

POLITECHNIKA WARSZAWSKA
Zakład Badawczy Spawania
Zeszyt I.

STEFAN BRYŁA

**METODY
BADANIA SPOIN**

Odbitka ze „Spawania i Cięcia Metali” Nr 5 i 6, 1938 r.

WARSZAWA — 1938

POLITECHNIKA WARSZAWSKA
Zakład Badawczy Spawania
Zeszyt 1.

STEFAN BRYŁA

**METODY
BADANIA SPOIN**



621.781

Odbitka ze „Spawania i Cięcia Metali” Nr 5 i 6, 1938r.

WARSZAWA - 1938

BIBLIOTEKA
WYDZ.
ARCHITEKTURY

2458

Druk. „Bagatela“ (wł. M. Twardowski), Tel. 9-40-99.

Sposoby badania spoin.

Spawanie rozwinęło się w okresie, gdy metody badań laboratoryjnych czy warsztatowych były już w pełnym rozkwicie. Nic więc dziwnego, że przy badaniu połączeń spawanych zastosowano odrazu szereg sposobów badania ich opartych na rozmaitych zasadach. Badania te pozwoliły poznać bardzo dokładnie sposób działania spoin, ich wytrzymałości i inne własności, pozwoliły określić ich jakość. Tym samym zaś przyczyniły się w wybitnym stopniu do tego ogromnego rozwoju spawania, jaki widzimy na całym świecie. Ponadto świadomość, że każdą spoinę można zbadać w ten czy inny sposób jest wybitną podniętą dla spawacza, który w konsekwencji, wiedząc o tej możliwości, starać się będzie o tym lepszą robotę.

Z drugiej strony jednak rzeczą zdrowego rozsądku inżyniera jest umieć określić, kiedy, w jakim zakresie i jakie próby zastosować. Przecież takich prób, jakie można wykonywać, a często i wykonywa się ze spoinami, nie przeprowadza się z żadną inną metodą połączeń, z żadnym innym materiałem konstrukcyjnym. Konstrukcyj nitowanych w ogóle się nie bada poza opukiwaniem młotkiem, które to opukiwanie ma znaczenie względne, a w stosunku do metod badania połączeń spawanych jest prymitywem. Konstrukcje żelazobetonowe bada się

jedynie w zakresie ograniczonym, kontrolując beton podczas wykonania; przez pobranie próbek z odpowiednich partii betonu (walce próbne, beleczki próbne, próby na opad); wady w wykonanym betonie wykryć można jedynie w bardzo ograniczonym zakresie, również przez opukiwanie. O ile zaś praca przy nitowaniu jest raczej mechaniczno-rzemieślnicza, o tyle wykonanie betonu zależy w ogromnym stopniu od indywidualnej pracy zespołu robotniczego, a raczej od majstra betoniarskiego, a w razie jego nieuwagi od tego, co nazywamy przypadkiem. W tych warunkach nie może być mowy o jednolitym i należyтым wykonaniu betonu. Często zdarza się, że na tejże budowie, w tymże miejscu, w tym samym elemencie konstrukcji jedna próba opadu da 5 cm, a druga 12 cm i sprawa wykrywa się dopiero potem. W tychże warunkach zdarza się, że jeden nit będzie siedział dobrze, a drugi zupełnie fałszywie i sprawa się nie wykrywa albo dopiero po latach. Pomimo to przy robotach tych kontrola wykonanej roboty nitowanej czy betonowej jest wyłącznie powierzchowna. Główny nacisk kładzie się na kontrolę prób betonu wykonywanych równoległe z betonowaniem danej konstrukcji, zatem prób pośrednich, a nie bezpośrednich. Konstrukcjom spawanym jednak stawia się wymogi pod względem kontroli największe, motywując to nowością metody i indywidualnymi rezultatami pracy robotnika, bardziej indywidualnymi niż w żelazobetonie. Jest w tym pewna doza słuszności i dlatego jest rzeczą wskazaną, by kontrola spawania była należyta. Stąd wymogi „Przepisów M. S. Wewn. dotyczących konstrukcyj spawanych z r. 1933”, by spawacze zatrudnieni przy wykonywaniu konstrukcyj spawanych byli kontrolowani co 6 miesięcy, oraz przed każdą większą budową, względnie na życzenie kierownika robót. W konstrukcjach budowlanych te ostatnie próby są główną i podstawową kontrolą robót spawalniczych.

Jednakże już wspomniane wyżej przepisy powiadają, że na żądanie kierownika robót powinna firma wykonywująca dostarczyć aparat do badania spoin. I słusznie. Kontrola taka jest wskazana, pozwala bowiem określić jakość spoiny już po jej wykonaniu, już nawet podczas funkcjonowania danej konstrukcji. Takiej możliwości nie dają inne konstrukcje, nitowane czy betonowe.

Konstrukcje spawane są zatem z punktu widzenia kontroli podwójnie bezpieczniejsze od nitowanych: spawacze są stale kontrolowani i można ich kontrolować zawsze, w każdej chwili — i to jest możliwość kontroli pośredniej podobnej jak w tamtych konstrukcjach — i poza tym można je jeszcze kontrolować po wykonaniu, w formie kontroli bezpośredniej — a tej możliwości inne metody wykonywania konstrukcyj inżynierskich praktycznie nie dają.

Mówiąc o sposobach badania spoin i o możliwościach tego badania, pragnę przestrzec przed zbytnią gorliwością w ich stosowaniu. Podstawą, na której powinno się oddawać budowy spawane, jest zaufanie, jest odpowiedzialność firmy, która roboty spawalnicze wykonywa. Im bardziej odpowiedzialna jest ta firma, im większe ma doświadczenie i wyposażenie, im lepsze kierownictwo, tym bardziej można jej zaufać. Im mniej odpowiedzialna, im ma mniejsze doświadczenie, wyposażenie, gorsze kierownictwo, tym bardziej trzeba wymagać kontroli i tym ostrzejszą zastosować. Przy przeciętnej robocie budowlanej, oddanej w ręce firmy poważnej i zaufania godnej, można nawet ograniczyć się do skontrolowania, kiedy spawacze byli badani i z jakim skutkiem, i zagwarantować sobie odpowiedni nadzór. Przy większej, wykonywać próby i skontrolować spoiny. Przy przeciętnej robocie, oddanej w ręce firmy mniej odpowiedzialnej, co z resztą bynajmniej nie jest wskazane, należy przekontrolować spoiny w jak

największej ilości i tu żądać bezwzględnie aparatów kontrolnych. Tak dyktuje doświadczenie i tak dyktuje zdrowy rozum.

W logicznej konsekwencji badania spoin mają znaczenie nie tylko kontrolne, ale i psychologiczne, nawet w znacznie większym stopniu psychologiczne. Możliwość skontrolowania jakości roboty spawacza (a na podstawie dziennika spawania można stwierdzić, który spawacz którą spoinę wykonał) jest tym czynnikiem, który działa nań w kierunku możliwego zwiększenia poprawności tej roboty. Nie chodzi bowiem o wykrycie każdego błędu danej spoiny. Chodzi o to, by były one dobre jako całość. Jeżeli kontrola prześwietli wszystkie spoiny i znajdzie w nich pewien procent błędów, to oczywiście każe się następnie błędy te usunąć. Ale, jeśli ich nie znajdzie — tak, jak nie znajduje się błędów wykonania połączeń nitowanych czy betonowych? To, o ile całość spoiny jest dobra, też nic się nie stanie. Stąd też chodzi o dobroć całości spoiny, a nie o jej dobroć w każdym milimetrze. Z reguły zaś wystarczają w budownictwie zupełnie próby „na wrywki”.

Z większą ostrożnością postępuje się przy konstrukcjach narażonych na wpływy dynamiczne, ale i tutaj przesada może się stać nieinżynierską drobiazgowością. I tu jednak obowiązuje zasada tym większej kontroli, im bardziej odpowiedzialna jest konstrukcja i im gorszej roboty można byłoby oczekiwać.

Badania pośrednie wytrzymałości spoin przeprowadza się metodami laboratoryjnymi, które obejmują: próby wytrzymałościowe różnego rodzaju (na rozrywanie, na zginanie, na ścinanie, na skręcanie, na wpływy dynamiczne), badanie odkształceń oraz badanie metalograficzne. Badania laboratoryjne służą w ogóle albo dla celów naukowo-badawczych, albo dla sprawdzenia jakości elektrod, względnie drutu, albo wreszcie dla skontrolowania

kwalifikacji spawaczy. W wyjątkowych wypadkach oddaje się do laboratoryjnego badania wycinki wykonanych konstrukcyj lub ich elementy. Badania bezpośrednie są to zarazem badania warsztatowe, w tym znaczeniu, że można je wykonywać tak w warsztacie, jak i na budowie.

