

PRZEGLĄD TECHNICZNY

TYGODNIK POŚWIĘCONY SPRAWOM TECHNIKI I PRZEMYSŁU.

ZESZYT POŚWIĘCONY LEKKIM STOPOM

Treść patrz na stronie ostatniej zeszytu.

Sommaire v. dernière page du numéro.

Od Redakcji.

Znamienną cechą nowoczesnych konstrukcyj metalowych jest coraz dalszy postęp w osiągnięciu ich lekkości, zarówno przez wprowadzanie tworzyw o coraz wyższych własnościach wytrzymałościowych, jak i przez coraz szersze zastosowanie wysokowartościowych tworzyw lekkich. Stopom lekkim, postępowi ich wytwarzania i uszlachetniania, umiejętności ich obróbki i zastosowania zawdzięczamy niezwykle rozwój lotnictwa i budowy samochodów. Ale i w kolejnictwie, i w budowie okrętów, i w elektrotechnice, i w przemyśle chemicznym stają się stopy lekkie czynnikiem poważnych udoskonaleń, wnosząc ze sobą cenne swe cechy: lekkość, dużą odporność na korozję, dużą przewodność cieplną i t. d. Co więcej, — stopy lekkie mogą się stać tworzywem zastępczym dla potrzeb obrony kraju, w razie braku materiałów innych.

Oto doniosłe przyczyny, dla których powinniśmy tym stopom poświęcać możliwie dużo uwagi, dla których rozpoczynający się właśnie V-ty Zjazd Inżynierów Mechaników organizuje Wystawę Lekkich Konstrukcyj Metalowych oraz cykl referatów specjalnych.

Referaty te zamieszczamy w zeszycie niniejszym, uzupełniając je paroma dodatkowymi pracami, dla bardziej wyczerpującego oświetlenia zagadnienia lekkich stopów i zwrócenia uwagi na to, że Polska, niestety, jest wciąż jeszcze pozbawiona wytwórni aluminium i większego przemysłu lekkostopowego, którego znaczenie nie może być niedoceniane.

O konieczności stworzenia przemysłu aluminiowego w Polsce^{*)}.

Napisał Dr. Inż. Wł. Łoskiewicz, Profesor Akademii Górniczej w Krakowie.

Z pomiędzy metali używanych do konstrukcji przez współczesną technikę, coraz bardziej wybija się na czoło aluminium, a raczej jego stopy. Zastosowania tego metalu wzrastają z dnia na dzień, i niema obecnie prawie takiej dziedziny, gdziebyśmy nie spotkali aluminium, czy to jako tworzywa zasadniczego, czy to jako pomocniczego.

Zawdzięcza się to jego doskonałej odporności na rdzewienie, w warunkach zwykłych, oraz jego lekkości, a jednocześnie wysokim własnościom mechanicznym, dobrej przewodności elektrycznej i cieplnej.

Powyższe zalety skłaniają zagranicznych konstruktorów do stosowania aluminium (dalej będę mówił ogólnie aluminium, rozumiejąc pod tą nazwą również jego stopy) do coraz innych celów. O ile konstrukcja jest pomyślana racjonalnie i dostosowana do właściwości aluminium, to dodatni wynik jest prawie zapewniony.

Nasz przemysł konstrukcyjny stosuje aluminium narazie tylko w bardzo nielicznych wypadkach. Z jednej strony, niedostateczna znajomość tego tworzywa zarówno przez wytwórców, jak i odbiorców, którzy nie doceniają korzyści, jakie im dadzą te konstrukcje aluminiowe, z drugiej ru-

tyna i przyzwyczajenie stosowania innych metali utrudniają wprowadzenie tych stopów w kraju, pomimo że zalety ich są już uznane.

Trzecim czynnikiem, wpływającym w tym wypadku ujemnie, jest brak większych odlewni i walcowni tych lekkich stopów, któreby dawały wyroby, odpowiadające całkowicie jakością wyrobom zagranicznym.

Niezupełnie czasem zadawalające wyniki odlewni naszych są zrozumiałe, gdy się uzgłędni, że przy stosunkowo nowej produkcji i małym zapotrzebowaniu nie posiadają one dostatecznie wykwalifikowanych pracowników, jakich wymaga ta specjalna gałąź odlewnictwa.

Jakaż przyczyna tego małego rozwoju zastosowań aluminium w kraju? Według mego zdania, główną przyczynę należy upatrywać w braku własnego wytwórcy aluminium, który — będąc zainteresowanym w zbyciu tego tworzywa — przeprowadzałby odpowiednią propagandę jego zastosowań, udzielał rad i wskazówek i t. p., tak jak to ma miejsce zagranicą, gdzie wytwórcy mają wspólne takie instytucje propagandowe. Ten koncern zagraniczny nie jest bezpośrednio zainteresowany w rozwoju przemysłu przetwórczego lekkostopowego w Polsce, gdyż wygodniej mu przerabiać surowe aluminium we własnych (lub związanych z nim) przetwórciach i dostarczać gotowych wyrobów lub półfabrykatów.

*) Referat, wygłoszony na IV Zjeździe Inżynierów Mechaników (1930 r.).

Z tych względów liczyć na uruchomienie takiej wytwórni u nas przez koncern zagraniczny nie należy.

Więc może zadowolić się stanem rzeczy, jaki istnieje?

Takie rozwiązanie sprawy jest dla nas niedopuszczalne, gdyż — jak to zaznaczyłem w moim artykule „O zagadnieniu metali zastępczych“ *) — aluminium jest jedynym metalem, który może w znacznym stopniu odegrać rolę tworzywa zastępczego w bardzo licznych wypadkach.

Będąc otoczeni prawie naokoło przez kraje conajmniej nieżyczliwe dla nas, nie możemy w razie wojny liczyć na uzyskanie tego metalu w ilościach wystarczających do obrony granic, a więc możemy być pozbawieni tego metalu zastępczego. Pozatem zastosowania aluminium w obecnych wojskach technicznych już są dość liczne, a zastosowania te wzrosną bardzo szybko, gdy się uwzględni, że jednym z czynników powodzenia jest możliwość szybkiego przerzucania znacznych mas. O ileż łatwiejszym i skuteczniejszym będzie to przerzucenie, gdy zamiast dźwigać kilkanaście kilogramów ryszunka bojowego, żołnierze będą obciążeni znacznie mniejszym ciężarem, np. dzięki zastąpieniu żelaznych, mosiężnych i miedzianych części ryszunka przez aluminiowe. Każda z tych części, jak guziki, sprzączki, menażki i t. d., waży stosunkowo mało, ale obciążenie niemi wszystkimi stanowi już kilka kilogramów, i zmniejszenie tego ciężaru, chociażby niewielkie, zmniejszy ogromnie zmęczenie jednostki. To samo da się powiedzieć i o innych rodzajach broni, gdzie dzięki zmniejszeniu obciążenia można będzie zwiększyć szybkość poruszania się (np. artylerji, taborów, szpitali i t. p.), lub zwiększyć obciążenie użyteczne. Pod tym względem należałoby bardzo szczegółowo przejrzeć konstrukcje obecne i zastanowić się nad możliwością zastąpienia ich przez konstrukcje lekkie.

To, o czym marzył Napoleon III, popierając prace St. Claire Deville'a nad stworzeniem przemysłu aluminiowego, staje się, po blisko 100 latach, nadzwyczaj aktualnym.

Dotychczasowy więc pogląd, że głównym materiałem wojennym jest żelazo, należy poddać wnikliwej rewizji, gdyż wchodząc obecnie w erę lekkich metali nie można opierać się zdobyciom nowoczesnej techniki, bowiem tylko wojska wyposażone technicznie według najnowszych wymagań mogą mieć szanse powodzenia przy współczesnej wojnie technicznej.

Istnieje pogląd, że przez stworzenie zapasów tego metalu w kraju można będzie z nich czerpać w razie zamknięcia dowozu. Według mego zdania, stworzenie tych zapasów jest zupełnie niemożliwe do zrealizowania, ponieważ obliczenia takich zapasów są absolutnie nieściśle z powodu wchodzących w nie dwóch niewiadomych: terminu zapotrzebowania i rozchodu na jednostkę czasu.

Pozatem ustalenie typu magazynowanego stopu lub materiału surowego jest narazie niemożliwe: stopy te znajdują się w stanie ciągłego ulepszania, i stop uznany dziś za najodpowiedniejszy

może się okazać zupełnie nieodpowiednim jutro. Magazynowanie zaś surowego aluminium przy prawie całkowicie nieistniejącym przemyśle przetwórczym lekkostopowym nie da żadnych korzyści, gdyż nie będzie warsztatu, któryby mógł ten metal przerobić na stop użytkowy.

Opierając się na powyższym, dochodzimy do wniosku, że bez natychmiastowego stworzenia krajowego przemysłu aluminiowego, nasza gotowość bojowa będzie zupełnie niewystarczająca.

Konieczność natychmiastowego przystąpienia do stworzenia tego przemysłu wypływa z przyczyn następujących. Zarówno wytwórczość aluminium, jak i jego przeróbka, wymagają specjalistów, których narazie prawie nie posiadamy i których musimy wykształcić. To wyszkolenie personelu oraz przewyciężenie „chorób dzieciennych“ każdej nowej wytwórczości, wymagają dłuższego lub krótszego czasu. Dla zabezpieczenia więc produkcji tego metalu i możliwości rozszerzenia tej produkcji w razie konieczności, należy stworzyć kadry pracownicze.

Pozatem sam okres budowy i organizacji wytwórczości aluminium wymaga znacznego czasu. Każdy więc stracony dzień odsuwa termin naszej gotowości bojowej.

Przy omawianiu problemu aluminium, bardzo często spotyka się opinię, że stworzenie tego przemysłu w kraju, nie posiadającym własnych odpowiednich rud, jest niemożliwe. Pomimo że zostało to już wyświetlone w artykule moim z r. 1926 „Czy stworzenie przemysłu glinowego w Polsce jest możliwe“ i w artykule D-ra Inż. L. Wasilewskiego w r. 1929 („Problem glinowy w Polsce“), pozwalam sobie podkreślić następujące:

1) Posiadane w kraju rudy aluminiowe (gliny) mogą być przerobione na tlenek glinowy i dalej na Al, jak to wykazały prace Instytutu Chemicznego. Jednakże wobec tego, że krajowe gliny są znacznie biedniejsze w Al od boksytów zagranicznych, więc w normalnych warunkach przeróbka ich nie będzie się opłacać. Atoli, w razie zamknięcia dowozu boksytów, wytwarzanie aluminium nie ulegnie przerwie, o ile wybudowane zakłady będą posiadały odpowiednie urządzenia do przeróbki także surowca krajowego. Dla zabezpieczenia tej ciągłości pracy, część produkcji aluminium powinna być oparta i na krajowych rudach.

2) Jeżeli się uwzględni, że nasz przemysł żelazny (a również cynkowy i ołowiany) opiera swoją produkcję w znacznym stopniu na rudach zagranicznych, a tylko częściowo na krajowych (biedniejszych), to niema chyba powodów, dla których trzebaby było wymagać, aby przemysł aluminiowy opierał się wyłącznie na krajowych rudach. Przecież cena Al jest stosunkowo znacznie wyższa (na jednostkę wagi, ale nie objętości) od ceny wymienionych metali.

3) Głównym surowcem, koniecznym do wytwarzania aluminium, jest węgiel (potrzeba go około 4 razy więcej niż rudy), a krajowa produkcja węgla jest wystarczająca do pokrycia tego zapotrzebowania.

Poza tą bezpośrednią koniecznością, jaką jest

*) Przegł. Techn. t. 67 (1929) str. 453—459.

gotowość bojowa armji, są jeszcze i pośrednie przyczyny, nakazujące stworzenie tego przemysłu. Mianowicie, przemysł wytwarzający amunicję i uzbrojenie, środki komunikacyjne, siłownie elektryczne i t. d., których wydajność w czasie wojny nie tylko nie może się obniżyć, ale powinna nawet wzrosnąć, będą wymagały, aby im wojsko dostarczyło tych metali, które są potrzebne do ich biegu, wzamian za te metale, które wojsko będzie musiało im zarekwirować do bezpośredniego użytkowania (przedewszystkiem idzie o miedź i jej stopy). I w tym wypadku trzeba będzie dostarczyć znacznych ilości aluminium, które znów jest takim metalem zastępczym.

Jak widać z powyższego, obrona kraju nakazuje bezpośrednie stworzenie tego przemysłu.

Czy względy gospodarcze będą wskazywać też w tym kierunku?

Jak już zazaczyłem na początku, nasz przemysł lekkostopowy znajduje się prawie w powijkach i będzie się mógł rozwinąć tylko wtedy, gdy zapotrzebowanie aluminium wzrośnie. Jednym z głównych konsumentów będzie narazie wojsko, ale prawdopodobnie w niedługim czasie i inne sfery gospodarczo-przemysłowe zainteresują się tym metalem, jak np. przemysł spożywczo-przetwórczy, galanterijny i t. d., które narazie stronią od tego metalu, nie posiadając go na miejscu.

To, że kraj nasz jest bardzo daleki od nasycenia aluminium, świadczy najlepiej podana dalej tabela, zapożyczona z wymienionej wyżej pracy D-ra Inż. Ł. Wasilewskiego.

Jeśli się uwzględni przytem, że kraje oznaczone *) nie posiadają własnych rud, zdalnych do przeróbki, to uzyskamy jeszcze jeden dowód, że

T a b e l a

K r a j	Produkcja w kg na 1 mieszkańca	Zużycie w kg na 1 mieszk.	W stosunku do Polski więcej razy
Norwegia *) . . .	7,781	1,809	190
Szwajcaria *) . . .	5,105	1,276	134
St. Zjedn.	0,641	0,899	95
Francja	0,512	0,537	57
Kanada *)	1,922	0,534	56
Niemcy *)	0,467	0,357	38
Anglia *)	0,162	0,324	34
Polska	—	0,0095	—

istnienie przemysłu aluminiowego nie jest związane z położeniem kopalń boksytów.

Będąc optymistycznie nastrojony co do dalszego rozwoju przemysłu aluminiowego, muszę jednak zaznaczyć, że na początku przemysł ten prawdopodobnie będzie pracował deficytowo. Z tego względu wątpię, czy kapitały prywatne zechcą zainwestować te znaczne środki, jakie są konieczne do stworzenia tego działu przemysłowego. Zatem wobec konieczności państwowej, stworzenie tego przemysłu będzie musiało Państwo wziąć na siebie. Nie będziemy jednak w tym wypadku wyjątkiem, gdyż np. w Niemczech przemysł ten, który został stworzony pod przymusem podczas wojny przez inicjatywę prywatną, przeszedł obecnie całkowicie w ręce rządu.

O metodach produkcji aluminium, ważnych dla Polski^{*)}.

Napisał Dr. Inż. Ł. Wasilewski.

O takich lub innych sposobach produkcji metalicznego aluminium, lub też o możliwościach otrzymania go z odnośnych surowców, decydują własności zarówno samego metalu, jak też i jego związków. Ważnymi tutaj są dane termochemiczne aluminium w stosunku do tlenu i innych pierwiastków, napięcie rozkładcze odpowiednich związków w stanie stopionym, lub w roztworach wodnych i niewodnych i niektóre inne. Opierając się na tych własnościach, wypróbowano dla otrzymywania aluminium wielu dróg, stosowanych zazwyczaj przy innych przeróbkach hutniczych.

Hutnicze metody produkcji metali wogóle z punktu widzenia chemicznego nie są zbyt skomplikowane, ani zbyt liczne. Wszystkie one były też wypróbowane, jeśli chodzi o produkcję aluminium.

Dzisiaj ostatecznym sposobem fabrykacji jest tylko jedna droga, mianowicie termoelektroliza związków aluminiowych. Pomimo to jednak nie można być pewnym czy, po uzyskaniu bliżej w tej chwili jeszcze nieznanymi środkami pomocni-

czych, nie porzucimy drogi termoelektrolizy i nie przejdziemy do bardziej ekonomicznych procesów.

Próbowano metod podstawień i reakcji, próbowano elektrolizy roztworów niewodnych i redukcji, a wreszcie i elektrolizy stopionych roztworów.

Metoda redukcji, i to przedewszystkiem zapomocą węgla, byłaby oczywiście najmilej widziana przez przemysł i technikę.

Ideałem pod względem metalurgicznym i technologicznym byłaby właśnie taka metoda, pozwalająca, na podobieństwo redukcji rud żelaznych, przejść z dowolnego surowca, boksytu czy gliny, w jednym nieprzerwanym procesie do metalicznego aluminium. Niestety jednak taka metoda, zdaje się, będzie jeszcze przez dłuższy okres czasu dla nas niedostępna.

Chodzi o to, że reakcje, które musiałyby zachodzić podczas redukcji tlenku aluminium przy pomocy węgla, związane są z tak wielkimi przemianami cieplnymi i są tak wysoce endotermiczne, że przeprowadzenie ich wymaga niezwykle wysokich temperatur. Wiemy jednak, że przy wyższych temperaturach aluminium jest już bardzo

*) Referat, opracowany na V Zjazd Inż. Mechaników w r. b. w Warszawie.

aktywne i chętnie łączy się czy to z węglem na karbid aluminiowy, czy też z azotem na azotek, jeśli chcielibyśmy zastosować atmosferę azotową.

Liczne prace, prowadzone w tym właśnie kierunku, pomogły do wykrycia bardzo cennych i licznych stopów metali z aluminium, oraz do utworzenia nowych związków, ale do otrzymania czystego aluminium nie doprowadziły.

Metoda podstawienia okazała się w praktyce bardziej realną i zanoszącą tej właśnie metody wywierania aluminium z jego związków przez metale bardziej elektropojemne, mniej szlachetne, jak sód lub potas, udało się po raz pierwszy Oerstedt'owi, czy też Wöhlerowi, ujrzeć w latach 1826 — 7 metaliczne aluminium.

Ze względu właśnie na możliwość produkcji aluminium tą drogą, przez dłuższy czas był skierowany wysiłek technologów ku potanieniu produkcji metalicznego sodu. Nie wpłynęły wprawdzie te prace na rozwój przemysłu aluminiowego, gdyż była to droga zbyt kosztowna, ale zato bardzo posunęły naprzód termoelektrolizę zarówno alkaliów, jak i wogóle stopionych soli.

Metoda reakcyjna, na podobieństwo pomysłów, jakie dały się zastosować przy ołowiu, lub przy miedzi, zupełnie zawodziła i nad tą drogą najmniej stosunkowo się zastanawiano.

Wobec bardzo wysokiego potencjału rozkładczego, próby elektrolizy wodnych roztworów soli aluminiowych nie dały i nie mogły dać wyników pozytywnych. Zwrócono się tedy do elektrolizy stopionych soli aluminiowych. Nad tą drogą pracowano bardzo długo, wreszcie udało się najpierw Bunsenowi, a w kilkadziesiąt lat później ze względnie niezłym wynikiem. Pomysły niej Heroult'owi i Hall'owi przeprowadzić elektrolizę stopionej mieszaniny związków aluminiowych dwóch technologów z lat 90-tych ubiegłego stulecia służą jeszcze do dzisiaj bez szczególnie wielkich zmian jako podstawy produkcji aluminium. Dzisiaj zatem, jak i 40 lat temu, obowiązującą ostateczną formą produkcji aluminium jest elektroliza stopionych fluorków aluminiowych — sodowego i wapniowego, — w których rozpuszczano tlenek aluminiowy, właściwy elektrolit ulegający rozkładowi.

Elektrolizę prowadzi się w temperaturze około 900°C, w wielkich wannach z węgla elektrodowego, które to wanny są równocześnie w tym procesie katodami, przy 6 do 8 woltach napięcia i przy 90%-wej wydajności prądowej. Jako anody, służą wielkie bloki węglowe — zawieszane nad wannami i tkwiące w elektrolicie, uzupełnianym w sposób ciągły tlenkiem aluminiowym.

Charakter metody termoelektrycznej, jak też i konieczność uzyskania od razu hutniczego aluminium w możliwie czystej postaci, zmusza do zastosowania przy elektrolizie bardzo czystych materiałów wyjściowych. Ta konieczność dostarczania hutom aluminiowym bardzo, niemal chemicznie czystego tlenku aluminiowego, jako surowca do elektrolizy, spowodowała konieczność opracowania odpowiednich, zresztą dość skomplikowanych, metod technologicznych przeróbki kruszców alu-

minowych na tlenek aluminiowy, samo zaś oczyszczanie kruszców musi wobec tego stanowić już drugi, zupełnie oddzielny, przemysł czysto chemiczny.

Charakter tego przemysłu wymaga, ażeby rozwijał się on w związku z całym wielkim przemysłem chemicznym, a zatem tam, gdzie ma się do dyspozycji, na miejscu, tani węgiel i sodę.

Dlatego też obserwujemy takie zjawisko, że tlenkownie powstają i znakomicie się rozwijają w Niemczech, Stanach Zjednoczonych i Anglii. Tam bowiem i przemysł chemiczny stoi wysoko i węgiel jest poddostatkiem. Fabryki tlenku aluminiowego słabiej już prosperują we Francji, Włoszech, czy też w Austrii, pomimo że mają bardzo korzystne inne warunki istnienia, jak obecność dobrych kruszców aluminium i t. p. Natomiast tlenkownie zupełnie się nie rozwijają w Szwajcarii lub Norwegii, gdzie są tylko ośrodki energetyczne, ale przemysł chemiczny jest stosunkowo bardzo słaby i węgla niema zupełnie.

Huty zaś aluminiowe, pracujące metodami elektrometalurgicznymi, powinny być związane z ośrodkami energetycznymi, niezależnie od tego, czy te ośrodki znajdują się w okręgach przemysłu chemicznego, czy też istnieją zupełnie oddzielnie. Dlatego też w Norwegii i Szwajcarii powstają tylko huty aluminiowe i dalszy przemysł przetwórczy. Ośrodki energetyczne nie są w okręgach przemysłu chemicznego. Natomiast w Anglii i Niemczech powstają obok tlenkowni również i huty, jednak nie w takiej ilości, ażeby mogły przerobić całkowitą produkcję krajową tlenku aluminium, którego nadmiar zostaje wysyłany do przerobienia do Szwajcarii, czy też do Norwegii.

W kierunku uproszczenia oraz rozpowszechnienia sposobów otrzymywania bardzo czystego tlenku aluminiowego istnieje wielkie mnóstwo pomysłów i metod pracy. Ważnym względem jest tutaj wybór surowca, jakkolwiek, według dzisiejszych danych, można zasadniczo dojść do aluminium nieomal z każdego surowca. Pod tym względem niema dzisiaj tajemnic i nie napotykamy na żadne przeszkody techniczne. Zarówno z glin i kaolinów, jak też i z innych surowców, możemy przejść w sposób techniczny i niezbyt nawet skomplikowany do tlenku aluminiowego.

Jeżeli chodziłoby o nagłe potrzeby, np. w polskich warunkach, wyłącznie z krajowych materiałów w obecnej chwili, to możemy dojść do tlenku aluminiowego z glin przez działanie siarczanem amonowym.

Zasadnicze przeszkody w stosowaniu gorszych surowców są natury jedynie finansowej i gospodarczej.

Duże zainteresowanie metalem omawianym skłoniło do poszukiwań odpowiednich surowców na całym globie. Znalaziono wprost niewyczerpalne złoża boksytów i laterytów, i to w bardzo dobrych gatunkach, we wszystkich częściach świata.

Cena boksytu jest dziś tak niska, że o konkurencji glin zawierających 30 do 40% Al_2O_3 , czy innych gorszych surowców, wobec boksytów, zawierających 60 do 70% Al_2O_3 , nie może być mowy.

Z pośród licznych związków aluminium dają się wyodrębnić cztery główne typy, które mogą być brane w rachubę, jako materiały wyjściowe do produkcji metalu, względnie tlenku. A więc:

- 1) tlenki i wodorotlenki aluminiowe — stanowią jedną kategorię;
- 2) glinokrzemiany alkaliczne i ziem alkalicznych — drugą;
- 3) glinokrzemian uwodniony, jakim jest glina, — trzecią i wreszcie
- 4) fluorki aluminiowe lub aluminiowo-sodowe — czwartą.

Do pierwszej kategorii należą najbardziej uniwersalne surowce, jak boksyty i lateryty.

Do drugiej należą surowce, posiadające lokalne znaczenie, jak leucyt we Włoszech lub anortyt w Norwegji.

Kategorię trzecią najodpowiedniej można określić, jako surowce przyszłości. I wreszcie kategorię czwartą stanowi dzisiaj surowiec pomocniczy do produkcji aluminium, który jednak coraz bardziej tracić będzie na znaczeniu.

Boksyt jest to zasadniczo monohydrat aluminiowo-żelazowy, występujący zazwyczaj w mieszaninie z SiO_2 , TiO_2 i innymi składnikami. Teoretycznie maksymalna zawartość Al_2O_3 może dochodzić do 85%. W rzeczywistości jednak można otrzymać na rynku boksyty o zawartości od 60 do 70% Al_2O_3 .

Lateryty stanowią zasadniczo trójhydrat tlenku aluminiowego, który teoretycznie może posiadać nawet 65% Al_2O_3 . W handlu spotyka się odmiany o zawartości od 55% do 60% Al_2O_3 .

Z krajów europejskich, Francja jest szczególnie wyposażona w boksyt. Najstarsze i największe pokłady znaleziono w południowej jej części w Savoy'ach, na wschodnich zboczach Alp, w całym szeregu departamentów. Jednak Francja już od dłuższego czasu utraciła monopol na ten kruszec. Wielkie pokłady stwierdzono i w innych częściach Europy. Dla nas przedewszystkiem są ciekawe bardzo bogate złoża boksytów, występujące w Rumunji niedaleko granicy polskiej, oraz węgierskie, również obfite i dobre. Poza tem wydobywa się boksyt w Jugosławji, we Włoszech i stwierdzono spore ich złoża w Rosji.

Dane statystyczne co do produkcji, ewentualnie eksportu i importu boksytów przez różne państwa, podają następujące zestawienia.

Tabela I.

Udział państw w światowej produkcji boksytu w 1927 i 1928 r.

Państwo	1927 r.		1928 r.	
	produkcja t	% prod. świat.	produkcja t	% prod. świat.
Francja	530 000	31,2	630 000	34,6
Węgry	240 000	14,1	250 000	13,7
Jugosławja	130 000	7,6	100 000	5,5
Włochy	100 000	5,9	90 000	4,9
U. S. A.	329 000	19,4	320 000	17,6
Brytyjska Guayana	160 000	9,4	150 000	8,3
Holenderska „	170 000	10,0	180 000	10,0
Inne państwa	40 000	2,4	100 000	5,4
	1 699 000	100,0	1 820 000	100,0

Tabela II.

Światowa produkcja boksytu.

w roku	1900	1913	1918	1922	1923	1925	1927	1028
	88 000	536 000	962 000	688 000	1 179 000	1 311 000	1 643 000	1 820 000
	tonn	„	„	„	„	„	„	„

Tablica III.

Produkcja boksytu w ważniejszych państwach (w tysiącach t).

Państwo	1916	1919	1920	1923	1927	1928
U. S. A.	432	615	529	553	320	326
Francja	106	145	266	314	630	400
Węgry i Rumunja	—	28	—	12	250	240
Włochy	8	7	13	98	90	?
Guayana Angielska	—	4	31	112	150	171
Jugosławja	—	—	27	50	100	120

Tabela IV.

