

14936

2242

I. FESZCZENKO-CZOPIWSKI.

Prof. Akademji Gorn. w Krakowie.

**Trwałość miejsc spawanych
aluminotermicznie.**

NAKLAD BIBLIOTEKI AKADEMJI GÓRNICZEJ.

KRAKÓW

1926

224d
224d
META
STOWARZYSZENIA
STUDENTÓW
KRAKOWIE

I. FESZCZENKO-CZOPIWSKI.

Profesor Akademii Górniczej w Krakowie.

~~484~~
486
132/XVI

Trwałość spawanych miejsc
aluminotermicznie.



NAKŁAD BIBLIOTEKI AKADEMII GÓRNICZEJ.

KRAKÓW

1926

BIBLIOTEKA GŁÓWNA AGH



1000327397

AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
w KRAKOWIE
BIBLIOTEKA

II 14936

N2B 4560

Drukarnia Techniczna, Sp. Akc., Warszawa, ul. Czackiego 3-5.

Akc. Nr 5064 53

Praktyka fabryczna podaje nieskończoną ilość różnych wypadków nieoczekiwanych uszkodzeń, a nawet złamań odpowiedzialnych części maszyn. Wypadki te stają się przyczyną częściowego, a czasami nawet całkowitego zatrzymania wytwórczości. Powstaje wtedy konieczność bądź zamiany złamanych części zapasowymi (jeśli się je posiada), bądź przynajmniej szybkiej naprawy.

Taką szybką naprawą, ratującą często w obecnych czasach położenie, jest spawanie uszkodzonych części. Spawania można dokonać zapomocą ogrzewania prądem elektrycznym, acetylenem, benzyną, gazem wodnym, lub wreszcie aluminotermicznie. Ten ostatni sposób bywa stosowany z wielkiem powodzeniem w tych wypadkach, gdy trzeba naprawić jakiegokolwiek miejscowe uszkodzenia pewnej części maszyny o większej wadze, większym przekroju i objętości (nadłamania, nadpęknięcia, szczeliny i t. d.). W wypadkach tych sposób aluminotermicznego spawania staje się niezastąpionym i prawie jedynym.

Zasadę naprawy złamanych przedmiotów zapomocą spawania aluminotermicznego wyłożył i opracował praktycznie Hans Goldschmidt w r. 1896. Metoda ta jest najbardziej uniwersalną, ponieważ da się zastosować nie tylko do spawania żelaza, lecz i do spawania wszelkiej stali lanej i surowców. Stosuje się ją z powodzeniem do spawania szyn stalowych, części maszyn warsztatowych, stalowych ram w parowozach, ram łożysk do wałów, sterów okrętowych i w różnych innych podobnych trudnych wypadkach, gdzie nie da się zastosować jakiegokolwiek innego

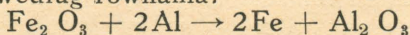
sposobu spawania. Rozumie się samo przez się, że zdolność do naprawy zależy od rodzaju złomu i od istotnej możliwości stosowania tej lub innej metody naprawy. W przeciwnym wypadku, nieumiejętnie wybrana metoda może spowodować jedynie powstanie miejscowych naprężeń (np. przez miejscowe ogrzewanie i następne nierównomierne miejscowe ochładzanie), powodujących w dalszym ciągu powstawanie szczelin, a następnie nowych złomów.

Naprawy tego rodzaju wymagają naturalnie od wykonawcy b. dużego doświadczenia, a następnie czucia, które okupuje się ciężką praktyką i szeregiem niepowodzeń. Wiadomo przecież, że najlepszy sposób daje często najgorsze wyniki, a najgorszy sposób może dać wyniki zadowolające, jeśli znając wszelkie jego złe strony postaramy się usunąć je we właściwym czasie. Te pojęcia, jako bardzo stosujące się do wszelkich sposobów spawania, nie przemawiają jednak najbardziej na korzyść spawania aluminotermicznego. Jeśli zawsze można naprawić niepowodzenia spawania elektrycznego lub acetylenowego, to niepowodzenia spawania aluminotermicznego nie nadają się do dalszych napraw, chyba tylko w wypadkach wyjątkowych. Może się w tym wypadku spawanie albo udać, albo nie udać. Wobec tego umiejętność spawacza odgrywa szczególnie wielką rolę. Sposób ten ma też i strony dodatnie. Gdy przy spawaniu elektrycznym lub acetylenowym szew nakłada się stopniowo warstwę za warstwą, a z tego powodu istnieją najlepsze warunki do powstania różnicy naprężeń wewnętrznych, to przy spawaniu aluminotermicznym cały szew spawania krzepnie prawie równocześnie.

Stosunek użytego termitu do przekroju spawania przedmiotu oznacza się doświadczalnie i jest rzeczą bardzo ważną, aby wziąć taką ilość termitu, któraby wystarczała na stopienie całego przekroju złomu, lub całej powierzchni uszkodzenia. Oprócz tego, nie należy zapominać o tym fakcie, że metal kurczy się przy krzepnięciu, a zimna masa spawanego przedmiotu metalicznego bardzo szybko odprowadza cie-

pło od miejsca spawania i w tem większym stopniu przyspiesza ochładzanie tegoż. Jedno i drugie wywołuje powstanie dodatkowych naprężeń w szwie spawania i w miejscach przylegających do niego, co bywa często przyczyną powstawania szczelin i t. p. strukturalnych nieciągłości w samym szwie.

Istota procesu aluminotermji polega na następującem: jeśli podgrzać termit (proszek stanowiący mieszaninę bardzo czystego Fe_2O_3 ze sproszkowanym Al^1) zapomocą zapalnika, to zapala się Al , a wskutek swego wielkiego powinowactwa do tlenu, które wzrasta silnie wraz z podwyższeniem temperatury, niezadawala się tlenem otaczającego powietrza, lecz chciwie pochłania tlen z otaczającego Fe_2O_3 . Reakcja przebiega według równania:



i towarzyszy jej silny efekt świetlny. Wydziela się przy tem ogromna ilość ciepła (1 kg Al , spalając się na Al_2O_3 , wydziela 7140 dużych kaloryj), które nie tylko topi żelazo, lecz i przegrzewa je silnie. Kosztem tej nadmiernej ilości ciepła, płynne żelazo, powstałe z mieszaniny termitowej, jest w stanie stopić powierzchnię tego łoża, do którego się go wyleje z tygła (przy zalewaniu szczelin, jam usadowych, pęknięć w odlewach lub ścianek przedmiotów spawanych) i w ten sposób wytwarza się nieprzerwane przejście od materiału przedmiotu naprawianego do materiału powstałego z żelaza termicznego, wlanego w daną przestrzeń.