W zakresie konstrukcyj inżynierskich sposoby badania pałeczek i spawaczy określiły wyżej wspomniane przepisy M. S. Wewn. W pracy tej ograniczam się więc do omówienia metod badań bezpośrednich (warsztatowych). Pisałem już o tym w r. 1934 w Przeglądzie Technicznym („Badania jakości połączeń spawanych”); omawiając je obecnie, pragnę uwzględnić postęp nauki w tym kierunku, jaki zaznaczył się w ciągu ostatnich czterech lat.

Badania warsztatowe możemy podzielić na trzy zasadnicze grupy:

- 1) badania zewnętrzne spoiny i wnioskowanie z wyglądu zewnętrznego o jej wytrzymałości;
- 2) badania wnętrza spoiny bez jej nacinania;
- 3) badania wnętrza spoiny przez jej lokalne nacięcie.

Poza tym specjalnie dla spoin wykonywanych łukiem elektrycznym istnieje metoda Flamma, która polega na rejestrowaniu wahań prądu roboczego i wnioskowaniu na tej podstawie o jakości spoiny. Różni się ona zasadniczo od innych tym, że badanie odbywa się nie na gotowej spoinie, lecz w toku spawania.

Badania zaliczone do grupy 1) możemy podzielić dalej w następujący sposób:

- a) badanie wyglądu zewnętrznego i kontrolowanie wymiarów
- b) badanie wytrzymałości spoiny na podstawie twardości Brinella

Badania grupy 2) obejmują metody

- a) badania stetoskopem,
- b) badania magnetograficzne (metoda Roux),

- c) badania elektryczne (metoda Sperry'ego),
- d) badania promieniami Roentgena,
- e) badania promieniami gamma,
- f) badania polaryskopem.

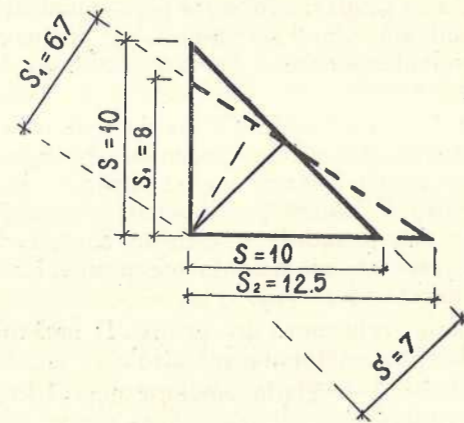
Badania grupy 3), tj. badania wnętrza spoiny przez jej miejscowe wycięcie, mogą być wykonane sposobami następującymi:

- a) nacięcie doraźne dłutem,
- b) wydrążenie miejscowe spoiny (sposobem Schmucklera).

I. Badania zewnętrzne spoin.

- a) Badanie wyglądu zewnętrznego.

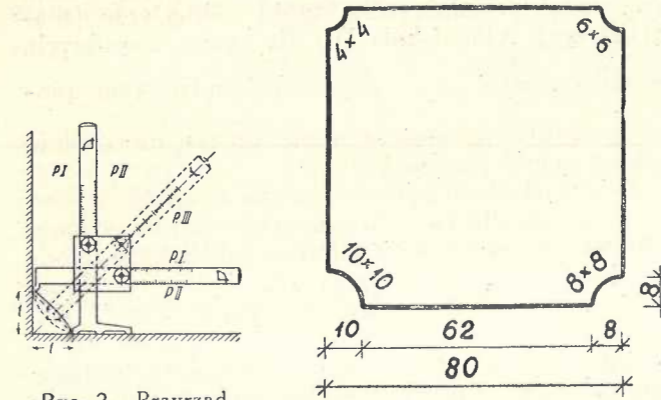
Wymiary spoin winny odpowiadać możliwie dokładnie obliczonym. Wymiary większe niż obli-



Rys. 1. Spoina równoramienna i nierównoramienna.

czne podnoszą niepotrzebne koszty wykonania, mniejsze — zmniejszają pewność połączenia. Również nie jest wskazane wykonywanie spoin pachwi-

nowych podłużnych o przekroju poprzecznym trójkąta nierównoramiennego, bo przez powiększenie jednego ramienia nie wiele zmienia się wysokość trójkąta, która wedle przepisów jest miarodajna dla określenia wytrzymałości spoiny (rys. 1).



Rys. 2. Przyrząd Schmucklera.

Rys. 2a. Blaszka do kontroli spoin.

Spoiny wykonywa się zwykle z pewną wypukłością, której jednak przepisy nie pozwalają wliczać do przekroju. Spotykamy jednak coraz częściej także spoiny w całości lub częściowo wklęsłe, które dają bardziej płynne przejście pomiędzy łączonymi elementami. Na podstawie najnowszych doświadczeń stwierdzono, że płynne przejścia przyczyniają się do zwiększenia wytrzymałości konstrukcji zwłaszcza na zmęczenie.

Do mierzenia grubości spoiny używany jest w Niemczech przyrząd Schmucklera (rys. 2), za pomocą którego można pomierzyć wszystkie jej wymiary poprzeczne. Przyrząd składa się z trzech linijek, z których dwie są do siebie prostopadłe, a trzecia jest skierowana po dwusiecznej. Po ustawieniu przyrządu na spoinie i nastawieniu podziałek, dokręca się śrubkę każdej linijki i odczytuje wymiary. Wszystkie trzy linijki mają po dwie skale; podziałka pionowa

i pozioma mają skale dla s (skala I) oraz dla $s' = \frac{s}{\sqrt{2}}$ (skala II); — dla spoin równobocznych obie linijki powinny dać jednakowe wyniki — zaś linijka trzecia, umieszczona pod kątem 45° do obu poprzednich, ma skalę przednią dla spoin wklęsłych (skala III) oraz tylną (skala IV) dla spoin wypukłych. Jeżeli wartość $s' = \frac{s}{\sqrt{2}}$, mierzona podziałkami pionową i poziomą, wypada różna, należy uwzględnić tylko wartość mniejszą.

Zamiast tego aparatu można z wystarczającą dokładnością stosować do pomiaru spoin blaszki kwadratowe o ściętych narożach (rys. 2a). Ścięcia te odpowiadają wielkością poszczególnym wymiarom spoin i nałożone na nie pozwalają ocenić, jaki spoina ma przekrój.

Wygląd zewnętrzny spoiny świadczy o wprawie spawacza. Spoina powinna być gładka, dobrze i gładko stopiona z materiałem, nie przyklepiona, słoje powinny się znajdować w regularnych odstępach od siebie, miejsca nadpalone mogą być tylko na początku i ewentualnie na końcu spoiny (kraterzy) i to w miejscach najmniej narażonych na działanie sił. Również naloty wzdłuż spoiny o różnym zabarwieniu służą do wnioskowania o stanie wewnętrznym spoiny, szczególnie odnośnie do przegrzania. W ten sposób można wykryć grubsze błędy. Jednakowoż wnioskowanie o wytrzymałości danej spoiny na podstawie samego wyglądu jest niepewne. Należy nadto pamiętać, że rozmaite palczki dają spoiny o rozmaitym wyglądzie.

b) Badanie na podstawie twardości.

Według Brinella twardość metalu wyraża się wzorem:

$$T = \frac{P}{\frac{D}{2}(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

gdzie P oznacza obciążenie w kg, D średnicę kulki naciskającej, a d średnicę wgłębienia, powstałego w materiale pod wpływem nacisku kulki o średnicy D . Zależność pomiędzy wytrzymałością na rozciąganie a twardością stali węglowych ujęta jest we wzór empiryczny:

$$R_r = 0,35 T, \text{ czyli } \frac{R_r}{T} = 0,35.$$

Błędy przy wyznaczaniu wartości R_r na podstawie powyższych równań mieszczą się w granicach 5%. Dokładność więc jest stosunkowo bardzo duża.

W ostatnich czasach używa się tej metody do badania spoin. Według Zimma, stosunek $\frac{R_r}{T}$ dla spoiny acetylenowej wynosi 0,26. Według doświadczeń polskich współczynnik ten wynosi 0,32 — 0,33. Średnio można przyjmować 0,30 i to zarówno dla spoin acetylenowych jak i elektrycznych.

