

TREŚĆ: St. Anczyc: Prezydent Rzeczypospolitej Polskiej Ignacy Mościcki. — Pożegnanie prof. Dr. Ignacego Mościckiego, Prezydenta Rzeczypospolitej Polskiej przez grono profesorów Politechniki Lwowskiej. — Część urzędowa. Część nieurzędowa. Prof. St. Anczyc: O blachach kotłowych. — Prof. I. Feszczenko-Czopiwski: Ulepszenie miejsc spawanych elektrycznie drogą obróbki termicznej. — Inż. T. Gayczak: Elektryczne spawanie łukowe w zastosowaniu do naprawy i budowy kotłów parowych. — Prof. E. Ha uswald: Teoria działania połączeń nitowych. — Prof. T. Fiedler: O regeneracji ciepła. — Dr. inż. T. Niemczyński: Ruch ciepła w kotle. — Prof. R. Witkiewicz: Elastyczność kotła i cieplarki. — Wiadomości z literatury technicznej. — Bibliografia. — Różne sprawy. — Sprawy Towarzystwa.

## Prezydent Rzeczypospolitej Polskiej IGNACY MOŚCICKI.

Dnia 1 czerwca b. r. Zgromadzenie Narodowe wybrało Prezydentem Rzeczypospolitej profesora Politechniki Dr. Ignacego Mościckiego.

Wybór powitany radośnie przez ludność całego Państwa, był dla mieszkańców Lwowa szczególnie doniosłym wypadkiem, gdyż czcigodny Elekt jest od lat kilkunastu jego mieszkańcem; u ogółu techników wybór spotkał się z entuzjazmem, bo przecież nowy Prezydent był przez wiele lat profesorem Lwowskiej Politechniki i do ostatnich dni w niej czynny — jest też członkiem Pol. Tow. Politechnicznego.

Oto najważniejsze daty z jego życia: Urodził się w r. 1867 w Mierzanowie — w Ziemi płockiej, jako syn powstańca z r. 1863. Szkoły średnie ukończył w Warszawie, politechnikę w Rydze, gdzie brał żywy udział w życiu akademickim i społecznym, skutkiem czego zmuszony był w r. 1892 opuścić kraj. Spędziwszy w ciężkiej pracy zarobkowej 5 lat w Londynie, co nie przeszkadzało mu studjować przez pewien czas w Technical College Finsbury, przeniósł się w r. 1898 do Fryburga w Szwajcarii, obejmując w tamtejszym uniwersytecie asystenturę katedry fizyki. Tu rozpoczął się okres jego światowej sławy prac wynalazczych, poczynanych w laboratorjach a kończących się tworzeniem wielkich zakładów fabrycznych. W ten sposób wynalazek wyrobu azotu z powietrza dla otrzymywania kwasu azotowego uwieńczony został wybudowaną przez Mościckiego olbrzymią akcyjną fabryką w Chippis w Szwajcarii — pomysł wytwarzania wodorocyjanów z węglowodorów doprowadził do powstania fabryki „Azot“ koło Jaworzna — jego wynalazkiem są kondensatory elektryczne wysokiego napięcia itd. itd.

Niewątpliwie ogromna działalność naukowo-przemysłowa Mościckiego będzie w tem piśmie omówiona przez kompetentnego fachowca — tak jak i założenie przez niego we Lwowie instytutu badawczego „Metan“. Ten krótki szkic wystarczy, by oświetlić jego genialny, twórczy umysł uczonego, rozwijającego praktycznie pomysły swoje dla rozbudowy najdonioślejszych gałęzi przemysłu.

W r. 1912 Politechnika Lwowska powołała go na katedrę elektrochemji, po przewyciężeniu oporu ministerstwa wiedeńskiego, obawiającego się, że pozyskanie tak znakomitego uczonego spowoduje wielkie wydatki na laboratorja. Wiadomość, że nowy profesor przywiezie ze sobą własne kosztowne przyrządy i urządzenia, uspokoiła rząd austriacki, tak że po cało-

rocznych rokowaniach zdecydował się mianować Mościckiego *ad personam* profesorem zwyczajnym.

Odtąd zaczęła się tak upragniona przez niego a tak owocna praca w Ojczyźnie. Szkoła nasza, rozumiejąc jak znakomitą siłę naukowo-twórczą pozyskała, szła mu na rękę, ile było w jej mocy, oddając mu, ze swego szczupłego stanu posiadania, obszerne lokale na urządzenie pracowni.

Wydział mechaniczny dał wyraz doniosłości jego prac na polu budowy kondensatorów elektrycznych, mianując go doktorem honorowym, wydział chemiczny — wobec mającego nastąpić wkrótce przeniesienia się Mościckiego na kierownictwo nowego instytutu badawczego w Warszawie, zamianował go profesorem honorowym.

Pamiętnym wypadkiem było, po przyłączeniu do Polski Górnego Śląska, objęcie przez rząd polski nowo wybudowanej, olbrzymiej fabryki związków azotowych w Chorzowie. Niemiecki personal administracyjny, a co ważniejsza — techniczny, opuścił ją nagle w przekonaniu, że w ten sposób fabryka stanie, przeszedłszy w polskie ręce. Wezwany do Chorzowa przez rząd polski, zdołał Mościcki w bardzo krótkim czasie fabrykę uruchomić i utrzymać w ruchu wyłącznie polskimi siłami. Było to zdarzenie wprost sensacyjne dla Niemców śląskich i przynosząc im gorzki zawód, wywołało jednak podziw dla dzielności polskiego ducha i polskiej nauki technicznej. Dalsza rozbudowa fabryki chorzowskiej, przez Niemców tylko częściowo urzędzonej, jest dziełem pracy, energii i twórczości Mościckiego.

Ale dość o tem — odwrómy wzrok od genialnego technika-wynalazcy i spojrzymy na człowieka-obywatela.

Niepodobna wyobrazić sobie piękniejszej duchowej postaci.

Człowiek czynu i energii, który swoje świetne pomysły rozwija w potężne ośrodki przemysłu,

ten człowiek jest nosobieniem dobroci, wyrozumiałości i połaźliwości dla ludzkich słabości i wad, jest nieporównanym optymistą w ocenie naszych przeżyć państwowych, — najczystszy idealistą w sprawach materialnych, gorącym, serdecznie czującym Polakiem.

Ale te właściwości jego nie są wynikiem jakiejś romantycznej słabości duszy — one wynikają z jej wielkości. Na objawy naszej nieodporności etycznej patrzy on okiem mędrca, który wie, że tak już nieraz było i musiało się zmienić, optymizm jego jest twórczy, pesymizm jako czynnik destrukcyjny — niedostępny mu, idealizm prowadzi go do czystej, bezinteres-



Fot. Huberowie. Lwów.



sownej a owocnej służby publicznej. — Słabości w tem niema; podłość i nikczemność odrzuca on odsiebie ze wstrętem i wprost nie daje im dostępu.

W stosunkach koleżeńskich niezrównany, rzuca na otoczenie urok swej wielkości i mądrości.

Czem był dla Politechniki naszej, świadczy jego pożegnanie z nami, tak wolne od wszelkich konwenansów, tak gorące, serdeczne, — tak rzewne.

I jeżeli nasza uczelnia traci go, to jednak jest dumna

z tego, że z jej łona wyszedł najpierwszy dziś człowiek w Polsce.

A nie stało się to przypadkowo; dawna tradycja Szkoły, która wybierając profesorów kładła zawsze największy nacisk, aby w ich gronie zasiadali nietylko ludzie wiedzy, ale także czystego i tegiego charakteru, wydała takie wyniki, jakie dziś widzimy, że z grona tego wyszedł człowiek tak niepospolity jak dzisiejszy prezydent ministrów, że w gronie tem znalazł się dzisiejszy Prezydent Państwa.

Lwów 4. czerwca 1926 r.

St. Anczyc.

## Pożegnanie prof. Dr. Ignacego Mościckiego, Prezydenta Rzeczypospolitej Polskiej, przez grono profesorów Politechniki Lwowskiej.

W dniu 2. czerwca 1926 r. odbyła się w Politechnice Lwowskiej spotaniczna uroczystość pożegnania przez ogólne zebranie profesorów wieloletniego Kolegi, Profesora Dra Ignacego Mościckiego, a równocześnie złożenia Mu hołdu jako przyszłemu Prezydentowi Rzeczypospolitej.

O godzinie 1-ej w sali posiedzeń Politechniki grono profesorów zebrało się na nadzwyczajne posiedzenie, na które raczył łaskawie przybyć Dostojny Elekt; J. M. Rektor, profesor dr. inż. Jan Łopuszański, wprowadziwszy Dostojnego Gościa, przyjętego burzą długotrwałych oklasków, otworzył posiedzenie następującem przemówieniem:

Panowie Profesorowie! Wczoraj z pośród naszego grona został powołany wolą Zgromadzenia Narodowego na Najwyższy Urząd w Państwie nasz wieloletni Kolega i Współpracownik tej uczelni, Prof. Dr. Ignacy Mościcki. Uczelnię naszą spotkał zatem zaszczyt wprost niezwykły, zaszczyt, który nas wszystkich przejmuję nie tylko radością, ale i słuszną dumą. Kim jest Dostojny Elekt jako człowiek i jako uczony mówić w naszym gronie nie potrzeba, niema również potrzeby wspominać o wielkich zasługach Profesora Mościckiego wobec naszej szkoły. Pragnę natomiast podnieść i zaznaczyć, że wybór padł na męża, którego wszyscy bez wyjątku czcimy dla Jego niepospolitych zasług naukowych i kryształowego charakteru, podziwiamy z powodu niezmiernie twórczej pracowitości, a kochamy za niezwykle zalety serca i umysłu. To też obdarzyliśmy naszego Czcii najgodniejszego Kolegę kolejno wszystkimi godnościami i odznaczeniami, jakimi dysponuje uczelnia akademicka. Profesor Mościcki był u nas Dziekanem i Rektorem; za wybitne zasługi naukowe nadaliśmy Mu godność doktora honoris causa, a wreszcie, gdy postanowił nas opuścić, aby móc pracować w Swym Instytucie, który uważa za koronę Swej działalności naukowej, nadaliśmy Mu onegdaj, nie przewidując jeszcze powołania Go na Najwyższy Urząd Rzeczypospolitej, godność profesora honorowego, pragnąc w ten sposób związać Go na zawsze z naszą uczelnią.

Profesor Mościcki miał nas niebawem opuścić, pełnił jednak do dnia elekcji u nas Swe obowiązki profesorskie i z tego posterunku, wprost z pośród nas, co podnoszę na chlubę naszej uczelni, powołany też został na Dostojny Urząd Prezydenta Rzeczypospolitej. Po ciężkich, a pełnych niepewności dniach ostatnich, przyjęto wybór Profesora Mościckiego nie tylko z radością, ale, co jest niesłychanie dla nas wszystkich ważne, z głęboką wiarą i ufnością w lepsze i jaśniejsze jutro. My wszyscy, którym danem było szereg lat współpracować w tej szkole z Dostojnym Elektem, wiarę tę w pełni podzielamy i jesteśmy głęboko przekonani, że Mąż tej wiedzy i kultury, charakteru i serca, zawieść nas nie może i musi zgotować naszej drogiej Ojczyźnie jasną przyszłość.

Na dzisiejszem nadzwyczajnem posiedzeniu dajemy wyraz tym naszym nadziejom nie tylko jako koledzy, ale i jako oby-

watele Państwa, składając równocześnie Dostojnemu Elektowi winny hołd czci wraz z życzeniami, aby zaprawiając całe nasze społeczeństwo, nas wszystkich do twórczej, sumiennej a wydatnej pracy codziennej, w której Sam jest niedoścignionym Mistrzem, doprowadził naszą Ojczyznę co rychlej do jasnej i szczęśliwej przyszłości. Prezydent Najjaśniejszej Rzeczypospolitej, Profesor Ignacy Mościcki, nasz ukochany, wieloletni Kolega i wierny Przyjaciel naszej uczelni niech żyje.

Okrzyk ten powtórzyli zebrani z entuzjazmem trzykrotnie. Pan Prezydent, głęboko wzruszony, odpowiedział w te słowa:

Panie Rektorze! Szanowni, Drodzy Koledzy!

Jestem zanadto wzruszony, bym mógł coś składnie powiedzieć. Muszę więc poprzestać na wyrażeniu najserdeczniejszego podziękowania i szczerzej wdzięczności za niezmienny i stały wyraz Waszej życzliwości od samego początku mego pobytu w tej szkole. Czuję się tu zawsze nadzwyczajnie i to do ostatniej chwili, a to dzisiejsze uroczyste pożegnanie przekroczyło już — Koledzy — granice mej wytrzymałości. Proszę wierzyć, że to środowisko, które tu mi stworzyliście będzie mi zawsze najdroższe i sądzę, że nie zdążę już nigdzie znaleźć mu równego. Dziękuję Wam jeszcze raz jak najszczerzej i zapewniam, że to pożegnanie ze strony Kochanych Kolegów pozostanie mi w drogiej pamięci aż do śmierci.

Przemówienie to wśród ogólnego wzruszenia przyjęto długo niemilknięciami oklaskami, poczem ponowną burzą oklasków przyjęto następującą rezolucję:

Ogólne Zebranie Profesorów Politechniki Lwowskiej, dostąpiwszy tego najwyższego zaszczytu, iż z jego grona w dniu 1. czerwca 1926 r. wolą Narodu Polskiego powołany został Najwyższy Zwierzchnik i Pierwszy Obywatel Państwa Polskiego, składa hołd Panu Prezydentowi Rzeczypospolitej Polskiej, Profesorowi Ignacemu Mościckiemu, śląc Mu z głębi serca płynące życzenia najlepszego powodzenia w tak ciężkim, a ofiarnie na Siebie przyjętym trudzie dźwignania ciężaru Majestatu Ojczyzny i troski o dobro Społeczeństwa, prosi Go, by ofiarowaną Mu w dniu 31. maja 1926 r. godność honorowego profesora Politechniki Lwowskiej najłaskawiej przyjął raczył.

Pan Prezydent, przyjmując tę godność, wyraził podziękowanie za to odznaczenie i wśród ponownych, entuzjastycznych oklasków uściskał się i ucałował serdecznie z J. M. Rektorem i całym szeregiem Kolegów, żegnając się z każdym z nich z osobna. Wychodząc z sali posiedzeń Pan Prezydent przyjął w gabinecie J. M. Rektora Delegację Stowarzyszenia Asystentów i Delegację Młodzieży Politechniki Lwowskiej, które złożyły Mu hołd i życzenia powodzenia w pracy dla dobra Kraju i Narodu.

Gmach Politechniki Lwowskiej opuścił Pan Prezydent otoczony gronem profesorów, wśród żywiołowej manifestacji tłumy Młodzieży technicznej i publiczności.



## Część urzędowa.

W „Monitorze Polskim“ Nr. 110 z d. 17. maja 1926 r. zostały ogłoszone następujące dekrety Prezydenta Rzeczypospolitej:

Do Pana

Inż. Mieczysława Rybczyńskiego  
Kierownika Ministerstwa Robót Publicznych  
w Warszawie.

Przychylając się do przedstawionej mi prośby o dymisję, zwalniam Pana z poruczonego Mu kierownictwa Ministerstwa Robót Publicznych.

Warszawa, dnia 15. maja 1926 r.

W zast. Prezydenta Rzeczypospolitej:

(—) *M. Rataj*, Marszałek Sejmu.

Prezes Rady Ministrów: (—) *K. Bartel*.

Do Pana

Dra Witolda Broniewskiego  
Profesora Politechniki  
w Warszawie.

Mianuję Pana Ministrem Robót Publicznych.

Warszawa, dn. 15. maja 1926 r.

W zast. Prezydenta Rzeczypospolitej:

(—) *M. Rataj*, Marszałek Sejmu.

Prezes Rady Ministrów: (—) *K. Bartel*.

Pan Prezydent Rzeczypospolitej postanowieniem z dnia 22. maja 1926 r. zamianował inż. Kazimierza Górskiego Podsekretarzem Stanu w Ministerstwie Robót Publicznych.

W „Monitorze Polskim“ zostały ogłoszone następujące dekrety Prezydenta Rzeczypospolitej:

w Nr. 125 z d. 5. czerwca 1926 r.:

Do Pana

Prof. Dra Witolda Broniewskiego  
Ministra Robót Publicznych  
w Warszawie.

Przychylając się do przedstawionej mi prośby o dymisję, zwalniam Pana z urzędu Ministra Robót Publicznych.

Równocześnie poruczam Panu pełnienie dotychczasowych funkcji aż do chwili powołania następcy.

Warszawa, dnia 4. czerwca 1926 r.

Prezydent Rzeczypospolitej: (—) *I. Mościcki*.

Prezes Rady Ministrów: (—) *K. Bartel*.

w Nr. 128 z d. 9. czerwca 1926 r.:

Do Pana

Dra Witolda Broniewskiego  
Profesora Politechniki  
w Warszawie.

Mianuję Pana Ministrem Robót Publicznych.

Warszawa, dnia 8. czerwca 1926 r.

Prezydent Rzeczypospolitej: (—) *I. Mościcki*.

Prezes Rady Ministrów: (—) *K. Bartel*.

## Część nieurzędowa.

### ZESZYT POŚWIĘCONY SPRAWOM KOTŁOWYM.

Obecny „zeszyt kotłowy“ *Czasopisma Technicznego* wraz z następnym zeszytem 12-tym zawierają referaty wygłoszone na III. Kursie inżynierskim urządzonym przez Wydział mechaniczny Politechniki Lwowskiej w czasie od 16 do 19 marca 1926. Wykłady dotyczyły dwu działów: kotłów parowych i przemysłu naftowego. Po odbytych kursie gorącym pragnieniem Komisji organizacyjnej było utrwalenie żywego słowa — co jednak wymagało koniecznych zasiłków z zewnątrz.

Stowarzyszenie Dozoru kotłów parowych w Warszawie, które już w r. 1923 wydało przeważnie własnym nakładem referaty ówczesnego II. Kursu inżynierskiego we Lwowie pod tytułem: „Wykłady o gospodarce cieplnej“, także obecnie na prośbę Komisji organizacyjnej przyjęło na siebie nadwyżkę kosztów obu rozszerzonych zeszytów *Czasopisma Technicznego*, wydając równocześnie „Wykłady z zakresu kotłów parowych“ w postaci książkowej.

Wykłady III. Kursu z zakresu przemysłu naftowego wyda Krajowe Towarzystwo Naftowe we Lwowie jako szereg artykułów w swoim organie, *Przemysłu Naftowym*.

Za Komisję organizacyjną III. Kursu inżynierów:

*Roman Witkiewicz*

*Tadeusz Fiedler*

Prof. St. Anczyc.

## O blachach kotłowych.

Nie jest zamiarem moim w obrębie czterech, krótkich wykładów mówić o rzeczach „najnowszych“, czy o ulepszaniu metod hutniczych wyrobu blachy, czy o materiałach na kotły o wysokim ciśnieniu, wyrabianych z dodatkiem innych metali, czy o dążeniach do ulepszenia termicznego blach kotłowych. Zamiarem moim jest omówić powszechnie dziś używany materiał na kotły, a więc żelazo martinowskie miękkie, w oświetleniu czynników wpływających na jego własności podczas wyrobu w piecu hutniczym, w czasie przeróbki na blachę, wyrobu z niej cylindra kotłowego, i w czasie jego ruchu.

Pragnę omówić czynniki powodujące zmiany własności i zachowania się blachy, wpływające na jej wady i ulepszenia, błędy tkwiące w niej od początku, a także spowodowane złem obchodzeniem się w czasie wyrobu i ruchu kotła, jednym słowem omówić ile możności to wszystko, co wpływa na zachowanie się żelaza, tego niezmiernie wrażliwego a tak niesłychanie cennego w swoich własnościach materiału konstrukcyjnego.

To co zamierzam mówić, będą to rzeczy znane i opisane obszerniej w podręcznikach<sup>1)</sup>, a tylko ze względu na omawiany temat zestawione celowo i uporządkowane w jeden obraz, nie zawierający szczegółów, ale obejmujący ogólnie obrany temat. Dla lepszej przejrzystości została treść wykładu podzielona na cztery części, odpowiednio do czterech godzin poświęconych na ten cel<sup>2)</sup>.

### 1. Wyrób blach kotłowych i wady ich stąd pochodzące.

Żelazo wyświeżone w piecu, po przeprowadzeniu desoksydacji celem usunięcia tlenku ( $FeO$ ), wytworzonego podczas świeżenia i rozpuszczonego w niem, wypływa z pieca do kadzi od-

<sup>1)</sup> Np. Anczyc: Żelazo, Lwów 1926.

<sup>2)</sup> Ze względów wydawniczych liczba obrazów pokazywanych na wykładach, musiała być zredukowana poniżej połowy.

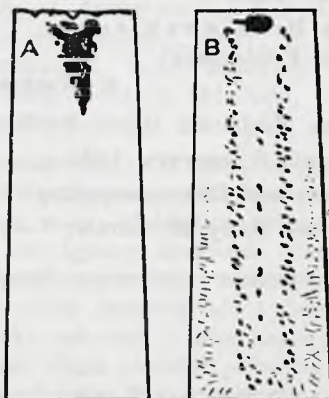


lewniczej i przeniesione do odlewni, wlane w formy żelazne, mające dla blachy kształt płaski, tężeje w nich.

Ta chwila ma niezmierną doniosłość dla przyszłego materiału, tu jest sposobność do powstania wad, niejako wrodzonych, jakie żelazo wynosi na całą swą egzystencję, aż do chwili, gdy zużyte, znajdzie się znowu w piecu hutniczym.

Żelazo, wlane w zimną formę, tężeje na powierzchni, tworząc osłonę o kształcie formy, w środku której, już wolniej stygnący metal kurczy się, wytwarzając w końcu jamę, której wielkość stanowi różnica objętości materiału płynnego, otoczonego w chwili poczynającego się tężenia skrzepłą nagle na powierzchni skorupą, a materiału stężałego i skurczonego (ok. 95% pierwotnej objętości).

Blok stężałego żelaza o małej zawartości węgla, a więc takiego, jakie stosuje się do wyrobu blach na kotły, nie wykazuje typowej, lejkowatej jamy (szkic A rys. 1) obejmującej cały niedobór objętości, ale objętość ta rozdzielona jest częściowo na małą jamę u góry (szkic B) i liczne pory wzdłuż ścian bloka, wytworzone przy stopniowym, warstwowym tężeniu żelaza, gdy wydobywające się z żelaza gazy w postaci baniek, zaczepiając się o szorstkie od narastających kryształów ściany, nie uchodzą do góry i pozostają w tężejącym żelazie.



Rys. 1.

Na rysunku 2, przedstawiającym ówierę poprzecznego przekroju bloka, widoczne są takie liczne pory w bloku. Jest to pierwsze źródło niedomagania przyszłej blachy, bo jakkolwiek podczas walcowania, przy wysokiej temperaturze przerabianego żelaza, pory doznają zgniecenia, a ściany ich, metalicznie czyste, zgrzewają się w jednolity materiał, ale w warstwach głębszych, gdzie ciśnienie walców na grubość bloku jest słabsze, może takie złączenie nie nastąpić w pierwszej chwili, a przy dalszych przejściach między walcami, gdy grubość warstwy jest coraz mniejsza a wielkie ciśnienie dociera do warstw wewnętrznych, może być ochłodzenie bloka już tak daleko posunięte, że temperatura żelaza jest za niska, aby powstało zgrzanie. Wynikiem są miejsca w blasze warstwowo się dzielące.

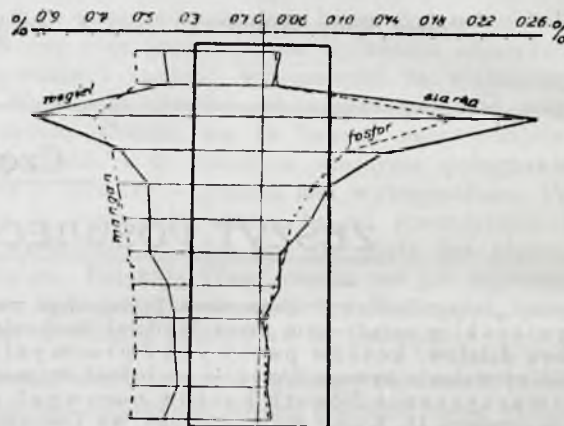
Drugim źródłem wad żelaza są żuźle i tlenki. Powstają one przy końcu procesu świeżenia, wskutek przeprowadzonego odtlenienia (desoksydacji) żelaza, zawierającego znaczne ilości rozpuszczonego w niem tlenku ( $FeO$ ), grającego ważną rolę w procesie świeżenia. Tlenek robi żelazo kruchem i niezdatnym do przeróbki, dlatego musi być usunięty. Czynności tej dokonują się przez dodatek ciał redukujących, a są nimi mangan, najwięcej używany, a także krzem, glin, rzadziej inne. Każdy z tych dodatków tworzy związek z tlenem odebranym żelazu (np.  $Mn + FeO = Fe + MnO$ ) o charakterze żuźla, tj. ciała szklistego, łatwo topliwego, gatunkowo lekkie i przez to wypływające na powierzchnię stopionego żelaza. Wyjątek stanowi tlenek glinowy, pozostający, z powodu wysokiej temperatury topliwości, w postaci pyłku w żelazie.

Desoksydacja, choć przebiega szybko, wymaga jednak pewnego czasu na ukończenie, a że odbywa się w końcu procesu, zdarza się, że jeszcze po wlanu żelaza do formy zachodzi; wytworzony w formie kropelki żuźel, nie mogąc się wydobyć z tężejącego żelaza, pozostaje w nim i w tej postaci tężeje

(rys. 3). Podczas walcowania blachy, kropelki, plastyczne w tej temperaturze, rozplaszczają się i wydłużają (rys. 4) tworząc, jako bardzo słaby i kruchy materiał, inkluzje, rozdzielające cząstki żelaza i naruszające jego spójność. Często wskutek katalitycznego działania, skupiają obok siebie jeden ze składników żelaza i tworzą w żelazie walcowanym strukturę warstwową (rys. 5); materiał dzieli się na warstwy twardsze i miększe, skłonne do pęknięcia na granicy zetknięcia obu składników.

Usunięcie tlenu żelazawego w całości zapomocą desoksydacji nie jest możliwe z powodu krótkości czasu przez jaki proces ten może trwać; brak czasu na dłuższe oddziaływanie dodatku i nie dość szybka jego dyfuzja w żelazie jest powodem, że pewna część tlenu pozostaje w nim w postaci bardzo drobnych cząstek, które podczas polerowania próbki wykruszają się i występują w obrazie mikroskopowym jako liczne, drobne plamki (rys. 6). O ile ich jest dużo, oddziałują ujemnie na wytrzymałość i ciągliwość żelaza.

Bardzo dotkliwą, odziedziczoną z surowego bloka wadą blachy, są wydzielienia, tj. miejscowe skupienia szkodliwych przymieszek jak fosfor i siarka, które robiąc żelazo kruchem, są niebezpieczne podczas jego przeróbki i dla jego trwałości w konstrukcjach. Wydzielenia są wynikiem niedostatecznej dyfuzji przymieszek w żelazie i niskotopliwych roztworów i mieszanin jakie one tworzą z żelazem, i wskutek tego pozostając w czasie tężenia najdłużej w stanie płynnym, zastygają naostatku w środkowej części bloka a zwłaszcza w okolicy jamy. Na rys. 7 widzimy analizę surowego bloka żelaza zlewnego, gdzie zawartości składników przedstawione są dla analizowanych



Rys. 7.

warstw na liniach poziomych. Widzimy, że największe niejednorodności przedstawia zawartość węgla, fosforu i siarki. Na rys. 2 ciemny ośrodek bloka wytrawionego w odpowiedni sposób, uwidocznia zanieczyszczenia fosforem. Gdy z bloka o tak niejednorodnym rozkładzie składników wyrobimy blachę lub walcówkę, to jego środkowe, silniej zanieczyszczone części, utworzą w środku warstwy gorszego materiału. Tak np. na rys. 8 widzimy w dwukrotnym powiększeniu obraz blachy z ciemną w środku warstwą, zawierającą wydzielienia fosforu, gdy warstwy zewnętrzne są stosunkowo czyste; na rys. 9 przedstawione jest połączenie nitowe płaskich walcówek, w których zarówno walcówki jak i nit wykazują ośrodki zanieczyszczone siarką<sup>1)</sup>.

## II. Budowa mikroskopowa materiałów kotłowych i jej znaczenie.

Żelazo techniczne, a więc i blacha kotłowa składa się (pomijając zanieczyszczenia, o których była mowa) z dwóch składników: żelaza ( $Fe$ ) i węgla, nie występującego w tych rodzajach w postaci elementarnej ( $C$ ), ale jako związek chemi-

<sup>1)</sup> Te bardzo łatwe badania makroskopowe można wykonać najprostszymi środkami w każdym warsztacie. Patrz Anczyk: Badania metalograficzne w zastosowaniu fabrycznym, 2-gie wydanie Lwów 1926 (w druku).

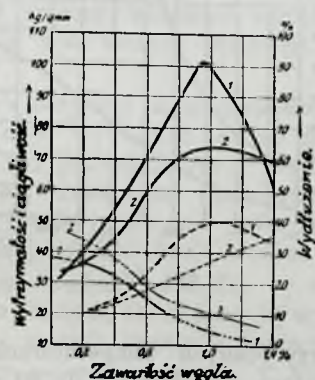


czny: węgiel czyli karbid żelaza ( $Fe_3C$ ). Zawartość węgla w żelazie kujnem bywa rozmaita, zależnie od przeznaczenia materiału; w blasze kotłowej te zawartości są małe (0.05—0.3% węgla).

W obrazie mikroskopowym blach kotłowych mamy do czynienia tylko z temi dwoma składnikami, inne bowiem przy-mieszki czyto jako naturalne zanieczyszczenia, czy jako umyślne dodatki (np. nikiel), rozpuszczają się albo w żelazie albo w karbidzie, i nie występują w obrazie mikroskopowym jako osobny składnik struktury.

Obraz mikroskopowy otrzymujemy wygładzając próbkę do gładkości zwierciadlanej i wytrawiając ją odczynnikami, które wobec różnej odporności obu składników i ich budowy kry-stalicznej, dają w powiększeniu charakterystyczny obraz.

Tak jak wszystkie metale, jest i żelazo ciałem krystalicznym, a chociaż powstałe przy tężeniu lub termicznej prze-róbce kryształy, wskutek wzajemnego oddziaływania nie otrzymują prawidłowej postaci krystalicznej<sup>1)</sup>, ale kształt wielości-annów różnej formy, mają jednak mimo to niezmienny charakter i własności ciał krystalicznych. Przekrój oglądany przez mikro-skop, przedstawia zbiór wielobocznych figur. Na rys. 10 wi-dzimy żelazo bardzo miękkie, o minimalnej zawartości węgla; jest to zbiór nieforemnych wieloboków o mniej lub więcej umia-rowej postaci a powierzchni szarawej, lekko pocieniowanej śla-dami elementarnej budowy kryształów. Ten krystaliczny skła-dnik, występujący wyłącznie w bardzo miękkim żelazie, na-zwany w mowie metalografów ferrytem, jest głównym czynnikiem, stanowiącym o własnościach żelaza. Posiada on niezbyt wielką wytrzymałość (ok. 30 kg/mm<sup>2</sup>), znaczną ciągliwość (ok. 40%) i małą twardość (ok. 100 stopni Brinella). Drugi składnik żelaza karbid, posiada wielką wytrzymałość, niezmierną twardość, tylko diamentowi ustępującą, ale bardzo małą ciągliwość, — jest kruchy. W żelazie poniżej zawartości 0.9% węgla nie występuje samoistnie, ale w postaci niezmiernie cienkich płatków, ułożonych naprzemiennie, w sposób nadzwyczaj jednolity, z płatkami żelaza, w stosunku niezmiernie po-siadającym zawartość 0.9% węgla. Mieszaninę takich płatków widzimy w znacznym powiększeniu na rys. 11, w powiększe-niach słabszych, przedstawia ona ciemne plamy. Metalografowie nazwali ją perlitem, ponieważ wypolerowana i natrawiona mieni się jak muszla perłowa. O ile zawartość węgla jest mniejsza niż 0.9%, a więc jest karbidu za mało, aby z całą zawartością żelaza utworzył perlit, powstają z całej ilości kar-bidu poszczególne ziarna perlitu, otoczone ziarnami czystego żelaza. Rys. 12 przedstawia żelazo o zawartości 0.3% węgla, widzimy tu ciemne wysepki perlitu, na tle jasnego ferrytu.



Rys. 13.

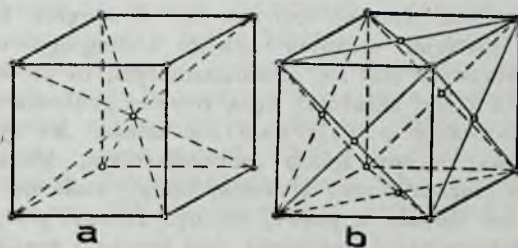
Własności mechaniczne perlitu, jako bardzo dokładnej i niezmiennej mieszaniny dwóch ciał, są między nimi pośrednie. Wytrzymałość o wiele większa niż ferrytu (ok. 75 kg/mm<sup>2</sup>), tak samo twardość (ok. 230 st. Br.), ciągliwość znacznie mniej-sza (ok. 12%). Żelazo zawierające węgiel w ilości pośredniej między ferrytem a perlitem, będzie miało również pośrednie własności, jak to przedstawiają wykresy na rys. 13 dla różnych

<sup>1)</sup> Żelazo krystalizuje w systemie regularnym.

zawartości węgla. Linje oznaczone liczbą 2 odnoszą się do materiału wyzarzonego, o własnościach normalnych. Linja pełna (—) oznacza granice wytrzymałości, przerywana (---) granice plastyczności, linja przerywana punktami (—·—) wy-dłużenia.

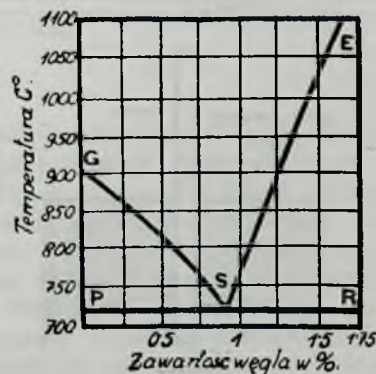
Wytrzymałość a zwłaszcza ciągliwość żelaza zależą w du-żym stopniu od wielkości kryształów (ziarn), których spójność w żelazie normalnym jest tak duża, że przy rozerwaniu pęknię-cie przechodzi przez środek kryształów a nie po linii ich zet-knięć. Im ziarna są drobniejsze, tem powierzchnia zetknięcia jest większa, i tem materiał jest odporniejszy na działanie sił; uwidocznia się to szczególnie podczas badań wytrzymałości na uderzenie. Na rys. 14 widzimy żelazo bardzo drobnoziarniste, doskonale, rys. 15 przedstawia strukturę odlewu stalowego, o ziarnach grubych i wskutek powolnego stygnięcia mających ściany płaskie, usposabiające materiał do pęknięcia przy uderzeniu.

Należy omówić jeszcze jedną własność żelaza, mającą nie-słychanie doniosły wpływ na jego zachowanie się w obróbce i odróżniającą je od innych metali technicznych, własność która je czyni tak cennym w zastosowaniu. Jest to jego alotropo-wość. Żelazo w temperaturze normalnej lub słabo ogrzane przedstawia modyfikację  $\alpha$ , magnetyczną i nie rozpuszczającą karbidu, ogrzane powyżej pewnej temperatury, zwanej przełomową lub krytyczną, przechodzi w modyfikację  $\gamma$ , niemagnetyczną i rozpuszczającą zawarty w niem karbid, a więc tworzącą z nim roz-twór stały (przemiana odbywa się znacznie poniżej tem-peratury topliwości), o odmiennie budowie krystalicznej. Rzecz ta, oddawna zbadana, potwierdzona została niezbitnie zdjęciami rönt-genowskimi sieci przestrzennej kryształów obu tych modyfika-cyj, różniących się od siebie rozmieszczeniem atomów na sześci-nej sieci i długością krawędzi sześciangu. Rys. 16 szkic a przedstawia obraz sieci przestrzennej żelaza  $\alpha$ , szkic b żelaza  $\gamma$ . Przemiana żelaza  $\alpha$  w żelazo  $\gamma$  zachodzi w stanie czystym przy



Rys. 16.

906°, dodatek węgla zmienia tę temperaturę, przyczem przy 0.9% węgla (czysty perlit) przemiana odbywa się odrazu przy 720°, przy zawartościach większych i mniejszych niż 0.9% przemiana zachodzi stopniowo w granicach dwóch temperatur, rozpoczynając się zawsze przy 720° a kończąc przy wyższej, odpowiadającej zawartości węgla.



Rys. 17.

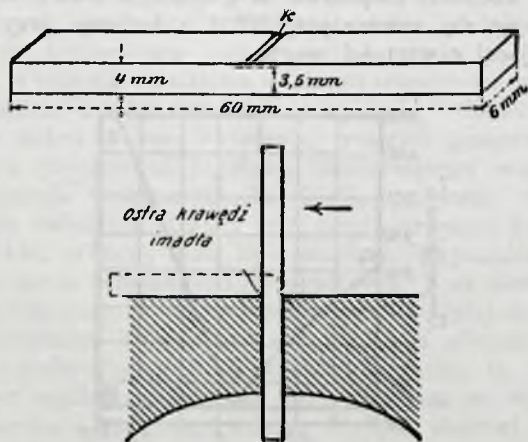
Na rys. 17 widzimy wykres tych temperatur. Dolna pozioma linja  $PSR$  (720°) oznacza początek przemiany i jest dolną temperaturą krytyczną, oznaczaną literą  $A_1$ , linja  $GSE$  (zała-mana w  $S$ ) jest górną temp. krytyczną o znaku  $A_3$ . Wykres



powyższy jest podstawą najważniejszych procesów technologicznych w przeróbce żelaza, jak hartowanie, cementowanie (nawęglanie), regeneracja gruboziarnistego żelaza itd. Zastosowanie tego wykresu w przeróbce blachy omówimy w ustępie następnym.

### III. Wpływ wysokich temperatur na materiały kotłowe w czasie wyrobu i ruchu kotła.

Ziarna krystaliczne, z jakich składa się żelazo, nie podlegają zmianom w normalnej temperaturze ani ogrzane poniżej temp.  $A_1$ , o ile materiał nie jest lub nie był mechanicznie przerabiany; gdy jednak ogrzejemy go powyżej temperatur krytycznych a zwłaszcza górnej, rzecz zmienia się wybitnie. Przedewszystkiem tworzy się roztwór stały obu składników, a mianowicie przy temp.  $A_1$  przechodzi cała zawartość perlitu w roztwór (karbidu w żelazie  $\gamma$ ), przy wyższych w roztworze tym rozpuszcza się coraz więcej ferrytu, który po przekroczeniu temp.  $A_3$  znajduje się całkowicie w stanie roztworu. Wskutek przejścia żelaza  $\alpha$  w stan  $\gamma$  i wzajemnego rozpuszczenia się obu składników, zanika poprzedni ustrój krystaliczny, złożony z dwóch, odrębnie istniejących składników, i tworzą się jednolite kryształy roztworu, ciała nowego i odrębnego od tamtych. Ponieważ w chwili zaniku dawnych kryształów powstają liczne zarodki nowych, tworzy się naraz bardzo wiele kryształów, które wskutek tego są drobne. Jeżeli jednak ten nowy materiał będziemy dalej i wyżej ogrzewali, to przy zachodzących tu temperaturach będą procesy krystalizacji przebiegać zwawo, stykające się ze sobą ziarna krystaliczne łączą się ze sobą i wzajemnie pochłaniają, i powstaje materiał o coraz większych a coraz mniej licznych ziarnach. Gdy tak potraktowane żelazo ostudzimy poniżej temperatur krytycznych, i nastąpi odwrotna przemiana żelaza  $\gamma$  w żel.  $\alpha$ , nie rozpuszczając karbidu, wydzieli się napowrót z roztworu obydwu składniki w postaci ferrytu i perlitu. Rozpad odbywa się w obrębie kryształów, gdy więc materiał wskutek silnego i długiego ogrzewania w postaci roztworu stał się gruboziarnistym, to po ochłodzeniu, wydzielone z niego składniki będą również gruboziarniste. Proces taki nazywamy przegrzaniem żelaza. Na rys. 18 widzimy z lewej strony żelazo drobnoziarniste, które wskutek przegrzania (żarzenia przy wysokiej temp.) stało się gruboziarniste, jak na obrazie z prawej strony. Żelazo przegrzane ma gorszą wytrzymałość i ciągliwość, jest kruche i wrażliwe, zwłaszcza na uderzenie. Postać przegrzania może być różna. Przegrzanie żelaza przedstawionego na rys. 19 odbyło się w ten sposób, że perlit skupił się a ferryt utworzył dokoła niego siatkę. Taka struktura zwana siatkową, jest niekorzystna dla wytrzymałości żelaza. Inną, jeszcze więcej dla materiału



Rys. 21.

niebezpieczną, widzimy na rys. 20, gdzie ferryt w geometrycznie porożkładanych, prostych, miejscami iglastych ziarnach, tworzy układ krystaliczny bardzo nieodporny na nagłe obciążenia.

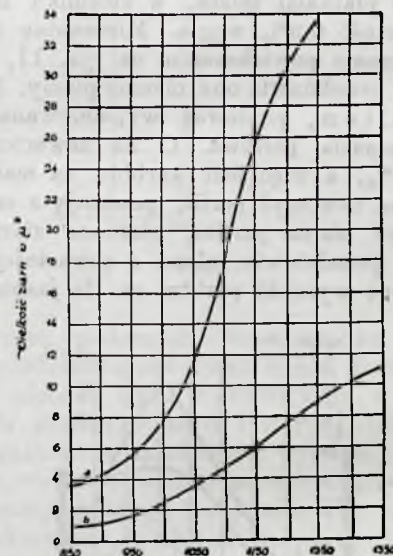
Dla stwierdzenia stanu przegrzania daje bardzo dobre wskazówki próba Heyna. Beleczkę nakarbowaną, rozmiarów

podanych na rys. 21 u góry, umieszczamy w imadle (rys. 21 u dołu) następnie lekkimi uderzeniami młotka zginamy w położenie kreskowane, i napowrót odginamy w pierwotne położenie, powtarzając zgięcia tak długo aż nastąpi złamanie beleczki. Materiał zdrowy znosi trzy i więcej poszczególnych zgięć, kruchy łamie się łatwo, nie wytrzymując często ani czwartej części jednego zgięcia. Oczywiście objaw ten okazuje nietylko żelazo przegrzane, ale także hartowane, zanieczyszczone fosforem itp., dlatego próba Heyna daje wskazówkę na przegrzanie tylko wtedy, gdy można równocześnie wykonać ją na próbce wyciętej z miejsca nienaruszonego i na drugiej z tego samego materiału, pochodzącego z miejsca podejrzanego o przegrzanie. Badanie mikroskopowe struktury daje w tym wypadku korzystne uzupełnienie próby.

Dzięki przemianom jakim żelazo podlega w temperaturze krytycznej, można materiał przegrzany i gruboziarnisty zrobić napowrót drobnokrystalicznym, czyli „zregenerować”. Ogrzewając go nieco powyżej temp.  $A_3$  przeprowadzamy go w postać  $\gamma$  i w roztwór stały, przyczem zanika poprzednia budowa krystaliczna a tworzy się nowa, z początku bardzo drobna. Jeżeli tak ogrzany materiał oziębimy zaraz poniżej  $A_1$ , przerywając przez to procesy krystalizacyjne w roztworze i przywracając go do stanu  $\alpha$  (wydzielenie obu składników), otrzymujemy materiał drobnokrystaliczny. Na rys. 22 z lewej strony widzimy żelazo bardzo miękkie w stanie przegrzania, — gruboziarniste, z prawej drobnoziarniste, zregenerowane w sposób powyższy.

Żaden inny metal używany w technice nie daje się przetworzyć w taki sposób.

Przeróbka kuźnicza (kucie, walcowanie itp.) w stanie rozżarzenia powyżej temp.  $A_3$ , wywiera doniosły wpływ na budowę krystaliczną, przeciwdziałając przegrzaniu i wytwarzając strukturę drobną. Wykres na rys. 23 przedstawia wpływ prze-



Rys. 23.

