

## DZIAŁ KONSTRUKCYJNY.

### CHŁODZENIE TRANSFORMATORÓW OLEJOWYCH I STOSOWANIE KONSERWATORÓW.

Inż. J. Angerman.

**Streszczenie.** Ilości ciepła, oddawane przez transformator, rozkład temperatur na powierzchni zbiornika, ciepło promieniowania i przewodzenia, chłodzenie naturalne i sztuczne, ilość powietrza chłodzącego, zasady przewietrzania transformatorowni. Systemy sztucznego chłodzenia. Konserwatory olejowe.

Warunkiem prawidłowej pracy transformatorów pod względem cieplnym jest danie im możliwości oddania wytworzonego ciepła otoczeniu, a następnie — odprowadzenie ogrzanego powietrza nazewnątrz budynku. Często bowiem wypadki nadmiernego nagrzewania się transformatorów, umieszczonych w pomieszczeniach zamkniętych, powodowane są przeważnie niedostatecznymi warunkami chłodzenia i odprowadzania ciepła — czy to wskutek nieuzasadnionej oszczędności, czy też z nieświadomości.

Ilość ciepła, jaką transformator ma do oddania pod obciążeniem, równa jest wartości cieplnej jego strat w żelazie i miedzi:

$$Q = 860 N_n \left( \frac{100 - \eta}{100} \right) \text{ kal. kg/godz.} \quad (1)$$

gdzie  $N_n$  — moc pobierana w kW,

$\eta$  = współczynnik sprawności przy danym obciążeniu.

Tę ilość kalorii winniśmy odprowadzić, jeżeli nie chcemy przekroczyć dopuszczalnych temperatur nagrzania uzwojeń, rdzenia czy oleju.

Dla transformatorów suchych chłodzenie nie przedstawia zagadnienia poważniejszego, w rachubę bowiem wchodzi tu transformatory niewielkie, wyjątkowo do mocy 150 kVA, w przeważnej zaś ilości jednostki mniejsze od 20÷25 kVA. Oddawanie ciepła ogranicza się tu do samego promieniowania części nagrzanych, t. j. uzwojeń, rdzenia a nadto blach dodatkowych, wkładanych między cewki dla powiększenia powierzchni promieniowania. Normalnie naturalny ruch powietrza wystarcza do odebrania wypromieniowanego ciepła, z chwilą jednak umieszczenia transformatorów w zamkniętych kolumnach słupowych, w otworach podziemnych kopalni i t. p., proces chłodzenia komplikuje się, gdyż warunki przepływu powietrza są ograniczone, a nadto kładzie się nacisk na odgrodzienie transformatora od bezpośredniego dopływu powietrza zewnętrznego, celem zmniejszenia kondensowania wilgoci, zawartej w powietrzu, na jego częściach.

Chłodzenie transformatorów olejowych jest bardziej skomplikowane, nie tylko z powodu konieczności przejścia ciepła z cewek i rdzenia przez warstwę oleju i ściany zbiornika przy ograniczonej temperaturze maksymalnej nagrzania oleju, ale i z tej przyczyny, że mamy tu nieraz do czynienia z jednostkami o bardzo wielkiej mocy, które wymagają odprowadzania ogromnych ilości ciepła.

Stosowane są dwa rodzaje chłodzenia: naturalne i sztuczne. Naturalne będzie miało zawsze więcej zwolenników, niż sztuczne, jest bowiem wygodniej mieć w pracy

transformatory bez specjalnego stałego dozoru i dodatkowych urządzeń chłodniczych, wymagających stałej kontroli. Jednak w niektórych wypadkach, przy złych warunkach wentylacji i braku odpowiedniego pomieszczenia, sztuczne chłodzenie może się kalkułować lepiej.

Należy wyjaśnić zasadniczą różnicę między chłodzeniem „naturalnym” i „sztucznym”: naturalne jest wówczas, gdy ciepło transformatora drogą promieniowania i przewodzenia oddawane jest przez ściany zbiornika otaczającemu powietrzu; sztuczne zaś wtedy, gdy ciepły olej zapomocą dodatkowych urządzeń oddaje ciepło wodzie czy powietrzu. Jednak chłodzenie naturalne wymaga również całego szeregu urządzeń, czego niejednokrotnie nabywcy nie chcą rozumieć, a co powoduje skolei kłopotliwe nieporozumienia między dostawcami a odbiorcami.

Chcąc zdać sobie należycie sprawę z przebiegu chłodzenia transformatorów olejowych, rozpatrzmy zjawiska kolejnego przechodzenia ciepła z nagrzanych uzwojeń i rdzenia przez ośrodek pośredniczący do zewnętrznego powietrza chłodzącego. Dla transformatorów o chłodzeniu naturalnym średnie różnice temperatur wynoszą:

między wewn. temperaturą cewki a powierzchnią cewki około 8°C,

między temp. powierzchni cewki a olejem ok. 19°C,

między olejem a wewnętrzną ścianą zbiornika ok. 3°C,

między ścianą zewn. zbiornika a powietrzem ok. 40°C.

Cyfry podane słuszne są przy założeniu, że temp. nagrzania wynosi ok. 70°C i nie przekracza górnej dozwolonej granicy.

Oddawanie ciepła przez ściany zbiornika odbywa się przez promieniowanie, przewodzenie i konwekcję. Wskutek różnych wartości przewodności cieplnej ściany zbiornika wzgl. powietrza z jednej strony, a oleju z drugiej, wymienione wyżej różnice temperatur rozkładają się nieproporcjonalnie.

Ciepło wypromieniowane ( $Q_{pr}$ ) jest proporcjonalne do powierzchni promieniującej ( $P_p$ ), różnicy temperatur ściany i powietrza, oraz pojemności cieplnej powierzchni ściany wzgl. powietrza ( $c$ ).

$$Q_{pr} = c P_p \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \quad (2)$$

gdzie  $T_1$  i  $T_2$  są temperaturami absolutnymi ściany i powietrza.

Upraszczając powyższy wzór przez wstawienie zamiast wyrazu w nawiasie różnicy temperatur  $t_1 - t_2 = \delta$ , popełniamy błąd około 10÷20%, co jednak możemy naprawić przez dobór odpowiedniej wartości stałej  $c$ :

$$Q_{pr} = c' P_{pr} (t_1 - t_2) = c' P_{pr} \delta \text{ kal./godz.} \quad (3)$$

Ciepło przewodzenia zależy od powierzchni przewodzącej, różnicy temperatur i od przenikalności cieplnej:

$$Q_{prz} = k P_k (t_1 - t_2) \text{ kal./godz.} \\ = k P_k \delta \text{ kal./godz.} \quad (4)$$

gdzie „ $k$ ” określa się ze wzoru  $\frac{1}{k} = \frac{1}{\sigma_1} + \frac{1}{\sigma_2} + \frac{d}{\lambda}$ ,

przyczem:  $\sigma_1$  — przewodność ścianki względem oleju,

$\sigma_2$  — przewodność ścianki względem powietrza,

$d$  — grubość ścianki w mm,

$\lambda$  — przewodność właściwa żelaza (56 kal/mm/godz/°C).