Otrzymane w powyższy sposób wartości R_r ważne są jednak tylko dla badanego miejsca na powierzchni, natomiast nie uwzględniają błędów wewnętrznych spoiny, które mogą wybitnie obniżyć przeciętną wytrzymałość połączenia. Z tego powodu sposób ten może mieć zastosowanie tylko wtedy, gdy jednocześnie przeprowadza się badanie sposobem innym, pozwalającym wejrzeć we wnętrze spoiny.

2. Badania wewnętrzne spoin bez ich nacinania.

a) Metoda stetoskopowa.

Kontrolowanie jakości materiałów lub wyrobów za pomocą dźwięku wydawanego przy uderzeniach znane jest w różnych dziedzinach techniki. Dźwięk czysty o tonie wysokim świadczy o do-

broci wyrobu, natomiast głos niski, głuchy, bezdźwięczny wskazuje na wadliwość badanego przedmiotu.

Do badania dźwiękowego spoin używa się tzw. stetoskopu (rys. 3). Przyrząd ten składa się z muszli (chwytacza dźwięków), przewodu wężo-



Rys. 3. Stetoskop.

wego (najczęściej gumowego) i słuchawek. Do badania spoin można używać tylko muszli gumowej. Po nałożeniu jej na spoinę, uderzamy młotkiem, przy czym ważne jest należyte pochwycenie pierwszego dźwięku z uwagi na to, że wkrótce po uderzeniu drganie udziela się całej konstrukcji, a dźwięki stąd powstałe są odgłosem rezonansu całości. Przez porównywanie dźwięków w różnych miejscach spoiny można stwierdzić, które miejsce jest najsłabsze. Siła uderzeń zależna jest od grubości blachy i od rodzaju konstrukcji.

Przy badaniu spoin w warsztatach należy baczyć na szczelne odizolowanie ucha od fal głosowych nie wywołanych przez badaną spoinę, a muszla powinna przylegać szczelnie do miejsca badanego. Zdarza się czasem, że po opukaniu dochodzimy mylnie do wniosku, jakoby istniały dwie pory w spoinie, i to w bardzo bliskiej odległości od siebie, gdy tymczasem wycięcie spoiny przekona nas o istnieniu tylko jednej, i to w środku pomiędzy obydwoma rzekomo stwierdzonymi poprzednio.

Za pomocą tej metody udawało się stwierdzić już błędy, z powodu których wytrzymałość spoiny byłaby obniżona o 10%.

b) Metoda magnetograficzna.

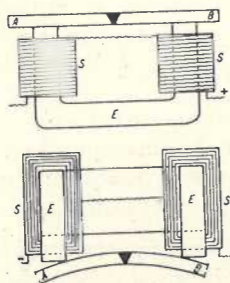
Metoda ta polega na następującym zjawisku: jeżeli w polu magnetycznym rozsiejemy drobne opiłki stalowe, to skupią się one w tych miejscach, w których opór magnetyczny jest największy. Wygląda to tak, jak gdyby opiłki starały się zmniejszyć ten opór i wyrównać go we wszystkich punktach pola.

W materiale jednorodnym, o jednakowej grubości, opór jest wszędzie jednakowy, a przeto opiłki układają się regularnie i równo na całej badanej powierzchni. Na omiast wszelkie gęstsze skupienia opiłek są oznaką większego w tym miejscu oporu, który świadczy o błędach materiału, np. o mniejszej grubości, porach, nagromadzeniu tlenków itp.

Na dobrze wykonanej spoinie obserwujemy zwykle rozrzedzenie opiłek, gdyż spoina mająca kształt lekko wypukły, dzięki zwiększonej grubości, stanowi mniejszy opór niż materiał elementów łączonych.

Do badań magnetograficznych używać można magnesu zwykłego, stałego lub lepiej elektromagnesu, w kształcie podkowy o rozwarości 80—100 mm.

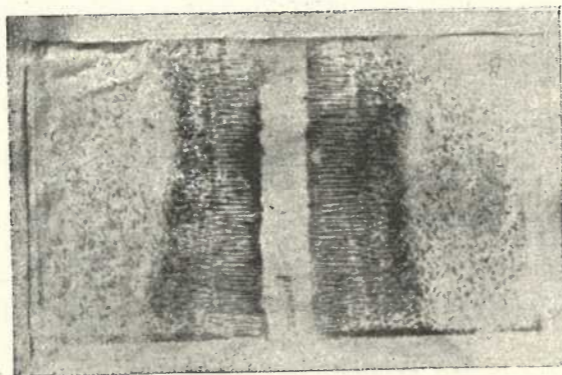
Do wywołania pola magnetycznego najwygodniej używać prądu z sieci. Podczas badań elektromagnes ustawiamy poprzecznie do spoiny i to w ten sposób, że cewki (bieguny) znajdują się po przeciwległych stronach spoiny (rys. 4).



Rys. 4. Ustawienie elektromagnesu.

Użyte do badań opiłki stalowe powinny być jak najdrobniejsze. Celem uzyskania wyraźnego obrazu układania się opiłek stalowych można przykryć spoinę białą bibulką lub też powlec ją kredą. Wskazane jest to zwłaszcza wtedy, gdy robimy zdjęcie fotograficzne. Opiłki najlepiej nałożyć za pomocą specjalnego rozpylacza.

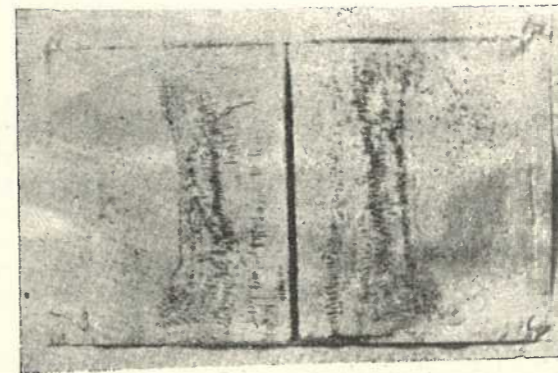
Jeżeli spoina jest dobra, opiłki układają się regularnie po obu jej stronach. Na kraterach natomiast gromadzą się opiłki, tworząc pasma lub pla-



Rys. 5. Dobra spoina z pasemkiem opiłek na kraterze.

my na czystej powierzchni spoiny (rys. 5). Pochodzi to stąd, że kratery zawierają dużo por, gdyż z powodu szybkiego stygnięcia gazy nie mają czasu wydostać się na powierzchnię, a na zewnątrz posiadają lejkowate wgłębienie, zwiększające również opór magnetyczny.

Bardzo wyraźnie uwidocznia się brak wtopienia u nasady spoiny, to jest przy spoinach V u dołu, a przy spoinach X w środku grubości blachy. Wtedy bowiem, z powodu zmniejszenia grubości spoiny zwiększa się w tym miejscu raptownie opór i opiłki tworzą ciemną smugę na środku spoiny (rys. 6).

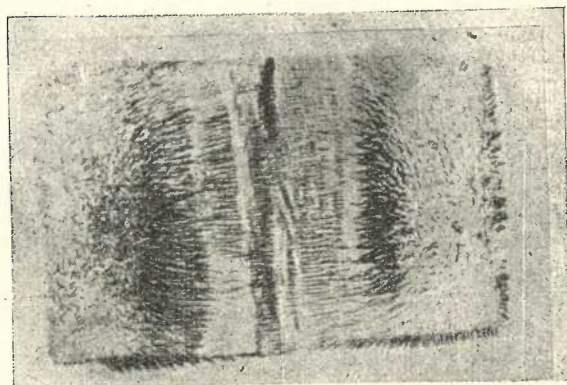


Rys. 6. Brak stopienia u nasady.

Zanieczyszczenie spoiny żużłem powoduje zniekształcenie układu opiłek, widoczne na rys. 7.

Metoda ta została wprowadzona przez A. R o u x w roku 1927 w Paryżu, a obecnie wobec taniej aparatury dosyć się rozpowszechnia. W podobny

sposób wykrywano już dawno przedtem istnienie rys w metalach.



