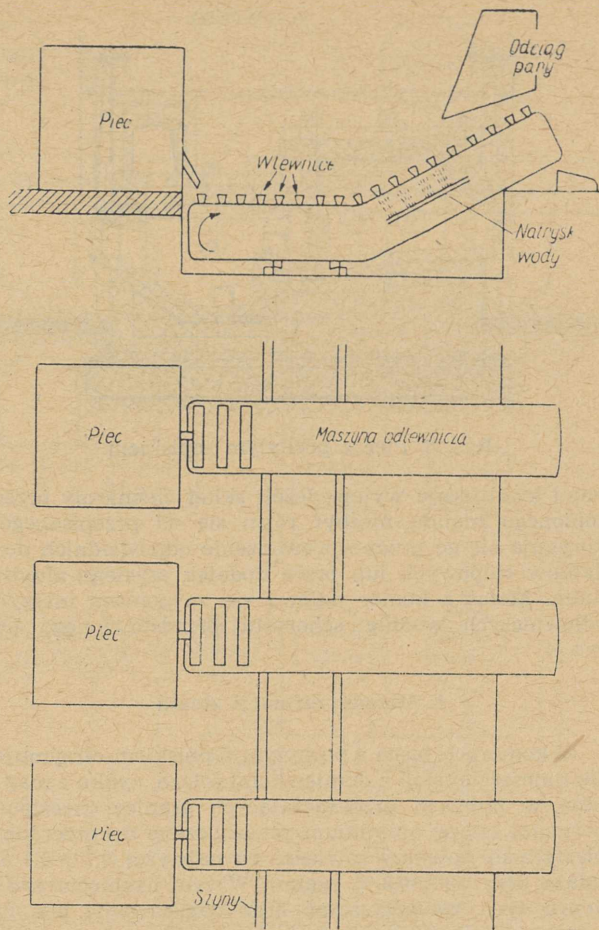


Rys. 2. Pompa grafitowa do płynnego aluminium

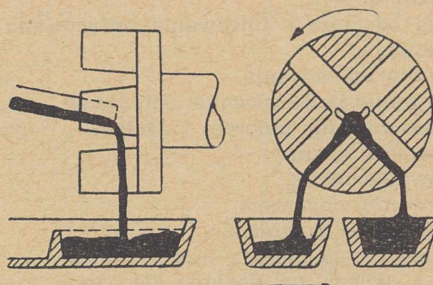


Rys. 3. Piec obrotowy do topienia otoczek

Do odlewania przetopionego metalu po zakończeniu rafinacji solami służą maszyny odlewnicze ustawione obok pieca. Schemat odlewni do przetapiania złomu klasyfikowanego i odlewania gąsek przedstawia rys. 4. Rysunek 5 przedstawia sposób rozdzielania płynnego metalu z pieca do wlewnic maszyny odlewniczej. Te



Rys. 4. Schemat odlewni do przetapiania złomu i odlewania gąsek



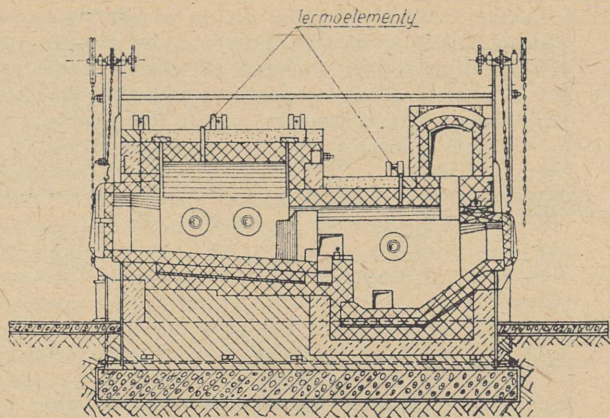
Rys. 5. Sposób rozdzielania strumienia metalu z pieca na poszczególne wlewnice maszyny odlewniczej. Rozdzielacz obraca się z szybkością dostosowaną do szybkości posuwu wlewnic i jest napędzany ruchem łańcucha transportującego wlewnice

sposoby przetapiania dają metal przeznaczony w myśl norm na tzw. stopy z przetopu lub stopy wtórne.

Przerób złomu nie klasyfikowanego lub niskogatunkowego (klasa 3.) jest znacznie trudniejszy i jedno przetopienie przeważnie nie wystarcza, aby uzyskać stop odpowiadający normom.

Zasadniczym urządzeniem do przerobu tego złomu jest piec z pochyłym topniskiem przedstawiony na rys. 6. Pochyłe topnisko ma wymiary  $4 \times 2 \times 1,5$  m. Metal topiący się na topnisku sływa do komór mieszalników. Części stalowe, z których spłygnęło aluminium, wygarnia się z topniska gracz. Topienie prowadzi się aż do napełnienia się komór, których pojemność wynosi  $2 \div 4$  t.

Piec ten nadaje się specjalnie do przetapiania złomu samolotowego. Metal zebrany w komorach przed spustem analizuje się, co stanowi kontrolę sortowania zło-



Rys. 6. Piec z pochyłym topiskiem

mu i kwalifikuje wytop. Jeżeli skład chemiczny przetopionego metalu niezbyt różni się od przepisanego, koryguje się go przez wprowadzenie odpowiednich dodatków stopowych lub przez dodatek czystego aluminium. Metal z komór odlewa się za pomocą maszyn odlewniczych według schematu przedstawionego na rys. 4.

#### 4. Metody rafinacji złomu

W komorach pieca z pochyłym topiskiem otrzymuje się najczęściej stop z domieszkami żelaza, cynku i magnezu w ilościach przekraczających granice określone normami (stopy aluminium przeznaczone do przeróbki plastycznej powinny zawierać co najwyżej 0,7 ÷ 0,4 % żelaza oraz 0,3 ÷ 0,5 % cynku). W celu usunięcia nadmiaru tych zanieczyszczeń oraz odgazowania metalu i oczyszczenia go z wtrąconych niemetalicznych poddaje się go rafinacji. Istnieje szereg metod rafinacji stopów aluminium wyprodukowanych ze złomu. Do najważniejszych należą:

1. metoda odstania i filtrowania opracowana przez Baranową,
2. metoda przegrzewania,
3. odgazowanie przez powolne chłodzenie,
4. przedmuchiwanie chlorem i azotem,
5. rafinowanie solami,
6. rafinowanie rtęcią,
7. rafinowanie magnezem,
8. odcynkowanie w próżni,
9. elektorafinacja metodą trzech warstw.

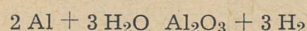
**Metoda 1.** polega na dodaniu do stopu 1 ÷ 1,5 % manganu, wskutek czego zmniejsza się rozpuszczalność żelaza w aluminium. Przez dłuższe — do 2 godzin — wytrzymanie stopu przy 575 ÷ 600 °C (siluminy) lub przy 645 ÷ 670 °C (durale) zawartość żelaza spada do 0,7 %. Często po tej operacji stosuje się filtrowanie przez filtr bazaltowy nagrany do 700 °C. Filtrowany metal zawiera mniej manganu, zwykle tyle, ile przepisuje norma.

**Metoda 2.** polega na przegrzaniu metalu do 900 do 950 °C i bardzo powolnym chłodzeniu do temperatury odlewania. Metoda ta nie ma zastosowania przemysłowego. Metal jest wprawdzie stosunkowo mało zanieczyszczony metalami ciężkimi, ale okupuje się to jego silnym zagazowaniem.

**Metoda 3.** W celu usunięcia gazów z metalu wytrzymuje się go przez kilka godzin przy temperaturze bliskiej temperatury krzepnięcia, po czym pozwala się mu skrzepnąć. Podczas odstania, a zwłaszcza podczas krzepnięcia wydziela się z metalu około 90 % całej ilości rozpuszczonych gazów, a równocześnie zmniejsza się zawartość żelaza i niekiedy miedzi. Skrzepły metal roztapia się szybko i nagrzewa do temperatury odle-

wania, tak że nie ma on czasu zagazować się. Metodę tę stosuje się tylko w małych zakładach, operujących niewielkimi jednostkami do topienia metalu. W Związku Radzieckim, posiadającym piece dużej pojemności, metody tej, jako powolnej, nie stosuje się.

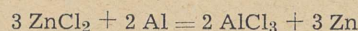
**Metoda 4.** Przedmuchiwanie chlorem, azotem lub mieszaniną tych gazów obniża stopień zagazowania aluminium i ułatwia wypływanie cząstek niemetalicznych (tlenków) do żużla. Odgazowanie przez przedmuchiwanie polega na wyrównywaniu ciśnień cząstkowych wodoru w metalu i wodoru w pęcherzykach chloru (azotu), gdzie w pierwszym momencie ciśnienie to równe jest zeru. Wodór dążąc do wyrównania tych ciśnień dyfunduje z metalu do pęcherzyków chloru (azotu), a więc przedmuchiwany gaz działa na wodór jako pompa dyfuzyjna. Podstawowym warunkiem tego procesu jest brak wilgoci we wdmuchiowanych gazach. Jeśli gazy te zawierają wilgoć, zachodzi reakcja



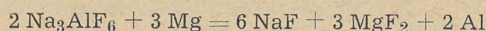
i powstający wodór wnika w metal.

Zużycie chloru do rafinacji tą metodą wynosi 0,1 % (1 kg) na 1 t Al. Czas rafinowania wynosi 5 ÷ 15 minut, temperatura rafinacji około 690 °C. Grubość przedmuchiwanej warstwy metalu nie powinna wynosić więcej niż 600 ÷ 800 mm.

**Metoda 5.** Rafinowanie solami polega na wymieszaniu kąpieli z solami lotnymi przy tej temperaturze. Są to  $\text{ZnCl}_2$  i  $\text{NH}_4\text{Cl}$ .  $\text{ZnCl}_2$  reaguje następująco:



Powstający chlorek glinu ulatnia się i działa podobnie jak gazowy chlor, natomiast cynk przechodzi w całość do aluminium. Za pomocą kriolitu wprowadzonego do kąpieli metalowej można usunąć magnez ze stopu z aluminium według reakcji



Wskutek reakcji wytwarza się fluorek magnezu, który przechodzi do żużla. Do usunięcia tym sposobem 1 kg magnezu potrzeba teoretycznie 6 kg kriolitu. Badania przeprowadzone w Związku Radzieckim wykazały, że odmagnezowanie najlepiej odbywa się przy 100-procentowym nadmiarze kriolitu, tzn. przy użyciu 12 kg kriolitu na 1 kg magnezu.

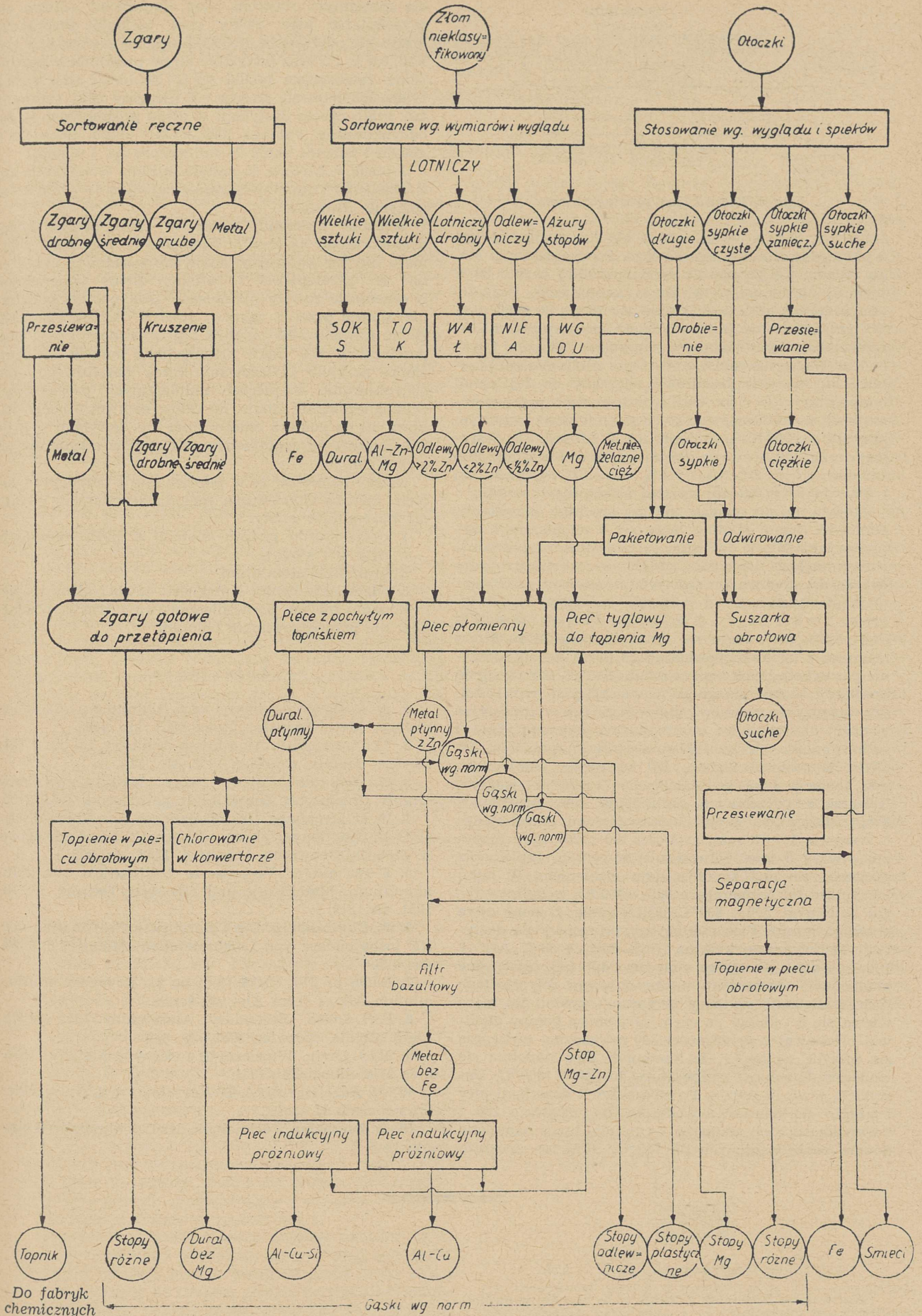
W praktyce przemysłowej usuwanie magnezu solami przeprowadza się następująco. Kapiel metalowa w piecu po ściągnięciu żużla przegrzewa się do temperatury 750 ÷ 800 °C, po czym dodaje się wyliczoną porcję kriolitu. Następnie przez 10 minut starannie miesza się metal z kriolitem i ściąga się żużel. Jeżeli wyliczona ilość kriolitu jest bardzo duża, można tę operację podzielić na dwie lub więcej. Zwykle tak się postępuje, gdy ze stopu trzeba usunąć 2 ÷ 3 % Mg. Odmagnezowanie stopów przeznaczonych na odlewy należy prowadzić dopóty, dopóki zawartość magnezu w stopie nie spadnie do 0,2 ÷ 0,3 %.