Dla  $\sigma_1$  odpowiednia różnica temperatur wynosi 3° C, zatem dla 10° C.

$$\sigma_1 = 3 + 0,08 \Delta = 3 + 0,08 \cdot 3 = 3,24.$$

Dla  $\sigma_2$  odpowiednia różnica temperatur wynosi 40° C, zatem dla  $\Delta > 10^\circ\text{C}$

$$\sigma_2 = 2,2 \sqrt{\Delta} = 2,2 \sqrt{40} = 5,5.$$

W powyższych wzorach współczynniki  $c'$  i  $k$  można dla wygodniejszego manipulowania sprowadzić do wielkości jednostek oddawanego przez ściany zbiornika ciepła o wymiarze  $\text{W}/^\circ\text{C m}^2$ .

Przez  $c'$  oznaczamy zatem jednostkę ciepła oddawanego przez promieniowanie; jest ona zmienna, rośnie bowiem, jak wspomniane było wyżej, wraz z przyrostem temperatury ścian zbiornika i temperatury powietrza. Średnio  $c'$  dla temp. powietrza 20° C i różnicy temperatur między zbiornikiem a powietrzem 40° C wynosi 6  $\text{W}/^\circ\text{C m}^2$  z dokładnością dostateczną dla obliczenia przebiegu ciepłego.

Przez  $k$  oznaczamy jednostkę ciepła oddawanego przez przewodzenie i konwekcję. Droga doświadczalna jej wielkość ustalona jest na 7÷8  $\text{W}/^\circ\text{C m}^2$ , dla pewności jednak jest przyjmowana wartość niższa.

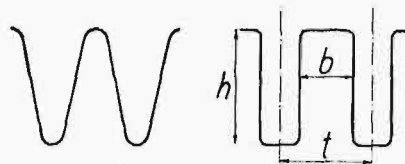
W ten sposób ciepło, oddawane otoczeniu tak przez promieniowanie, jak i przewodzenie, wynosi  $Q = (6 P_p \div 7 P_k)$  watów = stratom żelaza i miedzi. (5)

$P_p$ , powierzchnia miarodajna dla promieniowania ciepła, obejmuje tylko tą część powierzchni zbiornika, która może promieniować ciepło bezpośrednio do wolnego otoczenia; odpadają tu te części powierzchni, które mogą wzajemnie na siebie oddziaływać. Ponieważ dla obliczania  $P_p$  i  $P_k$  przyjmuje się tylko powierzchnię płaszcza transformatora, bez uwzględnienia powierzchni dna i pokrywy (dno nagrzewa się znikomo mało, a pokrywa po odjęciu miejsca, zajętego przez izolatory i t. p., promieniuje bardzo słabo wobec braku przewiewu), przeto wartość  $P_p$  ogranicza się do tej powierzchni, jaka utworzona jest przez obwód dookoła zbiornika, liczony po obrysie zewnętrznym, i czynną wysokość zbiornika. Obwód w tym przypadku będzie tworzyć obwód po zewnętrznej stronie fali, jeżeli zbiornik jest zbudowany z blachy falistej, względnie po zewnętrznej stronie rur chłodniczych (rury wpuszczane w ściany zbiornika).  $P_k$  natomiast jest dla zbiorników falistych i rurowych znacznie większe od  $P_p$ , gdyż wchodzi tu w rachubę dokładny obwód zbiornika z uwzględnieniem powierzchni fal względnie rur. Należy jednak uwzględnić pewną poprawkę dla takiego wykonania zbiornika, w którym rury są ustawione ciasno obok siebie, albo w którym fale są zbyt wąskie, wskutek czego hamowany jest dopływ chłodzącego powietrza.

Ponieważ  $P_k > P_p$ , dla zbiorników falistych i rurowych oddawanie ciepła przez przewodzenie jest znacznie większe od promieniowania.

Zbiorniki dla transformatorów do 20 kVA posiadają ściany gładkie, wówczas  $P_p = P_k$ . Powierzchnie te wystarczają zupełnie dla oddania wytworzonego ciepła. Jednostki większe, od 30 kVA do 4000 kVA, w miarę wzrostu mocy

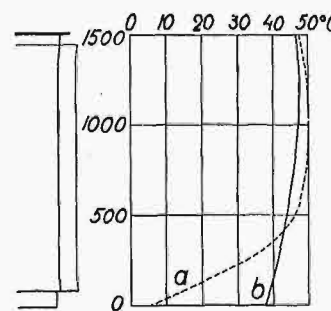
zaopatrzone są w zbiorniki o falach coraz głębszych, względnie o większych ilościach rur chłodniczych (więcej szeregów). Fale, prowadzone pionowo, muszą mieć odpowiednie wymiary. Rys. 1 przedstawia dwa typy fal: zaokrąglonej i prostokątnej. Aby otrzymać wartość  $k = 7 \text{ W}/^\circ\text{C m}^2$ , fale zaokrąglone muszą mieć szerokość minimum 15 mm, prostokątne — szerokość kanału powietrznego 30÷70 mm, olejowego zaś 5÷25 mm.



Rys. 1.

Zbiorniki z rurami chłodzącymi posiadają rury odpowiednio wygięte, dawniej zawalcowywane, obecnie zaś przypawane do zbiorników i uszeregowane w 2÷5 rzędów, zależnie od wielkości transformatora. W takiej konstrukcji pewną trudność stanowi czyszczenie rur z powodu wygiętego ich kształtu. Olej ochłodzony opada w rurach nadół, powodując stałą cyrkulację, — podobnie zresztą, jak w zbiornikach falistych.

Chłodzenie naturalne można znacznie poprawić przez przepompowywanie oleju z górnej części do dolnej. Polepszając cyrkulację oleju, osiągamy bardziej równomierny rozkład temperatur powierzchni ściany zbiornika, jak to uwidocznione jest na rys. 2 dla transformatora 320 kVA. Krzywa „a” przedstawia temperatury nagrzania powierzchni zbiornika przy chłodzeniu naturalnym bez cyrkulacji sztucznej, „b” — przy przepompowywaniu oleju.