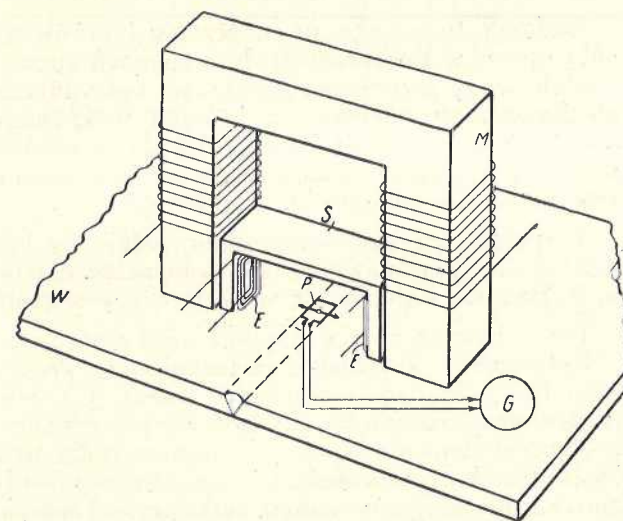
Rys. 7. Zanieczyszczenie żużlem.

Obrazy magnetyczne mogą być zniekształcone również przez istniejące w spoinie naprężenia, które, jak wiadomo, wywierają wpływ na przenikalność magnetyczną. Jednakże w ostatnich czasach czyni się już doświadczenia, które mają na celu usunięcie wpływu naprężeń na przenikalność magnetyczną, a to przez zmianę natężenia pola magnetycznego.

Badania magnetograficzne mogą oddać wielkie usługi w laboratoriach, warsztatach, natomiast trudno sobie wyobrazić użycie tej metody na otwartej budowie przy zmiennych warunkach atmosferycznych.

Pewną odmianę metody Roux stanowi badanie przy pomocy pyłu magnetycznego. Do wytwarzania pola magnetycznego nie używa się magnesu, względnie elektromagnesu, lecz przeprowadza się przez badany element spoiny prąd elektryczny o dużym natężeniu, który wytwarza tzw.

pierścieniowe pole magnetyczne. Spoinę powleka się pyłem stalowym wymieszanym z olejem; ma to na celu ułatwienie równomiernego nałożenia pyłu na spoinie oraz zmniejszenie oporów ruchu pyłków, ponadto pył zmieszany z olejem utrzymuje się nawet na sufitowej spoinie. Najkorzystniejszym do wytwarzania silnego pola magnetycznego okazał się prąd zmienny. Przyrząd do badania waży zaledwo 16 kg; elektrody umieszczone na końcach kabla przykłada się w odstępach co najwyżej 15 cm do oczyszczonych miejsc spoiny.



Rys. 8. Przyrząd magnetograficzny bez opitek.

Dla warunków budowlanych lepiej nadaje się aparat pracujący bez opitek. Działanie tego aparatu, przedstawionego schematycznie na rys. 8, polega na następującej zasadzie: Jeżeli w spoinie są błędy zmniejszające przenikalność magnetyczną materiału, jak np. pory, bańki powietrzne, wtrącenia

BIBLIOTEKA
V. Y. S.
ARCHIWUM

niemetaliczne itp., to strumień magnetyczny, wzbudzany elektromagnesem, przepływający przez badany przedmiot, rozdziela się w tym miejscu i występuje na zewnątrz. Wtedy znajdująca się nad spoiną cewka P, poruszana tam i z powrotem w kierunku strzałek, przecina rozdzielone linje magnetyczne, skutkiem czego powstaje w niej przez indukcję siła elektromagnetyczna, którą wykrywamy przy pomocy galwanometru *G* lub przyrządów rejestrujących.

c) Badanie elektryczne spoin.

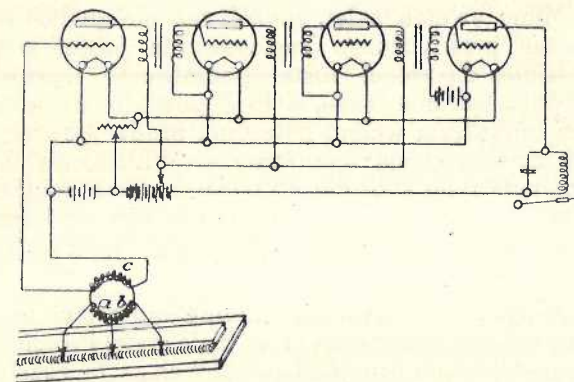
Badanie to polega na mierzeniu i porównywaniu oporu w poszczególnych odcinkach spoiny. Wszelkie wady wykonania zwiększają opór. Można wnioskować, że odcinki, na których wykryjemy większy opór, zawierają błędy. Metoda ta pochodzi od E. A. Sperry'ego z Ameryki i została wynaleziona dla badania szyn stalowych.

Przyrząd przystosowany odpowiednio do badania spoin przedstawiony jest schematycznie na rys. 9. Badanie odbywa się w następujący sposób:

Przez badaną spoinę przepuszczamy prąd stały, wytworzony z jakiegoś pomocniczego źródła prądu. Dla dokładności pomiarów ważne jest, aby w czasie pomiaru natężenie prądu się nie zmieniało. Wzdłuż badanej spoiny przesuwają się trzy szczotki (macki) rozstawione w równej od siebie odległości i pozostające w stałym zetknięciu ze spoiną. W wypadku idealnego wykonania spoiny napięcie pomiędzy pierwszą i drugą szczotką będzie takie samo, jak pomiędzy szczotką drugą a trzecią. Jeżeli zaś napięcia się różnią, to odcinek wykazujący większą różnicę potencjałów, jest gorszy, niż sąsiadujący z nim drugi odcinek międzyszczotkowy.

Macki (szczotki) połączone są z dwiema cewkami *a*, *b*, o jednakowej liczbie zwojów, nawiniętymi na rdzeniu transformatora w przeciwnych kie-

runkach. Działanie magnetyczne prądu przepływającego przez obie cewki równoważy się wzajemnie, ponieważ amperozwoje obu cewek działają magnetycznie przeciw sobie. W wypadku idealnie dobrego materiału spoiny w każdym położeniu szczotek, amperozwoje jednej cewki kompensują całkowicie amperozwoje drugiej cewki (równe napięcie między mackami — równe natężenie prądu w cewkach).



Rys. 9. Przyrząd do elektrycznego badania spoin.

W wypadku zaś niejednolitego materiału spoiny, amperozwoje jednej cewki mogą przeważać nad drugimi, czyli powstaną w działaniu elektrycznym wypadkowe amperozwoje (nierówne napięcia między szczotkami — nierówne prądy), wytwarzające w rdzeniu strumień magnetyczny. Jasną jest rzeczą, że strumień ten w czasie przesuwania się szczotek (macek) wzdłuż spoiny ulega zmianie (skutkiem niejednostajności materiału), wskutek czego w uzwojeniu wtórnym *c* transformatora indukuje się napięcie, którego wielkość zależy od niejednolitości spoin. Napięcie to jest bardzo małe i, aby mogło dać impuls systemowi wskaźnikowemu, musi być wzmacnione za pomocą wzmacniaczy ni-

skiej częstotliwości. To wzmocnione napięcie posyła dopiero prąd, uruchamiający system wskaźnikowy.

Przyrząd jest wyposażony również w urządzenie rejestrujące odchylenia wskazówek oraz rozpylacz farby, która samoczynnie pokrywa wadliwe odcinki spoiny. Zależnie od żądanej dokładności badania można odpowiednio regulować aparat rejestracyjny.

Mimo swoich zalet, sposób ten nie znalazł dotychczas praktycznego zastosowania nawet w tej dziedzinie, do której został początkowo wprowadzony, tj. badania szyn, a to z powodu niemożności uniknięcia wahań natężenia prądu głównego, które zniekształcają wskazania amplifikatorów. Zastosowanie tego sposobu do badania spoin połączone jest z całym szeregiem dodatkowych trudności.

d) Badanie za pomocą promieni Roentgena.

Metoda ta polega na przenikaniu promieni X, czyli promieni Roentgena przez ciała stałe. Promienie te są podobne do promieni świetlnych, z tą różnicą, że fale ich są znacznie krótsze. Ponadto promienie Roentgena, przechodząc przez materię, w przeciwieństwie do promieni świetlnych, nie podlegają prawie wcale załamaniu i przebiegają praktycznie biorąc po linii prostej. Długość fal świetlnych promieni czerwonych wynosi $8 \cdot 10^{-4}$ mm, promieni fioletowych $4 \cdot 10^{-4}$ mm, natomiast długość fal promieni Roentgena waha się w granicach pomiędzy 10^{-6} a 10^{-7} mm.