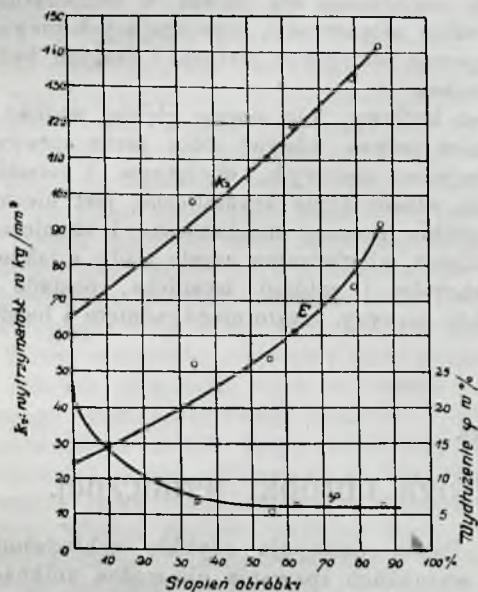
róbki kuźniczej przy różnych temperaturach (oś pozioma) na wielkość ziarn wyrażoną w mikronach (0.001 mm) kwadratowych (oś pionowa). Linja *a* przedstawia materiał tylko żarzony a nie obrabiany i następnie wolno studzony, linja *b* to samo żelazo, kute przy różnych temperaturach a następnie również wolno studzone. Widzimy ogromną różnicę wielkości ziarn w jednym i drugim wypadku, co stwierdza doniosły wpływ gorącej obróbki mechanicznej na żelazo. Rys. 24 przedstawia z lewej strony strukturę żelaza w surowym bloku, z prawej strukturę wywalcowaną z niego blachy.

Przegrzanie zachodzi często w kotle przy braku wody; badanie blachy w tym wypadku pozwala na stwierdzenie tego stanu.



#### IV. Wpływ obróbki stosowanej na zimno w czasie wyrobu i ruchu kotła.

Jeżeli żelazo poddamy obróbce w stanie zimnym np. kuciu, walcowaniu itp., zmieniają się wybitnie jego własności, wytrzymałość i twardość wzrastają, zwiększa się elastyczność a ciągliwość maleje. Na rys. 25 przedstawione są te zmiany w stosunku do stopnia obróbki tj. procentowego zmniejszenia powierzchni przekroju badanego pręta; widzimy tu bardzo wielki, stopniowy wzrost granicy wytrzymałości ( $K_z$ ) i granicy elastyczności ( $E$ ) a szybki spadek wydłużenia ( $\varphi$ ), które już przy obróbce 50%-wej osiągnęło niskie minimum.



Rys. 25.

Obróbka zimna czyli zgniot zmienia także strukturę żelaza, jak to widzimy na rys. 26, gdzie przy słabo zgniecionym żelazie ziarna doznały wydłużenia; na rys. 27, przy zgnieciu silnym, wydłużenie to jest bardzo znaczne, postać ziarna prawie zanikła, a materiał przybrał obraz ciała włóknistego.

Obróbka zimna mimo zmian jakie powoduje w żelazie, bywa w budowie kotłów stosowana przy wyginaniu płaskiej blachy na cylindry, przy uszczelnianiu nitów i krawędzi szwów i t. d.; należy sobie zdać sprawę, że przy tych czynnościach zachodzą w żelazie zmiany własności mechanicznych, przede wszystkim doniosłe dla blachy kotłowej: zmniejszenie ciągliwości.

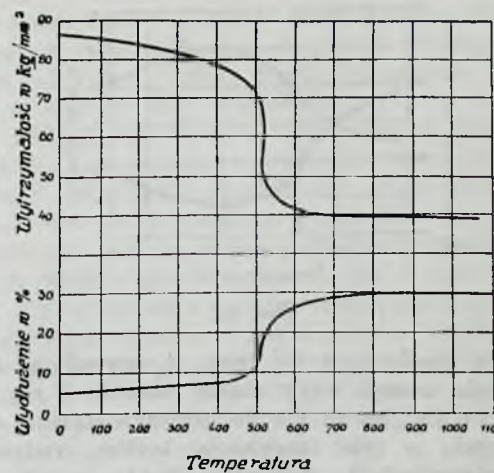
Ucinanie blach nożycami mechanicznymi na zimno, wytłaczanie otworów na nity, wywołując bardzo dotkliwą deformację materiału (p. rys. 8 z prawej strony), naprężenia i pęknięcia, które rozszerzając się coraz dalej (działanie karbu) powodują zupełne pęknięcie blachy; słusznie więc jest tego rodzaju obróbka wykluczona przy fabrykacji kotłów.

Obróbka zimna zachodzi nietylko w temperaturach normalnych tj. w stanie zimnym, ale objawy jej występują w obróbce żelaza ogrzanego, a znikają zupełnie dopiero gdy żelazo osiągnie temp.  $A_3$ , a w przeważnej części, w stopniu dla praktyki potrzebnym, już przy znacznie niższej temperaturze.

Że objawy zimnej obróbki sięgają do temperatur stosowanych w gorącej obróbce, widzimy to na rys. 13 na wykresach oznaczonych liczbą 1, które się odnoszą do blachy po walcowaniu niezarzonej. Znacznie większa wytrzymałość na zerwanie (linja pełna —), wyższa granica elastyczności (linja przerywana ----), a mniejsze wydłużenie (— · — · —), wskazują, że blacha ta miała przy końcu walcowania temp. poniżej  $A_1$ , przez co wystąpiły objawy właściwe zgniotowi.

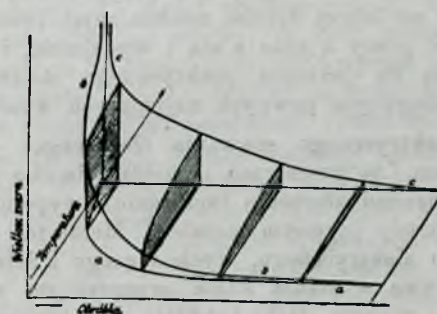
Objawy zgniotu usunąć można przez wyżarzanie żelaza. Rys. 28 u góry wykazuje obniżenie wytrzymałości zgniecionego

żelaza przy różnych temperaturach wyżarzania, u dołu wzrost wydłużenia. Zmiany tych własności objawiają się już w stosunkowo niskich temperaturach, głównie między  $500^{\circ}$  a  $600^{\circ}$ , poczem już są nieznaczne. Przez wyżarzanie poniżej temp.  $A_1$  można więc przywrócić żelazu zgniecionemu pierwotne wła-



Rys. 28.

sności mechaniczne, co nie jest jednak równoznaczne z przywróceniem materiału do stanu pierwotnego. Na rys. 29 widzimy obraz struktury pręta żelaznego, zgiętego na zimno i następnie wyżarzonego. Widzimy, że w środku pręta gdzie siły nie działały, materiał jest drobnoziarnisty i jednostajny. Jest on także drobnoziarnisty na obu powierzchniach, gdzie wystąpiły największe natężenia na ciągnięcie i ściskanie, gdzie więc obróbka była najsilniejsza. Od tego miejsca ziarna się zwiększają ku środkowi, a w miejscach najsłabszego zgniotu, graniczących z materiałem niezmiennym przez zgniot i żarzenie, ziarna dochodzą do wprost ogromnych rozmiarów. Widzimy z tego, że zgniot nadaje żelazu zdolność do procesów krystalizacyjnych poniżej temp.  $A_1$ , czego nie ma żelazo nienaruszone, i że wyżarzanie, zwane tu rekrytalizacją, wytwarza ziarna różnej wielkości, najmniejsze w miejscach zgniecionych najsilniej, największe, często wprost olbrzymie, w materiale zgniecionym najsłabiej. Rekrytalizacja zależy także od temperatury, co uwidocznia rys. 30 przedstawiający przestrzennie stosunek

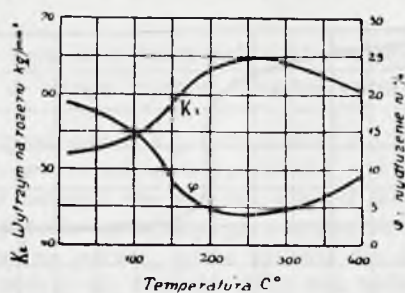


Rys. 30.

wielkości ziarn zrekrystalizowanych do stopnia przebytej obróbki i temperatury rekrytalizacji. Rekrytalizacja jest niezmiernie doniosłym czynnikiem z powodu różnej wielkości ziarn jakie wytwarza i wskutek tego różnej odporności wyżarzonego materiału. Objaw ten, zwłaszcza że najsłabiej zgnieciony materiał tworzy największe ziarna, zasługuje na baczną uwagę warsztatów i instalacji kotłowych. Skoro wiemy, że zimna obróbka wywołać może zmiany własności mechanicznych, a rekrytalizacja rozmaity wielkość ziarn, powinniśmy zdawać sobie sprawę, że wszelkie czynności wykonywane na zimno w czasie fabrykacji kotła, wszelkie takie zabiegi w czasie jego używania (naprawy, doszczelnianie, odbijanie kamienia itp.), każde choćby słabe uderzenie w blachę młotkiem, powoduje zmiany własności mechanicznych, a tam gdzie panują temperatury przewyższające  $500^{\circ}$ , zmiany struktury nieraz poważne. Należy zdawać sobie



sprawę, że wyżarzanie części naprawianych na zimno, przywracające materiałowi ciągliwość i usuwające naprężenia, spowodować może gruboziarnistość struktury, i że proces ten stosować trzeba bardzo rozważnie albo go zupełnie unikać.



Rys. 31.

Ogrzanie blachy powyżej temp.  $A_3$  wywołując nową krystalizację, może usunąć wady zimnej obróbki i złe skutki rekrystalizacji; o ile jest to nie do urzeczywistnienia w instalacjach gotowych, o tyle fabrykacja kotłów, zwłaszcza przy dzisiejszych dążeniach do stosowania bardzo wysokich ciśnień, nie może tego objawu tracić z oczu.

Jeszcze o jednej własności rozgrzanej blachy należy

wspomnieć. Na wykresie 31 przedstawiającym wytrzymałość i wydłużenie żelaza przy różnych temperaturach poniżej  $A_1$ , widzimy, że w początkowych temperaturach wytrzymałość ( $Kz$ ) ogrzewanego żelaza wzrasta, osiągając między  $200^\circ$  a  $300^\circ$  maximum, a wydłużenie ( $\varphi$ ) maleje i w tych samych prawie temperaturach wykazuje minimum. Są to więc niebezpieczne dla materiału temperatury, gdyż żelazo jest wtedy bardzo kruche. Oddawna już praktyka kuźnicza zakazuje przeróbki żelaza za mało gorącego tj. takiego, które się nie żarzy. Zważywszy, że temp. pary  $200-300^\circ$  jest w dzisiejszych kotłach bardzo często osiągnięta, mamy wskazówkę że i tego objawu nie należy lekceważyć.

Wogóle zachowanie się żelaza w temperaturach poniżej  $A_1$  nasuwa wiele niepewności, wymagających rozważenia, i jest terenem, zapewne rozległych jeszcze i długich badań dla metalografów żelaza.

Inżynier kotłowy, nie mogąc głębiej wnikać w te zagadnienia, winien jednak zdawać sobie jasno sprawę, że żelazo nie jest materiałem martwym, obojętnym i niezmiennym, ale posiada swoje własne życie krystaliczne, jest niezmiernie wrażliwe na wszelkie procesy mechaniczne i termiczne, przynosi ze sobą wrodzone, nieuleczalne często wady a także przymioty, przechodzi choroby i zabiegi lecznicze, posiada nieocenione zalety ale także kaprysy, często nieodgadnięte a bardzo dotkliwie.

Prof. I. Feszczenko - Czopiński.

## Ulepszanie miejsc spawanych elektrycznie drogą obróbki termicznej.

### I.

Spawanie elektryczne łukowe pozwala, jako środek szybkiego remontu, na zaoszczędzenie materiału, czasu i robocizny i dlatego znajduje w naszych czasach coraz to większe zastosowanie we wszystkich gałęziach techniki. Jednakże metody wykonania tego procesu są jeszcze bardzo dalekie od doskonałości i znajdują się dopiero w okresie ulepszania. Jednorodność, a wraz z tem i wytrzymałość samego szwu, zależy w znacznej jeszcze mierze od wprawy i zręczności majstra wykonującego proces spawania, od pewności jego ruchów, od twardości jego rąk, od czucia i od wielu przyczyn przypadkowych. Bez wątpienia jesteśmy na dobrej drodze mechanizując proces, przez co wzrasta pewność pracy a wraz z nią i wydajność, i w ten sposób zbliżamy się do jakiegoś praktycznego maximum, które zapewni nam osiągnięcie pewnych najlepszych wyników.

Proces elektrycznego spawania (łukowego) polega, jak wiadomo, na tem, że przestrzeń pomiędzy dwoma materiałami (blachami) poddanymi złączeniu (spawaniu) wypełnia się spływającym z elektrody płynnym metalem. Metal ten roztopiwszy się w żarze łuku elektrycznego, wychodzącego z żelaznego pręta jako anody, spływa w stanie silnie przegrzanym w przygotowane dla niego miejsce (żłób) i oddaje nadmiar swego ciepła sąsiadnym warstwom żelaza podlegającego spawaniu (t. j. ściankom żłobu). Ilość ciepła powinna być tak wielka, by wystarczyła na roztopienie ścian żłobka na pewną głębokość. W ten sposób otrzymuje się bezpośrednio stapienie materiału spływającego z anody z materiałem ścian żłobu. Ten to stopiony metal stanowi materiał „właściwego (istotnego) szwu“ spawania, który jednostajnie i nieprzerwanie przechodzi w warstwy materiału podlegającego spawaniu, znajdujące się w stanie rozmiękczenia (ciastowatym), do nich następnie przylegają warstwy ogrzane do wysokich temperatur, bliskich temperatur rozmiękczenia, dalej idą warstwy ogrzane do nieco niższych temperatur i tak stopniowo przechodzimy do miejsc, których temperatura nie zmieniła się zupełnie podczas procesu spawania. Innymi słowami tworzy się ciągle przejście z fazy płynnej gruntownie przegrzanej do miejsc metalu pozostających w niezmięnionej temperaturze. W ten sposób szew spawania powstaje z fazy płynnej, a sąsiadujące z nim miejsca podlegają w tym samym czasie miejscowej obróbce termicznej (ogrzewaniu do różnych

temperatur). Potem następuje szybkie ochłodzenie, którego w zwykłych warunkach spawania nie można uniknąć z powodu wielkiego przewodnictwa cieplnego żelaza i z powodu wielkich różnic temperatur w jednym kawałku żelaza. Szybkość ochładzania w różnych miejscach szwu i jego okolicach będzie różna w zależności od wysokości miejscowej temperatury, od której zaczęło stygnąć dane miejsce, od wpływu miejsc sąsiednich o wyższej lub niższej temperaturze. Z tego powodu budowa samego szwu i miejsc sąsiadujących z nim nie będzie wcale jednorodna. Gdy miejsca szwu powstałe z płynnej fazy (w dalszym ciągu nazywać je będziemy szwem „istotnym“) posiadać będą budowę hartowaną<sup>1)</sup> (podobną do igieł martenzytowych), to w miarę przesuwania się w głąb materiału budowa iglasta przechodzić będzie w siatkową. Przy tem w miarę posuwania się w głąb materiału spawanego od szwu, w zależności od warunków ochładzania (szybkości) część materiału podlegać będzie rekrystalizacji. Część ta znajdować się będzie poza granicą „istotnego szwu“ a nawet poza granicą tych miejsc spawanego materiału, które znajdowały się podczas spawania w stanie ciastowatym, a leżeć będzie na granicy tych warstw spawanego materiału, które doznały stosunkowo słabej obróbki termicznej podczas spawania, t. z., które były ogrzane poniżej temperatury przemian alotropowych. Zjawisko to staje się tem wyrazistsze, im dłużej trwał proces ochładzania i im dłużej dane miejsce znajdowało się w temperaturach rekrystalizacji.

A zatem określenie „granica spawania“ jest względne. Przy prawidłowo odbywającym się spawaniu nie powinno być

<sup>1)</sup> Różnicę pomiędzy stałą a żelazem upatrywano do niedawna w tem, że stal hartuje się, a żelazo nie. Jednakże Sauvageot i Delmas (Revue de Métal. 1923, 777—796) wykazali, że różnica pomiędzy miękką hartującą się stałą a miękkim żelazem polega na tem, że obszar pełnego hartu (czystego martenzytu) znajduje się dla bardzo miękkiego żelaza w pobliżu temperatur topienia, dlatego też nie osiąga się optimum hartu w zwykłych warunkach hartowania dla tych gatunków żelaza (t. j. największą twardość, uwarunkowaną obecnością budowy martenzytowej). Potwierdza to znane prawo hartowania stali, określone przez francuskich uczonych (Grenet, Dejan i innych), że dla największego skutku hartowania istnieje pewna krytyczna temperatura leżąca powyżej  $A_3$ . Poniżej tej temperatury hartowanie nie daje należytego skutku. W małowęglistym materiale (żelazie) ta krytyczna temperatura hartowania znajduje się w zakresie bliskim temperatur topienia.



ostrej granicy spawania; przejście powinno być stopniowe od „szwu istotnego“ do miejsc, które nie doznały żadnej obróbki termicznej podczas procesu spawania. A to, co zwykle obserwujemy pod mikroskopem (porównaj rys. 1 i 2 pow. 75) jest widoczną granicą pomiędzy materiałem o nienaruszonej, jemu właściwej budowie, a materiałem, który doznał zmian w swej budowie wskutek zachodzącej obróbki termicznej podczas procesu spawania. Rzeczywista granica spawania jest ukryta gdzieś w warstwie spawania (na granicy „istotnego szwu“) i w wypadku idealnego spawania nie można znaleźć tej granicy pod mikroskopem; jedynie może kierunek jej wskazywać będą „błędy spawania“. Widoczna granica spawania jest granicą wpływów obróbki termicznej na budowę materiału poddanego spawaniu, da się ona dobrze rozróżnić pod mikroskopem, zwłaszcza w wypadku budowy warstwowej spawanego materiału i nie jest ona stała. W miarę coraz to dłuższego przebywania miejsc granicznych w temperaturze rekrytalizacji (poniżej przemian allotropowych), zwiększa się coraz bardziej obszar wzrastających w tych warunkach ziaren, a „widoczna granica“ spawania przesuwa się w głąb metalu w miejsca, których budowa nie była dotychczas naruszona; w ten sposób zwiększa się ogólna szerokość szwu spawania. Aby granicę tę uczynić bardziej stałą, należy cały przedmiot spawany wyżarzyc w temperaturach powyżej przemian allotropowych i następnie dać ostygnąć całej masie przedmiotu w warunkach jednakowych. Wtedy wszystkie miejscowe wewnętrzne naprężenia powstałe w różnych miejscach szwu w czasie i z przyczyn nierównomiernego ochładzania różnej wielkości i różnego znaku zostaną usunięte dzięki zmianie fazy, zachodzącej podczas przemiany allotropowej i dzięki związanemu z tem zjawisku przekrytalizowaniu (przy ochładzaniu z temperatur nieco wyższych od  $A_3$ ). Wtedy dopiero materiał szwu i okolic bardziej lub mniej do niego zbliżonych znajdować się będzie w stanie większej lub mniejszej równowagi.

W celu osiągnięcia najlepszych technologicznych wyników poleca praktyka spawania korzystanie z drutu z najbardziej czystego miękkiego żelaza jako środka do wypełnienia szwu. W razie przeciwnym zachodzi podczas spływania żelaza z drutu także i utlenianie węgla, a tworzący się CO wywołuje pryskanie. Za użyciem miękkiego żelaza przemawia jeszcze to, że miękkie żelazo posiada wyższą temperaturę topienia. W wypadkach użycia na materiał drutu do spawania żelaza z większą zawartością węgla, metal płynie niespokojnie, pryska, a drobne kulki i krople spadając pojedynczo, zdążą pokryć się przy tem cienką warstwą tlenków i układając się w stanie stałym w materiale szwu, przedstawiają po zastygnięciu szwu oddzielne segregacje słabo związane z resztą materiału. Nawet w tych wypadkach, gdy krople takie po dostaniu się do szwu zdążą się na nowo roztopić, to osłona tlenków otaczająca krople pozostaje w szwie w postaci żużlowych nitczek albo jest tak niepodatną na działanie wysokich temperatur płynnego materiału szwu, że przeszkadza ostatecznemu zlaniu się zawartości takiej kropli z resztą materiału szwu (rys. 3, 4, 5, pow. 75). Te obce ciała (wkroplenia) mogą w znacznym stopniu osłabić pożyteczny przekrój szwu spawania. Im bardziej oddalonym jest drut anody od żłobu, przygotowanego dla materiału szwu, tem większe ilości takich oddzielnych segregatów będą wtrącone w masę tego szwu i w tym większym stopniu segregaty te będą oddzielone od pozostałej masy szwu.

Idealnym warunkiem dla wszelkiego spawania byłoby przeprowadzenie spawania w próżni lub w jakimkolwiek ośrodku obojętnym<sup>1)</sup>. Jednak spawanie zwykle odbywa się przy dostępie powietrza, a wiadomo, że powinowactwo żelaza do tlenu i azotu w temperaturach topienia żelaza i nieco wyższych jest

<sup>1)</sup> Według najnowszych wiadomości (Z. d. V. d. I. 1926. N. 16, str. 550) obecnie przeprowadzono w Ameryce próby spawania wodorem, który przechodząc przez luk elektryczny rozszczepia się na atomy, poczem, po wyjściu z luku w miejscu spawania łączy się ponownie na drobiny, wydzielając przytem ilość ciepła dostateczną do spawania. Jednak nam się zdaje, że, unikając zupełnie w tym wypadku tworzenia tlenków, stajemy przed faktem powstawania kruchości w szwie spawania wskutek pochłoniętego wodoru.

bardzo wielkie. Dobry szew elektrycznego spawania zawiera według określeń H. Neesse około 0,25% tlenu, zły aż 0,32%. Jeśli teraz weźmiemy pod uwagę, że w roztworze stałym może być rozpuszczone, według określeń F. S. Tritton'a i D. Hanson'a<sup>1)</sup>, najwyżej 0,05% tlenu (a według niemieckich autorów A. Wimmer'a<sup>2)</sup> i P. Oberhoffer'a<sup>3)</sup> jeszcze mniej), to jasnym się staje, że stosunkowo wielkie ilości tlenków żelaza muszą się znajdować w szwie spawania w postaci ubocznych wtrąceń (0,1% tlenu odpowiada 0,45% FeO). Te ostatnie mogą znajdować się w postaci albo większych (rys. 4, 5 i 6) lub mniejszych wtrąceń (rys. 7, pow. 150), albo w postaci bardzo drobnych kropelek równomiernie rozsiianych i wtrąconych w masę ferrytu (rys. 8. pow. 300). Pochodzenie pierwszych jest pierwotne (rys. 4—6): są to nadmierne ilości FeO nie rozpuszczone ani w płynnej ani w stałej fazie; pochodzenie ostatnich (rys. 7 za wyjątkiem długich guzów i rys. 8) jest drugorzędne: są to wydzielania FeO z roztworu stałego żelaza (głównie z „ $\gamma$ —Fe) wskutek obniżenia stopnia rozpuszczalności tlenu w żelazie w miarę obniżania temperatury. W wypadku silnego dostępu tlenu powietrza do spływającej strugi żelaza z anody zwiększa się znacznie stopień miejscowego utlenienia żelaza i mamy wtedy do czynienia z wtrąceniami FeO w postaci skupień o większych wymiarach szerokości a zwłaszcza długości (rys. 4, 5). Nie należy jednak mieszać tlenków żelaza powstałych podczas stapiania z tlenkami znajdującymi się już na powierzchni spawanych przedmiotów (rys. 9, pow. 150). Aby uniknąć zjawisk tego rodzaju poleca się materiały przeznaczone do spawania oczyścić poprzednio starannie dżutem i szczotkami.

Z metalografii wiadomo, że obecność tlenu pogarsza znacznie mechaniczne właściwości żelaza. Zawartość tlenu w ilości 0,13% (według A. Wimmer'a) obniża odporność żelaza na uderzenie o 50%, zaś zawartość tlenu w ilości 0,18%, aż o 80%. Równocześnie ze wzrostem kruchości zmniejsza się w znacznym stopniu wytrzymałość, granica sprężystości, zdolność do zwężania; zdolność wydłużenia natomiast nie zmienia się aż do zawartości 0,2% tlenu<sup>4)</sup>. Z tego powodu jasnym jest, że kruchość szwu spawania zależy w znacznym stopniu od ilości zawartego w nim tlenu.

Jednakże tlen nie jest jedyną przyczyną kruchości. Powoduje ją w znacznym stopniu i azot, który w normalnych warunkach spawania równie łatwo i w większych początkowo ilościach przechodzi do roztworu stałego  $\gamma$ -żelaza, a następnie w miarę obniżania temperatury nadmierne ilości jego wykrytalizowują z roztworu stałego w postaci azotków żelaza. Rozpuszczalność azotu w żelazie jest tak wielka, że ilość azotu rozpuszczona w roztworze stałym  $\alpha$ -żelaza przy 580° wynosi 0,5%. W miarę obniżania temperatury spada szybko ta graniczna rozpuszczalność tak, że w zwykłych temperaturach wynosi zaledwie 0,015%.

Według H. Neesse<sup>5)</sup> szew spawany elektrycznie zawiera 0,122% azotu. W miarę obniżania temperatury wydzielają się z roztworu stałego żelaza nadmierne ilości azotu w postaci azotków żelaza (ściślej: kryształów mieszanych o różnej zawartości azotu) o iglastej a częściowo i siatkowej budowie (patrz rys. 10, szczegóły u H. Fry<sup>6)</sup>). Azot nie tylko zwiększa wytrzymałość, twardość i kruchość, lecz również silnie zmniejsza ciągliwość. Zdolność metalu do wydłużenia przy statycznym rozciąganiu spada do zera już przy zawartości azotu 0,1%.

Należy przy tem wspomnieć, że przeciętną zawartość tlenu (0,25%) i azotu (0,12%) w szwie spawania można znacznie obniżyć, a tem samem polepszyć wytrzymałościowe właściwości szwu przez zachowanie pewnych ostrożności mechanicznego charakteru, jak i przez użycie środków ochraniających charakteru

<sup>1)</sup> Iron and Steel Inst. 1924. CX. 90—120.

<sup>2)</sup> Werkstoffausschuss N. 50. 10. X. 1924. Berichte der Fachausschüsse des Vereines deutscher Eisenhüttenleute.

<sup>3)</sup> Das Technische Eisen. Berlin. 1925. 167—187.

<sup>4)</sup> Posiadamy tutaj znakomity przykład, że nie można sądzić o ciągliwości materiału wyłącznie na podstawie jego zdolności do wydłużania! Bardziej szczegółowe rozpatrywania tego patrz niżej.

<sup>5)</sup> Z. d. V. d. I. 1924. str. 1125.

<sup>6)</sup> Stahl und Eisen 1923. str. 1271—1279.



chemicznego. Tak n. p. od nadmiernego utleniania spływającego z anody żelaza chroni w znacznym stopniu warstewka zabezpieczająca. Różne patenty polecają pokrywać drut żelazny do spawania takimi powłokami, aby łatwiej ożużać tlenki. Taka warstewka zabezpieczająca składa się głównie ze sproszkowanego glinu, jako środka odtleniającego, azbestu, fluorków i innych ożużających, odtleniających i wiążących środków. Składniki te znacznie ułatwiają spawanie: łuk nie przerywa się przytem tak często, metal spływa bez przerwy, a lekkotopliwy żużel pokrywający jeszcze płynny szew sprzyja wydzieleniu się gazów, pochłaniania zanieczyszczenia szwu i nie dopuszcza doń tlenu i azotu powietrza. Skutki tych zabezpieczających warstewek dają się odczuwać bardzo wyraźnie przy pracy z prądem zmiennym, przy którym jak dotychczas otrzymywano wyniki zawsze nieco gorsze niż przy posługiwaniu się prądem stałym. Trudno jednak wątpić w celowość zastosowania prądu zmiennego. Widocznie dopiero dalszy postęp techniki spawania potrafi usunąć chwilowe trudności wynikające obecnie przy korzystaniu z tańszego i bardziej rozpowszechnionego prądu zmiennego.

## II.

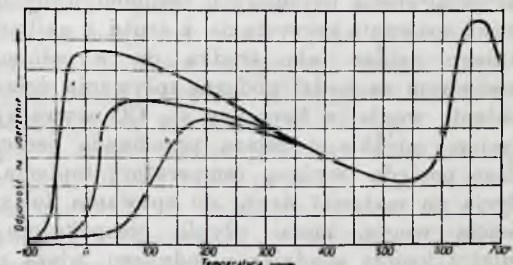
Każdy przedmiot metalowy dostatecznie sprężysty w zwykłych temperaturach zachowuje wewnętrzne naprężenia po wszelkich handlowych sposobach obróbki na zimno. Tego rodzaju wewnętrzne naprężenia mogą być wywołane przez niejednakowe stopnie miejscowych nagrzewania i przez niejednakowe szybkości miejscowych stygnięć, wywołane niejednakowymi przekrojami, niejednakowym rozdzieleniem masy metalu i t. p. Geometryczna suma wszystkich wewnętrznych naprężeń może być bardzo nieznaczna, jednakże stosunkowa wielkość poszczególnych naprężeń może być w pewnych miejscach przedmiotu tak znaczna, że po dodaniu do naprężeń, których doznaje cały metal podczas obciążenia roboczego, może przekroczyć granicę naprężeń bezpiecznych. Oprócz tego każdy metal podczas swej służby może odmiennie zachowywać się wobec obciążających go naprężeń w zależności od szeregu różnych czynników, pomiędzy którymi wielką rolę odgrywa stopień czystości metalu i jego poprzednie mechaniczne i termiczne obróbki.

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, twardości. 2. Określenie zdolności metalu do odkształceń plastycznych czerpiemy z wielkości otrzymanych z pomiaru trwałego wydłużenia metalu pod wpływem obciążeń statycznych (*A*) i z pomiaru jego zdolności do zwięzania (*C*); te ostatnie oznaczenia idą zwykle w parze z pierwszymi, a wzięte razem określają już do pewnego stopnia fizyczny stan metalu, chociaż zależy to w znacznej mierze i od warunków badania (geometrycznych wymiarów próbki, sposobu obciążenia, szybkości badania i t. p.). Uzupełniające dane otrzymujemy z określenia zdolności metalu do kucia, określenia kąta skręcania, kąta zginania aż do pojawienia się pierwszej szczeliny. 3) Określenie pracy potrzebnej do wykonania pewnych odkształceń lub też złomu daje kryterjum do określenia zdolności materiału do wytrzymałości przeciw raptownym obciążeniom i, co na to samo wychodzi, określa stopień jego ciągliwości. Materiał powinien przytem wykazać zdolność do pochłonięcia pewnej ilości energii bez powstania szczelin i stałych odkształceń podobnie jak sprężyna. Tego rodzaju badania dynamiczne są bardzo czułe na obecność w metalu wszelkiego rodzaju wad budowy (zanieczyszczeń, żużli szczelin mikroskopowych) a również na błędy obróbki termicznej i mechanicznej. Badania tego rodzaju (badania na kruchość) przeprowadza się na próbkach z nacięciem. Wreszcie 4) określenie zdolności metalu do wytrzymałości na okresowo zmieniające się (powtarzające) naprężenia można otrzymać jedynie z badań na zmęczeniu.

Badania materiałów metalicznych przeprowadza się w tak zwanych temperaturach pokojowych. Jednakże ta ogólna umowa daje często powód do fatalnych i całkowicie fałszywych wniosków o mechanicznych właściwościach metalu w temperaturach

jego codziennej służby, bliskich lecz nieco różniących się od tak zwanych temperatur pokojowych. Z technologii metali wiadomo, że żelazo a również i inne metale i stopy przebywają w zależności od temperatury badania to w kruchym obszarze niskich temperatur, to w zakresie ciągliwym, odpowiadającym nieco wyższym temperaturom, chociaż jednak bliskim temperaturom pokojowym. Przejście z jednego obszaru do drugiego bywa bardzo gwałtowne, tak że zmiana temperatury o parę stopni w stronę niższych temperatur przeprowadza nagle materiał z zakresu ciągliwego do kruchego. Obróbka termiczna (ulepszanie) przesuwają zakres ciągliwy w lewo t. j. w stronę niższych temperatur; przegrzanie, obróbka na zimno, nadmierne zanieczyszczenia tlenkami, azotem, fosforem, siarką, manganem przesuwają zakres ciągliwy w prawo t. j. w stronę wyższych temperatur. Dlatego całość badań od temperatury około  $-20^{\circ}$  do  $150^{\circ}$  względnie  $200^{\circ}$  zarysowuje położenie i charakter przebiegu krzywej spadku kruchości w miarę zwiększania temperatury. Całość tych wyników wspólnie z analizą metalograficzną wyjaśnia nie tylko zagadnienie stopnia czystości materiału i stopnia zgniotu, lecz również i stan jego obróbki termicznej. Równocześnie z tem można rozwiązać pytanie, czy dany materiał może być ulepszony za pomocą obróbki termicznej i to w jakim stopniu.

Schemat przedstawiony na rys. 11 pokazuje zmiany kruchości (odporności na uderzenie) w miarę podwyższania temperatury, zaczynając od temperatur niższych od zera. Oznaczenia są tu następujące: *a* — dla materiału ulepszanego, *c* — zwykłego walcowanego, *b* — przegrzanego. Przy temperaturze pomiędzy  $150^{\circ}$  a  $200^{\circ}$  zanika wpływ obróbki termicznej i zgniotu na stopień kruchości materiału. W miarę dalszego zwiększania temperatury wszystkie materiały niezależnie od ich poprzedniej mechanicznej i termicznej obróbki podlegają ogólnemu prawu t. j. kruchość ich zwiększa się do pewnego maximum odpowiadającego temperaturze około  $500^{\circ}$ — $550^{\circ}$  (zakres kruchości



Rys. 11.

na gorąco). W miarę dalszego jeszcze zwiększania temperatury zanika gwałtownie kruchość materiału i metal osiąga drugie maximum ciągliwości (minimum kruchości), odpowiadające dla żelaza miękkiego temperaturze około  $650^{\circ}$ — $700^{\circ}$ , powyżej której znowu następuje stały wzrost kruchości (spadek ciągliwości) przebiegający stopniowo aż do całkowitej utraty ciągliwości w temperaturze topienia.

Nowoczesna praktyka badania materiałów żelaznych przypisuje większe znaczenie badaniom materiału na kruchość w związku z zmianami jej w miarę zmian temperatury badania i na podstawie tych badań tworzy prognozy o zachowaniu się materiału podczas jego dalszej służby.

## III.

Szew elektrycznego spawania może być bardzo mocny, wytrzymałość jego tak w stanie surowym jak i w stanie wyżarzonym często nie tylko równa się wytrzymałości materiału spawanego, lecz może być nawet nieco większą. Zato ciągliwość jego jest znacznie niższą od ciągliwości materiału spawanego nawet w wypadkach najbardziej udanego spawania. Oprócz tego zwykłe metody badania na rozierwanie próbek ze szwem spawania w pośrodku nie dają wcale wartości wytrzymałości i ciągliwości szwu. W wypadku udanego spawania miękkich gatunków żelaza badania na rozciąganie wykazują, że wytrzymałość materiału żelaznego jest często mniejszą niż wytrzymałość



szwu, a ciągliwość jego jest znacznie większą od ciągliwości materiału samego szwu spawania. Proces wyżarzania często zwiększa w znacznej mierze ciągliwość, lecz znowu ciągliwość materiału, a nie szwu spawania. Szew pozostaje jak poprzednio małowciągliwym.

Ponadto podczas wyżarzania szwu odbywa się zamiast oczekiwanego ujednorodnienia wewnętrznej budowy często złożony proces mikroskopowego rozróżniczkowania, przyczyną którego są znajdujące się w większych ilościach w materiale szwu spawania obce wtrącenia (żuźle, głównie tlenki, azotki, banieczki gazów i t. d.). Są one w większości wypadków rozłożone na granicach ziaren i z tego powodu znacznie utrudniają przebieg dyfuzji normalnie zachodzący podczas wyżarzania i sprzyjający ujednorodnieniu budowy. Rys. 12 (pow. 75) przedstawia widoczną granicę spawania wyżarzonego przedmiotu. Rys. 13 (pow. 75) przedstawia miejscowe zaburzenia budowy w obszarze widocznej granicy spawania, spowodowane obecnością bardzo cienkiej nitki (warstewki) tlenków. Rys. 14 daje to samo miejsce w powiększeniu 150. Niema takiego stopnia wyżarzania, który mógłby doprowadzić podobną budowę do stanu strukturalnej jednorodności. Dalej powolne ochładzanie zwykle towarzyszące procesowi wyżarzania pozostawia w materiale niepożądane skutki. Powolne przejście materiału przez zakres temperatur od przemian allotropowych do około 400° sprzyja silnemu rozrastaniu się ziaren, materiał segreguje się na stosunkowo większe skupienia wykazujące niemniej niebezpieczne objawy „kruchości wyżarzania“ (po angielsku „temper britelnes“<sup>1)</sup>), chociaż skupienia te są przez poprzednie wyżarzanie pozbawione tych indywidualnych wewnętrznych naprężeń, które powstały w nich jako skutek procesu spawania. Dlatego więc należy szukać innych dróg do termicznego ulepszenia materiału spawania szwu, a drogę tę znaleźliśmy w procesie „ulepszania“.

Proces ulepszenia należy do metod tak zwanej obróbki termicznej i składa się z dwóch względnie z trzech odrębnych procesów wykonywanych kolejno na jednym i tym samym przedmiocie, a mianowicie: 1. Nagrzewanie próbki do temperatury hartowania t. j. praktycznie do temperatury mniej więcej o jakichś 30° wyższej od temperatury przemian allotropowych „ $\alpha$ “  $\rightarrow$  „ $\gamma$ “ i ogrzewanie w tej temperaturze przez pewien czas w celu ujednorodnienia roztworu stałego dzięki odbywającej się w tym czasie dyfuzji (wyżarzanie), a następnie hartowanie w pokojowej wodzie, albo lepiej w tłuszczu roślinnym (oliwie). 2. Odpuszczanie. Temperatura odpuszczania może być nieco wyższa lub nieco niższa, w każdym jednak wypadku niższa od temperatury  $A_{r1}$ . Dla żelaza kotłowego zawartości węgla 0,10 do 0,12% i więcej ustaliliśmy temperaturę odpuszczania około 700°. W tych warunkach przywraca się materiałowi maximum  $A$  i  $C$ , a zarazem zatrzymuje się nieco zwiększone  $R$  i  $H$ . Czas trwania odpuszczania może wynosić około 30 minut, licząc od chwili gdy temperatura pieca dojdzie do temperatury odpuszczania, a to w celu najpewniejszego udzielenia próbce żądanej temperatury, następnie odbywa się ochładzanie materiału do temperatur pokojowych.

Zachodzi pytanie, jakim powinno być to ochładzanie. Powolne ochładzanie odpuszczanych próbek pozostawia w metalu „kruchość wyżarzania“, szybkie ochładzanie wywołuje powstawanie w metalu naprężeń wewnętrznych. W celu uniknięcia tych i tamtych niepożądanych zjawisk opracowaliśmy kombinowany sposób ochładzania: szybkie ochładzanie próbek od temperatury odpuszczania (650°—700°) w ciepłej wodzie i 3. Powtórne słabe odpuszczanie tychże przy temperaturze 400° z następnym powolnym ochładzaniem od tej temperatury aż do temperatur pokojowych (w piecu). W ten sposób przechodząc za pomocą szybkiego ochładzania zakres temperatur rekrytalizacji (700°—400°) unikamy „kruchości wyżarzania“, a powtórne lekkie odpuszczanie przy 400° wyrównuje powstałe podczas szybkiego ochładzania miejscowe wewnętrzne naprężenia.

Tego rodzaju „kombinowany“ sposób ulepszenia zwiększa

granicę plastyczności, wytrzymałość, twardość, a wydłużenie przy tem mało różni się od wydłużenia w materiale wyżarzonym, zaś przewężenie wzrasta ponad to jakie otrzymujemy przy materiałach wyżarzonych. Złom ulepszony w ten sposób materiału jest bardzo drobno ziarnisty (podobny do złomu porcelany). A co najważniejsze kruchość takiego materiału jest minimalną z możliwych dla danego materiału o danym składzie chemicznym. Zakres kruchości oprócz tego przesuwają się do niższych temperatur. Zresztą wyniki mówią same za siebie jak to wynika z tablicy I, gdzie dla skrócenia obróbka termiczna, sposób spawania i charakter jego oznaczono literami, których znaczenie jest następujące:

*S* — na pierwszym miejscu oznacza, że materiał był badany w stanie surowym termicznie nieobrobionym.

*W* — materiał wyżarzony przy 920° i powolnie chłodzony w piecu (szybkość chłodzenia wynosiła 0,04° na sekundę).

*H* — materiał wyżarzony przy 920° i ochłodzony w wodzie o temperaturze pokojowej (hartowany, szybkość chłodzenia — 30° / sek).

*P* — materiał wyżarzony przy 920° i ochłodzony na powietrzu (szybkość chłodzenia — 0,5° / sek).

*UP* — materiał ulepszony: hartowany z 920°, odpuszczany do 700° i następnie powolnie chłodzony w piecu.

*UK* — materiał ulepszony: hartowany z 920°, odpuszczony do 700° i szybko ochłodzony w wodzie, ponownie lekko odpuszczony do 400° i następnie powolnie ochłodzony w piecu.

*S* — na drugim miejscu oznacza, że próbka była spawana prądem stałym.

*Z* — na drugim miejscu oznacza, że spawano próbkę prądem zmiennym.

*X* i *V* — na trzecim miejscu oznaczają sposób mechanicznego przygotowania końców materiału przeznaczonego do spawania.

Porównując otrzymane wyniki, musimy przyjść do wniosku, że proces „ulepszania“ bezwarunkowo zwiększa ciągliwość i to widocznie nie tylko samego materiału poddanego spawaniu, lecz i materiału szwu spawania. Jednakże porównanie wyników prób spawanych i ulepszonych sposobem kombinowanym z wynikami prób spawanych i wyżarzonych mało przemawia na korzyść pierwszych, materiał szwu staje się bardziej utwardzony, wytrzymałość jego jest wyższa, a wydłużenie i przewężenie mało co różnią się pomiędzy sobą. Jedynie tylko ziarnistość złomu przemawia na korzyść ulepszonych próbek.

Ta właśnie okoliczność, że istnieje zbyt mała różnica pomiędzy wynikami badań mechanicznych na rozerwanie przy próbach wyżarzonych a ulepszonych, spowodowała kierowników obróbki termicznej do wybrania procesu wyżarzania. Należy jednak przypatrzeć się dokładniej uwagom umieszczonym w tablicy I. Jeśli wszystkie surowe spawane próbki bez wyjątku pękały przy badaniu na rozerwanie przez szew spawania, jeśli wyżarzone próbki dawały takich pęknięć ponad 60%, to ulepszone w zwykły sposób (t. j. z następnym po odpuszczaniu powolnym ochładzaniu w piecu, oznaczone *UP*) dały tych pęknięć przez szew tylko około 40% i to przeważnie w próbkach spawanych prądem zmiennym, a ulepszone w sposób kombinowany (*UK*) dały już tylko 25% pęknięć przez szew i to wyłącznie przy spawaniu prądem zmiennym, który, jak wiadomo z praktyki spawania, przedstawia większe trudności techniczne i daje mniej udanych wyników. Niektóre rozerwania miały miejsce poza długością pomiarową, co dało znaczne obniżenie wartości wydłużenia i pozbawiło nas możliwości określenia przewężenia. Przyczynę tego widzimy w następującym: 1) proces ulepszenia współdziałał na materiał blach w większym stopniu, niż na silnie utwardzony przez uboczne wtrącenia (porównaj rys. 8 i 10) materiał szwu spawania i 2) długość pomiarowa próbek na rozerwanie była za krótka ( $l = 100$  mm).