**Metoda 6.** Metoda polega na rozpuszczeniu stopu aluminium w rtęci przy temperaturze 600 °C i ciśnieniu 22 ÷ 25 atmosfer. Metoda ta nie wyszła poza ramy prób w skali półtechnicznej i nie rokuje powodzenia w skali przemysłowej.

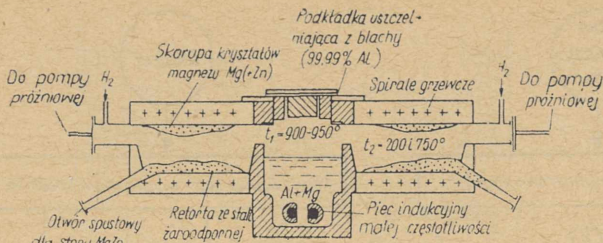
**Metoda 7. i 8.** Metody te opierają się na zjawisku zmniejszania rozpuszczalności żelaza w aluminium przez magnez. Magnez zmniejsza również rozpuszczalność manganu, tytanu, chromu i wanadu. Rozpuszczalność żelaza w stopie eutektycznym przy 20 % Mg wynosi 0,15 %, przy 30 % Mg 0,06 %, przy 40 % Mg 0,02 %.

Praktycznie metodą tą zmniejsza się zawartość żelaza do 0,1 ÷ 0,2 %.

Proces rafinowania magnezu prowadzi się następująco: do płynnego stopu aluminium, który ma być ra-



Rys. 7. Schemat przerobu złomu w skali przemysłowej



Rys. 8. Indukcyjny piec próżniowy

finowany, dodaje się 25 ÷ 30 % Mg lub stopu Mg wytopionego ze złomu magnezowego. Po wymieszaniu stopu chłodzi się go powoli do temperatury o 20 ÷ 30 °C wyższej od temperatury końca krzepnięcia. Przy tej temperaturze stop wytrzymuje się przez 30 ÷ 60 min. W tym czasie ze stopu wydziela się związek  $Al_2Fe$ , zanieczyszczony manganem, chromem, tytanem i wanadem. Następnie całość stopu wraz z kryształami przelewa się na filtr bazaltowy nagrany do tej samej temperatury, co stop. Odfiltrowaną ciecz przepompowuje się do indukcyjnego pieca próżniowego, w którym przy 950 ÷ 1000 °C i ciśnieniu 0,1 T odbywa się destylacja magnezu, a równocześnie i cynku. Pozostały stop zawiera 0,1 % Fe, 0,1 ÷ 0,2 % Mg, 0,02 ÷ 0,05 % Zn i 0,5 ÷ 1,0 % Si; resztę stanowi aluminium i miedź.

Metoda ta nie nadaje się do przerobu siluminów, ponieważ krzem chętnie łączy się z magnezem i wypływa jako  $Mg_2Si$  do żużla, co powoduje bezpośrednie straty magnezu i krzemu, nadaje się natomiast bardzo dobrze do stopów aluminium z miedzią przerabianych plastycznie. Osad z filtrów bazaltowych, zawierający 7 ÷ 8 % Fe, 3 ÷ 4 % Mn, 5 ÷ 10 % Si, 15 ÷ 20 % Mg, reszta Al, nadaje się do odtleniania stali. Stopu magnezu z cynkiem powstającego przez skondensowanie par uchodzących z pieca indukcyjnego, używa się do produkcji stopów magnezu zawierających cynk. Stop ten wytapia się z komór kondensacyjnych w atmosferze wodoru, aby zapobiec utlenianiu się magnezu. Na 1 t rafinowanego tym sposobem aluminium potrzeba 200 kWh, 50 robotnikogodzin, 200 kg węgla kamiennego pod postacią gazu generatorowego i 120 m<sup>3</sup> wodoru. Rysunek 8 przedstawia indukcyjny piec próżniowy. Stop filtruje się przez warstwę złomu bazaltowego o ziarnach 5 ÷ 10 mm, grubości 100 ÷ 200 mm. Siatka ma otwory 5 mm. Filtrowanie w celu przyspieszenia prowadzi się pod zmniejszonym ciśnieniem. W lejku utrzymuje się temperaturę 300 ÷ 400 °C, w dolnym tyglu żeliwnym 500 ÷ 600 °C. Filtrowanie 2 stopu trwa około 15 minut. Piec indukcyjny próżniowy do destylacji ma wyprawę kwaśną (70 %  $SiO_2$  i 30 %  $Al_2O_3$ ). Piec ma dwie retorty ze stali żaroodpornej, ogrzewane przepionowo elementami niechromowymi. W retortach tych kondensują się pary magnezu i cynku. Do pieca wlewa się 3 t stopu, po czym za pomocą pompy olejowej obrotowej o wydajności 300 m<sup>3</sup>/godzinę wytwarza się próżnię około 0,1 T. Następnie piec napełnia się wodorem i podnosi temperaturę do 950 ÷ 1000 °C. Destylacja trwa 15 godzin. Po zakończeniu destylacji piec napełnia się ponownie wodorem do ciśnienia 200 t i wytapia się stop magnezu z cynkiem przez nagrzanie komór kondensacyjnych do 750 °C. Stop ten spuszcza

się specjalnym otworem. Stop aluminium odlewa się przechylając piec. Pełny cykl rafinacji przechodzą wszystkie odwieńnicze stopy aluminium zawierające ponad 0,8 % Fe oraz wszystkie stopy przerabiane plastycznie zawierające ponad 0,7 % Fe. Jeśli stop trzeba tylko odcynkować, stosuje się niepełny cykl rafinacji, tzn. tylko proces destylacji w piecu próżniowym. Samo odcynkowanie wymaga 1000 kWh/t stopu, trwa 5 ÷ 6 godzin i zużywa około 70 m<sup>3</sup> wodoru na 1 t stopu.

Metoda 9. Metoda ta została opisana w artykule inż. Z. Maślanka-Ormanowej zamieszczonym w niniejszym zeszycie „Hutnika”.

Schemat przerobu złomu w skali przemysłowej przedstawiono na rys. 7. Szczegółowy opis tego schematu nie jest konieczny, albowiem zasadnicze urządzenia do przetapiania i rafinacji złomu umieszczone w schemacie zostały już opisane. Schemat ten oddzielnie ujmuje przerób zgarów, przerób otoczek i przerób złomu kawałkowego zgodnie z przytoczonymi zasadami przerobu złomu. Jako przemysłową metodę rafinacji złomu przyjęto zastosowanie filtru bazaltowego oraz odcynkowanie w piecach indukcyjnych próżniowych. Odmagnezowanie złomu do celów elektrorafinacji odbywa się za pomocą chlorowania lub destylacji w próżni, zależnie od zapotrzebowania stopów magnezowych z cynkiem.

Należy pamiętać, że w porównaniu z odmagnezowaniem metodą chlorowania metoda destylacji w próżni ma następujące zalety:

1. ekonomiczne grzanie metalu w piecu indukcyjnym (60 kWh/t),
2. brak strat aluminium,
3. odzyskanie cynku i magnezu zawartych w stopie.

Ponadto nie ma niebezpieczeństwa zatrucia robotników nie przereagowanym chlorem.

#### Literatura

1. W. C. Devereux. Secondary Aluminium and Magnesium, Metal Industry, lipiec 1951, str. 483.
2. The secondary Aluminium Industry in the USA, Modern Metals, wrzesień 1952, str. 52.
3. K. Schmidt Patent firmy Metallschmelzwerk GmbH, Chemisches Zentralblatt, październik 1951, 2105.
4. W. Dautzenberg. Grundsätzliches zum Chlor-Stickstoff-Raffinationverfahren, Zeitschrift für Erzbergbau u. Metallhüttenwesen, t. 5, nr 8, 1952, str. 308.
5. E. Tschanter. Verbesserte Raffination von Altaluminium, Metallurgie und Giesserei-Technik, nr 10, 1951, str. 317.
6. W. Dautzenberg. Die Chlorstickstoffraffination von NE insbesondere von Leichtmetallen, Metall 7/8, 1950, str. 125.
7. BJOS nr 376, CIOS Item no 21. Recovery of Aluminium Alloys from Aircraft scrap.
8. F. H. Smith. Secondary Aluminium 1851 ÷ 1951. Light Metals, czerwiec 1951, str. 319.
9. M. A. Istrin. Wtoricznije ewietnyje mietały. Moskwa Mietałhurgizdat 1951.
10. W. M. Bazylewskij, A. B. Kaczatow, A. I. Szczuczkin. Sprawocznik II część.
11. A. Zeerleder. Technologie der Leichtmetalle, Leipzig, 1947.



# NOWOŚCI Z DZIEDZINY HUTNICTWA

## METALE NIEŻELAZNE

### Aluminium w metalurgii proszków

Pozycja aluminium w metalurgii proszków jest zagadnieniem skomplikowanym. Jeżeli w początkach rozwoju metalurgii proszków aluminium nie odgrywało prawie żadnej roli, to obecnie, w miarę postępu rozwoju techniki, zainteresowanie tym metalem i jego związkami w kołach metalurgów proszków wzrasta coraz bardziej, powodując ukazywanie się coraz to liczniejszych publikacji.

Proszki aluminium, wytwarzane dowolną metodą, zawsze mają grubsze lub cieńsze powłoki tlenków. Tak np. proszek bardzo czystego aluminium (99,5 %) pokrywa się przy temperaturze pokojowej warstwą tlenku grubości około 0,01 mikrona. Przy wyższej temperaturze warstwa ta może osiągnąć grubość dziesięć razy większą, a jeśli proszek jest przechowywany w atmosferze ochronnej, jest cieńsza. Wilgoć ułatwia powierzchniowe utlenienie proszku aluminium. Powłoki tlenków pogarszają nie tylko prasowalność, ale przede wszystkim spiekalność proszku aluminium, uniemożliwiając uzyskanie zwartego spieku bez uciekania się do specjalnych metod ochronnych i zapobiegawczych.

Powłoki tlenku aluminium są szkodliwsze niemal od wszystkich innych tlenków metali łatwo się utleniających, przylegają bowiem silnie do metalu, nie dają się przy temperaturach technicznych zredukować wodorem, mają wysoką temperaturę topnienia, niską przewodność pary, wreszcie odznaczają się dużą twardością. Zagadnienie aluminium w metalurgii proszków można podzielić na dwa zasadnicze działy, a mianowicie na:

1. produkcję proszku aluminium, głównie do zastosowań poza metalurgią proszków,
2. zastosowanie aluminium w spiekach.

Punkt drugi można podzielić na:

- a. spiekanie czystego aluminium lub jego stopów,
- b. spieki pośrednie, zawierające aluminium i  $Al_2O_3$ ,
- c. spieki zawierające przede wszystkim  $Al_2O_3$ .

Zgodnie z naszkicowanym podziałem omówimy krótko poszczególne zagadnienia.

#### 1. Produkcja proszku aluminium

Proszek aluminium wytwarzać można w sposób opłacalny czterema metodami:

1. przez mieszanie lub wstrząsanie ciekłego aluminium w czasie krzepnięcia,
2. metodą granulacji,
3. przez rozpylanie,
4. przez tłuczenie w tłczkach lub rozbijanie w młynach kulowych.

Metoda 1. wykorzystuje ciekawą własność aluminium, które podobnie jak niektóre inne metale krzepnie pod postacią gruboziarnistego proszku (granulek), jeżeli w czasie powolnego krzepnięcia będzie wstrząsane lub mieszane. Metoda 2. (granulacji) nie różni się od powszechnie stosowanych metod granulacji metali ciekłych. Obie te metody stosuje się jednak dość rzadko, gdyż dają proszek gruboziarnisty i znacznie utleniony.

Najczęściej stosuje się metody 3. i 4.

Rozpylanie proszku ze stanu ciekłego odbywa się za pomocą sprężonego powietrza, pary wodnej lub azotu. Strumień ciekłego metalu wypływa przez otwór dyszy i zostaje rozbity na drobne, prawie natychmiast krzepnące kropelki metalu przez koncentryczny strumień

środka rozpylającego. Rysunek 1 przedstawia przekrój dyszy stosowanej do rozpylania aluminium, a rysunek 2 schematy urządzeń do rozpylania aluminium za pomocą powietrza, pary wodnej i azotu.