Udział procentowy poszczególnych państw w imporcie boksytu do Niemiec.

Państwo	1913	1922	1924	1927	1928
Węgry i Rumunja	—	—	—	42,5	38,8
Jugosławja	—	—	—	13,5	8,2
Włochy	—	27,5	47,9	13,0	16,2
Francja	95,0	55,0	44,9	28,4	34,9
Inne	5,0	17,5	7,2	1,6	1,9

Z zestawień powyższych wynika, że wykrywanie coraz większej ilości boksytów potęguje konkurencję różnych towarzystw eksploatacyjnych i zwiększa łatwość zaopatrywania się w ten kruszec przez fabryki oraz usuwa wszelkie obawy co do możliwości braku tego surowca.

W tem miejscu może należałoby rozważyć i wyciągnąć pewne wnioski z rozumnej i przewidującej polityki surowcowej w Niemczech, które przecież zupełnie boksytu nie posiadają, a są największymi producentami aluminium w Europie. Mianowicie, jeśli weźmiemy cyfry, dotyczące niemieckiego przemysłu aluminiowego, które podają ilości wwiezionego boksytu, w stosunku do wytworzonego aluminium, to musimy stwierdzić co następuje.

Jeśli zważymy, że na 1 tonnę aluminium należy przerobić około 4 tonn boksytu, to przypatrując się załączonej tabeli, która podaje ilość wytworzonego aluminium, ilość boksytu, potrzebnego do tej produkcji aluminium, oraz ilość boksytu importowanego, musimy stwierdzić, że do 1921 r. Niemcy, dla utrzymania odpowiedniej produkcji aluminium, importowały tlenek aluminiowy gotowy, widocznym jest bowiem, że nie wwoziły dostatecznej ilości boksytów. Dopiero w 1922 r. widać znaczny nadmiar wwożonego boksytu, gdyż na 12 000 tonn aluminium, wyprodukowanego w tym roku, należałoby zużyć zaledwie około 50 000 tonn boksytu.

Ponieważ z innych źródeł wiadomo, że mniej więcej około 2/3 boksytów idzie do przemysłu aluminiowego, a tylko 1/3 do cementowni i dla przemysłu chemicznego, przeto, gdy na tlenkownie przypadłoby około 50 000 tonn boksytów, to na przemysł chemiczny powinno przypaść około 25 000 tonn, a reszta boksytów została bądź zma-

gazynowana, bądź też w pewnej części przerobiona na Al_2O_3 i przeznaczona na eksport. I to samo zjawisko — produkcji nadmiaru tlenku aluminowego oraz magazynowania znacznych ilości boksytu powtarza się od tej pory, jak widzimy, z roku na rok, aż do 1927 r.

Następne stadium przeróbki polega na rozpuszczeniu aluminianu sodowego w wodzie, na oddzieleniu go przez filtrowanie od wszelkich zanieczyszczeń i wreszcie na wytrąceniu z roztworu i wypaleniu wytrąconego tlenku aluminowego. Metodę tę charakteryzuje dość duże zużycie paliwa,

TABELA V.

Produkcja aluminium surowego, sumaryczny wóz boksytu i boksyt zużyty na produkcję aluminium.
Niemcy.

Rok	Wytworzono tonn aluminium	Ilość boksytu potrzebna do wytworzenia alumin., tonn	Ogólna ilość importu boksytu, tonn	Rok	Wytworzono tonn aluminium	Ilość boksytu potrzebna do wytworzenia alumin., tonn	Ogólna ilość importu boksytu tonn
1913	800	3,200	3,840	1921	10,000	40,000	40,200
1914	800	3,200	—	1922	12,000	48,000	166,600
1915	2,000	8,000	—	1923	13,000	52,000	179,000
1916	8,000	32,000	—	1924	18,400	73,600	118,000
1917	15,000	60,000	—	1925	26,600	106,400	289,000
1918	25,000	100,000	—	1926	29,600	118,400	236,545
1919	15,000	60,000	22,700	1927?	31,250	125,000	540,005
1920	10,000	40,000	13,700	1928	30,000	120,000	432,258
						683,400	2,001,608

Jeżeli teraz zsumujemy odpowiednie rubryki, to zobaczymy, że dla doraźnej produkcji aluminium w swych hutach Niemcy wwoziły 683 400 tonn boksytu. Około połowy tego poszło na tlenek aluminowy eksportowany, to znaczy około 345 000 tonn. Taka sama ilość poszła zapewne do przemysłu chemicznego, czyli razem:

683 400 t
345 000 „
345 000 „
1 373 400 tonn.

a zatem, jeśli ilość przerobionego boksytu odejmiemy od całości importowanego boksytu, to otrzymamy:

2 001 500
1 373 400
około 628 100 tonn,

które w Niemczech zostały zmagazynowane. To odpowiada przeszło 150 000 tonn aluminium metalicznego. A zatem, przyjąwszy najwyższą produkcję aluminium Niemiec na 30 000 t rocznie, dojszemy do wniosku, że Niemcy rozporządzają 5-letnią rezerwą boksytów do utrzymania swej pełnej produkcji.

Przechodząc do technicznej strony produkcji aluminium, muszę omówić przede wszystkim metody, które mogą być brane pod uwagę przy otrzymywaniu tlenku aluminowego z boksytu. Pomijając całe masy pomysłów mniej lub więcej nierealnych, zacznę tutaj od metody najdłuższej będącej w ruchu, mianowicie metody Deville'a.

Metoda Deville'a.

Metoda ta polega na wypalaniu w surowych piecach obrotowych dobrze rozdrobnionego i wysuszonego boksytu, dokładnie wymieszanego z odpowiednią ilością sody i wapna, przyczem tworzy się rozpuszczalny w wodzie aluminian sodowy oraz nierozpuszczalny krzemian wapniowy i tlenek żelazowy.

dochodzące do 20% kosztów własnych produkcji tlenku, oraz spore zużycie sody, dochodzące do 10%. Stosunkowo nieznaczna jest natomiast robocizna i koszt ruchu. Boksyt stanowi tutaj około 20% kosztów własnych, czyli mniej więcej tyle, co opał.

Metoda Bayer'a.

Klasyczna metoda Bayer'a polega na przeprowadzeniu boksytów do roztworu tlenku aluminowego przez działanie stężonego wodorotlenku sodowego w autoklawach pod ciśnieniem. Otrzymany w ten sposób w roztworze aluminian sodowy odsącza się od zanieczyszczeń, poddaje dalej hydrolitycznemu rozkładowi na wodorotlenek aluminowy, który w dalszym ciągu wypala się do tlenku.

Metoda ta, jakkolwiek daje pewne korzyści, to jednak faza roztwarzania boksytów posiada również i ujemne strony. Wprawdzie unika się tutaj, w pierwszym stadium przeróbki, wypalania boksytów do wysokiej temperatury. Tem niemniej jednak musi się nieco boksyty przed autoklawami przepalić, chociażby do nieco niższej temperatury, dla zniszczenia substancji organicznych. Użytkuje się tutaj pewną oszczędność na opale. Jednakże robocizna przy autoklawach jest znacznie większa, aniżeli przy piecach obrotowych. Następnie zamiast tańszej sody musi się stosować znacznie droższy wodorotlenek sodowy, co powoduje większe koszty zużycia materiałów.

Metoda Bayer'a tylko w swej drugiej fazie przedstawia znaczne korzyści. Mianowicie wówczas, gdy chodzi o wydzielenie krystalicznego tlenku aluminowego z roztworu aluminianu sodowego. Klasyczna metoda Deville'a stosowała w tej fazie wytrącanie bezwodnikiem węglowym, co jest kosztowne i niewygodne. Natomiast metoda Bayer'a stosuje tutaj tylko hydrolizę na drodze czy-

sto mechanicznej, przy dokładnym zachowaniu odpowiednich temperatur i stężeń.

Kombinacja zatem tych dwu sposobów postępowania jest najwygodniejszym dzisiaj rozwiązaniem przeróbki boksytów.

Metoda Peniakow'a.

Przed wojną używano metody Peniakow'a, stosującej do rozkładu boksytów sól kuchenną, przy jednoczesnym wykorzystaniu, jako środka pośredniczącego w tym procesie, siarczanu sodowego. Zużywa się zatem tutaj w rezultacie sól kuchenną, boksyt i węgiel, uzyskuje się natomiast tlenek aluminiowy i kwas solny, jako produkt odpadkowy. Ze względu na użycie soli kuchennej, która ze związków sodu jest jednym z najtańszych, byłaby to metoda dość obiecująca, tylko niezmiernie utrudniają proces duże masy chlorowodoru, który nie dałby się zbyć w ilościach, odpowiadających produkcji tlenku aluminiowego. Ta okoliczność zawsze będzie mogła zachwiać kalkulacją. Po wojnie metody tej już nigdzie nie wskrzeszono.

Metoda Haglund'a.

Z metod termicznych, które nadawałyby się do omówienia, byłaby w pierwszym rzędzie metoda Haglund'a. Metoda polega na zastosowaniu do rozkładu boksytów związków siarki, przede wszystkim piryków. Mianowicie w piecu elektrycznym stapiamy mieszaninę składającą się z piryków, boksytów i koksu. Następuje tutaj szereg reakcji, w których wyniku mamy przekształcenia, dające nam żelazo metaliczne stopione na dnie pieca, a nad nim pływający żużel, składający się z siarczku aluminiowego i tlenku aluminiowego. Jeżeli ma się odpowiednie produkty wyjściowe, to i żużel tą drogą uzyskany kalkuluje się stosunkowo nisko.

Dane spotykane w literaturze wspominają, że tlenek aluminiowy uzyskany tą drogą kalkuluje się o kilkanaście procent taniej, aniżeli metodą Bayer'a. Metoda Haglund'a zużywa istotnie mniej paliwa bezpośrednio, dużo jednak idzie prądu elektrycznego i sporo siarki. Wobec tego metoda miałaby znaczenie lokalne, dla okolic posiadających siarkę, jak np. Włochy, gdzie też obecnie próbuje się wyzyskania tej metody fabrycznie.

Metoda Pedersen'a.

Z metod, które dążą do zużytkowania boksytu o większej zawartości tlenku żelaza, należy przytoczyć metodę Pedersen'a.

Co do tej metody nie mam bliższych danych, lecz ze względu na jej charakter należałoby ją dokładniej przestudjować. Polega ona na tem, że w piecach do wytapiania żelaza, elektrycznie ogrzewanych, dodaje się do rudy żelaznej, jako topników, oprócz wapna, także i boksytów. Tlenek żelaza, zawarty w boksycie, redukuje się wraz z rudą, zwiększając produkcję wielkiego pieca o odpowiedni procent żelaza. Krzemionka zaś redukuje się i daje żelazokrzem. Pozostaje żużel, zawierający całkowity tlenek aluminiowy w postaci

aluminianu wapniowego. Żużel po ochłodzeniu i zmieleniu traktuje się gorącym roztworem sody z niewielkim dodatkiem wodorotlenku sodowego dla przyspieszenia procesu. Przytem tworzy się aluminian sodowy oraz węglan wapnia, które się odziera od siebie.

W sąsiedztwie naszej granicy z Rumunją występują bardzo obfite pokłady boksytów, po stronie rumuńskiej. Są tam boksyty i bardzo dobre, zawierające mało krzemionki, są jednak i zawierające krzemionkę. Cena tych boksytów jest, oczywiście, różna.

Metodę Pedersen'a możnaby ewentualnie zastosować do krzemowych boksytów, o ileby się, oczywiście, dały te ceny odpowiednio skalkulować. Podobne zagadnienie istnieje w Rosji. Znalaziono tam dość duże pokłady boksytów, lecz zawierających krzemionkę w ilości około 10%. Dwaj Rosjanie, Kuźniecowa i Żukowski, opracowali metodę podobną do Pedersen'a. Mianowicie w piecu elektrycznym stapiają boksyt z węglem i siarczanem, lub z węglanem barowym. Uzyskuje się przy tem żelazokrzem, obok żelaza, oraz aluminian barowy jako żużel. Żużel teraz rozpuszcza się w wodzie pod ciśnieniem w autoklawach, oddziela od zanieczyszczeń i przy pomocy roztworu węglanu sodowego zamienia się na aluminian sodowy, natomiast wytrąca węglan barowy. Aluminian sodowy idzie do rozkładu hydrolitycznego na tlenek aluminiowy i do następnego wypalania, a węglan barowy wraca do ponownego reagowania z boksytem.

Te metody elektrotermiczne, nie wyłączając metody Haglund'a, zdążają właściwie do tego, ażeby przy boksytach, które zawierają większą ilość krzemionki, zastąpić wypalanie z sodą w piecu obrotowym przez wypalanie z innymi dodatkami w piecu hutniczym elektrycznym. Ma to na celu zredukowanie krzemionki i usunięcie jej z żużla w postaci żelazokrzemu. Dalsza jednak przeróbka żużla polega na utworzeniu aluminianu sodowego, przyczem postępowanie późniejsze jest już takie same, jak przy metodzie Bayer'a. Ponieważ jednak najtańsze wypalanie elektryczne będzie droższe aniżeli wypalanie bezpośrednie węglem, przeto metody te mogą kalkuluwać się przy specjalnie dogodnych lokalnych warunkach i przy dostatecznie dużej różnicy cen pomiędzy boksytem szlachetnym, zawierającym mało, powiedzmy do 3% krzemionki, a boksytem gorszym, zawierającym znacznie większe ilości zanieczyszczeń.

Z czystego tlenku aluminiowego dalsza droga do aluminium prowadzi przez elektrolizę stopionej mieszaniny tlenku i fluorku aluminiowego z kryolitem, fluorytem i chiolitem. Postępy, jakie tutaj w ciągu ostatnich dziesięciu lat uzyskano, są znaczne. Odnosi się to zarówno do obniżenia kosztów własnych wyprodukowania metalu, jak też i do jego gatunku.

Do niedawna budowano elektrolizery o pojemności 6000 amperów, dziś instaluje się jednostki powyżej 20 000 do 30 000 amperów. Wiadomą jest rzeczą, że im większe stosuje się jednostki produkujące, tem ekonomiczniej można pracować, oczywiście dotąd, dopóki nad temi jednostkami jest się w stanie panować.

Przy takich wielkich jednostkach, zarówno wydajność prądowa, jak też i napięcie na zaciskach, dały się tak korzystnie doregulować, że o ile do niedawna liczone się z jednostkowym rozchodem energii około 30 kWh na 1 kg aluminium, to obecnie już 25 kWh uważa się za rozrzutność. Dzisiaj już nietylko wielkie potęgi produkcyjne, jak Zakłady „Arvida” w Kanadzie, ale nawet niewielkie zakłady, jak „Martini” w Szwajcarii, zdołały obniżyć jednostkowy rozchód energii poniżej 20 kWh na 1 kg aluminium.

W związku ze zmniejszeniem się zużycia jednostkowego energii i cena prądu za 1 kWh odgrywa już znacznie mniejszą rolę.

Według opinii wyroczni w sprawach aluminiowych, mianowicie p. R. Anderson'a, dla stosunków amerykańskich i dzisiejszych cen giełdowych aluminium, można przyjąć cenę 0,25 centa amerykańskiego za 1 kWh, jako zupełnie wystarczającą dla rentowności elektrolizy aluminium.

W Europie są pod tym względem zdania cołwiek podzielone, ale wypływa to więcej ze względów subiektywnych i polityczno-celnych, aniżeli rzeczowych.

Prąd po tej cenie w odpowiednich środowiskach w Polsce bez żadnego trudu uzyskać można. Chodzi bowiem o to, że elektroliza wogóle, a elektroliza tlenku aluminiowego w szczególności, jest stałym, niezawodnym i dużym konsumentem energii elektrycznej.

Nie można jednak twierdzić, że zdobycze te zamykają dalsze możliwości rozwojowe. Przedewszystkiem jeszcze przy obecnej elektrolizie będzie można zejść niżej z rozchodem jednostkowym energii, a teoretycznym kresem byłyby tutaj rozchód około 7 kWh na 1 kg aluminium. Gdy rozejrzemy się w innych możliwościach, to musimy stwierdzić, że w dziedzinie elektrolizy możemy poczynić dalsze, bardzo poważne posunięcia, zmierzające do zmniejszenia kosztów własnych produkcji.

Zestawienie wielkości napięć rozkładczych różnych związków aluminiowych wskazuje, że tlenek aluminiowy nie jest najlepiej dobranym ciałem, mniejsze bowiem napięcie rozkładcze posiadają inne związki, a między nimi przedewszystkiem chlorek aluminiowy.

I dzisiaj istnieje druga koncepcja przeprowadzenia elektrolizy w stopie właśnie chlorku aluminiowego.

Wiele pieniędzy włożyli w to zagadnienie Amerykanie, otrzymali jednak bardzo interesujące wyniki. Cena, mianowicie, chlorku aluminiowego spadła od roku 1915 do roku 1920 z 1,5 dol. na 5 cent. amer. za 1 lb. amer. $AlCl_3$. Osiągnęli ten wynik dzięki zmianie stosowanych dotychczas systemów chlorowania boksytów. Mianowicie, zastosowali oni ogrzewanie retort do chlorowania nie zewnątrz, jak to było w zwyczaju poprzednio, lecz od wewnątrz, przez okresowe wypalania paliwa dodawanego w nadmiarze do ładunku.

Cena 5 cent. amer. za 1 lb. chlorku aluminiowego przy uwzględnieniu pewnej wartości chloru jest już taką ceną, która istotnie pozwala poważnie zastanawiać się nad możliwością zastąpienia

elektrolizy tlenku aluminiowego przez elektrolizę chlorku aluminiowego. Korzyści techniczne tej elektrolizy byłyby znaczne. Przedewszystkiem niższe napięcie rozkładcze, następnie niższa temperatura elektrolizy, mianowicie około 200°C, i wreszcie niezniszczalność teoretyczna elektrod.

Ta elektroliza jednak dotychczas jeszcze nie została w zupełności opanowana, nie usunięto szeregu trudności technicznych, jednakże nie widac przeszkód, któreby usunięcie tych trudności w najbliższym czasie uniemożliwiały.

Dla zilustrowania wypowiedzianych uwag, pragnę jeszcze przedstawić niektóre dane liczbowe, odnoszące się do poruszanego zagadnienia. Chodzi mi w pierwszym rzędzie o kalkulacje tlenku aluminiowego, względnie aluminium, według metody, która w obecnej chwili w naszych warunkach mogłaby być najbardziej odpowiednia.

Nie ulega wątpliwości, że ideałem, do którego należy dążyć, jest to, ażeby całość przemysłu — od surowca do końcowego produktu — była terytorjalnie racjonalnie zgrupowana. W pewnych jednak warunkach należy się liczyć z tem, że takich ideałów jest bardzo niewiele, wobec czego jest się zmuszonym do wzięcia pod uwagę, jaki wzajemny procentowy stosunek wykazują poszczególne pozycje kosztów własnych wytworzenia danego przedmiotu użytkowego.

Procentowe zestawienie kosztów produkcji tlenku z boksytu przedstawiałoby się następująco:

Kalkulacja kosztów własnych tlenku aluminiowego.

1) Boksyt	19 %
2) Opał	12,5 „
3) Soda i wapno	1,9 „
Razem surowce	40,6%
4) Energia	1 %
5) Robocizna	12,9 „
6) Reperacje i uzupełnienia	12,9 „
Razem ruch	26,8%
7) Administracja i t. p.	3,6%
8) Amortyzacja i oprocentowanie	29 „
Razem koszty ogólne	32,6%
	100,0%

Dla stosunków naszych, przynajmniej chwilowo, być może należałoby kalkulację nieznacznie zmienić, w każdym razie nie byłaby to zmiana zasadnicza.

Jeżeli teraz uwzględnimy kalkulację elektrolizy tlenku aluminiowego, to będzie się ona przedstawiała następująco:

1) Tlenek aluminiowy	41,2%
2) Kryolit i chiolit	9,8 „
3) Elektrody i elektrolizery	12,1 „
4) Koks do przetap. aluminium	0,2 „
Razem surowce	63,3%
5) Energia do elektrolizy	20,55 %
6) Napęd silników i oświetlenie	0,08 „
7) Robocizna	5,05 „
8) Podatki i świadc. społ.	2,17 „
9) Naprawy i nieprzew.	2,39 „
Razem ruch	30,24
10) Administracja	1,8 %
11) Amortyzacja kapitału	4,66 „
Razem koszty ogólne	6,46%
	100,0%

Musimy więc stwierdzić, że o ile instalowalibyśmy całkowity przemysł aluminiowy, t. j. począwszy od tlenkowni, w której w kalkulacji kosztów własnych figuruje boksyt cyfrą 19%, aż poprzez hutę do gotowego aluminium, to w kosztach własnych wyprodukowanego aluminium procent boksytu figurowałby całkiem minimalną, gdyż 8-procentową pozycją.

Wysokość kapitałów inwestycyjnych i obrotowych, z jaką tutaj należałoby się liczyć, oczywiście z pewnymi zastrzeżeniami, mogłaby być oceniona w sposób następujący:

Zdolność produkcyjna zakładu, powinna się wahać około 3000 t aluminium rocznie. Dla takiej fabryki musielibyśmy przewidzieć następujące sumy globalne:

Dla tlenkowni:	
1) Aparatura ca.	3 600 000
2) Budynki „	3 500 000
3) Surowce w magazynie i przeróbce ca.	400 000
Razem	7 500 000
Dla huty aluminiowej	
4) Aparatura	5 550 000
5) Budynki	990 000
6) Surowce w magazynie i przeróbce	2 060 000
Razem	8 600 000
Całość kosztowałaby zł. 16 100 000.	

Nie uwzględniono jednakże w tej sumie kosztów terenu, elektrowni, ewentualnych licencji i kosztów projektowania.

Energję potrzebną należałoby przyjąć dla nowocześnie urządzonych i dobrze pracujących instalacji na około 70 000 000 kWgodz. rocznie, t. zn. nieco więcej aniżeli 8000 kW stałego obciążenia.

Termiczna obróbka stopów aluminiowych, ze szczególnem uwzględnieniem stopów odlewniczych^{*)}.

Napisał St. Szczawiński, kand. nauk przyrodniczych.

Skorupa ziemską daje nam pod postacią aluminium w nieograniczonej ilości materiał o bardzo cennych własnościach: lekki, tani, łatwo obrabialny i o dobrej przewodności cieplnej. Do nas zaś należy „wychowanie” tego metalu, nadanie mu — prócz kształtu — optymalnych własności mechanicznych, tak potrzebnych w technice dzisiejszej. Droga ku temu prowadzi przez obróbkę mechaniczną i termiczną tworzywa. Mimo wspólnego celu: polepszenia własności fizycznych i mechanicznych metalu, zachodzi między temi dwoma procesami ta zasadnicza różnica, że pierwszemu z nich towarzyszy zawsze zmiana kształtu przedmiotu, podczas gdy drugi operuje tylko pewnymi zabiegami cieplnymi, nie powodującemi żadnych zmian zewnętrznych części obrabianej.

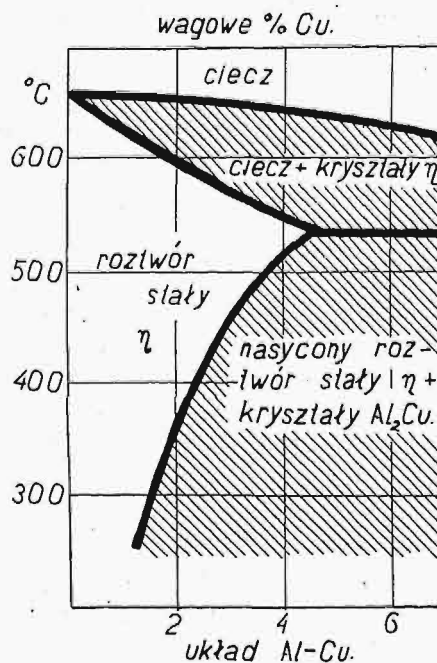
Ogólnie możemy powiedzieć, iż takie zabiegi cieplne mają rację bytu jedynie nad stopami, ulegającymi reakcjom w stanie stałym, jak przemianom allotropowym, rozkładowi i tworzeniu się roztworów stałych oraz związków chemicznych, dla których szybkość chłodzenia może oddziaływać zasadniczo na ostateczny stan układu strukturalnego.

W większości wypadków mamy jednak do czynienia ze zmniejszeniem się granicy rozpuszczalności jednego ze składników w drugim w miarę obniżenia temperatury. Takie właśnie zjawisko zachodzi

- w żelazie w układzie Fe — Fe₃C,
- „ aluminium „ „ Al — Cu (rys. 1)
- „ magnezie „ „ Al — Mg₂Si .

Dla zilustrowania tego procesu podam, iż w układzie Fe—C składnikiem wydzielającym się będzie cementyt, w stopach aluminium z miedzią — CuAl₂; w stopach Al—Mg—Si będzie Mg₂Si.

Stopy te, przy szybkim hartowaniu, dadzą stan podobny do austenitycznego, nie najtwardszy;

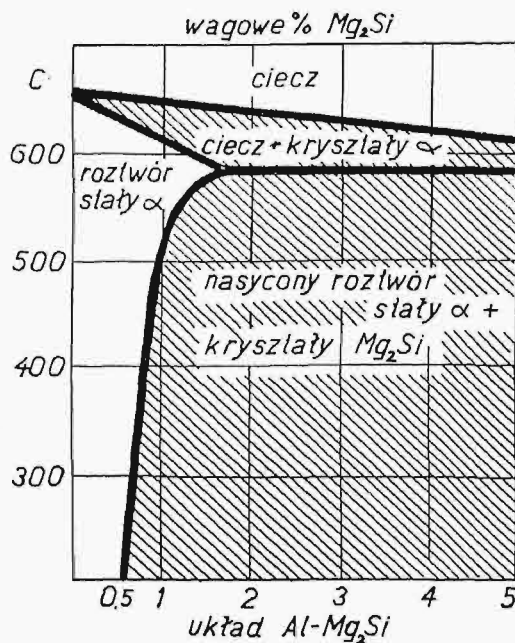


Rys. 1.

dopiero po wolniejszym hartowaniu, albo w wypadku, gdy zostało zastosowane odpuszczanie, otrzymamy stan analogiczny do martenzytu, posiadający największą twardość. Jednak każdy taki proces dyspersji wymaga pewnego czasu, jak

^{*)} Referat opracowany na V Zjazd Inż. Mechaników w r. b. w Warszawie.

pisze prof. Feszczenko-Czopiński, i wystarczającej ruchliwości molekularnej, aby mogły powstać dwie fazy: bardzo drobne kryształki nowej fazy stałej, które warunkują częściowy rozpad siatki przestrzennej kryształu, a tem samem maksymalną



Rys. 2.

twardość. Podobny stan w stalach nosi nazwę „martenzytu”. W duraluminium tego rodzaju proces wydzielania kryształków Mg_2Si nosi nazwę „ulepszania” (starzenia się) i odbywa się przy zwykłych temperaturach w ciągu paru dni, podczas których twardość stopu wzrasta asymptotycznie do pewnego maximum.

Badania procesów samoulepszenia podczas samoczynnego lub sztucznego starzenia się, jak również istoty tych procesów, wykonane zostały w Ameryce (w Bureau of Standards) oraz w Anglii (w National Physical Laboratory).