Więcej światła na rolę ulepszenia szwu spawania rzucają badania kruchości (odporności szwu spawania na uderzenie).

Rozstrzygnąć należy najpierw pytanie, w jaki sposób dokonać nacięcia (karbu) w próbkach na uderzenie. Dla okre-

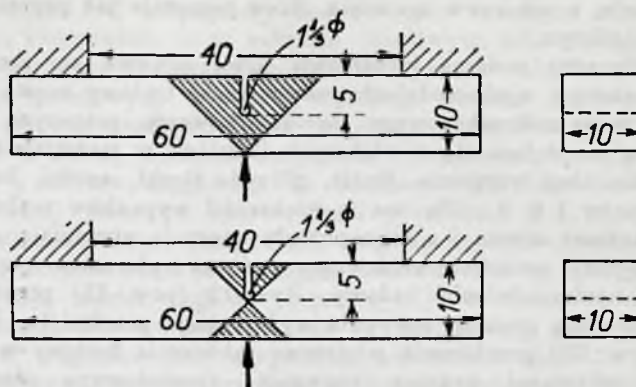
<sup>1)</sup> R. H. Greaves and A. Jones. — J. Iron and Steel Inst. CXI. 1925. str. 231—255.



ślenia kruchości szwu spawania należałoby logicznie robić nacięcie z boku próbki w grubości szwu spawania. Przyjmując jednak pod uwagę, że ścisłość szwu spawania badaliśmy w specjalnym celu, a mianowicie w celu zastosowania tej metody do naprawy kotłów parowych, w których szew spawania jest rozciągany w swych górnych częściach, a w dolnych ściskany, użyliśmy dla naszych badań karbu z góry, jak to pokazano na rys. 15. Przez to stawiamy szew spawania w naszych badaniach w nieco bardziej trudne warunki, lecz, jak się nam zdaje, powinno to właśnie dodatnio wpłynąć na nasze wywody.

Próbki do badania kruchości za pomocą uderzenia z nacięciem na 10 kgm wahadłowym taranie Charpy'ego, wycinano w wymiarach normalnych przyjętych w 1909 roku przez Kongres Międzynarodowego Stowarzyszenia dla prób materiałów budowlanych w Kopenhadze a mianowicie: 60×10×10 mm. Szew zestrugiwano naturalnie do równego poziomu z próbka t. j. 10×10; znajdował on się w środku próbki, blachy używane do spawania były na 11 mm grube. Odpowiednia obróbka

termiczna odbywała się przed ostatecznym przygotowaniem prób. Każde określenie jest średnią z dwóch równoległe przeprowadzonych



Rys. 15.

TABLICA I.

Mechaniczne badania wytrzymałościowe dokonane na prasie Amslera 30 tonn.

Szew spawany w poprzek próbki. Próbka płaska L—160 mm; l—100 mm; grubość — 11 mm; szerokość — 25 mm.

	Oznaczenie	Granica plastyczności kg/mm <sup>2</sup>	Wytrzymałość kg/mm <sup>2</sup>	Wydłużenie w %	Przewężenie w %	Rozerwanie
<i>A) Próby surowe.</i>						
Materiał w stanie surowym . . . . .	S	30,4	40,3	32,5	61,8	przez szew
" spaw. prądem stałym X . . . . .	SSX	30,5	35,3	8,0	?	"
" " " " " " . . . . .	"	30,5	41,8	25,0	57	"
" " " " " " V . . . . .	SSV	32,9	36,0	7,0	?	"
" " " " " " " . . . . .	"	32,8	38,7	7,0	?	"
" " " " " " " zmien. X . . . . .	SZX	30,3	32,7	7,0	?	"
" " " " " " " " . . . . .	"	29,0	40,3	21,0	?	"
" " " " " " " V . . . . .	SZV	30,1	40,2	12,0	?	"
" " " " " " " " . . . . .	"	29,7	41,1	12,0	?	"
<i>B) Próby wyżarzzone.</i>						
Materiał w stanie surowym . . . . .	W	29,2	37,1	35,0	69,5	
" spaw. prądem stałym X . . . . .	WSX	22,9	38,7	29,0	63,2	obok szwu
" " " " " " " . . . . .	"	24,0	34,3	10,0	?	przez szew
" " " " " " " V . . . . .	WSV	21,6	31,2	10,0	?	"
" " " " " " " " . . . . .	"	16,7	34,7	16,0	?	"
Materiał spaw. prądem zmien. X . . . . .	WZX	23,5	37,1	14,0	?	przez szew
" " " " " " " " . . . . .	"	23,6	38,8	29,0	60,0	obok szwu
" " " " " " " V . . . . .	WZV	25,1	38,8	28,0	60,0	"
" " " " " " " " . . . . .	"	23,8	38,2	15,0	?	przez szew
<i>C) Próby ulepszone w zwykły sposób.</i>						
Materiał w stanie surowym . . . . .	UP	30,7	40,7	31	66,4	
" spaw. prądem stałym X . . . . .	UPSX	28,9	42,7	9	?	poza długością pomiaru
" " " " " " " " . . . . .	"	30,6	42,5	11	?	"
" " " " " " " V . . . . .	UPSXV	22,6	36,0	8	?	przez szew
" " " " " " " " . . . . .	"	22,2	38,4	14	?	poza długością pomiaru
" " " " " " " " zmien. X . . . . .	UPZX	28,7	41,4	18	?	przez szew
" " " " " " " " " . . . . .	"	31,3	43,2	12	?	"
" " " " " " " " V . . . . .	UPZV	29,8	44,3	9	?	poza długością pomiaru
" " " " " " " " " . . . . .	"	30,2	44,4	12	?	"
<i>D) Próby ulepszone w sposób kombinowany</i>						
Materiał w stanie surowym . . . . .	UK	25,3	39,6	33	69	
" spaw. prądem stałym X . . . . .	UKSX	31,0	45,0	23	64	obok szwu
" " " " " " " " . . . . .	"	30,3	44,8	26	64	"
" " " " " " " " V . . . . .	UKSV	26,1	40,2	14	?	poza długością pomiaru
" " " " " " " " " . . . . .	"	24,9	39,3	13	?	"
" " " " " " " " " zmien. X . . . . .	UKZX	30,1	44,0	13	?	przez szew
" " " " " " " " " . . . . .	"	30,2	43,6	14	?	"
" " " " " " " " " V . . . . .	UKZV	32,3	45,4	23	62,5	obok szwu
" " " " " " " " " " . . . . .	"	32,9	46,3	23,3	63,5	"



TABLICA II.

Kruchość szwu spawanego elektrycznie kg/cm<sup>2</sup>.

sz. — silnie ziarnisty złom, z. — ziarnisty, dz. — drobno ziarnisty złom, r. — rozbita, nier. — nierozbita, psz. — rozbita przez szew, bsp. — złom przez błędy spawania, dbsp. — duże błędy spawania.

T° C	S		SSX		SSV		SZX		SZV	
-15	2,7 } 3,2	sz. r.	1,7 } 1,3	sz. r.	1,3 } 1,0	sz. r.	3,1 } 2,6	sz. r.	2,3 } 3,5	bsp. r.
	3,8 } 3,2	"	0,9 } 1,3	dbsp. r.	0,6 } 1,0	p. sz.	2,1 } 2,6	bsp. r.	4,8 } 3,5	sz. r.
0	6,5 } 6,2	z. r.	2,4 } 2,1	"	1,6 } 1,7	sz. r.	1,7 } 4,1	"	4,5 } 4,6	bsp. r.
	5,8 } 6,2	"	1,9 } 2,1	"	1,7 } 1,7	"	6,5 } 4,1	z. r.	4,8 } 4,6	z. r.
+15	7,9 } 8,2	"	2,4 } 2,2	"	3,6 } 3,4	"	3,0 } 4,3	bsp. r.	4,2 } 3,8	dz. r.
	8,5 } 8,2	nier.	2,0 } 2,2	"	3,3 } 3,4	"	5,6 } 4,3	z. r.	3,4 } 3,8	bsp. r.
100	9,2 } 8,7	"	4,8 } 4,4	z. r.	4,4 } 3,6	"	3,2 } 4,5	bsp. r.	4,7 } 4,4	"
	8,3 } 8,7	"	4,1 } 4,4	bsp. r.	2,7 } 3,6	bsp. r.	5,7 } 4,5	dz. r.	4,1 } 4,4	"
150	9,4 } 9,2	"	3,6 } 5,0	"	4,1 } 4,4	z. r.	6,1 } 4,2	dz. r.	5,6 } 6,8	"
	8,9 } 9,2	"	6,3 } 5,0	dz. r.	4,7 } 4,4	"	2,2 } 4,2	psz. r.	8,0 } 6,8	nier.
200	8,6 } 8,2	"	2,8 } 3,1	bsp. r.	3,3 } 4,3	bsp. r.	3,0 } 2,9	bsp. r.	5,2 } 5,2	bsp. r.
	7,7 } 8,2	"	3,3 } 3,1	"	5,2 } 4,3	"	2,7 } 2,9	psz. r.	5,2 } 5,2	"
	W		WSX		WSV		WZX		WZV	
-15	2,8 } 3,6	z. r.	1,0 } 1,6	bsp. r.	1,0 } 1,0	z. r.	0,9 } 1,0	bsp. r.	1,3 } 1,4	psz.
	4,3 } 3,6	"	2,2 } 1,6	dz. r.	0,9 } 1,0	bsp. r.	1,1 } 1,0	z. r.	1,6 } 1,4	z. r.
0	5,8 } 5,4	"	1,3 } 1,7	bsp. r.	2,1 } 1,8	z. r.	1,4 } 1,3	"	1,2 } 1,3	"
	5,0 } 5,4	"	2,2 } 1,7	"	1,5 } 1,8	bsp.	1,3 } 1,3	"	1,3 } 1,3	"
+18	6,4 } 6,9	z. r.	1,4 } 1,5	bsp. r.	3,6 } 2,7	bsp.	1,1 } 1,8	bsp. r.	3,6 } 3,6	bsp. r.
	7,4 } 6,9	"	1,5 } 1,5	"	1,8 } 2,7	"	2,4 } 1,8	"	3,5 } 3,6	"
100	12,9 } 11,5	nier.	5,7 } 5,4	dz. r.	6,6 } 6,5	nier.	5,0 } 5,3	dz. nier.	6,8 } 6,0	dz. nier.
	10,2 } 11,5	"	5,4 } 5,4	"	6,3 } 6,5	dz. r.	5,7 } 5,3	dz. nier.	5,2 } 6,0	dz. r.
150	8,8 } 8,9	"	5,8 } 5,8	nier.	5,7 } 6,7	"	(1,6) } 4,6	bsp.	6,0 } 6,2	"
	8,9 } 8,9	"	5,8 } 5,8	dz. r.	7,6 } 6,7	nier.	4,6 } 4,6	dz. r.	6,5 } 6,2	"
200	8,6 } 8,7	"	6,9 } 7,5	nier.	5,8 } 6,6	dz. r.	2,4 } 4,7	psz.	3,4 } 4,2	psz.
	8,8 } 8,7	"	8,0 } 7,5	"	7,3 } 6,6	nier.	6,9 } 4,7	dz. r.	4,9 } 4,2	z. r.
	H		HSX		HSV		HZX		HZV	
-15	7,8 } 7,9	z. r.	1,9 } 1,8	dz. r.	2,2 } 2,5	dz. r.	1,3 } 1,7	dz. r.	2,4 } 2,4	dz. r.
	8,1 } 7,9	"	1,6 } 1,8	z. r.	2,8 } 2,5	"	2,0 } 1,7	"	2,4 } 2,4	"
0	9,1 } 8,5	nier.	2,6 } 2,5	dz. r.	1,6 } 1,9	bsp.	1,7 } 2,8	bsp.	3,1 } 2,9	"
	8,0 } 8,5	"	2,4 } 2,5	"	2,2 } 1,9	"	4,0 } 2,8	dz. r.	2,7 } 2,9	"
+18	9,0 } 8,8	"	2,2 } 2,8	bsp.	2,7 } 3,4	"	2,2 } 1,9	bsp.	5,0 } 4,4	"
	8,5 } 8,8	"	3,4 } 2,8	dz. r.	4,0 } 3,4	dz. r.	1,5 } 1,9	"	3,8 } 4,4	bsp.
100	9,2 } 9,0	"	2,5 } 2,9	bsp.	3,6 } 3,3	bsp.	1,2 } 2,1	psz.	3,2 } 3,0	"
	8,8 } 9,0	"	3,3 } 2,9	"	2,9 } 3,3	"	2,9 } 2,1	b-p.	2,7 } 3,0	"
150	8,6 } 8,3	"	2,7 } 2,8	"	4,9 } 4,2	dz. r.	4,5 } 3,8	dz. r.	4,4 } 4,9	psz.
	7,9 } 8,3	"	2,8 } 2,8	"	3,6 } 4,2	bsp.	3,1 } 3,8	bsp.	5,3 } 4,9	bsp.
200	8,9 } 8,6	"	2,7 } 2,7	"	3,5 } 3,1	"	2,6 } 3,1	"	4,0 } 4,1	"
	8,4 } 8,6	"	2,8 } 2,7	"	2,7 } 3,1	"	3,6 } 3,1	psz.	4,3 } 4,1	psz.

dzonych badań za wyjątkiem tych stosunkowo rzadkich wypadków, gdy wyniki badania przeczą całkowicie ogólnej prawidłowości a to z powodu nadmiernych błędów spawania. Prawidłowość ta znajduje silne potwierdzenie w podobnych próbkach danej serii i równoległych analogicznych badań. Te, według naszego zdania, anormalne wyniki zostawiono w tablicach na swych miejscach lecz w nawiasach i nie wzięto ich pod uwagę przy obliczeniach średnich wartości.

Serje badań oznaczone literami P... i H... dają możliwość ustalenia warunków ostygnięcia szwu spawania. Naturalnie stygnięcie tegoż nie było tak gwałtowne, jak chłodzenie podczas hartowania, jest ono jednak szybsze niż zwykle stygnięcie na powietrzu.

Nawet nieuzbrojonym okiem można było stwierdzić większe lub mniejsze ilości błędów spawania na większości złomów po próbie na uderzenie. Na każde z 72 badanych próbek naliczyliśmy złomów z błędami spawania:

1. przy stałym prądzie i szwie X — 61%
2. " " " " " V — 53 "
3. " zmiennym " " " X — 75 "
4. " " " " " V — 67 "

Okazało się przytem, że największą ilość błędów spawania znaleziono na próbkach termicznie ulepszonych. Nie znaczy to jednak, że było ich mniej w próbkach termicznie nieobrobionych. Drobnziarnista budowa złomu ulepszonych prób bardziej sprzyjała wykrywaniu takich błędów spawania, natomiast gruboziarnistość surowych prób maskowała je. Bardzo możliwe, że przy użyciu szkła powiększającego możnaby na każdym złomie odkryć chociażby małe ilości błędów spawania. Obecna praktyka spawania stwierdza, że przy korzystaniu z prądu zmiennego wzrastają trudności osiągnięcia udanego spawania. Jednakże badania nasze nie wykazały wyraźnej granicy, widocznie szanse powodzenia zależą w tym wypadku w większej mierze od zręczności majstra-wykonawcy. Możliwe, że dla wy-



	P		PSX		PSV		PSZ		PZV	
-15	4,8 } 5,5	r	2,9 } 3,0	z. r.	2,6 } 1,9	bsp.	1,6 } 1,6	bsp.	3,0 } 2,4	bsp.
	6,2 }	"	3,2 }	"	1,2 }	"	1,5 }	"	1,8 }	"
0	9,3 } 9,4	"	3,1 } 2,8	bsp.	3,2 } 2,7	z. r.	3,0 } 2,6	"	3,4 } 3,8	"
	9,5 }	"	2,5 }	"	2,3 }	bsp.	2,2 }	"	4,2 }	"
18	8,8 } 9,1	nier.	4,6 } 4,4	z. r.	3,9 } 4,2	"	2,0 } 2,9	"	5,1 } 5,3	dz. r.
	9,3 }	"	4,2 }	"	4,6 }	z. r.	3,7 }	"	5,5 }	"
100	12,1 } 12,8	"	9,1 } 8,9	dz. r.	4,7 } 5,4	bsp.	4,8 } 5,2	"	7,3 } 7,7	bsp.
	13,6 }	"	8,7 }	bsp.	6,2 }	"	5,7 }	"	8,2 }	dz. r.
150	9,6 } 9,7	"	6,4 } 6,8	dz. r.	6,2 } 6,4	"	3,2 } 3,6	psz.	7,4 } 7,6	bsp.
	9,7 }	"	7,2 }	"	6,6 }	"	4,0 }	"	7,8 }	dz. r.
200	13,2 } 12,7	"	6,7 } 6,5	bsp.	6,1 } 4,3	"	3,1 } 3,6	"	7,9 } 6,3	bsp.
	12,2 }	"	6,3 }	"	2,4 }	psz.	4,1 }	bsp.	4,6 }	psz.
	UP		UPSX		UPSV		UPZX		UPZV	
-15	11,0 } 10,2	nier.	5,5 } 4,3	dz. r.	6,9 } 6,4	dz. r.	3,4 } 3,4	bsp.	4,9 } 5,3	bsp.
	9,5 }	"	3,2 }	bsp.	5,9 }	bsp.	(1,6) }	psz.	5,7 }	dz. r.
0	10,0 } 10,2	"	2,4 } 3,4	dz. r.	6,6 } 6,1	dz. r.	5,3 } 4,7	bsp.	6,2 } 5,5	bsp.
	10,3 }	"	4,3 }	"	5,5 }	bsp.	4,2 }	"	4,7 }	"
+18	10,6 } 10,4	"	5,8 } 6,5	bsp.	6,9 } 6,8	dz. r.	3,0 } 3,0	"	5,9 } 5,9	"
	10,2 }	"	7,1 }	dz. r.	6,6 }	bsp.	3,0 }	"	5,8 }	"
100	11,0 } 11,4	nier.	5,2 } 6,2	bsp.	5,9 } 7,7	psz.	3,5 } 3,0	bsp.	4,0 } 5,1	bsp.
	11,3 }	"	7,1 }	nier.	9,5 }	nier.	2,5 }	"	6,2 }	nier.
150	10,7 } 10,7	"	3,0 } 6,3	dbsp.	5,6 } 5,4	dz. r.	4,2 } 4,8	"	9,0 } 7,7	"
	(9,4) }	"	9,6 }	nier.	5,3 }	bsp.	5,4 }	"	6,3 }	bsp.
200	10,3 } 10,1	"	5,9 } 5,2	dz. r.	5,8 } 4,6	dz. r.	3,1 } 3,1	psz.	5,6 } 4,3	"
	9,9 }	"	4,4 }	bsp.	3,6 }	psz.	3,0 }	"	3,0 }	"
	UK		UKSX		UKSV		UKZX		UKZV	
-15	10,2 } 10,2	nier.	4,3 } 3,1	dz. z.	(1,3) } 4,8	dbsp.	3,0 } 3,0	bsp.	4,2 } 4,8	bsp.
	10,3 }	"	1,9 }	bsp.	4,8 }	dz. r.	3,0 }	"	5,4 }	dz. r.
0	10,7 } 10,4	"	3,9 } 3,9	"	4,5 } 5,5	bsp.	6,2 } 4,2	dz. r.	3,3 } 4,2	bsp.
	10,1 }	"	(1,2) }	dbsp.	6,5 }	dz. r.	2,2 }	bsp.	5,0 }	"
18	11,5 } 11,3	"	6,0 } 6,3	bsp.	5,6 } 5,4	bsp.	4,4 } 6,4	dz. r.	5,9 } 4,9	"
	11,1 }	"	6,6 }	"	5,1 }	"	8,5 }	"	3,8 }	"
100	(9,2) } 11,1	"	6,8 } 6,0	"	6,4 } 6,9	"	3,8 } 6,0	bsp.	6,1 } 6,5	"
	11,1 }	"	5,1 }	"	7,5 }	"	8,1 }	dz. r.	6,9 }	"
150	13,9 } 13,2	"	(3,1) } 6,4	psz.	7,0 } 7,0	"	5,4 } 4,8	bsp.	5,7 } 5,5	"
	12,5 }	"	6,4 }	bsp.	(2,9) }	psz.	4,2 }	"	5,3 }	"
200	8,5 } 8,5	"	2,9 } 3,1	"	6,1 } 6,6	dz. r.	5,3 } 5,1	"	5,9 } 4,5	"
	8,5 }	"	3,3 }	"	7,0 }	"	5,0 }	"	3,2 }	"

krycia tej różnicy potrzeba nie trzy setki badań, któreśmy byli w stanie przeprowadzić, lecz tysiące. Na podstawie naszych badań kruchość spawanych i nieobrobionych próbek jest, zwłaszcza w niskich temperaturach aż do pokojowych włącznie, tak wielka, że charakter prądu elektrycznego nie jest w stanie wykazać na nich swego wpływu. W próbkach obrobionych termicznie (wyżarzonych, ulepszonych) przewagę posiada w przeważającej ilości wypadków prąd stały. Zdaje się dla nas rzeczą nie podlegającą wątpliwości, że w wprawnych rękach otrzymać można jednakowo dobre wyniki korzystając tak ze stałego jak i ze zmiennego prądu.

Porównanie wyników badań, lub jeszcze lepiej proste arytmetyczne zesumowanie tychże i operowanie wartościami średnimi pozwoli ustalić fakt, że ułożenie materiału przeznaczonego do spawania na X daje przy wszystkich innych jednakowych warunkach wyniki gorsze, niż ułożenie szwu na V.

Dla wyjaśnienia wpływu obróbki termicznej na stopień

ulepszenia szwu spawanego wyjdziemy z założenia (co zdaje się nam bezwarunkowo słusznem, a dla naszego celu bardzo racjonalnem), że wszelkie spawanie daje w szwie spawania materiał pod każdym względem gorszy od materiału przeznaczonego do spawania. Dla wyjaśnienia wpływu obróbki termicznej należy z tego powodu wyjść ze średnich wyników badań materiałów szwu spawania niezależnie od sposobów ich spawania. W ten sposób w znacznym stopniu zwiększamy prawdopodobieństwo i wiarygodność naszych wywodów. Chwilowo nie będziemy również czynić różnicy pomiędzy sposobami ulepszania i przy porównywaniu ulepszonych szwów spawania z nieulepszonymi, posługując się będziemy wartościami otrzymanymi jako średnie arytmetyczne z danych, otrzymanych dwoma sposobami ulepszania, oznaczonymi powyżej przez „UP“ i „UK“. Nie od rzeczy będzie wspomnieć, że materiał blachy użytej do spawania dalekim był od idealnego tak pod względem swej czystości, jak i pod względem obrobienia termicznego.



Materiał ten posiadał wiele żużli wtrąconych o charakterze tlenków, a jego obróbka termiczna wcale nie była najlepsza, co zresztą potwierdza poniższa tablica.

TABLICA III.

Wynik ulepszania szwu spawanego elektrycznie; odporność na uderzenie w  $\text{kg}/\text{cm}^2$ .

	materiał blachy				UP+UK 2	Stopień ulepszenia w %
	S	W	UP	UK		
-15	3,2	3,6	10,2	10,2	10,20	220
0	6,2	5,4	10,2	10,4	10,30	67
+18	8,2	6,9	10,4	11,3	10,85	32
100	8,7	11,5	11,4	11,1	11,25	29
150	9,2	8,9	10,7	13,2	11,95	30
200	8,2	8,7	10,1	8,5	9,30	13

materiał szwu spawania

-15	2,1	1,2	4,8	3,9	4,35	100
0	3,1	1,4	4,9	4,5	4,70	50
+18	3,4	2,4	5,6	5,75	5,68	70
100	4,2	5,8	5,5	6,4	5,95	42
150	5,1	5,8	6,05	5,95	6,00	18
200	3,8	5,6	4,3	4,8	4,55	20

Skutki ulepszania w obu wypadkach mają jednakową dążność, zgodną ze schematem na rys. 11. Przy niskich temperaturach skutki ulepszania są bardziej dobitne, korzyść z ulepszenia zmniejsza się w miarę podwyższenia temperatury badania. Efekt ten w niskich temperaturach jest bardziej wyraźny dla materiału blachy, niż dla materiału szwu spawania.

Jeśli przyjąć pod uwagę to cośmy powiedzieli w rozdziale II. o znaczeniu badania odporności materiału przeciw raptownym obciążeniom, a również bezpośrednią łączność pomiędzy ciągliwością materiału a jego odpornością na uderzenie (jego kruchością), to należy przyznać, że otrzymane za pomocą obróbki termicznej ulepszenie materiału szwu spawania wynosi 100–50% przy pracy w temperaturach niższych od pokojowych, a 50–20% w temperaturach powyżej pokojowych. Zwiększa, co należy podkreślić, osiągamy zapomocą ulepszania większą stałość w odporności materiału w szwie spawania w związku ze zmianami temperatury od  $-15^{\circ}$  do  $150^{\circ}$ . W materiale surowym nieulepszonym szwu spawania wartości kruchości różnią się od wartości kruchości przy  $+18^{\circ}$ , przyjętej za 100%, w granicach od  $+62\%$  do  $+150\%$ . W stanie ulepszonym odchylenia te mieszczą się w granicach od  $+78\%$  do  $107\%$ . W ten sposób w ulepszonym szwie należy spodziewać się mniejszej ilości nieoczekiwanych skutków występowania kruchości w związku z nagłymi zmianami temperatur w zakresie  $-15^{\circ}$  do  $+150^{\circ}$ , niż to ma miejsce w szwie surowym.

Budowa ulepszanego szwu spawania pokazana jest na rys. 16 i rys. 17 w powiększeniu 75, gdzie widoczna granica spawania daje się wyraźnie zaobserwować. Ulepszenie jednak nie jest w stanie usunąć lub wyrównać błędy budowy szwu spawania; pozostają one nadal, choć różnica pomiędzy nimi a resztą masy nie jest już tak jaskrawa (porównaj rys. 18 pow. 75 z rys. 14 z materiału wyżarzowanego).

W obecnym stadium technologicznego rozwoju procesu elektrycznego spawania nie wyobrażamy sobie konkretnej możliwości większego stopnia ulepszania materiału szwu spawania

zapomocą obróbki termicznej. Metalograf powiedział swe ostatnie słowo, a dalsze kroki w kierunku osiągnięcia jeszcze lepszych wyników spawania będzie zadaniem technologów i nie wątpimy, że dokonają oni tego w czasie najbliższym i z najlepszym wynikiem. Dzisiejszy jednak stan rzeczy pozostawia dużo do życzenia, co jasno ilustruje tablica IV.

TABLICA IV.

Stopień osłabienia materiału przez szew spawania (strata odporności przeciw uderzeniom w  $\text{kg}/\text{cm}^2$ ).

T <sup>o</sup> C	Strata odporności na uderzenie materiału blachy przez szew spawania w %					
	materiał blachy i szew surowy	materiał i szew spawania w stanie wyżarzonym	materiał i szew w stanie ulepszonym	materiał w stanie ulepszonym, szew w stanie surowym	szew w stanie nieulepszonym, materiał blachy w stanie surowym	
-15	-34	-67	-57	-79	+22	
0	-50	-74	-55	-70	-24	
+18	-59	-65	-50	-69	-30	
100	-40	-50	-47	-63	-27	
150	-45	-35	-50	-58	-35	
200	-54	-36	-50	-60	-45	

Dla zrozumienia tej tabliczki zestawionej na podstawie danych doświadczalnych z tablicy II. i naszych uogólnień umieszczonych w tablicy III. powinny posłużyć rozważania teoretyczne wyłożone w rozdziale I., a zwłaszcza w rozdziale II. Z rozważania tablicy powinno się stać dla czytelnika jasne, że nie można zapomocą ulepszania termicznego osiągnąć wyników, któreby przyrównywały materiał szwu spawania z materiałem spawanym. Ulepszenie termiczne sprowadza się głównie do przesunięcia kruchoego (łamiwego) obszaru do niższych temperatur, znacznie niższych od tak zwanych temperatur zwyczajnych. Oprócz tego nie należy zapominać, że już z charakteru powstania musi być stop (szew) mniej czystym i mniej jednorodnym, niż samo żelazo; ponadto pamiętać należy, że ulepszeniu poddaje się jedynie odpowiedni do tego materiał i że materiał lichi z natury można polepszyć przez obróbkę termiczną jedynie do pewnej granicy, którą, jak się nam zdaje, osiągnięto w powyższych doświadczeniach, a granice tych wyników podano w tablicy III.

Nieco bardziej korzystny obrót przyjąłby proces ulepszania szwu spawania, gdyby można było bezpośrednio po uskutecznięciu spawania zastosować kucie w miejscach spawania. W najbliższej przyszłości powrócimy do tego tematu.

W zakończeniu uważamy za swój przyjemny obowiązek zaznaczyć, że inicjatywę badań szwu spawanego podjął pierwszy p. Dziekan Akademii Górniczej inż. E. Chromiński. Wszelkie materiały do badań dostarczyły nam warsztaty kolejowe Kraków-Płaszów. Za życzliwe i ofiarne dostarczenie odpowiednich próbek składamy podziękowania p. radcy inż. J. Orłowiczowi, p. inż. J. Palimaczyńskiemu i p. inż. S. Nieświatowskiemu. Zdjęć mikrofotograficznych dokonał asystent zakładu Metalografii p. Z. Jasiewicz próby mechaniczne przeprowadził częściowo p. asystent T. Molkiwicz.

Pieniężnie wspomogło częściowo te badania Stowarzyszenie Dozoru Kocioł Parowych w Warszawie.

Inż. Tadeusz Gajczak.

## Elektryczne spawanie łukowe w zastosowaniu do naprawy i budowy kotłów parowych.

Elektryczne spawanie łukowe polega na znanym zjawisku łuku Volty, który powstaje, gdy dwie elektrody, po zetknięciu, odsuniemy od siebie (zasada lampy łukowej). Łuk taki powstaje i daje się utrzymać również między przedmiotem o większych rozmiarach, n. p. blachą kotłową a cienkim pręcikiem żelaznym. Wskutek wysokiej temperatury łuku miejsce na przedmiocie,

o które zaczepia łuk, topi się a równocześnie z końca pręcika wyrzucone zostają drobne kropelki stopionego żelaza, które się łączą z roztopionym podłożem spawanego przedmiotu. Opisane zjawisko znane było już od dawna, lecz dopiero wojna światowa zmusiła do zastosowania spawania w szerokiej mierze przy naprawie okrętów i kotłów, przyczem osiągnięto pomysły



wyniki, które zachęciły do gruntownego zbadania naukowego i doświadczalnego tej metody łączenia.

Technika spawania łukowego jest w stanie rozwoju i nie wiadomo, co przyniesie najbliższa przyszłość, jednak dążenia techników, zajmujących się tym problemem, idą w kierunku zastąpienia dotychczasowych metod łączenia metali spawaniem. Spawanie łukowe stosuje się w szerokim zakresie do nakładania wyżartych, wylamanych lub wytartych części metalowych i można powiedzieć, że większość robót, z zupełnym powodzeniem wykonanych, odnosi się do tego działu techniki spawania. Więcej trudności nastręcza nakładanie lub łączenie żeliwnych przedmiotów, zwłaszcza gdy chodzi o łatwość obróbki i szczelność spawanego przedmiotu, ale i w tych wypadkach ustalono pewne metody postępowania, które, przy odpowiedniej uwadze, wydały pierwszorzędne rezultaty, toteż i u nas w Polsce spawanie znajduje coraz większe zastosowanie, zastępując dotychczasowe metody naprawy i łączenia metali.

Stosunkowo najmniej stosuje się spawanie łukowe do naprawy kotłów parowych i naczyń pracujących pod ciśnieniem, a prawie zupełnie odrzuca w budowie tych przedmiotów. Wprowadzenie tej metody napotyka na trudności zupełnie zrozumiałe, gdyż, nawet nie licząc się z istniejącymi przepisami o budowie i naprawie kotłów parowych, trudno w tej dziedzinie dopuścić nowe metody, nie ustalwszy pierw pewnych norm i przepisów, po uprzednim zbadaniu i wypróbowaniu danej metody. Nie można również polegać na jednostronnym zalecaniu tej metody przez zainteresowane czynniki, zatem, dla uzgodnienia norm spawania i interesów sfer produkujących z interesami właścicieli kotłów, okazuje się konieczna współpraca ze Stowarzyszeniami dozoru kotłów.

Referat niniejszy jest próbą przedstawienia pewnych zasad postępowania, stanowiącą przedewszystkiem materiał do dyskusji. Najważniejszym zadaniem jest ustalenie pewnych przepisów, którym zadość uczynić powinna przedstawiona metoda spawania. W związku z tem, nasuwa się pytanie, czy nie należałoby ustanowić pewnej wyłączności dla firm, wykonujących roboty spawane aprobowaną metodą, a także ustalić sposób badania biegłości spawaczy i ewentualnych uprawnień spawaczy wypróbowanych. W dalszem następstwie należałoby ustalić te roboty, które wolno wykonywać bez specjalnych zastrzeżeń i odróżnić roboty naprawcze, nowe, przy kotłach parowych i przy naczyniach pracujących pod ciśnieniem. W rozważaniach na ten temat należy na razie oprzeć się na badaniach i próbach porównawczych dokonanych przez instytucje pokrewne, których wyniki uprawniają do postawienia zasady popierania nowej metody.

W rozwiązaniu powyższych problemów główny ciężar spoczywać musi na organach Dozoru kotłów, których zadaniem być powinno:

1. zapoznanie się z metodą spawania danego przedsięwzięcia,
2. wypróbowanie spawacza,
3. kontrola roboty wykonanej.

Przedsiębiorstwo, zgłaszające zamiar spawania kotłów, powinno wykazać się dobrymi wynikami próbnymi, otrzymanymi z następujących prób:

1. Próby na rozerwanie, którą wykonać należy co najmniej na czterech próbkach blachy kotłowej o wytrzymałości 36—50  $kg/mm^2$ , 2 i 6, 12, 18, 25  $mm$  grubej. Próbki należy wyciąć z większej blachy spojonej, a spoinę doprowadzić do grubości blachy właściwej przez sheblowanie. Próbki powinny posiadać takie wymiary, jakich wymaga najbliższa stacja doświadczalna. Do próbek należy dołączyć tę samą ilość pasów wyciętych z miejsc niespawanych tego samego arkusza blachy.

U w a g a. Cyfry podane poniżej odpowiadają warunkom, które przepisuje Inspektorat kotłów i okrętów w Szwecji, gdzie technika spawania, dzięki Kjellbergowi, stoi bardzo wysoko.

Warunek dobroci ad 1) Próbka powinna wykazać co najmniej 90% wytrzymałości blachy niespawanej,

wydłużenie na przestrzeni 200  $mm$  nie powinno być mniejsze niż 14% przy blachach powyżej 10  $mm$  grubości, a

nie mniejsze niż 10% przy blachach poniżej 10  $mm$  grubości.

2. Próby na zmęczenie. Z blachy 900  $mm$  długiej, 220  $mm$  szerokiej i 19  $mm$  grubej odcina się nożycami pas 230  $mm$  długi. Blachy przecięte spawa się do czoła i wycina z nich co najmniej 12 pasków o szerokości 19  $mm$ , które następnie obtacza się na pewnej przestrzeni do średnicy 15  $mm$ , w obrębie której powinna znajdować się spoina.

Warunek dobroci ad 2). Przynajmniej  $\frac{2}{3}$  próbek powinno wytrzymać obciążenie 10  $kg/mm^2$  i 5,000.000 obrotów.

3. Próba modułu elastyczności. Z blachy o grubości 13  $mm$  wycina się strugarką pas 330  $mm$  długi i 32  $mm$  szeroki, a powstałą szczelinę wypełnia materiałem stopionym, poczem odcina się blachę otaczającą szczelinę a pas stopionego materiału zwęża się na 25  $mm$  przez otoczenie. W ten sposób wykonuje się 2 próbki, na których następnie bada się moduł elastyczności.

Warunek dobroci ad 3). Moduł elastyczności powinien wynosić 20000  $kg/mm^2$ .

4. Próby na uderzenie. Dwie blachy o długości 1250  $mm$ , szerokości 600  $mm$  a grubości 6 i 13  $mm$  przepoławia się wzdłuż krótszego boku na heblarce i spaja. Po zrównaniu blach w miejscach spojenia, układa się je na 2 koziolkach 500  $mm$  wysokich o rozstawie 1025  $mm$ .

Warunek dobroci ad 4). Blachy powinny, bez okazania rysów, wytrzymać uderzenia spadającego ciężaru, a mianowicie: blacha 6  $mm$  — ciężar 100  $kg$  z wysokości 2,7  $m$  a blacha 13  $mm$  — ciężar 200  $kg$  z wysokości 2,6  $m$ .

5. Próba chemiczna. Należy wykonać analizy chemiczne elektrod i stopionego materiału.

Warunek dobroci ad 5). Spoina powinna zawierać co najmniej 0,1% węgla i 0,25% manganu.

6. Próba mikroskopowa. Należy wykonać przynajmniej jedno zdjęcie mikroskopowe spoiny i sąsiadującej z nią partji materiału.

Warunek dobroci ad 6). Przejście jednego materiału w drugi nie powinno być zanadto widoczne.

Powyższe próby powinny być przeprowadzane w obecności inżyniera kotłowego, który je oznacza swoją cechą. Próby niepomysłne można powtórzyć. Ponieważ wynik prób jest zależny w równej mierze od użytych elektrod, jak i od umiejętności spawacza, zatem w tych wypadkach, gdzie używa się elektrod wypróbowanych zagranicą i tam dopuszczanych, większość prób mogłaby odpaść, a należałoby się ograniczyć do wypróbowania samego spawacza.

7. Próba spawacza. Dwa pasy o wymiarach 300 × 30  $mm$  a grubości 8 i 13  $mm$  należy przeciąć na strugarce, poczem spoić i zrównać do pierwotnej grubości blachy. Próbki spojone zgina się w odpowiedni sposób na trzpieniu o średnicy 3 razy większej od grubości blachy.

Warunek dobroci ad 7). Spoina powinna wytrzymać zgięcie co najmniej 120° a do wygięcia 90° nie powinna ujawniać żadnych nadpęknięć.

Próby na zgięcie należy powtarzać częściej, a zwłaszcza w miejscu wykonywanych robót, w obecności inżyniera kotłowego, lub upoważnionej osoby. Przy wykonywaniu robót kotłowych, powinna firma, w której spawacz pracuje, przedstawić poświadczenie, opiewające na nazwisko spawacza, a uprawniające go do wykonywania tych robót. Uprawnienia takie tracą ważność, gdy spawacz przenosi się do innego przedsiębiorstwa, gdzie powinien próby znowu powtórzyć. Inżynierowie kotłowi powinni, w sprawozdaniach odebranych robót, wymienić nazwisko spawacza, rozmiar wykonanej roboty i swoje spostrzeżenia.

Kontrola napraw powinna obejmować zatwierdzenie zamierzonego zabiegu i zbadanie wykonanej roboty. Spoinę bada się, ścinając ją miejscami dłutem, przy czem wiór powinien być



miękki, zwijający się, a przecięcie lite, dobrze związane i nie spalone. Gdy spoina nie odpowiada powyższym warunkom, należy robotę odrzucić, co nie powinno wykluczać możliwości powtórzenia spawania.

W interesie klientów i przedsiębiorstw spawających leży dążność specjalizowania się, a ponieważ dobrych i pewnych spawaczy trzeba odpowiednio opłacać, zaś jednocześnie urządzenie do spawania elektrycznego jest stosunkowo drogie, wysuwa się myśl ustanowienia pewnej wyłączności dla przedsiębiorstw wykazujących zadawalniające wyniki, co wymaga głębszego zastanowienia, ze względu na niepopularną dzisiaj zasadę koncesjonowania przemysłu. Technika spawania elektrycznego jest w stanie rozwoju, więc, chociaż trudno przewidzieć jej rozrost, należałoby otoczyć opieką przedsiębiorstwa działające w tej dziedzinie przemysłu, przy jednoczesnym stworzeniu stałego kontaktu między tymi zakładami a inżynierami dozoru kotłów.

Przechodząc z kolei do technicznego zastosowania metody elektrycznego spawania łukowego, należy przedewszystkiem omówić wyniki rzeczywiście osiągnięte. Ograniczę się tu do podania wyników uzyskanych przez inż. E. Höhna, który z ramienia Szwajcarskiego Stowarzyszenia właścicieli kotłów przeprowadził szereg prób porównawczych nad połączeniami nitowanymi i spawanymi. Wyniki tych badań są zestawione w broszurce „Nieten und Schweissen der Dampfkessel, Berlin, J. Springer 1925“, oraz w sprawozdaniach rocznych tego Stowarzyszenia za r. 1923 i lata poprzednie. Höhn wychodzi z krytyki połączeń nitowych i porównuje ich moc z wytrzymałością połączeń spawanych.

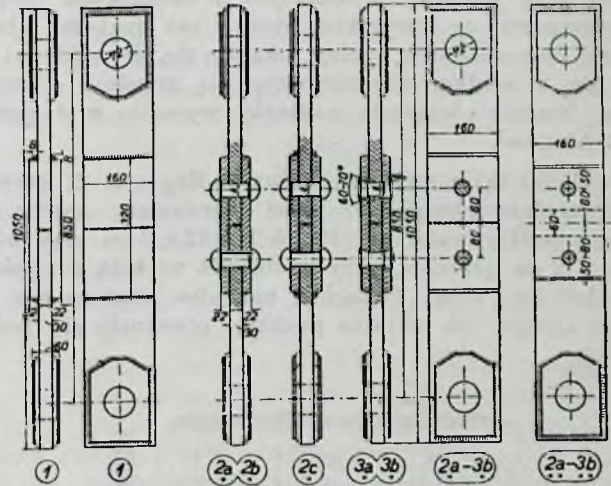
Doświadczenia Höhna, rozpoczęte w roku 1913, rozszerzały się równoległe do postępu techniki spawania, toteż, gdy pierwsze badania ograniczały się do określenia wzajemnego stosunku dobroci spawania elektrycznego i acetylenowego, w ostatnich publikacjach porównuje już Höhn szew spawany z wszechwładnie dotąd w budowie kotłów panującym szwem nitowym, a wyniki porównań są często niekorzystne dla połączeń nitowych.

Dobroć szwu nitowego określają do pewnego stopnia normy Hamburgskie, przyjmujące dla szwów pojedynczo, podwójnie i potrójnie nitowanych, 56, 70 i 75% wytrzymałości pełnej blachy, przyczem decydującymi czynnikami wytrzymałości połączeń nitowych są: tarcie między blachami i wytrzymałość nitów na ścięciu. Wykazując dalsze ułomności szwu nitowego, powołuje się Höhn na badania Bacha z roku 1912, dowodzące, że zbyt wielki nacisk, stosowany przy nitowaniu, osłabia połączenie, powodując natężenia przekraczające granicę ciągliwości materiału, które deformując blachy, wywołują ich rozwieranie się i nie szczelność. Bach poleca stosowanie nacisku, potrzebnego dla utworzenia główki i ściągnięcia blach mających tendencję rozchodzenia się, w granicach od 6500 do 8000 kg na 1 cm<sup>2</sup> przekroju nita, jednak wytwórnice stosują naciski do 9500 kg/cm<sup>2</sup>, uważając 8000 kg/cm<sup>2</sup> za dolną granicę. Dalsze niebezpieczeństwo w wykonaniu połączenia nitowego stanowi ciepło zawarte w gorącym nicie, które rozgrzewa brzegi otworu nitowego do niebezpiecznej temperatury żółtego i niebieskiego nalotu, skąd pochodzą późniejsze pęknięcia od nita do brzegu blachy. Często nie przestrzega się też zasady, aby otwór nitowy nie był za duży i zaledwie przepuścił nit, który musi być dokładnie oczyszczony. Częściowe ogrzanie długich nitów może spowodować odpadanie główek gotowych, czemu znów należy przeciwdziałać zaokrągleniem brzegów nita i otworu nitowego. Nitowanie maszynowe, nie kontrolowane ustawicznie co do wielkości, oraz trwania nacisku, może być gorsze od nitowania ręcznego.