Przegrzany płyn, powstały przy aluminotermicznym spawaniu szyn tramwajowych z mieszaniny termitowej, ma za zadanie roztopić wkładkę z miękkiego żelaza, wstawianą w przestrzeń pomiędzy dwiema spawanemi szynami, a następnie podgrzać materiał końców spawanych szyn do tego stopnia, aby tenże pod działaniem ściągaczy (obrczyz ściągających) spoił się z materiałem wkładki. Dlatego też przejście od

¹⁾ Interesujących się szczegółami odsyłamy do książki Dr. R. Goldschmidt'a — „Aluminothermie“ — Verlag S. Hirzel, Leipzig 1925.

węglatego materiału jednej szyny do takiegoż drugiej przerwane jest paskiem małowęglatego materiału, jak to obrazuje rys. 1 (pow. $2,5\times$). Stwierdzamy na tej makrofotografii ostre przejście od silnie węglistej budowy materiału szyny do małowęglatego materiału, wypełniającego przestrzeń pomiędzy dwiema szynami. Mogą przy tem powstać dwie możliwości, uwarunkowane wysokością temperatury płynu termitowego, co zależy przedewszystkiem od ilości mieszaniny termitowej użytej do danego procesu spawania, a również i od stopnia nacisku ściąagaczy: 1) przy małym przyplywie ciepła (małej ilości użytego termitu) i przy słabym nacisku ściąagaczy, zachodzi jedynie słabe zlepianie, wskutek czego mamy minimum wytrzymałości szwu spawania i maximum jego łamliwości. Granica spawania zarysowuje się w tych wypadkach bardzo ostro (patrz rys. 2, pow. $50\times$). 2) Przy dostatecznym przyplywie ciepła (dostateczna ilość termitu) i silnym nacisku ściąagaczy, zachodzi istotnie zupełne stopienie węglatego materiału końców szyn z miękkim materiałem wkładki. W tym wypadku nie występuje granica spawania, a dzięki wielkiemu przegrzaniu węgiel przechodzi, w myśl praw dyfuzji (różnica stężeń), z materiału szyny do małowęglatego żelaza szwu spawania i w ten sposób tworzy nieprzerwane przejście od wysokowęglatego materiału szyny do małowęglatego środka szwu spawania (rys. 3, pow. $75\times$ i rys. 4, pow. $150\times$).

W imię słuszności, należy jednak wspomnieć, że przy aluminotermicznym spawaniu szyn rzadko spotykaliśmy miejsca takiego idealnego spawania, jak to przedstawiają rys. 3 i 4. Najczęściej mieliśmy do czynienia z wynikami średnio udanymi, podobnymi do tych, które podają rys. 5 i 6, gdzie stopień spawania jest zadowalający dla tego celu, do którego dąży się przy spawaniu szyn tramwajowych. W wypadkach tych granica spawania jest wyraźnie zarysowana i stanowi wąziutki pasek ferrytu napełniony drobnymi ziarenkami tlenków. Widać je na granicy spawania na rys. 5, a w większej ilości, zarówno na granicy

spawania, jak i w całym szwie, na rys. 6. Taka granica jest zawsze płaszczyzną najmniejszej wytrzymałości. Złomy zachodzą przeważnie wzdłuż tej płaszczyzny i rys. 7 (pow. $300\times$) uwidocznia właśnie część takiego złomu. Na fotografii tej widać wyraźnie nie tylko falistą granicę rzeczywistego złomu, przechodzącą wzdłuż opisanego wyżej paska ferrytowego, lecz i następną płaszczyznę pęknięcia, odznaczającą się falistą szczeliną, przebiegającą od jednego wtrącenia żuźlowego do drugiego, a być może, co wydaje się nam bardziej prawdopodobnym, od jednej mikroszczeliny do drugiej. Ta druga linja pęknięć schodzi się wreszcie z główną, po której przeszedł złom. Prawdopodobnie takie mikroszczeliny powstają głównie skutkiem niedokładności obróbki końców szyn, które ponadto mogły posiadać nieoczyszczoną jeszcze rdzę²⁾.

Należy zaznaczyć jeszcze jeden szczegół: w zakresie dodatnich objawów dyfuzji węgla z warstwy bogatej weń do warstwy biednej w węgiel, wykazują rys. 3, 4, 5 i 6 budowę widmanstettową, charakterystyczną dla silnie przegrzanych i stosunkowo wolno studzonych stali. Rys. 2 nie tylko nie wykazuje takiej budowy, lecz ma bardzo słabo rozwiniętą warstwę przejściową zubożoną przedyfundowanym węglem.

Przy porównaniu tych danych charakterystycznych, nasuwa się pytanie, jaką drogą należałoby iść, aby ujednostajnić strukturę szwu spojonego aluminotermicznie, która powstaje skutkiem ogólnie przyjętego sposobu wykonania tegoż. Logiczną odpowiedzią na to byłaby droga wyżarzania. Zastosowane przez nas długotrwałe próby wyżarzania (czterokrotnie po 4 godziny w temperaturze 920° ³⁾) z następnym

²⁾ Aby uniknąć szkodliwego wpływu rdzy, pokrywa się zazwyczaj powierzchnię wkładki odpowiednim lakierem, który ma za zadanie zredukować tlenków podczas spawania.

³⁾ Wyjaśniliśmy, że punkt perlitowych przemian dla materiału szyn jest 660° . Dla wyżarzania wybraliśmy jednak znacznie wyższą temperaturę (920°), a to w celu. a) przetworzenia miękkiego materiału szwu spawania w stan γ ; b) przyspieszenia procesu dyfuzji.

powolnem ochładzaniem) w silnie rozrzedzonej atmosferze (mniej niż 0,05 mm Hg) doprowadziły wprawdzie do znacznego zwiększenia zawartości węgla w środkowej miękkiej strefie i spowodowały prawie całkowite wypełnienie jej dość równomiernie budową o charakterze widmanstettowej, jednak nie dały płynnego przejścia od wysokowęglistej warstwy do środkowej. Granica szwu spawania zarysowywała się wciąż bardzo ostro, a ferrytowy pasek, przechodzący wzdłuż granicy strefy, był nadal wypełniony drobnymi wtrąceniami żużłowymi. Nie osiągnęliśmy oczekiwanego usunięcia ich nawet po wyżarzeniu w temperaturze 920° (rys. 8, pow. 12×). Jak się okazało, dla reakcyj takich potrzebna była w analogicznych warunkach znacznie wyższa temperatura, znajdująca się w obszarze przegrzania, i dlatego do celu praktycznego, jaki sobie postawiliśmy, była ona nierealna.

Pozostawało spróbować znanego sposobu obróbki termicznej, mianowicie ulepszenia, którą zastosowaliśmy ze znacznym powodzeniem w celu ulepszenia szwu spawania przy elektrycznej i acetylenowej metodzie spawania blach kotłowych. Rzadko w tych wypadkach dochodzimy zapomocą wyżarzania od naturalnej hartowanej budowy szwu spawania, której przejście do materiału spawanego charakteryzuje się ostrą granicą (rys. 9, pow. 75×), oznaczoną przez nas jako „widoczna granica spawania“, do prawie idealnej budowy, przedstawionej na rys. 10 (pow. 75×). W większości wypadków otrzymujemy budowę podobną do przedstawionej na rys. 11 (pow. 60×). Zastosowując proces ulepszenia, otrzymujemy idealną drobnziarnistą budowę, podobną do podanej na rys. 12 (pow. 75×). Jednakże przejście od szwu spawania do materiału spawanego pozostaje w dalszym ciągu dostatecznie wyraźne. Zapomocą znacznie dłuższego wyżarzania udawało się nam osłabić nieco ostrość przejścia, lecz tak zwana „widoczna granica spawania“ pozostawała zawsze wyraźnie zaznaczoną, chociaż stopień wielkości ziaren był wszędzie jednakowy. Wi-

docznie te domieszki, które znajdowały się w materiale szwu spawania w postaci roztworu stałego, nie były na tyle ruchliwe, aby mogły zdażyć wyrównać swój skład podczas przebywania materiału w postaci żelaza γ , albo aby się mogły przynajmniej rozłożyć w postaci stopniowo zmniejszających się zawartości w kierunku niedotkniętego przez przebieg spawania materiału. Ta różnica w składzie chemicznym materiału szwu spawania i materiału spawanego powodowała różnicę strukturalną, występującą wyraźniej na rys. 9 i mniej wyraźnie na rys. 12, uwidoczniającym budowę tego samego materiału szwu spawania (elektrycznie), lecz w postaci termicznie ulepszonej.