Ziarna proszku rozpylanego aluminium, podobnie jak ziarna proszków innych rozpylanych metali, mają kształt globularny, kropelkowy, co widać na zdjęciu wykonanym mikroskopem elektronowym (rys. 3).

Należy podkreślić, że proces rozpylania aluminium jest procesem niebezpiecznym gdyż zawiesina drobnego pyłu aluminium w powietrzu tworzy mieszaninę piorunującą, a eksplozja może nastąpić nawet pod wpływem nieznacznych wyładowań elektrostatycznych. Z tego względu utrzymywanie odpowiedniej temperatury i atmosfery procesu jest podstawowym zagadnieniem bezpieczeństwa pracy w wytwórniach proszku aluminium. Wielkość ziarn rozpylanego proszku aluminium, waha się od jednego do kilkuset mikronów.

Proces ten został szczegółowo opisany w innym miejscu [8].

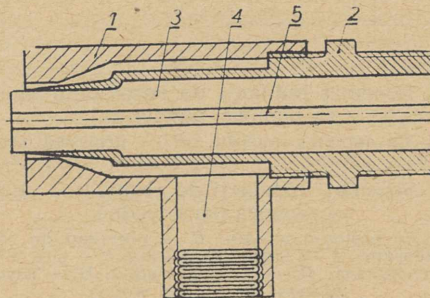
Stosując metody tłuczenia lub mielenia w młynach kulowych używa się jako materiału wyjściowego odpadków folii aluminiowej lub rozpylanego proszku aluminium. Odpadki folii rozrywa się wstępnie na specjalnych walcach igłowych.

Rozróżniamy tutaj proces suchy i mokry. Do procesu suchego stosuje się atmosferę powietrza lub gazu ochronnego, do procesu mokrego kąpieli olejowej.

Materiał wyjściowy sypie się do tłczek, które rozbijają go na proszek płatkowy. Proces tłuczenia odbywa się w kilku stadiach, w urządzeniach różniących się od siebie ilością poszczególnych tłczek i szybkością tłuczenia, począwszy od tłuczenia zgrubnego, a skończywszy na wykończającym. Przesypywanie i odsiewanie proszku odbywa się przeważnie pneumatycznie. Rysunek 4 przedstawia tłczkę do zgrubnego rozdrabniania.

W ostatnich czasach zamiast tłczek stosuje się coraz częściej młyny specjalnej konstrukcji, pracujące w atmosferze zawierającej nie więcej niż 10 % tlenu lub też w kąpieli olejowej.

Jeżeli praca odbywa się w atmosferze powietrza czy też atmosfery ochronnej, to do proszku dodaje się zawsze pewną ilość tłuszczu, który zapobiega sklejanii się ziarn w czasie tłuczenia czy mielenia. Ilość tłuszczu wynosi normalnie około 3 %. Jeżeli ulegnie ona zmniej-



Rys. 1. Dysza do rozpylania aluminium

1 — zewnętrzny płaszcz z miękkiej stali, 2 — wewnętrzny płaszcz stalowy, 3 — dysza z materiału ceramicznego, 4 — doprowadzenie powietrza, 5 — doprowadzenie aluminium

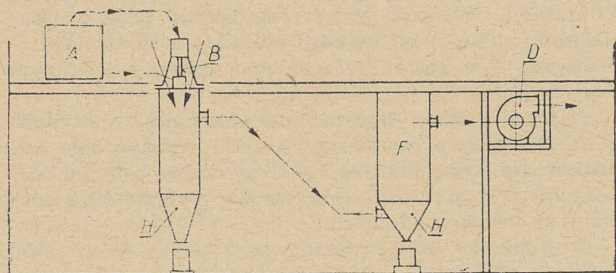
szczeniu, zaobserwować można wyraźny wzrost ziarn podczas procesu tłuczenia.

Po rozdrobieniu proszek odtłuszcza się, a proszek przeznaczony do wyrobu farb ochronnych poleruje się dodatkowo na polerkach szcztokowych.

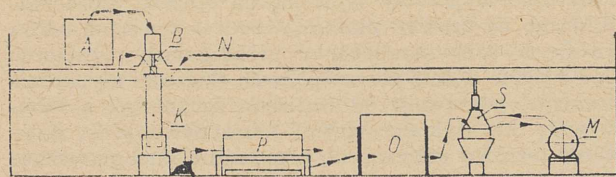
Proszek wytwarzany metodą 4. jest kształtu płatkowego, co widać na fotografii (rys. 5) zrobionej poprzecznie do płaszczyzny proszku, a ziarna proszku są mniejsze od ziarn proszku rozpylanego. Opisane wyżej proszki aluminium znajdują zastosowanie głównie w pirotechnice. Sproszkowany glin i magnez, zmieszane ze środkami utleniającymi, służą za środki wybuchowe, lub powiększają siłę eksplozji innych środków wybuchowych. Wchodzą one również jako jeden z podstawowych składników do termitowych bomb zapalających. Zapotrzebowanie proszku aluminium na ten cel było podczas wojny bardzo duże (np. w Niemczech wynosiło około 20 000 t rocznie).

Duże ilości gruboziarnistego proszku aluminium zużywa aluminotermia ważnych technicznie metali lub żelazostopów wolnych od węgla, jak żelazotytan, żelazochrom, chrom, żelazowład i inne.

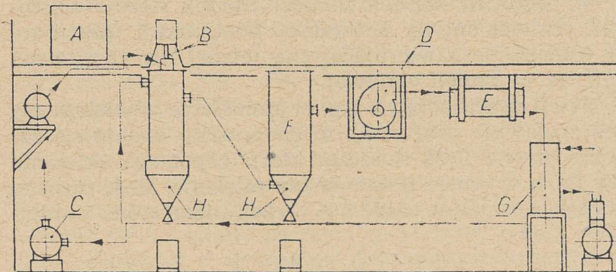
Płatkowy proszek aluminium, tzw. brąz aluminowy, wchodzi w skład lakierów ochronnych jako pigment



a)



b)



c)

Rys. 2a. Schemat indukcji do rozpylania aluminium za pomocą powietrza

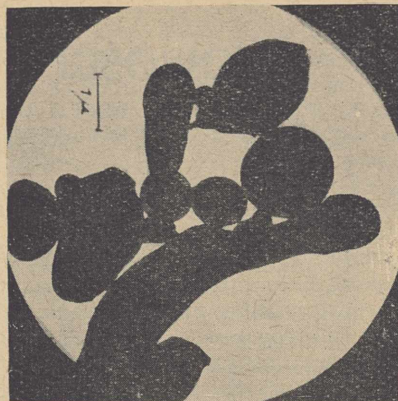
A — piec do topienia metalu, B — przyrząd rozpylający, D — ssawa, F — cyklon, H — zasypniki

Rys. 2b. Schemat instalacji do rozpylania aluminium za pomocą pary wodnej

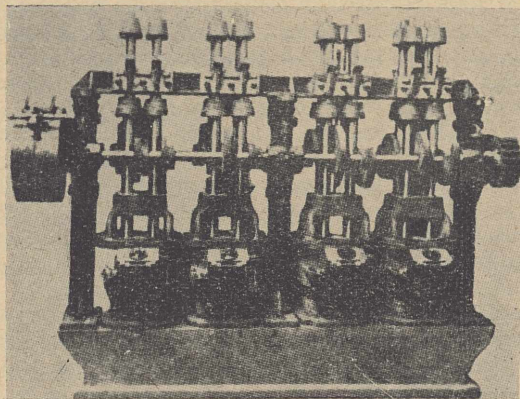
A — piec do topienia metalu, B — przyrząd do rozpylania, K — kondensator, P — prasa filtracyjna, S — sito wibracyjne, M — młyn kulowy, W — pompa wodna, O — suszarka powietrza, N — tusz wodny

Rys. 2c. Schemat instalacji do rozpylania aluminium za pomocą azotu

A — piec do topienia metalu, B — przyrząd do rozpylania, C — kompresor gazu, D — ssawa, E — osiobiacz wstępny, F — cyklon, G — osiobiacz ostateczny, H — zasypniki



Rys. 3. Ziarna proszku Al rozpylanego pod mikroskopem elektronowym



Rys. 4. Zespół tłuczek do rozdrabniania Al płatkowego



Rys. 5. Ziarna proszku Al płatkowego w przekroju

metaliczny, zwiększający dzięki swej łuskowej strukturze ich wartość jako ochronnych powłok metali.

Rozpowszechnione jest również stosowanie proszku aluminium do produkcji betonu pianistego, tzw. gazobetonu, i do aluminotermicznego spawania szyn. W porównaniu ze zużyciem w wymienionych dziedzinach zużycie proszku w przemyśle chemicznym i w medycynie jest minimalne. Zastosowania te omówiono szczegółowiej w innym artykule [7].

Również nieznaczne ilości wytwarzanego w opisany sposób proszku aluminium stosuje metalurgia proszków do dalszych procesów technologicznych (prasowanie i spiekanie).

## 2. Zastosowanie aluminium w spiekach

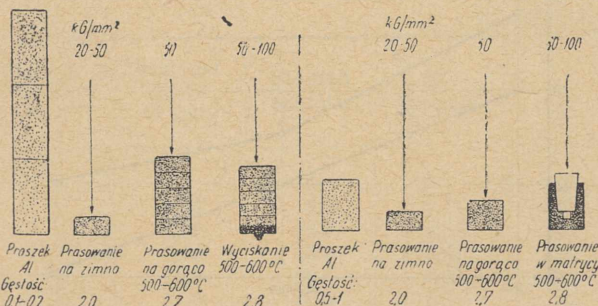
Spiekanie czystego aluminium lub jego stopów. Techniczne znaczenie spiekanej czystego aluminium

jest stosunkowo nieznaczne. Trudności spiekania, spowodowane powłoką tlenków, pokonać można jedynie częściowo przez dodawanie do proszku aluminium wodorków, np. wodorku tytanu. Wodorki te rozkładają się przy temperaturze spiekania i wydzielając wodór atomowy powodują dość daleko posuniętą redukcję powłok tlenków. Kłopotliwość i duże koszty stosowania tej metody uniemożliwiały szersze jej rozpowszechnienie się.

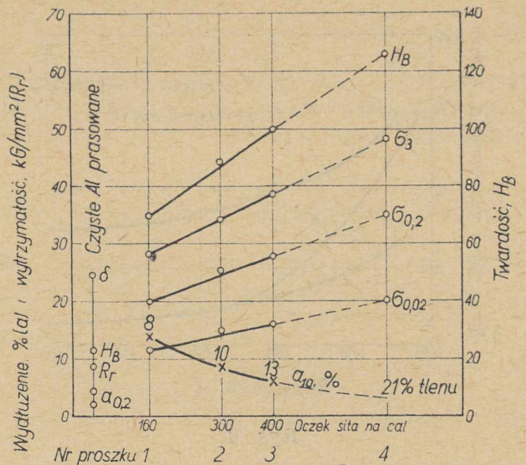
Jeżeli chodzi o stopy aluminium wytwarzane metodą spiekania, to wspomniane trudności sprawiły, że jako proszek wyjściowy stosuje się proszki stopowe, nie proszek czystego aluminium. Proszki te zawsze mają mniejszą skłonność do utleniania się i dzięki temu nie pokrywają się tak łatwo powłoką tlenków. Niższy stopień utlenienia ułatwia proces spiekania. R. Kikuchi wytwarzał spieki z duraluminium, stosując jako materiał wyjściowy proszek duralowy. W podobny sposób postąpił L. Kempf podczas badania spiekanych stopów aluminium-magnez, aluminium-cynk i aluminium-magnez-cynk. Spiek duralowy miał własności zbliżone do duralu hutniczego, jednakże kłopotliwość produkcji uniemożliwia stosowanie tej metody na skalę techniczną.

Dużą rolę odgrywają natomiast stopy wstępne Al-Fe lub Al-Ni w produkcji spiekanych magnesów.

Spiekane magnesy trwale zawierają przeważnie jako jeden z podstawowych składników kilka do kilkunastu procent aluminium. Wprowadzenie wymaganej ilości aluminium do spieku napotykało przez długi czas wielkie trudności, ze względu na hamowanie procesu dyfuzji w czasie spiekania przez powłoki tlenków. Próbowano zastosować proszek czystego aluminium i gotowe proszki stopu ostatecznego, ale żaden z tych sposobów nie doprowadził do celu. W rezultacie opracowano metodę wytwarzania spiekanych magnesów przy zastosowaniu proszku stopu wstępnego Fe-Al lub Ni-Al (w ilości 1:1). Mimo stosowania tego stopu zamiast proszku czystego aluminium, skłonność do utleniania się w czasie spiekania jest tak duża, że należy stosować specjalne środki ostrożności. Prasówki przygotowane do spiekania układa się szczelnie w pudełkach z żelaza Armco i zasypuje materiałem geterującym, czyli tzw. wychwytywaczem, którego zadaniem jest wyłapanie resztek tlenu czy pary wodnej znajdujących się w atmosferze pieca. Trzeba pamiętać, że atmosferę pieca stanowi w tym przypadku bardzo dokładnie oczyszczony wodór; nawet najdrobniejsze jego zanieczyszczenia są szkodliwe dla właściwego przebiegu procesu spiekania [14]. Niekiedy oprócz tego stosuje się niewielkie dodatki wodorku tytanu, którego działanie podczas procesu spiekania opisane zostało już poprzednio. Podobnie stosuje się stopy wstępne Fe-Al do spiekanych materiałów oporowych na grzejniki, np. w stopach Fe-Al 10. Można je w stanie spiekanych przerabiać plastycznie i z powodzeniem zastępować nimi te materiały na uzwojenia grzewcze, które zawierają metale deficytowe.