Normy Hamburgskie dopuszczają natężenie nita na ścięciu wynoszące 700 kg/cm<sup>2</sup>, czemu sprzeciwia się Höhn, twierdząc na podstawie wyników badania, że granica elastycznych wydłużeń leży poniżej tego obciążenia. Jednocześnie z wydłużeniem połączeń nitowych następuje deformacja nitów. Nity oblicza się na ścinanie, tymczasem w granicach natężeń dopuszczalnych, nity pracują również na zginanie, co powoduje odginanie się brzegu blachy. Natężenia zginające występują najsilniej w nitach wielokrotnie ścinanych, a więc w połączeniach łubkowych, siły zaś zginające są często znacznie większe od wyników

obliczeń na rozerwanie. Podłużne szwy kotłowe są natężane w dwóch, względnie trzech kierunkach, a warunki ich pracy są jeszcze bardziej skomplikowane, natomiast szwy poprzeczne wykazują na ogół nieduże natężenia.

Inż. Höhn badał połączenia spawane i nitowane na próbkach, oraz kompletnie spawane kotły, a próbek dostarczały mu firmy szwajcarskie zajmujące się spawaniem elektrycznym, jednak, nie dysponując silniejszymi urządzeniami do prób, musiał ograniczyć się do badania pasków z jednym nitem po każdej stronie szwu, jak wskazuje rys. 1.



Rys. 1.

Próbowi poddano połączenia spawane do czola, nitowane bez doszczelniania i z doszczelnianiem, nitowane bez doszczelniania, zato dospawane od czola, wreszcie nitowane z główkami wpuszczanymi. Próby wykazały, że wytrzymałość połączeń elektrycznie spawanych z nakładkami dospawanymi była 1,5 razy większa od najwyższej wytrzymałości jednorzędowego połączenia nitowego. Trwale rozsuniecie się połączeń nitowych zaczynało się od obciążenia 7,5 t, a elektrycznie dospawanych od 20–30 t. Mierzono również powiększenie się szczeliny między łączonymi blachami; szczegółowe cyfry zawiera sprawozdanie poprzednio przytoczone.

W roku 1923 przeprowadził Höhn próby z paskami spawanymi bez nakładek, przyczem miejsce spojenia zrównano z resztą grubości blachy. Szereg prób wykazał, że wytrzymałość pasków spawanych jest zbliżona do wytrzymałości blachy pierwotnej, a niejednokrotnie ją przewyższa, w każdym razie paski spawane elektrycznie wykazały wyższą wytrzymałość od spawanych acetylenem. Miejsce spawania posiadało przekrój litery X lub V, przyczem okazało się, że blachy spawane według litery V należy po ukończeniu roboty obrócić i zapłacić powstałą z drugiej strony szczelinę drobnym szwem, aby uniknąć t. zw. działania karbu.

Próby na zginanie wykazały, że elektryczna spoina nie wytrzymuje wielkich zgięć: średni kąt zgięcia, osiągnięty w tych samych warunkach, wynosił dla elektrycznego spawania 20–80°, podczas gdy połączenia spawane acetylenem wykazywały 162°, a blacha niespawana 180°. Szwy, wykonane w kształcie litery X, dawały lepsze wyniki, które prócz tego są wielce zależne od rodzaju użytych elektrod.

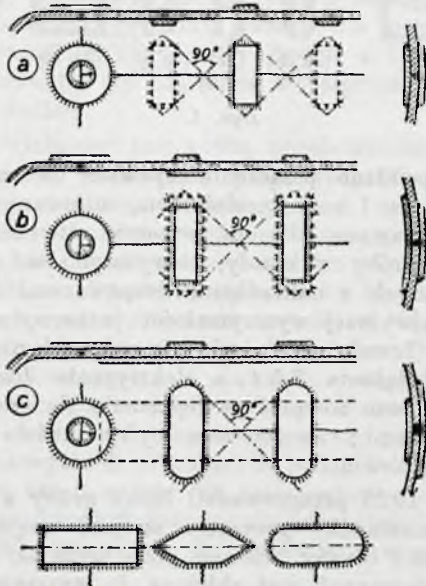
Wytrzymałość na uderzenie wynosiła średnio, w odwrotnej zależności od grubości próbki 2,7 do 5,3 kg/cm<sup>2</sup>, podczas gdy blacha niespawana wytrzymywała 9,5 do 32,3 kg/cm<sup>2</sup>, przyczem blachy spawane acetylenem nie wykazywały lepszych wyników. Tak tu, jak i tam, szew spawany w kształcie litery X, dawał lepsze rezultaty; to samo można powiedzieć o elektrodach osłoniętych w stosunku do elektrod gołych.

Z prób powyższych, a w szczególności z próby na zginanie, wynika, że spoina elektryczna jest bardziej krucha od acetylenowej, natomiast wyróżnia się wysoką wytrzymałością na rozerwanie.



Przez wyżarzanie spoin elektrycznych nie osiągnięto widocznej poprawy, w odróżnieniu od spoiny acetylenowej, która, zwłaszcza przy blachach grubych, musi być bezwarunkowo wyżarzana. Zaznaczyć należy, że próby przeprowadzono na blachach o szwach niewzmacnianych, t. zn. zrównanych z grubością reszty blachy, podczas gdy w praktyce, spoina bywa przeważnie zgrubiana. Lepsze wyniki osiągnięto, wzmacniając szwy osobnymi nakładkami, elektrycznie dospawanymi, wzdłuż lub w poprzek szwu, przyczem nakładki podłużne nie okazały się godnymi polecenia, natomiast poprzeczne bardzo wzmocniły połączenie. Nakładki dospawane acetylenem odrywają się, podczas gdy przy próbach, wykonanych z nakładkami dospawanymi elektrycznie ze wszystkich stron i tak grubymi, aby doprowadzić do rozerwania spoiny, okazało się, że nakładki przeżywały się w środku, nie odrywając się zupełnie od miejsca spoiny. Średnie obciążenie nakładki wynosiło w danym wypadku  $3,65 \text{ t/cm}^2$ .

Nakładki takie wykonać można podług rys. 2, przyczem, aby się zupełnie zabezpieczyć przed oderwaniem, należy stosować formę podługowatą, np.  $10 \times 5$  lub  $12 \times 6 \text{ cm}$  przy nakładkach po  $1,2 \text{ cm}$  grubości, przy grubszych większą długość, np.  $15 \times 6$ , lub  $18 \times 7 \text{ cm}$ . Odległość nakładek powinna być taka, aby linje łączące ich skrajne punkty, przecinały się pod kątem  $90^\circ$ .



Rys. 2.

Rys. 3 przedstawia kocioł parowy, całkowicie elektrycznie spawany i wykonany według powyższych zasad, o pojemności  $2,1 \text{ m}^3$ , na ciśnienie  $12 \text{ atm}$ , a ogrzewany prądem elektrycznym. Próby wodne, przeprowadzane na zbiornikach podobnie wzmacnianych, okazały, że rozerwanie następuje w pełnej blaszce a nie w szwach.

Rezultaty, powyżej przedstawione, można ująć następująco:

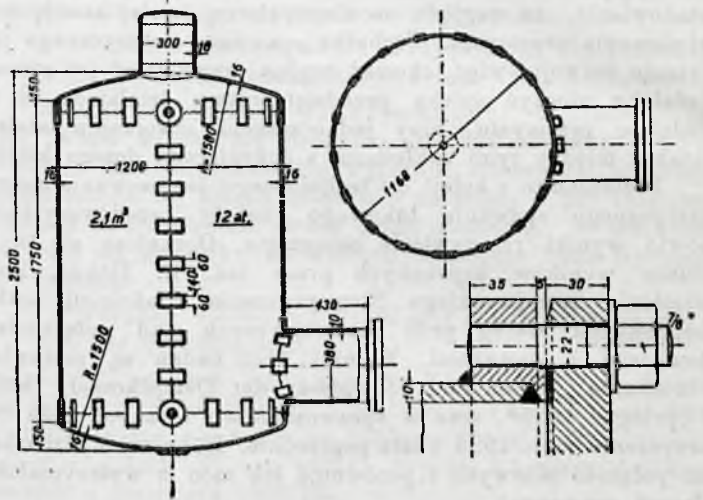
1. Spoina, wykonana należycie dobrą elektrodą, a następnie zrównana co do grubości z blachą pierwotną, posiada wytrzymałość na rozerwanie bliską wytrzymałości pełnej blachy i niejednokrotnie znacznie ją przekracza; powinna ona dać co najmniej  $90\%$  wytrzymałości.

2. Stosując nakładki dospawane od czoła, można wytrzymałość szwu znacznie powiększyć, względnie zabezpieczyć.

3. Wytrzymałość szwu spawanego na zginanie i uderzenie jest mniejsza niż blachy pełnej lub samorodnie spawanej.

Dotychczasowe przepisy o budowie kotłów przyjmują dla połączeń spawanych, bez względu na rodzaj spawania, wytrzymałość  $70\%$  blachy pełnej. Proponowane przez Höhna nakładki nie przyjęły się poza Szwajcarią, a w Szwecji, posiadającej największą kulturę spawania, uważają je za zbędne i odrzucają

nawet zgrubianie szwu spawanego. Nie stosowano tych nakładek przy kilkudziesięciu kotłach parowozowych, naprawianych w warsztatach kolejowych we Lwowie, nie używa ich Kjellberg w Göteborgu i inne firmy spawające. Wyniki osiągnięte przy spawaniu elektrycznym dają dowód, że przyjęcie  $70\%$  wytrzymałości dla tych połączeń stanowi dostateczne zabezpieczenie, a przy odpowiedniej sumienności spawacza i zastosowaniu wypróbowanej metody, wiele dotychczasowych połączeń kotłowych można będzie zastąpić elektrycznym spawaniem.



Rys. 3.

Technika spawania zdążyła do realizacji tego poglądu, a zastąpienie szwu nitowego spawaniem elektrycznym zależne jest od uzyskania lepszej wytrzymałości na zginanie, co się da prawdopodobnie osiągnąć przez odpowiednie elektrody.

W dzisiejszych warunkach należy unikać w szwach elektrycznych wybitnych natężeń zginających n. p. w zaoblaniach, co można osiągnąć, przekładając szew spawany w miejsca natężane na rozerwanie lub ściskanie. Korozje, niezbyt rozległe i głębokie, można zalewać elektrycznie, po dokładnym oczyszczeniu podłoża. Pęknięcia dadzą się naprawiać jednosrotną spoiną, o szwie kształtu litery V, co jednak nie powinno naruszać zasady, że spawacz należy obustronnie (wycięcie w kształcie litery X). Wskazaniem jest sklepywanie spoiny na gorąco lekkim młotkiem, jednak sklepywanie należy przerwać, gdy spoina traci kolor ciemno-czerwony, t. j. gdy przechodzi do temperatury niebieskiego nalotu.

Omówienie szczegółowe samej techniki spawania przekraczałoby ramy zakresu referatu. Interesujący się tą sprawą mogą znaleźć wskazówki w podręczniku: „O spawaniu elektrycznym łukowem“, wydanym staraniem Zarządu Warsztatów kolejowych we Lwowie, oraz w czasopismach specjalnie zajmujących się spawaniem elektrycznym.

W zasadzie pamiętać należy, że łuk, utrzymywany między blachą a elektrodą, nie powinien być dłuższy od średnicy elektrody. Zadługi łuk powoduje utlenianie się żelaza, którego tlenki osłabiają spoinę. Do spawania kotłów lepiej nadaje się prąd stały, gdyż łatwiej nim pracować na ścianach pionowych i podniebieniowych. Do robót kotłowych wystarcza spawalnica o natężeniu  $250 \text{ amp}$ . Z istniejącego szeregu typów spawalnic najlepszymi są te, które wprowadzoną energię przetwarzają możliwie ekonomicznie i są mniej wrażliwe na wahania napięcia łuku. Natężenie prądu spawania powinno być odpowiednio dobrane do grubości blachy i średnicy elektrody. Kotły należy spawać cienkimi elektrodami, przyczem zasadniczo łączy się biegun dodatni z kotłem a ujemny z elektrodą, chociaż w Szwajcarii robiono próby przy odwrotnym połączeniu.

Wyniki spawania zależą również od użytych elektrod; najlepsze rezultaty osiągnięto elektrodami przygotowanymi, co prawda droższymi od elektrod nieprzygotowanych. Do robót kotłowych najodpowiedniejszymi są elektrody Kjellberga, Quasi Arc, Alloy Welding, Wilsona, S. E. A., jednak, w każdym



razie, jeśli chodzi o takie roboty, nie powinno się zezwalać na użycie elektrod niepreparowanych.

Jak z powyższego widać, posiadamy już wypróbowane metody spawania, mamy dobre spawalnice i odpowiednie elektrody, posiadamy również praktyczne wyniki, usprawiedliwiające zainteresowanie się tą metodą, która przyspiesza budowę

i naprawę kotłów i czyni ją tańszą, a w pewnych warunkach nawet trwalszą i pewniejszą, tylko brak nam przepisów normujących stosowanie tej metody i brak wyszkolonych spawaczy. Aby wychować spawaczy, trzeba spawać i takie wydać przepisy, któreby zachęcały przedsiębiorstwa do wprowadzenia tej metody.

Prof. Edwin Hauswald.

## Teoria działania połączeń nitowych.

W r. 1925 przedstawiłem na Zjeździe inżynierów-mechaników referat, odnoszący się do zmiany sposobu obliczania połączeń nitowych dla kotłów itp. ze względu na doświadczalnie stwierdzoną niezgodność dawnego sposobu z rzeczywistą wytrzymałością połączeń tego rodzaju oraz na potrzebę dostosowania kotłów i naczyń do znacznie wyższych prędkości par lub cieczy w nich zawartych.

A. Dotychczasowy sposób obliczania opierał się na przypuszczeniu Schwedlera o rozkładzie naprężeń w blasce, przy czym przyjęto abstrakcyjne założenie, jakoby cała siła przypadająca na podział  $t$ , przejść miała wyłącznie przez przekrój pozostały między otworami na nity (Ryc. 1a). W tym założeniu pominięto istnienie i działanie nitów.

Stosownie do tego przybliżenia, niezgodnego zresztą z faktami, trzeba było do wzorów na obliczenie grubości blach wprowadzić stosunek wytrzymałości  $z$  przekroju  $(t-d)s$  osłabionego otworami na nity, do pełnego przekroju  $(ts)$ .

Stosunek  $z$  zmienia się z wielkością podziału, grubością sztywności i liczbą rzędów nitowych ( $n$ ), w granicach od 0,57 do 0,85.

Wzór do wyznaczenia grubości  $s$  blachy walca o średnicy wewnętrznej  $D$  (cm), przy nadprężności  $p$  i pewności  $x$  opiewa:

$$s = \frac{Dpx}{2Rz} + c = \frac{Dp}{2kz} + c \quad (1)$$

$R$  jest nowym oznaczeniem granicy wytrzymałości blachy (dawniej  $K$ );  $k = \frac{R}{x}$  naprężeniem dopuszczalnym,  $c = 0,1$  dodatkiem, uwzględniającym zużycie blachy przez rdzewienie. Stosunek wytrzymałości wyraża się wzorem:

$$z = \frac{t-d}{t} \quad (2)$$

Wpływ stosunku ( $z$ ) na wynik obliczenia jest bardzo silny i proporcjonalny do  $1/z$ , jak to pokazuje zestawienie:

$z$	$1/z$	daje powiększenie grubości „ $s$ ” %:
0,58	1,72	72 %
0,7	1,43	43 „
0,76	1,32	32 „

Ogólnie mówiąc, jest  $\left(\frac{Dp}{2k}\right)$  ilością stałą, to też iloczyn  $(sz) = \left(\frac{Dp}{2k}\right) = \text{stały}$ . Grubość  $s$  zmienia się więc według hiperboli.

Wzory (1) i (2), oparte na wspomnianem przypuszczeniu o przepływie naprężeń w blachach nitowanych, przyjęto w praktyce i dotychczasowych przepisach, odnoszących się do budowy kotłów. Podstawowe jednak założenia tej hipotezy nie odpowiadają istocie zjawisk i wynikiem licznych doświadczeń, skutkiem czego trzeba je poddać krytyce i zastąpić wskazaniem, lepiej dostosowanymi do rzeczywistości.

Prof. Bach od wielu już lat dowodził, że opisana hipoteza nie odpowiada rzeczywistym warunkom, w których występuje zawsze silne zaciśnięcie lub zakleszczenie blach przez głowy skurczonych po ostygnięciu nitów, co wywołuje wielki opór tarcia między blachami. W znanym swem dziele „Maschinenelemente“, np. w XI wydaniu, str. 204. Uw. 1, pisze Bach:

„Powyższy sposób opiera się na przypuszczeniu, że przekrój  $(t-d)s$  przenosi całą siłę, przypadającą na szerokość po-

działu  $t$ . Dopóki jednak blachy nie ślizgają się po sobie, założenie to nie jest uzasadnione. Przy przenoszeniu bowiem siły uczestniczą wszystkie części, w których tkwi opór przeciw przesunięciu, a więc i te części do siebie przyciśnięte, które znajdują się przed osią szwu nitowego.

Gdyby przyjęto, że połowę siły przenoszą części blachy położone przed osią szwu, drugą zaś położone poza osią, w takim razie na pozostały przekrój  $(t-d)s$  przypadłaby tylko połowa siły  $P$ .

Dodać jednak należy, że naprężenia w tym przekroju nie będą jednostajnie rozłożone“.

W referacie swoim z r. 1925 (*Przegląd Techniczny* 1925 str. 602) zaznaczyłem, że dawny pogląd na omawiane zjawisko ma tylko pozory racjonalnej teorii, ale nie odpowiada rzeczywistemu działaniu połączeń nitowych, wobec czego sprawa wymaga się ponownego rozważenia i wprowadzenia lepiej dostosowanego rozwiązania teoretycznego.

W badaniach doświadczalnych szwy nitowe okazywały się zawsze o wiele mocniejszymi, niż to odpowiadałoby założeniom dawnej hipotezy. Np. doświadczenia dokonane w Anglii przez Unwina (*Report on riveting etc.*) wykazały dla połączeń jednorzędowych na zakładkę ponad 90% wytrzymałości w stosunku do wytrzymałości blachy pełnej, zamiast 57% wedle dawnej hipotezy; dla połączeń trójrzędnych ponad 97% wytrzymałości blachy pełnej, zamiast teoretycznej wartości 76%. (Porówn. Unwin, *Elements of machine design*. 139). Tetmajer (*Mitteil. d. Materialprüfungsanstalt Zürich*, 1886, zes. 5) zmierzył, że połączenia nitowe na zakładkę miały średnio 21% więcej wytrzymałości, niż według obliczenia na podstawie wzoru (1).

Do tego należy dodać, że warunki technicznego użycia połączeń nitowych nie odpowiadają zjawiskom dostrzeganym przy próbach na rozerwanie lub ścięcie, ponieważ naprężenia i odkształcenia występujące w praktyce technicznej stanowią zwykle zaledwie  $\frac{1}{6}$  albo  $\frac{1}{4}$  część wartości wytrzymałości granicznej.

Oprócz powyższych doświadczeń trzeba będzie także uwzględnić korzystne, albo też szkodliwe oddziaływania warunków dodatkowych, jak np. ręcznego względnie mechanicznego doszczelnienia, alboważ dokładnego uszczelnienia szwu zapomocą elektrycznego lub samorodnego zatopienia (zalania) szczeliny między blachami, miejscowego zwiększenia masy żelaza w szwie, dosyć naglej zmiany sztywności powłoki w tym miejscu, szkodliwego rozpięcia ścianek w otworach nitowych w razie użycia nadmiernego ciśnienia tłoczka nitarki, znacznego zwiększenia naprężeń w miejscach odchylonych od prawidłowego kształtu walca kołowego, jakie występuje przy połączeniach na zakładkę itd.

Przy połączeniach na zakładkę zwykle obliczenie grubości blachy nie daje, jak to później wykażemy, wystarczającego stopnia pewności, wobec czego wskazanem jest w takich razach obranie naprężeń niższych od normalnie dozwolonych.

Jako nowy wzór praktyczny do wyznaczania grubości, blach, nie zawierający już liczby  $z$ , podałem wtedy:

$$s = a \frac{Dp}{2k} + c = a \frac{Dpx}{2R} + c \quad (3)$$

Czynnik  $a$  nie odnosi się do dawniejszego pojęcia wytrzymałości stosunkowej, jest też niezależny od wielkości podziału; umożliwia natomiast dogodne uwzględnienie dobroci wykonania i wspomnianych warunków wykonania i użycia.



Zdaniem mojem wystarczają następujące wartości tego czynnika:

dla połączenia 1-rzędowego na zakładkę:  $a = 1,25$   
 " " 2-rzędowego " " :  $a = 1,15$  do  $1,2$   
 " " 2-rzędowego, z łóbkami  
 po obu stronach przekroju:  $a' = 1,15$

Ustalenie wartości dla  $a$  nastąpić może dopiero na podstawie doświadczeń praktyki i po wydaniu odnośnych wskazówek normalnych.

Inż. Kłębowski wskazał w *Technice cieplnej* 1926 Nr. 1, że w moim przykładzie przyjęto  $k = 700$ , zamiast dopuszczalnego według przepisów  $k' = 800$ . Stało się to nie ze względu na to, że sama blacha nie mogłaby być tak obciążoną, lecz wyłącznie z powodu konstrukcji z blachami bezpośrednio na sobie założonymi, która jak wiadomo daje powód do zginania blach i znacznego podwyższenia naprężeń wypadkowych.

Między czynnikami  $a$  i  $z$  zachodzi, mimo podobieństwa algebraicznego, zasadnicza różnica techniczna. Czynniki  $a$  dobierać bowiem trzeba wedle rzeczywistych warunków wykonania i użycia, liczbę zaś  $z$  obierało bez względu na warunki techniczne, wyłącznie wedle nieuzasadnionego rzeczowo poglądu o osłabieniu blachy w stosunku  $(t-d):t$ .

Tymczasem wszystkie pomiary wykazują, że sam szew nitowy, w miejscu, w którym znajdują się szyjki i głowy (Iby) nitów oraz rzekomo osłabiony przekrój blachy, ma z reguły większą wytrzymałość, dorównyującą wytrzymałości odnośnej blachy pełnej.

Objawy te wyjaśnił prof. Bach tem, że opór wywołany zaciśnięciem blach przez głowy nitowe, nazwany przez niego oporem poślizgu (Gleitwiderstand), wynosi w dobrze wykonanych połączeniach 1-rzędowych od 860 do 1800 kg na  $cm^2$  pracującego przekroju szyjek nitowych; przy wielorzędowych zaś około 650 kg na taką samą jednostkę. Różnicę tę na niekorzyść połączeń wielorzędowych wyjaśniły ostatnie doświadczenia „Szwajcarskiego Towarzystwa dozoru kotłów“ (z lat 1922 i 1924) tem, że z powodu różnych wartości wydłużeń  $e$  na jednostkę długości, rozkład sił, działających na poszczególne rzędy jest wysoce nierówny a rzędy skrajne znosić muszą największą część całkowitego obciążenia. Wobec tego przeciętna wartość oporu przesunięcia wypaść musiała niższą od poprzednich.

Jak długo obciążenie, przypadające na centymetr przekroju nita, nie przekroczy 800 kg, wystarczy sam opór przeciw przesunięciu zaciśniętych blach. Gdy zaś każde połączenie nitowe ma jeszcze w rezerwie opór szyjek nitowych na zginanie, albo też na ścinanie, zrozumiałą się stanie wielka odporność takich połączeń.

Podstawą dobrej hipotezy musi być jasny pogląd na przepływ sił, momentów i naprężeń, który mimo uproszczeń stosować się musi jak najlepiej do dat, znanych z doświadczenia i pomiarów.

Jako najprostszy przypadek rozpatrzmy najpierw rozkład sił i oporów w przekroju dwu blach, połączonych jednorzędowym szwem nitowym na zakładkę, nie wchodząc na razie w inny, doniosły objaw, wynikający z momentu, zginającego blachy pod wpływem odstępu  $y$  między siłami  $P$ .

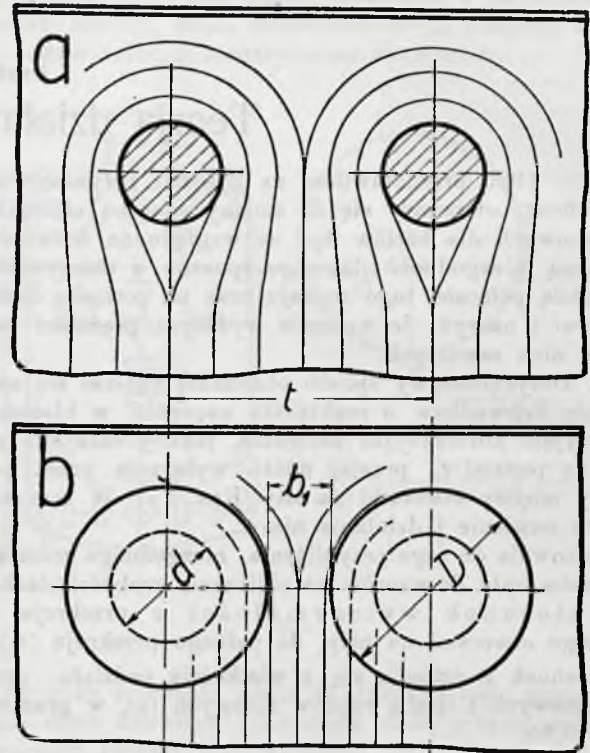
Dobrze wykonane nitowanie daje silne przyciskanie blach do siebie pod wpływem siły  $N$  kurczenia się nitu przy ostygnięciu, z pierwotnej temperatury około 700°, do normalnej około 200 stopni. Linje ciśnienia między głowami oraz główną strefę zaciśnięcia blach podaje rys. 3.

Rachunek pokazuje, że przyciskanie obu blach na polu kształtu pierścieniowego odbywa się z naciskiem jednostkowym około 900 do 1100 kg na jednostkę pola styku.

Przy pomocy danych doświadczalnych ocenia się siłę ściągającą nit na  $N = F \sigma_{plast}$ , . . . . . (4)  
 gdzie  $\sigma_{pl}$  = około 1800 do 2000  $kg/cm^2$  jest granicą plastyczności.

Wynika to z następującego rozważenia: Przy różnicy ciepłoty np. 800°C doszłyby wedle obliczenia naprężenia skutkiem kurczenia się szyjki nitowej do 7000  $kg/cm^2$ , czego jednak ma-

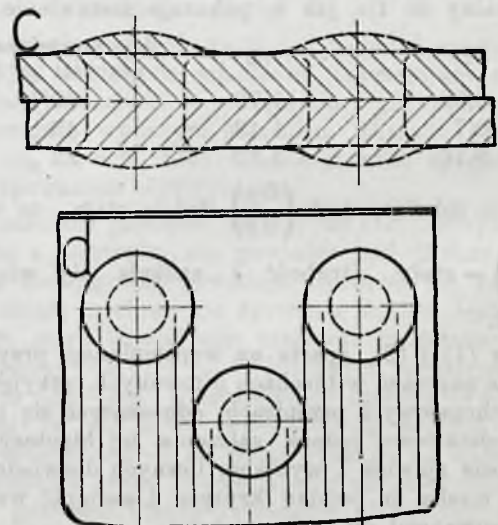
terjał o wytrzymałości około 3600 do 3800 kg nie znieśie bez poddania się i wydłużenia do stanu końcowego, przy którym pozostanie w szyjce naprężenie nieco wyższe od znanej granicy plastyczności, wynoszącej tu około 2000  $kg/cm^2$ , a oznaczanej, też literą  $Q$ .



Rys. 1.

W chwili przesuwania się blach po sobie wystąpić musi opór tarcia powierzchni chropowatych, a czynnik tego tarcia przyjętą można około  $\mu = 0,45$ . Stąd przy niższej wartości  $\mu = 0,4$ .

Opór przesuwu  $T_1 = \mu \sigma_{pl} = 0,4 \cdot 2000 = 800 kg/cm^2$  nita odpowiada dolnej granicy, stwierdzonej przy pomiarach niemieckich i szwajcarskich dla 1-rzędowych nitowań. Przy wielorzędnych występuje skutkiem wydłużania się blach przeciążenie pierwszego rzędu nitów, wobec czego przeciętny opór  $T_{sr}$  wypada niższy (według Bacha 630  $kg/cm^2$ ).



Rys. 2.

Różnice między dawnym a nowym poglądem uwydatniają rysunki 1 a, b i 3. Rys. 1 a przedstawia plan naprężeń według Schwedlera, z poprawką, wskazującą przejście naprężeń z blachy pełnej do zwężenia między otworami. Pominięto tylko znany z doświadczeń wzrost naprężeń objawiający się w pobliżu otworów. Rozkład naprężeń według rys. 1 a ma oczywiście znaczenie



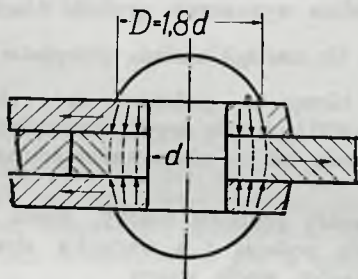
tylko dla blach luźnie na sobie spoczywających i założonych na sworznie, nie posiadające główek ani śrub, mogących blachy zaciskać.

Rys. 1 b podaje nowy plan przepływu naprężeń w jednorzędnym szwie nitowym. Odcinek  $t$  podzielono tu na 10 części, aby pokazać, jak z powodu zaciskającego działania głów nitowych około  $\frac{6}{10}$  do  $\frac{7}{10}$  całej siły  $P$  przenosi się bezpośrednio na drugą blachę w polu działania głów nitowych a tylko reszta siły przechodzi przez pozostały wolny odcinek blachy, nie powodując żadnego zwiększenia naprężeń miejscowych.

Rys. 2 daje pojęcie o wzmocnieniu pierwotnego przekroju blachy przez działanie główek i szyjek nitowych, co oznaczono przez odpowiednie zgrubienie blachy w odnośnych miejscach. Jest to oczywiście tylko symboliczne przedstawienie sposobu działania nitów na wytrzymałość danej konstrukcji.

Z rozważań naszych wynika, że rozkład naprężeń, względnie pasków naprężeń, będzie najbardziej jednorodny przy dwurzędnym nitowaniu w zakosy, ze zwykłym przesunięciem nitów o pół podziału. Rys. 2 d pokazuje, że przy stosownym dobraniu podziału można uzyskać bezpośrednie i równomierne rozłożenie naprężeń wzdłuż całego połączenia. To też dwurzędne nitowanie uważać można za najlepsze ze wszystkich, gdyż umożliwia ono równomierne i bezpośrednie przeniesienieciągnięć na drugą blachę.

Przy zastosowaniu połączeń trójrzędnych nieuniknionem jest zakrycie niektórych nitów za sobą umieszczonych i wysoce nierówne ich obciążenie.



Rys. 3.

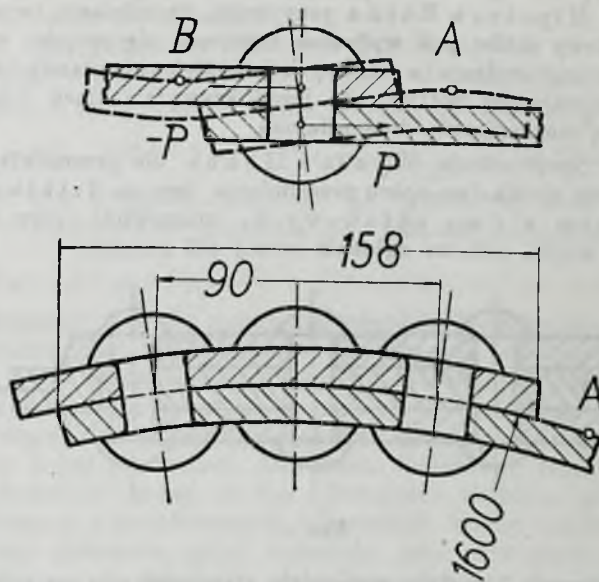
Na rys. 3 widać kierunki ciśnień, wywieranych przez głowy nitowe na blachy, ujęte z obu stron jakby szczypcami. Połączenia łubkowe zachowują się przy rozciąganiu w granicach technicznego użycia podobnie, jak gdyby każda blacha główna była przytrzymana szczypcami. Ciśnienie między głową nita a łubką wynosi około 1200 atm; między łubką a blachą główną rozkłada się ono na pole pierścieniowe o nieco większym promieniu i wynosi od 900 do 1100 atm. W każdym razie przyleganie blach jest szczelne a czynnik tarcia przy poczynającym się przesuwie wypada 0·4.

Rys. 4 służy do wyjaśnienia zjawiska wyginania blach, łączonych bezpośrednio na zakładkę, pod działaniem sił  $P$ , przesuniętych względem siebie o  $y$  cm. W miejscu  $A$  wystąpi na zewnętrznej ścianie prócz zwykłego naprężenia stycznego  $\sigma$ , dodatkowe rozciąganie  $\sigma'$ .

W miejscu zaś  $B$ , po wewnętrznej stronie, różnica działań między ciśnieniem, pochodzącym od zginania a zwykłym rozciąganiem walca kotłowego. W tych miejscach można zapomocą ekstensometrów zmierzyć wydłużenie  $e$  jednostki długości a z niego wyliczyć odpowiednie naprężenie wypadkowe i zredukowane, o czym będzie później mowa.

Drugi rysunek 4 odnosi się do kotła o średnicy 160 cm, z trójrzędnym nitowaniem na zakładkę. Kocioł ten poddano w „Szwajcarskim Towarzystwie dozoru kotłów“ próbom ciśnienia wodnego na 10 i 15 atm nadprężności i mierzono w różnych dostępnych miejscach odpowiadające temu odkształcenia. Pouczające wyniki tych pomiarów zawiera książka Höhna: „Nieten u. Schweissen der Dampfkessel“, str. 89 itd. (Wyd. w Zurychu 1926 r.). Obliczenie naprężeń, powstałych w tym kotle przy prężności 10 atm podałem w ostatnim ustępie.

Ryc. 5 podaje według powyższego dzieła przekrój połączenia łubkowego z trzema rzędami nitów po każdej stronie, odrysowany po próbie zerwania, dokonanego przy  $R=3400 \text{ kg/cm}^2$ . Z rysunku tego widać, jak nierówny był rozkład sił działających na poszczególne rzędy nitów i jak szyjki nitów były narażone na zginanie.



Rys. 4.

Przypomnieć jednak muszę, że stan odkształceń, osiągniętych przy obciążeniu, przekraczającym już granicę wytrzymałości blachy ( $3400 \text{ kg/cm}^2$ ), nie odpowiada właściwym warunkom technicznym, które dopuszczają zaledwie  $\frac{1}{4}$  tego obciążenia.

Doświadczenia wykonane przez Höhna i Dr. Huggenbergera, polegały głównie na dokładnych pomiarach odkształceń różnych połączeń nitowanych i samorodnie lub elektrycznie spawanych, czyli stapianych, tak w granicach technicznego scosowania jak i ostatecznego zniszczenia połączeń. Podobne pomiary wykonał też prof. Wyss celem zbadania odkształceń i naprężeń, występujących w węzłach mostów żelaznych. (Forschungsarbeiten Nr. 262). Do pomiarów tego rodzaju używa się przyrządów Okhuisena albo Huggenbergera, które pozwalają mierzyć wydłużenia, przypadające na 20 mm pierwotnego odstępów kółców, z dokładnością około  $\frac{1}{200} \text{ mm}$ . Wykresy podane w pracach Höhna i Wyssa pokazują zajmujący przebieg odkształceń w różnych połączeniach. Obok podziałki wydłużeń jednostkowych  $e$  umieścić można też podziałkę dla odpowiadających im naprężeń na podstawie znanego związku:

wydłużenie na jednostkę długości:

$$\epsilon = e = \alpha \sigma = \sigma / E, \quad \dots \dots \dots (5)$$

naprężenie zaś  $\sigma = e E \dots \dots \dots (6)$

gdzie  $E$  jest modułem sprężystości materiału.

Aż do osiągnięcia granicy proporcjonalności naprężenia są proporcjonalne do wydłużeń  $e$ , a każdej  $\frac{1}{1000} \text{ cm}$  wydłużenia odpowiada naprężenie

$$\sigma = 0,001 \cdot 2150000 = 2150 \text{ kg/cm}^2 \quad \dots \dots (7)$$

Ważniejsze prace doświadczalne w tym dziale ogłosili:

- Prof. Tetmajer w r. 1886
- „ Bach w r. 1892, 1895, 1913
- „ Rudeloff w Forschungsarbeiten V D 1
- „ Baumann w r. 1922
- „ Wyss w r. 1924
- Inż. Höhn w r. 1924 i 1926 i inni.

B. Zestawienie ważniejszych doświadczeń, wskazań i hipotez w sprawie nitowań.

Przed dalszym rozwinięciem nowych poglądów i wzorów, odnoszących się do połączeń nitowanych, podaję krótkie zesta-



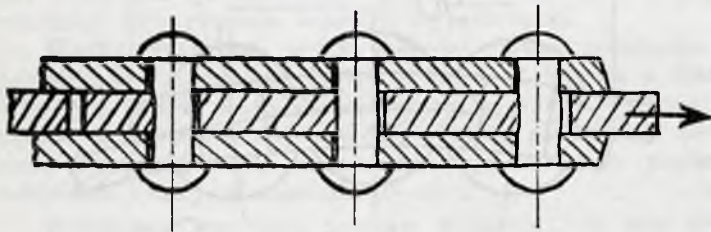
wienie głównych wyników dotychczasowych badań i opartych na nich wskazówek praktycznych.

1. Hipoteza Schwedlera, pomijająca wpływ nitów na naprężenia w blasze, wiedzie do wzoru

$$P = (t-d)sk \text{ i do współczynnika } z = \frac{t-d}{t} \text{ we wzorze } s = \frac{Dp}{2kz}$$

2. Hipoteza Bacha przyjmuje, że ciśnienie, wywarne przez głowy nitów pod wpływem kurczenia się szyjek, wywołuje pewnego rodzaju opór tarcia (Gleitwiderstand), wynoszący co najmniej  $860 \text{ kg/cm}^2$ , jeżeli krawędzie blach i głowy nitów są mechanicznie doszczelnione.

3. Spostrzeżenia Wyssa i Höhna nie przemawiają za wyłączeniem oporu przesunięcia, lecz za działaniem złożonym z dwu składowych, mianowicie oporu tarcia i oporu szyjki nita na zginanie raczej niż ścinanie.



Rys. 5.

Rysunek 5 podaje wprawdzie stan przekroju po zniszczeniu połączenia, a zatem nie w warunkach technicznego użycia, dowodzi jednak niewątpliwie zjawiska zginania szyjek po ostatecznym przesunięciu się blachy głównej do styku, oraz że granica oporu nitów na zginanie nie została osiągnięta nawet w chwili przerwania samej blachy.

Ważnym jest też widoczne wydłużenie się otworów blachy głównej, co prawda dopiero przy końcowej fazie obciążenia. Największe odchylenie wystąpiło przy nitach I-go rzędu, na które przypadła siła  $0,77 P_{max}$ .

4. Donosiłem jest stwierdzenie, że przy wielorzędnych nitowaniach nie można używać dotychczasowego obliczenia sił, przypadających na poszczególne nity, ponieważ siły te nie odpowiadają wartościom przeciętnym, lecz zależą głównie od kształtu i wydłużeń pracujących w połączeniu elementów, skutkiem czego zewnętrzne rzędy nitów obciążone są o wiele silniej, niż wewnętrzne. Przy 3 nitach poza sobą stosunek obciążeń wynosił  $77:15:8\%$ . Höhn radzi więc, by plany nitowań układać inaczej, dając najmniej nitów na zewnętrznych rzędach „aby tam blachy nie osłabiać”, oraz przyjmować dla 1-go rzędu nitów od brzegu łubki  $k_t = 700$ , dla drugiego 600, dla trzeciego  $500 \text{ kg}$ .

Zdaniem moim należy rzecz rozwiązać inaczej, unikając wogóle trzeciego rzędu, gdyż tylko nitowanie dwurzędne w zakosy daje jednomiernie obciążenie nitów w obu rzędach. Trzeci rząd można dziś zastąpić wytrzymałością z atopienia krawędzi, które działa zarazem uszczelniająco i wzmacniająco o  $50\%$  jednorzędowego nitowania.

5. Przy połączeniach na zakładkę, bez poprzedniego wygięcia blach, występuje w połączeniu ekscentryczne działanie siły  $P = \frac{tsk}{a}$ , dające moment zginający, który wedle doświadczenia na kotle o średnicy  $1600 \text{ mm}$ , grubości blachy  $14,5 \text{ mm}$  i trójrzędne nitowaniu na zakładkę, wywołał razem ze zwykłym rozciąganiem, naprężenia 2,6 razy tak wysokie, jak obliczone wedle zwykłych wzorów.

Właściwie wypada naprężenie  $S = \sigma + 3\sigma$ , gdyż naprężenie pochodzące od zginania rozkłada się symetrycznie na dwa utwierdzone pasy blachy i równoważone jest częściowo przez opór bębna kształtu litery C; część zaś siły  $P$  przechodzi bezpośrednio na drugą blachę.

6. Pewność konstrukcji w praktyce wymaga przedewszystkiem umiejętnego obchodzenia się z blachami i nitami w fabryce i ostrożnego stosowania narzędzi i ciepła:

a) Temperatura nitów w chwili zakładania powinna być stosownie dobrana.

b) Ciśnienie tłoczka na materiał nitu nie powinno przekraczać  $8 \text{ do } 10 \text{ ton/cm}^2$  przekroju szyjki nitowej. Baumann uważa za wystarczające  $6,5 \text{ do } 8 \text{ ton}$ , szwajcarscy fabrykanci  $9 \text{ i } 9,5$ , inni znowu około  $10 \text{ ton}$ . W Stanach Zjednoczonych na to nie zważają, stosując ciśnienia od  $10 \text{ do } 22 \text{ ton}$ .

c) Nity powinny już przy wkładaniu pasować ciasno do otworów, to też zamiast zwykłego  $5 \text{ do } 6\%$ -ego luzu używać lepiej luzów, wynoszących od  $2 \text{ do } 3\%$  tak, aby gorący nit dał się tylko z pewnym trudem wbić w otwór.

d) Trwanie ciśnienia tłoczka na gorący jeszcze nit należy kontrolować zegarem, lub innym przyrządem.

7. Przesuwanie się blach względem siebie odbywa się pod wpływem różnych wydłużeń, zrazu elastycznie, po przekroczeniu zaś  $500 \text{ do } 800 \text{ kg/cm}^2$  przekroju szyjki trwale, poczem opór zwiększa się z powodu oddziaływania zginanej szyjki nitowej.

8. Nity grubsze są korzystne z dwu powodów; najpierw bowiem dają silniejsze przyciskanie blach, co zwiększa opór tarcia, potem zaś stawiają większy opór wyginaniu, gdyż ich moduł przekroju  $W = \frac{\pi d^3}{32}$  rośnie z 3-cią potęgą średnicy.

9. Połączenie z prawidłowo osadzonymi nitami nie jest słabsze od przekroju blachy pełnej, odpowiadającego podziałowi  $t$ , a części przekroju otaczające nit, są nawet wzmocnione przez działanie materiału nitów i ściskanie blach (Rys. 3). Wytrzymałość blach w szwie nitowym przedstawia się jak na rys. 2c.

10. Przy obliczaniu połączenia i potrzebnego podziału  $t$  można będzie osobno wyznaczyć grubość blachy wedle wzoru

$$s = a \cdot \frac{Dp}{2k} + c, \text{ (o ile nastąpi zmiana przepisów), oddzielnie zaś grubości nitów, biorąc za podstawę opór złożony z połowy tarcia } \frac{1}{2} (\mu \sigma_{pi}) = 400 \text{ kg i opór szyjki, liczony właściwie na zginanie; w skróceniu zaś na równoważne ścinanie przy } k_t = 500 \text{ do } 700 \text{ kg/cm}^2.$$

Po wyznaczeniu grubości blachy, ilości rzędów i średnic nitów, oblicza się podział  $t$  z warunku równego obciążenia nitów i pełnej blachy, wedle wzoru:

$$t = amn \frac{f k_n}{s k_{bl}} \dots \dots \dots (8)$$

( $m$  oznacza, ile par blachy przesuwac się może,  $n$  liczbę rzędów).

