

STEFAN BRYŁA

620.17 : 621.791  
2350 słów + 9 rys.

## Metody 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 od razu 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. Konstrukcji 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 partij betonu (walce próbne, belecзки 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 tych że 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 większa. Stąd wymogi „Przepisów M. S. Wewn. dotyczących konstrukcji spawanych z r. 1933”, by spawacze zatrudnieni przy wykonywaniu konstrukcji 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 konstrukcji inżynierskich nie dają.

Mówiąc o sposobach badania spoin i o możliwościach tego badania pragnę przestrzec przed zbyt gwałtownością 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 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 zupełnie próby „na wyrwyki“.

Z większą ostrożnością postępuje się przy konstrukcjach narażonych na wpływy dynamiczne, ale i tutaj przesada może się stać nieinżynierską drobizgowością. I tu jednak obowiązuje zasada tym większej kontroli, im bardziej odpowiedzialna jest konstrukcja i im gorzej roboty możnaby było 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.

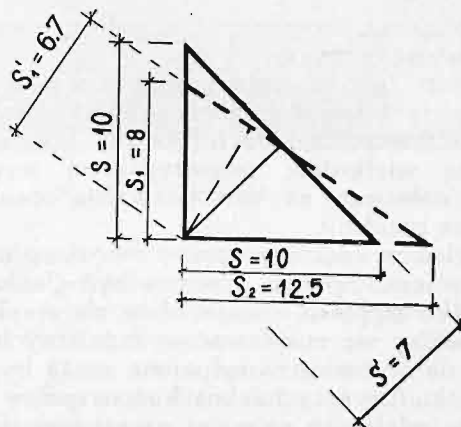
Badania grupy 3), t. j. badania wnętrza spoiny przez jej miejscowe wycięcie, mogą być wykonane sposobami następującymi:

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

**I. Badania zewnętrzne.**

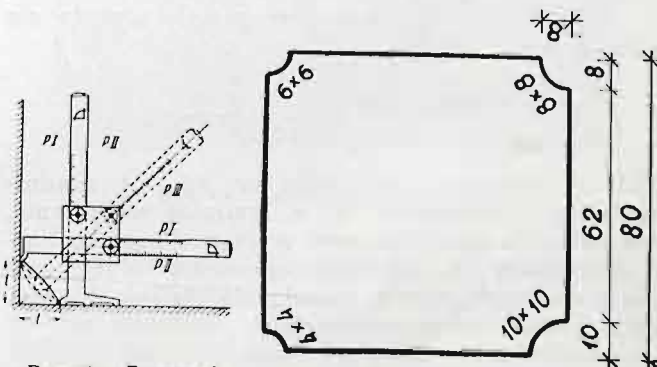
a) Badania wyglądu zewnętrznego.

Wymiary spoin winny odpowiadać możliwie dokładnie obliczonym. Wymiary większe niż obliczone podnoszą niepotrzebnie koszty wykonania, mniejsze — zmniejszają pewność połączenia.



Rys. 1. Spoina równoramienna i nierównoramienna.

Również nie jest wskazane wykonanie spoin pachwinowych 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<sup>12</sup>.

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 Schmocklera (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  $s' = \frac{s}{\sqrt{2}}$

(skala II), — dla spoin równobocznych obie linijki powinny dać jednakowe wyniki — zaś linijka trzecia, umieszczona pod kątem  $45^\circ$  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 przylepiona, słoje powinny się znajdować w regularnych odstępach od siebie, miejsca nadpalone mogą być tylko na początku i ewentualnie na końcu spoiny (krater) i to w miejscach najmniej narażonych na działanie sił. Również naloty wzdłuż spoiny o różnym zabarwieniu służyć mogą 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 różnym wyglądzie.

b) Badania 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 spoin 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  $R_r$  waż-

ne są jednak tylko dla badanego miejsca na powierzchni, natomiast nie uwzględniają błędów wewnętrznych spoiny, które przeciętną wytrzymałość połączenia mogą wybitnie obniżyć. 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 spoiny bez jej 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 dobrej wyrobku, natomiast głos niski, głuchy, bezdźwięczny wskazuje na wadliwość badanego przedmiotu.