Należy teraz omówić, co właściwie rozumiemy pod nazwą przebiegu ulepszenia termicznego?

Przebieg ulepszenia termicznego polega na trzech osobnych operacjach termicznych. Są to:

- 1) Ogrzewanie do temperatury hartowania, która bywa normalnie o jakieś 30° wyższą od A_3 . Mniej lub więcej długie wystawienie przedmiotu na działanie tej temperatury w celu ujednostajnienia roztworu stałego (przeprowadzenie w roztwór stały γ -Fe wymaga dłuższego czasu, z powodu znacznych ilości obecnych w materiale domieszek: C, FeO, MnS i t.p.) i następne hartowanie w tłuszczu roślinnym, a przy gatunkach małowęglistych poprostu w letniej wodzie.
- 2) Wysokie i krótkotrwałe odpuszczanie w temperaturach bliskich, lecz niższych od A_1 .

Do niedawnych czasów stosowano bezpośrednio po odpuszczaniu powolne ochładzanie przedmiotów. Dopiero niedawno dwaj angielscy metalurgowie R. H. Greaves i A. Jones wykazali, że powolne przejście materiału przez zakres temperatur od temperatury odpuszczania do 400° nadaje materiałowi tak zwaną kruchość wyżarzania (temper brittleness). Z drugiej strony, szybkie ochładzanie odpuszczonego materiału do temperatur pokojowych (np. moczenie w wodzie) powoduje również powstawanie szkodliwych naprężeń wewnętrznych w takim materiale. Wspomniani wyżej autorzy proponują ochładzanie

kombinowane: szybkie od temperatur odpuszczania do 400° , a następnie powolne, a to w celu uniknięcia i kruchości wyżarzania i wewnętrznych naprężeń, powstających wskutek szybkiego ochładzania do temperatur pokojowych. Nie podają oni jednak praktycznego rozwiązania danego zagadnienia, jak należy przeprowadzić w warunkach fabrycznych tego rodzaju kombinowane ochładzanie, początkowo szybkie do 400° , a następnie powolne. Rozwiązaliśmy to zadanie praktycznie w sposób następujący: Po wspomnianem wyżej pod 2) wysokim krótkotrwałym odpuszczaniu, następowało szybkie ochładzanie w wodzie (dla stalowych odlewów w tłuszczu roślinnym) i 3) ponowne niskie, również krótkie odpuszczanie przy 400° z następnym powolnym ochładzaniem w piecu.

Szybkość ochładzania w przebiegu oznaczonym pod 2) wynosiła 30° na *sek*; natomiast dla przebiegu 3) stanowiła ona tylko $0,03^{\circ}$ na *sek*, t. j. stosunek szybkości ochładzania wynosił 1 : 1000.

W chwili obecnej nie wyobrażamy sobie udatnego praktycznie połączenia tych dwóch ostatnich operacji w jedną i zdajemy sobie jasno sprawę z trudności technicznych, wynikających w fabrycznych warunkach masowej produkcji, a powstających właśnie dzięki obciążeniu przebiegu ulepszania przez trzecie ogrzewanie. Nad rozwiązaniem tego ciekawego z technologicznego punktu widzenia zagadnienia należy popracować zbiorowo. Mając jednak na względzie cele czysto naukowe, rozwiązałem to zadanie w warunkach doświadczeń laboratoryjnych w sposób następujący: po drugim wyżarzaniu (wysokim odpuszczaniu), wysuszone przedmioty wносиło się bezpośrednio w gorący jeszcze piec (typu Heraeus'a), z którego dany przedmiot dopiero co wyjęto. W ten sposób, wewnętrzne ciepło w piecu prawie wystarczało do podniesienia w krótkim czasie temperatury ochłodzonego prawie do pokojowych temperatur przedmiotu aż do wymaganych 400° . Za tem szło krótkie, 20—30 minutowe zatrzymanie przedmiotu w piecu w temperaturze około 400° (w żadnym wypadku nie wyżej),

po czym następowało powolne ochładzanie przedmiotu wraz z piecem.

Następnie powstało pytanie, jak przeprowadzać badania mechaniczne na aluminotermicznie spawanym materiale. W tym wypadku mamy do czynienia ze stalowym materiałem i ze znajdującym się na nim szwem spawania o niejednorodnej budowie, o niejednorodnym składzie chemicznym, a razem z tem, co jest właśnie najgłówniejsze, niejednorodnie termicznie obrobionym w miejscach przylegających do szwu spawania. Wszystko to powoduje powstawanie większej ilości miejscowych naprężeń w metalu spawanym aluminotermicznie. Naprężenia te, składając się z zewnętrznymi obciążeniami ubocznymi, bywają często przyczyną przedwczesnych i nieoczekiwanych zaburzeń, głównie w okolicach szwu spawania, zwłaszcza w warunkach możliwości wahań temperatury, i to nawet w granicach zwykłych zmian atmosferycznych zimą i latem, t. j. od -15 do 40° C ⁴⁾.

Powszechnie przyjęte metody badania dążą do wyjaśnienia: 1) Charakteru oporu metalu przeciw stałym odkształceniom przy obciążeniach statycznych, skąd otrzymujemy dane o właściwościach sprężystych metalu, o jego wytrzymałości (*R*) i twardości (*B*); 2) określenie zdolności metalu do odkształceń plastycznych, czyli jego zdolności do tworzenia płaszczyn poślizgu, otrzymujemy mierząc trwałe wydłużenie metalu pod wpływem obciążeń statycznych (*A*) i jego zdolność do zwięzania się (*C*); te ostatnie pomiary idą zwykle w parze z dwoma pierwszymi, a wzięte razem określają już do pewnego stopnia stan fizyczny metalu, chociaż zależy to w znacznej mierze od warunków badania (geometrycznych wymiarów próbki, sposobu obciążenia, szybkości obciążania i t. p.).

⁴⁾ Przy zastosowaniu szyn tramwajowych spawanych aluminotermicznie, tego rodzaju wahania temperatury będą znacznie mniejsze, ponieważ zimą ziemia i bruki uliczne, w których szyny są prawie całkowicie zagłębione, odbierają im nadmiar zimna, a latem — nadmiar ciepła.

Uzupełniające dane otrzymujemy z określenia zdolności metalu do kucia, określenia kąta skręcania, kąta zginania aż do ukazania się pierwszej szczeliny. 3) Wyznaczenie pracy potrzebnej do wykonania pewnych odkształceń lub też złomu daje kryterjum do określenia zdolności materiału do wytrzymałości na obciążenia raptowne i, co na to samo wychodzi, stopnia jego ciągliwości. Materiał powinien przy tem wykazać zdolność od pochłonięcia pewnej ilości energii bez powstania szczelin i odkształceń trwałych, podobnie jak sprężyna. Tego rodzaju badania dynamiczne są bardzo czułe na obecność w metalu wszelkiego rodzaju wad budowy, zanieczyszczeń (żuźle, szczeliny mikroskopowe), a również na błędy obróbki termicznej i mechanicznej. Badania tego rodzaju (badania na kruchość) przeprowadza się na próbkach z nacięciem (karbem). Obecnie na te ostatnie badania zwrócono wielką uwagę; wyniki ich uważa się za decydujące przy wygłaszaniu opinii o wartości danego metalu lub stopu. Wreszcie — 4) wyznaczenie wytrzymałości metalu na okresowo zmieniające się (powtarzające się) naprężenia można otrzymać jedynie z badań na zmęczenie ⁵⁾.