Rys. 2.

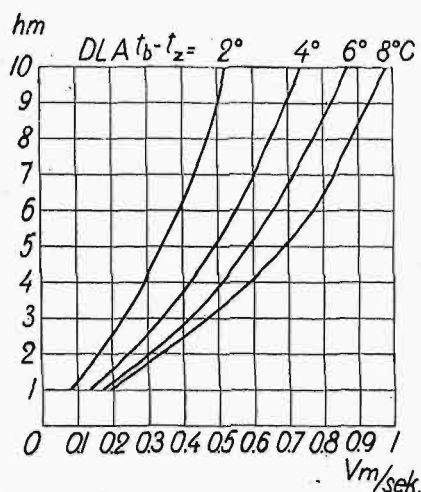
Transformatory większe — od 4000 kVA — zaopatrzone są w radiator, składające się z poszczególnych systemów chłodnic blaszanych wzgl. złożonych z rur, pionowo ustawionych między skrzyniami dolnymi i górnymi. Skrzynie te, zbierające olej, wpływający wzgl. wypływający z radiatorów, umocowane są przy pomocy kryz do zbiornika bezpośrednio albo pośrednio przez zawory. Radiatory odcinane mają tę zaletę, że mogą być przy transporcie zdjęte, a w czasie pracy mogą być wymieniane w razie uszkodzenia. Rys. 3 przedstawia zbiornik z blaszanymi radiatorami transformatora 4000 kVA. Osiągnięta tutaj powierzchnia, przewodząca ciepło, jest tak znaczna, że gwarantuje pewne oddawanie ciepła; w danym przypadku 44 000 kal/godz. Na wypadek przeciążenia transformatora o 20÷30% radiator takie mogą być ochładzane przez dodatkowe powietrze z wentylatora, które wypływa szeregiem rurek pomiędzy radiatorami, zwiększając znacznie natężenie chłodzenia.

Ciepło, oddane przez transformator otaczającemu powietrzu, powoduje skolei jego nagrzanie. Wyobraźmy sobie transformator, umieszczony w oddzielnym pomieszczeniu, o maksymalnej temperaturze zbiornika  $T_i$ , temperaturze otaczającego powietrza w budynku  $T_b$  i temper. powietrza z zewnątrz budynku  $T_z$ .  $T_i$  powoduje wzrost  $T_b$  aż do pewnego stanu równowagi, przy którym  $T_b$  ustala się.

Przy założeniu, że  $T_i$  i  $T_z$  pozostają niezmiennie, a odpowiednia wentylacja jest utrzymana,

$$T_i > T_b > T_z$$

Temperatura pomieszczenia jest zatem wyższa od temperatury powietrza zewnętrznego; wpływają na nią



Rys. 3.

warunki klimatyczne danego miejsca i czas trwania maksymalnych temperatur w lecie. W Polsce maksymalna  $T_z$  waha się około  $26 \div 32^\circ \text{C}$ . Biorąc pod uwagę niedługie okresy silnego wzrostu temperatury latem, następnie porę szczytów tych temperatur, przypadających w innym czasie, niż bywa szczyt obciążenia sieci, wreszcie możliwość chwilowego przeciążenia transformatorów, przyjmuje się przy obliczeniu  $25^\circ \text{C}$  jako maksymalną temperaturę zewnętrzną. W pomieszczeniach dostatecznie przewietrzanych  $T_b$  jest o  $6 \div 7^\circ \text{C}$  wyższa od  $T_z$ , zatem przy max.  $T_z = 25^\circ \text{C}$  wartość  $T_b$  będzie wynosić około  $32^\circ \text{C}$ .

Podkreślić tu należy niejednokrotnie spotykany warunek przy zamawianiu transformatorów, aby temperatura pomieszczenia nie przekraczała np.  $25^\circ \text{C}$  (przy naturalnym chłodzeniu).

Jak z powyższego wynika, tego rodzaju żądanie jest oczywiście nie do pomyślenia przy chłodzeniu naturalnym, samoczynnym.

Ważną rzeczą jest odpowiednie rozplanowanie otworów, doprowadzających i odprowadzających powietrze z transformatorni, oraz nadanie im odpowiednich wymiarów. Strumień zimnego powietrza, doprowadzony od dołu, powinien jaknajbardziej obejmować ze wszystkich stron transformator; otwory, odprowadzające gorące powietrze, powinny być umieszczone u góry najlepiej na przeciwnych ścianie, licząc od dopływu powietrza, względnie u góry nad transformatorem.

Ilość ogrzanego powietrza, jaką mamy odprowadzić na zewnątrz, określa wzór

$$V = \frac{Q' (1 + \alpha t_z)}{0.307 (t_b - t_z)} \text{ m}^3/\text{godz.}$$

gdzie:  $Q'$  — ilość ciepła w kal/godz. do odprowadzenia,  
 $t_b$  — maksymalna temperatura powietrza wewnątrz pomieszczenia,  
 $t_z$  — maksymalna temperatura powietrza doprowadzonego z zewnątrz,  
 $\alpha$  — współczynnik rozszerzalności powietrza  $1:273$ .

$Q'$  nie jest identyczne z  $Q$ , obliczonym wg. wzoru (1), jako ilość ciepła, dostarczana przez transformator w pracy; odliczyć tu bowiem należy tę część ciepła, jaka prze-

chodzi zewnątrz pomieszczenia przez ściany budynku, a równą co do wielkości:

$$Q'' = k_s F (t_b - t_z) \text{ kal/godz.},$$

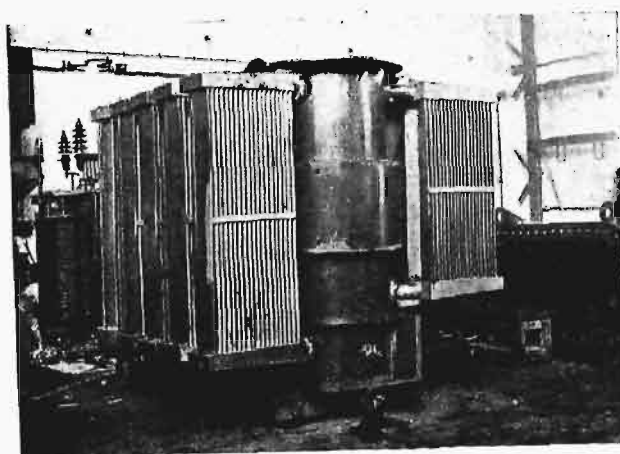
przyczem  $k_s$  jest współcz. przewodzenia ciepła przez ściany, a  $F$  — sumaryczną powierzchnią ścian wewnątrz (współczynnik  $k_s$  wynosi np. dla muru z cegieł i tynku o grubości 380 mm około 1,49).