Jak już wiemy, charakterystyczną cechą termicznie obrabianych stopów aluminiowych jest fakt, że maximum twardości osiągają one nie bezpośrednio po zahartowaniu, lecz twardość stopów samostarzejących się wzrasta w ciągu kilku dni od chwili zahartowania, innych zaś stopów — po odpowiednim odpuszczeniu, lub po kilku, albo kilkunastu miesiącach. Zasadą jest, iż zawsze istnieje średnia wielkość cząsteczek (critical dispersion), które, wydzielając się z roztworu stałego, gwarantują największą twardość, podczas gdy cząsteczki mniejsze (subcritical) lub większe (supercritical) dadzą mniejsze twardości.

Pozwolę sobie za prof. Feszczenko-Czopińskim powtórzyć objaśnienie tego mechanizmu utwardnienia, podane przez amerykańskich metalurgów Z. Jeffries'a i R. Archer'a w ich ostatnich publikacjach w „The Laboratory of Aluminium Company of America”.

Drobne cząsteczki twardego związku chemicznego są rozproszone po całej masie miękkie-

go aluminium, co wytwarza większy stopień spoiwości, gdyż znany jest fakt, iż spoiwość jest większa między składnikami różnorodnymi, niż pomiędzy jednorodnymi. Z drugiej zaś strony, regularność ułożenia atomów powoduje powstanie płaszczyzn słabości, t. j. płaszczyzn mniejszego oporu przeciw odkształceniom trwałym.

Z. Jeffries i R. Archer wypowiadają na tej podstawie wnioski, iż utwardnienie następuje na skutek zwiększenia ilości twardej cząsteczki, zaklinowujących płaszczyzn słabości, a wydzielających się z nietrwałego roztworu stałego, następnie zaś w miarę wzrostu tych najdrobniejszych cząsteczek dopóty, dopóki wszystkie płaszczyzny poślizgu w głównej masie stopu nie zostaną wzmocnione do maximum. Ta granica krytyczna znajduje się w zakresie wielkości atomowych. Na ogół jednak, im większa będzie ilość cząsteczek, tem większy będzie skutek umocnienia.

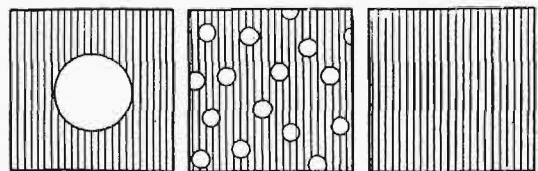
W bardzo efektywny sposób autorzy ci przedstawiają schematycznie mechanizm zaklinowywania płaszczyzn słabości (rys. 3).

Na schemacie środkowym niema ani jednej płaszczyzny poślizgu, któraby nie dotykała się przynajmniej jednej ze stałych cząsteczek, rozrzuconych w ciągliwej masie kulek, działających jak kliny pomiędzy poszczególnymi płaszczyznami poślizgu.

Kliny te działają mechanicznie i, przeciwdziałając wszelkim przesunięciom wzdłuż płaszczyzn poślizgu, dają wzrost doraźnej wytrzymałości na rozciąganie, podniesienie granicy plastyczności oraz znaczne powiększenie twardości.

W naszym szczególnym wypadku stopów aluminium obecność atomów Cu, Mg, Si utwardnia naturalnie tworzący się roztwór stały. Dopóki jednak atomy tych obcych ciał będą rozproszone w roztworze stałym w jakimś stałym rozmieszczeniu, dopóty można będzie łatwiej wybić kliny, utworzone z poszczególnych atomów, niż kliny z kryształków $CuAl_2$ lub Mg_2Si .

Zdaniem Z. Jeffries'a, rozproszenie krytyczne, dające maximum twardości, powinno składać się z najmniejszych możliwych cząsteczek (kryształków),



Rys. 3.

posiadających wyraźny charakter składnika krystalicznego. Dla całkowitego wyjaśnienia procesu starzenia się stopów aluminiowych, przytoczę tu jeszcze teorię W. Rosenhaina, różniącą się nieco od rozumowania poprzedniego.

W. Rosenhain twierdzi, że wypadanie większej ilości jednej lub kilku faz stałych w postaci drobnych kryształków z nietrwałego przesyconego roztworu stałego, otrzymanego po zahartowaniu, utwardnia masę plastyczną rozpuszczalnika,

jednakże zachodzą przytem również zaburzenia jego struktury. Zaburzenia te niszczą z kolei całkowicie lub częściowo mechanizm ślizgania i, mimo że siatka przestrzenna rozpuszczalnika staje się słabszą, gdyż pozostaje w niej mniejsza liczba atomów, to jednak osłabienie to jest mniejsze w porównaniu z utwardniającym działaniem wypadania drobnych kryształków. W ten sposób staje się bardziej zrozumiałym wybitne działanie krytycznej wielkości cząsteczek, powodującej maximum twardości i wzrost wytrzymałości. A właśnie obróbka termiczna stopów aluminiowych, mająca za zadanie polepszenie metalu i osiągnięcie jego optymalnych własności fizycznych, będzie musiała wydobyc krytyczną dyspersję, konieczną do otrzymania wzrostu własności mechanicznych tworzywa.

Tak zaś pomyślaną obróbkę termiczną można podzielić na dwa rodzaje w zależności od gatunku stopu:

- 1) Ulepszanie termiczne stopów samoulepszających się podczas samoczynnego starzenia się polega na:
 - a) ogrzewaniu stopu w temperaturze 510°—525°C, w celu osiągnięcia homogenizacji budowy (solution heat treatment);
 - b) hartowaniu, w celu zachowania roztworu stałego w temperaturze otoczenia w stanie przesyconym, zdolnym do samoczynnej dyspersji.
- 2) Ulepszanie termiczne stopów nie starzejących się szybko samoczynnie polegać będzie również na ogrzewaniu homogenizującym i hartowaniu, jak w wypadku poprzednim, lecz konieczne jest tutaj zastosowanie odpuszczania (precipitation heat treatment) do temperatury, która gwarantuje otrzymanie dyspersji danego stopu o krytycznej wielkości cząsteczek.

Prócz tych dwóch rodzajów ulepszania termicznego, stosujemy jeszcze najprostsz metalurgiczny proces cieplny — żarzenie (annealing) w temperaturach powyżej dolnej granicy strefy rekrytalizacji, mający na celu otrzymanie jednolitej budowy drobnoziarnistej oraz zanik naprężeń wewnętrznych tworzywa.

Zkolei chciałbym pokrótce omówić, jakie rodzaje pieców należy zastosować w tej dziedzinie techniki. Nieodzownym warunkiem pracy tych pieców jest, aby odchylenia temperatury w całej przestrzeni komory ogrzewanej nie przekraczały $\pm 5^\circ$ od temperatury przepisowej, gdyż temperatury homogenizacji leżą w bardzo wąskich strefach między temperaturą rekrytalizacji a plastyczności i dalszej granicy topliwości metalu, a więc większe miejscowe różnice temperatury w piecu mogą przyczynić się do wytworzenia niejednakowych własności mechanicznych w różnych miejscach tworzywa, albo spowodować odkształcenia, spalenie, a nawet całkowite zniszczenie materiału.

Pod względem przenoszenia ciepła od jego źródła do przedmiotów ogrzewanych, możemy podzielić piece używane do obróbki termicznej na dwie grupy: piece konwekcyjne i piece promieniujące.

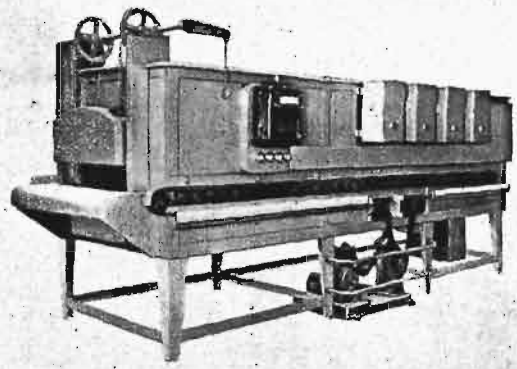
Do pieców konwekcyjnych zaliczamy — jak wiadomo — takie, w których krążenie ciepła od jego źródła do przedmiotów ogrzewanych odbywa się przez pośrednictwo jakiegoś ośrodka, jak powietrze, roztopione sole, oleje, roztopione metale; do pieców promieniujących — takie, w których ciepło przenosi się przez promieniowanie na przedmioty ogrzewane, bez pośrednictwa żadnego ośrodka.

Gdy w piecu promieniującym nagrzewamy jednocześnie wiele drobnych części, szybciej nagrzewają się części położone bliżej płomienia lub uwojeń grzejnych, inne natomiast pozostają jak gdyby w cieniu, wobec czego dochodzi do nich ciepło znacznie wolniej przez przewodnictwo albo konwekcję. W takim więc piecu niemożliwa jest równomierna obróbka termiczna całej masy i otrzymanie w niej jednakowych własności fizycznych tworzywa.

Z tego wynikałoby, iż wogóle nie nadają się tutaj piece promieniujące, opalane bezpośrednio paliwem ciekłym czy gazowym. Już prędzej mogłyby znaleźć zastosowanie piece muflowe, a szczególnie muflowe oporowe, lecz i tu należy pamiętać, iż przy zwykłej konstrukcji powyższego pieca elektrycznego różnice temperatury w różnych częściach muflki przy nagrzaniu jej do 500°C dochodzą do 50°C, co jest bezwzględnie niedopuszczalne.

Niektóre firmy, zastosowawszy jak najracjonalniejsze wymiary muflki oraz równomierne rozmieszczenie na jej obwodzie kilku między sobą niezależnych zwojów drutu oporowego, zmontowanych indywidualnymi sekcjami, doszły do tego, iż mogą gwarantować największe odchylenie temperatury, nie przekraczające $\pm 10^\circ$. Tak skonstruowany piec elektryczny oporowy, firmy M. Ripoche w Paryżu, widoczny jest na rys. 4.

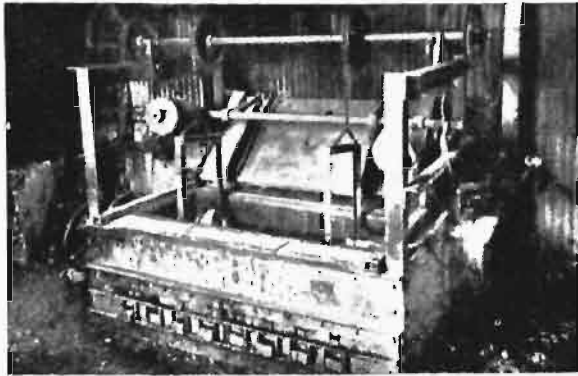
Znacznie większe zastosowanie znajdują piece gazowe, ropowe lub elektryczne do ogrzewania kąpieli solnych lub olejowych, a w ostatnich cza-



Rys. 4.
Piec elektryczny oporowy.

sach — do ogrzewania kąpieli powietrznych z szybką cyrkulacją ogrzanego powietrza. Przedmioty obrabiane termicznie zanurzane są w tych kąpielach, i można twierdzić, że nagrzanie ich będzie tem równomierniejsze, im szybciej krąży ośrodek przenoszący ciepło.

Piece powyższe, dobrze skonstruowane, w zupełności czynią zadość warunkowi równomiernego przenoszenia ciepła. Najczęściej spotyka się w nich wanny saletrzane do obróbki termicznej



Rys. 5.
Wanna saletrzana.

w wyższych temperaturach oraz wanny olejowe do obróbki w niższych temperaturach. Na rys. 5 widzimy wannę saletrzaną angielskiej konstrukcji. Naogół piece z wanną stalową do kąpieli saletrzanej, przy odpowiednich kształtach kadzi, zabezpieczających od bezpośredniego działania płomienia i przy łatwej regulacji dopływu paliwa, są w zupełności odpowiednie do obróbki termicznej stopów aluminiowych. Piece zaś elektryczne posiadają jeszcze tę zaletę, iż są łatwiejsze w regulacji i zużywają mało energii. Do ujemnych z kolei stron kąpieli saletrzanych należy zbyt długi czas, potrzebny na roztopienie i ogrzanie saletry, bo wynoszący około 5—6 godzin, promieniowanie z powierzchni kąpieli, strata saletry przy wyjmowaniu przedmiotów z pieca, a przede wszystkim niebezpieczeństwo zetknięcia się roztopionej saletry z materiałami palnymi. Podobne wady i zalety, choć w mniejszym stopniu, posiadają i piece z kąpielami olejowymi.

W ostatnich czasach zostały w Ameryce wprowadzone piece, nie posiadające wymienionych wyżej wad, mianowicie pionowe oporowe piece elektryczne specjalnej konstrukcji, o szybkim krążeniu nagrzanego powietrza. Nieco później będę miał możliwość opisanie dokładniej konstrukcji i działania takiego samego pieca, wykonanego u nas w kraju.

Powyższą ogólną krytykę instalacji termicznych miano na uwadze przy doborze urządzeń dla hartowni Odlewni Metali Zakładów Mechanicznych „Ursus”. To też założono tam 2 niezależne zupełnie od siebie instalacje elektryczne, mogące uszlachetnić termicznie do 5 tonn odlewów aluminiowych miesięcznie, nie wyłączając największych odlewów przemysłu lotniczego i samochodowego. Instalacje te zostały wykonane całkowicie w kraju, z materiałów krajowych, z wyjątkiem tylko niektórych aparatów, samoczynnie rejestrujących i regulujących temperaturę pieców. Zawsze biorąc zaś okoliczności, iż te ostatnie częściowo wykonano nawet według własnych kon-

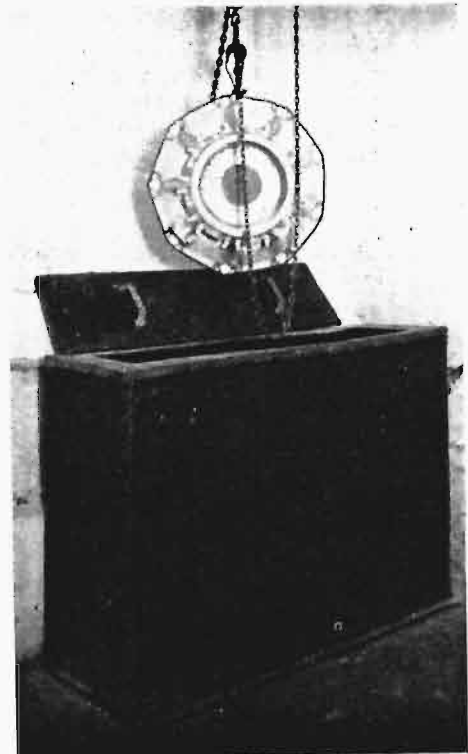
strukcyj i własnymi środkami, zdołaliśmy uniezależnić się od zagranicznych dostawców i możemy instalacje nasze podtrzymywać i remontować we własnym zakresie.

Przechodzę teraz do opisu obu urządzeń.

Instalacja pierwsza składa się:

1) z pieca elektrycznego oporowego do homogenizacji odlewów, zaopatrzonego w wannę stalową z kąpielą saletrzaną (rys. 6). Wannę tę ogrzewają 3 niezależne uzwojenia drutu oporowego, zasilane prądem trójfazowym o napięciu 380/220 V. W ten sposób możemy osiągnąć w niej temperatury do 600°C, zużywając tylko 12 kWh na rozgrzanie kąpieli i 8 kWh na podtrzymanie założonej temperatury. Wymiary wanny stalowej (wysokość 900 mm, długość 1200 mm, szerokość 260 mm) zostały tak dobrane, aby, dzięki dużym powierzchniom ogrzewającym o cienkiej warstwie saletry i małej powierzchni promieniowania, największe wahania temperatury w całej objętości saletry nie przekraczały 10°C i aby zapewnić dobrą cyrkulację rozpuszczonej soli. Prócz tego, obrany kształt i pojemność wanny pozwala na obróbkę termiczną największych nawet odlewów aluminiowych, jak karтеры silników samochodowych i lotniczych.

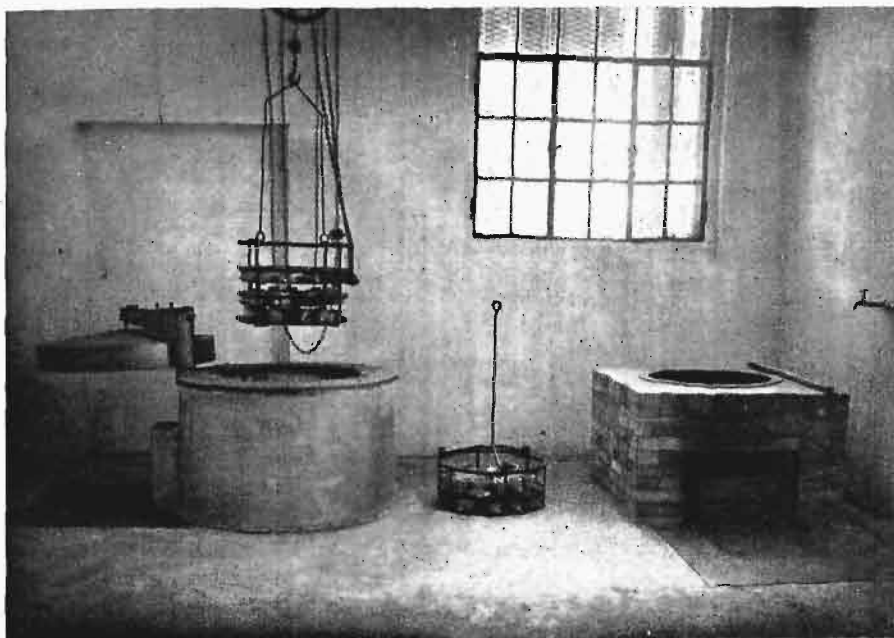
2) Do hartowania służy duża wanna stalowa, ogrzewana 5-ma grzejnikami oporowymi, umieszczonymi na dnie w rurach żeliwnych.



Rys. 6.
Wanna saletrzana zakł. „Ursus”.

3) Odpuszczanie zaś odlewów zahartowanych odbywa się w muflowym piecu oporowym o wymiarach mufl: wys. 260 mm, dług. 1000 mm, szer. 900 mm, zbudowanym w identyczny sposób, jak poprzednio opisana wanna saletrzana.

Do tych 3-ch pieców dochodzi jeszcze parę mniejszych pieców oporowych, służących bądź do obróbki stopów aluminiowych, bądź do obróbki wysokowartościowych stopów miedzi.



Rys. 7. Ogólny widok hartowni zakł. „Ursus”.

Chciałbym jeszcze nadmienić, iż instalację tę wykonał i założył według naszych wskazówek p. inż. Łopatyński w Warszawie.

Prócz opisanej instalacji, czynnej zupełnie sprawnie i bez żadnych niespodzianek od 5-ciu miesięcy, wobec coraz to wzrastającego zapotrzebowania na termicznie obrobione odlewy aluminiowe, zainstalowaliśmy drugą, zupełnie autonomiczną instalację, zaopatrzoną w cylindryczny pionowy piec elektryczny z samoczynnym krążeniem powietrza do ogrzewania homogenizującego i w zwykłą wannę hartowniczą, ogrzewaną kokssem.

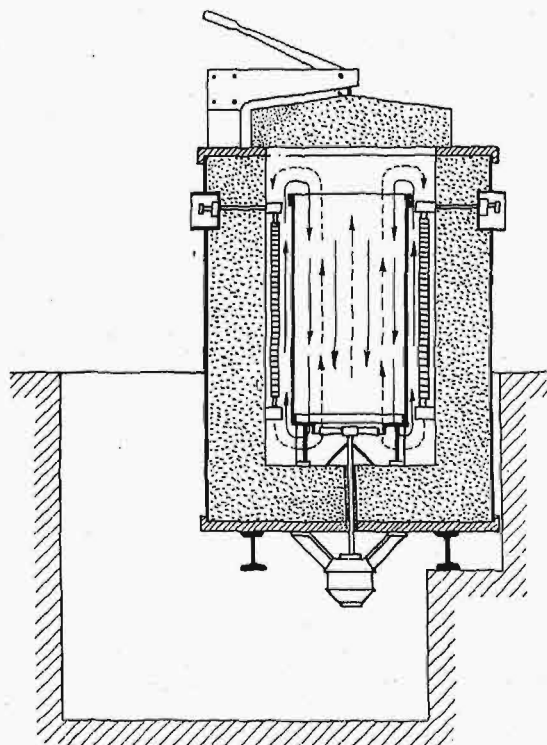
Na rys. 7 przedstawiony jest ogólny widok tej hartowni, na rys. 8 zaś widzimy schemat pieca o krążeniu nagrzanego powietrza. Komora użyteczna tego pieca ma \varnothing 650 mm i wysokość 900 mm, a ogrzewana jest 3-ma grzejnikami oporowymi, równomiernie rozmieszczonymi i zasilanymi prądem trójfazowym, włączonym czy to w trójkąt, czy w gwiazdę. Piec sam chroniony jest od promieniowania na zewnątrz pancierzem ze specjalnej cegły i suchej izolacji. Ładunek zaś pieca chroniony jest od bezpośredniego promieniowania ciepła płaszczem stalowym, który jednocześnie spełnia i to zadanie, iż chroni grzejniki od uszkodzenia podczas ładowania pieca. U spodu pieca wmontowany jest mały wentylator, sprzężony z silnikiem elektrycznym, i dzięki niemu osiągamy szybkie i dokładne krążenie powietrza. Co pewien czas następuje automatyczna zmiana kierunku obrotu silnika, aby przez zmianę kierunku wentylacji otrzymać równomierne ogrzewanie przedmiotów obrabianych, i aby doprowadzić ciepłe powietrze do końców i kątów pieca. Dzięki swej konstrukcji, piec taki absorbuje mało ciepła i nagrzanie ładunku następuje bardzo prędko, gdyż w

żadnym procesie termicznym masa pieca nie bierze udziału, a temperatura utrzymywana w komorze jest niezależna od masy samej instalacji, a tylko od masy szarży załadowanej. Ładowanie odlewów odbywa się w ten sposób, iż zostają one umieszczone najpierw w specjalnych koszach żelaznych, które następnie opuszczają się do komory pieca.

Bardzo ciekawie, na model amerykańską, urządzone jest instalacja do samoczynnej regulacji temperatury, która może się odbywać bardzo dokładnie w przedziale od 100 do 1000°C, oraz instalacja do zmiany kierunku biegu wentylatora.

W piecu w strumieniu nagrzanego powietrza umieszczony jest lut ogniwa termoelektrycznego. Do niego zaś włącza się regulator temperatury, wskaźnik temperatury oraz potencjometryczny regulator temperatury. Wskazówka galwa-

nometra w układzie potencjometra, wychylając się w jedną lub w drugą stronę od swego położenia zerowego, odpowiadającego temperaturze nastawie-



Rys. 8.
Schemat pieca o przymusowym krążeniu nagrzanego powietrza.

nia pieca, włącza lub wyłącza prąd płynący do grzejników; ten sam mechanizm zmienia przy pomocy wyłączników rtęciowych i elektromagnetycznych kierunek obrotu wentylatora. W ten sposób

osiągnąć można wielką zaletę pieca, pozwalającą na utrzymywanie w całej objętości pieca jednako-
wej temperatury z najwyższą dopuszczalną tole-
rancją $\pm 5^\circ \text{C}$.

Aby zakończyć opis tego pieca, podam, iż zo-
stał on u nas zainstalowany przez inż. Zubko w
Brwinowie dwa miesiące temu, a od miesiąca dzia-
ła zupełnie sprawnie.

Na zakończenie przechodzę do opisu genezy
powstania obróbki termicznej, jej rodzajów oraz
otrzymywanego dzięki niej ulepszenia własności
wytrzymałościowych najczęściej obecnie używa-
nych odlewniczych stopów aluminiowych uszla-
chetnionych termicznie. Jako ich przedstawicieli
podam: stop „Y”, stop Al-Cu 4, hidumin i term-
odyn.

Stop „Y” został wynaleziony przez „The
National Physical Laboratory” podczas poszuki-
wań stopu lekkiego, któryby zachowywał swe
własności wytrzymałościowe również i w wyso-
kich temperaturach. Zawiera on średnio 4% Cu;
2% Ni; 1,5% Mg, resztę aluminium, a nadaje się
zarówno do odlewów piaskowych, jak i kokilow-
wych, posiadając przy tem wybitne własności kuź-
nicze.

Termiczna obróbka stopu „Y”, według „Alu-
minium Data Schüt Al 29”, powinna polegać na
grzaniu w temperaturze $510\text{--}520^\circ \text{C}$ w ciągu 6 go-
dzin i na hartowaniu we wrzącej wodzie. Pełnię
swych własności fizycznych wykaże stop dopie-
ro po 6-cio dniowym starzeniu się. Proces tego
samoczynnego starzenia się możemy przyspieszyć,
gotując odlew w wodzie; w ten sposób osiągniemy
krytyczną dyspersję już po 2-ch godzinach. Efekt
obróbki termicznej stopu „Y” jest jednak znacz-
nie większy w odlewach kokilowych, niż w pia-
skowych, a to dzięki większej ścisłości metalu i
drobnoziarnistej jego budowie.

Rosenhain ustanowił normę dla przedmiotów
ze stopu „Y” termicznie ulepszanych, według któ-
rej doraźna wytrzymałość na rozciąganie winna
wynosić 31 kg/mm^2 przy przydłużeniu 5%. Jednak
Jeffries i inni badacze stwierdzili, iż liczby te są
dla przemysłu obecnego za wysokie, gdyż możliwe
są tylko do osiągnięcia dla odlewu kokilowego,
odlanego i obrobionego termicznie w idealnych
warunkach.

Długotrwałe próby warsztatowe i uzyskane
dzięki nim doświadczenie spowodowały zmianę
rodzaju obróbki termicznej, stosowanej do odle-
wów piaskowych stopu „Y”. Mianowicie dzisiaj
w Odlewni Metali „Ursus” stosujemy całą gamę
procesów termicznych w zależności od tego, jakie
własności tworzywa chcemy wysunąć na plan
pierwszy.

Dla zilustrowania tego podam, iż zmieniono
przedewszystkiem sposób odpuszczania i czas,
przez jaki próbka pozostaje w piecu. W ten spo-
sób osiągamy najwyższą twardość przy odpu-
szczaniu w temperaturze około 200°C , podczas gdy,
pozostawiając wszystkie pozostałe czynniki obrób-
ki termicznej bez zmian, a podwyższając tę tem-
peraturę odpuszczania, osiągamy maksymalną wy-
trzymałość na rozciąganie. Przy samoczynnym zaś

starzeniu się, lub długim sztucznym, można osią-
gnąć największe wydłużenie.

Reasumując to wszystko, stwierdzamy, że przy
zastosowaniu różnych rodzajów obróbki termicz-
nej do odlewów piaskowych stopu „Y” otrzymu-
jemy ich własności mechaniczne, wahające się w
następujących granicach:

R	od 21	do 27	kg/mm ² ,
A	„ 1%	„ 3%	,
B	„ 70	„ 120	jedn. Brinella.

Dzięki swym właściwościom, stop „Y” znaj-
duje szerokie zastosowanie do odlewów głowic
tłoków i innych części, pracujących w wysokich
temperaturach i narażonych na działanie korozji.