Badania materiałów metalicznych przyjęto dokonywać w tak zwanych temperaturach pokojowych. Ogólna ta umowa jednakże daje często powód do fatalnych i zupełnie fałszywych wniosków o mechanicznych właściwościach metalu w temperaturach jego codziennej służby: bliskich, lecz nieco różniących się od tak zwanych temperatur pokojowych. Z technologicznej strony wiemy, że żelazo, jak również i inne stopy i metale, przebywają — w zależności od temperatury badania — to w kruchym obszarze niskich temperatur, to w zakresie ciągliwym, odpowiadającym nieco wyższym temperaturom. chociaż jednak bliskim do temperatur pokojowych. Przejście z jednego obszaru do drugiego bywa bardzo gwałtowne, tak że zmiana temperatury o parę stopni w stronę niższych tempera-

⁵⁾ H. J. Gough „The Fatigue of Metals”. London, 1924.

tur przeprowadza nagle materiał z zakresu ciągliwego do zakresu kruchego. Obróbka termiczna (ulepszanie) przesuwa zakres ciągliwy w lewo, t. j. w stronę niższych temperatur; przegrzanie, obróbka na zimno obecność zanieczyszczeń (tlenki, azotki⁶⁾, fosfor, siarka, mangan) odsuwają zakres ciągliwy w prawo, t. j. w stronę wyższych temperatur. Dlatego dopiero całość badań od temperatury około -20° do 150° , względnie do 200° , zarysowuje położenie i charakter przebiegu krzywej spadku kruchości w miarę zwiększania temperatury. Całość tych wyników, łącznie z analizą metalograficzną, wyjaśnia nie tylko zagadnienie stopnia czystości materiału i stopnia zgniotu, lecz również i stan jego obróbki termicznej. Równocześnie można rozwiązać pytanie, czy dany materiał może być jeszcze ulepszony zapomocą obróbki termicznej, i w jakim stopniu.

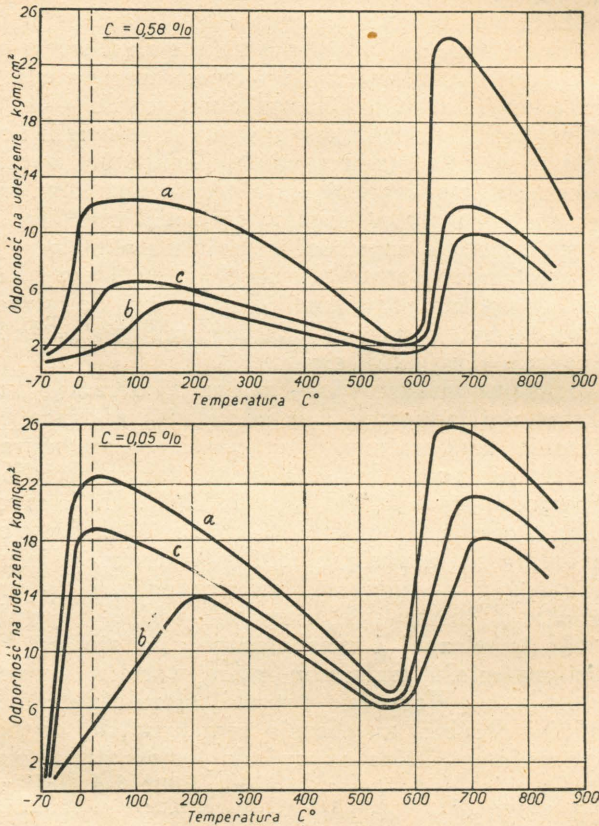
Schemat przedstawiony na rys. 13 obrazuje zmiany kruchości (odporności na uderzenie) w miarę podwyższania temperatury, zaczynając od temperatur niższych od zera dla miękkiego żelaza (0,05% C) i półtwardej stali (0,58% C), według R. H. Greaves'a i J. A. Jones'a⁷⁾ oraz F. Körber'a i A. Pomp'a⁸⁾. Oznaczenia są tu następujące: *a* — dla materiału ulepszanego, *c* — zwykłego walcowanego, *b* — przegrzanego. Z biegu tych krzywych widać, że wpływ obróbki termicznej i mechanicznej na stopień kruchości materiału maleje w miarę wzrostu temperatury badania. Wszystkie gatunki, niezależnie od poprzedniej obróbki, zwiększają swą kruchość do pewnego maximum, które odpowiada temperaturze około 550° dla miękkiego żelaza i około 600° dla stali półtwardej. W miarę dalszego zwiększania temperatury badania, kruchość materiału zanika raptownie i metal osiąga drugie maximum ciągliwości (minimum kruchości), odpowiadające temperaturze około 650° —

⁶⁾ Związki azotu, w danym wypadku z żelazem.

⁷⁾ Journal Iron and Steel Inst. CXII. 1925. 119—134.

⁸⁾ Mitt. K. W. Inst. für Eisenforschung. VII, 1925. 43—57.

700°, powyżej której znowu następuje stały wzrost kruchości (spadek ciągliwości), przebiegający stopniowo aż do temperatury topnienia.



Rys. 13.

F. Körber, a zwłaszcza E. Maurer i R. Mailänder⁹⁾ przewidywali, że w miarę wzrostu temperatury

⁹⁾ Stahl und Eisen, 1925, 409—427.

badania, już od temperatury drugiego maximum kruchości (kruchość na gorąco), zanika całkowicie wpływ obróbki termicznej i mechanicznej na stan kruchości danego materiału. Badacze jednak angielscy, R. H. Graeves i J. A. Jones, twierdzą, że i poprzednia obróbka termiczna oraz poprzednia obróbka mechaniczna wpływają znacznie na położenie ciągliwych obszarów materiału, zwłaszcza na minimum kruchości (maximum ciągliwości). Natomiast na położenie wszystkich trzech maximum kruchości (minimum ciągliwości), mianowicie na max.: 1) kruchości na zimno, 2) kruchości na gorąco, 3) kruchości w pobliżu punktu topnienia, stan poprzedniej obróbki termicznej i mechanicznej wpływa albo w małym tylko stopniu, albo też zupełnie nie wpływa.

Jest rzeczą zupełnie zrozumiałą, że wszystkie te wpływy (obróbka termiczna i mechaniczna, jak również i skład chemiczny lub stopień czystości materiału) sumują się. Wyniki badań odporności materiału na uderzenia są skutkiem tych wszystkich trzech czynników.

Wystarczy jednego rzutu oka na krzywe rys. 13, aby uznać celowość badań kruchości materiału w zależności od temperatury, przynajmniej w tym zakresie temperatur, w którym badany materiał ma później pracować, tembardziej, że na podstawie zestawienia zmiany kruchości danego materiału, wraz ze zmianą temperatury badania, w postaci krzywej, można wypowiadać przepowiednie o zachowaniu się danego materiału podczas jego dalszej służby.

Zgodnie z powyższem, przeprowadziliśmy badania szyn tramwajowych, spawanych aluminotermicznie.