Ciepło zatem, które należy odprowadzić w postaci nagrzanego powietrza, wynosi:

$$Q' = Q - Q'' \text{ kal/godz.}$$

Spotykane niejednokrotnie uproszczone sposoby przewietrzania transformatorni przez otwieranie drzwi lub okien, są skuteczne tylko w czasie specjalnych warunków atmosferycznych zewnętrznych, jednak w czasie ciszy i braku wiatru najoczywiściej zawodzą. Prawdłowo rozwiązanie przewietrzanie powinno gwarantować dostateczny przeciąg powietrza, bez względu na zewnętrzne warunki atmosferyczne. Dla obliczenia przekroju otworów dla odpływającego powietrza obrać należy najkorzystniejszą prędkość przepływu, podaną na wykresie rys. 3, gdzie jest ona funkcją wysokości środka otworu wylotowego od poziomu neutralnej sfery cieplnej (normalnie sfera neutralna znajduje się w połowie wysokości pomieszczenia transformatora). Na rysunku podane są 4 krzywe dla różnic temperatur  $t_b - t_z$ , wynoszących 2, 4, 6 i  $8^\circ \text{C}$ .

Jeżeli drogą naturalnego chłodzenia danego pomieszczenia przewiewu nie da się rozwiązać odpowiednio, pozostaje zastosowanie wentylatorów śrubowych ssących wzgl.



Rys. 4.

łoczących. Pierwsze mają większe zastosowanie w porównaniu z drugimi, które przy zawilgoceniu czy zanieczyszczeniu powietrza zewnętrznego tłoczą je w takim stanie do środka. Przekrój otworu powietrznego powinien być nieco większy od średnicy skrzydeł wentylatora  $D$ , przyczem

$$D = 1.3 \sqrt{\frac{V}{v}}$$

gdzie:  $V$  — ilość powietrza w  $\text{m}^3/\text{sek}$ ,  
 $v$  — prędkość maksymalna przepływu — około  $2,5 \text{ m}/\text{sek}$ .

Jako środek ostateczny pozostaje zastosowanie transformatorów o chłodzeniu sztucznym. Zmusza do tego najczęściej brak miejsca dla chłodzenia naturalnego, względnie moc jednostki, większej od  $4000 \text{ kVA}$  i umieszczonej w budynku. Jako środek chłodzący stosuje się wodę albo powietrze. Jest kilka systemów chłodzenia wodnego; w najbardziej rozpowszechnionych umieszcza się węzów-



nicę wodną z rur ołowianych albo miedzianych w górnej części transformatora (nad uzwojeniami) albo wzdłuż całego płaszcza zbiornika od wewnątrz (system amerykański). Ujemną cechą tych systemów jest możliwość przesiekania wody do oleju przez nieszczelności. Woda musi być, technicznie biorąc, czysta, aby nie dawała osadu, utrudniającego przewodzenie ciepła. Ilość wody określa się praktycznie na 1,5 l/min i kW odprowadzonych strat, przy nagrzaniu jej o ok. 10° C. Powierzchnia węzownicy będzie wystarczająca, jeżeli przyjąć 0,5 m<sup>2</sup> na 1 kW strat.

Najbardziej racjonalny jest system przepompowywania gorącego oleju przez węzownicę, zanurzoną w zbiorniku wodnym, umieszczonym obok transformatora. W tym wypadku ilość oleju jest stosunkowo mniejsza, niż w systemach poprzednio opisanych, nadto odpada możliwość przedostawania się wody do oleju, gdyż olej jest pod ciśnieniem pompy; wreszcie skutek chłodzenia jest znacznie lepszy. Istnieją jeszcze wykonania sztucznego chłodzenia przy pomocy specjalnych chłodzi, gdzie olej jest w przeciwnym kierunku z powietrzem; chłodzi są umieszczone obok transformatora. Bywają wreszcie urządzenia ze sztucznym chłodzeniem powietrzem, w których specjalny wentylator tłoczy powietrze pod transformator w wykonaniu normalnym, dzięki czemu zbiornik falisty czy rurowy może znacznie większe ilości ciepła oddać nazewnątrz.

#### Konserwatory olejowe.

Dla zapewnienia całkowitego napełnienia zbiornika olejem w czasie jego pracy stosuje się już od r. 1905 naczynia, połączone ze zbiornikiem transformatorowym, t. zw. konserwatory, umieszczone wyżej, niż pokrywa transformatora. Urządzenie to już od samego początku było zwalczane tak przez wytwórców, jak i odbiorców, z jednej strony z powodu powiększenia kosztu wyrobu transformatorów, z drugiej — z powodu trudności w uszczelnieniach, jakie powstawały przy wzroście ciśnienia oleju. Konserwator bowiem, podnosząc wysokość ciśnienia oleju, wymaga doskonałego uszczelnienia pokrywy do zbiornika, izolatorów w pokrywie i nasadkach górnych. Trudności te rzeczywiście nie były łatwe do usunięcia, lecz po zastosowaniu najlepszych materiałów uszczelniających niereagujących na olej transformatorowy i niezanieczyszczających go, doprowadzono wykonanie do takiego stanu, że obawy o przesiekanie oleju zniknęły.

Utrzymując zatem zbiornik pod ciśnieniem oleju, konserwator zabezpiecza w ten sposób jego wnętrze przed niepożądaną obecnością powietrza. Ujemną cechą urządzenia jest niewielkie zwiększenie ilości oleju, zwiększenie kosztu wykonania transformatora i konieczność stosowania najlepszego gatunku uszczelnień pokrywy i izolatorów. Wady te są nieznaczne w porównaniu z następującymi zaletami stosowania konserwatora:

a) Niedopuszczanie do wnętrza transformatora (a więc do części pod napięciem) powietrza, które w razie przeskoku napięcia (międzyfazowego, albo między fazą a pokrywą) w obecności gazów, wydzielanych z oleju, może być przyczyną pożaru transformatora.

b) Niedopuszczanie powietrza do zetknięcia się z tak wielką powierzchnią oleju, jaką stanowi przekrój wewnętrzny zbiornika. Odpadają zatem niepożądane tego skutki, jak: możliwość kondensowania się pary wodnej na wewnętrznych ścianach zbiornika i szybsze starzenie się, utlenianie i wilgotnienie oleju. Doświadczenie wykazuje, że w transformatorach, niewyposażonych w konserwatory, musiano w okresach 2 ÷ 3-letnich wymieniać olej, podczas gdy w transformatorach z konserwatorami wymieniano go w okresach 8 ÷ 10-letnich.