Rys. 3. Stetoskop.

Do badania dźwiękowego spoin używa się tzw. stetoskopu (rys. 3). Przyrząd ten składa się z muszli (chwytnicy dźwięków), przewodu węzowego (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 poprzednio stwierdzonymi.

Za pomocą tej metody udawało się już stwierdzić 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, gdzie 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, równo na całej badanej powierzchni. Natomiast 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.

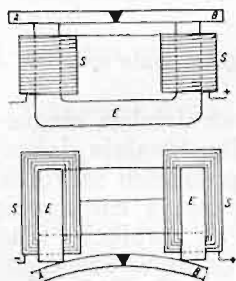
Do badań magnetograficznych używać można magnesu zwykłego, stałego, lub lepiej elektromagnesu, w kształcie podkowy o rozwarości 80–100 mm. Do wywołania pola magnetycznego najwygodniej używać prądu z sieci. Podczas badań elektromagnes

ustawiamy poprzecznie do spoiny i to w ten sposób, że cewki (bieguny) znajdują się po przeciwległych stronach spoiny (rys. 4).

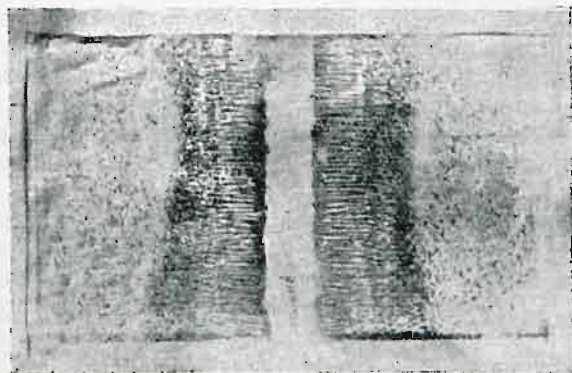
Użyte do badań opiłki stalowe powinny być jak najdrobniejsze. Celem uzyskania wyraźnego obrazu układania się opiłek stalowych — można przykryć spoinę białą bibułą lub też powlec ją kredą. Wskazane jest to zwłaszcza wtedy, gdy robimy zdjęcie foto-

graficzne. 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-



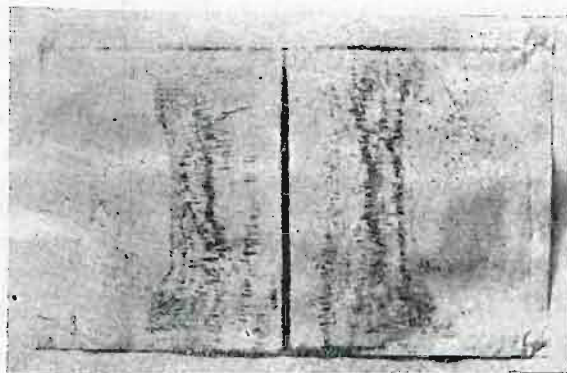
Rys. 4. Ustawienie elektromagnesu.



Rys. 5. Dobra spoina z pasmkiem 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 lejowate wgłębienie, zwiększające również opór magnetyczny.

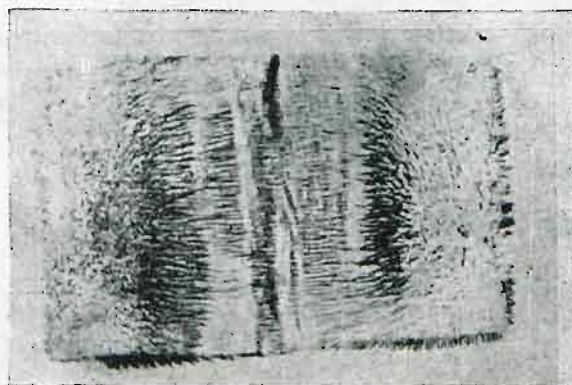
Bardzo wyraźnie uwidoczniła się brak wtopienia u nasady spoiny, to jest przy spoinach V u dołu, a przy spoinach X w środku grubości blachy. Wtedy bowiem z powodu zmniejszenia grubości spoiny zwiększa się w tym miejscu raptownie opór i opiłki tworzą ciemną smugę na środku spoiny (rys. 6).