Materiał szyn był nie dość czystą stalą o zawartości węgla około 0,5%, gruboziarnistą, ze znaczną ilością wtrąceń żuźlowych, prawdopodobnie tlenków. Wnioskujemy stąd, że stal nie była dobrze odtleniona (analizy chemicznej nie robiliśmy). Mechaniczne właściwości tego materiału (przy temperaturze badania 18°) były następujące:

	w stanie surowym	w stanie wyrażonym	w stanie ulepszonym	
			hartow. w wodzie	whartow. w oliwie
granica plastyczności <i>kg/mm²</i>	42,6	41,1	58,4	52,8
wytrzymałość <i>kg/mm²</i>	75,1	67,2	73,6	80,4
wydłużenie %	3,8	14,8	*)	13,5
przewężenie %	2,0	56,0	*)	47,0
twardość <i>kg/mm²</i>	268,5	22,8	25,5	22,8
odporność na uderzenie <i>kgm/cm²</i>	2,64	2,49	2,99	3,07

*) Przy hartowaniu w wodzie od temperatury 790^o powstały na próbce rysy powierzchniowe. Z tego powodu *A* i *C* nie wyznaczono.

Badania na rozerwanie próbek ze szwem spawania w środku dały wyniki następujące:

	1)	wytrzymałość	wydłużenie	
próbka w stanie surowym	42,7	1,0 ^o /o		pękła przez szew
	47,8	0,5		" " "
próbka w stanie wyżarzonym	43,3	1,0		" " "
przy 790 ^o przez 2 godz.				pękła jeszcze na tokarce
próbka w stanie ulepszonym	54,4	?		pękła przez szew
hart. w wodzie	28,5	?		" " "
próbka w stanie ulepszonym	24,0	?		wielkie błędy spawania
hart. w oliwie	41,3	1,6		pękła około miejsca spaw.
	42,8	?		pękła przez szew.

Odporność na uderzenie (taran wahadłowy Charpy'ego 10 *kgm*):

materiał spawany w stanie surowym	główka	2,22; 1,71	średnio	1,96	<i>kgm/cm²</i>
	szyjka	1,62; 1,59	"	1,65	"
	podstawa	2,10; 2,27	"	2,19	"
przeciętnie					1,93 <i>kgm/cm²</i>
materiał spawany w stanie wyżarzonym przy 790 ^o przez 2 godziny	główka	1,35; 1,16	średnio	1,25	<i>kgm/cm²</i>
	szyjka	1,59;	"	1,59	"
	podstawa	1,88; 1,91	"	1,89	"
materiał w stanie ulepszonym:					2,76, 1,84, 4,16, 1,46, 3,19.
przeciętnie					1,58 <i>kgm/cm²</i>

Jeśli wyłączymy próbkę drugą i czwartą, które pęły przez szew spawania i, jak się okazało, były sklezione, nie zaś spojone, to przeciętna z trzech pozostałych próbek wynosi $3,37 \text{ kgm/cm}^2$. Przeciętna ze wszystkich pięciu próbek wynosi $2,67 \text{ kgm/cm}^2$, przy minimum 1,46 i maximum 4,16. W jednym i drugim wypadku stwierdzić należy pewną poprawę, jako dobrego ulepszenia. Musimy wychodzić jednak z zasadniczego założenia, że dodatnie skutki ulepszenia może wykazać tylko materiał o wielkiej czystości, jednorodny pod względem chemicznym i metalograficznym. Zanieczyszczenia, oprócz obniżania zasadniczo poziomu minimum kruchości i przesuwania tychże na prawo, w stronę wyższych temperatur, zmniejszają znacznie zdolność materiału do ulepszenia. Z tego powodu musimy zasadniczo wychodzić z założenia, że ulepszyć można tylko dobry, czysty materiał, o stosunkowo jednolitej z punktu widzenia chemicznego budowie. Będziemy mieli wtedy prawo, mówiąc o skutkach ulepszenia, odrzucić wyniki spowodowane nieudatnymi skutkami spawania, a za wynik ulepszenia szwu spawania można będzie przyjąć $3,37 \text{ kgm/cm}^2$, co stanowi około 75% polepszenia w porównaniu ze stanem surowym, a 114% polepszenia w porównaniu ze stanem wyżarzonym spawanych próbek. Potwierdza to doskonałe wywody R. H. Greaves'a i J. A. Jones'a o szkodliwym wpływie kruchości wyżarzania.

Obecność szwu spawania aluminotermicznego w próbkach surowych i wyżarzonych niewątpliwie obniża wytrzymałościowe właściwości materiału, co jasno wpływa z odpowiednich porównań chociażby odporności na uderzenia (spada ona o jakieś 27—36%). Jednak rzuci się napewno czytelnikowi w oko, że skutki ulepszenia szwu spawania przewyższają znacznie skutki ulepszenia materiału samej szyny, gdzie ulepszenie przyniosło tylko 16% zysku. Objasnienie tego odłożymy na koniec, a teraz rozważmy wyniki badań, biorąc pod uwagę wyżej wymienione wywody o korzyściach badania zmiany kruchości wraz ze zmianą

temperatury badania. Stosując obróbkę termiczną do materiałów spawanych aluminotermicznie, powinniśmy wyjść z założenia, że materiał samej szyny znacznie różni się składem chemicznym od materiału szwu spawania. W celu osiągnięcia największej drobnoziarnistości, tak w materiale samej szyny jak i w małowęglistym materiale szwu spawania, zastosowaliśmy następującą kolejność działań przebiegu ulepszenia:

1) Ogrzewanie pół godziny przy 920° i następne hartowanie w oliwie (w wodzie), w celu osiągnięcia drobnoziarnistości w miękkim małowęglistym szwie spawania.

2) Ogrzewanie przez 1 godzinę przy 790° z następnym hartowaniem w oliwie (w wodzie), w celu osiągnięcia drobnoziarnistości w materiale samej szyny.

3) Półgodzinne wysokie odpuszczanie przy 640° i następne szybkie ochładzanie w oliwie (w wodzie), w celu uniknięcia kruchości wyżarzania.

4) Odpuszczanie przez $\frac{1}{3}$ godziny przy 400° z następującym powolnym studzeniem w piecu dla usunięcia wewnętrznych naprężeń, spowodowanych poprzedniem szybkim ochładzaniem. Po takiej, wprawdzie nieco złożonej i długotrwałej, obróbce termicznej, budowa materiału szwu spawania okazała się, jak się tego należało spodziewać, bardzo drobną (sorbityczną), jak to widać na rys. 14 (pow. $75\times$) i 15 (pow. $150\times$). Jednak szew spawania wyróżniał się po dawnemu dosyć ostro w postaci jasnego pasa, a nawet jeszcze silniej, niż granica spawania w ulepszonej termicznie szwie spawania elektrycznego (porównaj rys. 16 (pow. $300\times$) i rys. 14 (pow. $75\times$) z rys. 12, pow. $75\times$).

Zajmiemy się teraz rozpatrzeniem wyników badania kruchości materiału szyny i materiału szwu spawania, w zależności od zmiany temperatury badania w granicach od -15° do 200° i w zależności od obróbki termicznej.