c) Powierzchnia oleju, stykająca się z powietrzem w konserwatorze, jest daleko mniejsza od powierzchni w zbiorniku, tak iż wymienione wyżej ujemne skutki zmniejszają się proporcjonalnie. Przy zastosowaniu jeszcze pochłaniacza wilgoci dla powietrza, dostającego się do konserwatora, otrzymujemy najidealniejsze warunki dla oleju. Rury, łączące konserwator ze zbiornikiem, powinny być wprowadzone ponad dnem konserwatora, aby kondensująca się ewentualnie para wodna, zawarta w powietrzu, mogła zbierać się na dnie, skąd łatwo ją spuścić co pewien czas przy pomocy odpowiedniego otworu u dołu.

d) Olej wewnątrz konserwatora posiada temperaturę niższą, niż olej pod pokrywą zbiornika, gdyż powierzchnia konserwatora przyczynia się do ochładzania go.

e) Jako ostatni argument należy wymienić możliwość umieszczania — czy to na rurach łączących konserwator ze zbiornikiem, czy też wewnątrz konserwatora — aparatów, zabezpieczających prawidłową pracę transformatora. Zadaniem ich jest alarmowanie obsługi w razie rozpoczynającego się miejscowego rozkładu oleju pod wpływem lokalnego nagrzania, względnie opadnięcia oleju poniżej dopuszczalnej granicy, a na wypadek zwarcia międzyzwojowego, przeciążenia, pod wpływem eksplozji spowodowanie natychmiastowego wyłączenia transformatora z pod napięcia.

Wskaźnik oleju, umocowany na bocznej ścianie konserwatora, nie tylko wskazuje obsłudze poziom oleju w danej chwili, ale nadto stopień zanieczyszczenia oleju, czy zestarzenia się.

Istnieją jeszcze urządzenia amerykańskie, w których transformator bez konserwatora napełniony jest w wolnej przestrzeni pod pokrywą azotem o pewnym, niewielkim nadciśnieniu. Jest to praktyczne z tego powodu, że azot nie dopuszcza do zetknięcia się powietrza z olejem, jednak kłopotliwe, gdyż azot musi być stale uzupełniany wobec jego ulatniania się przez nieszczelności; nadto nie można stosować ich do napięć wyższych, przy których ze względów konstrukcyjnych odległości międzyfazowe i wymiary wewnętrzne izolatorów wobec braku oleju pod pokrywą trzebaby poważnie zwiększyć.

Zestawiając zatem wady i zalety stosowania konserwatorów, możemy obiektywnie osądzić, czy, dodatkowy koszt, związany z wykonaniem konserwatora, wraz z dodatkowym kosztem oleju, może się opłacać w porównaniu do szeregu zalet.

# SIŁY MECHANICZNE PRZY ZWARCIACH W TRANSFORMATORACH.

Inż. W. Kopczyński

**Streszczenie.** Wzory rozmaitych autorów na siły mechaniczne przy zwarciu transformatorów wykazują wielkie różnice. Wywody prof. G. Benischke'go, podane w Arch. f. El. t. 22-gi, zes. 3-ci, z dn. 15.7. 1929 r. dają wielkości 10 do 50 razy mniejsze dla uzwojeń walcowych, niż wzory prof. M. Vidmar'a w książce „Die Transformatoren”. Wzór zaś prof. R. Richter'a w książce „Die Transformatoren”, pomimo zgodności w podstawowym ujęciu, daje w ostatecznej formie wielkość 2 razy większą od wzoru Vidmar'a. Dla uzwojeń krążkowych wzór R. Richter'a daje też wielkość 2 razy większą, niż wzór Vidmar'a.

Zwarcia bywają bardzo różnorodne: zdarzają się w uzwojeniu pierwotnym, wtórnym, między zwojami, między zwojnicami w połączeniach zaczepów i t. p.<sup>1)</sup>, a poza tem mogą powstać nazewnątrz transformatora w obwodzie wtórnym. Wszystkie one wytwarzają siły mechaniczne w uzwojeniach. Jak potężne siły powstają tu niekiedy, sędzić można z deformacji uzwojeń lub części transformatorów. Badanie uzwojeń oraz uszkodzonych części może być niekiedy bardzo poważnym środkiem do określania sił mechanicznych zwarcia. Oczywiście, należy pamiętać, że pewne uszkodzenia części są możliwe też przed zwarciem, np. przy prasowaniu uzwojeń.

Z pomiędzy różnych rodzajów zwarć charakterystycznym i często zdarzającym się jest *zwarcie na zaciskach wtórnych transformatora*. Zwarcie to powstanie np. przy uderzeniu pioruna w transformatorze, przyłączonym stroną pierwotną do elektrowni, a stroną wtórną do linii napowietrznej. Przepisy wymagają, aby transformatory znosiły to zwarcie przy napięciu znamionowym, jeśli udarowy prąd zwarcia nie przekroczy 75-krotnie skutecznej wartości prądu znamionowego. Doświadczalne sprawdzenie tej wytrzymałości jest naogół trudne do wykonania nawet dla mniejszych transformatorów, a dla wielkich, w których siły zwarcia osiągają nieraz wielkość setek tonn, jest niemal zupełnie niemożliwe. Sprawa staje się tem poważniejszym zagadnieniem konstrukcyjnym, im większa jest moc transformatora. Wykonywanie pewnych doświadczeń, określających zależność między prądem i siłami mechanicznymi, widocznie jest również niełatwe, skoro wzory teoretyczne różnych poważnych autorów wykazują tak znaczne różnice. Mimo to wywody teoretyczne pozwalają nam poznać dążenia do ujęcia tej kwestji.

## Prądy zwarcia.

W poszczególnych wypadkach praktyki wielkość prądu zwarcia zależy od sumy oporności obwodu pierwotnego, np. generatorów, sieci i transformatora. Zwykle więc przy zwarciu na zaciskach wtórnych transformatora napięcie pierwotne opada. Gdyby jednak nie opadało, to w kilka sekund po zwarciu płynąłby przez transformator *ustalony prąd zwarcia*  $I_z$ , wyznaczony wzorem:

$$I_z = \frac{100 I_1}{e_z} \quad (1)$$

gdzie  $I_1$  jest prądem znamionowym, a  $e_z$  — napięciem zwarcia w % napięcia znamionowego.