Uszlachetnienie termiczne innych stopów alu-
minijowych znalazło szerokie zastosowanie w Ame-
ryce po wygłoszeniu referatu Jeffries'a w „Ame-
rican Institute of Mining and Metallurgical Engi-
neers” 26 sierpnia 1926 r. Na pierwszy plan wy-
sunęły się stopy, znane od kilku lat w literaturze
pod Nr.Nr. 195 i 196, a zawierające średnio 4 do
5% Cu; 0,5% Si; 0,5% Ni, 0,2% Mg i resztę alu-
minium. Obróbka termiczna części, odlanych w
piasku z tych stopów, polegała na ogrzewaniu ich
przez 48 godzin w temperaturze 500°C , hartowa-
niu w wodzie i odpuszczaniu przez 2 godziny w
temperaturze $100\text{--}150^\circ \text{C}$.

Jeffries w swym referacie podaje wartości ma-
ksymalne osiągnięte przy tych procesach, wyno-
szące: wytrzymałość na rozciąganie 27—36
 kg/mm^2 i przydłużenie 4,2 do 10%, jednak średnio
R nie przekracza 22—29 kg/mm^2 przy $A = 1,3$
do 6%.

Zbliżony bardzo do tych stopów jest stop
Al Cu 4, znajdujący obecnie coraz większe zasto-
sowanie. Skład chemiczny jego wynosi: 4 do 5%
Cu; Si od 0,65 do 1,10%, Fe—0,85%, aluminium —
reszta. Obróbka cieplna tego stopu polega na ho-
mogenizującym grzaniu w ciągu 24 godz. w tem-
peraturze $510\text{--}525^\circ \text{C}$, poczem następuje zahar-
towanie w wodzie i odpuszczenie w temperaturze
 100°C przez 1 godz. Stop Al Cu 4 daje po ulepsze-
niu termicznym wytrzymałość na rozciąganie —
23 do 30 kg/mm^2 ; $A = 4\text{--}8\%$ i $B = 65\text{--}75$ i co-
raz bardziej wchodzi w użycie do wyrobu wszyst-
kich odpowiedzialniejszych odlewów przemysłu
lotniczego i samochodowego.

Przechodzę teraz do stopów bardziej złożo-
nych: do hiduminu i termodynu. Znany
badacz niemiecki, dr. Pacz, znalazł, iż dodanie nie-
wielkiej ilości tytanu do stopu aluminium z mie-
dzą przyczynia się do zdrobnienia struktury me-
tal, przyczem wpływ tego dodatku występuje in-
tensywniej, gdy tytan do stopu nie jest wprowa-
dzony przy pomocy zaprawy, lecz drogą wymiany
z mieszaniny fluorków sodu i tytanu, co można
łatwo wytłumaczyć obecnością ubocznych reak-
cyj odtleniania, regeneracji i t. p., spowodowanych
wprowadzeniem fluorków do roztopionego me-
tal.

Stopy tego typu znalazły szerokie zastosowa-

nie w krajach anglosaskich zarówno na odlewy, jak i na części kute. Noszą one nazwę „hiduminu”. Dokładne badania ich przeprowadziło laboratorium f-my Rolls-Royce, poczem je opatentowało i odstąpiło licencję na wyrób T-wu „High Duty Alloys Ltd”. Skład chemiczny tych stopów jest następujący

Cu	0,5 — 5%
Ni	0,2 — 1,5%
Mg	0,1 — 5%
Fe	0,6 — 1,5%
Ti	do 0,5%
Si	0,2 — 5%

Tak duże wahania w składzie chemicznym hiduminu tłumaczy fakt, iż stopy te wyrabiane są w 4-ch gatunkach:

- 1) R. R. 50 — na odlewy piaskowe i kokilowe do zastosowania ogólnego;
- 2) R. R. 53 — na odlewy głowic i tłoków;
- 3) R. R. 56 — stop kowalny zwykły.
- 4) R. R. 59 — stop kowalny, przeznaczony specjalnie do prasowania głowic i tłoków.

Obróbka termiczna tego stopu, w odróżnieniu od wszystkich innych podobnych metali, polega tylko na odpuszczaniu przez 6 godz. w temp. 175°C.

Właściwości wytrzymałościowe hiduminu wskazuje ogólna tabela porównawcza (rys. 9).

Do stopów tytanowych należy również „termodyn”, którego sama nazwa wskazuje na okoliczność, iż moc swoją otrzymuje on dopiero po termicznej obróbce. Stop ten został wynaleziony przez prof. J. Czochrańskiego wspólnie z doktorem Paczem w Laboratorium Metallbank'u w trakcie badań nad ulepszeniem stopów z jednej strony o składzie 4% Cu; 0,5% Mn; 0,5% Ti, reszta Al, z drugiej zaś strony stopów, w których zawartość Ti została zastąpiona przez 0,5% Mg. Ulepszenie to miało iść w kierunku dodawania do stopów niklu, cyrkonu i boru, przyczem wszystkie te trzy metale były wprowadzone do stopu z podwójnych soli z metalami alkalicznymi drogą wzajemnej wymiany.

Termodyn jest opatentowany we wszystkich krajach, a licencję na Polskę posiadają Zakłady Mechaniczne „Ursus”.

Obróbka termiczna termodynu polega na homogenizującym ogrzewaniu w ciągu 5 godz. w temperaturze 520°C, poczem następuje hartowanie i 15-godzinne odpuszczanie przy 120°.

Dzięki tym zabiegom, zyskuje termodyn wybitne własności wytrzymałościowe, wynoszące średnio 33,1 kg/mm² wytrzymałości na rozciąganie i 6,2% przydłużenia.

Nazwa stopu	Własności mechaniczne:						Procentowy wzrost własności mech. po zastosowaniu obr. termicznej		
	surowych odlewów			przedmiotów obrabionych termicznie					
	R _w kg/mm ²	A _w %	B	R _w kg/mm ²	A _w %	B	R _w kg/mm ²	A _w %	B
Stop „Y”	16	1	80	25	2	110	56	100	38
Al-Cu 4	12	3	50	25	5	70	110	67	40
Hidumin.	RR50	15	4	65	19	72	27	-25	11
	RR53	22	3	80	37	140	68	-67	50
Termodyn	18	4	70	33	6	120	79	50	71

Rys. 9.

Na zakończenie pozwolę sobie przedstawić tabelicę porównawczą, zamykającą w sobie własności mechaniczne wszystkich powyżej omawianych stopów, przed obróbką i po obróbce termicznej, jak również wzrost procentowy tych własności, osiągnięty dzięki zabiegom cieplnym, zastosowanym do metalu.

Prócz wpływu obróbki termicznej na poszczególne stopy, rzuca się przedewszystkiem w oczy iż najmniejszy wzrost wytrzymałości wykazują metale typu hiduminu, co jest jeszcze połączone ze zbyt małą ciągliwością, a co zarazem świadczy o mocnym przereklamowaniu tego metalu.

Po tej charakterystyce stopów termicznie ulepszonych i wpływu obróbki cieplnej na ostateczne własności tworzywa, jasnym jest jak wielkie zastosowanie znajduje ona, względnie musi znaleźć w technice obecnej.

Dzisiaj zaś, gdy z konsumentów stajemy się producentami samochodów i samolotów, rozwój tych zupełnie nowych i nowoczesnych gałęzi wytwórczości krajowej wiąże się z racjonalnym rozwiązaniem zagadnień podnoszenia własności mechanicznych stopów aluminiowych. Wiąże się z tem też bezpieczeństwo tysięcy ludzi, wsiadających do polskich samolotów, a przedewszystkiem wiąże się z temi zagadnieniami bezpieczeństwo naszego kraju w razie wojny.

Obróbka mechaniczna stopów lekkich.

Napisał Inż. S. Szulc.

Doświadczenia kilkudziesięciu ostatnich lat, poczynione nad obróbką stali i stopów ciężkich, dostarczyły całego szeregu danych, dotyczących doboru czynników, mających wpływ na wynik obróbki. Czynniki te są: kształt narzędzia oraz szybkości i posuwy (określone przeważnie górną granicą).

Dane te wystarczają do uzyskania żądanej gładkości obrabianej powierzchni i stopnia dokładności wymiarów obrabianego przedmiotu, a granice, w jakich je zawarto, są przeważnie szerokie. Wykroczenie poza te granice odbija się ujemnie nie tyle na wyniku obróbki, ile na jej ekonomii.

Zupełnie inaczej przedstawia się sprawa obróbki stopów lekkich. Coraz większy zakres ich zastosowania oraz coraz większa ilość odmian tych stopów, wprowadzonych do przemysłu w ciągu ostatnich kilku lat, postawiła warsztat wobec całego szeregu trudności, związanych z ich obróbką. Trudności te wystąpiły dopiero z chwilą wzrostu ilości odmian tych stopów, a to dlatego, że stworzyły konieczność traktowania stopów lekkich nie jako jednej grupy, lecz indywidualnie, w zależności od zachowania się każdego z nich w obróbce. W trakcie opanowywania tych trudności wyjaśnił się wpływ na wynik obróbki nowych czynników, które przy obróbce stali nie były brane pod uwagę, wreszcie okazało się, że stosowanie oderwane danych, dotyczących obróbki stopów, jak przy obróbce stali, wcale nie gwarantuje dodatnich wyników obróbki.

Obróbka metali lekkich znajduje się dziś, w porównaniu do obróbki stali, w początkowej fazie poszukiwania metod, dlatego też byłoby rzeczą przedwczesną ich opisywanie. Będzie tu omówiony tylko wpływ najważniejszych czynników na wynik obróbki, oraz trudności, nasuwające się w jej trakcie.

Z pośród trudności, na jakie napotyka się przy obróbce stopów lekkich, bodaj czy nie najważniejszą jest uzyskanie żądanej gładkości powierzchni obrabianej. Pokonanie tej trudności jest dlatego niełatwe, że stopy lekkie są daleko bardziej wrażliwe na zmianę kątów narzędzi, niż stale; dlatego też kąty narzędzia muszą być ściśle dobrane do rodzaju stopu obrabianego, w granicach daleko cieńszych niż dla stali.

Pod względem doboru kątów narzędzi daje się zaznaczyć wyraźny podział stopów lekkich na trzy grupy. Do grupy pierwszej można zaliczyć dural i stopy Y — kute, walcowane i ciągnięte. Narzędzia do obróbki tych stopów powinny posiadać kąty zbliżone do tych, jakich używa się przy obróbce bardzo miękkiej stali. Do grupy drugiej można zaliczyć silumin i elektron, których skrawanie wymaga narzędzi o kątach, zbliżonych do tych, jakie

się stosuje do obróbki twardego drzewa. Trzecią grupę, pośrednią, stanowią stopy aluminium z miedzią, do których obróbki należy używać narzędzi o kątach, leżących pomiędzy wielkościami określonymi obydwoma wymienionymi wypadkami skrajnymi.

Dane, jakie obecnie posiadamy co do doboru kątów dla narzędzi, są jeszcze tak skąpe, a różnice w zachowaniu się stopów w obróbce tak znaczne, że cyfry podawane należy traktować tylko jako orientacyjne, a właściwe wielkości kątów ustalać przy pomocy własnych doświadczeń, wykonywanych dla ściśle określonego gatunku stopu.

Nie mniejszy nacisk, niż na dobór kątów, należy położyć na ostrość i gładkość krawędzi tnącej oraz gładkość powierzchni noża, stykającej się ze skrawanym materiałem.

Wióry stopów lekkich posiadają własność oblepiania krawędzi tnącej. Zjawisko to jest stale spotykane i występuje od pierwszej chwili skrawania, jeśli ostrze narzędzia nie odpowiada warunkom obróbki. Wiór oblepiający ostrze osłania je zupełnie tak, że skrawanie ustaje, a rozpoczyna się zdzieranie materiału przez warstwę wióra, przylepionego do ostrza narzędzia. Wynikiem tego jest wzrost temperatury, stępienie narzędzia oraz zdarta powierzchnia obrabiana. Dlatego też narzędzia, używane do skrawania stopów lekkich, wymagają daleko staranniejszego wykończenia krawędzi tnących i powierzchni spływu wióra, niż to zachodzi w wypadkach skrawania stali. Jak gładkość powierzchni noża wpływa na przebieg skrawania, świadczy to, że w niektórych wypadkach stosowano nawet chromowanie szlifowanych powierzchni noża dla nadania im większej gładkości i odporności na ścieranie.

Trudności obróbki, wywołane szybkim stępieniem ostrza, stworzyły konieczność doboru takich rodzajów stali na narzędzia do obróbki lekkich stopów, któreby wykazały jaknajwiększą odporność na stępienie i zużycie.

Z tego względu zwykła stal narzędziowa znajduje małe zastosowanie przy obróbce tych stopów. W wypadkach, w których zależy na utrzymaniu ścisłych wymiarów, okazały się najodpowiedniejsze djamenty oraz narzędzia o ostrzach, sporządzonych ze stopu węgla wolframu (tungsten carbid, Widia, carboloy). Stopy te nadają się specjalnie do obróbki stopów lekkich z tego powodu, że zawarty w stopach tlenek aluminium posiada twardość korundu, zajmującego jak wiadomo 8—9 miejsce w skali twardości Mohs'a. Tylko djament i węgliki wolframu posiadają twardość wyższą od tlenków aluminium i nie ulegają ścieraniu przez wióry, jak to ma miejsce przy stosowaniu narzędzi ze stali szybko tnącej.

Jednym ze zjawisk, stanowiących niejako na-

stepstwo oblepiania ostrzy, jest łatwość zapychania wiórami przestrzeni między ostrzami narzędzia. Zjawisko to (znane i przy obróbce stali) występuje u narzędzi wielonożowych, których kształt musi być odpowiedni do pomieszczenia wiórów. Narzędzia te charakteryzuje mała ilość ostrzy, rozmieszczonych w dużych odstępach. Wpływa to wprawdzie (np. we frezach) na zwiększenie ich średnicy, co jest jednak wskazane ze względu na konieczność stosowania znacznych szybkości skrawania. Z tego też powodu do obróbki płaszczyzn są odpowiednie głowice frezarskie o dużej średnicy, z niewielką ilością noży wstawionych, niż frezy wykonane z całości. Również i frezy palcowe zaopatrzone w zęby ozołowe skrawają daleko lepiej, jeśli posiadają mało zębów, głęboko naciętych.

Zastosowanie do wiertel i rozwiertaków tych samych kątów, co dla noży, pociąga za sobą nadanie tym narzędziom tem silniejszego skrętu spirali, im bardziej własności obrabianego stopu zbliżają się do grupy stopów rodzaju siluminu i elektronu. Kąt spirali dochodzi do 50° i wyżej. To samo odnosi się i do gwintowników, które powinny posiadać rowki spiralne, przynajmniej w przedniej części narzędzia. Wielkość spirali powinna być jednak najwyższą taką, jak u wiertel do stali. Pomieszczenie wióra i wysuwanie go ku tyłowi narzędzia wpływa na czystość obróbki i zależy od rozmiarów rowków spirali i (podobnie jak u noży) od gładkości powierzchni narzędzia. To jest też powodem, dla którego przód i tył piórka oraz profil gwintowników powinny być szlifowane, również dlatego aby zapobiec zadarciu gwintu przy wykręcaniu gwintownika.

Ściąganie i podnoszenie się materiału przy gwintowaniu stanowi również jedną z trudności, napotykaną przy tym rodzaju obróbki. Zachowanie się stopów jest jednak tak różne, że wyniki otrzymane należy traktować indywidualnie, w zależności od rodzaju stopu, gdyż praktyka wykazuje tu znaczne rozbieżności.

Do częściowego usunięcia trudności, zachodzących przy gwintowaniu otworów pod kołki śrubowe w odlewach, przyczyniła się jakość materiału, mianowicie okazało się, że wkręcanie kołków w otwory wiercone, z pominięciem gwintowania, jest możliwe, a kołki tak wkręcone trzymają się dobrze pod warunkiem, że nie wykręca się ich często.

Gwintowanie sworzni przy pomocy narzynek automatycznych napotyka na trudności, z powodu łatwego zarywania się nitki gwintu. Dobór średnicy, wykonanej przed gwintowaniem, oraz chłodziwa gra tu dużą rolę.

Znana zasada stosowania twardych tarcz do miękkich materiałów nie znajduje zastosowania przy szlifowaniu stopów lekkich. Stopy lekkie, jakkolwiek twardość ich jest znacznie mniejsza, niż twardość stali, wymagają stosowania tarcz miękkich, a to z powodu łatwości zalepiania ich wiórami. Zjawisko to występuje w sposób nagły, wpływając na wygląd powierzchni obrabianej i

wywołując grzanie się przedmiotu. Nacieranie tarcz woskiem parafinowym stanowi dobry środek zaradczy, gdyż wosk, wypełniając przestrzeń między ziarnami tarczy, odgrywa równocześnie rolę smaru. Ta sama trudność zalepiania wiórami występuje przy obróbce pilnikami, które powinny mieć nacięcia pojedyncze, nachylone do osi pilnika. Środkiem zaradczym przeciwko zalepianiu się pilników jest zanurzanie ich w oleju parafinowym i prasowanie na mokro.

Usuwanie wiórów z pomiędzy zębów narzędzi, zwłaszcza o uzębieniu drobnym, jak pilniki, piłki, gwintowniki, stanowi trudność ze względu na łatwość uszkodzenia narzędzia, których ostrza są bardzo śpiczaste z powodu małych kątów skrawania. Unika się tej trudności, zanurzając narzędzie w silny roztwór sody kaustycznej, która ma własność rozluźniania zbitych wiórów. Wióry można następnie łatwo usunąć przy pomocy drucianej szczotki. Narzędzia należy dobrze myć w bieżącej wodzie, aby nie rdzewiały.

Uzyskanie kątów narzędzi, stosowanych do obróbki stopów lekkich, wymaga zeszlifowania dużej stosunkowo ilości materiału przy wykonywaniu narzędzi z prętów o przekrojach prostokątnych lub kwadratowych. Sprawa ta przedstawia się daleko korzystniej, gdy stosuje się narzędzia o ostrzach wstawionych, wykonanych z prętów okrągłych.

Wykończenie powierzchni obrabianej jest tem lepsze, im większą stosuje się szybkość skrawania, jednak najodpowiedniejsze szybkości należy dobrać drogą prób dla każdego rodzaju stopu. Górną granicę szybkości stanowi raczej stan obrabiarki i sposób zamocowania narzędzia, niż charakter obrabianego stopu. Drgania wrzeciona i noża, które powstają skutkiem istnienia luzów w obrabiarence oraz spiczastego ostrza narzędzia, wpływają na wygląd powierzchni obrabianej, tak że często skrawanie musi się odbywać przy szybkościach znacznie niższych od dozwolonych.

Ażeby zatem wyzyskać całkowicie własności stopów, pozwalające na skrócenie czasu obróbki dzięki możliwości stosowania dużych szybkości skrawania, należy do obróbki stopów lekkich przeznaczać obrabiarki, posiadające odpowiednio małe luzy we wrzecionach i suportach. Z tego też powodu kontrola ich stanu musi być przeprowadzana częściej, niż obrabiarek, służących do obróbki stali. Skrawając lekkie stopy, należy utrzymywać posuw raczej w granicach niższych. Granicę zwiększania posuwu stanowi tu niewielka stosunkowo sztywność przedmiotu, sposób jego zamocowania, oraz tarcie, powstające zarówno w miejscu skrawania, jak i na kłach. Ilość ciepła, wytworzona wskutek tarcia, wpływa na odkształcenie przedmiotu w znacznie większym stopniu, niż u stali, skutkiem dużego współczynnika rozszerzalności stopów lekkich. Z tego powodu stosowanie kłów obrotowych ulepsza znacznie warunki pracy, zwłaszcza przy obróbce elektronu, gdzie dozwolona szybkość skrawania przekracza 300 m/min.

Głębokość wióra i posuwy należy również dostosowywać do sztywności i sposobu zamocowania przedmiotu. Nieznaczne bicie przedmiotu może spowodować wciskanie się śpiczastego ostrza noża w materiał, dlatego jest wskazane stosowanie lunet, które należy rozmieszczać gęściej niż przy obróbce stali.

Łatwe nagrzewanie się stopów i duża ich rozszerzalność stwarzają konieczność sprawdzania wymiarów dopiero po ostygnięciu przedmiotu. Jak duży jest wpływ zmian temperatury, wskazuje przykład następujący: wzrost temperatury o 10°C wywołuje rozszerzenie się przedmiotu o średnicy 100 mm o ok. 0,025 mm. Wielkość ta przekracza bardzo często dozwolone tolerancje wykonawcze przedmiotu, a różnica temperatur, wynosząca 10°C, może zająć bardzo łatwo.

Wykańczanie cienkościennych odlewów jest wskazane przy bardzo lekkim zaciskaniu przedmiotu w uchwycie. Ostrożność ta jest podyktowana dużym odkształcaniem się odlewów po zderciu skóry, które to odkształcenie występuje pomimo stosowania odpowiednich ostrożności podczas wykonywania odlewu.

Dobór odpowiedniego chłodziwa i jego wpływ na wynik obróbki zaczyna być obecnie doceniany. Trafny dobór chłodziwa jest trudny, gdyż rodzaj jego zależy nie tylko od gatunku stopu, ale i od rodzaju obróbki. Ilość używanych rodzajów chłodziwa jest bardzo duża. Najbardziej typową jest mieszanina oleju parafinowego z wodą i dodatkami pewnych substancji, ulegających zmianom, zależnie od rodzaju obróbki, dalej używa się nafty, tłuszczów zwierzęcych, zmieszanych z olejem smołowym, naftą lub wodą, terpentyny, alkoholu i t. p. W jakim stopniu są lekkie stopy wrażliwe na rodzaj chłodziwa, wskazuje fakt, że np. frezowanie gwintu w stopie lanym odbywa się najlepiej przy użyciu alkoholu, zaś w tym samym stopie kutym — w obecności terpentyny. Alkohol w tym ostatnim wypadku daje wyniki zupełnie ujemne. Lecz nie tylko rodzaj, ale i gęstość chłodziwa wywiera swój wpływ na przebieg obróbki: użycie np. gęstszego chłodziwa pozwala na stosowanie większych posuwów oraz jest lepsze przy przeciąganiu niż przy innych rodzajach obróbki. W tym ostatnim wypadku chłodziwo musi być „śliskie”, co uzyskuje się przez dodanie odpowiednich składników.

Stosując chłodziwo rzadkie, należy je skierowywać silnym strumieniem pod kątem do krawędzi tnącej, dla usunięcia wióra, którego obecność na ostrzach stwarza trudności, omówione wyżej.

Staranne mieszanie chłodziwa, w którego skład wchodzi olej i woda, jest konieczne przy obróbce stopów lekkich, gdyż wióry tych stopów, znajdujące się w chłodziwie, wpływają na szybkie oddzielanie się oleju od wody.

Obróbka elektronu może się odbywać tylko na sucho; chłodzenie przedmiotu sprężonym powietrzem w czasie obróbki jest wskazane, zwłaszcza przy skrawaniu grubszym wiórem. Łatwe stępienie ostrzy wywołuje u elektronu, podobnie jak i

u innych stopów lekkich, silny wzrost temperatur oraz niebezpieczeństwo samozapłonu. Dlatego też specjalnie przy obróbce tego stopu należy kłaść nacisk na staranne utrzymywanie ostrych krawędzi tnących narzędzia. Gaszenie elektronu może się odbywać tylko przy pomocy suchego piasku, nigdy zaś wody, ze względu na silniejsze powinowactwo magnezu z tlenem w wodzie niż w powietrzu. Używanie chłodziwa, w którego skład wchodzi woda, jest niedopuszczalne. Łatwe utlenianie się elektronu powoduje konieczność trawienia odlewów dwuchromianem potasu, który to proces należy stosować do ochrony obrobionych powierzchni, jeśli się przewiduje, że przedmioty będą przebywały dłuższy czas w obróbce.

Obróbka termiczna stopów lekkich jest stosowana dwójakiego rodzaju: obróbka w temperaturach wyższych, zmierzająca do zmiany struktury stopu i polepszenia jego własności mechanicznych, oraz obróbka w temperaturach niższych (sezonowanie), zmierzająca do uniknięcia naprężeń wewnętrznych. Obydwa rodzaje obróbki wpływają na polepszenie własności stopów w czasie skrawania.

Spawanie stopów lekkich jest zasadniczo możliwe, jednak przy zastosowaniu daleko większych ostrożności, niż przy spawaniu stali i żeliwa. Spawanie, które jest ryzykowne ze względu na wywoływanie naprężeń w przedmiotach spawanych, staje się znacznie łatwiejszym przy spawaniu stopów sezonowanych, gdyż w tych wypadkach naprężenia i odkształcenia powstają w daleko mniejszym stopniu. Spawanie stopów uszlachetnionych pociąga za sobą konieczność ich ponownego uszlachetnienia.

Stosowanym dotychczas rodzajem spawania jest przeważnie spawanie płomieniem acetylenowym, przyczem użycie proszków dla usunięcia tlenków jest konieczne zarówno przy spawaniu stopów aluminiowych, jak i magnezowych. Usunięcie pozostałości proszków ze spawanego przedmiotu jest ważne ze względu na korozję, którą powodują.

Reasumując opisane trudności, nasuwające się przy obróbce stopów lekkich, można powiedzieć, że obróbka stopów lekkich znajduje się ciągle w stanie poszukiwania metod uzyskania gładkiej powierzchni obrabianej. Czynniki, wpływające na wynik obróbki, jak: kształt narzędzia, stan ostrza, materiał narzędzia, szybkość skrawania, posuwy, rodzaj chłodziwa, są częściowo te same, co i przy obróbce stali, jednakże stopy lekkie reagują daleko silniej, niż stale, nie tylko na niewłaściwe zastosowanie wielkości tych czynników, ale i na ich wzajemny dobór. To znaczy, że droga do usunięcia trudności leży nie tyle w zacieśnieniu granic stosowalności tych czynników i ich wielkości bezwzględnej, ile raczej w zbadaniu wielkości ich wzajemnego wpływu oraz w umiejętności ich dostosowania do istniejących warunków w każdym typowym wypadku.

Literatura dotycząca stopów lekkich jest już bogata, jednakże dane, dotyczące omawianych trudności, nie są dotychczas ujęte razem, dlatego

też podają poniżej najważniejsze źródła uwag o obróbce tych stopów.

Bibliografia.

- 1) National Metal Handbook 1930. R. Templin — Machining Aluminium and its Alloys.
- 2) SAE - Journal Nov. 1930. R. Templin. New Developments in Machining Aluminium.
- 3) Melchior. Aluminium.
- 4) Painton. Aluminium and its Alloys.
- 5) Die Bearbeitung von Aluminium. Z. f. d. Metallkunde t. 19 (1927), str. 117.
- 6) Machining Aluminium. The Iron Age. 1927, str. 877 (zesz. 8).
- 7) Tools and Methods for Machining Aluminium. Machinery 1929, str. 557.
- 8) Machining Aluminium and its Alloys. Aviation Engineering IV (1929), str. 11.
- 9) Machining Aluminium and its Alloys. The Metal Industry II (1930), str. 67.
- 10) Le Travail d'Aluminium et ses Alliages — Revue d'Aluminium 1930, str. 1042 i 1047.
- 11) Nose formed by Tool in cutting Metal is built up at any Speed. Automotive Industries. VII (1930), str. 981.
- 12) Tungsten Carbide Tools. Transactions Am. Society for Steel Treating VII (1930), str. 749.
- 13) Kurrein. Spanabhebende Bearbeitung der Leichtmetalle. Z. f. Met. t. 19 (1927), str. 479—480.
- 14) C. O. Herb. Cutting Compounds used by Ford. Machinery, tom 37 (1931), zesz. 8.