A) Materiał szyny (kgm/cm^2):

Temperatura	W stanie surowym	W stanie wyżarzonym 2 g. w temp. 790° i po wolnym ostudzeniu.	W stanie ulepszonym w sposób kombinowany z 3-krotn. nagrzewaniem w temp. 790°—640°—400°				W stanie ulepszonym w sposób zwykły, o 2-krotn. nagrzewaniu w 790° i 640°, a następnie wolno ostudzony w piecu; hartowanie w oleju.	
			hartowany w oleju		hartowany w wodzie			
			przeciętna		przeciętna			przeciętna
— 15	1,8	1,7	3,0 i 2,0	2,5	2,0	2,0	2,3 i 1,9	2,1
0	2,4	2,0	3,1 „ 2,4	2,8	3,9 i 3,6	3,7	2,0	2,0
18	2,6	2,5	3,0 „ 3,1	3,0	3,0 „ 2,8	2,9	2,8 „ 2,4	2,6
100	3,3	2,6	3,9 „ 4,3	4,1	4,0 „ 4,7	4,3	4,0 „ 4,6	4,3
150	3,2	2,7	3,8 „ 3,3	3,6	3,9	3,9	3,4	3,4
200	2,9	2,6	3,7 „ 3,4	3,5	3,2 „ 2,9	3,1	3,3 „ 2,9	3,1

B) Materiał spawany (kgm/cm^2): ⁹⁾

Temperatura	W stanie surowym	W stanie wyżarzonym 2 godz. 790° i wolno studzonym.	W stanie ulepszonym w sposób kombinowany o 4-krotn. ogrzewaniu 920°, 790°, 640° i 400°.						
			hartowany w oliwie			hartowany w wodzie			
				prze- ciętna			prze- ciętna		
-15	1,5	1,3	4,1	1,3	3,5	2,9	1,9		1,9
0	1,5	1,5	2,0	4,4		3,2	1,9		1,9
18	1,3	1,9	2,8	(1,8)	4,2	3,5	(1,5)	3,2	3,2
100	2,3	1,7	3,8	5,7		4,8	2,8	4,2	3,5
150	2,3	2,6	2,6	7,2		4,9	3,3		3,3
200	2,1	1,3	(2,0)	4,2		4,2	5,5	3,2	4,4

Porównyując wyniki badań kruchości materiału szwu spawania aluminotermicznego z wynikami badań materiału samej szyny, stwierdzamy, że obecność szwu spawania zawsze uwarunkowuje pewne zwiększenie kruchości. Takie logicznie wytłumaczalne zwiększenie kruchości występuje w materiale surowym i w materiale wyżarzonym a następnie powoli studzonym. Porównyując jednak wyniki ulepszonych materiałów (przez hartowanie w oliwie), musimy stwierdzić nie tylko stosunkowe ulepszenie obu materiałów: szyny i szwu, lecz i znacznie silniejsze ulepszenie szwu spawania w porównaniu z wynikami ulepszenia samej szyny. Ten pozorny paradoks tłumaczy się tem, że szew spawania aluminotermicznego jest dostatecznie szeroki; rzeczywista jego szerokość wynosi 5—6 mm. W ten sposób nacięcie (karb) mieści się całkowicie w szwie spawania. W tych wypadkach, w których wyniki spawania są poprawne i osiągnięto znaczną łączność pomiędzy materiałem szwu

⁹⁾ Wyniki badań, nie wziętych pod uwagę przy obliczeniach średniej, wskutek, nadzwyczaj niezadawalających wyników spawania (sklejenie zamiast spawania), umieszczono w nawiasach.

spawania i materiałem szyny, t. j. gdy zaszło istotnie spawanie a nie sklejenie, to proces termicznego ulepszenia zmniejsza w znacznym stopniu kruchość materiału szwu spawania i to w stopniu większym, niż w węglistym materiale szyny. To jest przyczyną, że spotykamy się często z wartością powyżej 4 kgm/cm^2 dla materiału szwu spawania aluminotermicznego po ulepszeniu termicznym, podczas gdy dla materiału ulepszonej szyny tylko jeden raz pojawiła się ta wartość. Zrozumiałą jest rzeczą, że tego rodzaju wyniki ulepszenia zachodzą jedynie po lekkim hartowaniu w oliwie roślinnej; hartowanie stalowych próbek w wodzie wywołuje w metalu powstanie szeregu mikroszczelin, które przeszkadzają wykazywaniu rzeczywistych wartości ulepszenia.

Korzyści ulepszenia sposobem termicznym miejsc spawanych aluminotermicznie wykazuje wyraźnie zestawienie poniższe, gdzie + oznacza wzrost, — zmniejszenie się odporności (U) na uderzenia w %.

Nie mieliśmy możności rozszerzenia naszych badań na inne przedmioty spawane aluminotermicznie. Pozostała również niezbadana możliwość ujednostajnienia budowy materiału w częściach maszyn napra-

T-ra	Wpływ ulepszenia (wzrost U) w %		Strata U w % wskutek obecności szwu spawania		Zwiększenie U w % ulepszonego materiału szwu spawania wobec ulepszonego materiału szyny.
	materiał szyny	materiał szwu spawania	surowy szew w materj. surowym	ulepszony szew w ulepszonej materjale	
— 15	+ 93	+ 93	— 17	— 40	+ 16
0	+ 17	+ 113	— 37	— 46	+ 14
18	+ 15	+ 84	— 27	— 37	+ 17
100	+ 24	+ 109	— 30	— 44	+ 17
150	+ 13	+ 113	— 28	— 40	+ 36
200	+ 4	+ 110	— 28	— 40	+ 20

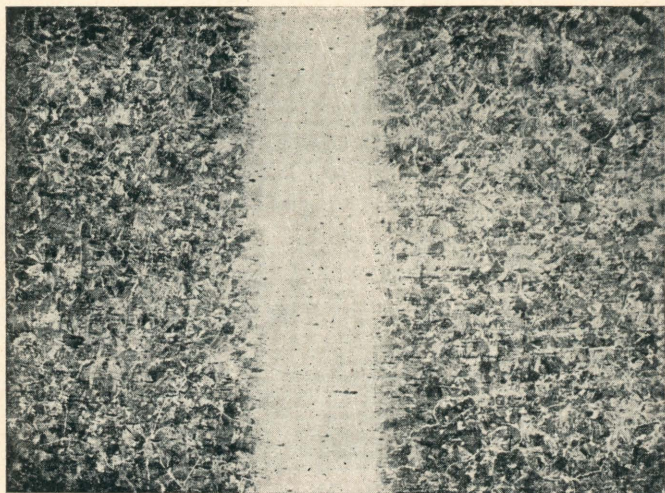
wianych aluminotermicznie. Zdaje się nam jednak, że wskazaliśmy drogę w tych rozważaniach i doświadc-

zeniach, która powinna doprowadzić do rzeczywistego ulepszenia miejsc spawanych i naprawianych aluminotermicznie.

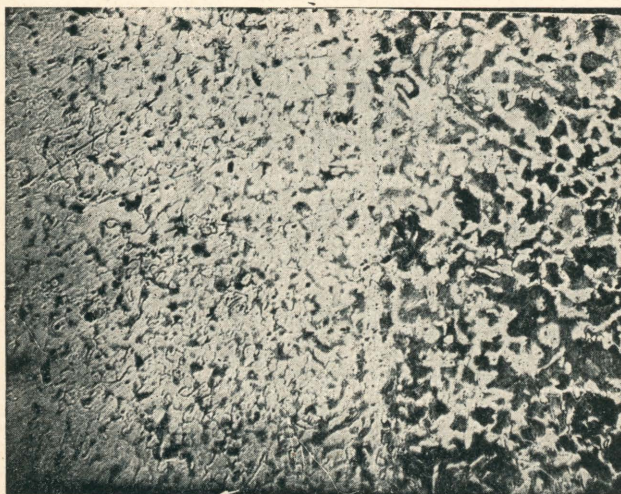
Wskazana przez nas droga jest bezwątpienia kosztowna i napewno podniesie nieco kosztu naprawy; często jednak bywają w praktyce technologicznej wypadki, w których nie wolno unikać wydatków na obróbkę termiczną.