Udarowy prąd zwarcia  $i_{uz}$  może osiągnąć wartość:

$$i_{uz} = \sqrt{2} \left( 1 + e^{-\frac{t}{T}} \right) I_z \quad (2)$$

W powyższym wzorze:  $t$  — czas w sekundach,  $T$  — stała czasu,  $I_z$  — ustalony prąd zwarcia (wartość skuteczna). Udarowy prąd zwarcia składa się z sinusoidalnego ustalonego prądu zwarcia oraz składowej o charakterze zanikającego prądu stałego. Jeśli oporność rzeczywista jest bardzo mała, to udarowy prąd może osiągnąć swą wartość największą:

$$i_{uz} = 2\sqrt{2} I_z \quad (3)$$

Nie należy jednakże liczyć, że ten największy prąd może powstać przy zwarciu każdego transformatora. W małych normalnych transformatorach (do 100 kVA) udarowy prąd zwarcia tylko nieznacznie różni się od największej wartości ustalonego. R. Richter w książce „Die Transformatoren”, na str. 82-iej, podaje stałe czasu dla małych transformatorów:  $T = \sim 0,003$  sek., a dla wielkich:  $T = \sim 0,03$  sek. tak, iż dla małych:

$$i_{uz} = \sim 1,5 I_z \quad (4)$$

a dla wielkich:

$$i_{uz} = \sim 2,4 I_z \quad (5)$$

Mogą być więc wypadki, iż przy badaniu na zwarcie małych transformatorów udarowego prądu zwarcia wogóle nie będziemy otrzymywali.

## Siły mechaniczne zwarcia.

Prof. G. Benischke w Arch. f. Elektr., tom 22-gi, zes. 3-ci, z dn. 15 lipca 1929 r. wskazuje, że dotychczasowe metody określania sił zwarcia opierały się na błędnych podstawach, gdyż były wyliczane z oddziaływania pola rozproszenia transformatora na podstawie wzoru:

$$F = \frac{H i l}{10} \text{ dyn} \quad (9)$$

We wzorze tym natężenie pola  $H$  nie jest wypadkowem z oddziaływania pola prądu  $i$  na pole pierwotne, które istniało, gdy prądu  $i$  nie było, lecz właśnie natężeniem tego pola pierwotnego. Można brać pod uwagę tylko magnetyczne siły oddziaływania na przewody prądowe, gdyż elektryczne są nikłe. Benischke dowodzi, że nie są to siły oddziaływania *pól rozproszenia* lub *pól wypadkowych*, lecz jedynie tak nazywanych przez niego *pól fikcyjnych*<sup>2)</sup>. Benischke podaje poza tem wzór:

$$F = -2 i_1 i_2 \frac{l}{a} \quad (7)$$

jako siłę między dwoma przewodami równoległymi o długości  $l$  w odstępnie  $a$ . Wspomnimy też, że natężenie pola w odległości  $a$  od nieskończonego długiego przewodu prostoliniowego wynosi:

$$H = 0,2 \frac{i}{a} \quad (8)$$

<sup>2)</sup> Pobieżne określenie pól fikcyjnych podane w Przegl. El. z 1925 r., str. 285.

<sup>1)</sup> O zvarciach. B. Gimbut. Wiad. El. zes. 11, 1933 r.

gdzie  $i$  w amp.,  $a$  zaś w cm. Podstawiając wyrażenie wzoru 8-go do wzoru 6-go, otrzymamy przy prądzie w amperach:

$$F = \frac{0,2 i_1 i_2 l}{10 a} \text{ dyn} \quad (9)$$

Benischke określa jednakże siły z energii magnetycznej:

$$P = \frac{i^2}{2} L^3 \quad (10)$$

Siła dowolna kierunku  $x$  ma być:

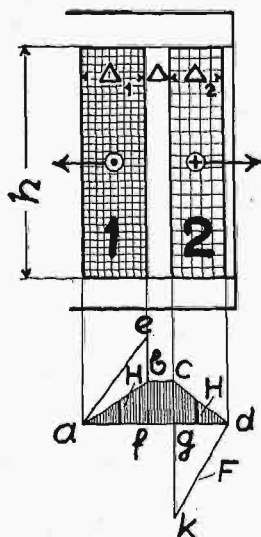
$$F = \frac{dP}{dx} = \frac{i^2}{2} \frac{dL}{dx} \quad (11)$$

W przykładach siły, określone na zasadzie wzoru 11-go, zgadzają się z danymi przez wzór 7-my. Zauważamy tu, że wzór 11-ty nie określa miejsca działania siły, a właściwie wyznacza oddziaływanie pola na swe własne przewody, posiadające indukcyjność  $L$ .

R. Richter we wspomnianej wyżej książce, wydanej w 1932 r., wyprowadza siły, działające przy zwarciu, z *pól rozproszenia* tak, jak to czynili autorzy dawniejsi, np. Kapp, E. Reed oraz M. Vidmar. Rozpatrzmy pokrótce na czem ten sposób polegał.

#### Uzwojenia walcowe.

W uzwojeniach walcowych symetrycznych o równej wysokości  $h$  (rys. 1) powstają siły oddziaływania jednego uzwojenia na drugie w kierunkach prostopadłych do osi rdzenia. Nazwiemy te siły „promieniowymi”. Poza tym działają tu siły, ściskające uzwojenie w kierunku osi, t. j. siły przyciągania między zgodnymi prądami tegoż uzwojenia. Na skrajne zwoje lub zwojnice działają też w kierunku osi rdzenia siły przeciwne, t. j. siły odpychania między przeciwnymi prądami obu uzwojeń, które zmniejszają nieco działanie sił przyciągających, t. j. ściskających zwojnice.



Rys. 1.

rozpierały uzwojenie 1-sze (zewewnętrzne) i zginały 2-gie (wewnętrzne). Pę. wzoru 6-go siły te będą proporcjonalne do  $H$ . Linia  $a, e, f, g, k, d$  przedstawia rozkład tych sił w przekroju uzwojeń. Siły te będą największe przy szczeliny i stopniowo malejące ku zewnętrznej i wewnętrznej powierzchni uzwojeń. Oczywiście siły będą tak działały, jeśli nie uwzględnimy poglądu G. Benischke'ego i przyjmiemy, że siły powstają między prądami i polem rozproszenia.

<sup>3)</sup> We wzorze 10-tym i 11-tym  $L$  współczynnik samoindukcji.