11. Elektryczne lub samorodne stopienie krawędzi w celu uszczelnienia szwu, w miejsce mechanicznego doszczelniania, jest korzystne, tak dla skuteczności uszczelnienia, jak i dla znacznego wzmocnienia połączenia na działanie sił ciągnących. Dłuższe doświadczenia praktyczne wykażą, czy lepszym jest małe przesunięcie stapianych krawędzi łubek, czy też pozostawienie ich naprzeciw siebie.

12. Połączenia wykonane przez samorodne stapienie krawędzi blach głównych i łubek zachowują się przy odkształceniach podobnie jak blachy lite, gdyż mają w przybliżeniu ten sam współczynnik sprężystego wydłużenia.

### C. Obliczenie oparte na oporze tarcia i zginania.

Jeżeli się do obliczenia grubości blachy użyje nowego wzoru (3), otrzyma się wymiary mniejsze, niż dotąd używane, co jest wynikiem technicznie korzystnym, bo pewna podatność ścian kotłowych jest wielce pożądaną. Zmniejszona grubość ścianek powoduje jednak dla danej prężności pary większe obciążenie nitów, albo też gęste ich rozmieszczenie. Prowadzi to więc do pytania, czy wedle nowszych doświadczeń możliwym będzie także zwiększenie dopuszczalnego obciążenia, przypadającego na każdą jednostkę przekroju szyjek nitowych?

Do wyjaśnienia tej sprawy obliczyć trzeba siłę, przypadającą na jeden podział.

$$\text{Siła } P_1 = t \cdot s \cdot \sigma = \frac{tsk}{a} \dots \dots \dots (9)$$



Zrównoważyć ją trzeba oporami, wywołanymi przez  $n$  rzędów nitowych o przekrojach  $f$ , pracujących, ogólnie mówiąc po  $m$  razy (np. 2-ciętych itp.). Jeżeli całkowity opór nitowania na jednostkę pracującego przekroju oznaczymy przez  $k_n$ , otrzymamy równania:

$$t s \sigma = t s \frac{k}{a} = m n f k_n; \quad \dots \quad (10)$$

podział:  $t = a \cdot m \cdot n \frac{f k_n}{s k} = m n \frac{f k_n}{s \sigma} \quad \dots \quad (11)$

Przy dotychczasowych wartościach  $k_n$  i nowym sposobie liczenia grubości blachy wypada podział  $t$  bardzo mały i wymaga zwykle przejścia na dwurzędne nitowanie.

Nowsze doświadczenia wskazują jednak, że opór szwu nitowego składa się z dwu albo nawet trzech części elementarnych, które można do siebie dodać.

Pierwsza z nich, to opór tarcia, przeszkadzający przy naprężeniach poniżej 500 do 800  $kg/cm^2$  wszelkiemu przesunięciu, istniejący jednak także wtedy, gdy drobne przesunięcia elastyczne lub trwałe już się objawiły, a blacha oparła się silnie o szyjkę. Od tej chwili począwszy przyłącza się do poprzecznego oporu także opór stawiany przez szyjkę nitową, narażoną w połączeniach łubkowych głównie na zginanie, w zakładkowych na ścinanie ( $k_t$ ), który w obu razach wynosi przynajmniej 500 do 700  $kg$  na jednostkę pracującego przekroju. Chcąc otrzymać liczbę, wyrażającą dopuszczalne obciążenie  $k_n$  na  $cm^2$  przekroju szyjki nitowej, możemy z dostateczną pewnością przyjąć sumę oporów, złożoną z  $1/2$  oporu tarcia i 0,8  $k_t$ ; stąd więc:

$$k_n \approx \frac{1}{2} \mu \sigma_{pl} + 0,8 k_t \quad \dots \quad (12)$$

przykładowo więc:

$$k_n \approx 400 + 0,8 \cdot 700 \approx 960.$$

Obciążenia dopuszczalne tej wielkości, w granicach od 800 do 1000  $kg/cm^2$ , odpowiadałyby liczbom, przyjętym w nowszych konstrukcjach żelaznych i mostowych, warunki zaś obciążenia są w kotłach korzystniejsze niż w mostach.

Oba projektowane przezemnie wzory (3) i (12), razem wzięte dałyby konstruktorom większą swobodę, niż dotychczasowa, nie powodując przytem obniżenia rzeczywistego stopnia bezpieczeństwa. W okresie przejściowym, jaki obecnie przechodzimy, gdy połączenia, stapiane samorodnie lub elektrycznie, wypierają konstrukcje nitowane, mielibyśmy możliwość dalszego stosowania nitowań z korzyścią dla budowy kotłów.

Do dalszego wzmocnienia połączeń nitowanych służy samorodne zatopienie krawędzi blach i łubek, zastępujące używane dotąd doszczelnianie mechaniczne. Wedle doświadczeń szwajcarskich z r. 1925 dodatkowy opór uszczelnienia łubek przez zalanie żelazem wynosi tyle, co  $1/2$  wytrzymałości jednorzędnego nitowania na zakładkę, czyli około 350  $kg$  na jednostkę przekroju nitów.

Ponieważ grubość listewki w miejscu litego spojenia wynosi swykle  $s/2$ , jej obciążenie dopuszczalne na ścinanie  $\tau = 600$ , to na szerokości, równej podziałowi, opór dodatkowy przeciw przesunięciu równy będzie:

$$q = \frac{s}{2} t \tau = 300 t s \quad \dots \quad (13)$$

Jeżeli dodamy wszystkie trzy opory, otrzymamy:

$$k_{n1}' = \frac{1}{2} \mu \sigma_{pl} + 0,8 k_t + k_t/2 \approx 1200 kg/cm^2 \quad \dots \quad (14)$$

W konstrukcjach, nie posiadających samorodnego spojenia krawędzi blach, liczyć tedy można dopuszczalne obciążenie  $k_n$  od 800 do 1000  $kg/cm^2$  przekroju szyjki dla połączeń zwanych „jednociętymi“, a ( $2 k_n$ ) dla przekrojów dwuciętych, czyli posiadających dwie pary suwających się po sobie powierzchni.

Przykłady.

1. Dla połączenia na zakładkę z nitowaniem 1-rzędnem,

o grubości blachy  $s=1 cm$ ,  $k=750$ ,  $a=1,25$ ,  $\sigma = \frac{k}{a} = 600$ ,  $m=1$ ,  $n=1$ ,  $d=2s=2 cm$ , o przekroju nita  $f=3,14$  i  $k_n=900$ , obliczamy podział  $t = \frac{f k_n}{s \cdot \sigma} = \frac{3,14 \cdot 900}{600} = 4,7 cm$ .

Wymiaru tego nie wolno powiększyć, aby nie przekroczyć założonego obciążenia.

2. Przy połączeniu łubkowym i jednorzędnem nitowaniu „dwuciętym“, mamy dla  $s=1$ ,  $k=750$ ,  $a=1,2$ ,  $n=1$ ,  $m=2$ ;  $d = \infty \sqrt{5} s - 0,5 = 1,74 \approx 1,7 cm$ ,  $f=2,27$ ,  $k_n = \infty 900$ ,  $k=750$ ,  $\sigma' = \frac{k}{a} = 625$ , podział  $t' = \frac{m \cdot f k_n}{s \sigma} = \frac{2 \cdot 2,27 \cdot 900}{625} = 6,53 cm$ .

W tym przypadku możnaby też zastosować wzór praktyczny  $t' = 2,6 d + 1 = \infty 5,42 cm$ . coby dało niższe obciążenie  $k_n$ .

D. Zginanie połączeń z blachami założonemi.

Dogodne w wielu razach bezpośrednie łączenie dwu blach na zakładkę, bez łubek, posiada tę wadę, że jak to pokazuje ryc. 4, zarys ogólny walca w tem miejscu odchyła się od prawidłowego kształtu kołowego, a z powodu odstępu  $y$  między siłami ciągnącemi  $P$  powstaje moment, zginający powłokę i wywołujący w jej przekrojach naprężenia dodatkowe, mające rzekomo dochodzić nawet do 6  $\sigma$ . Dokonane niedawno pomiary rzeczywistych i zredukowanych odkształceń blachy nie potwierdziły tego obliczenia, gdyż wykazały jako największe naprężenia, zawierające już także normalne naprężenie rozciągające, około 2,6  $\sigma$ .

W następnych wywodach wykażę pomyłkę w obliczeniu, przytoczonem np. w podręczniku Bacha („Maschinenelemente“, XI. wyd., str. 190) stąd pochodzącą, że jako założenie wzięto tam działanie całego momentu na jedną tylko blachę, podczas gdy on rozkłada się równocześnie na dwie blachy.

Uwzględniając nowsze doświadczenia i opisane już nowe poglądy można będzie zagadnienie przechodzenia sił w połączeniach tego rodzaju ująć różnemi sposobami.

I. Gdybyśmy na razie nie wprowadzili hipotezy o bezpośrednim przenoszeniu napięć przez opór tarcia w powierzchni przylegania blach, moglibyśmy przyjąć uproszczone wyobrażenie, że nity są w jednej blasze silnie utwierdzone a przez ciśnienia drugiej blachy na wystającą część szyjki zginane.

Skutkiem ugięcia szyjki wypadkowa ciśnien, pochodzących od działania siły rozciągającej blachę, przybliży się do płaszczyzny zetknięcia blach na  $s/3$ , ponieważ ciśnienia składowe na szyjkę będą największe przy tej płaszczyźnie, najmniejsze zaś przy zewnętrznej powłoce blachy.

Powtarzając to wnioskowanie co do rozkładu ciśnien działających w drugiej blasze, dojdziemy do całkowitego odstępu  $y = \frac{2s}{3}$  między siłami ciągnącemi  $P$  i do momentu zginającego połączenie:

$$M = P \cdot \frac{2s}{3} = \frac{2}{3} P s \quad \dots \quad (15)$$

Zwykle przyjmowało się tu odstęp równy całej grubości blachy  $s$ , co dałoby  $M = P s$ .

Mamy obecnie lewą stronę równania  $M = W \sigma$ . Prawą stronę otrzymamy z rozważania, popartego planem sił i przekrojów na ryc. 4. Oto ustalony w przybliżeniu moment obraca obie połączone blachy, napotykać na oddziaływanie dwu przekrojów ( $t s$ ), leżących tuż za założeniem dwu blach, np. w miejscach  $A$  i  $B$ . Każdy z tych przekrojów stawia opór wyrażony przez iloczyn  $W \sigma'$ , czyli razem  $2 W \sigma'$ , gdzie  $W$  jest „modułem przekroju“, zwanym też niepoprawnie „momentem wytrzymałości“, równym  $\frac{t s^2}{6}$ .

Zginanie objawi się przy  $A$  jako rozciąganie powłoki zewnętrznej, przy  $B$  jako ściskanie jej, co stwierdzono doświadczalnie. Mamy więc:

$$M = \frac{2P}{3} s = 2 W \sigma' = 2 \frac{t s^2}{6} \sigma' \quad \dots \quad (16)$$



Ponieważ zaś siła  $P$ , przypadająca na odcinek o szerokości  $t$ , wynosi przy walcu  $P = \frac{D p t}{2}$ , więc podstawienie za  $P$  prowadzi do:

$$D p = s \sigma', \quad (17)$$

naprężenie pochodzące od zginania:

$$\sigma' = \frac{2 P}{t s} = \frac{D p}{s}. \quad (18)$$

Przykład. Kociół o średnicy wewnętrznej  $D = 160$  cm, dla nadprężności  $p = 10$ , mający grubość blachy  $s = 1,45$  cm, podział  $t = 9,1$  cm. Obliczamy

$$P = \frac{D p t}{2} = \frac{160 \cdot 10 \cdot 9,1}{2} = 7280 \text{ kg.}$$

$$\sigma' = \frac{D p}{s} = 1100 \text{ kg/cm}^2;$$

nadto działa w przekroju zwykłe naprężenie rozciągające  $\sigma = 551$  kg.

Przy doświadczeniu (Höhn. j. w. str. 90) zmierzono pośrednio naprężenie 1216 kg.

Przy porównaniu wyników obliczenia i pomiaru trzeba wprowadzić poprawkę z powodu faktycznego stanu napięcia blachy pod wpływem naprężeń, rozciągających ten sam element w kierunku stycznej i w kierunku osi podłużnej kotła, gdyż dodatkowe naprężenia osiowe  $\sigma_o$  przeszkadzają zwichnięciu się elementu i obniżają skutkiem tego pierwsze naprężenie do

$$\sigma'_{red} = \sigma' - \nu \cdot \sigma_o = \infty 0,85 \sigma' \quad (19)$$

Po tej redukcji otrzymamy

$$\sigma_{red} = 0,85 \cdot 1100 = 925$$

$$\sigma_r = 0,85 \cdot 551 = 469; \text{ razem więc } 1404 \text{ kg/cm}^2$$

Pomiar zaś pokazał w punkcie A 1216 kg/cm<sup>2</sup>

Zgodność jest więc zadowalająca.

II. Opierając się jednak na nowszych doświadczeniach, wykazujących, że opór połączenia nitowego składa się z dwu oporów częściowych, a to:

a) przy połączeniach na zakładkę, z oporu tarcia przeciw przesunięciu i oporu nita na ścinanie;

b) przy połączeniach z obustronnymi łubkami, z oporu tarcia, występującego tu w dwu powierzchniach styku oraz oporu szyjki nitowej na zginanie, otrzymamy w przypadku a) opór łączny:

$$T_1 = \frac{\mu \sigma_{pl}}{x_1} + 0,8 k_t = \frac{1}{2} \mu \sigma_{pl} + 0,8 k_t \quad (20)$$

gdzie dla pewności przyjmujemy  $k_t \leq 500$  do 700, a z oporu przesuwu tylko połowę:  $\frac{1}{2} \mu \sigma_{pl}$ , czynnik tarcia 0,4 albo nawet niższy do 0,3, chociaż jest on w rzeczywistości wyższy.

Średnio przyjmując można  $T_1 = 300 + 600$ , na każdy cm przekroju szyjki.

Udział stosunkowy obu oporów wyraża się tedy ilorazem 2 : 1. Odpowiednio do tego przyjmujemy, że  $\frac{1}{3}$  siły  $P$  przejdzie bezpośrednio z blachy na blachę przez tarcie, nie powodując już zginania. Pozostanie więc tylko moment

$$M' = \frac{2}{3} P s = \frac{D p t s}{3} \quad (21)$$

zrównoważony po drugiej stronie równania przeciwmomentem

$$2 W \sigma' = \frac{t s^2}{3} \sigma'$$

Prowadzi to znowu do związków  $D p = s \sigma' \quad (22)$

$$\sigma' = \frac{D p}{s}; \text{ nadto mamy } \sigma = \frac{D p}{2 s}.$$

III. Naprężenie wypadkowe  $S$  możemy także wyznaczyć ogólnie:

$$S = \sigma' + \sigma = \frac{D p}{s} + \frac{D p}{2 s} = 3 \frac{D p}{2 s} = \infty 3 \sigma \quad (23)$$

$$S_{red} = 0,85 S = 2,55 \sigma.$$

W przekroju zaś  $B$  otrzymamy:

$$S' = \sigma' - \sigma = \frac{D p}{2 s} = \infty \sigma.$$

W opisanem doświadczeniu było naprężenie przy  $B$ :  $S' = \infty 0$ , co było następstwem miejscowego spłaszczenia i napięć pozostałych w blasze z czasu obróbki.

IV. Możliwym jest też założenie, pomijające, zresztą nieślusnie, spóldziałanie oporu tarcia i uginania szyjki nitowej, skutkiem czego odstęp sił  $P$  będzie wynosił  $s$ , moment  $P s$ . Wówczas wynikiem obliczenia byłoby:

$$S'' = 4 \sigma \quad \text{a} \quad S'_{red} = 0,85 S'' = 3,4 \sigma.$$

Uwaga. Zjawiska odnośne ulegają jeszcze dodatkowym wpływom, między innymi oporowi, jaki przeciwstawia każdemu odginaniu stosunkowo grubościenna powłoka walcowa, działająca tu podobnie jak sprężyna kształtu litery  $C$ , utwierdzona w miejscu leżącym naprzeciw połączenia.

Zakończenie. Nowe doświadczenia i teoretyczne poglądy dowodzą możliwości silniejszego niż dotąd obciążania prawidłowo wykonanych połączeń nitowych i uzasadniają potrzebę wprowadzenia pewnych zmian w przepisach, odnoszących się tak do obliczania grubości blach, jak do granicy obciążeń dopuszczalnych samych nitów.

Prof. Tadeusz Fiedler.

## O regeneracji ciepła.

W termodynamice regeneracja ciepła polega na tem, że się ciepło stracone podczas jakiejś przemiany chwyta i doprowadza w innym stosownem miejscu tejsamej przemiany cieplnej, gdzie istnieje tasama temperatura. W takim przypadku możnaby było ciepło stracone odzyskać w całości, bez uszczerbku. Technicznie jednak taka regeneracja jest niewykonalna, bo wszelki ruch ciepła wymaga spadku temperatury. Więc w miejscu gdzie ciepło tracimy, ciało pośredniczące musi mieć temperaturę niższą, aniżeli ciepło przenoszone, a miejsce, w którym pragniemy to ciepło przenieść napowrót do obiegu, musimy wybrać tak, żeby tam dopływ ciepła był możliwy, a zatem musi to być punkt przemiany o temperaturze niższej od temperatury przenoszonego ciepła. Potrzebne spadki temperatury nawet nie mogą być bardzo małe, ażeby te przenosiny nie wymagały zbyt wiele czasu. Widzimy, że bez obniżenia wartości (zniżenia temperatury, a temsamem powiększenia entropji), niema mowy o zupełnej regeneracji ciepła straconego. Pozostają jednak różne

sposoby częściowego odzyskania i zużytkowania ciepła straconego. Niektóre z nich pragnę omówić w krótkości.

I. Jednym ze sposobów jest podnoszenie temperatury ciepła straconego zapomocą pracy mechanicznej. Praca ta wymaga zasadniczo (II zasada termodynamiki) większego spadku temperatury, aniżeli wyniesie rzeczywiste podniesienie poziomu temperatury ciepła straconego o pewną liczbę stopni. Więc praca ta wymaga większej ilości energii termicznej, aniżeli ilość ciepła odzyskana przy tym sposobie regeneracji. Spełniają to zadanie t. zw. pompy cieplne, t. j. wogóle sprężarki, które bez względu na cel praktyczny do którego służą, zawsze podnoszą pewną ilość ciepła kosztem pracy mechanicznej na wyższy poziom temperatury. Wiadomo przytem, że  $\eta$  sprężarek jest tem większe, im mniejsza jest wysokość podnoszenia (skok) temperatury. Więc wyjątkowo, gdy wystarcz apodniesienie temperatury o niewielką liczbę stopni, zaś pracę potrzebną można uzyskać tanio, mogą takie urządzenia wytrzymać krytykę ekonomiczną.



II. Regeneracja ciepła w maszynach parowych o jednym czynniku opiera się na tem, że skropliny doprowadzamy napowrót do kotła parowego, przy możliwie wysokiej temperaturze. Więc przedewszystkiem w skraplaczu nie chłodzimy skroplin, a następnie jeszcze staramy się ogrzać je przy pomocy spalin lub pary upustowej tak, by ile możności wchodziły do kotła z temperaturą nie niższą od temperatury panującej w kotle. Najłatwiej to wykonać w maszynach parowych o dwu lub więcej czynnikach. Wtedy skraplacz powierzchniowy, przynależny do czynnika o wyższej temperaturze wrzenia, jest równocześnie kotłem parowym dla drugiego czynnika o niższej temperaturze wrzenia itd. Maszyna parowa musi mieć wówczas tyle cylindrów i skraplaczy powierzchniowych, ile użyto czynników. W czasach drożyzny kapitału zakładowego takie kombinacje przedstawiają małe widoki powodzenia. Lecz i w maszynach parowej zwykłej, o jednym czynniku, ogrzewanie skroplin czy wody zasilającej kocioł daje urządzenia duże, pracujące przy ciśnieniach wyższych niż ciśnienie w kotle parowym i dlatego w ogóle kosztowne. Ogrzewanie wody lub skroplin przy pomocy pary wylotowej i upustowej wymaga urządzeń daleko mniejszych, nieraz tańszych; wysokie ciśnienia w pompach zasilających pozostają jednak takie same.

III. Regeneracja ciepła w zastosowaniu do palenisk, znana od czasów W. Siemens'a, postąpiła w czasach nowszych i objęła paleniska kotłowe. Przypomniano sobie, że im wyższe są temperatury spalania, tem szybciej ciepło przenika do wnętrza kotła, a więc każdy metr kwadratowy powierzchni ogrzewanej może wytworzyć więcej pary na godzinę. Daje to dla tegosamego skutku mniejsze kotły, mniejsze ilości spalin, a w dodatku — co do niedawna wydawało się czemś paradoksalnem — niższe temperatury wylotowe. Znaczy to, że ciepło spalania paliwa będzie wyzyskane lepiej, więc  $\eta$  kotła (czy innego sposobu ogrzewania) się podniesie. Spozrzegł to Hudler<sup>1)</sup>, a rzecz cała polega na regeneracji ciepła gazów wylotowych. To ciepło przenosi się na świeże powietrze potrzebne do spalania, co pociąga za sobą wyższe temperatury spalania. W tym przypadku pracę pompy cieplnej wykonywa energia chemiczna samego paliwa, która podnosi temperaturę spalania o tyle wyżej, o ile wyższą była temperatura początkowa, a to bez użycia pracy mechanicznej, lecz bezpośrednio. To podnoszenie temperatury spalania nie jest wprawdzie bezpłatne, ale tańsze i nie wymagające znaczniejszych prężności.

Zasada Hudlera przedstawia się krótko tak: Jeśli w kierunku ruchu gazów spalania rozetniemy całą powierzchnię ogrzewaną kotła  $F$ , rozplaszczymy ją i cięciami poprzecznymi wytniemy w miejscu dowolnem bardzo wąski pasek o powierzchni  $dF$ , to przez taki pasek przepłynie na godzinę ciepła  $dQ = k \cdot dF (T-t)$ , gdzie  $T$  oznacza zmieniającą się w sposób ciągły temperaturę spalin nad owym paskiem,  $t$  jest stałą (zwykle) temperaturą w kotle po drugiej stronie wyciętego paska blachy, zaś  $k$  współczynnikiem przechodzenia ciepła ze spalin do wody kotłowej. Gazy gorące muszą tracić tyle ciepła, ile zyskuje woda w kotle i otoczenie. Na godzinę wynosi to  $dQ = g c_p dT$ , gdzie  $g$  jest ciężarem gazów przepływających na godzinę,  $c_p$  ciepłem właściwym gazów przy temperaturze  $T$  zaś  $dT$  obniżeniem temperatury gazów w czasie przepływu, ponad paskiem blachy. — Oczywiście, że ciepło oddane przez gazy może być równe ilości ciepła pochłoniętego przez blachę tylko w płomienicy. Dla uproszczenia założymy, że mamy do czynienia tylko z takim kotłem. — W kotłach ogrzewanych spalinami płynącymi w kanałach murowanych, ciepło gazów zużywa się także na ogrzewanie omurowania. Ponieważ jednak omurowanie odrzuca przez promieniowanie znaczną część ciepła nazad ku powierzchni ogrzewanej, a samo niezbyt wiele ciepła przepuszcza na zewnątrz, więc i takie przypadki można w przybliżeniu objąć temsamem rozumowaniem, przyczem błąd, jak poucza doświadczenie, nie będzie tak duży, żeby mógł obalić ostateczny wynik rozumowania. W kotle płomienicowym można się spodziewać, że ciepło pochłonięte przez wodę będzie równe ciepłu utraconemu równocześnie przez spaliny. W takim razie

$$k \cdot dF (T-t) = g c_p' dT, \text{ a stąd } \frac{k \cdot dF}{g c_p'} = \frac{dT}{T-t}$$

Po scałkowaniu w granicach od 0 do  $F$  i od  $T_0$  (w palenisku) do  $T_1$  w miejscu, gdzie spaliny opuszczają kocioł, otrzymamy

$$\frac{kF}{g c_p'} = \ln \frac{T_0-t}{T_1-t}$$

W całym przebiegu wzdłuż powierzchni ogrzewanej kotła gazy tracą w przybliżeniu ilość ciepła  $Q = g c_p' (T_0 - T_1)$ , gdzie  $c_p'$  jest średnim ciepłem właściwym spalin w całym przebiegu wzdłuż powierzchni ogrzewanej kotła. Dla uproszczenia całkowania już w poprzednim wzorze użyto tegosamego średniego ciepła właściwego między temperaturami  $T_0$  i  $T_1$ . Z ostatniej

zależności wypada  $g \cdot c_p' = \frac{Q}{T_0 - T_1}$  a po wstawieniu we wzór poprzedni

$$Q = \frac{kF(T_0 - T_1)}{\ln \frac{T_0-t}{T_1-t}} \quad \dots \quad (I)$$

Jeśli  $F$ ,  $Q$ ,  $k$  i  $t$  przyjmiemy jako dane wpływające z wymiarów kotła, potrzebnej ilości pary i warunków ruchu, mamy związek między temperaturą spalania  $T_0$  a temperaturą wylotową  $T_1$  i możemy  $T_1$  obliczyć. Całe to obliczenie coprawda jest tylko przybliżone, bo przyjęto za  $k$  stały współczynnik przechodzenia ciepła przez blachę kotła, które zależy od wielu okoliczności. Dokładność wymagałaby, żeby  $k$  znane było w każdym miejscu powierzchni ogrzewanej, gdzie bywają różne prędkości gazów i krążenia wody, różne opory w przewodnictwie blachy itd. Skonstatować można jedynie, że  $k$  mało zależy od temperatury (wzrasta z temperaturą) i że dla danego typu kotła o pewnej prędkości krążenia wody i mieszania się spalin, można z pomiarów praktycznych wyznaczyć średnią wartość  $k$ , która przy podobnych kotłach mało się zmienia. Więc przyjęcie stałego współczynnika  $k$  nie może wywołać znaczniejszego błędu w obliczeniu. Wybór stosownej cyfry  $k$  na podstawie pomiarów poprzednich odbywa się tak, że obliczywszy średnią różnicę temperatury spalin i wnętrza kotła, ustawia się równanie:

$Q = k F (T-t)$  kal/godz, gdzie  $Q$  jest ciepłem użytecznem przenoszonym na wodę w godzinę,  $F$  powierzchnią ogrzewaną kotła, zaś  $T-t$  ową średnią różnicą temperatur. Każdy pomiar dzielności ( $\eta$ ) kotła należałoby wyzyskać dla obliczenia dotyczącego  $k$  przy czystych zupełnie powierzchniach blach i przy różnych stopniach ich zanieczyszczenia — zaś wyniki ogłaszać dla użytku tych, którzy mają rozstrzygać o wyborze najkorzystniejszego paliwa, czy też — przy danem paliwie — o typie i wielkości kotła, czy wreszcie o regeneracji ciepła gazów wylotowych.

Sama funkcja (I) podana przez Hudlera jest dość uwikłana tak, że dla ułatwienia obliczeń porównawczych dążyliśmy do sporządzenia praktycznego nomogramu, któryby przy danych  $Q$ ,  $F$ ,  $k$ ,  $T_0$  i  $t$  dawał łatwo nieznaną temperaturę wylotową  $T_1$ , służącą do obliczenia ciepła wylotowego. Zresztą którąkolwiek z podanych ilości można uważać jako nieznaną i znachodzić w ten sposób łatwo odpowiedź na rozliczne pytania wpływające z zagadnień praktycznych, n. p. jakiego stopnia forsowania paleniska (jakiego  $T_0$ ) trzeba by, ażeby w danym kotle o powierzchni ogrzewanej  $F$ , średnim współczynniku  $k$  i przepisanej temperaturze  $T_1$  wytworzyć żadaną ilość ciepła użytecznego  $Q$ , jakie będzie przytem  $\eta$  kotła itp.

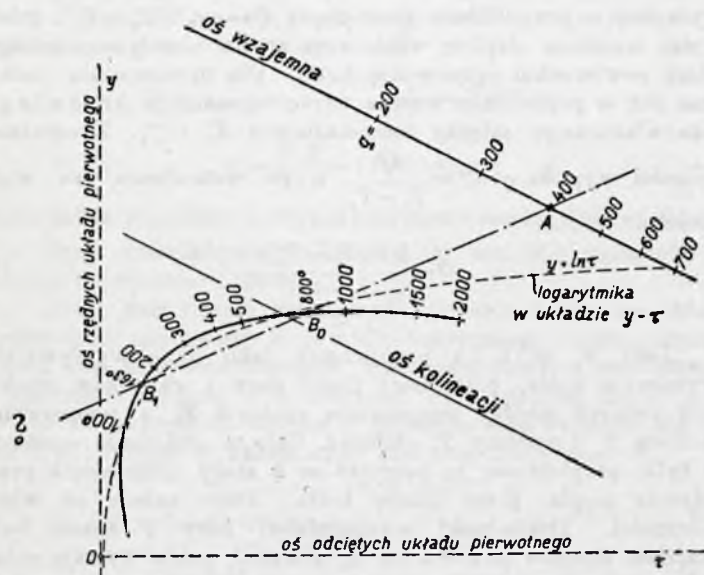
Rys. 1 przedstawia taki nomogram<sup>1)</sup>. — Kładąc w funkcji (I)  $\frac{Q}{kF} = q$ ,  $T-t = \tau$ ,  $T_0 - t = \tau_0$  i  $T_1 - t = \tau_1$ , otrzymamy

$$q = \frac{\tau_0 - \tau_1}{\ln \tau_0 - \ln \tau_1}, \text{ albo } \ln \tau_0 - \frac{\tau_0}{q} = \ln \tau_1 - \frac{\tau_1}{q} \quad \dots \quad (II)$$

<sup>1)</sup> Nomogram powyższy zawdzięczam łaskawej pomocy prof. Uniw. J. K., Dra H. Steinhausa. Szczegółowy opis sposobu rysowania tego nomogramu ogłoszony będzie osobno w *Czasopiśmie Technicznem*.



W układzie spólrzędnych, którego oś odciętych jest osią wielkości  $\tau$  (rys. 1) wykreślamy logarytmikę o równaniu  $y = \ln \tau$ , oraz prostą  $l$  o równaniu  $y = \frac{1}{q} \cdot \tau$ . Każdemu punktowi logarytmiki mającemu odciętą  $\tau_0$  odpowiada drugi punkt tej samej logarytmiki a odciętej  $\tau_1$  w ten sposób, że spólrzędne obu tych punktów spełniają równanie (II). Prosta  $l'$  przechodząca przez punkty  $A$  i  $B$  jest równoległą do prostej  $l$ . W ten



Rys. 1.

sposób mając  $q$  i  $\tau_0$  można znaleźć  $\tau_1 = T_1 - t$ , a zatem także  $T_1$ . Ze względu na wygodę trzeba było logarytmikę przerysować w odwzorowaniu perspektywicznym dla obranego stosownie środka kolineacji  $S$ , osi kolineacji i osi wzajemnej, ażeby umieszczenie podziałki dla  $q$  i podziałki temperatur na logarytmice było dogodnie, a format całego nomogramu mimoto niewielki. Ta ostateczna forma nomogramu jest już dogodną w pewnych granicach.

Widać tam wyraźnie, że przynależne do siebie  $q$ ,  $\tau_0$  i  $\tau_1$  leżą na prostej ruchomej  $l$  (np. punkta  $A$ ,  $B_0$  i  $B_1$ ), a co najważniejsze, że wyższym temperaturom spalania  $T_0$  odpowiadają przy temsamem obciążeniu kotła (tejsamej wartości  $q$ ) niższe temperatury wylotowe  $T_1$ , więc wyższe dzielnosci  $\eta$  uważanego kotła. Wypływa stąd wniosek, że podwyższenie temperatury spalania przez regenerację części ciepła gazów wylotowych powinno dać wyniki korzystne. Doświadczenie potwierdza powyższe rozumowanie, a przeliczenia okazują wprost, że korzystniejsze będzie przeniesienie części ciepła wylotowego do paleniska, aniżeli przeniesienie tej samej ilości ciepła na wodę zasilającą kocioł.

Wysokie temperatury spalania dają jak wiadomo spalanie lepsze, przy mniejszym nadmiarze powietrza, szybszem przenikaniu ciepła do wnętrza kotła i mniejszych stratach ciepła wylotowego. Ma to szczególniejsze znaczenie przy wysokich ciśnieniach w kotle i wysokich temperaturach w przegrzewaczu pary, a więc wysokich z konieczności temperaturach wylotowych.

Wprawdzie ciepło spalania nie zależy ani od nadmiaru powietrza, ani od obecności wilgoci, ani też od temperatury spalania — lecz wyzyskanie ciepła spalania silnie zależy od temperatury wylotowej, od obecności wilgoci, od zawartości  $CO_2$  w gazach, więc od nadmiaru powietrza. Wilgoć n. p. obniża temperaturę spalania  $T_0$ , więc działa szkodliwie na wynik ogrzewania przy temperaturze  $t > 100^\circ$ , t. j. w kotłach parowych.

Techniczne przeprowadzenie rozważanej powyżej regeneracji ciepła wylotowego <sup>1)</sup> obejmują ogrzewacze powietrza, którym w nowszych czasach poświęca się więcej uwagi. Znane amerykańskie ogrzewacze komorowe lub jeszcze nowsze ogrze-

wacze obrotowe Ljungströma <sup>1)</sup> spełniają to zadanie wcale dobrze, bez wielkich wkładów pieniężnych.

IV. Regeneracja ciepła przez podsuszanie paliwa wilgotnego. Przy pomocy ciepła zawartego w gazach wylotowych można usunąć znaczną część wilgoci zawartej w paliwie. Więc można ew. część ciepła wylotowego regenerować dla podniesienia temperatury spalania bezpośrednio, zaś reszty ciepła wylotowego użyć do podsuszania paliwa. Zwykle wystarczy spełnienie tylko tego drugiego zadania, zwłaszcza przy paliwie bardzo wilgotnem. Będzie to także rodzaj regeneracji ciepła, działający podobnie, jak opisałem w ustępie III, a to przez zapobieżenie obniżeniu temperatury spalania  $T_0$ , które zawsze pociąga za sobą obecność wilgoci. Dotyczy to w szczególności paliw o większej zawartości wilgoci, a przede wszystkim torfów. Przeliczenia wykazują, że podsuszanie torfów (byle się udało wykonać w sposób niezbyt kosztowny) może dać korzyści większe, niż inne sposoby regeneracji ciepła wylotowego. Byłoby to zd. m. najlepszą drogą prowadzącą do użytkowania naszych torfów rozrzuconych po obszarze państwa, a szczególnie na wschodzie i północnym wschodzie. Te torfy na razie nie mogą wytrzymać konkurencji z węglem sprwadzanym z dużych odległości do wschodnich części kraju. Duże odległości bardzo podrażają węgiel tak, że rozwój przemysłu, zagęszczenie sieci kolejowej i dostarczenie większym osiedlom energii elektrycznej w województwach wschodnich i północno-wschodnich da się przeprowadzić tylko w oparciu o paliwo miejscowe. Pozyskanie nowych ośrodków dobrego paliwa ma także niepoślednie znaczenie państwowe, a nawet strategiczne <sup>2)</sup>. Dla tego powinny być podjęte jak najrychlej próby użytkowania tych zapasów paliwa torfowego. Drogą wiodącą wprost do tego celu będzie podsuszanie torfu gazami wylotowymi. Przykłady przeliczone przez Hudlera <sup>3)</sup> dowodzą, że na podsuszaniu paliwa zyskuje cel ogrzewniczy więcej ciepła, aniżeli wymaga podsuszanie paliwa. Pozorny paradoks, jednak zrozumiały na tle poprzednich wywodów.

Torfy (i świeże drewno) odznaczają prócz wielkiej zawartości wilgoci jeszcze pewną osobliwością: zawierają stosunkowo wiele tlenu. Wskutek tego przy spalaniu potrzeba mniej tlenu z powietrza, a więc także mniej azotu, zupełnie zbytecznego, a powiększającego objętość spalin, czyli zmniejszającego temperaturę spalania <sup>4)</sup>. Pamiętając, że dla uzyskania wysokich temperatur ( $T_0$ ), trzeba wywiązać ciepło spalania przenieść na jak najmniejszą objętość, czyli uzyskać jak największą gęstość (koncentrację) ciepła widać, że wprowadzenie większych ilości azotu musi obniżyć temperaturę spalin. Więc nie dziw, że przy spalaniu suchego drewna lub torfu możemy otrzymać temperatury wyższe, niżby się można spodziewać po ich miernej wartości opałowej. Silnie wilgotny rudowęgiel może mimo większego ciepła spalania dać temperatury niższe, aniżeli drewno lub podsuszony torf. Wytwarzanie pary o wielkiej prężności przy użyciu paliwa silnie wilgotnego, staje się korzystnem dopiero przy podsuszaniu tego paliwa przy pomocy ciepła gazów wylotowych.

Oczywiście, że do podsuszania paliwa potrzeba urządzeń, w których wilgotne paliwo mogłoby się posuwać w przeciwnym kierunku do gazów wylotowych. Dziś jeszcze dobrych urządzeń do tego celu służących nie znamy, lecz rzecz jest godna wysiłku, bo ekonomiczne podsuszanie torfu — już w części odwodnionego przy pomocy maszyn, uprzystępniałoby pokłady torfu dla celów przemysłowych.

V. Ujemne następstwa wysokich temperatur spalania. Wysokie temperatury spalania są korzystne ze względu na oszczędne ogrzewanie, czy wytwarzanie pary, lecz występują przytem trudności pod względem trwałości blach kotłowych bezpośrednio ogrzewanych, trwałości murów ognio-

<sup>1)</sup> p. W. Gum z. Der Luftvorwärmer Bauart Ljungström, *Feuerungstechnik* 1925, str. 217.

<sup>2)</sup> B. Stefanowski. Gospodarka ciepła, Warszawa 1925, str. 11.

<sup>3)</sup> Hudler. Hochdruckdampf u. Kesselfeuerung unter Berücksichtigung nasser Brennstoffe, *Feuerungstechnik*, 1924/25, str. 9.

<sup>4)</sup> Stosunek objętościowy tlenu do azotu w powietrzu = 1:8-762, zaś ciepło właściwe obu tych gazów jest prawie zupełnie jednakowe.

<sup>1)</sup> Hudler. Bewertung der Luftvorwärmung bei Dampfkessel-ferungen. *Archiv für Wärmewirtschaft* 1925, str. 16.



trwałych i urządzeń paleniskowych. Co do blach wiemy, że prócz odpowiedniego materiału trzeba używać wody czystej i czystych spalin, zapewnić dobry obieg w kotle i starać się o niewielki nadmiar tlenu w spalinach. Natomiast w kierunku zapewnienia wytrzymałości t. zw. murów ogniotrwałych oraz rusztów, prace są jeszcze w toku, chociaż już istnieją postępy. Ocenia się już dokładniej materiały ogniotrwałe, a także popioły i zuzle, które mogłyby szkodzić materiałom ogniotrwałym. Jednym ze środków ochronnych jest także zmniejszenie płomienia tak, żeby się kończył w pewnym odstępnie od materiału ogniotrwałego. Nietrudno to uzyskać przy zastosowaniu pyłu węglowego lub torfowego. Nieraz udaje się przy pomocy taniego dodatku do paliwa zmniejszyć topliwość popiołu, lub jego wpływ szkodliwy na materiały ogniotrwałe. Wreszcie pokazało się, że zbite łupki kwarcytowe, zwłaszcza z formacji węglowej bywają dziwnie wytrzymałe w ogniu i przewyższyc mogą pod tym względem najlepsze glinki szamotowe, zwłaszcza — gdy nie są porowate <sup>1)</sup>.

Amerykanie dla ochrony ścian paleniska używają szere-

<sup>1)</sup> Ullmann, Encyklopedie d. techn. Chemie XI (1922), str. 260, podaje pogląd na materiały ogniotrwałe. Nowszego dzieła: Litinsky, Schamotte u. Silika, Lipsk 1925 (O. Spamer) nie można było dotąd zakupić.

gów rur wodnych <sup>1)</sup>. Wchłonięte przez rury ciepło służy do ogrzewania wody krążącej w rurach. Nieraz wprowadzenie warstewki zimnego powietrza wzdłuż ściany niezbyt ogniotrwałej może ją ochronić od rychłego zniszczenia.

Utrzymanie rusztów przy wysokich temperaturach nie jest rzeczą łatwą. Ale i na tem polu są postępy, odkąd wymyślono t. zw. kaloryzację części rusztów żeliwnych przez wytworzenie na ich części cienkiej warstewki glinu. Środkiem radykalnym jest zupełne usunięcie rusztu przy spalaniu pyłu węglowego lub gazu. Niezłe rozwiązanie przedstawia też t. zw. spalanie podsuwne, przy którym na płyty rusztowe podsuwa się mechanicznie świeży materiał opałowy pod warstwę palącego się już paliwa. Jest to i pozatem racjonalne ze względu na powolne stopniowe odgazowanie materiału opałowego, a przytem zabezpiecza ruszt od wpływu wysokich temperatur, jeśli tylko rozłożono stosownie miejsca dopływu wtłaczanego powietrza. Takie ruszty wymagają jednak użycia silnika do podsuwania paliwa i wentylatorów do jego spalania, zwłaszcza wówczas, gdy paliwo jest drobnoziarniste (miał).

Oto są w zakresie spalania materiałów opałowych dziedziny, w których się obecnie pracuje, celem obniżenia kosztów ogrzewania w ogóle, a wytwarzania pary w szczególności.

<sup>1)</sup> Z. d. V. d. I. 1926, str. 225.

Dr. Inż. Tadeusz Niemczynowski.

## Ruch ciepła w kotle.

Z pośród zagadnień nowoczesnej techniki kotłowej wy-  
sława się na pierwsze miejsce kwestja możliwego zwiększenia  
wydajności kotła, raz ze względu na modną dziś dążność do bu-  
dowania dużych jednostek turbinowych, wymagających całych  
baterij kotłowych, następnie ze względu na chęć możliwego  
zmniejszenia kosztów zakładowych i polepszenia ekonomji ruchu  
przez zmniejszenie ilości jednostek, dostarczających pary.

Ponieważ wydatek każdego kotła w *kg* pary na godz.  
określa się iloczynem z powierzchni ogrzewanej i średniej cyfry  
odparowania jednostkowego <sup>1)</sup>, przeto możliwość powiększenia  
wydatku leży albo w zwiększeniu czynnika pierwszego t. zn.  
powierzchni ogrzewanej albo też drugiego t. zn. cyfry odparowa-  
wania.

Technika dzisiejsza poszła w obu kierunkach.

Drogą pierwszą, łatwiejszą, bo utorowaną dotychczasowemi  
doświadczeniami, zdobytymi przy budowie kotłów o wysokiej  
wydajności — poszła Ameryka. Kotły o powierzchni ogrzewanej  
ponad 2500 *m*<sup>2</sup> (River-Rouge, 2460 *m*<sup>2</sup>, Marysville, 2620 *m*<sup>2</sup>,  
Congress-Street, 2750 *m*<sup>2</sup>, wszystkie w Detroit), od kilku lat  
znajdują się w ruchu, a projektowany jest kocioł na 8000 *m*<sup>2</sup>.  
Odparowanie jednostkowe nie jest nazbyt wielkie, waha się  
między 20 a 60 *kg/m*<sup>2</sup> godz., przyczem wyższe z tych cyfr  
uzyskano raczej drugorzędnie, przypadkowo przez zastosowanie  
dużych palenisk oraz opalania pyłkiem węgla.

W Europie podsunęły w budowie kotłów powojenne sto-  
sunki oraz stara kultura laboratoryjna tendencję drugą: pozostawienie  
wymiarów kotła w dotychczasowej wielkości, nie  
zwiększanie powierzchni ogrzewanej, a zato możliwe podwyż-  
szenie jednostkowej cyfry odparowania.

Przedstawienie badań nad tem zagadnieniem i otrzy-  
manyh wyników jest celem tego referatu.