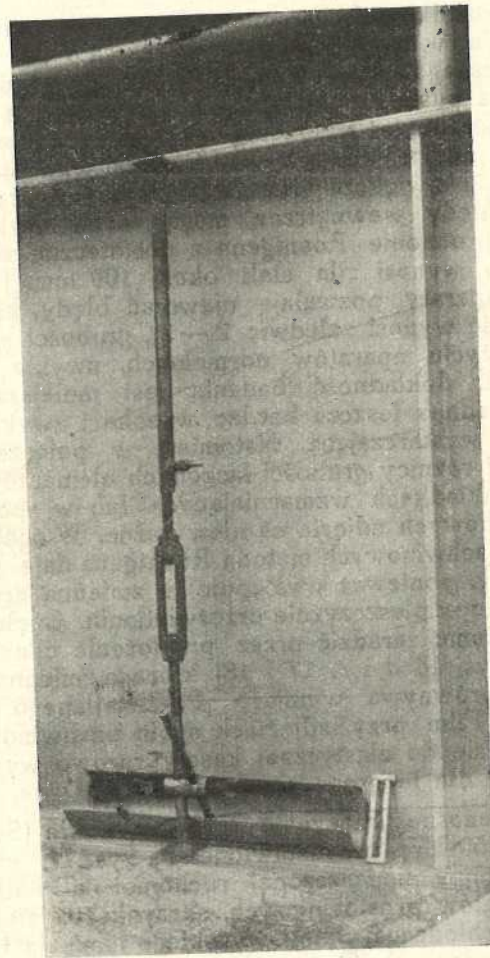
Badanie za pomocą promieni Roentgena jest połączone z niebezpieczeństwem dla badającego, gdyż promienie te rozkładają tkanki organiczne, a poparzenie stąd powstałe leczy się z wielką trudnością. Szkodliwe są nie tylko jednorazowe duże dawki, lecz nawet bardzo małe często powtarzane, gdyż działanie ich akumuluje się w organizmie żyjącym. Do ochrony przed działaniem promieni X uży-

wamy ołowiu, który jak wiadomo odznacza się bardzo małą przepuszczalnością. Jako dostateczne zabezpieczenie uważa się płytę ołowianą o grubości około 4 mm.

Przenikliwość promieni Roentgena zależy od napięcia w rurach roentgenowskich i od składu chemicznego ciała, które ma być prześwietlone. Miejsca puste w spoinie stawiają promieniom mniejszy opór, to też wypadają na negatywie ciemniejsze od miejsc, których struktura jest jednolita, bezbłędna. Największa grubość blach (spoin), przy których błędy wewnętrzne mogą zostać wykazane przez promienie Roentgena z dostateczną wyrazistością, wynosi dla stali około 100 mm. Bardzo silne aparaty pozwalają ujawniać błędy, których wielkość wynosi zaledwie 2 — 3% grubości spoiny. Przy użyciu aparatów normalnych, zwykle stosowanych, dokładność badania jest mniejsza, nie mniej jednak jeszcze bardzo wysoka i zwykle zupełnie wystarczająca. Natomiast w połączeniach o dużej różnicy grubości łączonych elementów np. przy nakładkach wzmacniających lub w spoinach pachwinowych zdjęcia są niewyraźne. W ogóle dla spoin pachwinowych metoda Roentgena daje gorsze rezultaty, ponieważ występuje tu zmienna grubość materiału w płaszczyźnie prześwietlania. Częściowo można temu zaradzić przez przyłożenie cynowego klinu (rys. 14 d i e, 17 i 18), którego zmienna grubość wyrównywa wymiary prześwietlanego połączenia. Film przy zdjęciach spoin pachwinowych wkłada się do elastycznej kasety rurowo wygiętej (rys. 10) dla lepszego przylegania.

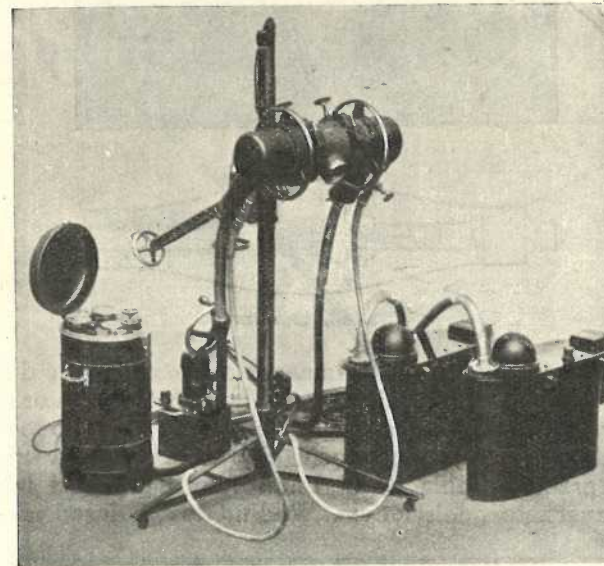
Przenośne urządzenie Roentgenowskie (Seifert Isolux 250 kV) przedstawione na rys. 11, składa się z lampy umieszczonej ruchomo na statywie, 2 agregatów prostowniczych, skrzynki rozdzielczej, pompy chłodzącej, kabli wysokiego napięcia i węzłów chłodzących. Tego rodzaju urządzenie jest do- godniejsze w użyciu niż aparaty zespołowe, ponie-

waż poszczególne części o małej stosunkowo wadze mogą być przenoszone oddzielnie przez 1 — 2 ludzi bez większego wysiłku. Niezależnie od tego



Rys. 10. Kasetka wygięta dla spoin pachwinowych.

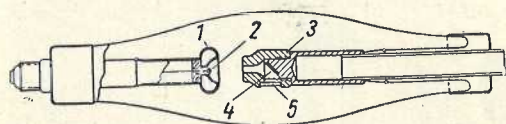
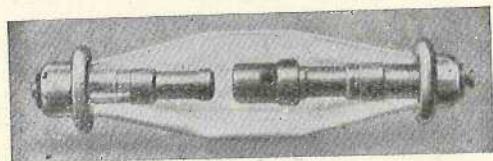
statyw pozwalający na wykonanie 6 ruchów (3 posuwu i 3 obroty) bez ruszania z miejsca podstawy oraz długie kable dają aparaturze duży zasięg bez przenoszenia. Ponadto ten podział aparatury na części uniezależnia jej montaż od ewentualnej ciasnoty rozporządzalnego miejsca.



Rys. 11. Urządzenie Roentgenowskie przenośne.

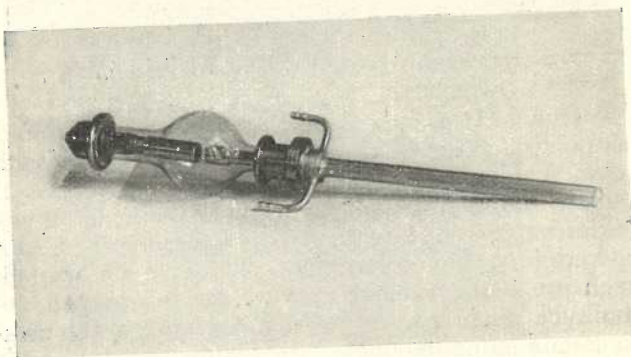
Rys. 12 przedstawia w przekroju i widoku lampę Roentgenowską przystosowaną do badania spoin. Lampę umieszcza się w widocznej na rys. 11 osłonie pełnoochronnej, zabezpieczającej przed wysokim napięciem i w znacznej mierze przed bezpośrednim promieniowaniem. W pewnych wypadkach np. przy badaniu kotłów, rur lub trudno dostępnych spoin pachwinowych stosuje się tak zwaną lampę jednobiegunową przedstawioną na rys. 13. Metodą Roentgena można wykryć wszystkie

błędy spoiny, ale pod warunkiem prześwietlenia jej przynajmniej w 2 należycie obranych kierunkach. Tylko bowiem błędy trójwymiarowe, jak pory i wrosty żużla, występują wyraźnie na każdym pojedynczym zdjęciu, gdyż przy dowolnym kie-



Rys. 12. Lampa.