Spawanie lekkich stopów^{*)}

Napisał Inż. Zygmunt Dobrowolski, Warszawa.

Problemat spawania lekkich stopów — jak każde zagadnienie techniczne — może być rozwiązany tylko przez odpowiednie badania naukowe. Tylko dokładna znajomość własności lekkich stopów i zachowania się ich w wysokich temperaturach, przy jakich odbywa się spawanie, może dać potrzebne wskazówki co do sposobu postępowania i zabiegów, jakie należy stosować, aby osiągnąć to, co jest celem spawania: t. j. połączenie możliwie jednorodne i zbliżone własnościami mechanicznymi do łączzonego metalu. Rola zaś spawacza polega na tem, aby ściśle stosować się do opracowanej naukowo metody i nabrać umiejętności rozpoznawania na oko rozmaitych stanów, przez które przechodzi materiał spawany, aby uchwycić właściwe momenty dla poszczególnych czynności przy spawaniu. Oczywiście, czysto fizyczna biegłość odgrywa też dużą rolę, ze względu na to, że czas trwania poszczególnych elementów operacji ma wpływ decydujący na jej dobry wynik. Pod tym względem spawanie stanowi analogję do innych działań obróbki termicznej, i czynność spawacza jest taką samą sztuką, jak np. zgrzewanie, hartowanie

Mniemanie, jakoby powodzenie spawania zależało li tylko od biegłości spawacza, jest zgruntu fałszywe. Jeżeli napotyka się trudności przy spawaniu jakiegoś nowego stopu, to — zamiast szukać biegłego spawacza, który tylko przypadkiem może wpaść na właściwy sposób postępowania — daleko racjonalniej jest przez studia laboratoryjne ustalić własności metalu z punktu widzenia spawalności i na tej solidnej podstawie oprzeć opracowanie właściwej metody pracy, dobór materiałów dodawanych do spojenia i t. p.

Już na podstawie zupełnie ogólnych wiadomości o własnościach metali lekkich i nielicznych badań naukowych nad ich spawaniem, udało się usunąć wiele trudności, które spotykano przy pierwszych próbach spawania. Dzisiaj spawanie lekkich stopów jest robotą dość pospolitą, a pew-

ne zastrzeżenia, jakie jeszcze budzi spawanie, są echem dawnych niepowodzeń, które już należą do przeszłości.

Istotne trudności przy spawaniu lekkich stopów leżą:

1) w tworzeniu się na powierzchni topiącego się metalu powłoki z tlenków, która przeszkadza dobremu stopieniu się obu łączonych części, oraz

2) w niebezpieczeństwie powstawania naprężeń skurcznych, które przy spawaniu są nie do uniknięcia, a które mogą spowodować osłabienie materiału i pęknięcia zaraz po spawaniu, lub później, w czasie pracy części spawanej.

Całe zagadnienie spawania lekkich stopów jest zawarte w tych dwóch punktach, i dobór odpowiednich narzędzi oraz sposobów pracy odbywa się pod hasłem usunięcia tych trudności.

Jakim płomieniem spawać?

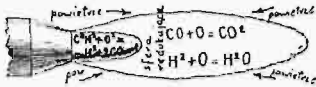
Przedewszystkiem zachodzi pytanie, jakim płomieniem należy spawać? Ponieważ tworzenia się tlenków należy jaknajbardziej unikać, płomień musi mieć silne własności redukujące. Temu warunkowi odpowiadają tylko: płomień acetylenowo-tlenowy i wodorowo-tlenowy.

Wobec powszechnego stosowania do spawania stali płomienia acetylenowego, daleko wygodniejsze jest używanie tego płomienia również do lekkich stopów, i w praktyce prawie wyłącznie stosuje się ten płomień. Jednak można się spotkać w literaturze z twierdzeniem, że płomień wodorowy daje przy spawaniu bardzo cienkich blach lepsze wyniki, niebrak atoli i głosów przeciwnych. Z powodu braku miejsca, nie będę przytaczał różnych względów, przemawiających za używaniem płomienia acetylenowego, sprawa ta może być wysświetlona jedynie przez odpowiednie badania naukowe. Zarzut jakoby płomień acetylenowy powodował nawęglanie spojenia, jest niesłuszny, gdyż tylko źle uregulowany płomień, posiadający nadmiar acetyleny, może to zjawisko wywołać.

Również pominię zagadnienie odpowiedniej regulacji płomienia, zaznaczyć tylko pragnę, że

*) Referat, opracowany na V Zjazd Inż. Mechaników w r. b. w Warszawie.

wielkość płomienia, ciśnienie gazów, stosunek ilościowy acetylenu do tlenu oraz czystość gazów — mają swój wpływ na jakość połączenia, i elementy te muszą być odpowiednio dobrane. Zagadnienia te zostały naukowo zbadane i odpowiednie normy są ustalone.



Rys. 1.
Schemat płomienia
acetylenowo-tlenowego.

W sferze redukującej płomienia acetylenowego znajduje się tlenek węgla i wodór (rys. 1), które dobrze redukują tlenki żelaza, natomiast nie mogą zredukować tworzących się przy spawaniu tlenków metali lekkich, jak np. tlenek aluminium lub tlenek magnezu.

Proszki do spawania.

W początkach spawania radzono sobie w ten sposób, że usuwano mechanicznie powłokę utlenionego metalu zapomocą skrobaczki, jednak pomagało to niewiele i było wielkim utrudnieniem w pracy. Obecnie tlenki te usuwa się tylko zapomocą soli alkalicznych, których używa się w formie proszku, lub zapomocą płynnej pasty. Proszki te mają rozmaity skład, zależnie od rodzaju spawanego stopu, zwykle składają się z chlorków potasu i sodu, fluorku potasu, siarczanu potasowego i chlorku litu¹⁾. Chlorku litu dodaje się w tym celu, by żużel był możliwie lekki, nie zanurzał się w metalu, lecz spływał na powierzchnię, skąd łatwo go usunąć.

Proszki te są nadzwyczaj higroskopijne, a pod wpływem wilgoci ulegają szybko rozkładowi i stają się bezużyteczne, dlatego należy je przechowywać w zamkniętych hermetycznie naczyniach. Fabrykacja tych proszków jest dość trudna, gdyż temperatura i stan wilgotności poszczególnych składników ma duży wpływ na aktywność mieszaniny.

W handlu znajduje się cały szereg proszków do spawania lekkich metali, które bardzo dobrze odpowiadają swemu celowi. Nie należy przypuszczać, że tylko jedna recepta jest dobra, a te same lub podobne proszki w innym składzie nie mogą dać dobrych wyników. Stosunek poszczególnych soli, wchodzących w skład mieszaniny, może się różnić, a wyniki mogą być równie dobre.

Spawalność stopów różnego typu.

Pod względem spawalności, stopy lekkie należy podzielić zasadniczo na: 1) stopy aluminiowe i 2) stopy magnezowe. Pozatem stopy aluminiowe rozpadają się na 2 grupy: do pierwszej należą te stopy, których przeważnie używa się w stanie walcowanym, kutym lub ciągnionym, a zatem te, które przechodziły mechaniczną obróbkę i najczęściej są ulepszone termicznie, do drugiej grupy zaś — te stopy, które stosowane są przeważnie jako odlewy.

Ze stopów aluminiowych, oprócz samego aluminium, które w stanie czystym i chemicznie ulepszonym jest dobrze spawalne, wszelkie stopy,

których ulepszenie polega na mechanicznej i termicznej obróbce, tracą częściowo podczas spawania swoje cenne własności mechaniczne, jak wytrzymałość, ciągliwość, twardość i t. p. Jest rzeczą oczywistą, że w materiale przetopionym zanikają te własności, które osiągnięto przez hartowanie i odnuszczanie, albo starzenie się materiału. Materiał w spoinie ma charakter materiału lanego, a materiał przedmiotu, przylegający do spoiny wraca pod wpływem wysokiej temperatury do stanu, w jakim był przed ulepszeniem (rys. 2)²⁾. Do tej grupy należy duraluminium, lantal, aludur, skleron, aeron, i t. d.

Za zasadę należy przyjąć, że jako metalu dodatkowego używa się pałeczek z metalu rodzimego, a więc duraluminium spawa się duraluminium, lantal — lantalem i t. p., aczkolwiek można również do spawania używać czystego aluminium lub z dodatkiem 5%-ym krzemu. Polepszyć można częściowo własności mechaniczne połączeń spawanych tych metali przez przekucie spoiny i odpowiednią obróbkę termiczną, jednak nie zawsze da się to przeprowadzić. Po ulepszeniu spoiny udało się osiągnąć w połączeniach duraluminiowych 80% wytrzymałości materiału rodzimego³⁾. Przez odpowiednie zgrubienie spoiny można tę wytrzymałość jeszcze podwyższyć.

Należy zaznaczyć, że stosowanie jako spoiwa materiału różnego od materiału stopu może spowodować trudności przy ulepszeniu termicznym.

Zupełnie inaczej przedstawia się spawanie stopów, które zawdzięczają swe wysokie własności domieszkom chemicznym, np. krzemu, miedzi, manganu. Przy spawaniu tych metali, których przeważnie używa się w postaci odlewów, można osiągnąć nawet 100% wytrzymałości.

Spawanie trzeciej z wymienionych wyżej grup metali lekkich, t. j. stopów magnezowych, jest trudniejsze, gdyż magnez nadzwyczaj łatwo się utlenia, tworząc magnezję w postaci proszku, która ogromnie utrudnia dobre stopienie się materia-



Rys. 2. Połączenie spawane blach aluminiowych grub. 3 mm.
W środku widać gruboziarnistą strukturę spoiwa.

lu. Ze stopów tego metalu najwięcej rozpowszechniony jest elektron, tak walcowany, jak i lany, o

¹⁾ Recepta francuska: chlorku potasu — 45%, chlorku sodu — 30%, chlorku litu — 15%, fluorku potasu — 7%, siarczanu potasu — 3%.

²⁾ Der Acetylen-Schweisser. Nr. 2, 1930.

³⁾ H. Horn. Schweisstechnische Streifzüge. Schmelzschweißung, 1930, zesz. 4.

którego spawaniu będą podane jeszcze bliższe szczegóły.

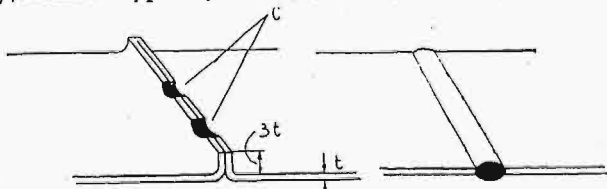
Przejdziemy obecnie do omówienia praktycznego zastosowania spawania do łączenia poszczególnych stopów lekkich w warunkach przemysłowych.

Spawanie blach aluminiowych.

Aluminiem walcowane w stanie prawie czystym, lub z niewielką domieszką manganu, krzemu, magnezu i t. p., znajduje największe zastosowanie przy wyrobie zbiorników blaszanych dla przemysłu chemicznego, zbiorników dla samolotów, naczyń wszelkiego rodzaju, beczek, wreszcie mebli i różnych utensyliów domowych.

Krawędzie łączonych blach muszą być odpowiednio przygotowane do spawania. Ponieważ na warsztacie wszystkie części są mniej lub więcej zatłuszczone, należy krawędzie obmyć sodą, następnie roztworem kwasu azotowego, aby usunąć ślady sody, a następnie, aby usunąć z kolei ślady kwasu, trzeba je sołókać wodą gorącą. Krawędzie blach cienkich najlepiej jest wywinąć nazewnątrz, jak pokazano na rys. 3, na szerokości równej potrójnej grubości blachy¹⁾.

Po oczyszczeniu pokrywa się szczelinę z obu stron proszkiem lub pastą. Krawędzie łączone chwytają się w specjalne zaciski i następnie zczepia się je szeregiem punktów spawanych, oddległych od siebie o 20—30 mm. Po zczepieniu usuwa się zaciski. Przy spawaniu trzyma się palnik pod kątem 45° do linii spawania i przesuwa się palnik równomiernie wzdłuż szwu, topiąc wywiniete krawędzie blach łączonych. Palnik należy trzymać w większej odległości od przedmiotu, niż przy spawaniu żelaza. Dodatkowego materiału z pałeczki dodaje się tylko sporadycznie, w razie potrzeby. Spoina powinna mieć kształt jednostajny, lekko wypukły z obu stron, jak na rys. 3.

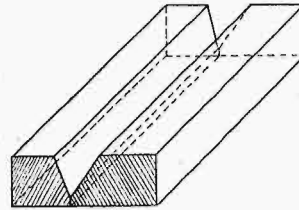


Rys. 3. Łączenie blach cienkich. Na lewo — przygotowanie blach przed spawaniem, C — punkty zczepiania. Na prawo — połączenie po spawaniu.

Przy grubszych blachach, nie można już — oczywiście — stosować zaginania krawędzi spawanych, lecz styka się je poprostu ze sobą i w tym położeniu spawa. Aby przetopienie blach było dokładne na całej grubości, trzeba umożliwić dojście płomienia do głębszych warstw metalu, i w tym celu ścina się krawędzie na ukos, jak pokazano na rys. 4. W dolnej części krawędzi pozostają nieścięte, gdyż krawędzie ostre łatwo przetopiłyby się w płomieniu palnika i mogłyby powstać dziury, które trudno byłoby zapełnić metalem.

Ponieważ przy nagrzaniu aluminium przejście ze stanu stałego do płynnego odbywa się nagle, bez żadnych zewnętrznych oznak, przeto łatwo wytopić dziurę w szwie, szczególnie przy cienkich bla-

chach, jakich się używa np. do budowy zbiorników do samolotów. Pomimo wysokiej temperatury płomienia, a stosunkowo niskiej temperatury topliwości aluminium, dużo czasu upływa, zanim aluminium zaczyna się topić, a to z powodu wysokiej przewodności cieplnej. Tem łatwiej przeto wytopić dziurę, jeżeli spawacz nie jest doskonale wprawiony do tego rodzaju robót.



Rys. 4. Przygotowanie krawędzi łączonych przy spawaniu blach grubszych.

Nadzwyczaj ważne jest usunięcie po spawaniu wszelkich śladów proszków, gdyż proszki te mają własności wygryzania metalu w bardzo silnym stopniu. Niedokładne oczyszczenie z proszków jest przyczyną późniejszych wyżarów i pęknięć tak samego zbiornika, jak i wszelkich innych części, z którymi zbiornik jest połączony. Części dostępne mogą być oczyszczone ciepłą wodą i szczotką drucianą. Sama ciepła woda nie wystarcza, gdyż zbyt powoli rozpuszcza proszki; mechaniczne oczyszczenie jest w tym wypadku konieczne.

Części niedostępne, jak wewnątrz zbiornika, powinny być splókanie w sposób następujący. Cały zbiornik napełnia się 10-%owym roztworem kwasu azotowego lub siarkowego i pozostawia się go tak na 1/2 godziny. Należy dokładnie wypełnić cały zbiornik w celu uniknięcia powstania nalotów na blasze. Po półgodzinnym wytrawieniu kwasem należy dobrze wypłókać zbiornik czystą wodą, aby usunąć wszelkie ślady kwasu. W tym celu najlepiej wsunąć węża, doprowadzającego wodę do zbiornika przez otwór wlewowy, a inne otwory pozatykać; woda wypełniwszy zbiornik, wylewa się z powrotem przez ten otwór nazewnątrz. Tego rodzaju płókanie stałym strumieniem świeżej wody powinno trwać około godziny, aby mieć pewność, że ślady kwasu zostaną usunięte.

Potem zanurza się zbiornik na pół minuty w gorącym roztworze sody i znowu splókuje się go wodą.

Jeżeli powstaną na blasze ciemne plamy od sody, można je usunąć lekkim roztworem kwasu azotowego, a następnie znowu dobrze przepłókać wodą. Po tych zabiegach blacha zbiornika powinna być jasno błyszcząca, bez żadnych nalotów i plam.

Oczywiście, oczyszczenie z proszków pozostałych po spawaniu musi się ograniczyć do proszków przylegających do zewnętrznej powierzchni szwu. Proszki pozostające wewnątrz spoiny — pomijając to, że osłabiają spójność między łączonymi częściami — są niebezpieczne ze względu na swe wybitne własności gryzące. Jeżeli do takiego gniazda proszków wewnątrz spoiny przesiąknie płyn lub powietrze, następuje w bardzo szybkim czasie zniszczenie połączenia (rys. 5).

Ukryte tego rodzaju braki trudne są do skontrolowania. Dla sprawdzenia biegłości spawacza,

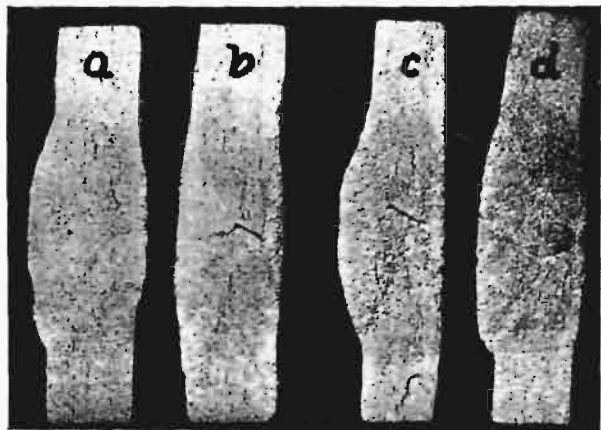
¹⁾ Spawanie i Cięcie Metali, 1930, zesz. 1.

należy dać mu wykonać próbki i zbadać przekroje. Aby uzewnętrznić braki spawania, dobrze jest wytrawić próbkę, szczególnie jeżeli wykonywa



Rys. 5. Gniazda z proszków ukryte wewnątrz metalu. Po zeszlifowaniu powierzchni spoiny (linia przerywana) powietrze dostało się do proszków i nastąpiła korozja.

się zbiorniki, które mają być odporne na działanie chemiczne cieczy. Na rys. 6 widzimy 4 próbki, poddane działaniu 50% kwasu azotowego w ciągu 4 tygodni⁵⁾. Na próbce *a* widzimy tylko drobne wyżarcia spoiny, wskazujące na pewną niewielką zawartość tlenków, naogół zaś spoina wykazuje dobrą strukturę, dlatego połączenie to należy uważać naogół za zadowalające. Na próbce *b* widać rysę, powstałą wskutek niedostatecznego stopienia się materiału; wskutek zapewne powłoki z tlenków, nastąpiło w tym miejscu tylko przyklejenie. Próbka *c* wskazuje również przyklejenie z jednej strony, a nałożony metal w zgrubieniu spoiny oddziela się wyraźnie od poprzednich warstw. Poniżej spoiny widać rysę w materiale na skutek naprężeń skurcznych. Próbka *d* wykazuje niedo-



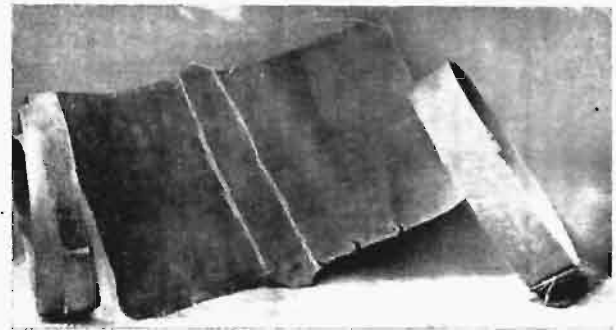
Rys. 6. Na przekrojach spoin, wykonanych na próbkach aluminiowych i poddanych długotrwałemu działaniu 50% kwasu azotowego, uzewnętrzniają się wyraźnie wszelkie braki spawania (objaśnienie w tekście).

stateczne użycie proszków, wskutek tego nie nastąpiło dokładne stopienie się materiału dodawa-

nego z metalem rodzimym. W dolnej części spoiny metal został tylko nalany, i niema żadnego połączenia, poprawiano spoinę z przeciwnej strony i dlatego ten błąd pozostałby w ukryciu. Jest to tembardziej niebezpieczne, że ta strona jest właśnie wewnętrzną stroną zbiornika.

Obróbka dobrze wykonanych połączeń spawanych nie nasuwa trudności. Spoinę można przekuwać, walcować, wyciągać, przytem materiał w spoinie równie dobrze się zachowuje, jak aluminium niespawane. Na rys. 7 widzimy spawaną blachę aluminiową, rozwalcowaną na grubość 2 razy mniejszą od grubości początkowej, bez żadnego pęknięcia⁶⁾.

Z powodu znacznie silniejszego kurczenia się aluminium niż żelaza — muszą być przedsięwzięte specjalne środki przy spawaniu blach aluminiowych, aby uniknąć powstawania naprężeń wewnętrznych i pęknięcia konstrukcji. Podczas spawania nagrzewa się tylko krawędzie łączone i część przedmiotu bezpośrednio przyległą do miejsca łączonego, i ta część przedmiotu tylko ulega skurczeniu, podczas gdy reszta przedmiotu pozostaje bez zmiany. Wskutek tego między częścią



Rys. 7. Blacha aluminiowa, rozwalcowana po spojeniu na grubość dwa razy mniejszą.

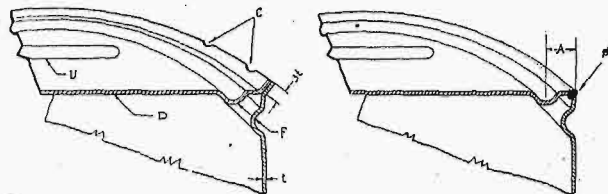
zimną, a częścią zastygającą muszą powstać naprężenia rozciągające, które powodują odkształcenia przedmiotu, lub pozostają ukryte wewnątrz materiału i powodują pęknięcia zaraz po spawaniu, lub później w czasie pracy przedmiotu. Naprężeń tych można uniknąć w ten sposób, że umożliwia się blachom spawanym swobodne kurczenie się po spawaniu.

Z drugiej strony, przy spawaniu przedmiotów o zawiłych kształtach, wymagających wielkiej dokładności wykonania, wicherzenie się części łączonych, na skutek nierównomiernego rozszerzania się i kurczenia przedmiotu w czasie spawania, jest bardzo niepożądane. Wypadek ten zachodzi np. w wybitnym stopniu przy spawaniu cienkich blach, dużych powierzchni, np. przy wyrobie zbiorników o płaskich, długich ściankach i t. p. Wyjście z tej trudnej sytuacji jest jedno: należy umożliwić skurcz i nie dopuścić do powstawania naprężeń, ale w ten sposób, aby te odkształcenia nie psuły dokładności kształtów przedmiotu. Zgóry przewidując odkształcenia, konstruktor przez odpowied-

⁵⁾ Das Schweissen von Aluminium, Der Autogen-Schweisser Nr. 1, 1931.

⁶⁾ Der Autogenschweisser, 1928, zesz. 3.

nie rozplanowanie spoin i zastosowania przyrządów przy spawaniu może tak niemi pokierować, aby zaznaczyły się tylko w miejscach zgóry przewidzianych, gdzie są nieszkodliwe. Np. jeżeli szew znajduje się blisko zaokrąglonego narożnika, blacha łatwo może się pociągnąć, zmieniając tylko nieco promień zaokrąglenia. Jeżeli takiego zaokrąglenia niema, należy je stworzyć sztucznie, jak to



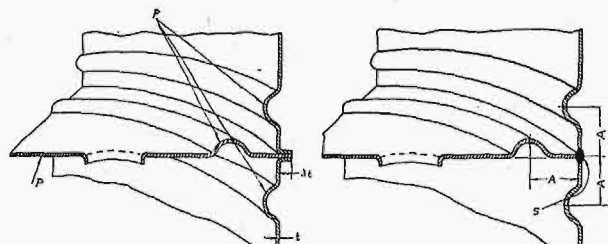
Rys. 8. Połączenie płaskiego dna do zbiornika. Na lewo — przed spawaniem, na prawo — po wykonaniu. C — punkty zczepiania, F — fałdy skurczone, U — fałda usztywniająca dno. A = 15 mm, przy t = 1 mm.

mamy na przykładzie spawania płaskiego dna zbiornika do benzyny dla samolotu (rys. 8).

Obok miejsca spawanego widzimy tu wygięcie, t. zw. fałdę skurczną, gdzie materiał może się swobodnie pociągnąć, nie odkształcając płaskiego dna.

W zbiornikach tych, które muszą być podzielone przegrodami na części, w celu usztywnienia i uniknięcia uderzeń płynu o ściany, specjalną trudność stanowi umocowanie tych płaskich przegródek. Jak widać z rys. 9, dno tu jest wpuszczone między dwie blachy ścianki bocznej i następnie wszystkie 3 krawędzie są jednocześnie stopione w ogniu palnika. Na każdej blasze, niedaleko spojenia, widzimy fałdy skurczone, które mają za zadanie pozwolić pociągnąć się blachom w czasie kurczenia się po spawaniu.

Ponieważ dzielenie bocznej ścianki na części podraża wykonanie zbiornika, zamocowywa się te przegrody również w inny sposób, jak widać z rys. 10. Przegrody te nie przechodzą nazewnątrz zbiornika, lecz mają wygięte krawędzie, które przylegają do ścian bocznych. Ponieważ od środka trudno byłoby je spawać, postępuje się tak, jak przy nitowaniu, t. j. wierci się otwory przez

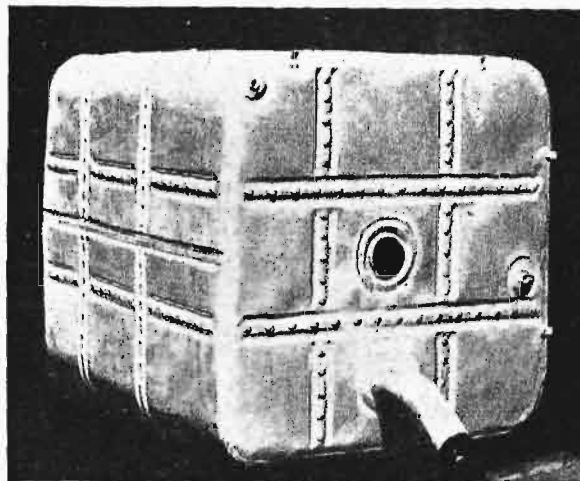


Rys. 9. Spawanie przegrody w zbiorniku samolotowym. P — przegroda, F — fałdy skurczone. Na lewo przed spawaniem, na prawo po spawaniu.

zagięte krawędzie przegrody i ściankę naczynia i w te otwory wbija się czopki aluminiowe, ale zamiast je nitować, rozbija się je tylko lekko młotkiem, aby nie wypadły, i przypawa się czopki do blachy. Po spawaniu, czopki te wyglądają nazeewnątrz jak łebki nitów, z tą różnicą, że tu mamy

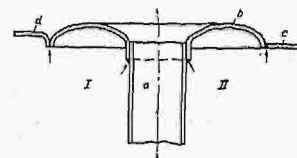
szczelność zupełną, której przy nitowaniu osiągnąć nie można⁷⁾.