Rys. 6. Schemat produkcji SAP



Rys. 7. Wpływ ziarnistości proszku na własności mechaniczne

Oprócz tego stosuje się aluminium w metalurgii proszków do wytwarzania materiałów magnetycznie miękkich na rdzenie do obwodów radiowych niskiej częstotliwości i telefonii, tzw. alsiferów, a więc materiału składającego się z aluminium (do 10 %), krzemem i żelaza. Rdzenie wytwarza się ze stopu wstępnego o składzie już ostatecznym, rozdrabniając go, izolując, prasując i spiekając. Materiały te mają dobre własności magnetyczne i mogą z powodzeniem w wielu przypadkach zastąpić deficytowe materiały stosowane dotychczas do tego celu.

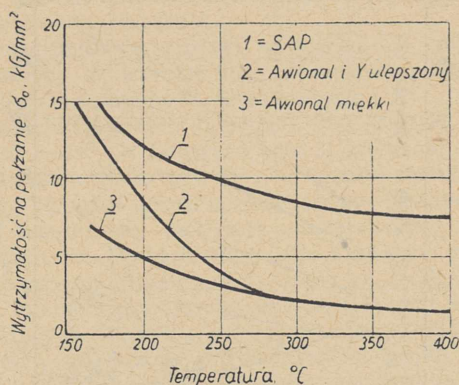
Zastosowanie aluminium i jego stopów w metalurgii proszków do innych celów, oprócz opisanych, nie jest duże.

Spieki pośrednie, zawierające aluminium i Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. W tym przypadku wyzyskuje się właśnie powierzchniowe utlenianie się proszku aluminium w celu uzyskania specjalnych własności.

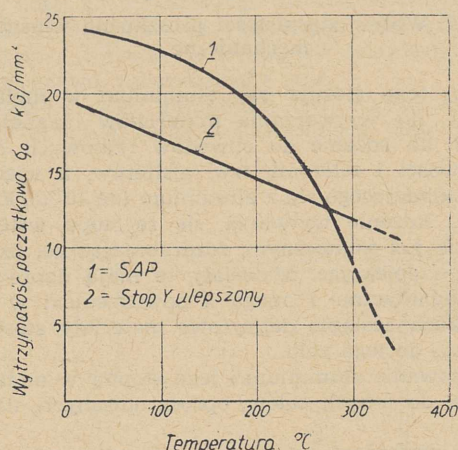
Bardzo ciekawym przykładem tego materiału jest tzw. SAP (Sintered Aluminium Powder), opisywany ostatnio szeroko w technicznej literaturze zagranicznej przez R. Irmanna i A. Zeerledera. Materiał ten produkuje się w następujący sposób: Jako surowiec wyjściowy stosuje się proszek aluminium specjalnie przyrządzony, o zwiększonym ciężarze zasypu, zawierający około 13 % tlenu. Proszek ten, zasypany do matrycy, prasuje się na zimno pod ciśnieniem 2 ÷ 5 t/cm<sup>2</sup>, po odciągnięciu powietrza w celu zwiększenia gęstości zasypu. Prasówki prasuje się powtórnie na gorąco przy 500 ÷ 600 °C pod ciśnieniem 5 t/cm<sup>2</sup>, przy zastosowaniu atmosfery ochronnej lub bez niej, otrzymując półprodukt. Z półproduktów, zależnie od przernaczenia, wyciska się na gorąco pręty lub profile, albo też prasuje na gorąco kształtki w odpowiednich matrycach. Rysunek 6 przedstawia schemat produkcyjny SAP w dwu odmianach.

SAP ma bardzo ciekawe własności mechaniczne. Jeżeli porównamy go z własnościami mechanicznymi stopów aluminium wytwarzanych zwykłymi sposobami, to można stwierdzić, że SAP w przeciwieństwie do nich nie zmienia swych własności po długotrwałym wyżarzaniu np. przy 400 °C, zachowując twardość 95 HB i wydłużenie 7 %. Własności wytrzymałościowe SAP w porównaniu z czystym aluminium i w zależności od wielkości ziarna proszku wyjściowego przedstawia rys. 7. Jeszcze ciekawiej przedstawiają się własności wytrzymałościowe SAP przy temperaturach powyżej 250 °C.

Wyższość tego materiału nad stopem awional widać wyraźnie z rys. 8. Rysunek 9 przedstawia zachowanie się SAP przy wyższych temperaturach w porównaniu ze stopem Y.



Rys. 8



Rys. 9

Te korzystne własności, powodują, że SAP znajduje zastosowanie w zakresie temperatury pracy 250 do 500 °C i nadaje się specjalnie do silników spalinowych i turbin. Dzięki technologii, opartej na prasowaniu na gorąco, materiał ten nadaje się na tłoki do silników spalinowych i łopatkę turbin. Rysunek 10 przedstawia tłok silnika Diesla wykonany z SAP.

Do rozszerzenia zastosowań SAP przyczynia się jego mały ciężar właściwy i lepsza w porównaniu do innych stopów przewodność elektryczna i cieplna oraz rozszerzalność cieplna, co przedstawia rys. 11.

SAP jest bardzo interesującym przykładem możliwości zastosowania utlenionych proszków metali, a zwłaszcza proszków metali pokrytych specjalnymi związkami chemicznymi metali w szerszym zakresie. Można się spodziewać, że zastosowanie podobnej metody do metali trudniej lub trudno topliwych może dać bardzo ciekawe rezultaty.

Lepsze własności wytrzymałościowe SAP polegają przede wszystkim na skróceniu drogi swobodnego poślizgu pomiędzy krystalitami, wskutek niejako zamknięcia ich w powłokach tlenków, uniemożliwiających rekryształizację i rozrost ziarn. Własności te można nawet wyliczyć z wzoru [3]:

$$\sigma_e = P (\sin 45^\circ \cdot \cos 45^\circ) = \frac{2 Es}{L}$$

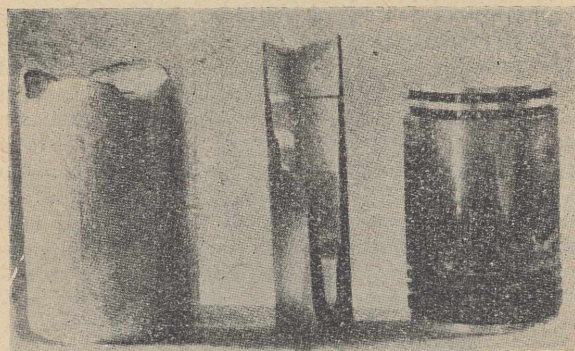
gdzie  $\sigma_e$  jest granicą sprężystości,  $P$  siłą rozciągającą,  $E$  modułem sprężystości,  $s$  odległością pomiędzy atomami w kierunku poślizgu,  $L$  średnią swobodną drogą poślizgu, określoną przeciętną średnicą ziarn krystalitów (proszku) lub na podstawie innych wzorów [5], opartych na obliczeniach stratyfikacji zespołów zawierających większą ilość składników. Zgodność tych ob-

liczeń z wynikami doświadczalnymi jest dość duża. W praktyce uzyskuje się nawet niejednokrotnie lepsze rezultaty, dzięki nieuniknionej obecności pewnej ilości drobniejszej frakcji proszku.

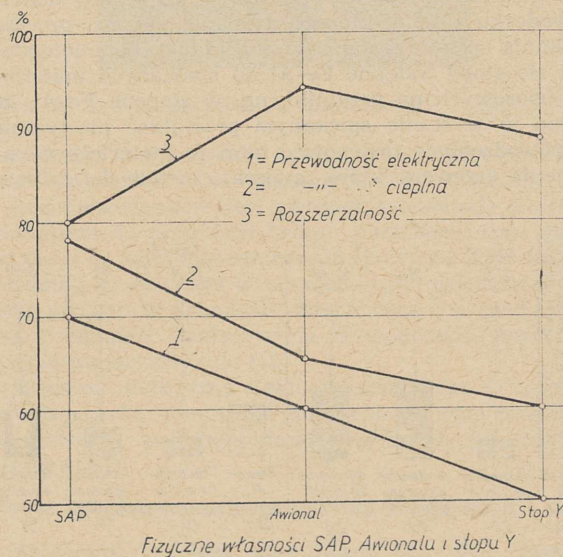
**Spieki oparte na tlenku glinu.** Materiały spiekane zawierające tlenki metali i metale należą do dużej i stale zyskującej na znaczeniu grupy materiałów ceramiczno-metalicznych. Materiały te łączą dobre własności wytrzymałościowe przy wyższych temperaturach, dobrą odporność na korozję i na zgar, z własnościami zbliżonymi do własności metali, a więc odpornością na zmiany temperatury, współczynnikiem rozszerzalności cieplnej itp. Stanowią one pewnego rodzaju materiał przejściowy między materiałami tlenkowymi a metalami, gdy własności poszczególnych składników sumują się w sposób addytywny. Metal, spełniający tutaj rolę materiału wiążącego, zwiększa przewodność cieplną i odporność takich materiałów na zmiany temperatury. Tlenki znacznie zwiększają odporność na utlenienie metalu stanowiącego jeden ze składników spieku, co stwierdził np. H. Bückle badając proszek niobu i  $Al_2O_3$ .

Spieki  $Al_2O_3$  i żelaza wytworzono w Niemczech w czasie ostatniej wojny jako materiał na turbiny silników odrzutowych. Najlepszym okazały się spieki zawierające 40 ÷ 50 % Fe, reszta  $Al_2O_3$ . Celem ułatwienia zabudowania łopatek w wieńcu turbiny, stosowano warstwowy skład łopatek, przechodzący od niemal czystego tlenku na pracującym końcu łopatki do niemal czystego metalu przy osadzie. Już dodatek 30 % żelaza umożliwia hartowanie spieku od 800 °C w wodzie.

Ze względu na słabą zwilżalność tlenku poniżej 1650 °C, przez metale stosowane jako materiał wiążący do spieków tlenek glinu-metal, nie należy stosować do



Rys. 10. Tłoki wykonane z SAP



Fizyczne własności SAP, Awionalu i stopu Y

Rys. 11. Fizyczne własności SAP, Awionalu i stopu Y

ich spiekania atmosfery redukującej, lecz raczej atmosferę lekko utleniającą.

Oprócz żelaza jako metale wiążące  $Al_2O_3$  stosuje się nikiel, kobalt, żelazo i chrom oraz stop Cr-B.

A. Blackburn i T. Shevlin opracowali i zbadali układ  $Al_2O_3$ -Cr. Spiek o zawartości 30 % Cr, reszta tlenek glinu ma przy 20 °C wytrzymałość na rozciąganie 24,6 kg/mm<sup>2</sup>, a przy 1320 °C 9,9 kg/mm<sup>2</sup>. Twardość Vickersa wynosi 1100 ÷ 1200 kg/mm<sup>2</sup>, odporność na szybkie chłodzenie od 1320 °C dobra, natomiast wytrzymałość na uderzenie mała. Jeżeli proporcje w tym tworzywie zmienimy na przeciwnie, to własności metalu górują nad własnościami tlenku. Materiał ten znany pod nazwą Metamic LT, ma bardzo dobrą odporność na zmiany temperatury, a jego wytrzymałość przy 980 °C jest większa niż Vitalium HS 21. Stosowany jest na tygle, dysze, osłony termopar, rury do spalań itp.

J. Cline i J. Wulff opisali niedawno ciekawą metodę produkcji spieków ceramiczno-metalicznych, polegającą na zastosowaniu proszków tlenku powleczonych metalami wydzielonymi z fazy gazowej, np. niklem przez rozkład korbonylku niklu. Dokładne powleczenie poszczególnych ziarn proszku powłoką metaliczną ma istotne znaczenie dla należytego przeprowadzenia dalszej operacji spiekania.

Jak widać, udział aluminium w metalurgii proszków wykazuje tendencje rozwojowe.

#### Literatura

1. R. Kieffer i W. Hotop. Metalurgia proszków i materiały spiekane, tłum. inż. W. Rutkowski, Katowice 1951, str. 166.

2. A. Zeerleder. Neuere Entwicklung der Pulvermetallurgie von Aluminium. Pulvermetallurgie, Reutte/Tirol, 1953, str. 211.

3. A. Zeerleder. SAP nouveau matériau fabrique à partir de poudre d'aluminium frittée à chaud. Congrès des matériaux résistant à chaud AERA 1951, str. 125.

4. F. Sauerwald. Über Oberflächenschichten, insbesondere Oxydschichten und ihren Einfluss auf das Sintern. Pulvermetallurgie, Reutte/Tirol, 1953, str. 199.

5. R. de Fleury. Considerations sur le module d'élasticité et la limite élastique du complexe alumine-aluminium. Congrès des matériaux résistant à chaud AERA 1951, str. 129.

6. B. Razumowski. Zastosowanie proszków metali poza metalurgią proszków. Hutnik 1951, 7 ÷ 8, str. 338.

7. M. Balszin. Poroszkowaja metalurgia, Moskwa 1948.

8. W. Rutkowski. Otrzymywanie proszków metali metodą rozpylania. Prace Badawcze GIMet, 1951, str. 259.

9. BIOS Final Report nr 729.

10. BIOS Final Report nr 860.

11. BIOS Final Report nr 595.

12. BIOS Final Report nr 1323.

13. R. Kieffer i P. Schwarzkopf. Hartstoffe und Hartmetalle, Wien 1953.

14. W. Rutkowski. Spiekane magnesy trwale zawierające aluminium i kobalt. Prace Inst. M. H. 1954, 3.

15. H. Rutkowska i B. Winsch. Alsifery — proszkowe materiały magnetycznie miękkie. Prace Inst. M. H. 1954, 3.

W. Rutkowski

### Druć aluminiowy na nity

Do nitowania stopów aluminiowych używa się głównie dwu rodzajów nitów:

1. służących do łączenia konstrukcji nośnych pracujących pod pełnym obciążeniem,
2. mających za zadanie tylko wzajemne łączenie blach pokrywowych lub przymocowanie tych blach do wewnętrznej żebrowej konstrukcji nośnej. Nity te są słabo obciążone i rozmieszczone bardzo gęsto.