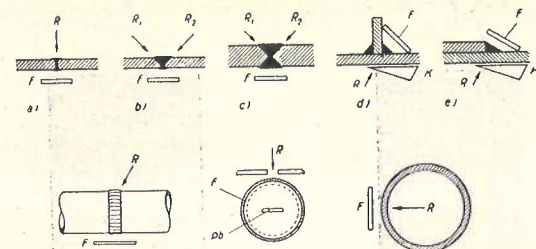
runku promień natrafia zawsze na dostatecznie duży wymiar błędu. Natomiast błędy wtopienia oraz rysy są zasadniczo dwuwymiarowe i z tego powodu występują na zdjęciu wyraźnie tylko w razie prześwietlenia w kierunku ich głębokości lub nieznacznie odchylonym. Według doświadczeń nie-



Rys. 13. Lampa jednobiegunowa.

mieckich odchylenie to dla wąskiej rysy nie powinno przekraczać 5 do 10°.

Praktyczne wskazówki co do pożądanego kierunku zdjęć daje rys. 14, na którym pod *b* i *c* pokazano dla spoin V i X po dwa kierunki wzdłuż płaszczyzn wtopienia. Jeszcze pewniejsze wyniki dałoby prześwietlenie w 3 kierunkach, przy czym trzeci kierunek pośredni między wyżej wskazanymi służyłoby do wykrycia błędów wtopienia u nasady oraz rys w środku spoiny.

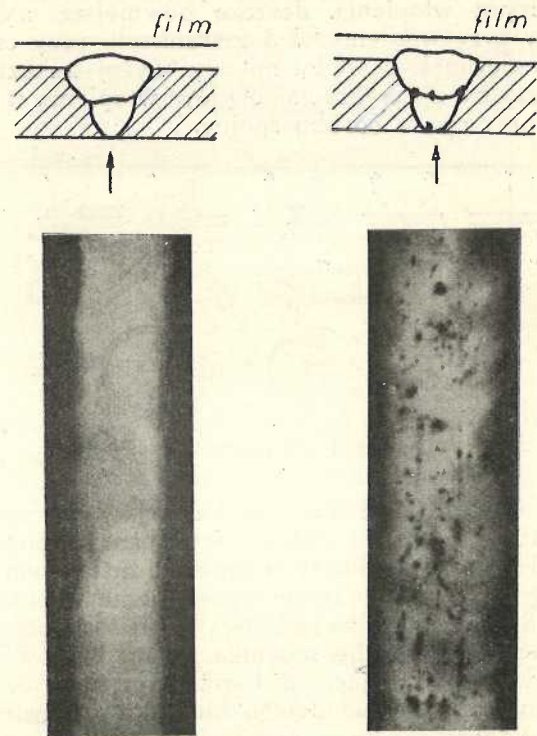


Rys. 14. Kierunki właściwego prześwietlania.

Na rys. 15—18 widać kilka negatywów spoin. Rys. 15 przedstawia dobrze wykonaną spoinę V, rys. 16—spoinę V z licznymi wrostami żużla, rys. 17—spoinę czołową z brakiem przetopienia w środku, rys. 18—spoinę pachwinową z niedostatecznym wtopieniem w blachę środkową. Obraz błędów jest na powyższych zdjęciach bardzo wyraźny dzięki zastosowaniu odpowiedniego kierunku prześwietlania uwidocznionego na przekrojach spoin. Na ogół sporządzenie wyraźnych zdjęć nie jest rzeczą łatwą.

W ogóle właściwa ocena wartości spoiny, na podstawie dobrych nawet zdjęć roentgenowskich, jest bardzo trudna. W Niemczech badano wytrzymałość prześwietlonych spoin, aby ustalić związek między obrazem spoiny i jej wytrzymałością. Z doświadczeń Wallmana (Archiv für das Eisenhüttenwesen z grudnia 1934 r.) wynika,

że nieraz słabo widoczne błędy są niebezpieczniejsze od wyraźniejszych. Tak np. pory, zwłaszcza drobne, nawet bardzo liczne, lecz nieregularnie rozsiane, są na ogół nieszkodliwe, chociaż na zdjęciu

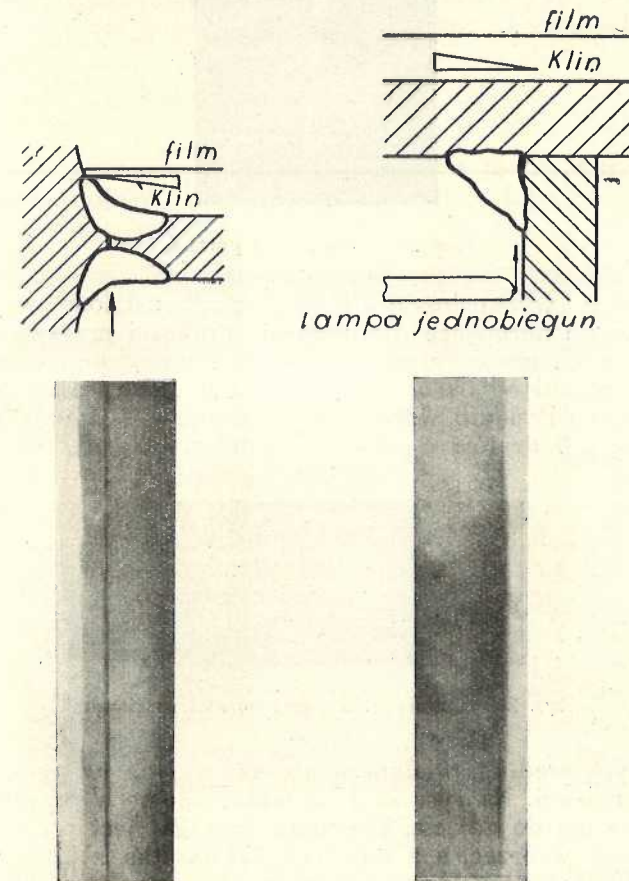


Rys. 15. Negatyw spoiny na V poprawnie wykonanej.

Rys. 16. Negatyw spoiny na V z żużlem.

występują jaskrawo. To samo dotyczy drobnych wrostów żużla. Natomiast niebezpieczne są błędy wtopienia i rysy występujące na zdjęciach mniej wyraźnie. Znaczniejsze osłabienie spoiny wywołują

również pory lub wrosty nieliczne, lecz uszeregowane w jedną linię. Spoina na rys. 19 z trzema porami w jednym szeregu wykazała wytrzymałość 28 kg/mm², zaś spoina na rys. 20, z licznymi drobnymi porami wytrzymałość 43 kg/mm².



Rys. 17. Negatyw spoiny czołowej na I, niedostatecznie przetopionej.

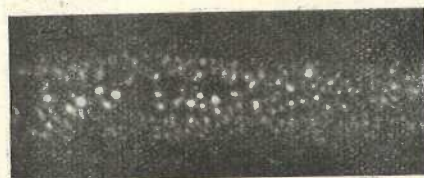
Rys. 18. Negatyw spoiny pachwinowej niedostatecznie wtopionej.

Dla należytej oceny jakości spoin ważne jest jednolite sporządzanie zdjęć—tak, aby analogiczne błędy na różnych zdjęciach występowały z jedna-



Rys. 19. Spoina z 3 porami.

kową wyrazistością. W Niemczech ustalono wytyczne normujące dla różnych grubości prześwietlanych części: napięcie w lampie, odległość źródła promieni od badanego przedmiotu i czas naświetlania. Ponadto wprowadzono wzorzec, składający się z 7 drutów o różnych średnicach uszeregowan-



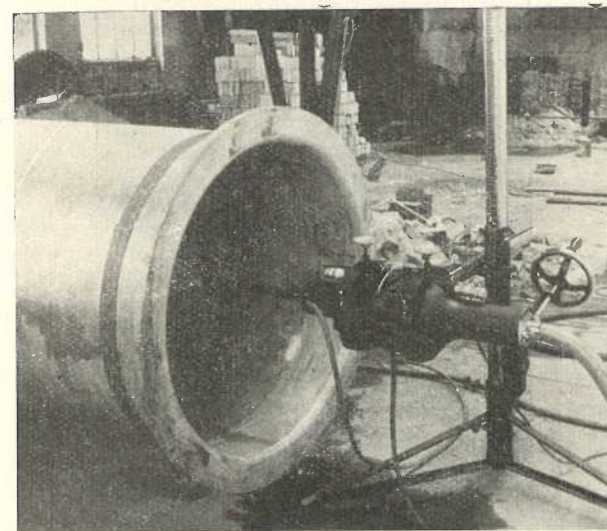
Rys. 20. Spoina z licznymi porami rozsianymi.

nych według wielkości, umieszczonych w płytce gumowej. Na rys. 21 i 22 widać spoinę V przygotowaną do zdjęcia. Z przodu (rys. 21) jest przyłożony wzorzec, a z tyłu (rys. 22) kasetka z filmem. Według ilości drutów wzorca widocznych na zdjęciu ocenia się dokładność zdjęcia, przy czym porównywane zdjęcia powinny mieć jednakową dokładność.