Przy łączeniu armatury z gładką powierzchnią zbiornika należy również wygiąć blachę falisto naokoło otworu w zbiorniku, jak na rys. 10.



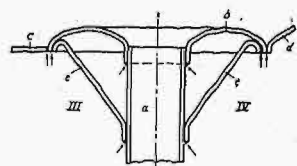
Rys. 10. Zbiornik samolotowy na benzynę, wykonany z blach aluminiowych.

Konstrukcję specjalnie obmyśloną w celu uniknięcia naprężeń szkodliwych przedstawia rys. 11, gdzie idzie o połączenia rury ze zbiornikiem o ściankach płaskich.



Rys 11.

Połączenia sprężyste rury ze zbiornikiem, umożliwiające swobodny skurcz przy spawaniu.



Widzimy tu 4 różne rozwiązania⁸⁾. Tęgo rodzaju konstrukcje podrażają wyrób, natomiast ułatwiają znacznie samo spawanie, usuwając bardzo poważne źródło niepowodzeń, jakim są naprężenia szkodliwe.

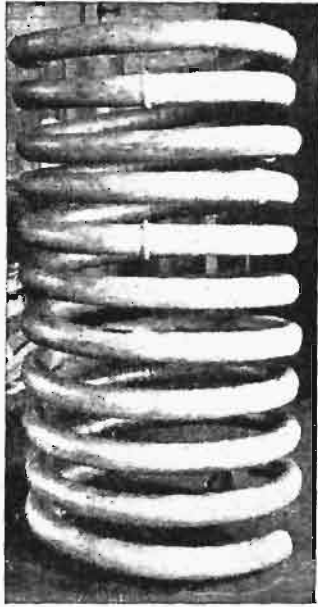
Przykład łączenia cienkich rur ze sobą widzimy na rys. 12, przedstawiającym węzownię aparatu dystylacyjnego. Aby uniknąć możliwości przetopienia cienkiej ścianki rury, co na powierzchni okrągłej łatwiej mogłoby się zdarzyć, nie stosowano tu spawania na styk, lecz wsadzano końce rur jeden w drugi i koniec zewnętrznej rury łączono z powierzchnią rury wewnętrznej za pomocą szwu krawędziowego.

Radykalnym sposobem zmniejszenia naprężeń powstających po spawaniu jest nagrzanie całego przedmiotu przed spawaniem. Nagrzanie to musi odbywać się powoli i równomiernie, a po nagrzanu cały przedmiot powinno się przykryć azbestem, pozostawiając odkrytym tylko wąski pas wzdłuż szeliny spawanej. Podgrzewanie, jako

⁷⁾ Welding Engineer, październik 1928.

⁸⁾ Patent f-my Bondy z Pragi.

zbyt kosztowne, stosuje się przy spawaniu blach tylko wyjątkowo, jeżeli z kształtów przedmiotu spawanego przewiduje się, że naprężenia szkodliwe mogą powstać w nadmiernej wielkości.



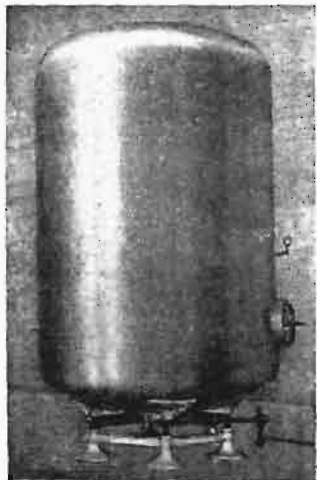
Rys. 12.
Wężownica spawana z rur aluminiowych.

Dzięki swej dość dużej odporności na działanie chemiczne, aluminium często stosuje się do wyrobu aparatury chemicznej.

Rys. 13 przedstawia zbiornik⁹⁾ o wysokości 3,1 m, \varnothing 1,6 m z blachy 5 mm grub., który służy do magazynowania piwa (wykonany w Belgji). Po zeszlifowaniu spoin na gładko, trudno na takim zbiorniku wykryć miejsca, gdzie blachy zostały połączone.

Jednym z najbardziej interesujących przykładów zastosowania lekkich stopów w przemyśle, z punktu widzenia spawania, jest wyrób mebli aluminiowych¹⁰⁾ całkowicie spawanych (rys. 14).

Konieczność uniknięcia najmniejszych choćby zwirzeń i nierówności ze względu na estetyczny



Rys. 13.

Zbiornik aluminiowy do piwa, wysok. 3100 mm, średnicy 1600 mm, grub. blachy 5 mm, waga 175 kg, wykonany zapomocą spawania.

wygląd wyrobu, była zagadnieniem specjalnie trudnym do rozwiązania, wobec zawiłych często kształtów łączonych części. Przewycięzenie tych trudności przez przemysł amerykański, gdzie wyrób mebli spawanych jest nadzwyczaj rozwinięty, wskazuje najlepiej, jak wysoko stoi dzisiaj technika spawania aluminium.

Amerykanie najchętniej stosują do spawania aluminium drut o zawartości 95% Al i 5% Si. Do-

mieszka krzemu wywołuje mniejsze kurczenie się spoiny i większą jej wytrzymałość na naprężenia szkodliwe. Wyjaśnienie tego zjawiska znajdujemy poniżej, przy opisie spawania siluminu.

Spawanie odlewów aluminiowych.

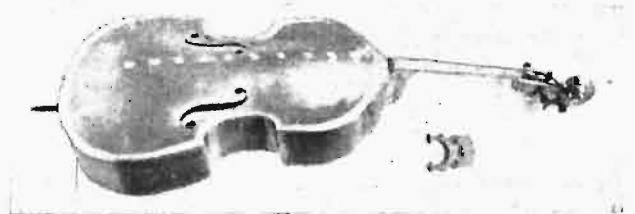
Z lekkich stopów aluminiowych, które stosuje się w postaci odlewów, najbardziej używane są:



Rys. 14. Meble aluminiowe — wyrób amerykański.

t. zw. stop amerykański, będący stopem glinu z 8—12% Cu, stop t. zw. niemiecki o zawartości 10% Zn i 2% Cu, oraz silumin, zawierający 13% Si.

Ze stopów tych najlepiej spawa się silumin, jak to widać choćby z powierzchniowego wyglądu spoin, wykonanych na płytkach odlanych w piasku (rys. 16). Wytłómaczenie tego zjawiska znajdujemy w strukturze tych stopów¹¹⁾. Przy krzepnięciu stopu amerykańskiego wydziela się naprzód mieszanina kryształów Al i Cu, podczas gdy



Rys. 15. Skrzypce aluminiowe, wykonane całkowicie zapomocą spawania.

eutektyczna mieszanina tych metali z glinikiem miedzi (Al₂Cu) pozostaje płynna i otacza kryształy w kształcie błonki. Przy krzepnięciu więc, gdy metal się kurczy, spójność między kryształami metalu jest słaba i stop łatwo pęka. Ten sam obraz mamy w niemieckim stopie, gdzie wykrystalizowane kryształy glinu otoczone są mieszaniną eutektyczną, o niższym punkcie topliwości. Natomiast silumin, jako mieszanina prawie eutektyczna, tężeje jednocześnie w całej masie, niema miejsc słabszych. Nieliczne kryształy aluminium, które się wydzielają z masy eutektycznej, są oto-

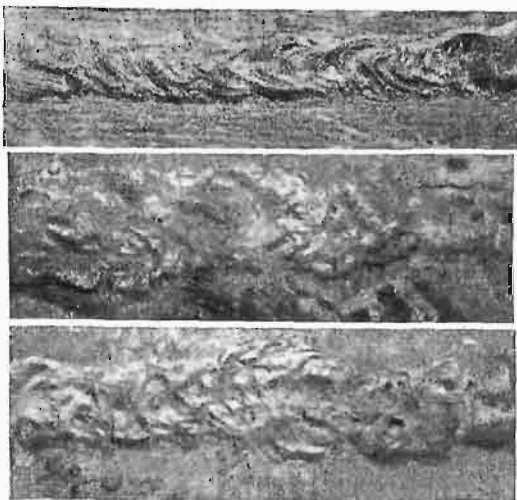
⁹⁾ Le Soudeur-Coupeur, 1929, zes. 8.

¹⁰⁾ A. D. Camp. The Making of Aluminium Furniture. The Welding Engineer, maj 1928.

¹¹⁾ Dr. E. Scheuer. Die Schweißbarkeit der Aluminium-Legierungen in Abhängigkeit von Legierungstypus. Schmelzschweißung, 1930, zes. 8.

czone zwartą masą drobnoziarnistą mieszaniny Al i Si, co widać wyraźnie na rys. 17.

Zmiany, które przechodzą stopy przy krzepnięciu w czasie spawania, zilustrowane są na rys. 18, gdzie niebezpieczna sfera wydzielenia się kryształów stałych ze stopu amerykańskiego wy-

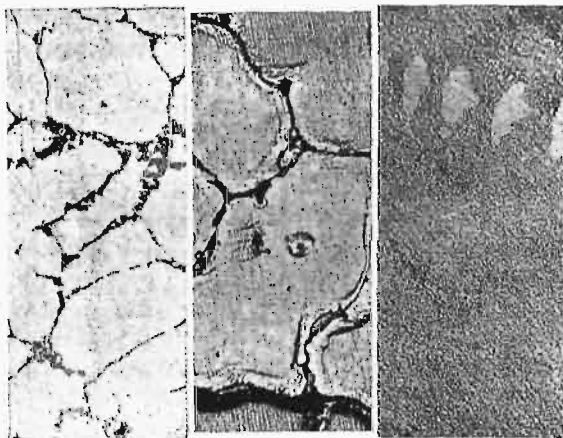


Rys. 16. Wygląd zewnętrzny spoin wykonanych na płytach odlanych ze stopu amerykańskiego (u dołu), niemieckiego (w środku) i siluminu (u góry).

nosi około 100° , dla stopu niemieckiego — nawet 150° , dla siluminu zaś jest znikoma.

Na rys. 19 widzimy przykład małej odporności stopu niemieckiego na naprężenia z powodu skurczu po spawaniu.

Wnioski wyprowadzone z powyższych badań zostały potwierdzone przez badania wytrzymałościowe. Wskazują one najwłaściwszą drogę, jaką trzeba obrać przy rozwiązywaniu zagadnień spawalności nowych stopów. Jak widać z powyższego, domieszka krzemu ma dobry wpływ na spa-

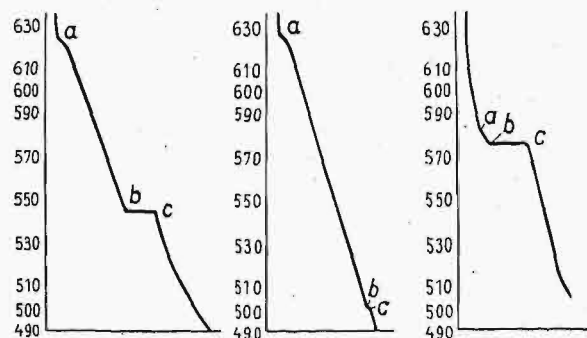


Rys. 17. Od lewej strony ku prawej: struktura stopów amerykańskiego, niemieckiego i siluminu.

walność aluminium i lekkich stopów i tu mamy wytłomaczenie, dlatego polecane przez praktykę amerykańską stosowanie pałeczek o zawartości 5% krzemu do spawania różnych stopów aluminiowych jest istotnie korzystne i zabezpiecza spoinę od pęknięcia w czasie spawania.

Próbki spawane przez firmę „Perun” z Warszawy i poddane badaniom w Instytucie Badań Technicznych Lotnictwa, wykonane ze stopu stosowanego na tłoki, zawierały ok. 15% Cu, 1% Mn — reszta Al, a więc były zbliżone własnościami do opisywanego wyżej stopu t. zw. amerykańskiego.

Próbki te, które w wymiarach nieco zmniejszonych widzimy na rys. 20, miały przekrój $10 \times$



Rys. 18. Krzywe krzepnięcia stopów amerykańskiego i niemieckiego oraz siluminu (od lewej ku prawej).

5 mm. Przeciętna wytrzymałość tych próbek wyniosła ok. 75% wytrzymałości próbek niespawanych.



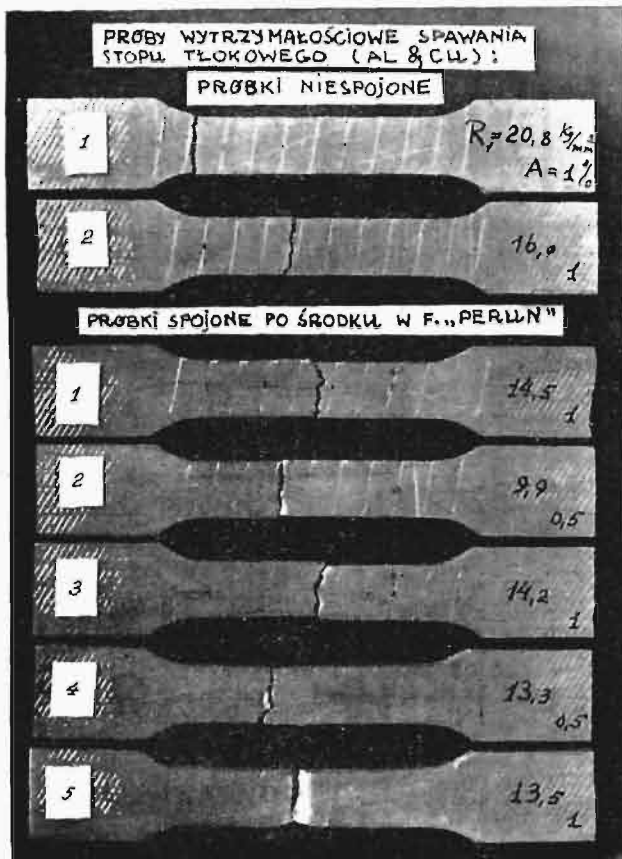
Rys. 19. Typowe pęknięcie niemieckiego stopu (odlew) na skutek naprężeń skurcznych. Na prawo u dołu miejsce spawane, na lewo rysa a.

Próbki 1, 3 i 5, które zerwały się w spoinie, wykazały większą wytrzymałość, niż próbki 2 i 4, zerwane poza spoiną. Należy przypuszczać, że w tych miejscach, pod wpływem płomienia, nastąpiły zmiany w budowie krystalicznej stopu, które osłabiły jego wytrzymałość. Te niekorzystne zmiany struktury obok spoiny charakteryzują się również małym wydłużeniem (0,5%), podczas gdy wydłużenie próbek pękniętych w spoinie jest równe wydłużeniu stopu niespawanego.

Naprawa odlewów aluminiowych.

Ze spawaniem odlewów najwięcej ma się do czynienia w praktyce przy naprawie pękniętych części maszyn. Przed spawaniem należy dobrze oczyścić pęknięte miejsca ze wszelkich śladów brudu i przy pomocy odpowiednich zacisków zamocować obie części łączone we właściwym położeniu. Tylko przy grubszych sztukach potrzebne jest ukosowanie krawędzi. Większe odlewy trzeba podgrzewać przy spawaniu, najlepiej zapomocą węgla drzewnego, co się zwykle czyni na ognisku ad hoc przygotowanym. Nagrzewać należy

powoli, aby uniknąć nierównomiernego rozszerzania się części przedmiotu o różnej grubości. W przeciwieństwie do spawania odlewów żeliwnych, gdzie pałeczka topi się w kąpielii płynnego metalu, tu należy topić ją palnikiem. Proszków oczyszczających używa się podobnie, jak przy spawaniu blach. Gdy stopi się kilka kropel z końca pałeczki, należy końcem pałeczki wymieszać metal, aby metal dobrze się połączył i żużel oraz gazy mogły wypłynąć na powierzchnię. Trzeba się starać, aby przetopienie metalu odbyło się nawskroś na całej grubości. Po spawaniu należy okryć cały przedmiot żarzącym się węglem i w celu ochrony przed przeciągiem powietrza otulić go osłoną z azbestu, aby ostygł powoli. Natychmiast po ostygnięciu należy usunąć ślady proszku tak, jak



Rys. 20. Próby wytrzymałości spawania stopu tłokowego, wykonane przez f. Perun.

to było opisywane przy spawaniu blach. Najlepiej jest zrobić spoinę grubszą i nadmiar metalu usunąć ostrym ścinakiem, a następnie wygładzić spoinę szlifierką. W ten sposób proszki, które mogą się znajdować blisko powierzchni, zostają usunięte. Dobrze jest również wymłotkować spoinę przed oszlifowaniem, gdyż w ten sposób można usunąć w pewnej mierze naprężenia szkodliwe, które mogły pozostać w spoinie, jak również ulepszyć strukturę i osiągnąć zamknięcie się por na powierzchni, które mogłyby ułatwić korozję metalu.

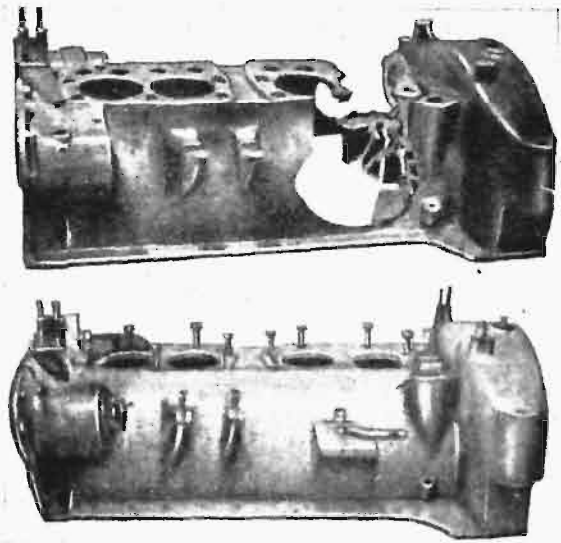
Przy spawaniu odlewów, gdzie chodzi głównie o szczelność, a nie wytrzymałość, można stosować z powodzeniem lutowanie, które również wyko-

nywa się zapomocą palnika acetylenowego. Wobec słabego nagrzewania przedmiotu przy lutowaniu, niema niebezpieczeństwa, aby mogły powstać naprężenia wewnętrzne.

Na rys. 21 widzimy karter samochodowy¹²⁾ bardzo silnie uszkodzony, przed naprawą i po naprawie. Przy spawaniu bardzo skomplikowanych pęknięć trzeba czasem kilka razy podgrzewać odlew. Spawalnice, które mają dużo tego rodzaju robot, mają specjalne piece, opalane ropą lub gazem, gdzie podgrzewanie może się odbywać znacznie ekonomiczniej, niż na improwizowanym ognisku. Po wyjęciu z pieca, należy dokładnie otulić przedmiot, a po spawaniu wstawić go zpowrotem do pieca, gdzie przedmiot stygnie powoli.

Rys. 22 obrazuje naprawę pokryw¹³⁾ o średnicy 1400 mm, grubości 20 mm. Kształt okrągły odlewu ułatwia tu równomierne rozszerzanie się i kurczenie, dlatego obyło się tu bez grzania na ognisku. Aby jednak uniknąć nagłego wzrostu temperatury w miejscu spawanym, drugi robotnik podgrzewa lampą ropową miejsce pęknięcie, a za nim dopiero posuwa się spawacz. Krawędzie pęknięcia były tu zukosowane, wobec dużej grubości odlewu.

Duże zastosowanie znajduje spawanie przy usuwaniu wszelkiego rodzaju braków odlewni-



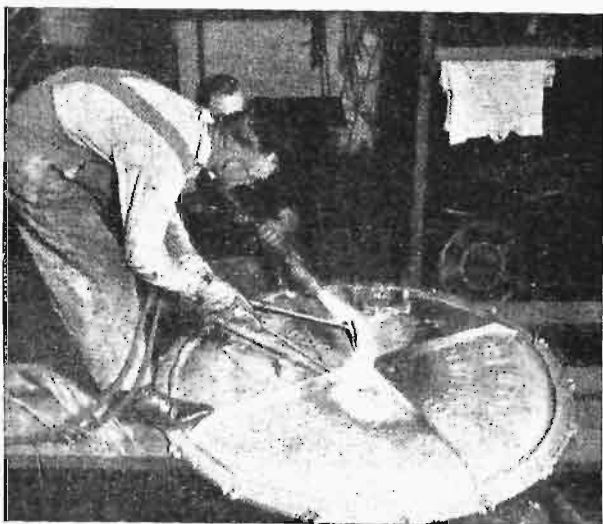
Rys. 21. Karter aluminiowy silnika samochodowego przed naprawą i po naprawie.

czych, jak np. zalewaniu pęcherzy i por, dopełnianiu metalu w miejscach, gdzie metal niedostatecznie wypełnił formę i t. p. W tym wypadku należy bardzo dokładnie oczyścić miejsce spawane z błonki odlewniczej, aż do czystego, błyszczącego metalu i dopiero wtedy można spawać, przytem dobrze jest podgrzewać przedmiot nieco wokół miejsca spawanego. Pałeczki metalu dodatkowego, którym wypełnia się pęcherze, powinny mieć ten sam skład, co odlew naprawiany. Przy odle-

¹²⁾ Revue de la Soudure Autogène, marzec, 1930.

¹³⁾ The Acetylene Journal, lipiec 1929.

wach o kształtach skomplikowanych i gdy spawania jest dużo, lepiej jest używać pałeczki z do-



Rys. 22. Spawanie pokrywy z lanego aluminium o średnicy 1400 mm, z podgrzewaniem zapomocą lampy ropowej.

mieszką krzemu, ze względu na naprężenia, które mogą powstać w spoinie.

Spawanie stopów magnezu ⁽¹⁾.

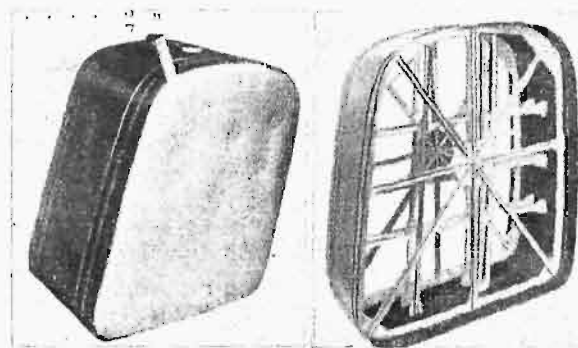
Trudności spawania stopów magnezu, znanych pod nazwą elektronu, zależą od ich składu. Nadzwyczaj łatwe utlenianie się magnezu jest powodem, że te stopy spawają się znacznie trudniej niż stopy aluminium. Elektron, zawierający mało aluminium i cynku, a większą domieszkę manganu, spawa się najlepiej. Przygotowanie krawędzi do spawania odbywa się w identyczny sposób, jak przy spawaniu aluminium, to jest po bardzo starannym oczyszczeniu mechanicznym i chemicznym cienkie blachy (do 1 mm grub.) zagina się, a grubsze blachy spawa się na styk. Proszki oczyszczające stosuje się podobnie, jak przy spawaniu aluminium. Dobre wyniki daje mieszanina następująca:

45% chlorku potasu, 30% chlorku sodu, 15% chlorku litu, 7% fluorku potasu i 3% dwusiarczku potasu. Proszek ten należy zmieszać z wodą w stosunku 1:1 i otrzymaną pastą posmarować krawędzie łączone i drut. Jako materiału dodatkowego, używa się drutu lub cienkich pasków

⁽¹⁾ Hans A. Horn, Schweisstechnische Streifzüge Mitteilungen aus den Lehr- und Versuchswerkstätten für Schweisstechnik in Berlin. Die Schmelzschweissung 1930, zes. 6.

wyciętych z blachy, o składzie takim samym, jak spawany stop.

Spawać należy słabszym płomieniem niż aluminium tej samej grubości, trzymając palnik ukośnie, pod kątem 30°, aby nie spalić metalu. Po



Rys. 23. Zbiornik do samolotu, wykonany z elektronu zapomocą spawania, o pojemności 1000 litrów,

spawaniu należy bardzo starannie usunąć wszelkie ślady proszków, przez opiłowanie spoiny i oczyszczenie jej na drodze chemicznej.

Przy spawaniu części różnej grubości, grubszą część należy podgrzewać przed spawaniem. Jeżeli po spawaniu blachy zwichrzą się i trzeba je prostować, należy je przedtem podgrzać do temperatury 250—300° i wygładzić blachy młotkiem drewnianym.

Na rys. 23 zilustrowany jest zbiornik na benzynę dla samolotu, objętości 1000 l. Z prawej strony widać usztywnienia wewnętrzne, przypawane do ramek poprzecznych i wprost do ścianek zbiornika.

Na tem kończymy przegląd lekkich stopów pod względem spawalności.

Spawalność berylu.

Na zakończenie należy powiedzieć kilka słów o spawalności berylu, w którym metalurgia lekkich metali pokłada tak wielkie nadzieje. Wobec tego, że małe domieszki berylu nadzwyczaj podnoszą wytrzymałość miedzi i bronzów, przy jednoczesnym podwyższeniu przewodności elektrycznej, zastosowanie stopów zawierających beryl niewątpliwie się rozpowszechni. Zachodzi tedy pytanie, czy, wobec nadzwyczaj silnego powinowactwa berylu do tlenu, stopy berylu będą dobrze spawalne. Badania przeprowadzone w berlińskim Instytucie Badań Technicznych Spawania ⁽¹⁾ wykazały, że stopy miedzi z berylem spawają się łatwo, dając spoinę wolną od tlenków i bez por.

Lekkie stopy odlewnicze, stosowane w lotnictwie^{*)}.

Napisał Inżynier-metalurg E. Perchorowicz.

Rozwój i postęp w budowie silników lotniczych jest ściśle związany z udoskonaleniem własności stopów lekkich. W tym kierunku dokonano w ostatnich latach bardzo poważnych prac. Wzrost produkcji silników i aluminium znajdują się w ściślejszej łączności.

Szerokie zastosowanie w tej dziedzinie zawdzięczają stopy lekkie swoim własnościom, jakie są szczególnie ważne przy pracy silnika. Należy podkreślić zasadniczą różnicę, jaka zachodzi przy budowie silników lotniczych, a jakichkolwiek innych. Czynnikiem handlowym, ściślej mówiąc, kosztami produkcji, bardzo często grające w fabrykacji główną rolę i decydujące o zastosowaniu tego lub innego materiału przy budowie silników lotniczych schodzi na plan drugi. Na pierwszy bowiem plan wysuwają się bezpieczeństwo i pewność konstrukcji. Zresztą i te większe koszty produkcji znacznie obniżają się, jeżeli uwzględnić zmniejszenie kosztów eksploatacji, jakie osiągamy dzięki zastosowaniu lekkich stopów.

Główną zaletą stopów lekkich z punktu widzenia lotnictwa jest ich niski ciężar właściwy w porównaniu ze stopami ciężkimi, przy jednakowych albo zbliżonych własnościach wytrzymałościowych. Ciężar właściwy stopów aluminiowych, wynoszący od 2,6 do 3,0, oraz stopów magnezowych — od 1,7 do 2,0, daje możliwość znacznego obniżenia ciężaru silnika. Dzięki zastosowaniu stopów aluminiowych na dające się wykonać z nich części silnika, można osiągnąć zmniejszenie ciężaru do ok. 35—40%, zaś zastępując te części stopami magnezowymi oszczędzić można jeszcze 15—30%. O ile w starszych silnikach ciężar w stosunku do jednego KM wynosił do 2,2 kg, a nawet więcej, w nowszych, dzięki zastosowaniu lekkich stopów, spadł przeciętnie do 1,2—0,7 kg na KM, a nawet jeszcze niżej. Zmniejszenie zaś ciężaru jednostki napędowej daje bardzo poważne zalety przy pracy silnika: wymagana jest mniejsza moc silnika, względnie samolot może być więcej obciążony użytecznie, nadto uzyskuje się szereg korzyści przy startowaniu i lądowaniu oraz mniejsze zużycie części silnika, wreszcie ułatwia kierowanie silnikiem (np. przy zmianie szybkości) i t. d.