Gdy używa się blach duralowych platerowanych czystym aluminium (99,5 %), dla uniknięcia korozji w miejscu styku blachy z nitem, stosuje się nity z tego samego materiału co plater. Ponieważ nitowanie odbywa się na zimno, nity powinny być miękkie, zachowując jednak minimum wytrzymałości na rozciąganie.

Dla prętów aluminiowych przeznaczonych na nity słaboobciążone norma przewiduje następujące własności wytrzymałościowe:  $R_r \geq 9 \text{ kg/mm}^2$ ,  $a_{10} \geq 17 \%$

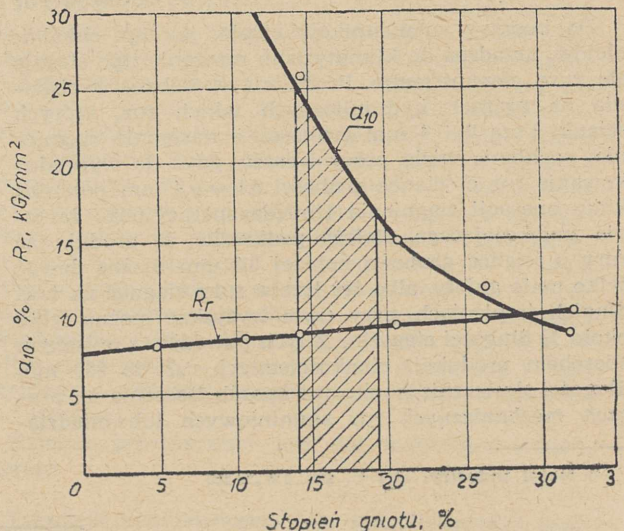
Uzyskanie tych własności napotyka na trudności. Wytwarzane pręty albo mają dobrą wytrzymałość, a małe wydłużenie, albo, na odwrót, dobre wydłużenie.

Tablica 1

Kolejny ciąg	Średnica drutu w mm	Stopień zgniotu	$R_r$ kg/mm <sup>2</sup>	$a_{10}$ %
0	6,0	0	8,1	42
1	5,83	4,9	8,31	33
2	5,68	10,6	8,58	32
3	5,58	13,8	9,01	26
4	5,35	20,5	9,55	15
5	5,15	26,5	9,8	12
6	4,95	32,0	10,4	10

a małą wytrzymałość. Jak wiadomo, czynnikami decydującymi o własnościach wytrzymałościowych półfabrykatów aluminiowych są warunki ostatniego ciągu na gotowo. Im większy bowiem jest zgniot na zimno, tym większa wytrzymałość materiału i mniejsze wydłużenie.

Dla ustalenia warunków wyżarzania końcowego oraz dla określenia optymalnego zgniotu końcowego w Zakładzie Metali Lekkich IMN przeprowadzono wiele prób, używając drutu Al o średnicy 8, 6, 4 mm o składzie chemicznym odpowiadającym normie. Druć ten wyżarzono w piecu elektrycznym przy 400 ÷ 420 °C



Rys. 1. Wpływ zgniotu na własności drutu aluminiowego

w czasie 5 godzin i następnie ciągnięto dając kolejno zgnioty około 5 % tak, aby łączny zgniot w kolejnych ciągach wynosił około 5, 10, 15, 20, 25, 30 %.

Wyniki jednej próby podano w tablicy 1. Wyniki te w przybliżeniu odpowiadają średnim wynikom wszystkich prób.

Zależność  $R_r$  i  $a_{10}$  od stopnia zgniotu przedstawiono na rys. 1.

Z wykresu tego widać, że żądane własności  $R_r \geq 9$  kG/mm<sup>2</sup> oraz  $a_{10} \geq 17$  % można otrzymać przy końcowym zgniocie w granicach 14 ÷ 19 %.

W innych próbkach zakres optymalnego zgniotu końcowego jest trochę przesunięty w lewo lub w pra-

wo. Można jednak przyjąć, że optymalny stopień zgniotu wynosi średnio 16 %.

W jednej z prób drut ciągniono dając całkowity zgniot w jednym ciągu. Okazało się, że nie ma różnicy we własnościach przy ciągnięciu stopniowym i jedno-razowym, z zastrzeżeniem, że zachowuje się ten sam łączny stopień zgniotu. Należy tu również nadmienić, że podczas wyżarzania poprzedzającego ciągnięcie nie wolno stosować stopnia zgniotu 2 ÷ 5 %, gdyż jest to stopień krytyczny dla aluminium, powodujący podczas wyżarzania duży rozrost ziarna, co z kolei ujemnie wpływa na własności gotowego drutu.

S. Zaczkowski

### Klejenie części konstrukcji z lekkich stopów<sup>1)</sup>

Ostatnio przemysł zagraniczny z powodzeniem stosuje nową metodę łączenia części konstrukcji ze stopów lekkich. Części te łączy się przez klejenie pod ciśnieniem, przy użyciu odpowiedniego środka wiążącego<sup>2)</sup>. Zastosowanie tej metody łączenia części w budowie samolotów przy najwyższym wykorzystaniu materiałów, daje wielkie oszczędności ciężaru oraz lepsze linie aerodynamiczne. Przemysł brytyjski stosuje dwie metody klejenia: De Havillanda, polegającą na prasowaniu na gorąco, oraz firmy Bristol polegającą na klejeniu w autoklawach. Metody te są w części zmechanizowane.

De Havilland używa ciężkich pras hydraulicznych ogrzewanych parą. Umożliwia to klejenie elementów o długości dochodzącej do 7 m. W taki sposób np. nakleja się żebra wzmacniające na blachę pokryciową. Klejenie odbywa się jednocześnie na całej długości. Tak przygotowane części łączy się następnie nitami.

Autoklaw używany w wytwórniach firmy Bristol pozwala na klejenie elementów o wymiarach 3×1,2 m. Umożliwia on jednak lepszą regulację ciśnienia oraz klejenie mocno wygiętych części konstrukcji. Obie metody umożliwiają produkcję systemem potokowym. Przy użyciu kleju o dość wysokiej temperaturze wiązania, czasy klejenia (15 ÷ 25 min) są krótkie.

Obie metody klejenia ciągle się rozwijają i należy się liczyć z dalszym ich ulepszeniem w miarę zdoby-

wania nowych wiadomości praktycznych.

Klejenie elementów termoplastycznym spoiwem odbywa się przy podwyższonej temperaturze pod ciśnieniem 5 ÷ 7 kG/cm<sup>2</sup>. Przeznaczone do klejenia części można sporządzić tylko z takich materiałów, których własności mechaniczne nie zmieniają się przy podwyższeniu temperatury do około 160 °C. Do takich zaliczają się stopy o osnowie aluminiowej np. AlCuMg. Również magnez odpowiada tym wymaganiom, chociaż obecnie sprawia jeszcze pewne trudności przy klejeniu.

Obecnie metodę klejenia części konstrukcji klejem „Redux” stosuje się do produkcji pewnych części samolotów;

1. części, które nie zagrażają bezpośrednio życiu pasażerów (podłogi, klapy, drzwi itp.). Klejenie tych części daje około 25 % oszczędności ciężaru elementów, które dotychczas były nitowane;
2. części mniej obciążone, jak żebra wzmacniające ściany, skrzydła, stery itp., klejenie tych części zmniejsza ich ciężar 0,5 ÷ 10 %;
3. ściany szczelnych pomieszczeń, jak np. zbiorniki paliwa w skrzydłach lub pływaki wodnopłatowców.

Przy dotychczasowym stanie rozwoju techniki klejenia części klejone mogą pracować w zakresie temperatur od + 80° do - 60 °C. Przy temperaturach wyższych może wystąpić znaczne pogorszenie się własności wytrzymałościowych spoin klejonych.

T. Szarowicz

### Produkcja rur cienkościennych

Do budowy wymienników ciepła, jak np. chłodnic olejów, urządzeń do klimatyzacji, mrożenia itp., stosuje się rury cienkościenne. Produkcja sposobem wyciskania na prasach hydraulicznych takich rur, których ścianki liczą 2 ÷ 4 mm grubości, a następnie ciągnięcia, pochłania wiele pracy i czasu, gdyż do wyprodukowania rur o ściance grubości 0,1 ÷ 0,2 mm potrzeba kilku operacji ciągnięcia i międzyoperacyjnego żarzenia zmiękczającego. Należy podkreślić, że produkując rury o ściance grubości poniżej 0,3 mm można dawać tylko małe gnioty, albo też trzeba rury ciągnąć na tzw. długich trzpieniach, przy czym wyzyskać można tylko około ¼ długości ciągaraki. Z tych powodów z opisanym sposobem produkcji cienkościennych rur do 900 mm długości skutecznie konkuruje sposób tłoczenia na prasach mechanicznych rur aluminiowych lub miedzia-

nych w jednej operacji z kęsów krajanych z pretów oraz przebijanych.

Jak podaje literatura zagraniczna<sup>1)</sup> na prasach takich o mocy około 70 t, ze zmechanizowanym podawaniem kęsów, można wytwarzać rury aluminiowe o ściance grubości 0,16 mm i długości 900 mm. Wydajność wynosi 125 sztuk, czyli około 112 m na minutę.

Jeżeli porównać te szybkości tłoczenia z szybkością ciągnięcia ciągarak łamowych, (około 10 m/min) i uwzględnić że produkcja rur o ściance grubości 0,16 mm wymaga kilku operacji ciągnięcia, dochodzi się do wniosku, że produkcja rur cienkościennych sposobem tłoczenia na prasach mechanicznych jest co najmniej 30 razy wydajniejsza od ciągnięcia na ciągarakach łamowych.

E. Kamiński

<sup>1)</sup> Metal Industry, 1954 r., str. 225 - 226

# SŁOWNICTWO HUTNICZE

## Aluminium – Glin

Wyraz rodzimy *glin* jest równoznacznikiem wyrazu pochodzenia obcego *aluminium*.

Wyraz *glin* pojawia się po raz pierwszy w dziełach prof. Józefa Bełzy w pierwszej połowie ubiegłego wieku, utworzony sztucznie z wyrazu *głina*.

Wileński Słownik Języka Polskiego z 1861 r. w taki sposób objaśnia znaczenie wyrazu *glin*: Jest to metal ziemny, w połączeniu z kwasorodem stanowi glinę, która jest jedną z głównych części składowych ziemi. Niedawno odkryto w nim wiele własności podobnych do srebra.

Hieronim Łabęcki, autor Słownika Górniczego z 1868 roku, uważa wyraz *glin* za neologizm i utworzenie go przypisuje Bełzie. Słownik ten zawiera następujące objaśnienie: Pierwiastek chemiczny glin otrzymano w 1827 r. Wöhler w proszku popielatym podobnym do cyny, a w stanie czystszej w 1854 r. *Sainte Claire Deeville*.

W okresie przed pierwszą wojną światową i w okresie międzywojennym *glinem* nazywano pierwiastek chemiczny oznaczony symbolem Al, np. związek chemiczny  $Al_2O_3$  tlenek glinu. W tym znaczeniu wyrazu *glin* używali pionierzy wiedzy metaloznawczej prof. dr inż. Stanisław Anczyc i prof. dr inż. Witold Broniewski.

Połączenia glinu z innymi pierwiastkami nazwano *stopami glinu*. Mówiono zatem o stopach glinu z miedzią, cynkiem, krzemem itd., podobnie jak mówimy o stopach żelaza, miedzi, cynku itd. mając na myśli połączenia tych metali z innymi pierwiastkami<sup>1)</sup>.

Wyrażenie *stop glinu* spotykamy w kilku artykułach ogłoszonych na łamach polskich czasopism technicznych Między innymi inż. J. Z. Zelewski we wstępie

<sup>1)</sup> Wyrażenia „stop glinowy“, czy też „stop aluminiowy“ są błędne, podobnie jak błędne byłyby wyrażenia: „stop żelazny“, „stop miedziany“, „stop cynkowy“ itp.

do artykułu pt. „Zagadnienie budowy krajowego przemysłu aluminiowego“, ogłoszonego w zeszytach 1—2 „Życia Technicznego“ z 1938 r. zaznacza, iż słowem *glin*, przyjętym przez Polską Akademię Umiejętności, posługuje się w terminach naukowych (np. tlenek glinu), natomiast w znaczeniu materiału technicznego używa wyrazu *aluminium* nie powodującego niejasności w stosunku do słowa *głina* (np. glin produkowany z krajowych glin).

W słowniku hutniczym, opracowanym przez Naczelną Organizację Hutnictwa Żelaza pod egidą Akademii Nauk Technicznych wydanym w 1939 r. znajdujemy wyraz *glin* na oznaczenie metalu o znaku Al.

Mianem *aluminium* oznaczaliśmy i oznaczamy produkt hutniczy o składzie mniej lub więcej zbliżonym do czystego glinu.

Mówimy zatem o aluminium hutniczym lub o aluminium elektrolitycznym, o blachach i drucie aluminiowym. Do kadzi dodajemy aluminium w celu odtlenienia metalu. Ponieważ przy dalszej przeróbce hutniczej lub odlewniczej polegającej na połączeniu aluminium z innymi wytworami hutniczymi, np. z miedzią elektrolityczną, bierze udział aluminium, przeto mówimy o *stopach aluminium*.