\* \* \*

Szczegółowe badania nad większemi kotłami wodnorurko-  
wemi okazują, że jednostkowe obciążenie w różnych miejscach  
powierzchni ogrzewanej jest bardzo rozmaite. Przy kotle, któ-  
rego średnia cyfra odparowania wynosi około 40 *kg* pary na

<sup>1)</sup> Za odparowanie jednostkowe uważam cyfrę *kg* pary, odparowanych w ciągu godziny z 1 *m*<sup>2</sup> pow. ogrz., jako obciążenie jednostkowe ilość kaloryj, przepływających w ciągu godziny przez 1 *m*<sup>2</sup> pow. ogrz.

godz., odparowanie w pierwszym rzędzie rurek dochodzi do cy-  
fry 150—200 *kg* pary na *m*<sup>2</sup> i godz., w rzędzie drugim spada  
przeszło dwukrotnie, (60—100 *kg*), w trzecim prawie na jedną  
czwartą (40—50 *kg*), i t. d., aż do jakich 3—4 *kg* pary na  
godz. w ostatnich rzędach rurek. Kocioł jest więc w przeważ-  
nej swej części niewyżytkany. Przyjąwszy bowiem, że pierwszy  
rząd rurek znajduje się już na granicy dopuszczalnego dziś  
obciążenia cieplnego <sup>1)</sup>, możnaby rzędy dalsze obciążyć równie  
silnie, a tem samem wydatek kotła podnieść wielokrotnie.

Wskazówki, jak rzecz taką można wykonać, jak najłatwiej  
zbliżyć się do żądanego celu, daje nam nauka, która zajmuje  
się prawami przepływu i przenoszenia się ciepła, nauka o ruchu  
ciepła.

Według zasad tej nauki ciepło przenosić się może w ogół-  
ności na dwa sposoby: albo na drodze bezpośredniego styku,  
to znaczy przez przewodzenie (kondukcję) i unoszenie (konwek-  
cję) albo też na drodze pośredniej, przez przemianę w energję  
inną, przez promieniowanie.

W kotle odbywa się ruch ciepła na obydwu drogach, to  
na jednej silniej, to na drugiej, zależnie od miejsca, warunków  
fizykalnych tam występujących i t. d. Szczegółowa dyskusja  
nad obu formami energii, zorientowanie się, gdzie i która z nich  
jest ważniejsza, jak dostosować konstrukcję kotła, jak dążyć  
do tego, aby uzyskać maximum ciepła do wyzyskania możli-  
wego jest celem następných rozważań.

### A. Ruch ciepła w kotle na drodze bezpośredniej.

Według praw nauki o ruchu ciepła ilość ciepła, która  
przepływa z gazu o temperaturze *t*<sub>1</sub> na wodę o temperaturze *t*<sub>2</sub>  
przez powierzchnię *F* w ciągu czasu *z*, określa się wzorem

$$Q = k [t_1 - t_2] F \cdot z$$

Dla obciążenia jednostkowego (*F*=1, *z*=1) wzór upraszcza się:

$$Q = k [t_1 - t_2] \text{ kal/m}^2 \text{ godz.} \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Stała *k* zwana współczynnikiem przenikania ciepła, podaje  
ilość kaloryj, przepływającą przez 1 *m*<sup>2</sup> powierzchni ogrzewanej  
w ciągu godziny przy różnicy temperatur gazu i wody 1° C.

<sup>1)</sup> Przepływ ciepła przy danej rurce wodnej zależy tylko od temperatury jej zewnętrznej powierzchni.



Uwzględniając, że temperatura wody w kotle  $t_2$  jest stała, można wzór (1) napisać:

$$Q = k t_1 - \text{constans} \dots \dots \dots (2)$$

czyli: ilość ciepła, przepływająca przez  $1 m^2$  powierzchni ogrzewanej jest wprost proporcjonalna do temperatury gazu w danym punkcie kotła i do współczynnika przenikania ciepła.

Dyskusja nad temi dwiema wielkościami wskaże możliwości powiększenia obciążenia jednostkowego w danym punkcie powierzchni kotła.

1. Sposobem pierwszym byłoby powiększenie temperatury spalin  $t_1$ . Napotyka się tu jednak na duże trudności. Badania spadku temperatury gazu wzdłuż powierzchni ogrzewanej kotła okazują, że temperatura ta opada bardzo silnie w kierunku od paleniska ku czopuchowi. Można więc tylko obciąć powierzchnię ogrzewaną w punkcie, gdzie temperatura spalin spada już dość nisko, ale wtedy otrzymuje się wysokie cyfry odparowania albo za cenę dużej straty wylotowej albo też dużej powierzchni podgrzewacza, co występuje n. p. w kotle Atmos, gdzie zresztą rzecz ta ze względu na wysokie ciśnienie pary (100,5 atm.) była możliwa i nawet pożądana.

Ekonomiczne powiększenie różnicy temperatur da się natomiast uzyskać tylko przez podwyższenie temperatury początkowej, temperatury w palenisku. Wprawdzie temperatura wylotowa spada wtedy i różnica temperatur gazu i wody zmniejsza się w ostatnich częściach powierzchni ogrzewanej, ale zato w pierwszej części powierzchni kotła, gdzie wysokiej temperaturze gazów odpowiada też wysoka wartość współczynnika  $k$ ,  $kt_1$  czyli ilość ciepła doprowadzonego będzie tem większa.

Sposoby podwyższenia temperatury początkowej kotła są powszechnie znane: palenie małą nadwyżką powietrza, wysokim %  $CO_2$ , dawanie podgrzanego powietrza, silne obciążenie rusztu<sup>1)</sup>, palenie pyłkiem i t. p.

Kwestję omurowania można uważać za opanowaną, może nie u nas, ale w Ameryce, gdzie cegły szamotowe z okładkami z węgla krzemu (karborundum) wytrzymują bez szkody temperatury do 2258° C, gdy szamota topi się już przy 1650 do 1790° C. Są one coprawda około 20 razy droższe, ale długi czas trwania pokrywa zupełnie wysoki koszt inwestycji.

2. Przy daleko od paleniska położonych częściach powierzchni ogrzewanej, gdzie dalsza podwyżka temperatury nie jest możliwa, można uzyskać pewien wzrost obciążenia jednostkowego przez powiększenie współczynnika przenikania ciepła  $k$ .

Jak wynika z zasad nauki o ruchu ciepła, przepływ ciepła z jednego ośrodka na drugi przez ściankę płaską jest uzależniony tylko od oporu, jaki napotyka strumień ciepła przy przejściu z ośrodka pierwszego na ściankę ( $q_1$ , odwrotność współczynnika przechodzenia ciepła  $\alpha_1$ ), ze ścianki na drugie ( $q_2$ , odwrotność  $\alpha_2$ ) oraz od oporu cieplnego samej ścianki ( $e' = \frac{1}{\lambda}$ ) jej grubości  $\delta$ .

Opór całkowity  $R$  (odwrotność współczynnika przenikania  $k$ ), przedstawia się jako suma oporów poszczególnych:

$$R = q_1 + e'\delta + q_2$$

$$\text{lub } k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \dots \dots \dots (3)$$

Poszczególne opory  $q_1$ ,  $q_2$ ,  $e'$  i t. d. wyrażają się jednak w wielkościach bardzo różnych, i tak:

opór przejść.			
gaz ścianka	$\alpha_1 = 4$ do $10 \text{ kal./m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ godz.	$q_1 = 0,25$	do $0,1$
ścianka-woda	$\alpha_2 = 4000$ do $6000 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ godz.	$q_2 = 0,00025$ $0,00017$	do
ścianka żel.			
grub. $1 \text{ m}$	$\lambda = 40$ do $60 \text{ kal./m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ godz.	$e' = 0,025$ $0,017$	do

<sup>1)</sup> Dochodzi się dziś do cyfr:  
800 kg węgla kamiennego na  $1 \text{ m}^2$  powierzchni rusztu,  
1200 " " brunatnego " " " " " " " " " " " "

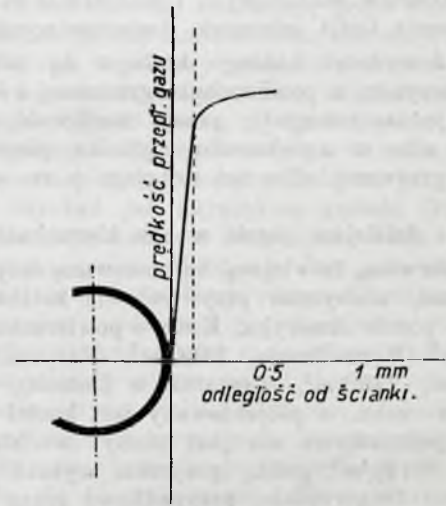
$2 \text{ mm}$	$e'\delta = 0,00005$ do $0,00015$
$6 \text{ mm}$	$e'\delta = 0,000034$ do $0,000102$

Jak widać z podstawienia wartości tej tabelki we wzorze (3), wpływ oporu przejściowego  $q_2$  oraz  $e'\delta$  jest tak minimalny, że można go zupełnie śmiało pominąć. Wynika też z tego, że starania o polepszenie przepływu ciepła przez dalsze ułatwienie opływu wody, zmianę grubości i materiału ścianki nie doprowadzi do korzystnych wyników. Zmianę radykalną, ale też naprawdę efektowną, można uzyskać tylko przez zmniejszenie oporu przepływu ciepła z gazu na ściankę.

Jakkolwiek badania nad tem zagadnieniem przeprowadza się już od lat kilkudziesięciu, pogląd zupełnie nowy, we wnioskach swych nadzwyczajnie cenny, uzyskano dopiero przed kilku laty, a to przez rozpatrywanie mechanizmu ruchu ciepła z gorących gazów na ściankę opłomki ze stanowiska fizyki cząsteczkowej i praw przepływu gazów lepkich, zwłaszcza tak zw. warstewki granicznej Prandla.

Oto, gdy w strumieniu gazu o prędkości stałej umieści się walec kołowy, dostatecznie długi, przedstawiający rurkę wodną i bada rozkład prędkości gazu, okazuje się, że prędkość ta — w pewnej odległości od rurki prawie stała — przy samej ściance (około  $0,1 \text{ mm}$  odległości) zaczyna gwałtownie maleć aż do zupełnego bezruchu.

Bezpośrednio na ściance tworzy się warstewka lepkiej, nieomal galaretowatej cieczy t. zw. warstewka graniczna. Powstaje ona wskutek przyciągającego (adhezyjnego) działania cząsteczek ścianki na cząsteczki gazu, działania tak silnego, że warstewka cząsteczek, przylegająca bezpośrednio do ścianki, jest jakby przyklejona. Cząsteczki leżące na większym promieniu podlegają z jednej strony przyciąganiu ścianki (malejącemu z 5 potęgą odległości), z drugiej strony przyciąganiu poruszającej się masy gazu czyli tarcia.



Rys. 1.  
Rozkład prędkości gazu w kierunku promienia rurki, prostopadłego do kierunku przepływu gazu.

Im dalej od ścianki, tem silniej przeważa ten drugi wpływ, tem mniejsze jest też zagęszczenie cząsteczek, tem większą ich prędkość posuwista, aż do ograniczenia warstewki Prandla, gdzie działanie adhezyjne ścianki zupełnie zanika, a pozostaje tylko wpływ tarcia masy gazu.

Prócz wyżej opisanego ruchu postępowego, wykonują cząsteczki gazu jeszcze, według teorii kinetycznej, ruch molekularny, który właśnie powoduje przepływ kondukcyjny ciepła na opłomkę.

Ciepło zawarte w gazie jest porozdzielane na poszczególne drobiny, w których objawia się jako energia kinetyczna cząsteczek. Zawartość ciepła drobiny gazu (a także i temperatura) jest wprost proporcjonalna do kwadratu prędkości molekularnej drobiny czyli do jej energii kinetycznej. Gdy cząsteczka 1, po-



siadająca energię  $e_1$  czyli prędkość  $v_1$  (innymi słowy zawartość ciepła  $q_1$  i temperaturę  $t_1$ ) zderzy się z cząsteczką 2 o wielkościach  $e_2, v_2, q_2$  i  $t_2$ , które są mniejsze, niż odpowiadające wartości cząsteczki 1, następuje, według praw mechaniki zderzenia ciał, wyrównanie energii. Cząsteczka 1 traci część swej energii  $e_1$ , prędkości  $v_1$  na korzyść cząsteczki 2. Zawartość ciepła i temperatura drobiny 1 spada, drobiny 2 wzrasta. Następuje, jak powiadamy, ruch ciepła z drobiny 1 do 2<sup>1)</sup>.

Jeśli na ścianie opłomki nie tworzyła się warstewka graniczna, cząsteczki gazu mogłyby z pełną swą energią uderzać wprost w atomy materiału ścianki, wprawiać je w ruch drgający i powodować przepływ ciepła w głąb, ku wodzie. Ponieważ jednak na samej ścianie znajduje się warstewka drobiny gazu, posiadających, dzięki olbrzymiemu ciśnieniu, jakie tam panuje wskutek działania sił adhezyjnych, minimalną wprost ruchliwość, cząsteczki zewnętrzne gazu będą uderzały przede wszystkim w drobiny warstewki i dopiero za ich pośrednictwem będą ciepło przenosiły na ściankę.



Rys. 2.

Układ warstewki granicznej dookoła opłomki.

Porównując raz jeszcze rysunek 1. widzimy, że cząsteczki warstewki najwewnętrzniejszej do ruchu ciepła prawie niczem się nie przyczyniają, grają rolę bierną, pośredniczącą, nawet szkodliwą. Drobiny warstewek dalszych posiadają ruchliwość daleko większą, zamieniają swe miejsce znacznie szybciej czy to przez ruch posuwisty, czy też przez wymianę miejsca z cząsteczkami warstw zewnętrznych na drodze molekularno-kinetycznej, przez dyfuzję. Ruch ciepła jest tu znacznie żywszy.

Jeżeli powyższe rozumowania zastosujemy już nie do jednego punktu ścianki, ale do całej opłomki, otrzymamy obraz następujący (Rys. 2).

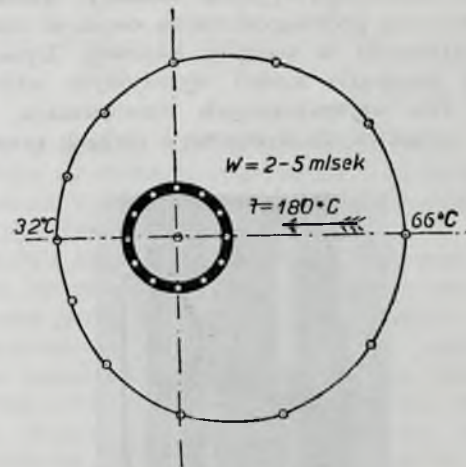
Całą rurkę otacza warstewka graniczna. Jej część najwewnętrzniejsza przylega mocno do ścianki, części dalsze płyną coraz szybciej. Poza rurką, w punkcie B—C warstewka, porwana tarciem płynącej zewnętrznej masy gazu, oddziela się od rurki i wyciąga w długi ogon, składający się z wirów.

Z modelu wyżej przedstawionego można wyciągnąć następujące wnioski.

Po pierwsze, w oddawaniu ciepła ściance bierze udział nie cała masa gazu gorącego, lecz tylko ta część, która dostała się do wnętrza warstewki granicznej. Dopływ świeżego gazu do warstewki następuje w punkcie A. (Rys. 2). Ścianka rurki styka się tutaj z gazem o najwyższej temperaturze. Drobiny, które znajdują się w wyższych punktach warstewki granicznej, oddały już swe ciepło ściance, są już coraz bardziej wypracowane, coraz chłodniejsze, ogrzewają ściankę coraz gorzej. Następuje coprawda ciągły dopływ ciepła przez dyfuzję cząsteczek warstewki zewnętrznej i masy gazu gorącego, ale tylko do punktów B—C, bo dalej opłomka jest już zupełnie otoczona najchłodniejszymi cząsteczkami ogona.

<sup>1)</sup> Według tego modelu, ruch ciepła przez czyste przewodzenie (kondukcję). Nie uwzględniamy tutaj promieniowania międzymolekularnego.

Odbiór ciepła musi więc być najsilniejszy na czołowej powierzchni opłomki, najsłabszy na tylnej. Pomiary temperatur, wykonane w r. 1923 przez Reihera w laboratorium fizyki technicznej w Monachjum, (Rys. 3) wykazują zjawisko to w całej pełni.



Rys. 3.

Rozkład temperatury na obwodzie rurki wodnej.

Zwiększyć dopływ ciepła do ścianki, to znaczy usunąć warstewkę graniczną, względnie zmniejszyć jej działanie.

Znany jest nam na to cały szereg sposobów.

1. Przez zwiększenie prędkości przepływu gazu około rurki zwiększamy też prędkość przepływu zewnętrznych części warstewki granicznej, a tem samym powiększamy też intensywność dopływu cząsteczek świeżych do czołowej powierzchni rurki.

Zjawisko wzrostu współczynnika przenikania ciepła z prędkością przepływu jest rzeczą oddawna już znaną. Współczynnik przenikania określa się od lat dwudziestu kilku już wzorami o budowie  $\alpha_1 = \infty k = a + b \sqrt{w}$ , gdzie  $w$  oznacza prędkość przepływu gazów w m/sek.

Podobnie najnowsze badania Reihera, przeprowadzone na układach wiązek rurek wodnych, wykazały wzrost współczynnika przechodzenia ciepła  $\alpha_1$ , ze wzrostem prędkości przepływu  $w$  gazu według wzoru:  $\alpha_1 = A \cdot w^n$ . przyczem  $w$  oznacza maksymalną prędkość gazu między opłomkami jednego rzędu, a współczynnik  $n$  waha się między 0,654 (dla rurek równoległych), a 0,69 (dla rurek przestawianych).

2. Dalszym sposobem jest zwiększenie stosunku powierzchni intensywnie opłukiwanej do nieczynnej części grzbietowej rurki; da się to wykonać albo przez zmianę średnicy rurki albo przez zmianę kształtu przekroju.

Tak n. p. przez zmniejszenie średnicy rurki do połowy można podnieść wartość współczynnika  $\alpha_1$  o mniej więcej 20%.

Podobnie, jeżeli nada się opłomce zamiast przekroju kołowego kształt n. p. elipsy zorjentowanej osią główną w kierunku linii prądu gazu, powiększa się efektywną część powierzchni bardzo silnie. Rurki o przekroju eliptycznym zastosowała firma *Gesellschaft für Entstaubungsanlagen. Berlin - Bochum* przy chłodnicach powietrznych do prądnic z bardzo korzystnymi wynikami.

Dokładne badania nad wpływem kształtu przekroju na ruch ciepła przeprowadziło laboratorium fizyki technicznej w Monachjum w ciągu ubiegłego roku<sup>1)</sup>.

3. Współczynnik przechodzenia ciepła rośnie w sposób wyraźny przy rurkach o powierzchni chropowatej. Jestto znowu wpływ warstewki granicznej, która nie płynie już, jak przy rurkach gładkich, spokojnie, lecz wpada na nierównościach powierzchni w drugorzędne wiry, powodując mechaniczne mieszanie się cząstek i wymianę ciepła ze ścianką.

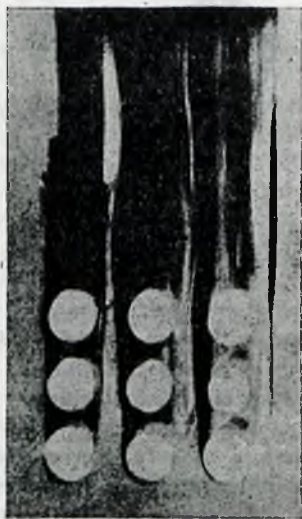
4. Bardzo ważne jest też, w jakim miejscu za opłomką rzędu pierwszego ustawi się opłomkę rzędu drugiego. — Jeżeli ustawi się ją bezpośrednio poza pierwszą wewnątrz ogona, wy-

<sup>1)</sup> Dotychczas nie publikowane.



miana ciepła będzie oczywiście słaba. Jeżeli ogon wymiesza się w pierw z gazami świeżymi, temperatura cząteczek, dotykających opłomki drugiej będzie wyższa, wymiana ciepła bardziej ożywiona.

W rozważaniach tych okazała się nadzwyczajnie cenną metoda t. zw. modeli dyfuzyjnych Thoma'y, która umożliwia naoczne traktowanie przebiegów ruchu ciepła w różnych przypadkach, spotykanych w technice kotłowej. Rysunki 4 i 5 przedstawiają fotografie modeli dyfuzyjnych układów rurek wodnych w dwu najważniejszych rozwiązaniach, mianowicie przy rurkach ustawionych szeregowo i rurkach przestawianych.



Rys. 4.

Model dyfuzyjny wiązki rurek ustawionych szeregowo.

Na rysunku 4 widać, jak warstewka graniczna oddziela się od powierzchni grzbietowej rurki pierwszego rzędu i otula zupełnie — nie mieszając się jednak z gazem świeżym — rurkę rzędu drugiego, powodując, że odbiór ciepła rurki rzędu drugiego jest o 20 do 30% mniejszy niż rurki rzędu pierwszego. Między dwoma szeregami rurek płynie zupełnie nieaktywna warstwa gorącego gazu. Poza rzędem drugim lub trzecim — zależnie od szczegółowych wymiarów wiązki — następuje już pewne mieszanie się ogona z gazem świeżym, co powoduje polepszenie przepływu ciepła.

Zupełnie inaczej przedstawia się sprawa przy układzie rurek przestawianych. (Rys. 5). Pierwszy i drugi rząd rurek znajduje się w sferze własnych, spokojnie płynących warstewek granicznych. Poza drugim rzędem następuje jednakowoż intensywne mieszanie się z gazami świeżymi, co nadzwyczajnie polepsza przepływ ciepła w rzędach następnych.

Wskazuje na to następująca tabelka porównawcza:

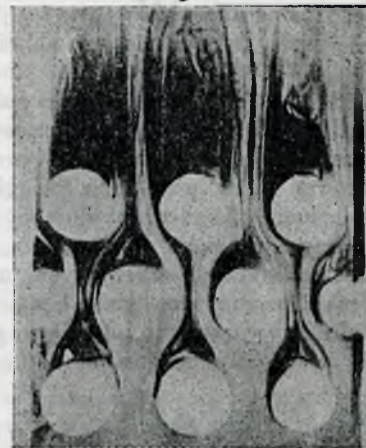
Układ rurek	Odbiera kaloryj	rurka rzędu:	I	II	III	IV	V
równoległe	100,0	76,0	91,1	96,8	95,2		
przestawiane	100,0	145,4	223,9	224,8	217,2		

Cyfry powyższe są wzięte z pomiarów Reihera. Dalsze badania nad tem zagadnieniem przeprowadza prof. Knoblauch (Inst. fizyki techn. Monachjum).

Zbierając ostatecznie wyżej podane uwagi, można powiedzieć, że, ażeby uzyskać możliwie duży przepływ ciepła z gazu na powierzchnię ogrzewaną kotła na drodze styku bezpośredniego, należy stosować się z konstrukcją do następujących zasad:

1. Używać wiązek opłomek w układzie rurek przestawianych.
2. Gazy prowadzić prostopadle do osi geometrycznej rurek.
3. Nadać gazom dosyć znaczną prędkość przepływu.
4. Dążyć do możliwego mieszania gazów, (ścianki przegrodowe).
5. Dążyć do małej średnicy rurek.

Przepływ ciepła przez styk bezpośredni jest ważny naprawdę dopiero w częściach kotła, leżących poza paleniskiem, ponieważ w rzędach pierwszych rurek występuje bez porównania silniej czynnik inny, który omówimy w rozdziale następnym — promieniowanie.



Rys. 5.

Model dyfuzyjny wiązki rurek przestawianych.

## B. Ruch ciepła na drodze pośredniej.

Jest to druga forma, w jakiej ciepło może się przenosić z jednego ciała na drugie, ale już nie przez udzielanie się drobnych jego ilości za pośrednictwem medjum trzeciego, jakim były cząteczki gazu przy formie poprzedniej, lecz zapomocą przetwarzania się ciepła w energję pośredniczącą inną, energję promieniastą.

Każde ciało, posiadające jakąś temperaturę bezwzględną  $T_1$ , wysyła w przestrzeń energję promieniastą w postaci fal elektromagnetycznych, przy temperaturach niższych jako fale cieplne, niewidoczne, przy temperaturach wyższych także częściowo jako fale widzialne.

Z drugiej strony ciało to, które wyobrażamy sobie otoczone ze wszystkich stron ciałami o temperaturze  $T_2$ , które nań promieniują, otrzymuje też pewną ilość energii zależną od temperatury tych ciał.

Energja wymieniana określa się według prawa Stefana Boltzmanna wzorem:

$$Q = C \left\{ \left[ \frac{T_1}{100} \right]^4 - \left[ \frac{T_2}{100} \right]^4 \right\} \dots (4)$$

We wzorze tym oznaczają:

$Q$  = ilość ciepła wymieniana przez promieniowanie,

$C$  = stała promieniowania, charakterystyczna dla każdego ciała,

$T_1$  = temperatura bezwzględna ciała 1,

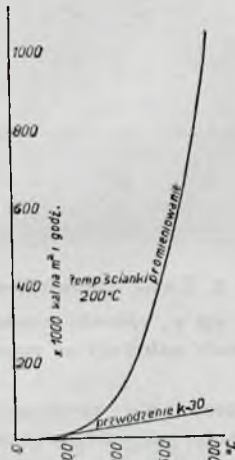
$T_2$  = temperatura bezwzględna ciała 2.

Przy pomocy powyższego wzoru, podanego tu w postaci najczystszej i najprostszej, odpowiednio przekształconego i przetransformowanego, można uchwycić zupełnie nieomal dokładnie ilości ciepła wymieniane przez promieniowanie między rusztem a ściankami, rusztem i powierzchnią ogrzewaną, oraz nakoniec między ściankami i powierzchnią ogrzewaną.

Cechą charakterystyczną promieniowania cieplnego, jak zresztą i każdego innego, jest — w odróżnieniu od przenoszenia się ciepła na drodze pośredniej — prostoliniowość rozchodzenia się fal. Wymiana ciepła rusztu z jakąkolwiek inną częścią kotła przez promieniowanie będzie możliwa, skoro część ta niczem nie będzie zasłonięta. Weźmy n. p. wiązkę rurek wodnych nad rusztem. Promieniowanie będzie z nad rusztu padało najintensywniej na pierwszy rząd rurek. Rząd drugi, który znajduje się jakby w cieniu rzędu pierwszego, odbiera tylko 15—25% promieniowania, jakie pochłania rząd pierwszy. To samo jest powodem, że promieniowanie daje się odczuć tylko na czołowej części opłomki. Część grzbietowa, znajdująca się w cieniu, jest nieczynna.



Jeśli porówna się wzory (1) i (4), widzi się, że ilość ciepła, wymieniana przez styk bezpośredni, rośnie mniej więcej proporcjonalnie do temperatury gazu, zaś wymiana ciepła przez promieniowanie rośnie aż z czwartą potęgą. Rysunek 6 przedstawia nam zależność ilości ciepła wymienianej przez przewodnictwo i konwekcję oraz przez promieniowanie. Mniej więcej do temperatury 500° C. ilości ciepła oddawane rurce na drodze pośredniej i bezpośredniej są równe. Powyżej tej temperatury ilość ciepła, oddawana przez promieniowanie wzrasta bardzo gwałtownie, dochodząc przy temperaturach 2000° C do siedemnastokrotnej wartości ciepła, oddawanego na drodze pośredniej.



Rys. 6.

Ilości ciepła, wymieniane przez przewodnictwo i promieniowanie w zależności od temperatury.

Z obu powyższych cech charakterystycznych promieniowania w stosunku do przewodzenia wynika ten tak ciekawy, wspomniany na początku niniejszego referatu, przebieg krzywej obciążenia jednostkowego kotła. Przez promieniowanie, skupione tylko na pierwszym i częściowo na drugim rzędzie opłomek, przenosi się około 20% ciepła wogóle doprowadzonego do wody. Ponieważ rząd drugi rurki odbiera tylko 25% energii, jaką bierze rząd pierwszy, na rząd pierwszy przypadnie 16, na rząd drugi tylko 4% całkowitej energii. Dochodzi do tego energia oddawana przez przewodzenie, która tu, dzięki najwyższej temperaturze gazu, posiada też maksymalną wartość. Obie energie zesumowane dają nadzwyczajnie wprost dużą cyfrę odparowania w rzędzie pierwszym opłomek, mniejszą, jakkolwiek jeszcze bardzo pokązną w drugim, jeszcze mniejszą w trzecim i t. d. aż do minimalnych wartości w rzędach ostatnich. Jako przykład podaję zupełnie nowoczesny, jakkolwiek bardzo nieekonomiczny kocioł Maasa.

Powierzchnia ogrzewana 500 m<sup>2</sup> w dwu wiązках symetrycznych, powierzchnia przegrzewacza 160 m<sup>2</sup>, powierzchnia podgrzewacza 330 m<sup>2</sup>, ciśnienie 16 atm. abs.

Rozdział ciepła w kotle jest następujący:

1. Ze 100 kaloryj w gazach spalania nad rusztem odbiera:	
wiązka pierwsza: 57,1 kal., co odpowiada	
cyfrze odpar. . . . .	65,4 kg pary
wiązka druga: 5,5 kal., co odpowiada cyfrze	
odpar. . . . .	6,36 „ „
średnia cyfra odparowania . . . . .	35,9 kg pary,
2. ze 100 kal. pobranych przez pierwszą wiązkę przypada na:	
przewodzenie i konwekcję . . . . .	37,8 kal. = 66,2%
promieniowanie . . . . .	19,3 kal. = 33,8%
razem . . . . .	57,1 kal. = 100,0%

Przyjmując dla uproszczenia rachunków, że 1. pierwszy rząd rurki odbiera 85%, drugi 15% promieniowania, 2. ilość ciepła odbierana na drodze bezpośredniej przez każdy rząd pierwszej wiązki jest taka sama, otrzymuje się następującą tabelkę cyfr obciążenia jednostkowego:

Rząd	% ciepła			kg pary na m <sup>2</sup> i godz.		
	przew.	prom.	razem	przew.	prom.	razem
1	11 03	28,70	39,73	43,3	112,7	156,0
2	11,03	5,10	16,13	43,3	20,1	63,4
3 do 6	11,03	—	11,03	43,3	—	43,3
suma % 100,0				średnio . 65,4		
				II. wiązka . 6,36		

Cyfry powyższej tabelki popierają w całej pełni rozumowania podane na stronach poprzednich i wykazują, że wpływ promieniowania w kotle jest bardzo znaczny, jakkolwiek zakres działania jego jest silnie zacieśniony.

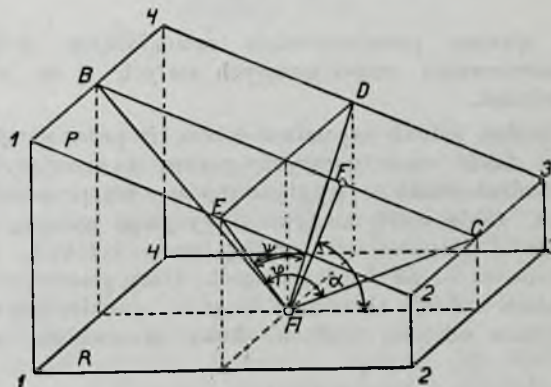
Nasuują się tutaj dwa pytania: jak należy zakonstruować kocioł, by promieniowanie wyzyskać do maximum, i jakie są praktyczne granice możliwości wykorzystania.

W odniesieniu do pytania pierwszego należy podkreślić, że źródłem wszelkiego promieniowania (ciał stałych) w kotle jest warstwa paliwa. Promieniowanie ścianek itp. jest promieniowaniem drugorzędem. Kocioł powinien wykorzystywać przede wszystkim promieniowanie warstwy paliwa, potem dopiero resztę.

Warunki, jakie kocioł musi spełniać, są według Munzingera następujące:

1. cząsteczka paliwa, znajdująca się w samym środku rusztu, (rysunek 7) promieniuje na powierzchnię P w kątach wierzchołkowych  $\varphi$  i  $\psi$ . Im kąty te będą większe, tem większą część promieniowania całkowitego cząsteczki, które występuje w półkuli ( $\varphi = \psi = 180^\circ$ ), padnie na powierzchnię ogrzewaną. Iloczyn  $\varphi\psi$ , zwany stałą geometryczną promieniowania kotła, powinien być jak największy. Waha on między 0,5 a 2.

2. Jak wiadomo z teorii promieniowania, intensywność promieniowania maleje z kwadratem odległości. Aby promieniowanie było jak największe, powinna być odległość opłomek od powierzchni rusztu obrona możliwie mała. Na rysunku 7, prosta, wykreślona przez środkowy punkt rusztu prostopadle do osi opłomki powinna być możliwie krótka. Nie może na tem naturalnie cierpieć spalanie.



Rys. 7.

3. Znaną też rzeczą jest, że intensywność promieniowania maleje nie tylko z odległością, ale i z kątem nachylenia powierzchni naświetlanej do powierzchni promieniującej. Największa jest ona, skoro obie powierzchnie są równoległe. Kąt jaki zawiera prosta 2 z powierzchnią rusztu R i powierzchnią ogrzewaną P, powinny być w miarę możliwości kątami prostymi, czyli, innymi słowy, opłomki powinny być prowadzone równoległe do powierzchni rusztu.

Prócz płonącej warstwy paliwa promieniuują także gorące ścianki paleniska i ścianki przegrodowe. Temperatura ich jest niższa, niż temperatura warstwy paliwa, ale znacznie bądź co bądź wyższa od temperatury opłomek. Przez ustawienie odpowiednich powierzchni promieniujących można promieniowanie rusztu skierować w głąb kotła. Uważać jednak należy, by

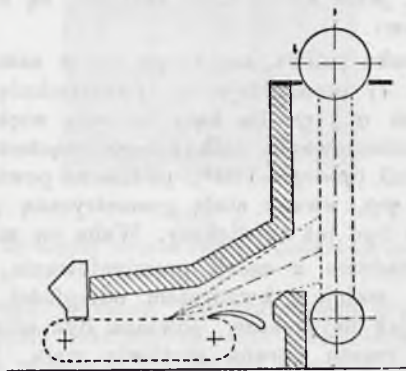


ścianki nie przeszkadzały promieniowaniu bezpośredniemu rusztu, by promieniowały jedynie drugorzędnie.

Z punktu poprzedniego wynikałoby, że promieniowanie warstwy paliwa należy wykorzystać do ostatnich granic. Niezawsze jest to jednak możliwe. Należy sobie zdawać sprawę, że promieniowanie odbywa się na koszt ciepła wytworzonego przez spalenie i to w ten sposób, że mniej więcej  $\frac{1}{3}$  część ciepła wytworzonego uchodzi przez promieniowanie. Ponieważ ciepło wytworzone przez spalenie objawia się podwyższeniem temperatury paliwa i spalin, ubytek ciepła objawia się jako obniżenie temperatury. Obniżenie to przy cienkiej warstwie i złym paliwie (np. węgla brunatnym) może być tak znaczne, że spalenie ustaje. Część promieniowania rusztu skierowuje się też w miejsce dopływu węgla na ruszt, celem umożliwienia zapalenia się go przy pomocy t. zw. sklepień promieniujących, które osłaniają tym większą część rusztu, im gorsze jest paliwo.

Promieniowanie może być bez szkody dla spalania odbierane w całej pełni tylko tam, gdzie chodzi nam o umyślne obniżenie temperatury paleniska, czy to ze względu na ruszt, czy też omurowanie, t. zn. przy kotłach o wysokiej wydajności i przy bardzo dobrym paliwie.

Rysunki 8 i 9 przedstawiają nam najcharakterystyczniejsze ze względu na promieniowanie typy kotłów.



Rys. 8. Kocioł Küstnera.

Ruszt zasłonięty, mały kąt  $\varphi$ , duża odległość optymek od rusztu, silne nachylenie optymek.

Pod słowem promieniowanie rozumieliśmy dotychczas tylko promieniowanie części gorących stałych t. zn. warstwy paliwa i ścianek.

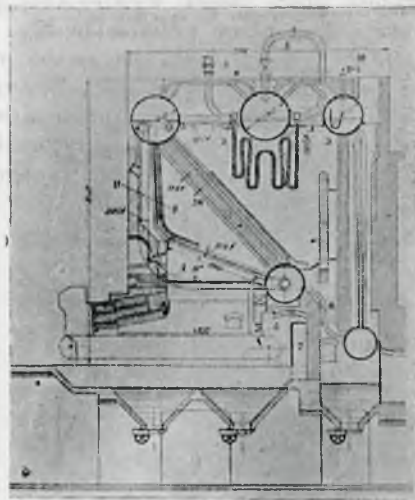
Nie można jednak zapominać o tem, że prócz powyższych, promieniuje także masa gorących gazów, zawierających  $CO_2$  i  $H_2O$ . Promieniowanie to wygląda inaczej, niż promieniowanie ciał stałych. Ciała stałe mianowicie wysyłają energię promienistą w każdej długości fali, od fal bardzo krótkich, poprzez fale widzialne aż do fal bardzo długich. Gazy promieniuują natomiast w falach o ściśle określonej długości, promieniuują linjowo, w rozróżnieniu od ciał stałych, które promieniuują widmem ciągłym.

Ogólnie można powiedzieć o promieniowaniu gazów:

1. Promieniują (cieplnie) tylko bezwodnik węglowy  $CO_2$  i para wodna  $H_2O$ , pierwszy nieco silniej, niż druga.
2. Promieniowanie gazu jest tem silniejsze, im wyższa jest jego temperatura, im grubsza warstwa promieniuje, im większy jest procent pary wodnej i bezwodnika.
3. Promieniowanie gazu wynosi w najlepszym wypadku 7—10% promieniowania ciała stałego (warstwy paliwa) od tej samej temperatury.

Promieniowanie gazów jest mniej ważne przy kotłach, gdzie albo masy gazu są niewielkie (np. w kotle z rurkami ogniowymi lub wewnątrz wiązki optymek kotła wodnorurkowego) albo też temperatura gazu jest już dość niska, co ma miejsce już za pierwszym ciągiem. Silniejsze promieniowanie występuje w samej komorze paleniskowej, gdzie jednak promieniowanie gazu wobec promieniowania warstwy paliwa jest prawie bez znaczenia.

W każdym razie korzystnym jest powolne prowadzenie gazów w pierwszym ciągu, by przez zdłużenie czasu promieniowania zwiększyć ilość energii, oddawanej na optymki.



Rys. 9. Kocioł Steinmüllera.

Ruszt otwarty, duży kąt  $\varphi$ , optymki prowadzone równolegle i w małej odległości od rusztu.

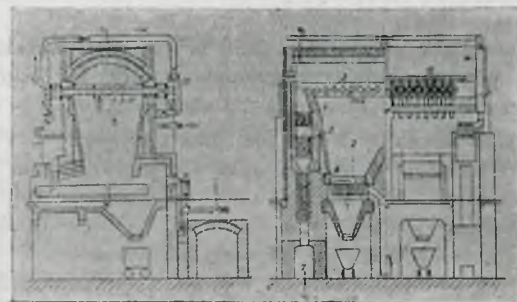
Dominujące znaczenie ma promieniowanie gazów tam, gdzie ogrzewanie następuje samym gorącym gazem i zapomocą wtórnych powierzchni promieniujących, t. zn. w piecach technologicznych, rekuperatorach itd. co jednak nie wchodzi w zakres powyższego referatu.

Ciekawym zastosowaniem praktycznym wykorzystania promieniowania paleniska jest amerykański przegrzewacz *RHA*. Jest to przegrzewacz, składający się z rur żelaznych, ktych, umieszczonych w dawniejszych wykonaniach, w nowszych wewnątrz omurowania paleniska.

Promieniowanie rusztu i gazów wystarcza do wysokiego, a równocześnie bardzo jednostajnego przegrzania pary.

Zbierając teraz uwagi, rozrzucone po całym referacie można ustalić następujące wytyczne budowy kotłów o wysokiej wydajności według wymogów racjonalnego wykorzystania ruchu ciepła:

1. Możliwe przesunięcie powierzchni ogrzewanej ku palenisku, celem wykorzystania bezpośredniego promieniowania warstwy paliwa. W bardzo ładny sposób została zasada ta zużytkowana w nowszych kotłach amerykańskich, gdzie jedną ściankę



Rys. 10. Kocioł Atmos.

paleniska tworzy przegrzewacz *RHA*, a trzy inne są utworzone przez wyłożenie rurkami wodnymi, przez które krąży woda z górnych walczaków. W pustakach szamotowych, tworzących dno paleniska, podgrzewa się powietrze do spalania.

2. Używanie odpowiednich ścian przedziałowych jako wtórnych powierzchni promieniujących.

3. Powolne prowadzenie gazów w pierwszych rzędach rurek dla wykorzystania promieniowania gazów, i co z tem się łączy



4. utrzymanie większych odstępów między rurkami pierwszych rzędów, celem polepszenia promieniowania i niezaprędkiego mieszania warstwek granicznych.

5. Coraz szybsze prowadzenie gazów w dalszym ciągu z zachowaniem uwag podanych na str. 81.

Bardzo ładne zastosowanie znalazły powyższe zasady w szwedzkim kotle Atmos, dokładnie opisanym w literaturze lat ostatnich. (Rys. 10).

Kocioł na parę przegrzaną o ciśnieniu 100,5 atm. Dane konstrukcyjne i ciepłe następujące:

Powierzchnia ogrzewana	13 m <sup>2</sup> ,	odbiera ciepła	42,6%
Przegrzewacz	8,45 „	„	11,0 „
Pogrzewacz	191 „	„	46,4 „
Ilość rotorów	6.		

Średnia cyfra odparowania 227 kg pary na m<sup>2</sup> i godz.

Rzeczą, rzucającą się od razu w oczy, jest nadzwyczajnie wprost skrócenie powierzchni ogrzewanej. Wszystkie rotory

znajdują się w pierwszym ciągu, są otoczone gazami o najwyższej temperaturze, co daje się odczuć na ogromnej cyfrze odparowania 227 kg pary.

Wysoka liczba obrotów rotorów doprowadza do zerwania warstewki granicznej, co powoduje dużą wartość współczynnika przenikania ciepła  $k$  na drodze bezpośredniej = 36 kal na m<sup>2</sup> °C godz. (79,4 kg pary na m<sup>2</sup> i godz.).

Również i promieniowanie rusztu jest bardzo ładnie uzyskane. Rotory są ustawione nad rusztem poziomo, równolegle do rusztu, kąt  $\alpha$  (rys. 7) wynosi 90°, odległość rurek od rusztu tak mała, jak tylko pozwoliły warunki spalania.

Promieniowanie ścianek jest przez pochyłe ustawienie ich skierowane na rotory. Ścianka jest grzana z obu stron.

Prędkość gazów wewnątrz komory spalinowej niewielka, wzrasta w przegrzewaczu i podgrzewaczu coraz bardziej, zgodnie zresztą z w powyższym referacie wyłuszczonego zasadami.

Prof. Roman Witkiewicz.

## Elastyczność kotła a ciepłarki.

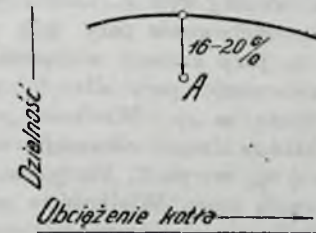
### Wstęp.

Problem, podany w nagłówku niniejszego referatu, stał się aktualny dopiero od kilku lat, t. j. od czasu pojawienia się ciepłarek<sup>1)</sup>. Od samego początku rzecz prawie, że nie była dotychczas krytycznie i liczbowo ujęta, bo fabrykanci ciepłarek reklamują je jako idealny środek na wszystkie trudności ruchu, firmy zaś konkurencyjne, (którym nie udało się nabyć licencji), jako główny zarzut podnoszą przerażające wprost wymiary, stąd wielkie koszty tychże niewspółmierne do osiągniętych korzyści, wreszcie kierownicy ruchu przeważnie uważają wahnięcia ciśnienia w kotle za rzecz naturalną, wprost nieuniknioną. W rezultacie: zdarza się, że elektrownia, nie potrzebująca prawie zupełnie ciepłarki, jednak pragnąca iść z postępem czasu, ustawia ją u siebie, a naodwrot inny zakład, zahypnotyzowany wielkością kilku ustawionych i przedewszystkiem reklamowanych ciepłarek, nie chce o nich nic słyszeć i dalej chroma, chociaż mała ciepłarka o pojemności kilkudziesięciu, a nawet kilkunastu m<sup>3</sup> byłaby prawdziwym balsamem dla kotłowni zakładu.