Rozumie się, że najbliższym i bardzo pożądanym stopniem w dalszym rozwoju aluminotermicznego spawania i naprawy powinny być pewne ulepszenia technologiczne, które dałyby większą pewność osiągnięcia dobrych wyników i które w mniejszym stopniu uzależniłyby skutki aluminotermicznego spawania i naprawy od umiejętności majstra. Innymi słowy, należy z kolei bardziej zmechanizować przebieg spawania aluminotermicznego oraz uniezależnić powodzenie tego często nie dającego się zastąpić przebiegu spawania i naprawy wszelkich uszkodzeń od przyzwyczajenia i czucia majstra.

Na zakończenie uważamy za miły obowiązek zaznaczyć, że materiału spawanych aluminotermicznie szyn dostarczyła nam, dzięki życzliwości p. dyrektora inż. Polaczka, Krakowska Spółka Tramwajowa. Mikrofotografie wykonał asystent Zakładu Metalografii p. Z. Jasiewicz; badania mechaniczne przeprowadzono przy współudziale asystenta Zakładu Metalografii p. T. Malkiewicza.

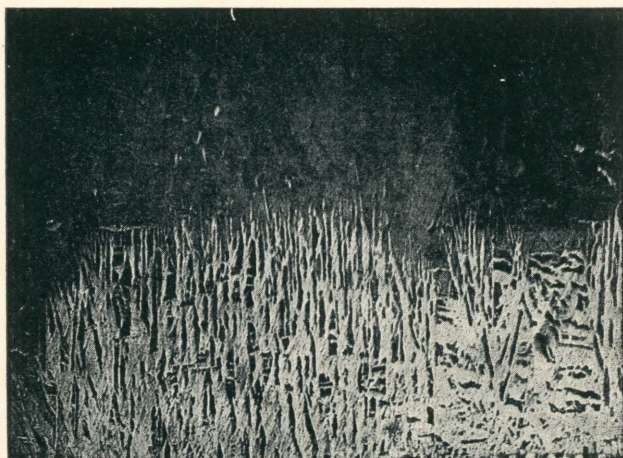


Rys. 1.

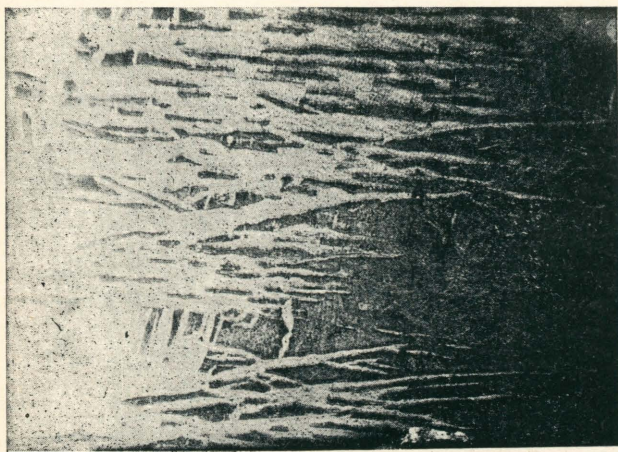


Rys. 2.



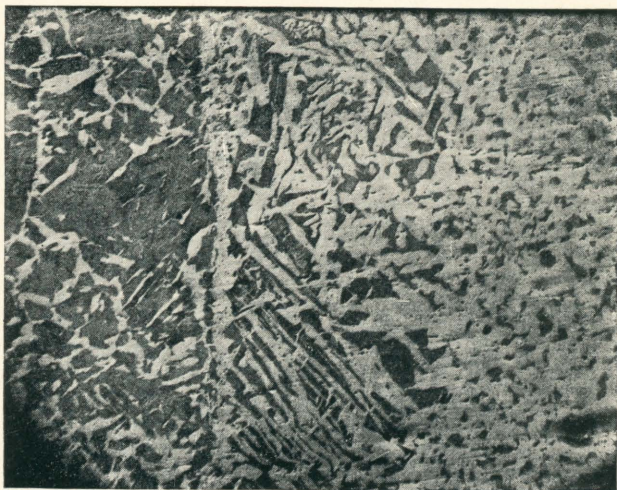


Rys. 3.

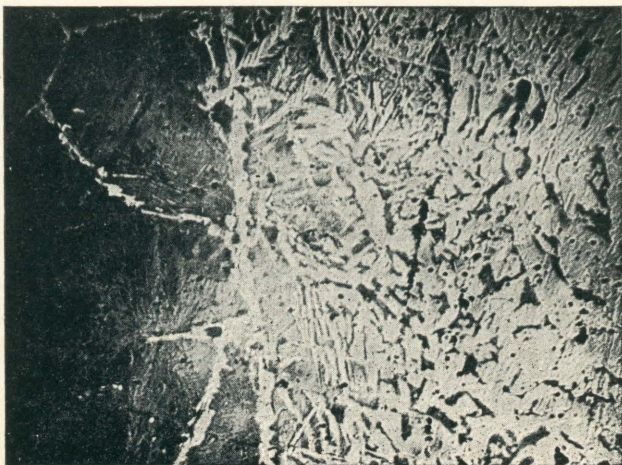


Rys. 4.

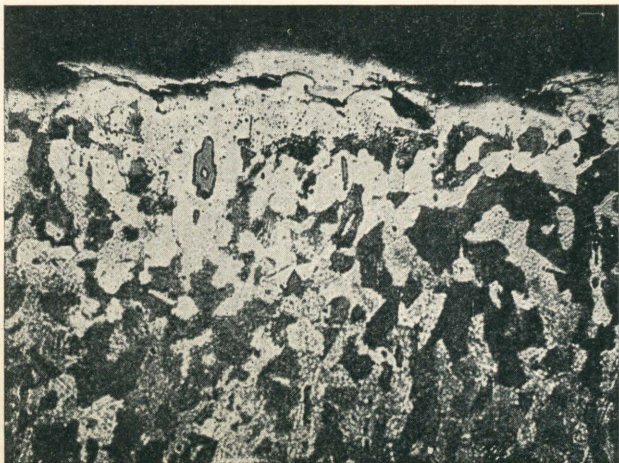




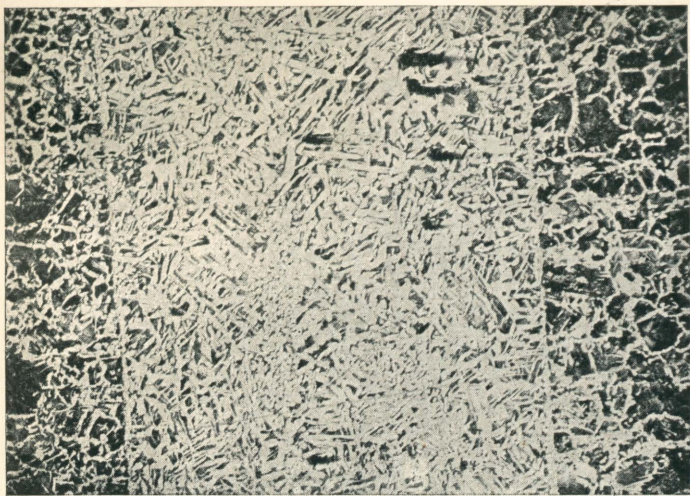
Rys. 5.