Nazwę *glin* na oznaczenie pierwiastka Al spotyka się obecnie najczęściej w pracach z dziedziny chemii. Stosowanie tej nazwy w metaloznawstwie gwoli odróżnienia *glinu*, jako metalu chemicznie czystego, od *aluminium*, zawierającego nieuniknione w procesach hutniczych zanieczyszczenia, nie znajduje jednak głębszego uzasadnienia, gdyż niektóre metale, jak np. cynk elektrolityczny odznaczają się jeszcze większą czystością niż aluminium.

Należałoby rozważyć, czy stosowanie dwu równoznacznych nazw: *glin* i *aluminium* nie prowadzi do zamieszania pojęć?

A. T. Troskołański

## NOTATKI BIBLIOGRAFICZNE

**Hutnicy Kraju Rad.** Biblioteczka hutnika. *Władysław Gryksztas*. Wydawnictwo Górniczo-Hutnicze. Stalinogród 1954. Format A5, str. 104, rys. 55, cena 6 zł.

**Trześć.** Wstęp — Kraj potężnej metalurgii. — Praca hutników radzieckich. — Nauka hutników radzieckich. — Odpoczynek hutników radzieckich. — Legendarny Makar Mazaj. — Chlubny zawód hutnika.

Książka zawiera wiadomości o pracy, nauce i odpoczynku hutników radzieckich. W książce opisano rozwój metalurgii w ZSRR, pracę wielkopieczników, stalowników i walcowników oraz podano formy kształcenia młodych kadr hutniczych i sposoby spędzania wolnego czasu po pracy przez hutników radzieckich.

Książka przeznaczona jest dla robotników rozpoczynających pracę w przemyśle hutniczym, zwłaszcza dla tych, którzy interesują się sprawami hutnictwa radzieckiego.

**Metalurgia miedzi i niklu.** (Metalurgia tlenkowych cwiertnych metali.) A. A. Cejdlar. Przełożył mgr inż. Cyryl Niewiadomski. Wydawnictwo Górniczo-Hutnicze. Stalinogród, 1954. Format B5, str. 292, rys. 71, tabl. 33, cena w opr. kart. 29 zł.

**Trześć.** Przedmowa. — Wstęp. — Część I. *Metalurgia miedzi* (Wiadomości ogólne, rudy i koncentraty. — Wy-

tapianie kamienia miedzianego w piecach szybowych. — Prażenie rud i koncentratów. — Wytapianie kamienia miedzianego w piecu płomiennym. — Przerób kamienia miedzianego na miedź konwertorową (czarną). — Rafinowanie ogniowe miedzi. — Elektrolityczne rafinowanie miedzi. — Hydrometalurgia miedzi. — Część II. *Metalurgia niklu* (Wiadomości ogólne. Rudy. — Przetapianie rud tlenkowych niklu. — Przerób wzbogaconego kamienia niklowego. — Przetapianie rud siarczkowych i koncentratów. — Przerób wzbogaconego kamienia miedziowo-niklowego. — Przetapianie rud siarczkowych i koncentratów. — Przerób wzbogaconego kamienia miedziowo-niklowego. — Elektrolityczne rafinowanie niklu.). — Część III. *Odpylanie* (Wiadomości ogólne, klasyfikacja metod odpylania. — Filtry elektryczne. — Komory pyłowe, cyklony i multicyklony. — Płuczki oczyszczające i filtry workowe.). — Literatura.

Książka przeznaczona jest dla techników i inżynierów.

**Poradnik koksochemika.** Mgr inż. Aleksander Szpilewicz. Wydawnictwo Górniczo-Hutnicze. Stalinogród 1954. Format A5, str. 612, rys. 322, tabl. 214, cena w opr. kart. 55 zł.

*Treść.* Wstęp. — Część I. Ogólne zasady projektowania koksowni. (Normatywy projektowania. — Rodzaje koksowni. — Zasady rejonizacji zakładów koksochemicznych. — Wybór terenu pod budowę zakładu koksochemicznego. — Zasady usytuowania oddziałów zakładu koksochemicznego. — Optymalna wielkość zakładu koksochemicznego. — Organizacja i tryb projektowania zakładu koksochemicznego). — Część II. Węglownia. (Uwagi ogólne. — Urządzenia wyladunkowe do węgla. — Składowiska węgla i koksu. — Urządzenia rozdrabniające. — Urządzenia do transportu węgla i koksu. — Wieże węglowe). — Część III. Piecownia (Podstawy obliczania pieców koksowniczych. — Masyw ogniotrwały. — Metalowa konstrukcja i wyposażenie pieców koksowniczych. — Urządzenia gaśnicze. — Urządzenia do odbioru, sortowania i załadunku koksu). — Część IV. Oddziały chwywania i przerobu węglowod. — Kondensacja. — Amoniakalnia. — Benzolownia. — Odsiarczalnia. — Przeróbka benzolu surowego. — Przeróbka smoły surowej). — Część V. Ognia usługowe zakładu koksochemicznego. (Zaopatrzenie w energię elektryczną. — Zaopatrzenie w parę. — Część budowlana zakładu koksochemicznego. — Transport wewnętrzny zakładu koksochemicznego). — Skorowidz.

Książka przeznaczona jest dla inżynierów i techników ruchowych przemysłu koksochemicznego oraz dla projektantów zakładów i oddziałów koksochemicznych.

O tomie I i zeszytach 1 i 2 tomu II oraz o zeszytach 3 tomu II tego cennego dzieła umieściliśmy w „Hutniku“ z 1952 r. (nr 12, str. 447) i z 1953 r. (nr 4, str. 158) obszerniejsze notatki informacyjne.

**Organizacja pracy i normowanie techniczne w hucie żelaza.** (Organizacja truda i techniczne skoske normowanie w metalurgii-cheskom proizvodstwie). I. A. Prijmak. Przetłumaczyli St. Albrycht, I. Kałużny, J. Splewiński, F. Zieliński. Polskie Wydawnictwa Gospodarcze. Warszawa 1954. Format B5, str. 300, rys. 88, tabl. 60, cena w opr. kart. 31 zł 50 gr.

Przekład cennej pozycji radzieckiej z zakresu hutnictwa. Tematem książki jest organizacja i normowanie pracy w procesach wielkopieczowych, stalowniczych i walcowniczych. Książka przeznaczona jest dla pracowników hutnictwa zajmujących się zagadnieniami normowania i organizacji pracy oraz dla studentów wyższych uczelni.

**Projektowanie procesów technologicznych w odlewni.** *Mgr inż. Michał Skarbiński*, profesor Politechniki Łódzkiej. Państwowe Wydawnictwa Techniczne. Warszawa 1954. Format B5, str. 387, rys. 351, tabl. 67, cena w opr. płóc. 50 zł.

*Treść.* Wstęp. — Przebieg opracowania procesów technologicznych w odlewni. — Analiza technologiczna konstrukcji odlewu. — Zagadnienia technologiczne związane z kształtem odlewu. Ustalenie sposobu wykonania odlewu. — Budowa układu wlewowego oraz analiza zjawisk cieplnych przy stygnięciu odlewów. — Opracowanie procesu formowania maszynowego. — Podział procesu technologicznego na operacje i czynności. Organizacja pracy na stanowisku roboczym. — Opracowanie rysunku formy odlewniczej. — Opracowanie rysunku modelowego. — Budowa zespołu modelowego. — Opracowanie procesów technologicznych wykonania zespołu modelowego. — Wykonanie i kontrola próbnego odlewu. — Dokumentacja technologiczna. — Przykłady opracowania procesu technologicznego. — Analiza czasu pracy w odlewni. — Analiza czasu formowania ręcznego. — Analiza czasu formowania maszynowego. — Analiza czasu wykonania rdzeni w skrzynkach rdzeniowych. — Analiza czasu oczyszczania odlewów. —

Analiza czasu wykonania modeli. — Analiza ekonomiczna procesu technologicznego. — Literatura.

Książka przeznaczona jest dla inżynierów i techników zatrudnionych w biurach technologicznych odlewni oraz w odlewniach. Mogą z niej również korzystać studenci odlewniczych wydziałów politechnik.

**Kontrola analityczna w przemyśle chemicznym.** Tom I. Przemysłowe laboratorium analizy chemicznej. Praca zbiorowa. Państwowe Wydawnictwa Techniczne. Warszawa 1954. Format B5, str. 264, wraz z wieloma rysunkami i tablicami, cena w opr. płóc. 28 zł.

*Treść.* Wiadomości ogólne — *mgr inż. Jerzy Minczewski*. — Urządzenia laboratorium analitycznego — *mgr inż. Jerzy Minczewski*. — Sprzęt laboratoryjny. Tworzywa i konserwacja — *mgr inż. Stefan Waszak*. — Czynności pomocnicze w laboratorium analitycznym — *mgr inż. Jerzy Wacławik*. — Woda i odczynniki chemiczne — *mgr Irmina Pacewska*. — Wagi i ważenie — *mgr inż. Zygmunt Łada*. — Naczynia miarowe i technika miareczkowania — *mgr inż. Jerzy Wacławik*. — Roztwory stosowane w laboratorium analitycznym — *mgr Jadwiga Młodecka*. — Pobieranie próbek — *mgr inż. Zygmunt Bellen*. — Rozpuszczalność próbek. Steżanie i odparowywanie roztworów — *mgr Irmina Pacewska*. — Stapanie próbek — *mgr Irmina Pacewska*. — Strącanie, sączenie i przemywanie osadów — *mgr inż. Zygmunt Marczenko*. — Suszenie, spalanie i prażenie osadów — *mgr inż. Zygmunt Marczenko*. — Destylacja, sublimacja, ekstrakcja i krystalizacja — *mgr inż. Witold Czerwiński*. — Podstawowe czynności i sprzęt w analizie gazowej — *mgr inż. Stefan Waszak*. — Higiena i bezpieczeństwo pracy w laboratorium analitycznym — *dr Jadwiga Połowska*. — Podstawy obliczeń stechiometrycznych i zadania — *mgr inż. Zygmunt Bellen* i *mgr inż. Zygmunt Łada*. — Tablice pomocnicze. — Skorowidz rzeczowy.

Książka przeznaczona jest dla pracowników laboratoriów analitycznych oraz dla inżynierów urządzających i prowadzących przemysłowe laboratoria analityczne.

**Narzędzia skrawające do metali.** Materiałoznawstwo, przechowywanie i konserwacja. Biblioteka Gospodarki Magazynowej nr 1. *Gustaw Trzcziński* i *Eugeniusz Krawczuk*. Polskie Wydawnictwa Gospodarcze. Warszawa 1954. Format A5, str. 99, rys. 114 wraz z wieloma rysunkami, cena 4 zł 25 gr.

*Treść.* Materiałoznawstwo (Tworzywa na narzędzia skrawające do metali. — Materiały do wyrobu narzędzi ściernych. — Materiały do wyrobu papierów i płócien ściernych. — Materiały do wyrobu past ściernych. — Narzędzia skrawające do metali. — Wyroby ściernie). — Magazynowanie (Zasady konserwacji narzędzi. — Przechowywanie narzędzi). — Gospodarka narzędziami. — Literatura.

**Wzmacniacze elektromaszynowe.** *Dr inż. Władysław Pełczewski*, zastępca profesora Politechniki Łódzkiej. Państwowe Wydawnictwa Techniczne. Warszawa 1954. Format A5, str. 156 wraz z wieloma rysunkami, cena 11 zł.

*Treść.* Pojęcia podstawowe. — Prądnicza obcowzbudna prądu stałego jako pierwowzór wzmacniacza elektromaszynowego. — Amplidyna. — Rototrol jednostopniowy. — Rototrol dwustopniowy. — Zastosowania wzmacniaczy elektromaszynowych. — Wykaz piśmiennictwa.

Książka jest przeznaczona dla techników i inżynierów zajmujących się automatyzacją pracy układów elektroenergetycznych oraz układów napędowych w przemyśle.



## PRZEGLĄD CZASOPISM

**Prace Instytutów Ministerstwa Hutnictwa.** Rok 1954, nr 2. *Z. Bojarski.* Rentgenograficzne badania taloków. — *S. Pawłowski.* Pianowe izolacyjne wyroby wysokoogniotrwałe. — *S. Socha.* Wpływ procesu technologicznego na własności mechaniczne taśm ze stopu Znal 41. — *B. Seweryński.* Spieki samotopliwe z rud żelaza. — *S. Balicki.* Badania nad łożyskowym stopem ŁCa. — *W. Tomaszczyk.* Teoria dyslokacji a własności metali.

**Wiadomości Hutnicze.** Rok 1954, nr 5. *Inż. K. Żemaitis.* W dniu naszego święta. — *Wł. Gryksztas.* Dzień Hutnika. — *Inż. B. Kolomyjski.* Organizacja i praca służby dyspozytorskiej. — *R. Cop.* Współpraca personelu technicznego i finansowego w walce o obniżkę kosztów własnych. — *Inż. J. Splewiński.* Bezpieczeństwo i higiena pracy przy obsłudze mieszalnika. — *Inż. L. Andrejew.* Oczyszczanie spalin pieców martenowskich. — *Mgr K. Doniec.* Przygotowanie rud do przeróbki hutniczej.