Niniejsza próba krytycznego ujęcia zagadnienia dąży przedewszystkiem do liczbowego określenia t. zw. elastyczności. Rozumiemy przez to zdolność kotła do szybkiej zmiany obciążenia, bez potrzeby daleko sięgających poczyniń w jego obsłudze, więc procentową ilość akumulowanej energii (powierzchni przeciążenia) w stosunku do godzinnej produkcji pary lub momentalnie produkowaną nadwyżkę energii (rzędną przeciążenia) w stosunku do średniego obciążenia. W technice silnikowej tak pojęta elastyczność gra mniejszą rolę: prawie każdy motor w ciągu kilkunastu sekund może zmieniać obciążenie z luzu na bieg normalny, lub odwrotnie. Regulator jest tam inteligentnym indywiduum, momentalnie reagującym na zmianę obciążenia, które czuwa nad stałością i bezpieczeństwem ruchu. W ruchu kotłowym obowiązek ten spada na palacza, na którego obronę trzeba powiedzieć, że często żąda się od niego rzeczy prawie niemożliwych. „Regulowanie“<sup>2)</sup> odbywa się znacznie wolniej i jest zawsze nieekonomiczne<sup>3)</sup> — najskrajniejszą

zmianą jest puszczenie nowego, dodatkowego kotła w ruch lub jego odstawianie.

Na elastyczność patrzymy więc pod kątem ekonomji. Jakkolwiek dzielność większości kotłów zmienia się z obciążeniem bardzo mało, to odnosi się to tylko do obciążeń, chociaż różnych, ale przez czas badania stałych. Jeżeli jednak obciążenie waha około jakiegoś średniego położenia, to średnia dzielność kotła spada, n. p. pkt. A w rys. 1. Prof. Josse (*Archiv für Warmewirtschaft*, 1921, nr. 11) stwierdził przy kotle 230 m<sup>2</sup>



Rys. 1.

p. o., że mimo awizowania zmian obciążenia i wyjątkowo sta-rannej obsługi spadała dzielność kotła o 16% (= 83—67). Obciążenie wahało w granicach 3—10 tonn pary godz., CO<sub>2</sub> od 3 do 10% zamiast 11—13%, które otrzymywał przy sta-łym obciążeniu 9 tonn pary/godz. Przy przeciętnej obsłudze, poza expertyzą, można przyjąć, iż dzielność kotła obniżyłaby się o 20% i więcej. Jest to strata, dorównująca wielkością nadwyżkom strat kominowych, które mogą być przy kontroli ruchu łatwo usunięte, a przeciw którym, jak wiadomo, akcja cieplna rozpoczęła przedewszystkiem swoją krucjatę w dziedzi- nie polepszenia palenia.

Dla kierownika kotłowni od ekonomicznych strat przy-krzejsze są trudności ruchu, wynikające właśnie z za małej ela- styczności zespołu, przewodzącego energję od paleniska przez część wodną kotła oraz silnik parowy z motorem elektrycznym do sieci elektrycznej. Każdą wymienioną powyżej część zespołu (pomijając mnóstwo mniejszych), można sobie wyobrazić jako sprężynę o innej charakterystyce względnie jako zbiornik, o pewnym przepływie, ale i zużywaniu energii. Są one ze sobą szeregowo połączone. Połączenie to jest albo automatyczne, np. część wodna kotła — silnik, albo przez obsługę podtrzymywane, np. palenisko — część wodna kotła. Jeżeli sekundowy przepływ energii wzrośnie, to po kolei cały układ się napina, przyczem każdy akumulator wchłania lub oddaje część energii. Drobne wahnięcia obciążenia silnika mogą zupełnie nie dochodzić do wiadomości paleniska. Zbyt wielkie natomiast mogą burzyć jego równowagę w sposób niemożliwy do opanowania przez palacza.

<sup>1)</sup> Nazwa ciepłarek, określająca akumulatory pary, może być sporna. Prof. Stefanowski w podręczniku „Gospodarka cieplna“ używa nazwy „zasobnica pary“. Na kursach cieplnych we Lwowie utarło się słowo „ciepłarka“.

<sup>2)</sup> W Ameryce, a także częściowo w Niemczech i w Czechach, zaczyna się używać automatyczne regulatory, dostosowujące palenie do zapotrzebowania pary. Konstrukcje te, zastępujące zupełnie palacza, nie zawsze jednak są celowo ekonomiczne.

<sup>3)</sup> Przyczyny zwiększonych strat przy zmiennym ruchu są naogół znane. Zmiany w paleniu są powodem, że przejściowo albo spalanie jest niezupełne i węgiel niespalony spada z żużłem, albo niezakryta końcowa część rusztu zwiększa stratę kominową. Zmiany zaś ciśnienia pary prowadzą albo do dmuchania wentyli bez- pieczeństwa albo zwiększają zużycie pary na jednostkę mocy.



Jeżeli mimo zmienne obciążenie stawia się wymagania większej stałości (i bezpieczeństwa) ruchu lub wahnienia są specjalnie duże a elastyczność własna kotła względnie istniejącego zespołu parowego na to nie wystarcza, to trzeba ją sztucznie zwiększyć przez dodanie względnie włączenie jeszcze jednego odpowiednio dużego akumulatora — cieplarki. Rolę tych akumulatorów trzeba po kolei rozpatrzyć. Omówię w części I-ej elastyczność zespołu parowego bez cieplarek, w części II-ej elastyczność i zastosowanie cieplarek. W ten sposób zbierzemy odpowiedzi na najważniejsze dwa pytania: 1. kiedy bez cieplarki można się obejść, 2. kiedy cieplarka ma wszelkie dane rentowności.

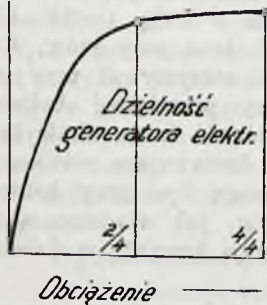
## I.

## A. Wpływ charakterystyk generatora elektrycznego i silnika parowego na zużycie pary.

Ponieważ agregat silnikowy nie przedstawia prawie żadnego akumulatora energii, t. j. żadnej elastyczności w omawianym sensie, więc idzie tu jedynie o stwierdzenie, czy pewnym zmianom obciążenia odpowiadają proporcjonalne zmiany zapotrzebowania pary, względnie o ile są one zmieniane.

Generator elektryczny zmienia swoją dzielność z obciążeniem. Jeżeli np.  $\eta_{el}$  przy zmianie obciążenia od  $\frac{1}{2}$  do  $\frac{4}{4}$  wzrastałoby z 90 na 95%, fig. 2, to przy zmianie obciążenia (KW) o 10% obciążenia normalnego zapotrzebowanie pary byłoby o 1% mniejsze, niżby wypadało z proporcjonalnej superpozycji. Często jednak krzywa dzielności nie zmienia się lub nawet opada przy zmianie obciążenia od  $\frac{2}{4}$ — $\frac{4}{4}$ , nadto rodzaj przeciążenia może zmieniać  $\cos \varphi$  — tak, że wpływ charakterystyki prądniczy na zużycie pary trzeba przyjąć +1%, tem samym wobec ogólnego ujęcia można go dalej nie uwzględniać.

Turbina parowa zmienia całkowite zużycie pary w zależności od obciążenia według rys. 3. Jeżeli wielkość „a” jest równa zeru, to zapotrzebowanie pary jest proporcjonalne do mocy. Jeżeli  $a > 0$ , to przy zmianie obciążenia z  $\frac{2}{4}$  na  $\frac{4}{4}$  proporcjonalne zapotrzebowanie pary dla  $\frac{4}{4}$  wynosiłoby  $m-n$ , faktycznie jest mniejsze,  $m-p$ . Wielkość „a” jest wprawdzie nie pożądana z punktu widzenia ekonomii ruchu, ale podobnie, jak przebieg krzywej  $\eta_{el}$  w rys. 2, korzystna z punktu widzenia stałości zapotrzebowania pary. Wielkość ta zależy od typu turbiny i regulacji. Według prof. Chrzanowskiego (Turbiny parowe



Rys. 2.



Rys. 3.

1923) przy regulacji jakościowej zapotrzebowanie pary na KM wzrasta przy zmniejszającym się obciążeniu stosunkowo nieznacznie, zwłaszcza w turbinach posiadających małą prędkość obwodową. Przy  $\frac{3}{4}$  obciążenia normalnego jest ono o 2—8%, a przy połowie obciążenia o 7—20% większe, niż przy normalnym, czyli „a” = 7—20%. Ponieważ przy ilościowej regulacji często jeden z wentyli przymykających jest w połowie otwarty i pary dopływające mają różne ciśnienia, dlatego omawiane zużycie jest tylko nieznacznie mniejsze, niż przy regulacji jakościowej. Dla regulacji kombinowanej można przyjąć  $a = 5-11\%$ . U małych jednostek jest „a” znacznie większe, np. 30%.

Rys. 3 jest dla analogji z rys. 2 uzupełniony linią  $\frac{N}{D}$ ,

t. j. pewnem „skróconem” pojęciem dzielności turbiny ( $\eta = \frac{N \cdot 859}{D \cdot i}$ ), przyczem  $N$  — oznacza moc,  $D$  — zużycie pary.

Odnosząc obecnie zmianę 10% nie do normalnego, ale do chwilowego obciążenia, należy przyjmować dla niej zmianę zużycia pary mniejszą o  $\frac{a}{10}$ , t. j. o 1—2% (reg. jakości.), względnie o 0,5—1% (reg. komb.) — więc średnio o 1—2%, — niżby wypadało z proporcjonalnego stosunku  $\frac{D}{N}$ . Analogiczne liczby można przyjąć dla maszyn parowych tłokowych: przy parze nasyconej 1—2%, przy parze przegrzanej 1%.

Powyższe zmiany w zapotrzebowaniu pary zachodziłyby, gdyby jej ciśnienie i przegrzanie, również przeciwiśnienie w kondensatorze nie zmieniały się przy wahnieniach obciążenia; ale tak nie jest, o ile zakładamy, że palenie jest stałe, a dopływ wody kondensacyjnej bez zmiany. Jeżeli pominiemy wpływ na maksymalnie osiągnany skutek, to w każdym razie spadek ciśnienia pary o 10% (w granicach 10—20 atm) zmniejsza rozporządzalny spadek ciepła przy parze przegrzanej do 300° przeciętnie o 2%, (dla przeciwiśnienia 0,15 nieco więcej, dla 0,05 atm nieco mniej), i o tyleż musi wzrosć zużycie pary<sup>1)</sup>. Gorsze są spadki temperatury, wywołane przepływem większej ilości pary przez przegrzewacz, ogrzewany bez zmiany. Przeciętnie zwiększenie o 10% odbioru pary obniży jej przegrzanie o  $\frac{1}{10}$ , t. j. 10—15°C, a, że  $-\Delta t = 8-9^\circ\text{C}$  powoduje obniżenie spadku ciepła o 1%, więc w turbinie wzrośnie zużycie pary na KM o 1,5—2%. Można pozostać przy większej liczbie, t. j. 2%, gdyż inni na podstawie doświadczeń przyjmują, iż już  $-\Delta t = 6^\circ\text{C}$  zwiększa zużycie o 1%. W silniku tłokowym mogą jednak straty ciepła do ściany cylindra wzrosć znacznie ponad 2%, jeżeli para była normalnie niewysoko przegrzana. W kondensatorze zwiększony o 10% dopływ pary odlotowej podwyższy temperaturę jego o około  $\frac{1}{10}$  normalnego podgrzewania się wody kondensacyjnej, t. j. o 1—2°C. Ponieważ  $-\Delta t = 2,5^\circ\text{C}$  pogarsza próżnię o około 1%, a ten zwiększa zużycie pary w turbinie o 1,5—2,5%, więc — przyjmowany dla porównania stale ten sam — wzrost mocy o 10% zwiększy dodatkowo zużycie pary o 1%.

W rezultacie przy zmianie (odniesionej do chwilowego obciążenia) mocy elektrycznej o 10% zmiany dzielności generatora i turbiny, przegrzania oraz przeciwiśnienia prawie się znoszą i zużycie pary może być proporcjonalne do obciążenia (KW). Jeżeli jednak i ciśnienie pary przy dłuższym trwającym przeciążeniu zacznie spadać, wówczas zapotrzebowanie pary rośnie szybciej, niż zmiana mocy, mniej więcej o 2% na każdy 10% spadku ciśnienia. Powyższe rozumowanie opiera się na szeregu teoretycznych przyjęć, gdyż dostatecznych pomiarów w tym kierunku jeszcze nie było. W większej elektrowni są one prawie niemożliwe, gdyż albo nie można utrzymać jednostajnego palenia i zasilania, albo niema potrzebnych, kosztownych mierników. Jeżeli zaś kilka kotłów pracuje na jeden rurociąg, to ich obciążenia wahają w dosyć dużych granicach, gdyż tak, jak przy maszynach elektrycznych synchronizowanych rozstrzyga napięcie, która maszyna „ciągnie”, podobnie i przy kotłach nadwyżka ciśnienia pary w kotle nad ciśnieniem w zbiorczym rurociągu decyduje, który kocioł w danej chwili forsuje.

## B. Elastyczność kotła.

Dla dalszego rozważania (wypadek 1 i 2) przyjmujemy na razie, że palenie odbywa się w stałych warunkach, nie

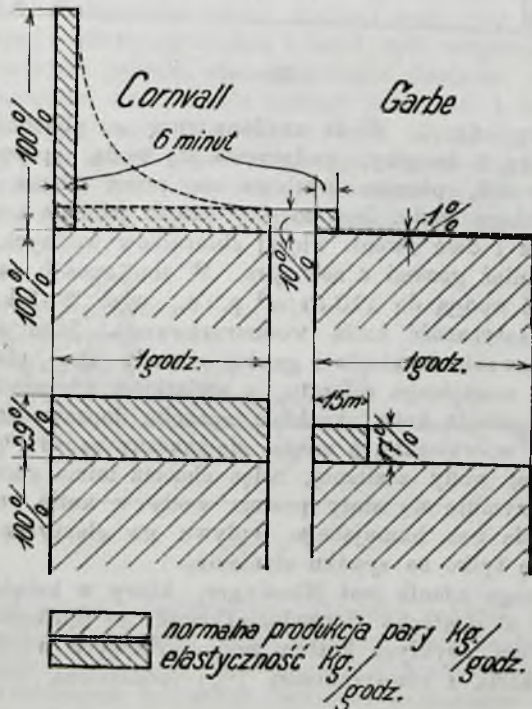
<sup>1)</sup> Prof. Josse (Neue Kraftanlagen — 1911) przeliczał teoretycznie, że dla turbiny wzrost ciśnienia o 1 atm w pobliżu 12 atm dawał o 1% większą moc. Bergmann (Feuerungstechnik — 1924 nr. 11, 12) przyjmuje błędnie o 5% zwiększone zużycie pary na każde obniżenie ciśnienia o 1 atm. Ponieważ równocześnie oblicza on elastyczność kotła przy  $\Delta p = 1 \text{ atm}$  na 2% dla kotła wodnorurkowego, więc ruch taki miałby wogóle przy najmniejszym wahnieniu obciążenia niestałą równowagę.



zmieniamy więc ani ciągu, ani grubości warstwy paliwa na ruszcie, ani ewentualnie jego prędkości posuwania się.

1. Jeżeli jeszcze i zasilanie wodą będzie bez zmiany, to kocioł taki — niejako pozostawiony sam sobie, co najczęściej ma miejsce — reaguje na zmianę zapotrzebowania (odpływu) pary przez zmianę jej ciśnienia. Fizykalnie tłumaczy się to w ten sposób, iż np. z obniżeniem ciśnienia obniża się temperatura wrzenia, co wywołuje pewien nadmiar ciepła płynności, który zużywa się na odparowanie dalszej części wody. (Przy wypływie np. gorącej wody z pod kurka wodowskazowego część jej momentalnie paruje). Nadmiar pary powoduje analogicznie wzrost ciśnienia. Liczbowo  $V \cdot \Delta q = r \cdot \Delta D$ , gdzie  $V$  = (wrząca) pojemność wodna kotła,  $\Delta q$  = spadek ciepła płynności =  $q_1 - q_2$ , odpowiadający pewnemu spadkowi ciśnienia  $\Delta p$ ,  $r$  = średnie ciepło lotności,  $\Delta D$  = ilość pary, wyprodukowanej w ten sposób.  $H$  — poniżej — oznacza powierzchnię ogrzewalną kotła. W tabeli zestawiono dwa liczbowe przykłady: dla kotła z rurą płomienną (Cornwall) i kotła wodnorurkowego (Babcock lub Garbe). Obliczono w niej procentowy wzrost produkcji pary, wynikający z 10% -wego spadku ciśnienia, który obecnie dla ciśnień 10 — 25 atm uważa się za jeszcze dopuszczalny.

		„Cornwall“	„Babcock“
Pojemność wodna kotła, przypadająca na 1 m <sup>2</sup> pow. ogrz., $\frac{V}{H}$ , ltr/m <sup>2</sup>		225	90
Normalne ciśnienie pary, . . . . . atm		10	20
Spadek ciśnienia, (przyjęty), . . . . . "		1	2
Ubytek ciepła płynności, $\Delta q$ , . . . . . kal/kg		4,5	5,3
Ciepło lotności, $r$ , . . . . . "		484	458
Przyrost produkcji pary, $\frac{V}{H} \cdot \frac{\Delta q}{r}$ , kg/m <sup>2</sup>		2,09	1,04
Normalna produkcja pary, $\frac{D}{H}$ , "		17,5	35
Elastyczność kotła, 100. $\frac{V}{H} \cdot \frac{\Delta q}{r} \cdot \frac{H}{D}$ , %		12	3
Zwiększone zużycie pary w maszynie skutkiem spadku ciśnienia, " (przy $\Delta p = 10\%$ ), "		2	2
Elastyczność obciążenia, "		10	1



Rys. 4 (górnny).

Rys. 5 (dolny).

Końcowe liczby powyższej tabeli mogą, wobec pewnych zaokrąglających dla przejrzystości przyjęć, od wypadku do wypadku nieco się zmieniać, ale ich stosunek 3 wobec 12%,

względnie 1 wobec 10%, jest charakterystyczny przy porównywaniu obu typów na punkcie elastyczności kotła względnie ruchu. Liczby te odnoszą się do jednogodzinnej całkowitej produkcji pary. Można jednak tę dodatkową ilość pary  $\Delta D$  wyprodukować w czasie dowolnie krótszym, z końcem którego ciśnienie obniży się więc o 10%, np. można „Cornwalla“ przeciążyć o 100% przez 6 minut, w tym samym czasie „Babcocka“ tylko o 10%, rys. 4. Wielka elastyczność kotła z rurą płomienną — u którego przeciążenie o 10% obniży dopiero po godzinie ciśnienie pary o 1 atm — ma swoją podstawę we wielkiej jednostkowej pojemności wodnej  $\frac{V}{H}$  i w mniejszym stosunkowo obciążeniu na m<sup>2</sup> p. o. W przeciwieństwie do tego „spokojnego“ ruchu znana jest, przy nieco fluktuującym obciążeniu, „nerwowa“ obsługa kotłów wodnorurkowych i potrzeba ciągłego obserwowania manometrów. Kotły te są jednak tańsze, ekonomiczniejsze i szybsze do uruchomienia, więc elastyczniejsze jako jednostki w większej kotłowni — stąd tak ich znaczny rozrost w ostatnich dwu dziesiątkach lat.

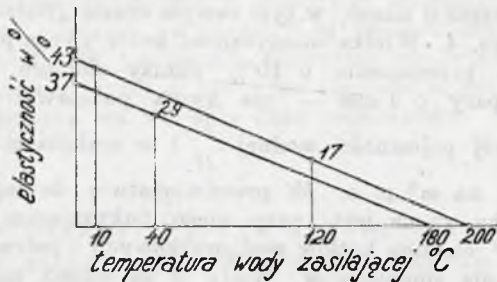
Jednostkowej pojemności wodnej 90 ltr/m<sup>2</sup> p. o. nie należy uważać za skrajnie niekorzystne przyjęcie, gdyż niemieckie kotły wodnorurkowe o rurkach pionowych buduje się dla  $\frac{V}{H} = 50 - 90$  ltr/m<sup>2</sup>, typy okrętowe dla 35 — 40 ltr/m<sup>2</sup>, a Amerykanie schodzą do 35, nawet 20 ltr/m<sup>2</sup> p. o. Dlatego przy zmiennym obciążeniu tak chętnie zwiększa się ilość kotłów w ruchu, chociaż ich słabe średnie obciążenie mocno obniża ogólną dzielność kotłowni. Również kotły na wysokie ciśnienia mają małą pojemność wodną i są mocno nieelastyczne. N. p. „Borsig“ na 60 atm. ma mieć tylko 2%, a „Babcock“ na 84 atm. tylko 1/2% elastyczności „kotłowej“ — elastyczność odniesiona do mocy jest znacznie mniejsza. Inż. Münzinger („Höchstdruckdampf“ — Springer 1924) oblicza, że kotły wodnorurkowe pionowe muszą przy 100 atm. normalnego ciśnienia dopuszczać spadek 10 atm., aby mieć tę samą elastyczność (3%), co kotły na 15 atm. normalnego ciśnienia przy spadku 2 atm. Kotły sekcyjne mają o połowę mniejszą elastyczność. Z porównania szeregu wykresów obciążeń różnych zakładów wnioskuje Münzinger, że elastyczność 3% może pokrywać przez 5 minut normalne przeciążenia, nawet elektrowni kolejowych, co powinno wystarczyć palaczowi, aby zmianę obciążenia zauważył i odpowiednio palenie zmienił. W zasadzie jednak lepiej dostawiać ciepłarki, gdyż znaczny spadek ciśnienia i związane z tem szybkie odparowanie obniża poziom wody i może obnażyć części blach ogniowych lub przerwać hydraulicznie obieg wody. Również obfite powstawanie pary w rurach dla wody opadającej (łączącej n. p. tylne walczaki) może zahamować jej cyrkulację, gdyż nie będzie dostatecznej różnicy ciężarów słupów wody. Wreszcie opór rurociągu rośnie z kwadratem prędkości n. p. z 4 na 16 atm., co dalej obniża osiągalne, maksymalne obciążenie i ekonomję.

2. Drugie źródło elastyczności (ciągle jeszcze przy przyjęciu stałości palenia), co prawda już nie samoczynne, ale często stosowane przez palacza — polega na zmianie zasilania kotła wodą. Normalnie ciepło, którego dopływ do części wodnej kotła przyjęliśmy jako stały, zużywa się w mniejszej części na podgrzanie wody z temperatury zasilania do temperatury wrzenia, a w znacznie większej części na właściwe odparowanie, czyli  $Q = (q_2 - q_1) + r_1$ . Jeżeli więc wyłączymy na jakiś czas zasilanie, to część ciepła zużywana poprzednio na podgrzewanie wody spowoduje momentalne dodatkowe odparowanie

wody, procentowo  $100 \frac{q_2 - q_1}{r}$ . Odwrotnie, jeżeli ciśnienie pary wskutek zmniejszonego jej zapotrzebowania (odpływu) rośnie, to forsowniejsze zasilanie hamuje wzrost ciśnienia. W obu razach można tak postępować tylko w granicach dopuszczalnej zmiany poziomu wody w kotle, widzialnych jeszcze w wodowskazie. Długość więc rurki wodowskazowej decyduje o czasie, przez jaki można się obejść bez zasilania. Przy bardzo energicznym „zalewaniu“ kotła można natomiast skutkiem obniżenia średniej temperatury wody w kotle związać znacznie większe

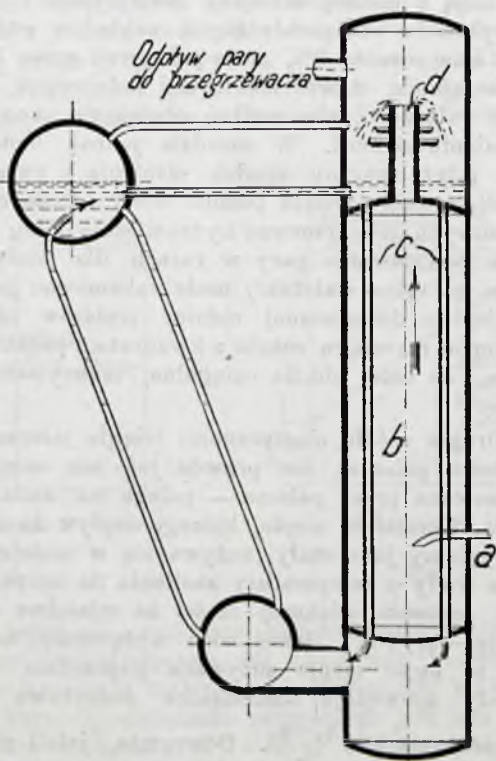


ilości ciepła n. p. do 50—80%, niż to określa wartość  $(q_1 - q_2)$ . Odmienne (ale tylko liczbowo) zachowanie się ruchu kotła przy wyłączeniu zasilania, jak przy forsownem „zalewaniu” tłumaczy rys. 22a. Wartości  $100 \frac{q_2 - q_1}{r}$  dla warunków ruchu „Cornwalla”



Rys. 6.

i „Babcocka” przedstawia wykreslinie rys. 6. Im wyższa jest temperatura wody zasilanej, tem mniejszy jest w czasie wyłączenia zasilania wzrost produkcji pary, t. j. elastyczność kotła. Jeżeli przyjmujemy, że przy „Cornwallu” temperatura wody (podgrzewanej kondensatem z rurociągów lub parą odlotową z pompy zasilającej) wynosi około 40° C, a przy kotle wodnorurkowym dzięki ekonomizerowi około 120° C, to elastyczność (dodatnia) pierwszego kotła będzie około 29%, drugiego około 17%. Elastyczność ruchu (dodatnia) będzie nieco mniejsza, gdyż para chociaż o tem samym ciśnieniu, będzie mniej przegrzana tak, że zużycie jej na KW/godz. jest większe. Jeszcze trzeba odpowiedzieć na pytanie, jak długo można obejść się bez zasilania w obu omawianych typach kotłów. Otóż przy przyjęciu 100 mm jako dopuszczalnego obniżenia się poziomu wody wykazują przeliczenia kilkunastu wykonawców: dla „Cornwalla” czas 50—60 minut, dla wodnorurkowego 10—15 minut. Obrazowo uwidocznia to rys. 5.



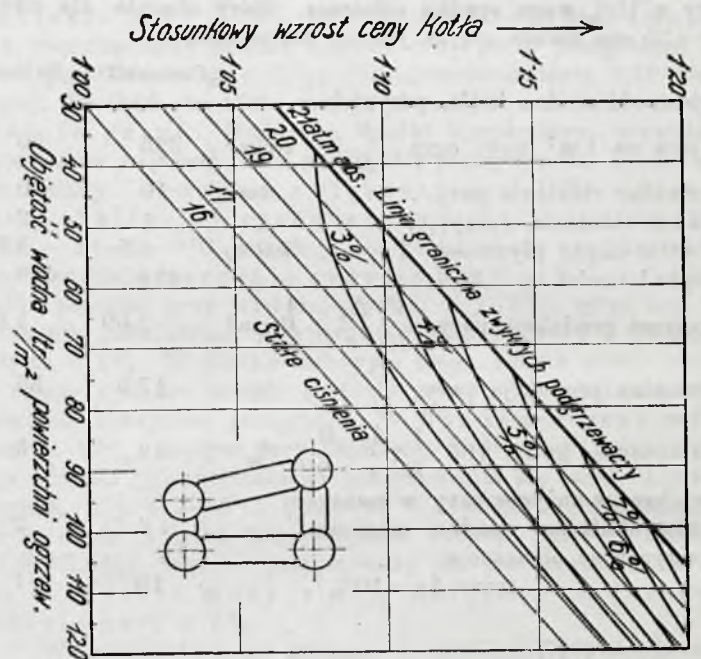
Rys. 7.

Obie omówione elastyczności mogą być (przy umiejętnej obsłudze) sumowane. Jakkolwiek omawiana druga elastyczność wyraża się cyfrowo większą liczbą, to jednak trzeba podkreślić: a) że u kotła wodnorurkowego trwa ona krótko (kwadrans), b) że, o ile elastyczność kotła skutkiem spadku ciśnienia może

być skompensowana na dowolnie krótki okres czasu (ogranicza to tylko maksymalna zdolność przełyku rurociągu parowego), to elastyczność wskutek obniżenia poziomu wody tej własności nie posiada, c) wreszcie, że nie jest ona samoczynna<sup>1)</sup>.

Wypadki ad 1 i ad 2, chociaż w zasadzie znane praktykom, są dlatego szczególnie opisane, gdyż tłumaczą one również zasadę odmiennego zachowania się cieplarek typu Ruthsa i Halpina, których rolę kocioł na siebie przejmuje względnie przejąć może. W drugim wypadku, zamiast wyłączania, zasila się kocioł wodą o temperaturze wrzenia, co ma ten sam skutek.

Bardzo mała elastyczność kotłów wodnorurkowych, na których jednak opieramy się przy budowie dużych jednostek i stosowaniu bardzo wysokiego ciśnienia, każe spojrzeć wstecz — w pierwszej linii, czy nie należy zwiększać pojemności wodnych kotłów wodnorurkowych. Jako przedstawiciel tego kierunku, obok starszego typu „Mac Nicol” o pojemności wodnej  $\approx 105 \text{ ltr/m}^2$  p. o. wybija się na pierwszy plan, czego dowodzi kilkadziesiąt wykonawców w ostatnich siedmiu latach, kocioł typu (i patentu) inż. Winanda, budowany przez „Sudenburger-Maschinenfabrik”,



Rys. 8.

Magdeburg, fig. 7. Woda zasilana rurą a, podchodzi powoli w walczaku b do góry, podgrzewa się wodą, spływającą rurkami c w dół, poczem przelewa się przez talerz d do głównego obiegu wody. Jest to więc zespół jednego kotła wodnorurkowego i dwu ewent. więcej zbiorników wodnych, ogrzewanych również gazami z zewnątrz. W ten sposób zwiększa się pojemność wodną do 110 ltr/m² p. o., więc 2—3-krotnie polepsza elastyczność kotła wodnorurkowego. Inne zalety tego kotła (usuwanie kamienia i gazów z wody etc.) nie wchodzi w zakres niniejszego referatu, z wyjątkiem zdolności do szybkiego rozpalania kotła skutkiem sposobu doprowadzania wody. Ponieważ w walczaku b mieści się znaczny zapas ( $\frac{2}{3}$ ) wysoko podgrzewanej wody zasilanej, więc chociaż mimo zmiany obciążenia utrzymuje się stały poziom wody w kotle, to zasilanie jest prawie bez hamującego wpływu na elastyczność, która opiera się tylko na spadku ciśnienia.

Innego zdania jest Münzinger, który w książce „Amerikanische u. deutsche Grossdampfkessel” — Springer 1923 porównuje dla zwykłych kotłów wodnorurkowych wzrost kosztów takiego kotła z elastycznością (%), odniesioną do godzinnej

<sup>1)</sup> Inż. Jurenka i Witz w artykule „Das Wärmespeicherproblem mit besonderer Berücksichtigung der Leistungselastizität von Dampfkesseln” (Archiw f. Ww. 1923/nr. 10) twierdzą, że manipulowanie zasilaniem daje nawet dla kotłów o wysokich ciśnieniach dostateczną elastyczność — wbrew odczytowi Prof. Loschge'go — jednak mieszają elastyczność samego kotła z elastycznością cieplarki, działającej zresztą na tejże samej zasadzie.

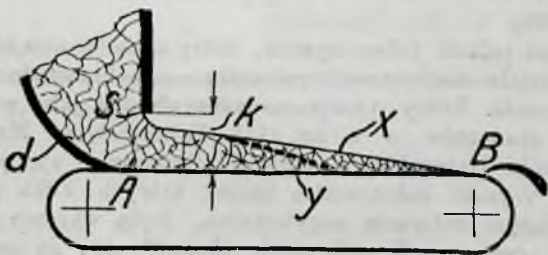


produkcji pary, a pochodząca tylko ze spadku ciśnienia od danego  $p$  do 16  $atm$ . Z odnośnej 162 figury, wyjąłem tylko część odnoszącą się do kotłów o 2 górnych i 2 dolnych walczakach, rys. 8. Cenę kotła o 500  $m^2$  p. o. na 16  $atm$ . przy  $\frac{V}{H} = 30 \text{ ltr}/m^2$ ,

wraz z przegrzewaczem, ekonomizerem, rusztem i obmurowaniem przyjęto za jednostkę. Procentowy wzrost tej ceny przedstawiają rzędne wykresu, a odciętymi są jednostkowe pojemności wodne  $\frac{V}{H}$ . N. p. kocioł o  $\frac{V}{H} = 50 \text{ ltr}/m^2$ , na 21  $atm$ ., przy spadku ciśnienia z 21 na 16  $atm$ . daje 4% elastyczności kotłowej, ale jest o 10% droższy. Münzinger, (chociaż może zbyt mało zwraca uwagi na bardzo znaczne obniżenie elastyczności, odniesionej do silnika przy  $\Delta p = \infty 25\%$ ), jednak słusznie podnosi, że tak wielkie ciągle zmiany ciśnienia nie są pożądane dla wytrzymałości blachy i dalsza rozbudowa akumulowania energii tą drogą nie jest wskazana. Trzeba zadowolić się tem, że kocioł wodnorurkowy może samoczynnie pokrywać tylko kilkuminutowe wahania obciążenia.

Co do posługiwania się zmianami w zasilaniu kotła wodą, to palacz musi mieć przedewszystkiem na podstawie wykresów względnie obserwacji ruchu pewność, że wzrost obciążenia nie potrwa tak długo, aby przekroczył dopuszczalne granice. Jeżeli postępowanie jego nie ma być nerwowe, to przeciążenie powinno być o ile możności awizowane z tablicy rozdzielczej. Zazwyczaj palacz, widząc obniżanie się wody w kotle, powstające wskutek zwiększonego zapotrzebowania (odpływu) pary (— pokrywanego zresztą spadkiem ciśnienia —) zasila silniej kocioł, nie chcąc „zostać bez wody“, a więc wprost utrudnia zwiększenie produkcji pary. Szereg automatycznych zasilań kotłów działa zupełnie tak samo, jak nie orjentujący się tutaj palacz, dążący za każdą cenę do stałego poziomu w kotle, zamiast do zmiennego, zależnie od obciążenia. Nieco lepsze są, reklamowane już jako idealne, urządzenia zasilające, bardziej „stastyczne“, t. zn. zmieniające, i to powoli, dopływ wody dopiero przy większym ruchu poziomym wody w kotle. Są to tylko pewne złagodzenia, niewłaściwego zasilania, bo idealne musiałyby zdaniem Münzingera odbywać się według zmiany ciśnienia i stanu wody, względnie przewidywać zmianę obciążenia.

3. Przyjmowaliśmy do tej pory, że palenie jest bez zmiany. Skoro jednak elastyczność części wodnej kotła jest dla nowoczesnych typów niewystarczająca i musi być uzupełniona albo przez odpowiednie palenie, albo ustawienie ciepłarki, to trzeba z kolei rozpatrzyć elastyczność samego paleniska, i to przede wszystkim węglowego. Miarodajne będą szybkość doprowadzania węgla na ruszt i odpowiednie regulowanie ciągu a w pewnych warunkach tylko to drugie. Pomijam wpływ okresów rozżarzania się węgla, który komplikowałby poniższe wywody.

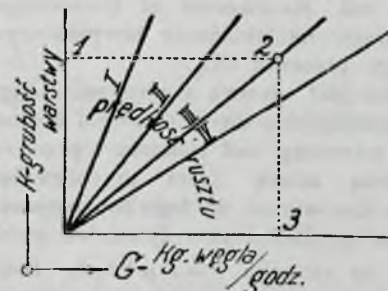


Rys. 9.

Rusztą ręcznie obsługiwaną, używaną jedynie u mniejszych jednostek kotłowych, są na punkcie elastyczności najidealniejsze, jeżeli tylko ciąg kominowy jest dostateczny. Z rusztów mechanicznych dorównuje ręcznemu narzucaniu (na punkcie elastyczności) ruszt korytkowy („Unterschubrost“), używany dla największych jednostek chętniej w Ameryce, niż w Europie. Ruszt schodkowy jest czemś pośrednim między temi typami, a rusztem łańcuchowym, któremu jako najbardziej u nas rozpowszechnionemu nieco więcej uwagi poświęcić należy.

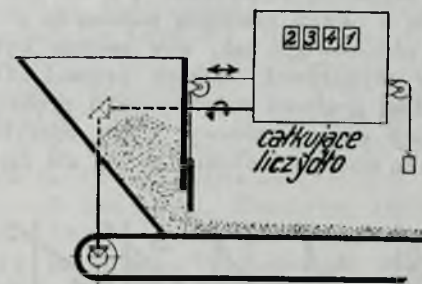
Ruszt łańcuchowy jest mało elastyczny, gdy idzie o do-

prowadzenie węgla. Zwykle można prędkość posuwania się rusztu zmieniać w kilku stopniach. N. p. w pewnym (badanym dla innych celów) kotle Babcocka o 340  $m^2$  p. o. wynosił czas dla odbycia drogi od pkt. A do pkt. B, rys. 9, przy I-wszej prędkości — 1½ godz., przy II-iej ¾ godz., przy III-iej ½ godz., przy IV-iej 22 minut. Ponieważ można zmieniać i grubość warstwy „k“, więc zwykle palacze względnie kierownicy kotłowni, pozornie „orientujący się czuciem“, nie umieją określić nawet w przybliżeniu ilości węgla, podawanego na ruszt. Wielce pomocnym był przy próbach wykres, przedstawiony na rys. 10, w którym osią rzędnych jest grubość warstwy „k“.



Rys. 10.

Wartość ta przeniesiona na odnośną prędkość rusztu I—IV, od razu podaje  $G$ , t. j. ilość paliwa, spalane w godzinie (pkt. 1—2—3). Linje I—IV i dalsze możnaby wyznaczać doświadczalnie. Znacznie jednak łatwiej oraz z wystarczającą dokładnością oblicza się wartości  $G$  dla tego samego „k“ i różnej prędkości rusztu ze wzoru  $G = bkwy\mu$ , gdzie  $b$  = szerokość rusztu,  $w$  = jego prędkość w godzinie,  $\gamma$  = ciężar gatunkowy węgla,  $\mu$  = współczynnik jego „wypływu“ z pod zasuwu na ruszt, rys. 9. Owe zwężenie przekroju  $\mu$  wynosiło dla kostki 0.80, więc analogicznie jak dla wypływającej cieczy jest ono czemś pośrednim między wartością = 1, t. j. współczynnikiem dla zaokrąglonej dyszy — krawędź ( $d$ ) na rys. 9 —, a wartością = 0.60, t. j. współczynnikiem dla ostro ściętej kryzy, — krawędź ( $s$ ). Współczynnik ten, ściśle biorąc, jest zależny od wielkości paliwa i od prędkości rusztu. Że ta zasada mierzenia ilości węgla może być bardzo dokładna, dowodzi zbudowany na niej miernik ilości węgla dla rusztów łańcuchowych, wprowadzony od 2 lat w Angji, wykonany wzwyczaj 1000 egzemplarzach, — a ostatnio i w Niemczech jako patent „Lea“, lansowany przez firmę C. H. Weck w Greitz-Dölau. Rys. 11. Miernik ma mieć



Rys. 11.

maksymalny błąd  $\pm 2\%$  i nadawać się dla węgla o wielkości do 50  $mm$ .

W naszym wypadku zmiana prędkości z I. na II. dawała, co prawda, dwa razy większą ilość węgla na ruszcie, ale przemiana ta odbywała się powoli, około ¾ godziny. Zmiany prędkości II. na III., lub III. na IV., odbywały się prędzej, 15 wzgl. 8 minut, ale ilość węgla wzrastała nie dwukrotnie, tylko ½ względnie ⅓ razy. Grubość warstwy zmienia palacz niechętnie, bo to go dezorientuje, a czasem wymaga większego lub wogóle dodatkowego wysiłku fizycznego. Takie powolne, ale znaczne zwiększenie produkcji pary jak przy zmianie I. na II. może być n. p. celowo stosowane w przejściach wieczornych do szczytowego obciążenia, o ile kierownik ruchu zna dokładnie jego przebieg z obserwacji lub wywieszzonego w kotłowni wy-



kresu obciążenia dnia poprzedniego. Jeżeli tych danych niema, to kończy się na nerwowem obserwowaniu manometrów i, co gorsze, na rozpalamiu dalszych kotłów długo przed wieczorną zwykłą obciążenia — szczególnie, gdy ona przebiega stromo. Przy zmianie grubości warstwy, prędkości rusztu i ciągu, jest potrzebna pewna uwaga ze strony palacza, aby n. p. nie „urwać“ płomienia lub nie rzucać rozżarzonego koksu wprost do żuźłownika. Trudno też uniknąć małego procentu  $\text{CO}_2$ , stąd większej straty kominowej. Jednak daleko idące wykorzystywanie ciepła spalin w ekonomizerach, w tym celu ewentualnie szeregowo łączonych, redukuje tę stratę. Jest to zasada gorąco zalecana przez inż. Kammerera ze Strasburga, aby zwracać równorzędną uwagę na obniżenie temperatury spalin, jak na uzyskanie dużego procentu  $\text{CO}_2$ .

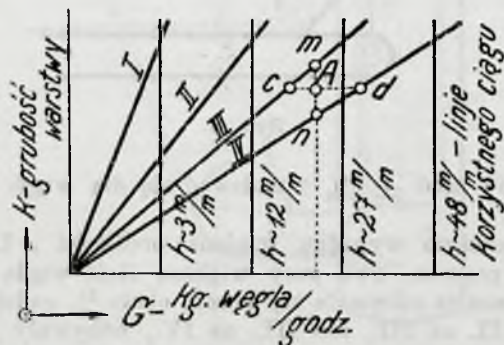
Trudniejsza jest sprawa z ciągiem. Ciąg jest duszą palenia, a jak nieumiejtnie się z nim ogół obchodzi! Ciąg różnicowy ( $h\text{-mm}$ ), mierzony nad rusztem i przed zasuwą kominową, jest pewną miarą ilości przepływającego powietrza ( $P\text{-m}^3/\text{sek}$ ), ale nie wprost do tego proporcjonalny, gdyż rośnie on z kwadratem prędkości przepływu, co wobec stałego przekroju prowadzi do związku  $P = F \mu \sqrt{2gh}$ . Ponieważ równocześnie przy zupełnym spalaniu i nadmiarze powietrza  $P = G \frac{b}{\text{CO}_2 \%}$ ,

więc ilość spalanego węgla w sekundzie  $G = c \cdot \text{CO}_2 \cdot \sqrt{h}$ . Wartości  $a, b, c, d$  są dla danego kotła stałe, co łatwo potwierdza obserwacja  $c$  dla różnych, ale równoczesnych wartości  $G, \text{CO}_2, h$ . Podałem powyższy wzór dlatego, bo przy badaniach elastyczności palenia (zmiana warstwy lub zmiana ciągu) wzór Siegerta na procentową stratę kominową niema sensu, a w jego miejsce wchodzi również przybliżony wzór:

$$S_{\text{CO}_2} = P \cdot c_p \cdot (t_1 - t_2) = d \cdot \sqrt{h} \cdot (t_{\text{spal}} - t_{\text{kott}}) \dots \text{kal/sek.}$$

Jeżeli zwiększymy dwukrotnie doprowadzenie węgla na ruszt, to powinniśmy zwiększyć ciąg różnicowy nie dwukrotnie, ale czterokrotnie. Zwykle dzieje się inaczej, ciąg zwiększa się zaledwie o kilka milimetrów, n. p. z 8 na 10 mm. Po największej części pierwsza wartość jest za duża, t. j. daje stale mały procent  $\text{CO}_2$ , więc wielką stratę kominową (wystarczy może 4 mm), druga wartość natomiast jest za mała, daje niezupełne spalanie, ogniste języki po bokach („Stichflamme“), przepalające szybko obmurowanie — w obu wypadkach palenie nieekonomiczne. Czasem ciąg kominowy, nie wystarczający dla zwiększonego obciążenia, usprawiedliwia palacza względnie kierownictwo kotłowni — gorzej, jeżeli jest do dyspozycji sztuczny ciąg zapomocą wentylatorów, a nie umie się go użyć.