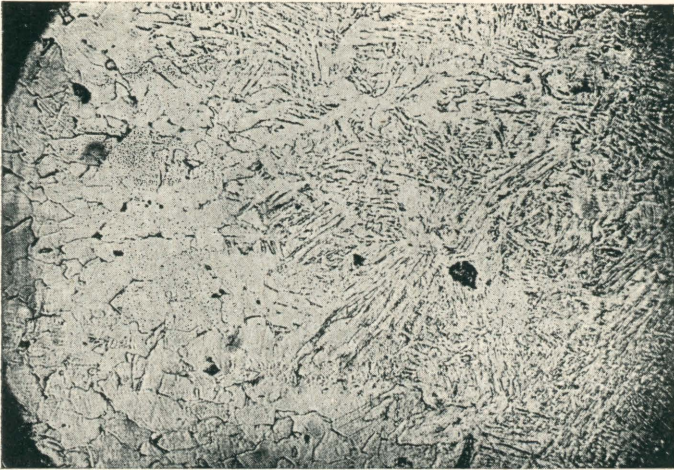
Rys. 6.



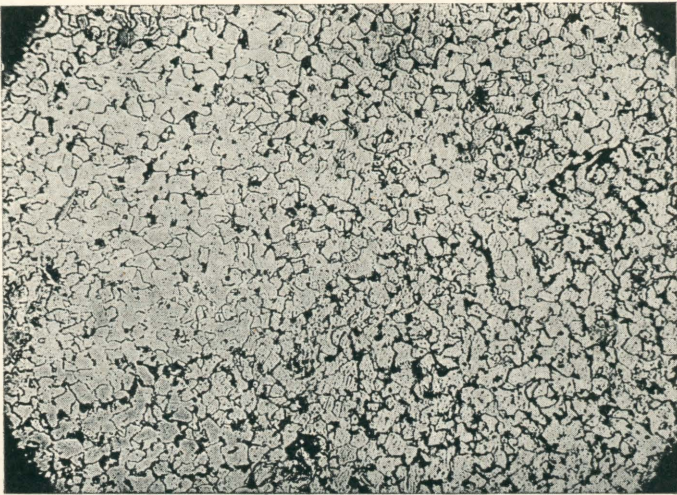
Rys. 7.



Rys. 8.

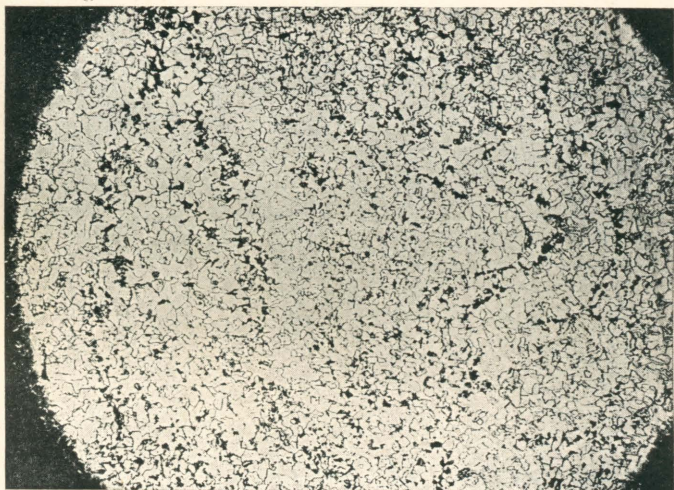


Rys. 9.

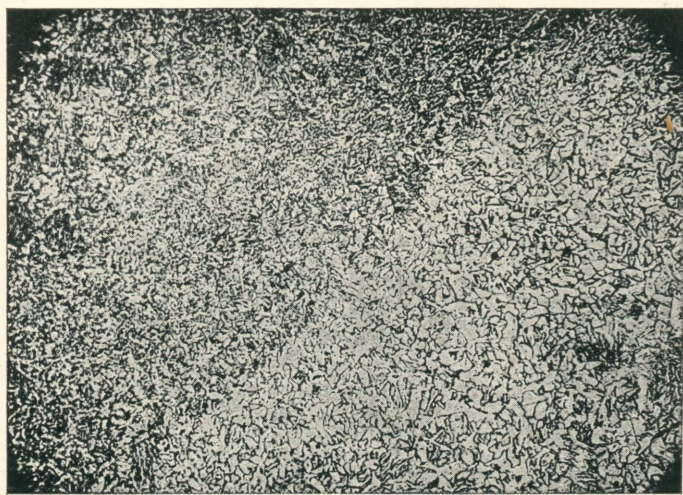


Rys. 10.



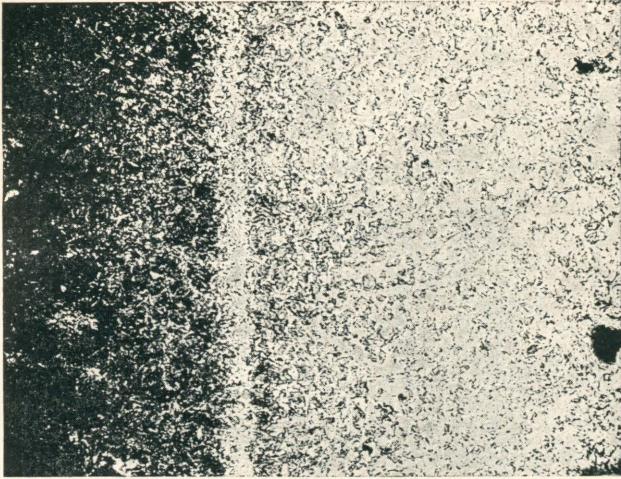


Rys. 11.

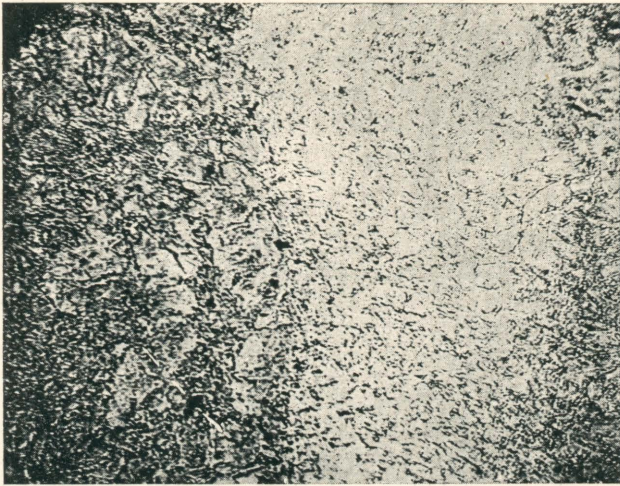


Rys. 12.

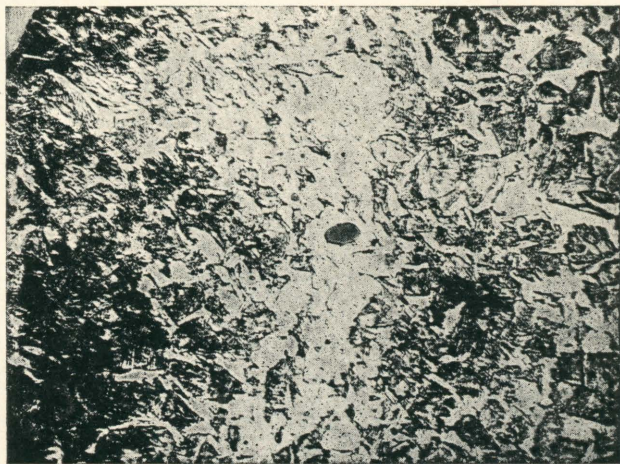




Rys. 14.



Rys. 15.



Rys. 16.



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
W KRAKOWIE
BIBLIOTEKA

BIBLIOTEKA
GŁÓWNA



AKADEMII
GÓRNICZO
HUTNICZEJ

|| 14936

Nie

wypożycza się

NZB 4560