**Postępy Fizyki.** Rok 1954 (tom V), zeszyt 1. *A. A. Fock.* Układ Kopernika a układ Ptolomeusza w świetle współczesnej teorii grawitacji. — *A. Hrynkiewicz.* Zastosowanie promieniowania Czerenkowa do wytwarzania i pomiaru energii cząstek jądrowych. — *M. Kwiek.* O niektórych zjawiskach ugięcia światła na strukturach wytworzonych w cieczach przez fale ultradźwiękowe. — *J. Nikliborz.* Nowe osiągnięcia w technice wysokiej próżni. — *J. Grączewski.* Problem ultradźwięków w biologii i medycynie. — *B. Twarowska.* Wpływ promieniowania jądrowego na właściwości mechaniczne ciał stałych. — *O. Wolczek.* Analiza aktywacyjna pierwiastków. — *J. Dąbrowska.* Wyznaczenie wieku meteorytów żelaznych metodą helową. — Kronika.

**Wiadomości Chemiczne.** Rok 1954, nr 4. *L. Mazur.* Ilość izotopów jako funkcja ciężarów atomowych pierwiastków. — Konwersatorium analizy spektralnej. — Kolokwium sprawozdawcze.

**Chemik.** Rok 1954, nr 4. *Cz. Filipski.* Przemysł chemiczny na II Zjeździe PZPR. — *M. Zborowicz.* Jakość włókien sztucznych. — Narada czytelników i autorów „Chemika”. — *K. Szadkowski.* Uszczelnienia pomp jako jeden z ważnych czynników poprawy higieny pracy. — *H. Zarębski.* Manometry sprężynowe. — Nr 5. *St. Miernik.* Zadania Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Przemysłu Chemicznego po II Zjeździe Partii. — *M. Niesiołowski.* Zagadnienia surowcowe przemysłu chemicznego. — *Z. Zieliński.* Zagadnienie odfenolowania wód. — *H. Galante.* O przełom w zakresie BHP.

**Przegląd Odlewnictwa.** Rok 1954, nr 5. *Inż. Cz. Adamski.* Mosiądże niskomiedziowe. — *Inż. J. Piskowski.* Badania nad zastosowaniem stopów magnezu z żelazokrzemem i złomu elektronowego do produkcji żeliwa sferoidalnego z żeliwiaka. — *J. P. Twardość żeliwa białego.* — *Cz. P.* Proces topienia się surowki i stali w żeliwiaku. — *J. P-k.* O wysokiej temperaturze topienia i zalewania żeliwa szarego. — Nr 6. *Inż. Cz. Adamski.* Mosiądże niskomiedziowe. *Inż. H. Rapacki.* Podstawowe Zasady konstruowania form metalowych (kokil). — *Inż. J. Brzeziński.* Pneumatyczny żuraw obrotowy dla odlewni. — *Z. G. i O. W.* Przeciwcierne stopy cynku. — *Z. G. i O. W.* Charakter skurczu (zmian objętościowych) przy krzepnięciu stopów aluminio-w-krzemowych. — *A. M.* Ocena maszyn formierskich.

**Projekt Słownictwa Odlewniczego z maja 1954 r.** Państwowe Wydawnictwa Techniczne. Dział Słownictwa Technicznego. Warszawa. *Inż. J. Holtorp.* Prace nad polskim słownictwem odlewniczym. — *Projekt Słownictwa Odlewniczego* (Ogólne pojęcia odlewnicze. — Pomocnicze pojęcia naukowe i techniczne. — Wposażenie ogólnego przeznaczenia. — Metaloznawstwo. — Modelarstwo. — Formierstwo. — Przetapianie. — Zalewanie form. — Metody odlewania i rodzaje odlewów. — Wybijanie i czyszczenie odlewów. — Obróbka cieplna odlewów. — Pokrywanie odlewów powłokami. — Wady odlewów).

**Przegląd Techniczny.** Rok 1954, nr 5. *Inż. D. Gajewski.* Na wspólnej drodze. — *W. Callenberg.* Podstawy ekonomicznego wykorzystania energii w zakładach przemysłowych. — *Mgr E. Górecki.* Jasny cement żuźlowy. — *Inż. J. Świtkowski.* O dalszy rozwój prac w dziedzinie słownictwa technicznego. — *Prof. W. Fabierkiewicz.* O tworzeniu nazw technicznych. — *Inż. H. Chmielewski.* Plan wydawniczy PWT na rok 1954. — *Inż. St. Beninger.* Ważniejsze pozycje planu wydawniczego Państwowych Wydawnictw Naukowych w dziedzinie książek technicznych na rok 1954. — *Inż. Z. Majewski.* Narada hutników w sprawie czytelnictwa technicznego. — *Inż. F. Wajngot.* Konferencja czytelników i autorów czasopism chemicznych. — Katalog radzieckich norm na wyroby hutnicze.

**Techniczny Biuletyn Biprohotu.** Rok 1953, październik. *Inż. M. Kowalewski.* Znaczenie transportu w gospodarce socjalistycznej. — *Inż. M. Radwan.* Z naszych doświadczeń przy projektowaniu transportu hutniczego. — *Inż. Wł. Lasicz.* Wagon Radwana i możliwości jego zastosowania na hutach. — *Inż. Br. Wasylewicz.* Możliwości typizacji kadzi surowkowych i żuźlowych. — *Inż. Głoniowski i inż. Caputa.* Transport ciągi w zakładach przygotowania rudy. — Listopad. *Inż. M. Kowalewski.* Możliwości oszczędnościowe w inwestycjach przez zmiany elementów dokumentacji. — *Inż. J. Frontczak, inż. R. Krzeszkowski.* Przez racjonalną organizację robót do potaniaenia kosztów budowy. — *Inż. S. Wiśniewski.* Oszczędności w projektowaniu urządzeń przemysłowych. — *Inż. F. Głuski.* Przez zastosowanie elementów powtarzalnych i typowych w projektach dochodzimy do oszczędności w konstruktorogodzinach. — *Inż. P. Blanck.* Biprohot udostępniając własną dokumentację innym Biurom Projektowym przysparza Państwu znaczne oszczędności. — Grudzień. *Inż. M. Kowalski.* Zakłady wielkopiecowe i zadania przed nimi stojące. — *Inż. St. Dyakowski.* Automatyka wielkopiecowca. — *Inż. K. Kot.* Armatura nagrzewnicy Cowpera. — *Inż. St. Dyakowski.* Wyłożenie węglowe wielkich pieców. — *Inż. St. Dyakowski.* Wielkie piece cienkościenne. — *Inż. W. Strzeja.* Zasuwy okularowe w gazowych instalacjach wielkich pieców. — *Inż. St. Czerwiński.* Lana kostka brukowa z żuźła wielkopiecowego. — Rok 1954, styczeń. *Inż. M. Kowalewski, inż. A. Makomski.* Walcownie w planie sześcioletnim i perspektywy rozwojowe na przyszłość. — *Inż. St. Gay, inż. K. Domański.* Rozwój walcowni rur w Polsce. — *Inż. R. Tymoszczuk.* Znaczenie kalibrowania przy projektowaniu nowych walcowni. — *H. Głowczyk.* Popychacze do załadunku pieców przepychowych konstrukcji Biprohotu. — *Inż. B. Malanowicz.* Ogólne uwagi o konstrukcji stołów wahadłowych, stosowanych w urządzeniach walcowniczych, projektowanych przez Biprohot. — *Inż.*

Z. Karge. Przekładanie dużej mocy w napędach walcowniczych. — *Inż. Wł. Dobrucki*. Elektrololki jako typowe elementy walcowniczych urządzeń transportowych. — *Styczeń*. *Inż. Wł. Tołłoczko*. Podstawowe zagadnienia bhp w hutnictwie i wynikające stąd zadania dla Biprohotu. — *Inż. M. Lenartowicz*. Zagadnienia bhp w dziale wielkich pieców. — *Inż. Wł. Klimczyk*. Zagadnienia bhp w stalowniach. — *Inż. J. Sobkowiak*. Bezpieczeństwo i higiena pracy w walcownictwie. — *Inż. J. Lewandowski*. Zagadnienia bezpieczeństwa pracy z punktu widzenia projektanta generalnych i transportu zakładów hutniczych. — *Inż. M. Pauz*. Urządzenia klimatyzacyjne dla kabin suwnic hutniczych. — *Marzec-Kwiecień*. *Inż. M. Kowalewski*, *inż. Wł. Klimczyk*. Stalownie w Planie 6-letnim i dalsze perspektywy rozwojowe. — *Inż. W. Sobiepan*, *inż. J. Mydlarz*, *inż. Cz. Koczaj*. Nowoczesne stalownie ilościowe. — *Inż. Z. Kosiewicz*. Nowoczesne stalownie jakościowe (produkujące wlewki). — *Inż. Z. Bonenberg*, *inż. Z. Kosiewicz*, *inż. W. Sobiepan*. Najsze kierunki w projektowaniu pieców martenowskich. — *Inż. J. Mydlarz*, *inż. W. Sobiepan*. Mechanizacja napraw pieców martenowskich. — *Inż. O. Bereźnicki*. Zagadnienia automatyzacji pieców martenowskich. — *Inż. E. Horoszko*, *inż. J. Klepek*. Elektryczne stalownicze piece łukowe. — *Inż. Cz. Koczaj*, *inż. R. Pozowski*. Dyspozytorski system kierowania produkcją stalowni.

**Wiadomości PKN.** Rok 1954, nr 3. *Prof. dr inż. Z. Kłębowski*. W sprawie normalizacji stosowania znaków ( $\pm$ ) przy naprężeniach stycznych:  $\tau_z = \tau_{xy} = \tau_{yx}$ . — *Inż. M. Myronowicz*, *inż. S. Socha*. Ochrona przed korozją wyrobów stalowych za pomocą powłok metalowych (ogniowych). — *Inż. H. Laurecka*. Materiały ogniotrwałe i ich normalizacja. — *Mgr W. Kiedrzyńska*. Katalogi norm zagranicznych. — *Inż. F. Froński*. Głos z terenu w ważnej sprawie. — *Przegląd Językowy Normalizacji nr 3* (*Mgr A. Drabarek*. Tytuł normy w świetle logiki języka. — *Z.K.O.* O znakach interpunkcyjnych w języku normalizacyjnym. — „Kotły odzysknicowe“. — *ski*. Rozmowy z czytelnikami.). — Nr 4. *Inż. F. Przybylski*. Polskie górnictwo rud żelaza w świetle normalizacji. — *Inż. Wójcik*. Uwagi w sprawie normalizacji w polskim górnictwie rud nieżelaznych. — *Inż. J. Zawitniewicz*. Normalizacja w przemyśle metali nieżelaznych. — *B. M.* Korzyści normalizacji technologicznego przygotowania produkcji. — *Przegląd Językowy Normalizacji nr 4* (*Inż. Cel*. O słownictwie i słownikach. — *ski*. „Słownictwo Hutnicze“ — osobny dział językowy w czasopiśmie „Hutnik“. — *Por.* Ze słownictwa elektrotechnicznego. — *Inż. St. Witkowski*. Głosy czytelników. W sprawie momentu. — *k.* Rozmowy z czytelnikami.). — Nr 5. *Inż. S. Janicki*. Normalizacja jako czynnik postępu technicznego oszczędności w przemyśle materiałów budowlanych. — *Mgr M. Żyźniewski* i *B. Mrozowski*. Uwagi o przebiegu opracowywania norm. — *B. M.*, *S. M.* Dyskusja w Kole NOT nad tezami przygotowanymi na Ogólnokrajową Radę Normalizatorów. — *A. L.* Obróbka podzerowa narzędzi ze stali do nawęglania. — *A. L.* Żeliwo łożyskowe jako pełnowartościowy materiał zastępujący brąz w budowie maszyn. — *J. O. Rury*

z tworzyw sztucznych. — *Rdg.* W trosce o poprawność języka technicznego. — *ski*. Wady montażowe czy wady montażu? O tak zwanych przymiotnikach odrzecznikowych. — *Por.* O zjawiskach tzw. frazeologicznych w słownictwie, zwłaszcza technicznym. — *r.* Sprawy językowe w normalizacji czechkiej. — *kz.* Rozmowy z czytelnikami.

**Przegląd Geologiczny.** Rok 1954, nr 6. *W. Goetel*. Współpraca geologów, górników i technologów w rozwiązywaniu zagadnień surowców mineralnych. — *Z. Żółtowski*. W sprawie dokonywania nakładów inwestycyjnych w zakładach eksploatujących niektóre złoża kopalin. — *J. Poborski*. Podziemne kartowanie geologiczne. — *J. Głodek*. Jeszcze o słowniku geologicznym.

**Prace Instytutu Naftowego.** Rok 1954, Seria B, nr 30. *Inż. J. Kuropieska* i *St. Holec*. Opracowanie szybkiej metody oznaczania zawartości mydeł w smarach stałych.

**Cement, Wapno, Gips.** Rok 1954, nr 5. *Prof. inż. J. Grzymek*. Ogólne wiadomości o historii i rodzajach budowlanych materiałów wiążących. — W ZSRR zwiększają okres wytrzymałości wymurówki pieców obrotowych.

**Ekonomika i Organizacja Pracy.** Rok 1954, nr 4. *Inż. Cz. Wysocki*. Wydziałowe planowanie techniczno-ekonomiczne w hucie żelaza. — *T. Witkowski*. Drogi oszczędzania surowców i materiałów. — *T. Wasiljew*. Organizacja normowania pracy.

**Myśl Filozoficzna.** Rok 1954, nr 1 (Polska Akademia Nauk. Warszawa. Państwowe Wydawnictwo Naukowe. Cena 15 zł). *Leopold Infeld*. Kilka uwag o teorii względności (str. 70—79). — *Jerzy Bogdanowicz*. O dalszy rozwój teorii fizycznych (str. 282—293) [recenzja o pierwszym zeszyście Zagadnień filozoficznych fizyki pt. „Zagadnienia filozoficzne mechaniki kwantowej“; porówn. „Hutnik“ 1953, nr 4, str. 159].