Średnia wartość natężenia pola w przekroju miedzi uzwojenia wynosić będzie 0,5 największej, t. j. 0,5 odcinka uzwojenia wynosić będzie 0,5 wartości największej, t. j. 0,5 odcinka  $hb$  na rys. 1 tak, iż:

$$H_s = \frac{0,4 \pi I z \sqrt{2}}{2 h} \quad (12)$$

gdzie  $I$  jest wartością skuteczną prądu,  $z$  ilością zwojów,  $h$  zaś wysokością uzwojenia w cm.

Podstawiając wartość wzoru 12-go do wzoru 6-go, jeśli we wzorze tym zamiast  $i$  podstawimy  $Iz$  a zamiast  $l$  wstawimy  $l_s$ , czyli średni obwód zwoju w cm, otrzymamy największą wartość sumy sił, działających promiennie na uzwojenia:

$$F = \frac{0,4 \pi (I z)^2 l_s}{10 h} \text{ dyn} \quad (13)$$

Przy zwarciu, ustalonym pę. wzoru 1-go, powstaną siły:

$$F_z = \frac{0,407 \pi (I_1 z)^2 l_s 10^{-3}}{h e_z^2} \text{ kg} \quad (14)$$

W powyższym wzorze  $I_1$  jest skuteczną wartością prądu znamionowego. Jeśli napięcie jest sinusoidalne, to siły będą proporcjonalne do  $\sin^2$ , a więc średnia wartość sumy sił będzie równa połowie największej. Jak wiadomo z teorii przyrządów pomiarowych, siły będą proporcjonalne do skutecznej wartości prądu. W kilka sekund po zwarciu będą działały siły:

$$F_s = \frac{0,407 \pi (I_1 z)^2 l_s 10^{-3}}{2 h e_z^2} \text{ kg} \quad (15)$$

Udarowy zaś prąd zwarcia, określony wzorem 3-cim, wytworzy siły:

$$F_{uz} = \frac{1,63 \pi (I_1 z)^2 l_s 10^{-3}}{h e_z^2} \text{ kg} \quad (16)$$

Przyjmujemy, że udarowy prąd zwarcia płynie w obu uzwojeniach, a więc siła wzrasta proporcjonalnie do kwadratu prądu. Na ten to prąd udarowy obliczamy wytrzymałość mechaniczną uzwojeń w obawie, aby prąd ten, działając wybuchowo, nie zdeformował uzwojeń, choć przy badaniach moglibyśmy określać tylko wartość osiem razy mniejszą, podaną przez wzór 15-ty.

M. Vidmar w książce „Die Transformatoren” na str. 152 podaje wzory, które można wyprowadzić z wzoru 13-go.

Oporność urojona uzwojenia transformatora:

$$X = \frac{8 f z^2 \delta l_s 10^{-8}}{h} \quad (17)$$

gdzie  $\delta$  zredukowana szczelina w cm:

$$\delta = \Delta + \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{3} \quad (18)$$

Napięcie rozproszenia:

$$E_s = X I = \frac{8 f l z^2 \delta l_s 10^{-8}}{h} \quad (19)$$

Podstawiając wyrażenie dla:

$$\frac{(I z)^2 l_s}{h}$$

z wzoru 19-go do wzoru 13-go, otrzymamy:

$$F = 1,6 \frac{E_s I}{\delta f} \text{ kg} \quad (20)$$

Podstawiając dalej do wzoru 20-go wartość ustalonego prądu zwarcia z wzoru 1-go, przy czym napięcie rozproszenia staje się nieco mniejsze od napięcia znamionowego, otrzymamy:

$$F_z = 1,5 \frac{E I_1 10^3}{\delta f l_z} \text{ kg} \quad (21)$$

Udarowy zaś prąd zwarcia, dwukrotnie większy od amplitudy ustalonego, da wielkość cztery razy większą, gdyż we wzorze 19-tym napięcie rozproszenia też dwukrotnie wzrośnie, tak iż:

$$F_{uz} = 6 \frac{E I_1 10^3}{\delta f l_z} \text{ kg} \quad (22)$$

W transformatorze trójfazowym moc  $P \approx 3 \cdot E \cdot I_1$  kVA a więc

$$F_{uz} = 0,2 \frac{P 10^6}{\delta f e_z} \text{ kg} \quad (23)$$

Wzór 23-ci daje wielkość zbliżoną do wartości wzoru 16-go, ponieważ jest on wyprowadzony z tegoż wzoru 13-go.

G. Benischke na str. 241 wspomnianej wyżej publikacji daje również określenie sił promieniowych w uzwojeniach walcowych na jednostkę wysokości  $h$ , a mianowicie wzorem:

$$F = K \frac{(i z)^2}{h^3} \frac{2 l_s}{a} \quad (24)$$

W powyższym wzorze  $K$  jest współczynnikiem, zależnym od rozproszenia. Dla transformatorów normalnych  $K$  jest bliskie jedności. Dla całego uzwojenia siła będzie  $h$  razy większa, a więc:

$$F = K \frac{(i z)^2}{h} \frac{2 l_s}{a} \quad (25)$$

Jeśli wyrazimy prąd w amperach i jeśli  $I$  oznaczać będzie wartość skuteczną, to dla największej wartości prądu siła promieniowa będzie:

$$F = K \frac{0,4}{10} \frac{(I z)^2}{h} \frac{l_s}{a} \text{ dyn} \quad (26)$$

Wzór 26-ty daje wartość  $\pi a$  razy mniejszą, niż wzór 13-ty. Wzór więc G. Benischke'go daje wartość  $\pi a$  razy mniejszą, niż wzór 23-ci M. Vidmar'a.

Zauważymy tu, że, porównując wzory 8 i 12-ty, przy  $z/h = 1$ , otrzymamy taką samą różnicę, t. j. wzór 12-ty wyznaczać będzie wartość  $\pi a$  razy większą, niż wzór 8-my, jeśli prądy w obu będą brane, jako wartości chwilowe. Benischke zaznacza w swej pracy, że wzór 24-ty jest identyczny z 7-ym.