Koszt zdjęć Roentgenowskich jest stosunkowo duży. Przede wszystkim kosztowna jest sama aparatura. Również wykonanie zdjęć jest dość drogie. Koszt jednego zdjęcia wynosi 1,50 zł licząc amortyzację aparatury oraz koszty bieżące: wynagrodzenie personelu, prąd, materiał fotograficzny itd., przy czym ilość prześwietleń na godzinę może wynosić:

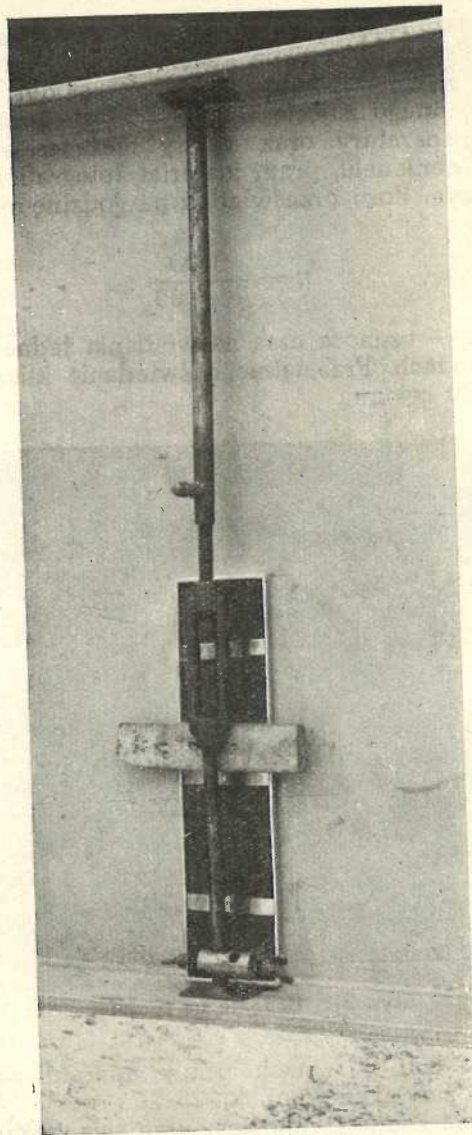
$$n = \frac{3600}{p + 60}$$

gdzie p — oznacza czas naświetlania jednej kliszy w sekundach. Przeciętnie naświetlanie kliszy trwa około 90 sekund.



Rys. 21. Badanie na spoinie.

Przy 800 godzinach pracy aparatu rocznie, koszt godziny wynosi około 25 zł. Pewne zmniejszenie kosztu zdjęcia można uzy-



Rys. 22. Kasetka z filmem.

skąć przez zastosowanie wzmacniaczy. Są to drobnoziarniste cienkie ekrany świecące, którymi obejmujemy naświetlany film z obu stron. Przy zastosowaniu wzmacniaczy skraca się wydatnie czas naświetlania, jednak kosztem ostrości obrazu zwłaszcza przy mniejszych grubościach blach. Według B. Bertholda najkorzystniej jest do 10 mm grubości robić zdjęcia bez wzmacniaczy, od 10 do 35 mm z wzmacniaczami ostrokreslnymi (słabymi), powyżej 35 mm z wzmacniaczami silnymi.

e) Badania promieniami gamma.

Ciała radioaktywne wysyłają w przestrzeń promienie. Rad wysyła — jak wiadomo — trzy rodzaje promieni, które oznaczamy jako promienie α β γ . Z tych trzech rodzajów promieni, promienie α mają ładunek dodatni, promienie β ładunek ujemny, zaś promienie γ nie reagują na wpływ pola magnetycznego. Zachowanie się tych promieni jest podobne do promieni Roentgena. Długość ich fali jest jeszcze mniejsza, przenikliwość zaś odpowiednio znacznie większa (około 100 razy) niż przenikliwość promieni Roentgena.

Te własności promieni gamma spowodowały, że zaczęto je w ostatnich czasach stosować do badania blach, dźwigarów, odlewów i spoin. Badanie odbywa się podobnie jak przy pomocy promieni Roentgena. Dokładność badania jest bardzo znaczna.

Urządzenie do badań składa się z ampulki z ciałem radioczynnym i kasetki z filmem oraz blaszkami ołowiu, spełniającymi rolę filtrów. Ampulkę ustawia się z jednej strony badanego przedmiotu, a kasetkę z drugiej. Jeżeli wada blachy badanej znajduje się po stronie źródła promieniowania, to jest widoczna na zdjęciu, o ile stanowi ponad 4% grubości blachy, jeżeli zaś wada znajduje się w blasze po stronie odbitki, to można ją uchwycić już, gdy zajmuje zaledwie 2% grubości blachy. Przeciwnie można przyjąć, że w blasze o grubości

100 mm dadzą się odkryć wszystkie błędy i pory od 3 mm wzwyż, co w praktyce zupełnie wystarcza.

Czas, w ciągu którego można uzyskać wyraźne zdjęcie, zależy od ilości substancji radioczynnej, od grubości badanego przedmiotu i od odległości a przedmiotu od źródła promieni. Na wykonanie zdjęć zazwyczaj przeznaczają się okres normalnej przerwy pracy na budowie, wynoszący około 15 godzin (od 4 popołudniu do 7 rano).

Poniższa tabelka podaje potrzebne ilości radu w mg w zależności od grubości badanego przedmiotu i od odległości a .

Tabelka.

Grubość blachy mm	O d l e g ł o ś ć a			
	300	450	600	750
25	5,3	12,0	21,3	33,3
50	12,6	28,3	50,3	78,6
75	29,3	66,0	117,3	183,3
100	63,0	141,6	251,6	393,1
125	132,5	298,2	530,0	828,1
150	296,5	666,6	1185,0	1852,0

Ze względu na niepomiarne wysoką cenę radu stosowanie tej metody w praktyce jest uzależnione od powstania instytucji, któraby wypożyczała rad do tego rodzaju badań.

Zamiast radu można używać emanacji radowych. Wtedy odpada ryzyko, połączone z przeniesieniem tak kosztownego środka, jakim jest rad. Ponieważ emanacje rozpraszają się stosunkowo szybko, tracąc w ciągu 4 dni około połowy swojej energii promieniowania, przeto czas naświetlania musi być zazwyczaj dłuższy, niż przy stosowaniu radu.

Na rys. 23 podane jest zdjęcie przedmiotu badanego promieniami gamma.

f) Badania polaryskopem.

Polaryskop jest to przyrząd składający się z systemu soczewek, płyt szklanych i pryzmatu.



Rys. 23. Zdjęcie promieniami gamma.

Promienie świetlne, przechodząc przez soczewki i pryzmat po odpowiednim załamaniu na płycie szklanej, odbijają się na reflektorze i po ponownym przejściu przez soczewki i pryzmat dają obraz rzucony na ekran, względnie fotografię, jeśli zamiast ekranu zastosujemy płytę fotograficzną.

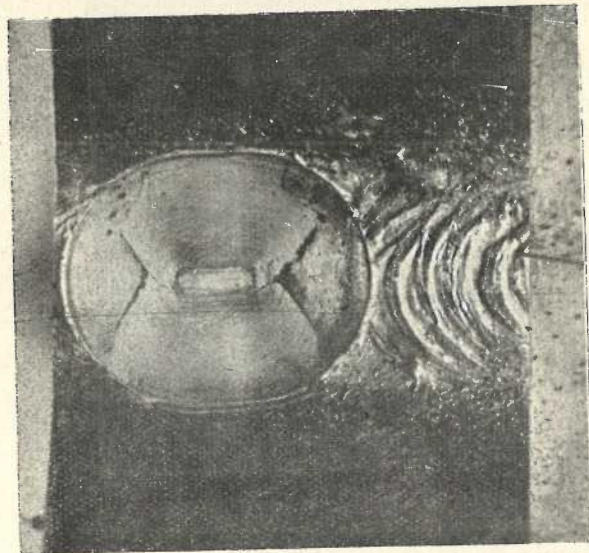
Na obrazie tym są widoczne wady połączenia.

Do badań stosuje się nowy typ polaryskopu, skonstruowany przez amerykańskiego inżyniera Mindlina.