Stopy lekkie posiadają wysokie przewodnictwo cieplne, mianowicie prawie 3-krotnie większe od przewodnictwa cieplnego żeliwa, przyczem przewodnictwo cieplne stopów lekkich rośnie ze wzrostem temperatury, gdy przy innych stopach obniża się. Stopy aluminiowe posiadają przewodnictwo od 0,31 do 0,40 Kal'c.s.^oC, magnezowe

0,32—0,38 Kal'c.s.^oC, żeliwo zaś 0,14. Temu właśnie wysokiemu przewodnictwu cieplnemu zawdzięczają stopy lekkie zastosowanie w wielu wypadkach, gdyż inne stopy nie mogą być użyte. Zachodzi to w częściach pracujących w wysokich temperaturach, gdzie dobre odprowadzenie ciepła decyduje o pracy silnika. Szczególnie ważne jest to przy silnikach, chłodzonych powietrzem, które zawdzięczają swój rozwój tylko stopom lekkim o wysokim przewodnictwie cieplnym. Takimi częściami, narażonymi na działanie wyższych temperatur, są tłoki i głowice cylindrów.

Przy pracy tłoków, poważną rolę odgrywają własności antyfrakcyjne, czemu w zupełności odpowiadać pewne stopy aluminiowe. Dobry stop antyfrakcyjny powinien posiadać miękkie tło z wtrąceniami twardych kryształów. Taką budowę mają stopy aluminium z krzemem oraz stopy aluminium z miedzią o znacznej zawartości miedzi. Stopy te wykazują również i odpowiednią twardość, wymaganą od tłoków.

W stosunku do stopów odlewniczych, stosowanych w lotnictwie, odporność na korozję ma bezwzględnie mniejsze znaczenie, aniżeli dla części ze stopów walcowanych, lecz w żadnym wypadku pomijać jej i tu nie można. Stopy aluminiowe i magnezowe odpowiadają w zupełności tym wszystkim warunkom, jakie są pod tym względem stawiane. Na najwięcej narażone na korozję części wodnopłatowców używa się stopów takich, jak KSSeewasser i im podobne.

Jako zaletę stopów lekkich, trzeba jeszcze podkreślić ich dobrą obrabialność, tak ważną dla warsztatów mechanicznych.

Przy tych wszystkich dobrych stronach, stopy lekkie posiadają również strony ujemne. Duży współczynnik rozszerzalności nastęrcza poważne trudności i zmusza częstokroć do stosowania specjalnych kształtów przy konstruowaniu niektórych części silnika, aby zmniejszyć i unieszkodliwić ten wpływ. Drugą ich wadą jest znaczny spadek własności mechanicznych ze wzrostem temperatury. Jedynie niektóre stopy odznaczają się stosunkowo wyższą wytrzymałością w tych temperaturach. Na przeszkodzie jeszcze dalszych zastosowań stopów lekkich w lotnictwie stoi ich niski punkt topliwości. Pod tym względem wyjątek stanowi beryl, o temperaturze topliwości ok. 1300°C; niestety jednak praktycznego zastosowania stopy tego metalu jeszcze nie mają.

Odelewy użyte na silnik lotniczy muszą bezwzględnie posiadać jaknajlepsze własności fizyczne i mechaniczne. Muszą być „zdrowe”, bez wewnętrznych dziur i por, ściśle, bez wciągnięć, nakłuc, nadpęknięć i t. p. wad odlewniczych. Ściśle

*) Referat, opracowany na V Zjazd Inż. Mechaników w r. b. w Warszawie.

badanie odlewów pod tym względem jest trudne, nader pomocniczymi mogą być tu badania rentgenograficzne. Dobierając odpowiednio stopy lekkie, możemy prawie pod każdym względem osiągnąć wymagane własności wytrzymałościowe. Jedynie granicę zmęczenia oraz granicę sprężystości posiadają stopy lekkie zbyt niskie, na co konstruktor musi zwracać szczególną uwagę. Niska twardość utrudnia często obróbkę mechaniczną, co musi być też uwzględniane przy wyborze stopów.

Dokładne badania składu chemicznego powinny być prowadzone ciągle. Ścisłe utrzymywanie ustalonych granic zawartości składników jest konieczne, gdyż nieznaczne odchylenia mogą wywołać skutki niepożądane. Obecność magnezu w stopach glin-miedź uniemożliwia właściwe przeprowadzenie obróbki termicznej; obecność żelaza, cynku i niektórych innych domieszek utrudnia, albo i uniemożliwia, modyfikację alpaksu. Analiza materiałów surowych i stopów gotowych jest jedną z rękomai dobroci odlewów.

Badania metalograficzne, prowadzone łącznie z badaniami wytrzymałościowymi i chemicznymi, dają b. cenne wskazówki. Tą drogą możemy nie tylko skontrolować postępowanie przy wykonaniu odlewów, lecz również sprawdzić, czy należy jest przeprowadzona obróbka termiczna, oraz ustalić obecność zanieczyszczeń, względnie składników szkodliwych w stopie.

Z lekkich stopów odlewniczych, najwięcej stosowanych w lotnictwie, należy wymienić stopy aluminium z miedzią o dość szerokiej rozpiętości zawartości miedzi. Mianowicie: używa się stopów o zawartości miedzi od 3 do 5%, od 6 do 8%, od 8 do 10—12%, oraz stopy o wyższej zawartości miedzi, specjalnie na tłoki. Stopy te odznaczają się dobrymi własnościami wytrzymałościowymi, tak w temperaturach normalnych, jak i w wyższych. Wadą natomiast jest zdolność do tworzenia por, z czym w odlewniach wypada walczyć b. poważnie; powyższą cechą powoduje zbyt szeroki zakres krzepnięcia tych stopów, wynoszący prawie 100%. Naogół stopy aluminium z miedzią, ogólnie znane jako stopy amerykańskie, dają się odlewać, zarówno w piasku, jak i w kokilach. Stosując odpowiednią obróbkę termiczną, możemy znacznie ulepszyć ich własności wytrzymałościowe. Polega ona na różnicy w rozpuszczalności miedzi w aluminium w temperaturach topienia eutektyki, a w temperaturze normalnej, która to rozpuszczalność spada z 5,5% (przy 545°C) do 0,3% (przy 20°C). Przez odpowiednie długie wygrzewanie w temperaturach około 500°C, następnie szybkie studzenie i ostateczne poddawanie starzeniu się w temperaturach 100—200°C, przeprowadzamy do roztworu stałego całkowicie albo częściowo miedź, a tem samem zmieniamy własności stopów. Ze względu na ścisłą zależność przebiegu tego procesu od ilości obecnych zanieczyszczeń, należy dążyć do utrzymania ich w możliwie niskich granicach. Zwłaszcza szkodliwe w tych stopach są domieszki żelaza, magnezu, cynku i t. d. Jako przykład własności mechanicznych stopu aluminium z 4% miedzi, mogą posłużyć nast. dane:

	R kg/mm ²	A%	C%	B kg/mm ²
Próbki odlane w piasku, nieuszlachetnione	14	4	3	50
" " " uszlachetnione	21	7	6,5	67
" " w kokili, nieuszlachetnione	17	5	4,5	55
" " " uszlachetnione	26	11	10	75

Stopy o wyższej zawartości miedzi są bardziej kruche i z tego względu mogą być stosowane w lotnictwie z pewną ostrożnością. Pod względem wytrzymałości na rozciąganie i wydłużenia różnią się te stopy nieznacznie, jedynie wzrasta ich twardość, którą możemy pozatem jeszcze podnieść przez odpowiednią obróbkę termiczną.

Stopy z 6—8% Cu przy $R > 14$ kg/mm² i $A (\times 4) = 3\%$ posiadają twardość od 45—70 kg/mm² (ostatnie liczby odnoszą się do odlewów kokilowych) w stanie surowym i 70, aż do 100 — po uszlachetnieniu. Twardość zaś stopów o 8—12% Cu dochodzi do 95, a po hartowaniu do 125 kg/mm².

Ciążar właściwy tych stopów waha się od 2,75 do 2,83. Przewodność cieplna — od 0,30 do 0,40 Kal/c.s.°C, czem ustępują niektórym innym stopom. Rozszerzalność cieplna 21—27.10⁻⁶. Stopy te posiadają stosunkowo małą odporność na korozję.

Szerokie zastosowanie posiada również stop aluminium z krzemem, al p a k s - i l u m i n, o zawartości krzemu 10—14%. Stop ten odznacza się niskim ciężarem właściwym (2,5—2,65), jego rozszerzalność cieplna równa się 22×10^{-6} , przewodność cieplna 0,38 Kal/c.s.°C. Dobrych własności wytrzymałościowych nabywa ten stop dopiero po wykonaniu t. zw. modyfikacji, poprzedzającej odlew. Od właściwego przeprowadzenia powyższego procesu zależą wyłącznie dobre wyniki wykonania odlewu. Pod względem odlewniczym, alpaks, poza modyfikacją, nie nastęrcza trudności. Odlew otrzymuje się ściśły, bez por i wciągnięć. Własności wytrzymałościowe stopu są następujące:

	R kg/mm ²	A% (×4)	B kg/mm ²
Stop normalny	15—20	1—3	50—60
" modyfikowany	18—23	5—10	50—60

Wadą alpaksu jest jego niska twardość, utrudniająca obróbkę mechaniczną, oraz niska granica sprężystości (około 3 kg/mm²), co budzi często poważne wątpliwości co do stosowania alpaksu. Pewne polepszenie jej osiąga się przez wprowadzenie do stopu dodatków specjalnych, głównie miedzi. Ważną zaletą alpaksu jest jego wysoka odporność na korozję oraz dobre własności anty-frykcyjne.

Ze stopów wieloskładnikowych, najwięcej bodaj rozpowszechnionym jest stop angielski „Y”, który od pewnego czasu zaczyna wypierać grupę stopów RR. Stop „Y” zawiera Cu 3,5—4,5%, Ni 1,5—2,5%, Mg 1,25—1,75%, reszta Al. Przy stosunkowo niedużym ciężarze właściwym, wynoszącym około 2,8 posiada ten stop wysoką przewodność cieplną, wynoszącą 0,40—0,41 Kal/c.s.°C w zakresie 100—300°C; to ostatnie właśnie, łącznie z dobrymi jeszcze własnościami

wytrzymałościowymi w tych samych temperaturach, umożliwia stosowanie tego stopu na odpowiedzialne części, pracujące w wyższych temperaturach, jak głowice cylindrów i t. p. Stop „Y” poddaje się obróbce termicznej, polegającej na hartowaniu od temp. 500—540° w wodzie, oleju albo na powietrzu i następnym starzeniu się, bądź to w temperaturach pokojowych, bądź w temp. 150—250°C.

Warunki wytrzymałościowe stopu „Y” są następujące:

	R kg/mm ²	A ₀ (×4)	B kg/mm ²
Odlew piaskowy nieuszlachetniony	17,5	0,5	80
„ „ uszlachetniony	25,0	1,5	100
„ kokilowy nieuszlachetniony	22,0	1,5	85
„ „ uszlachetniony	31,5	3,0	105

Granice sprężystości, plastyczności, wytrzymałość na rozciąganie i twardość posiada stop „Y” wyższe od innych stopów aluminiowych. Ustępuje jedynie pod względem udarności alpaksowi, jak również posiada niższą ciągliwość od innych stopów.

Stop „Y” daje się dość trudno odlewać w porównaniu z innymi stopami. Jest on gęstopłynny, ma skłonność do tworzenia por i dziur. Wymaga dokładności, zarówno przy topieniu stopu, jak i przy odlewaniu. Również obróbka termiczna musi być dokładnie kontrolowana. Odporność na korozję jest niska.

Nowym stopem, a raczej grupą stopów, jakie rozpowszechniają się obecnie w szybkim tempie, są t. zw. stopy RR. Na odlewy stosuje się stop RR Nr. 50 o następującym przeciętnym składzie chemicznym: Cu = 1,3%, Ni = 1,3%, Mg = 0,1%, Fe = 1%, Ti = 0,2%, Si = 2,2%, Al — reszta. Ten stop posiada wiele cech podobnych do stopu „Y”: prawie równy ciężar właściwy, przewodność cieplną, rozszerzalność, dobre własności wytrzymałościowe w temperaturach normalnych i wyższych (do 300°C). Trzeba podkreślić jego odporność na zmęczenie oraz wysoką sprężystość. Pod względem odlewniczym nie nastręcza większych trudności, dobrze wypełnia formy i nie ma skłonności do pęknięć, nawet w przejściach od cieńszych przekrojów do grubszych, bez stosowania chłodziaków. Trudniejsze jest wytapianie samego stopu, gdyż muszą być doprowadzone trudnotopliwe składniki, jak tytan, nikiel, krzem. Muszą być stosowane zaprawy, których wyrób jest też trudny.

RR 50 poddaje się obróbce termicznej bardzo nieskomplikowanej, mianowicie wyżarzaniu w ciągu 8—20 godzin w temperaturze 155—170°C i następnemu studzeniu w wodzie, oleju lub na powietrzu. Wpływ takiej obróbki jest bezwzględnie nieznaczący, jak to widać z następujących danych:

	R kg/mm ²	A ₀ (×4)	C ₀	B kg/mm ²
Odlew piaskowy nieuszlachetn.	16—17,5	4	8	65
„ „ uszlachetn.	17,5	3	5	72
„ kokilowy nieuszlachetn.	22—23,5	7—10	12	72
„ „ uszlachetn.	25	4—8	10	80

Powyższe własności wytrzymałościowe są naogół trudno osiągalne, zwłaszcza co do wydłużenia i przewężenia.

Z innych stopów, mających zastosowanie w lotnictwie, należą podkreślić: K S S e e w a s s e r o składzie Mn = 2,5%, Mg = 2,25%, Sb = 0,2%, Al — reszta, jako stop o dobrych własnościach wytrzymałościowych oraz odporny na korozję, zwłaszcza na wpływ wody morskiej.

Nadto wymienić należy laural (4% Cu i 2% Si) i neonalium (Cu 14—6%, domieszki uszlachetniające 0,4—1%), jako stopy o dobrych własnościach wytrzymałościowych.

Szeroko rozpowszechniony stop niemiecki z miedzią i cynkiem nie jest obecnie stosowany w lotnictwie, z wyjątkiem drobnych, nieodpowiedzialnych i niepracujących części. Stopy te odznaczają się niską wytrzymałością w wyższych temperaturach oraz kruchością. To samo odnosi się do innych stopów aluminiowych, zawierających cynk.

Specjalną grupę stanowią stopy tłokowe. Jak już zaznaczyłem, są w stosunku do nich stawiane specjalne warunki, mianowicie: dobra wytrzymałość w wyższych temperaturach, dobry poślizg, odpowiednia twardość, mały współczynnik rozszerzalności, niskie ciepło właściwe, przy możliwie wysokiej przewodności cieplnej, niewysoki ciężar właściwy. Aby otrzymać odlew możliwie ścisły, odlewa się tłoki w kokilach.

Na tłoki odlewane są stosowane przeważnie stopy o zawartości miedzi 12—20%, żelaza do 1%, magnezu do 0,5, z dodatkiem niklu albo bez tegoż; krzemowo-miedziowe, jak KS Nr. 245 (Cu = 4,5%, Si = 12%, Fe do 1%, Ni = 1,5%, Mn = 1%, Mg = 0,7%, Al — reszta); supra (Cu = 5%, Si = 20%, Fe = 1%, Mn = 2%), alusil (Cu = 1%, Si = 18—20%, Fe = 1%), RR Nr. 59 (Cu = 2,25%, Ni = 1,3%, Mg = 1,6%, Fe = 1,4%, Ti = 0,1%, Si = 0,5%, Al — reszta) Y, elektron i inne.

Ciężar właściwy waha się od 2,6 (alusil) do 3,2, przewodność cieplna od 0,33 do 0,40 Kal/c.s.°C. Rozszerzalność stopów z miedzią = 22 do 24.10⁻⁶, zaś krzemowych 17—20.10⁻⁶, RR 59 — powyżej 20.10⁻⁶. Twardość stopów tłokowych leży w granicach 90—130 kg/mm², wydłużenie nie przekracza 2%, zwykle wynosi 0,5%.

W ostatnich czasach opatentowano cały szereg stopów tłokowych, jednak ścisłych i pewnych danych co do nich narazie brak.

Poważną rolę, obok stopów aluminiowych, zaczynają odegrywać stopy magnezowe, odznaczające się niskim ciężarem właściwym (1,74—1,84). Ogólnie znane pod nazwą elektronu, poważnie różnią się między sobą zarówno rodzajem składników, jak i ich ilością. Stopy te są używane na odlewy w formach piaskowych i kokilowych, jak również dają się prasować, kuć, walcować. Wykonanie odlewu nastręcza szereg poważnych trudności. Magnez łatwo utlenia się, co zmusza do stosowania specjalnych środków ochronnych przy topieniu i odlewaniu stopów magnezowych.

wych. Należy również zabezpieczyć stop od obecności kruchego związku magnezu z krzemem (Mg_2Si), będącego często powodem wadliwości odlewów. Ponieważ magnez rozkłada wodę, formy, do których się go odlewa, muszą być bezwzględnie suche. Elektron poddaje się obróbce termicznej przez hartowanie od $400^{\circ}C$ i następnie starzenie się przy $150^{\circ}C$.

Pod względem wytrzymałościowym stopy te nie ustępują przeciętnym stopom aluminiowym. Stop AZF (o składzie $Mn — 0,2–0,5\%$, $Zn — 3\%$, $Al — 4\%$, $Mg —$ reszta) oraz stop AZG, różniący się od poprzedniego ilością Al , którego zawiera 6% , posiadają następujące własności wytrzymałościowe:

	Q kg/mm ²	R kg/mm ²	A% (x10)	C%	B kg/mm ²
AZF. odlew piaskowy	9—10	17—20	6—4	9	45
„ „ kokilowy	10	20—23	10—6	10—14	52
AZG. „ piaskowy	10—11	17—20	5—3	7	55

Wpływ obróbki termicznej uwidacznia się przez podniesienie wytrzymałości, wydłużenia oraz przewężenia. Elektron A. M. 7. 4 (o składzie $Mg — 92,6\%$, $Al — 7\%$, $Mn — 0,4\%$), poddany właściwej obróbce cieplnej, poważnie zmienia swe własności wytrzymałościowe, jak widać z poniższego:

	surowy	uszlachetniony
Q kg/mm ²	6	6,7
R kg/mm ²	17,6	23,2
A% (x4)	6	10
C%	7	12
B kg/mm ²	50	50
Ciężar właściwy	1,785	1,785

Ponieważ elektron ulega na ogół łatwo korozji, musi być odpowiednio chroniony.

Jego przewodność cieplna równa się przewodności cieplnej stopów aluminiowych, wynosi bowiem $0,32–0,38$ Kal/c.s. $^{\circ}C$.

Dobry odlew elektronowy nie ustępuje odlewowi ze stopu Al . Z tego też względu elektron coraz więcej znajduje zastosowania w lotnictwie, zwłaszcza że przy tem oszczędza się od 15 do 30% na ciężarze.

Obecnie znaczna ilość części silnika wykonywa się ze stopów lekkich, a można być pewnym, iż w dalszym ciągu stopy ciężkie będą stopniowo nadal wypierane przez stopy lekkie, zwłaszcza gdy da się otrzymać stop trudno-topliwy o dobrych własnościach wytrzymałościowych. Próby, dokonywane obecnie z berylem, dają pewną podstawę do przypuszczenia, iż wyniki pomyślnie z tym metalem będą osiągnięte w najbliższej przyszłości.

Korzyści wynikające z zastosowania lekkich stopów w budowie środków komunikacji^{*)}.

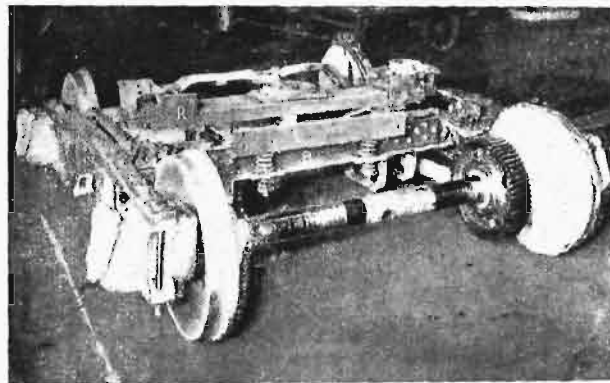
Napisał Inż. A Kwiatkowski, Katowice.

Rodzajów i marek lekkich stopów jest obecnie dość dużo i zjawiają się coraz nowe. To też trudno jest scharakteryzować je ogólnikowo. Lecz dla przykładu podajemy poniżej tabelę najbardziej używanych stopów aluminiowych kilku wielkich ich wytwórni.

Jak widać zasadniczym składnikiem w tych stopach jest glin. O praktycznym stosowaniu innych rodzajów lekkich stopów, w których zasadniczym składnikiem jest Mg lub Be — metale jeszcze lżejsze niż Al (ciężar właściwy $Al — 2,7$, $Mg — 1,7$, $Be — 1,6$) — mówić jest obecnie jeszcze bardzo trudno, gdyż stopy te dopiero zaczynają obecnie nabierać znaczenia przemysłowego. Choć próby i doświadczenia są dokonywane nieustannie, wyniki ich nie są często publikowane i rzadko spotyka się je w literaturze technicznej. A co do ceny, to choć stopy magnezowe stały się już przystępne, natomiast Be jest b. drogi. Przytem należy zaznaczyć, że podobnie jak metalurgia żelaza w przeciągu lat kilkudziesięciu uczyniła olbrzymie postępy, uszlachetniła i podniosła, czasami wprost parokrotnie, własności mechaniczne stali, — tak można się spodziewać, że i metalur-

gia lekkich stopów, idąca obecnie wielkimi krokami naprzód — podźwignie i udoskonali własności mechaniczne stopów metali lekkich.

Rozpatrzmy teraz wyniki osiągnięte w zastosowaniu lekkich stopów w budowie wagonów kolejowych, pojazdów mechanicznych i okrętów.



Rys. 1. Zastosowanie stopów Al w budowie wózka wagonu tramwajowego.

Ameryka, często przodująca w technice, i w danej dziedzinie ma do okazania najpoważniejsze wyniki. Silna konkurencja w dziedzinie przewozów pomiędzy kolejami a samochodami dała decy-

^{*)} Referat, opracowany na V Zjazd Inż. Mechaników w r. b. w Warszawie.

M a r k a	Skład	Wytrzyma- łość na rozciąganie	Przydłu- żenie	Twardość pdt. Brinella	Ciężar właściwy	Sposób zastosowania
Duralumin	Cu—4,0% Mg—0,5% Mn—0,5% Si—0,6%	38—42	18—22	110—120	2,85	Stop do walcowania, kucia, sztaampowania.
Almasilium	Si—2% Mg—1%	32—35	10—20	90—100	2,6	Stop kowalski.
Almelec	Mg—0,7% Si—0,5% Fe—0,3%	33	7	90—100	2,7	Stop dla elektrotechniki, dozwa- lający obróbkę mechaniczną.
Anticorodal	Si—1,0% Mg—0,6% Mn—0,6%	twardy 32—36 półtwardy 25—28	11—14 18—22	90—100 70—80	2,72	Stop dla obróbki termicznej do wyrobów walcowanych, kutych i t. p.
25—ST	Cu—5% Mn—1%	39	15	100	2,85	Stop do obróbki (kucia, walco- wania) przy wysokich tempe- raturach.
51—ST	Si—1,0% Mg—1,0%	28,2	12	90	2,71	jak 25 — ST.
3—L—11	Cu—8%	11—20	1—6	55—65	2,85	Stop odlewniczy do obróbki termicznej.
2—L—5	Zn—12,5% Cu—2,5%	15—20	3—7	50—65	2,96	Stop odlewniczy bez obróbki termicznej.
Y—stop	Cu—4% Mg—1,5% Ni—2%	19—32	1,5—3,6	85—105	2,77	Stop odlewniczy do obróbki termicznej przy wysokich temperaturach.
KS-Seewasser	Mn—3% Mg—2,5% Sb—0,5%	15—20—28	2,8—3,8—1,6	60—62—81	2,78	Stop o wysokiej odporności na korozję.

Pierwsza liczba stosuje się do odlewów w piasku, druga — w kokile, trzecia do odlewów pod ciśnieniem. (Spritzguss).

dujący impuls do przeprowadzenia prób i doświadczeń na kolejach co do możliwości zastąpienia ciężkiego żelaza przez tworzywa lekkostopowe o wysokiej wytrzymałości nie tylko w dziedzinie urządzeń wagonowych, lecz także w konstrukcji samych ram, szkieletów i wózków,—części najważniejszej odpowiedzialnych przy ewentualnych zderzeniach pociągów, lub wykolejeniach. O ile dodatnie uzyskano przy tem wyniki na korzyść stopów aluminium, można ocenić choćby z następującego przykładu.

Konstrukcja sztywna ramy z poprzecznica została wykonana identycznie w trzech odmianach.

Pierwsza — z zastosowaniem profilu „U” — 101,5 mm wykonana została z lekkiego stopu; druga — ze zwykłej stali; trzecia — z zastosowaniem lekkostopowego profilu U wzmocnionego. Ramy były poddane próbom na uderzenie. Wyniki wskazują liczby następujące:

Próby na uderzenie ram.

Waga spadającego ciężaru—453,5 kg. Wysokość spadcu—122 cm.

Materiał	Wygięcie
Stop 17 ST profil normalny	123,19 mm
Stal	113,03
17 ST (profil wzmocniony U)	90,17

Skład i własności mechaniczne stopu 17 ST był następujący: Cu — 4%, Mg — 0,5%, Mn — 0,5%, reszta — Al.

Wytrzymałość na rozciąganie	39 — 44 kg/mm ²
Granica sprężystości	21 — 28 kg/mm ²
Przydłużenie	16 — 25%
Twardość wedł. Brinell'a	90 — 105
Ciężar właściwy	2,79

Waga ramy stalowej była 136 kg, ze stopu Al — 54 kg, czyli oszczędność na wadze wynosiła około 40%, a ze stopu wzmocniona — 62 kg (oszczędność 46%).

W danem doświadczeniu ramy pozostawały na miejscu; uderzano kafarem. Lecz jeżeli weźmiemy odwrotny wypadek, to z łatwością uzmysłowimy sobie jeszcze jeden ważki czynnik: rolę bezwładności spadających lub zderzających się mas. Wobec lekkości konstrukcji ze stopów Al, skutki zderzenia wagonów lekkich będą proporcjonalnie do masy ciał mniej szkodliwe.

Pierwszy wagon użytkowy o konstrukcji przeważnie lekkostopowej był wprowadzony na sieci tramwajowej. Mian. T-wo Cleveland Railway puściło w obieg taki wóz tramwajowy na początku roku 1927.