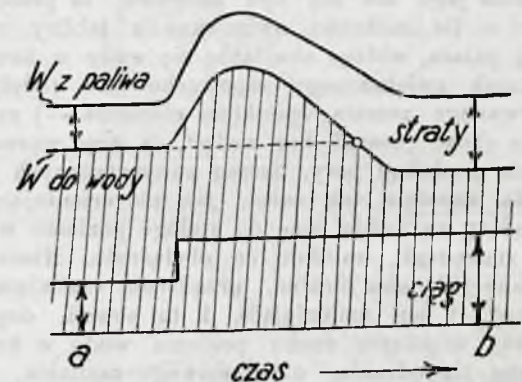
Licząc się z pewną niechęcią palacza do próbowania ustawiania ciągu różnicowego tak, aby palenie było dobre, t. j. aby analizator wykazywał większy procent  $\text{CO}_2$ , należy mu z góry dla każdej grubości warstwy ( $k$ ) i prędkości rusztu podawać potrzebny ciąg różnicowy, który odczytuje się nie na mikromanetrze wodnym z ukośną rurką, ale łatwiej na ciągo-



Rys. 12.

mierzmu membranowym, zaopatrzonym w podziałkę i wskazówkę, podobnie, jak zwykły manometr. Przy kotle powinien więc być umieszczony wykres, jak na rys. 12. Rozmieszczenie w nim linii korzystnych ciągów można obliczyć teoretycznie lub wyznaczyć doświadczalnie, odbiegają one wtedy nieco od wrysowanych pionowych linii.

Osobny rozdział tworzą t. zw. szarpnięcia ciągiem, stosowane czasem przez palaczy dla chwilowego przeciążenia kotła. Jeżeli dopływ paliwa ( $G/\text{sek}$ ) jest stały, to wzrost ciągu różnicowego wywołany szerszym otwarciem zasuw kominowej zwiększa stratę kominową, więc zmniejsza ilość ciepła oddawanego z paleniska do wody, położenia  $a$  i  $b$  w rys. 13, w której osią odciętych jest czas. Ma to miejsce, gdy porównamy stany równowagi. Jednak bezpośrednio po szarpnięciu ciągiem obserwujemy wprost przeciwnie wzrost produkcji pary. Pochodzi to stąd, że położeniu  $b$  odpowiada mniejsza ilość węgla na ruszcie, niż położeniu  $a$ , linia  $y$  w rys. 9 wobec  $x$ , przy przejściu więc musi się ten nadmiar wypalić. W rys. 13 przedstawia krzywa „ $W$  z węgla“ ciepło wytworzone w palenisku, krzywa „ $W$  we wodzie“ przebieg ciepła oddawanego wodzie, które, jak widać bezpośrednio po szarpnięciu przejściowo wzrasta. Stosowanie jednak tego środka na dłuższy okres czasu byłoby błędne, (o ile w punkcie wyjścia było spalanie zupełne), bo z czasem produkcja pary musi spaść wskutek zwiększonej straty kominowej. Zjawisko to przebiega również analogicznie przy czasowym przymknięciu zasuw kominowej. Bergman (jak wyżej) szacuje możliwość przeciążania przez szarpnięcie ciągiem na 30–50%. Jak z powyższych wywodów wynika, wartości te mogą być łatwo przekroczone.



Rys. 13.

Czasem obciążenie jest stałe, a jednak ruch kotła fluktuuje, gdy n. p. palacz dobrał nieodpowiednie wartości grubości warstwy i prędkości rusztu przy pewnym ciągu i zamiast zmienić grubość warstwy zmienia ciągle prędkość — wyrażając się rysunkowo, rys. 12, skacze po linii  $c\text{--}d$ , zamiast przesunąć się do  $m$  lub  $n$ . Punkt  $A$  jako nieleżący na żadnej prędkości, nie jest realnie możliwy. Czasem wina wahań w paleniu mimo idealnie stałe obciążenie leży w ciągle zmieniającym się składzie paliwa, kupowaniem z dnia na dzień u kilku dostawców z powodu różnych spekulacji w stosunku do kartelu węglowego.

Jest jednak jeden czynnik, który stale (w obu kierunkach) przeciwdziała elastyczności paleniska — to bezwładność cieplna obmurowania. Próby, przeprowadzane obecnie jako prace samodzielne studentów w t. zw. III Laboratorjum Maszynowym Politechniki Lwowskiej, zdążają do liczbowego ujęcia tego zjawiska. Wyniki całokształtu badań, których kilka problemów w niniejszym referacie zacytowałem, będą wkrótce ogłoszone drukim osobno. Z prób tych okazało się, że bezwładność cieplna obmurowania ukrywa lub wydobywa nieprawdopodobnie znaczne ilości ciepła, ale zawsze wbrew potrzebie.

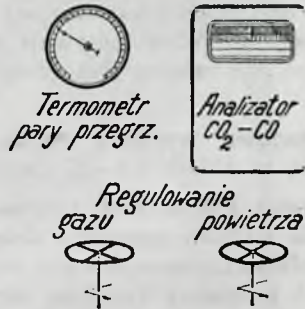
Gdy przejdziemy do pyłu węglowego lub paliwa płynnego względnie gazowego, to szereg powyżej opisanych trudności i problemów znika, z wyjątkiem bezwładności cieplnej obmurowania. Paliwa te są idealnie elastyczne, gdyż umożliwiają momentalne przejście do skrajnych obciążeń. Nic dziwnego, iż w krajach, nie posiadających przyrodzonych paliw płynnych lub gazowych, palenie pyłem węglowym znalazło tak wielkie zastosowanie<sup>1)</sup>. N. p. obserwowano przejście z 4 na 10.000 KW

<sup>1)</sup> Prostotę takiego ruchu obserwowałem w jednej z hut cynkowych na Górnym Śląsku, gdzie centralny przegrzewacz pary był



w ciągu jedenastu minut, przyczem ciśnienie pary spadało za ledwie z 12 na 11 atm. Czems pośredniem są dodatkowe urządzenia na palenie pyłem węglowym przy istniejących rusztach schodkowych lub łańcuchowych, budowane obecnie chętnie w Niemczech (Bamag, Meguin, Büttner, i i.). Wystarczają

osobno opalany gazem. Palacz miał przed sobą, rys. 14, termometr metalowo-ręciowy, wskazujący temperaturę pary przegrzanej i według tego ustawiał kółko, regulujące dopływ gazu do palnika, czyli zapotrzebowanie ciepła przegrzania do obciążenia turbiny.



Rys. 14.

Obok było drugie kółko, regulujące dopływ powietrza, które ustawał, orjentując się według analizatora „Duplex-Mono“, podającego  $\text{CO}_2\%$  i  $\text{CO}\%$ . Rejestrowanie temperatury i wykresów analizatora zmuszało palacza do ciągłej uwagi. Rzecz funkcjonowała znakomicie. Urządzenie to nadaje się dla paliwa płynnego przez zastąpienie termometru manometrem i daje znaczną elastyczność ruchu mimo najbardziej nieelastycznej części wodnej właściwego kotła.

mniej kosztą zakładowe, a cel, t. j. opanowywanie szczytowych przeciążeń 20—40%, bywa z reguły osiągany. Najważniejsze, że ostrożnemu kierownikowi ruchu pozwala taka instalacja na oswojenie się i wypróbowywanie w mniejszym modelu techniki pyłu i jego spalania.

Zanim przejdziemy do właściwych cieplarek, należy jeszcze raz zestawić wszystkie wskazania, mające na oku zwiększenie elastyczności samego kotła. Należy:

1. być wyrozumiałym wobec spadku ciśnienia pary (o 10%);  
2. przyuczyć palacza do wykorzystywania zapasu wody, dopuszczając w tym celu do większych wahań poziomów wody w kotle, lub wbudować celowy automatyczny przyrząd do zasilania;

3. przyuczyć palacza do pomagania sobie w pewnych granicach ciągiem;

4. o ile są podgrzewacze wody, łączyć je szeregowo i wykorzystywać w nich możliwie daleko ciepło, zawarte jeszcze w spalinach odlotowych.

Pozatem należy:

5. nie wymagać od kotłów wodnorurkowych większej elastyczności, niż one dać mogą bez szkody dla bezpieczeństwa ruchu i ekonomji;

6. zorganizować przy większej kotłowni kierownictwo ruchu, któreby awizowane w sposób odpowiedni (akustyczne sygnały w połączeniu ze wzrokowymi) mogło w czasie wydawać odpowiednie zarządzenia co do zmiany palenia — nie czekając dopiero na większe przesunięcie wskazówki na manometrze;

7. skalkulować, czy dodatkowe opalenie pyłem węglowym ma pierwszeństwo przed cieplarką. (Dok. nast.).

## Wiadomości z literatury technicznej.

### Silniki.

— **Przepływ ciepła w silniku Diesel'a.** Pod tym tytułem ogłasza Wilhelm Nußelt, profesor politechniki w Monachium, w *Zeitschr. d. V. D. I.* 1926 (str. 468) artykuł, w którym wykazuje zgodność swojej formuły na przepływ ciepła przez ściany silnika, uzyskanej na drodze rozważań teoretycznych<sup>1)</sup>, z wynikami pomiarów dokonanych przez prof. Nägel'a<sup>2)</sup> na dwutaktowym silniku Diesel'a o mocy 1600 KM<sub>e</sub> przy 85 obr./min. Silnik wykonany przez firmę Gebr. Sulzer posiadał cztery cylindry o średnicy 680 mm i skoku 1100 mm i był skonstruowany jako motor okrętowy.

Autor porównuje obliczone i zmierzone ilości ciepła przechodzące z gazów na denko tłoka.

Jeśli oznaczymy przez

$Q$  ilość ciepła, przechodzącą z gazów na denko tłoka,

$F$  powierzchnię denka, odbierającą ciepło,

$T$  bezwzględna temperaturę gazów,

$T_w$  „ „ „ „ stykającej się z gazami powierzchnii tłoka,

$\alpha$  współczynnik przechodzenia ciepła z gazów na tłok,

$\varphi$  kąt opisany przez korbę, to

$$Q = 4 F \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \alpha (T - T_w) d\varphi \quad (1)$$

Spółczynnik  $\alpha$  ma wartość:  $\alpha = \alpha_b + \alpha_s$ , gdzie  $\alpha_b$  jest współczynnikiem przechodzenia ciepła z gazów na ściankę przez konwekcję (przepływ), a  $\alpha_s$  jest współczynnikiem przechodzenia ciepła przez promieniowanie. Według Nußelta:

$$\alpha_b = 0.99 \sqrt[3]{p^2 T (1 + 1.24 w)} \text{ kal/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C godz.}^3 \quad (2)$$

gdzie  $p$  oznacza ciśnienie gazów w cylindrze w at abs., a  $w$  prędkość tłoka w m/sek.

<sup>1)</sup> W. Nußelt „Der Wärmeübergang in der Verbrennungskraftmaschine“, *Zeitschr. d. V. D. I.* 1923, str. 692 i *Forsch.-Arb. V. D. I.* zesz. 264.

<sup>2)</sup> A. Nägel „Die Dieselmachine der Gegenwart“, *Zeitschr. d. V. D. I.* 1923, str. 730.

<sup>3)</sup> W. Nußelt, j. w.

$$\alpha_s = \frac{0.362}{T - T_w} \left[ \left( \frac{T}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_w}{100} \right)^4 \right] \text{ kal/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C godz.}$$

W powyższych wzorach wybitnie zmiennymi są wielkości  $p$ ,  $T$  i  $w$ , a więc i  $\alpha$ ; temperaturę powierzchni denka  $T_w$  można uważać za stałą, gdyż wahania jej są praktycznie bez znaczenia<sup>1)</sup>. Ciśnienia  $p$  odczytywał autor z wykresu indykatora, a temperaturę  $T$  obliczał z równania gazowego.

Wartości na przepływ ciepła otrzymane z wzoru (1) różnią się od wyników pomiarowych średnio o 5%, co daje rękojmię, że wzór (2) jest dobry. *Inż. St. Golczewski.*

### BIBLIOGRAFJA.

**Dzieła i czasopisma, nabyte na własność Biblioteki Politechniki Lwowskiej.** Czasopisma. 1. Jahrbuch der wissenschaftlichen Gesellschaft für Luftfahrt. Bd. 3—5. — 2. Archiv für Elektrotechnik. Berlin, 1925. — 3. Zeitschrift für die gesammte Staatswissenschaft. Tübingen, 1925. — 4. Archiv für wissenschaftliche Botanik. Berlin, 1925. — 5. L'art et les artistes. Paris, 1925. — 6. La construction moderne. Paris, 1925. — 7. Die Technik in der Landwirtschaft. Berlin, 1925. — 8. Żar Ptica. Berlin. — 9. Lot polski. Warszawa, 1925. — 10. Rzeczy piękne. Kraków, 1925. — 11. Annali dei Lavori Pubblici. Roma. Vol. 63. — 12. Industrielle Psychotechnik. Berlin, Jhrg. 2. — 13. Bibliographia Technica. Berlin, 1924. — 14. Archives de zoologie experimentale et générale. Paris, 1924. — 15. Good roads. N. York, 1925. — 16. Journal of economic entomology. Geneva, 1925. — 17. Proceedings of the America Society of civil Engineers. 1925. — 18. Industrial a. engineering chemistry. Washington, 1925. — 19. The Architect. London, 1925. — 20. Ziemia. Warszawa, 1925. — 21. The Locomotive. London, 1925. — 22. Concrete. Detroit, 1925. — 23. Journal of morphology and physiology. Philadelphia, 1925. — 24. Południe. Warszawa, 1925. — 25. Wieś, dwór i miasto. Warszawa, 1924/5. — 26. Archives des sciences physiques et naturelles. Geneve, 1925. — 27. Jahrbuch für Kunstwissenschaft. Leipzig, 1923. — 28. Zeitschrift für Zellforschung und mi-

<sup>1)</sup> Według G. Eichelberga (*Forsch.-Arb. V. D. I.* zesz. 263) w silniku dwutaktowym przy 100 obr./min temperatura wewnętrznej powierzchni ścianek cylindra waha o 22°.



kroskopische Anatomie. Berlin, 1925. — 29. L'architecture. Paris, 1925. — 30. Archives de biologie. Paris, 1925. — 31. Wireless Age. N. York, 1925. — 32. The journal of the American Chemical Society, Easton, 1925. — 33. Chemical Abstracts. Easton, 1925. — 34. Morze. Warszawa, 1924. — 35. The Refiner and Natural Gasoline Manufacturer. Houston, 1925. — 36. Public Roads. Washington, 1925. — 37. Wiadomości statystyczne głównego Urzędu Statystycznego. Warszawa, 1923.

## RÓŻNE SPRAWY.

Z powodu elekcji prof. Mościckiego Wydział P. T. P. wysłał telegram tej treści:

Prezydent Rzeczypospolitej **Dr. Ignacy Mościcki**  
Warszawa.

Mamy zaszczyt prosić Pana Prezydenta, aby przyjął wyrazy czci i hołdu od członków Polskiego Towarzystwa Politechnicznego we Lwowie.

Prezes: *Stanisław Rybicki*. Sekretarz: *Stanisław Kozłowski*.

**Odezwa.** Polsko-Francuski Związek Inżynierów przy Stowarzyszeniu Techników w Warszawie (ul. Czackiego 3—5), mając na celu zbliżenie polsko-francuskie w dziedzinach przemysłu, handlu i nauk inżynierskich, prosi kolegów i sympatyków o zapisanie się na członków tego Związku w kancelarii Stowarzyszenia Techników. Warunki są nadzwyczaj przystępne, bo tylko 2 zł. składki rocznej, a korzyści są wielkie. Regulaminy: zewnętrzny i wewnętrzny są do przejżenia w Sekretarjacie Tow. Politechnicznego.

**VIII. Zjazd Gazowników i Wodociągowców Polskich w Poznaniu.** W dniach 7 i 8 maja r. b. odbyło się w Poznaniu VIII. Walne Zebranie Zrzeszenia Gazowników i Wodociągowców Polskich i Związku Gospodarczego Gazowni i Zakładów Wodociągowych w Państwie Polskiem. Obrady odbywały się pod przewodnictwem Prezesa Zrzeszenia Dyr. Świerczewskiego z Warszawy, oraz Prezesa Związku Dyr. Dziurzyńskiego z Poznania. Po sprawozdaniu, złożonem przez dyr. Józefa Konopkę, liczni przedstawiciele gazownictwa i wodociągarstwa polskiego powzięli szereg uchwał gospodarczych, tyjących się spraw

celnych, podatkowych, taryfowych; dalej omawiano sprawy, odnoszące się do normalizacji, propagandy itp. Uchwalono kilka rezolucyj między innemi rezolucję o założeniu „Polskiego Instytutu Wodociągowo-Kanalizacyjnego“, który obejmie całokształt spraw wodociągowo-kanalizacyjnych w Polsce, oraz Instytutu badania węgla.

Ten ostatni ma powstać w Krakowie z pokrewnemi istniejącymi instytucjami, a celem jego jest praca nad studjowaniem spraw węglowych i koksowych, tak pod względem technicznym, naukowym, jak gospodarczym. Instytut ten będzie instytucją społeczną, opartą na składkach i subwencjach przemysłu i górnictwa, a potrzebę jego w Polsce motywuje się tem, że dotąd górnictwo węglowe polskie zależne jest od opinii, wydawanych przez Niemców.

**VI. Międzynarodowa wystawa rolniczo - przemysłowa w Rydze** odbędzie się w dniach 13—27 czerwca.

**Konkurs.** Rektorat Politechniki Lwowskiej ogłasza konkurs celem obsadzenia Katedry maszyn i urządzeń dźwigowych i transportowych. Podania nieostemplowane, zaopatrzone w własnoręcznie napisany i podpisany życiorys, legalizowane odpisy świadectw i dokumentów osobistych, sprawozdania z prac naukowych i ich odbitki drukowane, oraz sprawozdania z odbytej praktyki zawodowej, należy nadsyłać na ręce Dziekana Wydziału Mechanicznego do dnia 30 września 1926 r.

**Komitet organizacyjny** Ogólno Krajowego Zjazdu meljoracyjnego w Warszawie donosi nam, że wskutek wypadków ostatniej doby i zaabsorbowania umysłów ogólnopolskich sprawami postanowił zjazd meljoracyjny, jaki miał odbyć się w pierwszych dniach czerwca w Warszawie, odroczyć do pierwszych dni września br.

Ponieważ wśród kwestyj ożywienia gospodarczego życia, jedną z pierwszych zajmuje sprawa wzmocnienia produkcji rolniczej, a zatem i sprawa meljoracji rolnych, jako środka do osiągnięcia tego celu, przeto projektowany zjazd meljoracyjny, obudził wielkie zainteresowanie wśród ziemian, zwłaszcza drobnych rolników we wszystkich dzielnicach Polski, o czym świadczą liczne zgłoszenia, zapytania i referaty nadesłane dotychczas na ręce Komitetu.

## SPRAWY TOWARZYSTWA.

**Posiedzenie Wydziału Głównego P. T. P. z dnia 12. IV. 1926 r.** Przewodniczy kol. Rybicki. Obecni kol.: Blum, Bratro, Bronarski, Broniewski, Gajczak, Huber, Jaskólski, Krzyżkowski, Matakiewicz, Nadolski, Roniewicz i Zipser. Nieobecność swoją usprawiedliwili kol. Dutczyński i Południowski. Następnie zostali przyjęci na członków kol.: Inż. Tadeusz Broniewski, Inż. Emil Erdheim, Inż. Emil Kreisler i Inż. Eliza Unger.

Odczytano i przyjęto protokół ostatniego posiedzenia. Przyjęto do wiadomości sprawozdanie skarbnika za m. luty i marzec 1926, oraz preliminarz na rok bież.

Prezes Rybicki zawiadamia, że przełożono termin Zjazdu Zrzeszeń techn. w Warszawie na dzień 10 maja i że na porządku dziennym między innymi będzie także projekt ustawy o dostawach dla Skarbu Państwa; wybrano komisję dla tej sprawy złożoną z kol.: Bluma, Bratry, Broniewskiego, Dutczyńskiego, Łużckiego, Opolskiego i Sądla.

W sprawie referatu polskiego na Zjeździe Warszawskim postanowiono opracować uwagę Towarzystwa i uchwalono zasadę, że referaty powinny się ograniczać do streszczenia stanu istotnego, bez wchodzenia w różnice dzielnicowe. Na delegatów wybrano kol.: Bluma, Dutczyńskiego, Nadolskiego i Zipsera.

Dłuższą dyskusję wywołało sprawozdanie kol. Kozłowskiego z posiedzenia Związku Oficerów Rezerwy w sprawie organizacji społeczeństwa do walki z korupcją i niemoralnością.

Uchwalono ofiarować współpracę na polu gospodarczem. Delegowano kol. Kozłowskiego do dalszej obserwacji obrad.

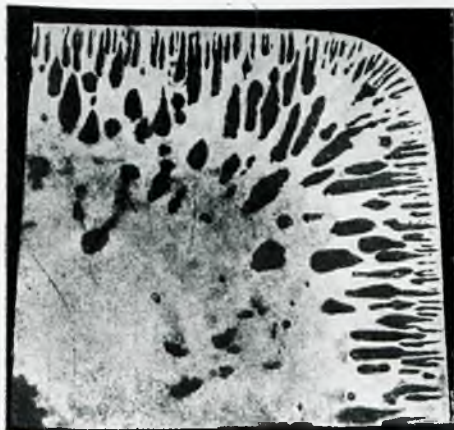
W dalszym ciągu Prezes Rybicki zawiadamia, że Sejm Polski wysłał kilku posłów a między nimi Prof. Bryłę do Tunisu celem zbadania możliwości emigracji robotników polskich do tego kraju. Postanowiono poprosić Prof. Bryłę do wygłoszenia na ten temat referatu w naszym Towarzystwie. Na zaproszenie Koła Inżynierów Doradców i Rzeczników postanowiono wysłać delegata na Międzynarodowy Zjazd inżynierów-doradców, który odbędzie się w Warszawie w dniach od 15 do 17 maja, i wziąć oficjalnie udział a na delegata uprosić Prof. Matakiewicza, ewentualnie któregoś z członków Towarzystwa mieszkającego stale w Warszawie.

Kol. Bratro jako delegat Towarzystwa na Komitet organizacyjny dla wystawy budowlanej we Lwowie podczas tegorocznych Targów wschodnich, zdaje sprawę z pracy Komitetu i zawiadamia, że ukonstytuowano Prezydium, do którego zostali zaproszeni wybitni działacze społeczni i osobistości świata technicznego. W związku z memorjałem Zrzeszenia budowniczych we Lwowie w sprawie oddania budowy gmachu pocztowego na Głównym dworcu uchwalono oddać tę sprawę Radzie Zrzeszeń Gospodarczych, a oprócz tego na wniosek kol. Bratry rozpisac ankietę budowlaną w porozumieniu z Izbą handlową. W końcu przyjęto do wiadomości powstanie Koła Radjotechników przy naszym Towarzystwie i przeznaczono dla nich czwartki na zebrania.

Na tem porządek obrad wyczerpano i posiedzenie zamknięto.



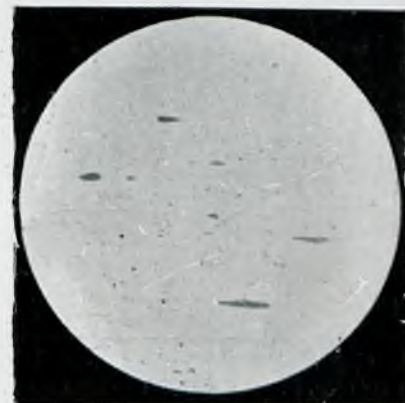
Do pracy prof. St. Anczyca p. t. „O blachach kotłowych“.



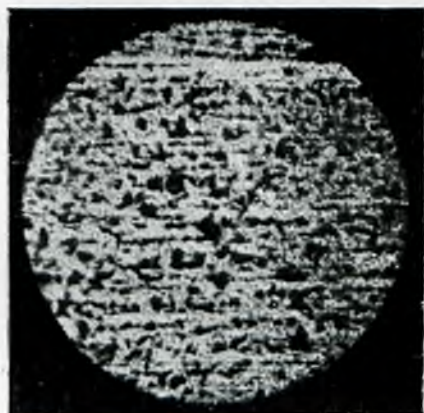
Rys. 2.



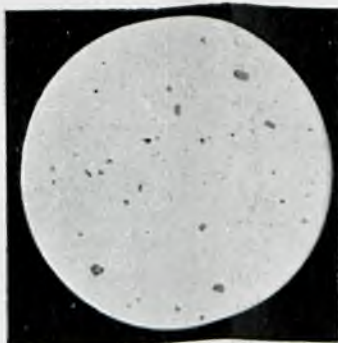
Rys. 3.



Rys. 4.



Rys. 5.



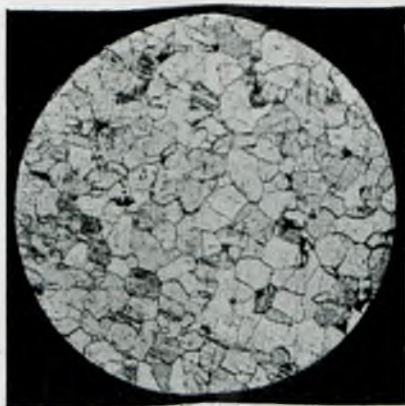
Rys. 6.



Rys. 8.



Rys. 9.



Rys. 10.

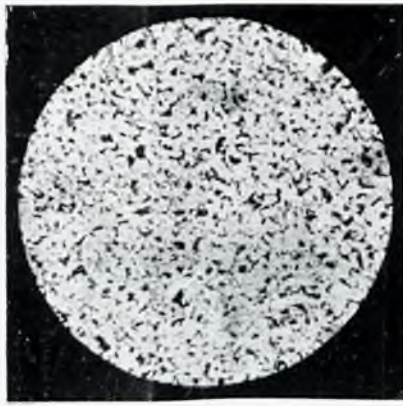


Rys. 11.





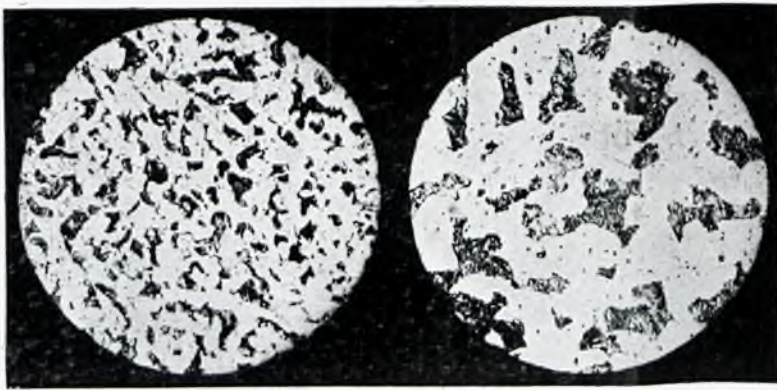
*Rys. 12*



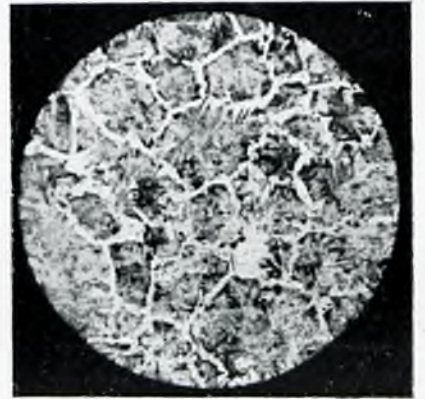
*Rys. 14.*



*Rys. 15.*



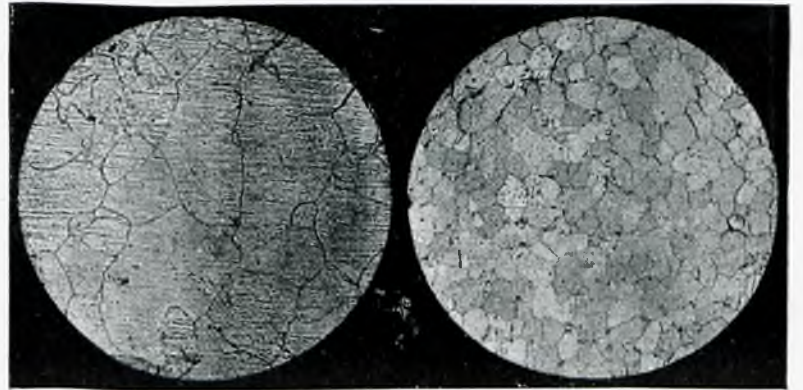
*Rys. 18.*



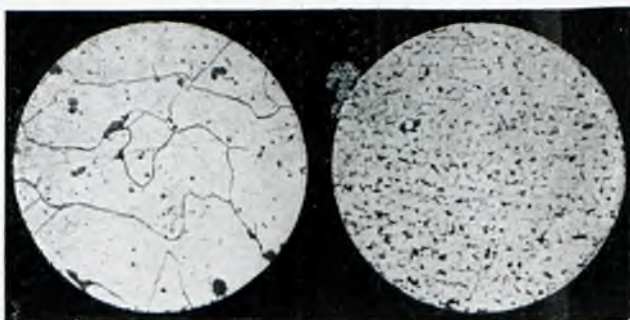
*Rys. 19.*



*Rys. 20.*



*Rys. 22.*

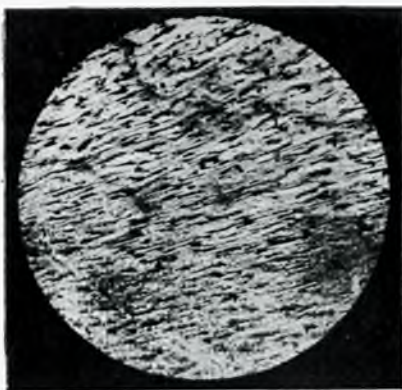


*Rys. 24.*

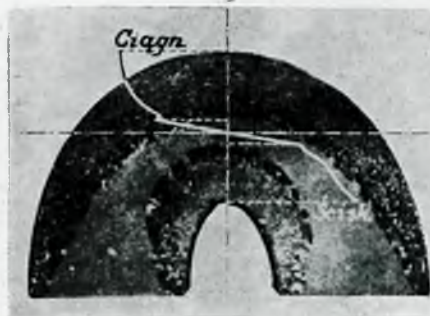


*Rys. 26.*



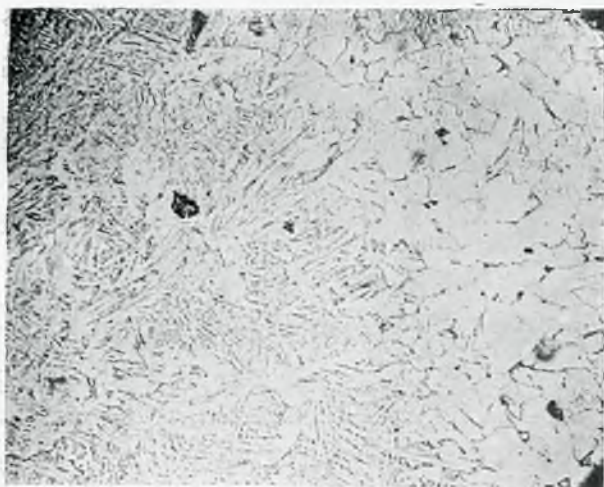


Rys. 27.

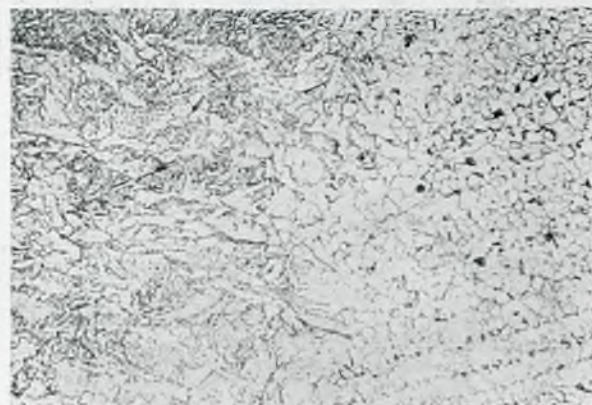


Rys. 29.

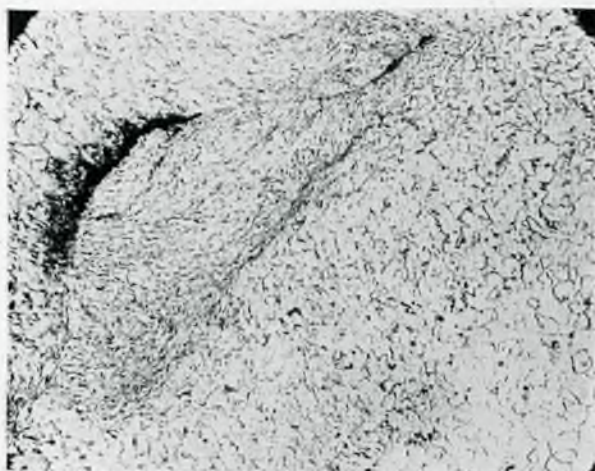
Do pracy prof. I. Feszczenko-Czopińskiego p. t. „Ulepszanie miejsc spawanych elektrycznie drogą obróbki termicznej“.



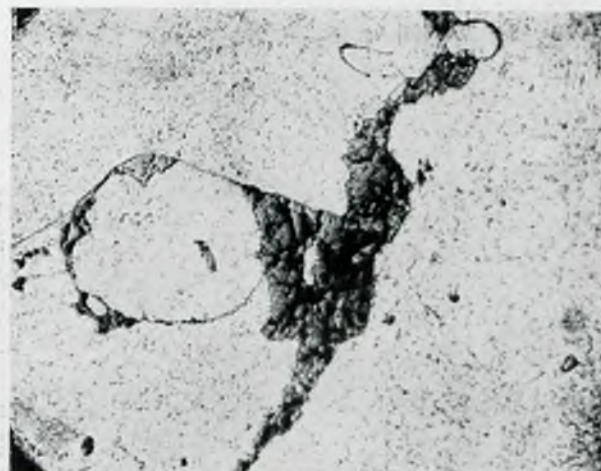
Rys. 1.



Rys. 2.

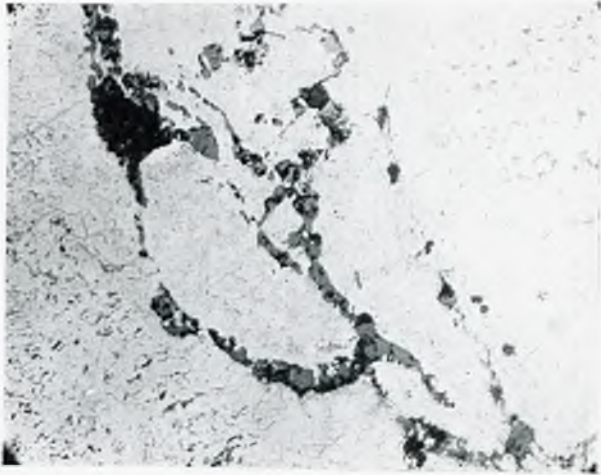


Rys. 3.

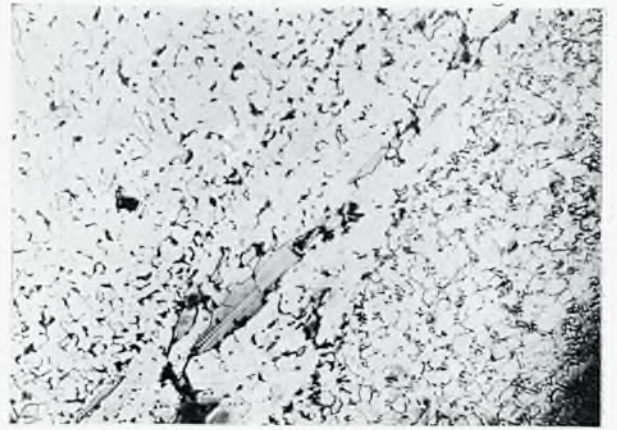


Rys. 4.

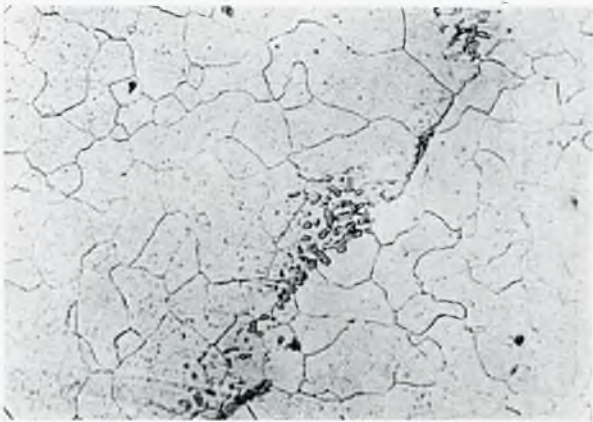




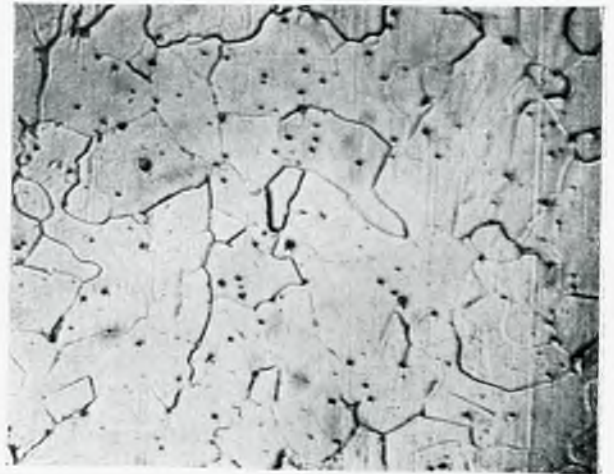
*Rys. 5.*



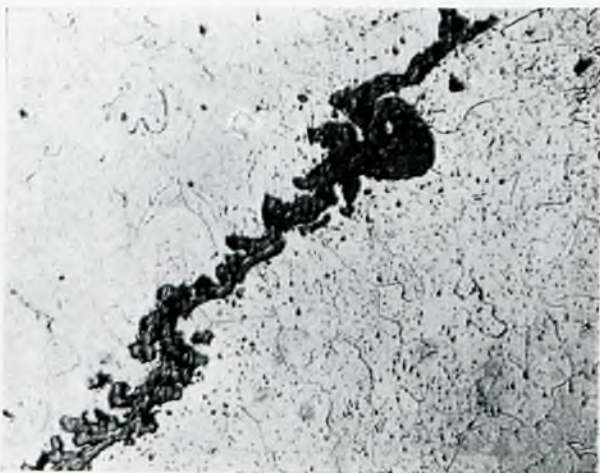
*Rys. 6.*



*Rys. 7.*



*Rys. 8.*

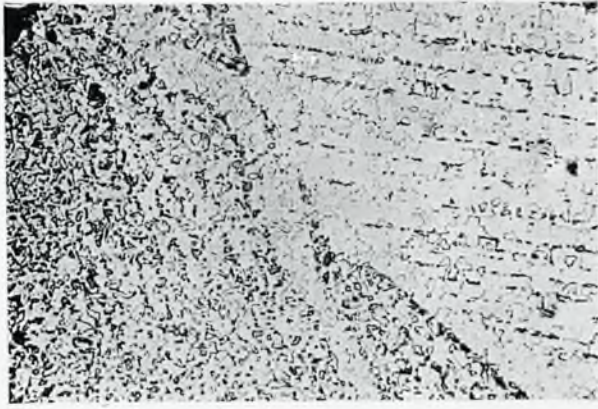


*Rys. 9.*

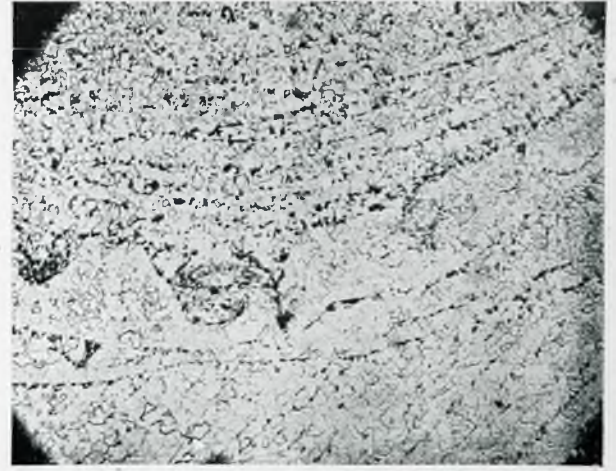


*Rys. 10.*

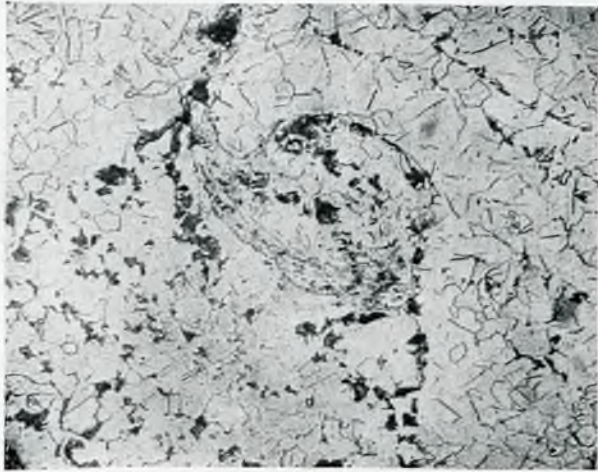




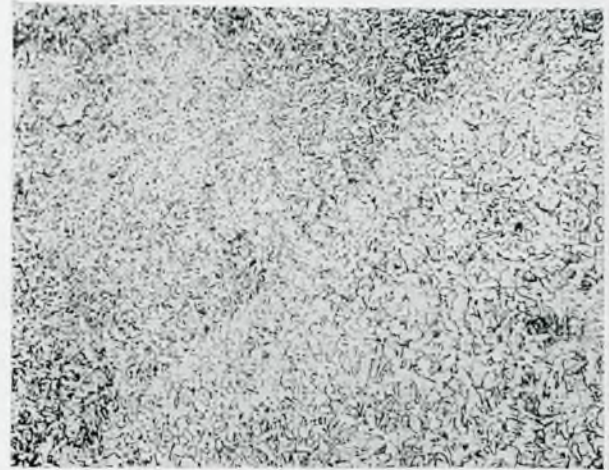
*Rys. 12.*



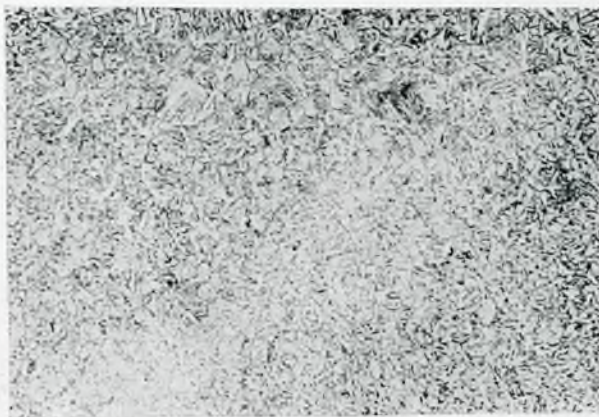
*Rys. 13.*



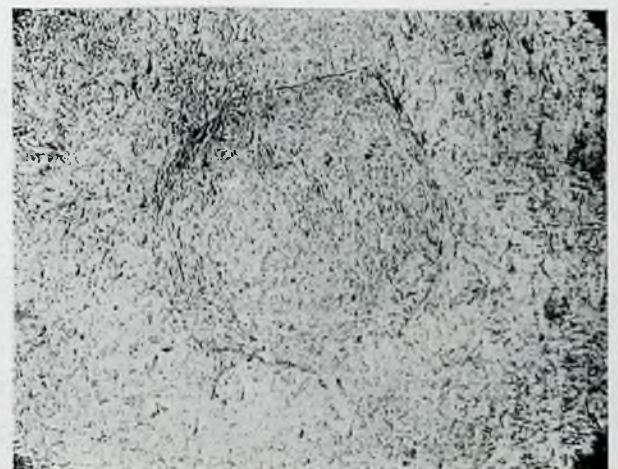
*Rys. 14.*



*Rys. 16.*



*Rys. 17.*



*Rys. 18.*