Rys. 6. Brak stopienia u nasady.

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

Metoda ta została wprowadzona przez A. Roux 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.

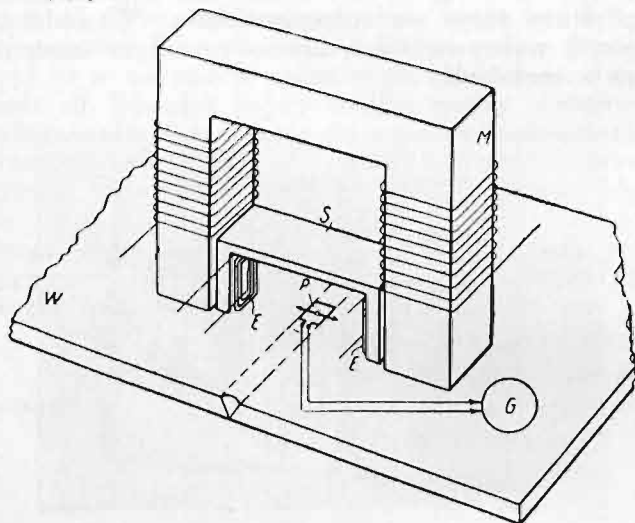
Obrazy magnetyczne mogą być zniekształcone również przez istniejące w spoinie naprężenia, które, jak wiadomo, wywierają wpływ na przenikalność magnetyczną. Jednakże w ostatnich czasach czyni się już doświadczenia, które mają na celu usunięcie wpływu naprężeń na przenikalność magnetyczną, a to przez zmianę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

tryczny o dużym natężeniu, który wytwarza tzw. pierścieniowe pole magnetyczne. Spoinę powleka się pyłem stalowym wymieszany 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.

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 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 linie magnetyczne, skutkiem czego powstaje w niej przez indukcję siła elektromotoryczna którą wykrywamy przy pomocy galwanometru G lub przyrządów rejestrujących.



Rys. 8. Przyrząd magnetograficzny bez opitek.

### c) Badanie elektryczne spoin.

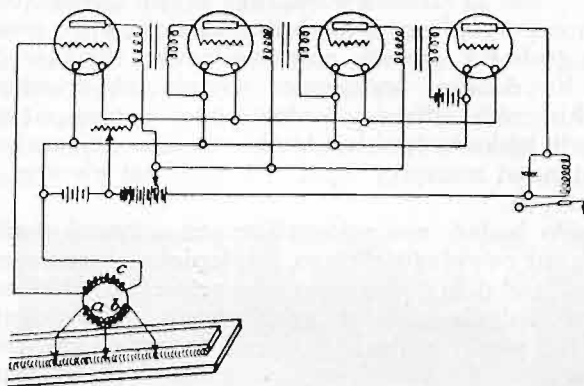
Badanie to polega na mierzeniu i porównywaniu oporu w poszczególnych odcinkach spoiny. Wszelkie wady wykonania zwiększają opór. Można wnioskować, że odcinki, na których wykryjemy większy opór, zawierają błędy. Metoda ta pochodzi od E. A. Sperry'ego z Ameryki i została wynaleziona dla badania szyn stalowych.

Przyrząd odpowiednio przekształcony 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 odle-

głości 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 kierunkach. Działanie magnetyczne prądu przepływającego przez obie cewki równoważy się wzajemnie,



Rys. 9. Przyrząd do elektrycznego badania spoin.

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).

W wypadku zaś niejednorodnego 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 niejednorodności materiału), wskutek czego w uzwojeniu wtórnym *c* transformatora indukuje się napięcie, którego wielkość zależy od niejednorodności spoin. Napięcie to jest bardzo małe i, aby mogło dać impuls systemowi wskaźnikowemu, musi być wzmocnione za pomocą wzmacniaczy niskiej 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.