Z powodu braku czasu, nie opracowano nowej konstrukcji wagonu, któraby pozwoliła najlepiej wyzyskać własności użytych stopów, lecz wykonano poprostu wagon z nowego tworzywa wedł. projektu normalnego, seryjnego wagonu tego T-wa.

Części stalowe zastąpiono częściami ze stopu Al, zachowując wymiary i profile, gdziekolwiek tylko, jak w wózkach i poprzecznicach szkieletu, wzmacniając je. Załączony rysunek przedstawia

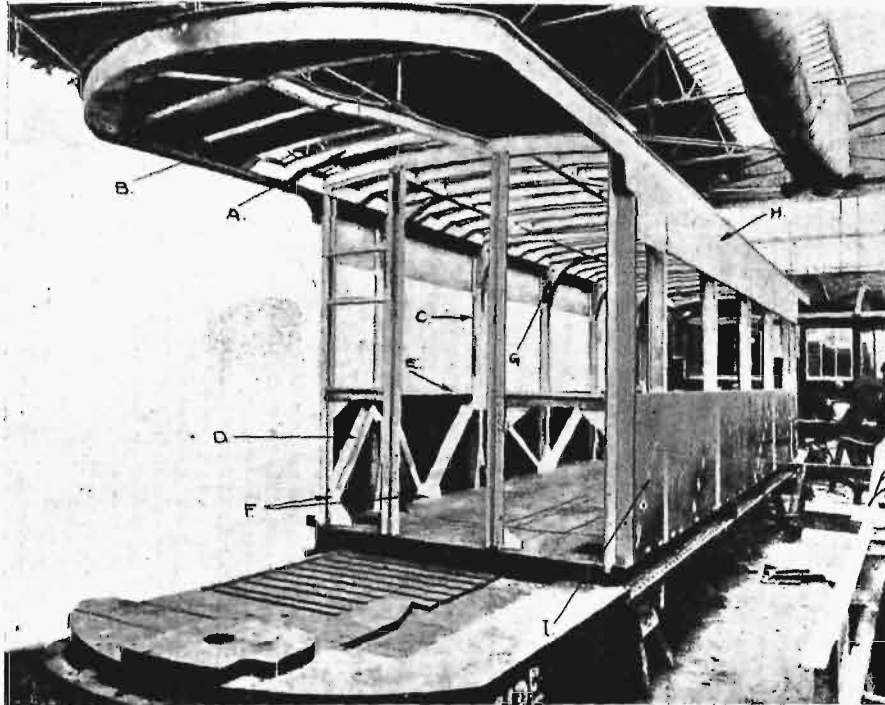
wózek tego wagonu. Części oznaczone literami są wykonane z lekkich stopów, jako lane lub kute, przeważnie poddane obróbce termicznej.

Zysk na wadze wyniósł 5844 kg, gdyż wagon stalowy tegoż typu ważył 19 584 kg, a wagon z zastosowaniem lekkich stopów — tylko 13 740 kg. Około 1500 kg zaoszczędzono na wadze pośrednio — na skutek zmniejszenia ciężaru silników

wagonu, są następujące: rozruch i hamowanie jest łatwiejsze, niż wozów stalowych; rozchód prądu jest wydatnie mniejszy.

Wykres (rys. 3) ilustruje to naocznie.

	wagon stalowy	wagon lekkostopowy
Ciężar ogólny.	17 031 kg	13 818 kg
„ samego szkieletu.	8 090 „	6 007 „



Rys. 2. Szkielet wagonu kolei Birmingham Corp., wykonanego z lekkich stopów.

Oszczędność uzyskana na całości wyniosła 3213 kg. W odsetkach to stanowi: w stosunku do całości — 18,87%, w stosunku do szkieletu — 25,75%.

Jeszcze jeden kraj w Europie osiągnął pewne wyniki w stosowaniu stopów Al w budowie tramwajów. Są to Włochy. Coprawda nie mamy wiadomości, czy zamierzenia konstruktorów włoskich uległy urzeczywistnieniu na szeroką skalę na wzór Stanów Zjednoczonych; widzieliśmy jednak na przykładzie wagonu „Azienda Tramv. Mun. de Milano“, który był wystawiony na Wystawie Komunikacji w Poznaniu, że oszczędność osiągnięta przez zastosowanie lekkich stopów w urządzeniu wnętrza wyraża się nieznaczną cyfrą 800 kg przy

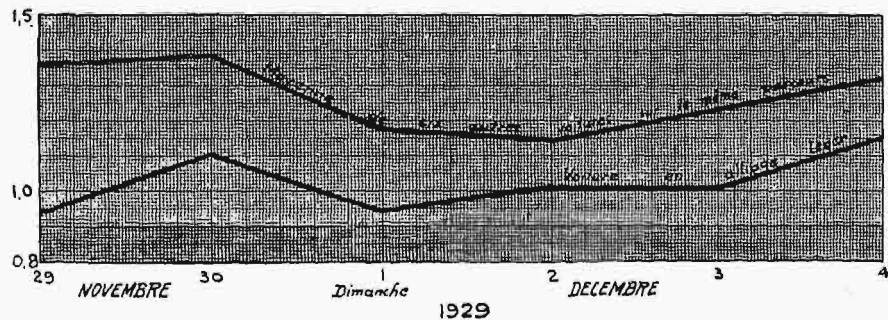
elektrycznych, które — wobec mniejszego ciężaru wozu — mogły być mniejszej mocy (35 KM zamiast 40 KM) wraz z przekładniami.

Następnym etapem rozwoju budownictwa tramwajów z zastosowaniem lekkich stopów była budowa (przez tramwaje chicagowskie) wagonu na 50 miejsc siedzących o specjalnie opracowanej konstrukcji, lepiej wyzyskującej własności nowego tworzywa. Ocena zysku na wadze jest w stosunku do tego wozu trudniejsza, gdyż do porównania brak ciężaru analogicznego wozu stalowego. Ustalono jednak drogą rachunkową, że ciężar podwozia stalowego wyniósłby ok. 3220 kg, gdy podwozie z lekkich stopów waży 1180 kg. Ciężar martwy, przypadający na 1 pasażera, wynosi 215 kg, gdy w razie konstrukcji stalowej osiągałby 420 kg.

W Anglii Towarzystwo Birmingham Corporation oddało do użytku, po poprzednim przeprowadzeniu serii prób i doświadczeń z wózkami i szkieletami z lekkich stopów, wagon sieci miejskiej (piętrowy). Konstrukcję zastosowano wedł. wzoru wozów zwykłych seryjnych. Ważniejsze wnioski, oparte na 2-miesięcznej nieprzerwanej pracy

ogólnej wadze wozu 14 000 kg. W razie zastosowania lekkich stopów w podwoziu, oszczędność osiągnęłaby 2000 kg.

Na kolejach żelaznych zakres stosowania lekkich stopów wzrasta nieprzerwanie z roku na rok. Nie należy jednak zapominać, że masowe inwestycje w tak dużych przedsiębiorstwach jak koleje wymagają ogromnych nakładów. Zrozumiałe jest wtedy, że obecna sytuacja gospodarcza całego świata, z jej wielkimi trudnościami, wpływa

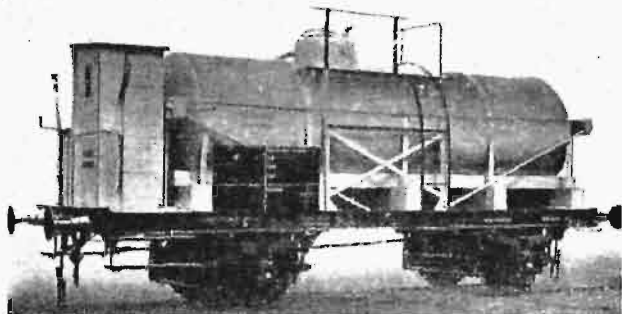


Rys. 3. Krzywa rozchodu energii elektrycznej.

hamującą na postęp w tej dziedzinie. Atoli można powiedzieć, że postęp ten zyskuje innego bodźca, a jest nim dążenie do zwiększania szybkości wszelkich środków komunikacji. Na kolejach żelaznych prowadzą ku temu dwie drogi. Jedna — to zwiększanie siły pociągowej, a więc i mocy pa-

rowozów, a druga — zmniejszenie ciężaru pociągów. Ta druga droga jest przytem o tyle korzystniejsza, że nie wiąże się z koniecznością wzmocnienia budowy wierzchniej, mostów i t. d., co bywa nieuniknione przy wprowadzaniu silniejszych typów parowozów.

Biorąc to pod uwagę, można przypuszczać, że dalszy rozwój kolejnictwa w dziedzinie odnowie-



Rys. 4. Wagon-cysterna z blachy aluminiowej o pojemności 12 000 l.

nia taboru pójdzie w kierunku zastosowania lekkich stopów, gdyż będzie to droga ekonomiczniejsza.

Jako na przykład zrealizowanej eksploatacji taboru kolejowego zawierającego liczne części z lekkich stopów, można wskazać budowę i służbę serii 120 wagonów na kolei Chicago and North-Western Railway. Pierwszy wagon tej serii, obliczony na 98 miejsc siedzących, wprowadzono w r. 1927 w ruchu podmiejskim. Reszta była oddana do eksploatacji w październiku tegoż roku. Wymiary ich były zwykłe, jak normalnych wagonów dalekobieżnych tej kolei. Waga własna wynosiła 44 500 kg, czyli na pasażera wypadło około 450 kg tary. Lekkie stopy były użyte jako materiał do pokrycia dachów, ścian, podłóg, na drzwi i urządzenia wewnątrz. Porównanie ciężarów możliwe jest tylko przybliżone, gdyż podobne wozy o konstrukcji całkowicie stalowej nie były budowane nigdzie. Na jeden wóz przypada 1625 kg użytego aluminium, które zastępowało około 4775 kg stali. Oszczędność na ciężarze wyraża się liczbą 3150 kg. Chociaż zysk osiągnięty w danym wypadku nie jest duży, to jednak pociąg, zestawiony z 10 takich wagonów, ważyłby mniej o 31 t. To zaś odpowiada zmniejszeniu niezbędnej siły pociągowej o 1575 kg. A ponieważ siła pociągowa parowozów osobowych waha się pomiędzy 6750 a 9000 kg, to fakt ten daje możliwość zaoszczędzenia około 20% siły pociągowej, względnie odpowiedniego zwiększenia składu pociągów.

Należy zwrócić uwagę, że jest jeszcze jedna kategoria wozów kolejowych, gdzie stopy aluminiowe wchodzi w użycie jako materiał bezkonkurencyjny, i to nie dla oszczędności na wadze wagonu, lecz głównie dzięki swym specjalnym właściwościom — nieaktywności chemicznej. Są to wagony-cysterny. Zbiorniki aluminiowe, będąc dostatecznie wytrzymałymi (naprzykład zbiornik spawany z blachy aluminiowej o grubości 13 mm wytrzymał próbę ciśnienia 4,22 kg cm²), nie reagują z napełniającymi je cieczami. Natomiast żelazo w wie-

lu wypadkach nie może być tu użyte bez pokrycia płaszczem ochronnym (emalją, kauczukiem, ołowiem i t. p.). Większość kwasów przemysłowych i cieczy jak nafta, terpenyna, oleje mineralne i żywiczne nie oddziałują na blachę aluminiową. Dzięki tejże nieaktywności chemicznej, zarówno mleko, jak i oleje roślinne — spożywcze — mogą być bezpiecznie przewożone w wagonach-cysternach aluminiowych, zupełnie nie tracąc na smaku. Jest to powszechnie znane z przykładu stosowania aluminiowych naczyń kuchennych. Prócz tego polerowana blacha aluminiowa odbija około 76% promieni padających na nią, a około 90% promieni infra-czerwonych, nie jest to bez znaczenia przy przewozach cieczy łatwo ulatniających się lub zmieniających się pod działaniem ogrzewania (przez promieniowanie słoneczne).

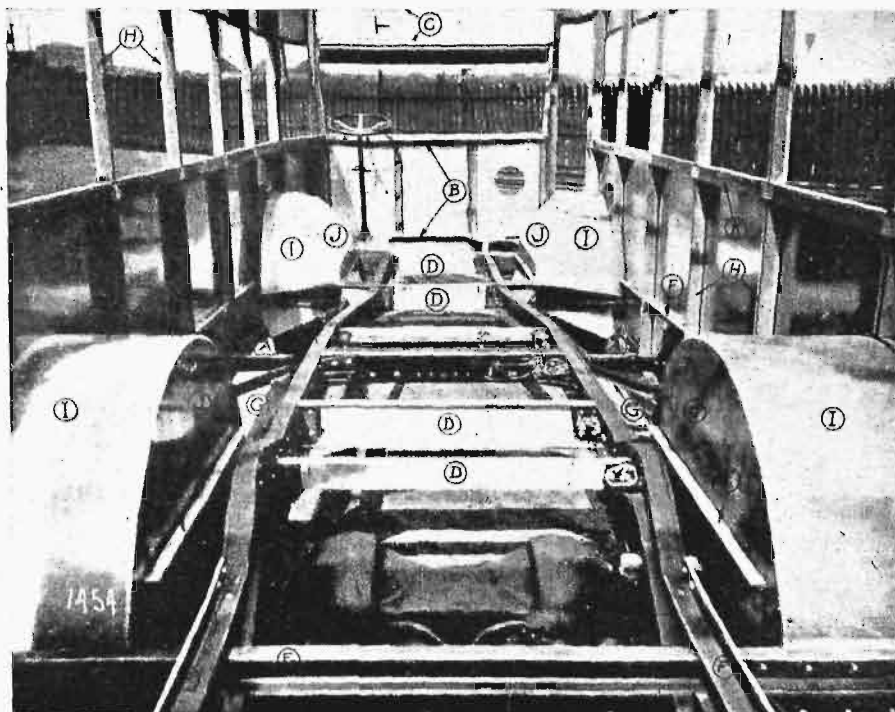
Koszt budowy wagonu-cysterny z blachy aluminiowej wynosi około 125% kosztów cysterny stalowej o płaszczu z kauczuku. Ponieważ płaszcz kauczukowy, po roku lub dwu służby w cysternach stalowych, musi być zmieniany, w aluminiowych zaś go nie ma, więc koszt eksploatacji cysterny aluminiowej wypadła niższy niż żelaznej.

Powyższe przykłady nie wyczerpują zastosowania lekkich stopów w budowie wagonów kolejowych. Ponieważ jednak inne rodzaje zastosowania lekkich stopów w kolejnictwie, dając niezaprzeczone korzyści, wkraczała w zakres specjalnych dziedzin techniki, więc ograniczymy się tu do ogólnikowej tylko wzmianki, że tworzywa te są stosowane w budowie wagonów-chłodni, wagonów motorowych do komunikacji podmiejskiej, drzewin i w sieciach oświetleniowych pociągów osobowych, gdyż aluminium, dzięki swym własnościom, może w wielu wypadkach zastępować w elektrotechnice miedź.

Nie bez znaczenia też jest przesunięcie ku dołowi środka ciężkości przedmiotów o konstrukcji mieszanej, jak również wysoka przewodność cieplna (znacznie wyższa niż stali), chłodzenie więc, gdzie tego zachodzi potrzeba, może być znacznie łatwiejsze (klocki hamulcowe i t. p.).

Przechodząc teraz z kolei do pojazdów bezszynowych, kwestji celowości zastosowania w ich budowie lekkich stopów można szerzej nie rozwijać. Rzecz oczywista, że zagadnienie ciężaru i masy (bezwładność) w odniesieniu do trolleybusów, autobusów i samochodów, a dalej — motocykli i zwykłych rowerów, jest pierwszorzędnej wagi. Chodzi tu nie tylko o łatwość hamowania, jak również akceleracji, lecz i o ważki czynnik bezwładności ruchu pojazdów mechanicznych (o dużej szybkości) przy wymijaniu z nagła wyłaniających się przeszkód, na zakrętach, przy przejazdach kolejowych, a w końcu i przy ewentualnych zderzeniach i katastrofach. Cechy dodatnie lekkich stopów w odniesieniu do budowy samochodów warunkowały szerokie zastosowanie tych tworzyw w konstrukcji podwozia. Załączony rysunek unaczynia, jak szeroko i na jak odpowiedzialne części podwozi autobusów stosowane są lekkie stopy. Części oznaczone literami są sporządzone z lekkich stopów. Można powiedzieć, że tylko postęp w

stosowaniu lekkich stopów przy budowie podwozia i w szczególności silników, uwarunkowując



Rys. 5. Podwozie i szkielet karoserji trolleybusu. Części oznaczone literami wykonane są z lekkich stopów.

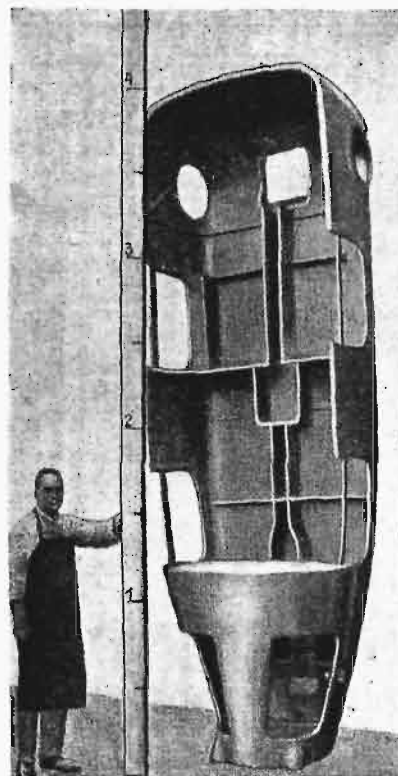
szerokie rozpowszechnienie się samochodów, umożliwił też ustalenie najnowszych rekordów — fantastycznej szybkości 400 km/godz. Walka o rekord szybkości na lądzie była m. in. współzawodnictwem w umiejętności najszerzego zastosowania lekkich stopów przy budowie silników tych samochodów o ich podwozi. O ile zmniejszenie ciężaru samochodu daje możliwość oszczędzenia paliwa i smarów, mogą zilustrować poniższe liczby, oparte na przeprowadzonych doświadczeniach. Przy jednakowych cechach samochodów porównywanych i jednakowej mocy ich silników, oszczędność na wadze wozu, uzyskana przez zastosowanie lekkich stopów, wynosiła 35,2%, oszczędność na zużyciu materiału pędnego — 16,6%, smarów — 20,1%. Lecz budowa samochodów i silników spalinowych stanowią obecnie bardzo szerokie i specjalne działy wiedzy technicznej, rozwijanej i oświetlanej na łamach pism fachowych, specjalnie tym zagadnieniom poświęconych. Dlatego tu należy się ograniczyć do krótkiego uprzytomnienia sobie, że postępowanie w konstrukcji silników spalinowych i samochodów posuwa się w trzech równoległych kierunkach:

- 1) w kierunku zmniejszenia ciężaru konstrukcji.
- 2) zwiększania liczby obrotów i szybkości ruchu;
- 3) ulepszenia warunków pracy silnika.

Droga we wszystkich wypadkach prowadzi przez coraz szersze stosowanie i ulepszanie lekkich stopów. Lecz przy stosowaniu lekkich stopów zamiast stali w tak odpowiedzialnych częściach maszyn, jak korbowody, wały i t. p., gdzie na czołowe miejsce wysuwają się własności mechaniczne użytego materiału, był początkowo po-

pełniany błąd. Polegał on na tem, że, idąc najprostszą drogą, chciano zastępować, część po części, stalowe przez lekkostopowe. Wyniki były ujemne dopóty, dopóki konstruktorzy nie ocenili całego znaczenia modułu sprężystości w stosunku do ciężaru właściwego danego materiału. Racjonalne stosowanie lekkich stopów musi polegać na tem, żeby otrzymywać części maszynowe o wadze równej, a często-kroć mniejszej niż części stalowych, przy uzyskaniu większej lub równej wytrzymałości i sztywności konstrukcji. Wynika to z tego, że ciężar części maszynowej wzrasta proporcjonalnie do przekroju, pomnożonego przez ciężar właściwy materiału, wówczas gdy sztywność (zginania i skręcania) wzrasta w stosunku do momentu bezwładności przekroju (a więc trzeciej potęgi jednego z boków przekroju), pomnożonego przez moduł sprężystości. Zasadą obowiązującą we wszelkich konstrukcjach lekkostopowych

stało się stosowanie części możliwie ciągłych w swej masie, więc lanych i kutych, wówczas, gdy także przedmioty wykonane ze stali składają się z zespolonych śrubami, nitami i t. p. oddzielnych części. Dążenie do zmniejszenia ciężaru mas ruchomych znalazło swój wyraz nawet w parowozach, gdyż na kolei wschodniej we Francji w nowych parowozach kurjerskich zostały zastosowane tłoki z lekkich stopów. W silnikach spalinowych konstruktorów już nie zadawalniali tłoki ze stopów aluminiowych i zaczynają wchodzić w użycie tłoki jeszcze lżejsze — magnezowe. Odegrywa



Rys. 6. Karoserja samochodu, odlana w jednym kawałku z siluminu (długość 4 m).

tu nadto rolę jeszcze jeden bardzo ważny wzgląd, mianowicie bardzo znaczne przewodnictwo ciepła lekkich stopów. Umożliwia to zaznaczone w

trzecim punkcie ulepszenie warunków pracy silnika.

Na zakończenie zatrzymajmy się trochę na możliwościach zastosowania lekkich stopów w budowie jednostek komunikacyjnych na wodzie. Ponieważ jednak nie posiadamy wcale większych stocznii w kraju, możemy się narazie ograniczyć do paru krótkich uwag. Znaną jest rzeczą, że rozwój marynarki wojennej wpływał bardzo wydatnie na rozwój przemysłu metalurgicznego. Odwieczna walka między pancernem a pociskiem, szczególnie ostra w dziedzinie zbrojeń morskich, powołała do życia niektóre gatunki stali, które znalazły później szerokie zastosowanie i w technice pokojowej. Podobnie ma się rzecz teraz z lekkimi stopami. Mocarstwa, związane klauzulami traktatów, czy to wersalskiego, czy waszyngtońskiego, dążąc jednak do ugruntowywania swej potęgi morskiej, zwróciły usilną uwagę w technice zbrojeń na zastosowanie zastępcze lekkich metali zamiast żelaza. Choć budowa czy to pancernika „A” w Niemczech, czy to krążowników „Salt Lake City” i „Tensocola” w Stanach Zjednoczonych, czy łodzi podwodnych w Anglii jest otoczona ściśle strzeżoną tajemnicą, to jednak wyniki, których się dowiadujemy, są olśniewające, a nie ulega żadnej wątpliwości, że te wyniki są skutkiem rozwoju techniki lekkostopowej i praktycznego stosowania tych metali. Bez tego krążownik niemiecki, o silnikach spalinowych, mający zasięg działania, równający się odległości do Chin i z powrotem bez odnawiania zapasów paliwa, jest nie do pomyslenia. Ograniczmy się do dwóch przykładów osiągniętych oszczędności na wadze i wynikających z tego korzyści na wyżej wspomnianych krążownikach amerykańskich. Zastąpienie mebli, zwykle stalowych (ze względów pożarniczych) na nowoczesnych okrętach wojennych, przez meble ze stopów lekkich, dało oszczędność tonnażu 60 tonn. To odpowiada ciężarowi jednego działka średniego kalibru. Samo zastosowanie farb i lakierów alu-

minjowych, zamiast pokostu i farb olejnych, dało, według przybliżonej oceny, 50% zysku na wadze; ciężar warstwy farb i lakierów, pokrywający cały okręt, zmniejszył się o połowę. Sądzić należy, że wyniki te i inne mogą być brane pod uwagę nie tylko w żegludze morskiej, lecz i w żegludze rzecznej.

Na zakończenie weźmy przykład obliczenia oszczędności na kosztach eksploatacji na skutek zastosowania lekkich stopów.

Obliczenia nasze będą się opierały na liczbach wziętych z oficjalnej statystyki naszego Ministerstwa Komunikacji.

Zakładając, że zastosowanie w skromnych dość nawet rozmiarach lekkich stopów w konstrukcji wagonów kolejowych da zysk na wadze ok. 7% (cyfra wzięta z przytoczonego na początku doświadczenia na kolei Chicago Railway) mamy, że przy przeciętnej wadze pociągów osobowych na P. K. P. w 1927 r. — 231 t zaoszczędzi się na wadze każdego pociągu 16 t. Ilość pociągo-kilometrów w 1927 r. wynosiła ok. 56 750 000. Na 1 tonnę wagi pociągu przypada zatem 245 000 km. A ponieważ rozchód paliwa na 1000 tkm brutto wynosi 61 kg, więc na 246 000 km przypadnie 15 t paliwa. Cena 1 tonny węgla dla P. K. P. wynosi ok. 25 zł. Stąd zaoszczędza się $25 \times 15 = 375$ zł. rocznie tylko na jednej tonnie zmniejszenia ciężaru pociągu. Więc gdy oszczędność na wadze przez zastosowanie lekkich stopów w składzie tylko jednego pociągu będzie 16 tonn, to roczne koszty opału dla parowozu będą o 6000 zł. mniejsze. Cyfry to dość wymowne.

Przy kalkulacji kosztów inwestycji należy mieć na uwadze jeszcze jeden wzgląd. Oto cena lekkich stopów w stosunku do jednostki wagi jest wyższa niż żelaza, lecz gdy ją brać w stosunku do jednostki objętości, to nadwyżka nie jest znaczna. To wszystko pozwala oczekiwać dalszego postępu i rozwoju zastosowania lekkich stopów we wszelkich dziedzinach techniki.

T R E Ś Ć :

- O konieczności stworzenia przemysłu aluminiowego w Polsce, nap. Dr. Inż. Wł. Łoskiewicz, Profesor Akademii Górniczej w Krakowie.
- O metodach produkcji aluminium, ważnych dla Polski, nap. Dr. Inż. L. Wasilewski.
- Termiczna obróbka stopów aluminiowych, ze szczególnem uwzględnieniem stopów odlewniczych, nap. St. Szczawiński, kand. nauk przyrodniczych.
- Obróbka mechaniczna stopów lekkich, nap. Inż. S. Szulc.
- Spawanie lekkich stopów, nap. Inż. Zygmunt Dobrowolski.
- Lekkie stopy odlewnicze, stosowane w lotnictwie, nap. Inżynier-metalurg E. Perchorowicz.
- Korzyści wynikające z zastosowania lekkich stopów w budowie środków komunikacji, nap. Inż. A. Kwiatkowski.

SOMMAIRE :

- Sur la nécessité de la création de l'industrie de l'aluminium en Pologne, par M. Wł. Łoskiewicz, Dr., Professeur à l'Académie des Mines de Cracovie.
- Sur les méthodes de la production de l'aluminium, par M. L. Wasilewski, Dr., Ingénieur.
- Traitement thermique des alliages de l'aluminium, par M. St. Szczawiński, licencié ès sciences.
- Le travail des alliages légers, par M. S. Szulc, Ingénieur.
- La soudure des alliages légers, par M. Z. Dobrowolski, Ingénieur.
- Les alliages légers employés dans la construction des moteurs d'aviation, par M. E. Perchorowicz, Ingénieur.
- Les avantages de l'emploi des alliages légers dans la construction des moyens de transport, par M. A. Kwiatkowski, Ingénieur.