**Wiernik Maszynostrojenia.** Rok 1954, nr 5. *N. F. Kuźmin*. O współczynniku tarcia w punktach o dużym obciążeniu. — *B. A. Morozow*. O określeniu naprężeń dynamicznych w okresie niestabilizowanej pracy niektórych maszyn. — *N. N. Gałkin*. Obliczanie powierzchni oddziałów zbiorczych (montujących) w produkcji seryjnej i indywidualnej. — *S. I. Kazjennow*, *A. N. Krutikow*, *Ł. P. Kołosowa*, *P. T. Dmitriew*. Sposoby zwiększenia wydajności ręcznego spawania elektrycznego stali kwasoodpornych gatunku 18-8. — *B. D. Żukowski*, *Ł. I. Żilbersztejn*. Wpływ czystości powierzchni rur na jakość ich spawania.

**Elektryczestwo.** Rok 1954, nr 3. *J. E. Jefroimowicz*. Silny łuk prądu zmiennego w piecach do wytapiania stali. — *N. J. Zastawska*. Regulator pieca łukowego ze stabilizacją według pochodnej.

Artykuły drukowane w Hutniku są wyrazem indywidualnych poglądów autorów, które nie zawsze pokrywają się z zapatrywaniami Redakcji lub Wydawcy

# Pierwsza Konferencja naukowo-techniczna ochrony pracy w hutnictwie

W dniu 21 maja br. odbyła się w Stalinogrodzie w dużej sali konferencyjnej CZPH, ogólno-hutnicza konferencja naukowo-techniczna poświęcona zagadnieniom ochrony pracy. Została ona zorganizowana z inicjatywy Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Przemysłu Hutniczego przy współudziale Centralnego Instytutu Ochrony Pracy. Wzięli w niej udział przedstawiciele Partii, Ministerstwa Hutnictwa, Centralnej Rady Związków Zawodowych, Związku Zawodowego Hutników, Naczelnej Organizacji Technicznej, uczelni technicznych i medycznych, instytutów naukowych, personel inżynieryjno-techniczny zakładów podległych Ministerstwu Hutnictwa itp. Wiele instytutów nadesłało oświadczenia gotowości współpracy w zakresie podniesienia stanu bezpieczeństwa i higieny pracy w zakładach podległych resortowi hutnictwa.

Otwarcia obrad dokonał przewodniczący SITPH inż. C. Murski, który nawiązując do obrad II Zjazdu PZPR podkreślił, doniosłość zagadnienia ochrony pracy, jako objawu troski o człowieka, o jego pełny rozwój.

„Konieczne jest upowszechnienie tej oczywistej prawdy — powiedział w swym zagajeniu inż. Murski — że człowiek zdrowy i pracujący w warunkach gwarantujących maksymalne bezpieczeństwo i higienę pracy daje najlepszą i największą produkcję...”

Podstawowy referat wygłosił ob. wiceminister inż. Ignacy Borejdo, dokonując szczegółowej analizy najważniejszych problemów ochrony pracy w hutnictwie.

Ob. wiceminister szczegółowo omówił sposoby i metody realizacji wymagań techniki bezpieczeństwa i ochrony pracy w świetle wytycznych IX Plenum i II Zjazdu PZPR.

„Stworzenie takich warunków pracy, które by uczyniły pracę nie tylko bezpieczną, ale jednocześnie przyjemną i radosną, jest obowiązkiem administracji przemysłowej, której dane są wszystkie możliwości realizacji tego prawa“ powiedział m. in. ob. wiceminister. Kreśląc obraz „troski“ o człowieka pracy w ustroju kapitalistycznym i porównując go z naszą dzisiejszą rzeczywistością, ob. wiceminister przypomniał o olbrzymich kwotach przeznaczonych rokrocznie na poprawę stanu bezpieczeństwa i higieny pracy nie tylko w resorcie hutnictwa, ale i w skali ogólnopństwowej. Niezupełne wykorzystanie zaplanowanych na poprawę warunków pracy funduszy, ma niewątpliwie swój wpływ na zwiększenie się wypadkowości.

Mówca napiętnował w dalszym ciągu swego przemówienia często niewłaściwe ustosunkowanie się personelu inżynieryjno-technicznego do zagadnień bezpieczeństwa i higieny pracy, gdyż sprawy produkcyjne przesłaniają im nie mniej ważne i istotne zagadnienie troski o zdrowie i życie pracowników.

„Ta błędna postawa — podkreślił ob. wiceminister — ujawnia się nieraz w nieodpowiednim lekceważącym i nie dość wnikliwym stosunku do spraw ochrony pracy przez kierowników hut i poszczególne oddziały produkcyjne, ujawnia się ona także w niedocenianiu zagadnień ochrony pracy jako ważnych zagadnień nau-

kowo-technicznych przez ogół inżynierów, czy to pracujących w zakładach hutniczych, czy też w biurach projektowych i konstruktorskich, przy projektowaniu i wykonywaniu nowych inwestycji, przy produkcji sprzętu ochronnego itp.“

W referacie swym ob. wiceminister dał również przegląd warunków bezpieczeństwa i higieny pracy w poszczególnych gałęziach hutnictwa, wskazując jednocześnie co zostało do tej chwili zrobione przez Państwo Ludowe w celu radykalnej poprawy pokapitalistycznej gospodarki. Wytyczne zostały również przez referenta kierunki badań instytutów naukowych oraz prac konstrukcyjnych biur projektowych w zakresie ochrony pracy. Podkreślone zostało także przez ob. wiceministra znaczenie stałej i fachowej kontroli wszelkich urządzeń i maszyn z punktu widzenia bezpieczeństwa pracy. Zwrócił też on uwagę na zły stan środków transportowych i znaczne braki w wyszkoleniu załóg wydziałów transportowych. Kończąc swój referat mówca postawił konkretne zadania zarówno dla instytutów naukowych, tudzież uczelni, jak i personelu inżynieryjno-technicznego hut, których realizacja pozwoli na jak najszybszą poprawę istniejących jeszcze dotąd zaniedbań i braków w podległych Ministerstwu Hutnictwa zakładach pracy.

Zebrani wysłuchali referatu z wielkim zainteresowaniem, a z ożywionej i rzeczowej dyskusji wynikało jak bliskie są zebranym poruszane zagadnienia. Tak naukowcy jak i praktycy wypowiedzieli swe sądy, przedstawiając własne spostrzeżenia i dzieląc się swymi doświadczeniami, wytyczając skuteczne środki i drogi postępowania.

Konferencja wykazała, że dysponujemy doborowym zespołem naukowców i praktyków o najwyższych kwalifikacjach, którzy przez wzajemne uzupełnianie się potrafią rozwiązać najbardziej skomplikowane problemy z zakresu ochrony pracy.

Zadania, które postawiła sobie konferencja, tj. dokonanie przeglądu najważniejszych problemów ochrony pracy w hutnictwie oraz wciągnięcia do ich rozwiązania wszystkich zainteresowanych placówek naukowych, biur projektowych oraz samego personelu inżynieryjno-technicznego kształtującego i odpowiedzialnego za warunki pracy zostało w zupełności osiągnięte.

Wiele wniosków uchwalonych przez uczestników konferencji, po szczegółowym opracowaniu z ustaleniem terminów i osób odpowiedzialnych za ich realizację, przyczyni się niewątpliwie do usunięcia braków i niedociągnięć w zakresie ochrony pracy w hutnictwie, a tym samym do istotnej poprawy stanu bezpieczeństwa i higieny pracy. Obradom przewodniczył dyrektor Centralnego Instytutu Ochrony Pracy inż. L. Taniewski.

Podczas konferencji otwarta była wystawa wzorów sprzętu ochrony osobistej i odzieży specjalnej stosowanej w hutnictwie. Stoisko PWT obrazowało dorobek tego wydawnictwa z dziedziny bezpieczeństwa i higieny pracy w hutnictwie.

B. Wojtasz

# Wydawnictwo Górniczo-Hutnicze

- ANDREJEW L. i PIEKUTOWSKI Z.: **Oczyszczalnia gazu wielkopieczowego i jej obsługa** 1953, s. 108, zł 7,—.
- ANDREJEW L. i SOBCZYK Z.: **Obsługa przepychowych pieców walcowniczych** 1953, s. 100, zł 6,70.
- BOŁCHOWITINOW N. F.: **Metaloznawstwo i obróbka cieplna**. Tłum. z ros. C. Niewiadomski 1953, s. 310, zł 29,—.
- CHODKOWSKI S.: **Metallurgia żelaza w zarysie** 1953, s. 359, zł 35,50.
- CIAS W.: **Jakość stali obrabianej cieplnie** 1953, s. 76, zł 5,—.
- DURRER R.: **Przeróbka hutnicza rud żelaza opró przerwóbki w wielkim piecu na koksie**. Tłum. z niem. M. Grabania i F. Zieliński 1953 s. 14, zł 10,50.
- MAZANEK T.: **Murowanie i naprawa pieców martenowskich** 1953, s. 95, zł 7,—.
- STANKIEWICZ M.: **Wytapianie stali w elektrycznych piecach łukowych** 1953, s. 103, zł 7,—.

## Nowości wydawnicze

- BIELAJEW A. J.: **Metallurgia lekkich metali**. Tłum. z ros. Ryży W. 1954, s. 312, zł 31,—.
- CEJDLER A. A.: **Metallurgia miedzi i nikiu**. Tłum. z ros. Niewiadomski C. 1954, s. 291, zł 29,—.
- GIERDZIEJEWSKI K.: **Zarys dziejów odlewnictwa polskiego** 1954, s. 276, zł 25,50.
- GRYKSZTAS W.: **Hutnicy Kraju Rad** 1954, s. 103, zł 6,—.
- MAZANEK E.: **Bezpieczeństwo pracy przy wielkich piecach** 1954, s. 87, zł 4,—.
- MAZANEK E.: **Metallurgia surówki**. Tom I. **Konstrukcja wielkiego pieca i urządzenia pomocnicze** 1954, s. 318, zł 33,—.
- PAWŁOWSKI S. i SZYMBORSKI W.: **Ceramiczne tworzywa izolacji cieplnej** 1954, s. 204, zł 16,—.
- Piece grzewcze walcownicze i kuźnicze**. Tom 1. **Praca zbiorowa pod red. Wusatowskiego Z.** 1954, s. 262, zł 28,50.
- RYSZKA E.: **Mierzenie temperatur w urządzeniach hutniczych**, 1954, s. 92, zł 6,20.
- RADWAN M.: **Wielkopieczownictwo w Zagłębiu Śląskim w połowie XIX wieku** 1954, s. 84, zł 9,—.
- SAŁUKWADZE W. S.: **Automatyczne spawanie punktowe zbiorników i przewodów rurowych**. Tłum. Potok M. 1954, s. 118, zł 9,—.

# Państwowe Wydawnictwa Techniczne

- BIEKAREWICZ A. M., MIESZCZERIAKOW J. S.: **Technika bezpieczeństwa i higiena przemysłowa w odlewniach żeliwa**. Tłum. z ros. J. Holtorp. Biblioteka Ochrony Pracy. Warszawa PWT. S. 167, zł 12,—.
- BŁAŻEWSKI S.: **Wytrzymałość materiałów**. Wyd. 2 Warszawa PWT. S. 304, zł 20,— (w oprawie)
- JEWTIUCHOW K. S.: **Technika bezpieczeństwa transportu wewnątrzzakładowego**. Tłum. z ros. W. Czarnocka i J. Dobrzański. Warszawa PWT. S. 181, zł 13,—.
- JÓZEFIK A., KACZMAREK J.: **Wysokowydajne frezowanie metali**. Warszawa PWT. S. 44, zł 2,—.
- JÓZEFIK A., KACZMAREK J.: **Wysokowydajne toczenie metali**. Warszawa PWT. S. 98, zł 4,—.
- KAHL T.: **Obliczenia mechaniczne elektroenergetycznych linii napowietrznych**. Warszawa PWT. S. 267, zł 12,—. Zatwierdzono do użytku szkolnego przez CUSZ.
- KUŁAKOWA G. N.: **Nalutowywanie płytek z węglików spiekanych na narzędzia skrawające**. Tłum. z ros. R. Kolman. Warszawa PWT. S. 54, zł 3,—.
- ŁOBACZENKO N., GULAJEW M., ZUDIN B.: **Zdmuchiwanie powierzchni ogrzewalnych kotłów**. Tłum. z ros. K. Smolaga i H. Weberman. Warszawa PWT. S. 141, zł 10,30.
- MEDICUS L.: **Ćwiczenia z analizy technicznej**. Tłum. i uzup. z niem. G. Szabo. Warszawa PWT. S. 23, zł 9,—. Zatwierdzono do użytku szkolnego przez CUSZ.
- MOSZYŃSKI W.: **Wykład elementów maszyn. Część III. — Napędy**. Wyd. 3 uzupełnione i poprawione Warszawa PWT. S. 212, zł 24,—.
- PAWLIKOWSKI J.: **Struganie**. Seria „Będę fachowcem”. Warszawa PWT. S. 42, zł 2,40.
- PEŁCZEWSKI W.: **Wzmacniacze elektromaszynowe**. Warszawa PWT. S. 156, zł 11,—.
- PILARCZYK J.: **Kurs spawania elektrycznego w punktach i odpowiedziach**. Wyd. 4. Warszawa PWT. S. 91, zł 2,50.
- SZCZUREK M.: **Poradnik radioamatora. Wiadomości ogólne i części radiowe**. Warszawa PWT. S. 46, zł 28,— (w oprawie)
- ŻUKOWSKI S.: **Sprężyny**. Warszawa PWT. S. 20, zł 18,80.

Do nabycia w księgarniach technicznych Domu Książki i u kolporterów zakładowych