Metoda ta jest obecnie dopiero w stadium prób początkowych. Szczegółowo jest opisana w czasopiśmie „Engineering News Record” z listopada roku 1933.

3. Badania z nacięciem spoiny.

a) Nacięcie spoiny za pomocą dłuta pozwala już do pewnego stopnia wejrzeć w głąb spoiny i stwierdzić niektóre błędy wyko-



Rys. 24. Wydrążanie spoiny.

nia. Jednakowoż sposób ten nie daje zadowalających wyników z uwagi na to, że powierzchnia ścięta nigdy nie jest tak gładka, ażeby można dostrzec drobne pory w samej spoinie, jak i zanieczyszczenia pomiędzy poszczególnymi warstwami.

b) Nawiercanie spoiny.

Sposób ten polega na miejscowym nawiercaniu spoiny aż do nasady, oraz wytrawieniu miejsca wydrążonego. Przyrząd, służący do tego celu, skonstruowany przez Schmucklera składa się z małego silnika elektrycznego lub benzynowego

i giętkiego wałka zaopatrzonego we frez stożkowy do wydrążania spoin. Aparat wydrąża otwór aż do nasady spoiny; długość wydrążenia wynosi około 6 mm. Powierzchnia wydrążenia jest gładka i gołym okiem można dostrzec błędy wykonania jak przepalenia, pory powstałe pod działaniem gazu, rysy, brak wtopienia, jak również niedostateczne wtopienie u nasady spoiny. Chcąc jednak otrzymać dokładny obraz wtopienia, należy wydrążony otwór wypolerować (za pomocą specjalnej polerki nasadzonej na wałek), oraz poddać powierzchnię wypolerowaną działaniu chlorku miedzano-amonowego. Widok wydrążonej spoiny po wytrawieniu przedstawia rys. 24.

Badanie spoin najlepiej skutecznie w miejscach, w których spoina jest najmniej narażona na działanie sił wewnętrznych (np. przy stykowym

SPOINA DOBRA				SPOINA ZŁA			
Nr	Wygląd	Dobroć spoiny	k_p	Nr	Wygląd	Dobroć spoiny	k_p
1		Spoina bez błędów, wtopienie 0,5mm	3800	I		Niewystarczaj wtopienie, brak wtop u nasady	2000
2		Drobne pory, wtopienie 0,2mm	3400	II		Zanieczyszczenia między warstwami	2100
3		Dop zanieczyszczenie między warstwami	3000	III		Wtopienie ledwie 0,1mm, niewyst wtop u nasady	1000
4		Ledwie wystarcz wtopienie u nasady	2800	IV		Nagromadzenie się rys w spoinie	2400

Rys 25. Klasyfikacja spoin.

połączeniu dwóch dźwigarów walcowanych najlepiej frezować w osi obojętnej). W innych miejscach należy wydrążony otwór z powrotem wypełnić elektrodą, co ma znaczenie zresztą raczej konserwacyjne. Obawy co do tego, że wskutek zalania spoiną tak nawierczonego otworu powstaną naprężenia termiczne o jakimkolwiek znaczeniu tech-

nicznym, są oczywiście dziecinne. Wydrążone spoiny można podzielić na dobre i złe, przy czym każdą z nich można znów podzielić na 4 grupy. Tabela na rys. 25 podaje 8 charakterystycznych wyglądków wydrążenia i odpowiadające im przybliżone wytrzymałości spoiny.

Badania przy pomocy nawiercania mogą być też zastosowane do kontroli spawaczy. Oznaczając zgodnie z podziałem na 8 grup z rys. 25, klasę wykonania liczbą d — od 8 do 1, obliczamy dla każdego spawacza średnią arytmetyczną: $s = \frac{\sum d}{n}$, określając przeciętny stopień jego sprawności. Ważną jest jednak nie tylko wartość przeciętna, lecz także równomierność wyników czyli pewność spawacza, którą charakteryzuje wielkość odchyłek od przeciętnej.

Stosuje się tu wzór:

$$p = t \sqrt{\frac{\sum (d - s)^2}{n}}$$

Wysoka wartość p oznacza spawacza niepewnego, natomiast im bardziej zbliża się wartość p do zera, tym bardziej można ufać pracy spawacza.

Zalety i wady opisanych metod badania spoin.

Badania grupy 1, zewnętrzne, mają znaczenie wyłącznie orjentacyjne i to w sensie negatywnym, to znaczy, że stwierdzenie złego wyglądu, nieprawidłowych wymiarów lub niedostatecznej twardości dyskwalifikuje spoinę niewątpliwie, natomiast wygląd dobry nie daje jeszcze pewności, czy nie ma błędów ukrytych, obniżających wartość spoiny, ani nie określa jeszcze w jakim stopniu spoinę można uznać za odpowiednią. Nie mniej metody te, zwłaszcza badanie wyglądu zewnętrznego i kontrolowanie wymiarów, jako nie-

wymagające żadnych specjalnych aparatów, ani większej straty czasu, należy stosować z reguły na każdej budowie i w warsztatach, jako wstęp do badań szczegółowych.

Badania stetoskopem nie są kosztowne i łatwo prowadzą do wykrycia grubszych błędów. Nie dają jednak pewności co do położenia i rozmiarów błędu, a ponadto wymagają wprawnego ucha. Jest to właśnie niekorzyścią tej metody.

Badania magnetograficzne są niezbyt kosztowne, mogą wykryć nawet bardzo drobne rysy na powierzchni spoiny, ale zasięg ich na głębokość jest bardzo ograniczony. Pole magnetyczne o dostatecznie dużym natężeniu powstaje bowiem tylko na powierzchni badanego przedmiotu.

Badania elektryczne nie wchodzi na razie w rachubę, ponieważ w praktyce metoda ta nie daje jeszcze zadowalających wyników.

Badania roentgenowskie pozwalają wykryć wszelkie błędy powierzchniowe i wglębne przy zastosowaniu należytych kierunków prześwietlania. Wadą ich jest wysoki koszt aparatury, kosztowność zdjęć i trudności montażowe przy ustawianiu skomplikowanej aparatury na miejscu badań. Metoda ta lepiej nadaje się do spoin stykowych niż do pachwinowych. Mimo wyżej wskazanych wad, badania roentgenowskie znalazły największe rozpowszechnienie z pośród badań grupy 2.

Badania promieniami gamma są jeszcze dokładniejsze od roentgenowskich; odznaczają się łatwością obsługi, ale są bardzo kosztowne i niebezpieczne dla zdrowia.

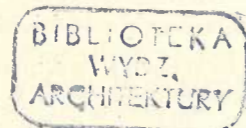
Badania polaryskopem, jak wspomniałem, nie są jeszcze w praktyce stosowane.

Badanie dłutem nadaje się do stosowania dorywczo, jako uzupełnienie badań zewnętrznych w miejscach podejrzanych. Podobnie jak w bada-

niach zewnętrznych tylko wyniki ujemne mogą być miarodajne do oceny spoiny, na dodatnich zaś polegać nie można.


Metoda nawiercania jest niezbyt kosztowna i daje względnie dokładne wyniki, zwłaszcza dla spoin pachwinowych. Przy jej pomocy nie można wprawdzie zbadać wszystkich spoin na całej ich długości, ale takie badania są zwykle zbyteczne poza poszczególnymi wypadkami.

Ze wszystkich omówionych metod, najbardziej uniwersalne i najdokładniejsze są prześwietlenia. Z tego powodu badania roentgenowskie znalazły największe rozpowszechnienie, zwłaszcza do kontroli wyjątkowo odpowiedzialnych konstrukcyj. W budownictwie przeważa stosowanie metody nawiercania, dającej wystarczająco dokładne wyniki dla spoin narażonych głównie na obciążenia statyczne.



SPIS RZECZY

Sposoby badania spoin	3
Badania zewnętrzne spoiw	8
Badanie wyglądu zewnętrznego	8
Badanie na podstawie twardości	10
Badania wewnętrzne spoin bez ich nacinania	11
Metoda stetoskopowa	11
Metoda magnetograficzna	13
Badanie elektryczne spoin	18
Badanie za pomocą promieni Roentgena	20
Badanie promieniami gamma	31
Badanie polaryskopem	33
Badanie z nacięciem spoiny	34
Nacięcie spoiny za pomocą dłuta	34
Nawiercanie spoiny	34
Zalety i wady opisanych metod badania spoin	36



2458