R. Richter w książce „Die Transformatoren” na str. 83-ej i następnych wyprowadza siły zwarcia z rozproszenia, jak na rys. 1, a mianowicie z energii pola magnetycznego:

$$P = \frac{i^2}{4 \pi f} X \quad (27)$$

gdzie  $X$  jest opornością urojoną wg wzoru 17-go (z małą zmianą współczynnika, mianowicie 7,9 zamiast 8, co pominiemy). Przy zmianie zredukowanej szczeliny na  $d\delta$ , energia zmienia się na  $dP$ . Jeśli prąd nie ulegnie zmianie, to siła w kierunku  $\delta$ , a więc i promieni, będzie:

$$F = \frac{dP}{d\delta} = \frac{i^2}{4 \pi f} \frac{dX}{d\delta} \quad (28)$$

Znajdując pochodną z wzoru 17-go i podstawiając do wzoru 28-go, otrzymamy:

$$F = 0,63 \cdot 10^{-2} \frac{I_s}{h} \left( \frac{iz}{1000} \right)^2 \text{ Joule/cm} \quad (29)$$

czyli:

$$F = 0,064 \frac{I_s}{h} \left( \frac{iz}{1000} \right)^2 \text{ kg} \quad (30)$$

Wzór 30-ty wyznacza tę samą wartość, co wzór 13-ty, o czym się przekonamy, podstawiając  $i = I/\sqrt{2}$  i zamieniając kg na dyny.

W dalszym ciągu R. Richter przekształca wzór 30-ty w sposób taki sam, jak Vidmar, zastępując:

$$\frac{I_s z^2}{h} = \frac{X 10^{-8}}{8 f \delta} \quad (31)$$

z wzoru 17-go oraz  $i$  przez  $i_{uz}$  z wzoru 2-go, a  $I_z$  przez

$$I_z = \frac{I_1}{e_k} \quad (32)$$

gdzie  $e_k$  jest napięciem zwarcia, wyrażonym jako ułamek. Urojony spadek napięcia wynosi:

$$e_b = \frac{X I_1}{V_1} \quad (33)$$

gdzie  $V_1$  napięcie fazowe, a  $I_1$  prąd znamionowy. Ostatecznie będzie:

$$F_{uz} = 3,25 \left( 1 + e^{-\frac{t}{T}} \right)^2 \frac{e_s P_s}{e_k f e_k \delta} \text{ kg} \quad (34)$$

W powyższym  $P_s$  jest mocą jednej fazy transformatora:

$$P_s = V_1 I_1 \quad (35)$$

przy  $t = 0$ , t. j. jeśli udarowy prąd zwarcia osiąga wartość, wyznaczoną przez wzór 3-ci, wzór 34-ty daje wartość dwukrotnie większą, niż wzory 16 i 23-ci, co jest dziwne, gdyż wszystkie zostały wyprowadzone z tegoż wzoru 13-go. Jeśli wykonamy czynności, wskazane tu od wzoru 30-go do 33-go, to otrzymamy:

$$F_{uz} = 1,62 \left( 1 + e^{-\frac{t}{T}} \right)^2 \frac{e_b}{e_k} \frac{P_s}{f \cdot e_k \cdot \delta} \text{ kg} \quad (36)$$

Możliwe więc, że zaszła tu omyłka, lub też R. Richter zapomniiał nadmienić czegoś dodatkowo. Np. dla transformatora 3000 kVA na 30000/3000 V  $h = 87$  cm,  $I_s = 140$  cm  $e_z = 5,25\%$ ,  $I_1 = 334$  A,  $z = 130$ ,  $f = 50$  o zredukowanej szczeliny  $\delta = 4,3$  cm otrzymujemy:

pg wzoru 16-go:

$$F_{uz} = \frac{1,63 \pi (333 \cdot 130)^2 140 \cdot 10^{-3}}{87 \cdot 5,25^2} \text{ kg} = 562000 \text{ kg},$$

pg wzoru M. Vidmar'a (23-go):

$$F_{uz} = 0,2 \frac{3000 \cdot 10^{-6}}{4,3 \cdot 50 \cdot 5,25} \text{ kg} = 532000 \text{ kg},$$

pg wzoru R. Richtera (34) przy  $e_b, e_k = 1$  oraz  $\left( 1 + e^{-\frac{t}{T}} \right)^2 = 4$

$$F_{uz} = 3,25 \cdot 4 \cdot \frac{1000000 \cdot 100}{50 \cdot 5,25 \cdot 4,3} \text{ kg} = 1150000 \text{ kg}$$

pg wzoru 36-go:

$$F_{uz} = 575000 \text{ kg}$$



Dla transformatora 24 000 kVA o danych  $e_z = 13\%$ ,  $h = 180$  cm,  $l_s = 260$  cm,  $I_1 = 1270$  A,  $Z = 84$ ,  $\delta = 15$  cm pg. wzoru 16-go otrzymamy:

$$F_{uz} = 498\,000 \text{ kg}$$

Przykłady wskazują, że niekiedy przy wielkich transformatorach siły mogą być mniejsze, niż przy średnich, jeśli napięcie zwarcia jest wielkie.

Przyjmując we wzorze Benischke'go (25), że odległość  $a$  jest zredukowaną szczeliną, co może nie być zupełnie ściśle, przekształcając ten wzór dla prądu udarowego zwarcia pg wzoru 3-go i przyjmując, że  $K = 1$ , otrzymamy:

$$F_{uz} = \frac{1,63 (I_1 z)^2 l_s 10^{-3}}{h a e_z^2} \text{ kg} \dots (37)$$

Dla warunków transformatora 3 000 kVA, przyjmując, że  $a = \delta = 4,3$  cm, otrzymamy:

$$F_{uz} = 41\,800 \text{ kg}$$

a dla warunków transformatora 24 000 kVA, przyjmując, że  $a = \delta = 15$  cm, otrzymamy:

$$F_{uz} = 10\,550 \text{ kg}$$

W obu wypadkach otrzymaliśmy liczby  $\pi a$  razy mniejsze, niż pg wzoru 16-go. Przypuszczalnie jest to dlatego, że wzory Benischke'go są oparte na siłach odpychania między przewodami prostymi, określonych wzorem 7-ym, i nie uwzględniają wcale strumienia, objętego przewodami kołowymi zwojnic.

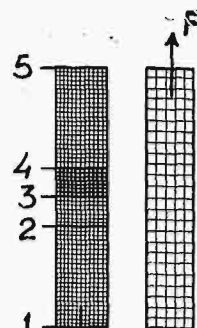
#### Siły w kierunku osi rdzeni.

Nazwiemy te siły dla skrócenia „osiowymi” w odróżnieniu od „promieniowych”. W uzwojeniach walcowych siły osiowe osiągają pewne wielkości przy przesunięciu się jednego uzwojenia względem drugiego, co może nastąpić przy złym montażu lub przy transporcie i dlatego też należy po nadejściu na miejsce większych transformatorów sprawdzić położenie uzwojeń względem siebie. Niekiedy też po kilkuletniej pracy wskutek zużycia się materiałów izolacyjnych jedno z uzwojeń może osiąść. Zwarcie, nie

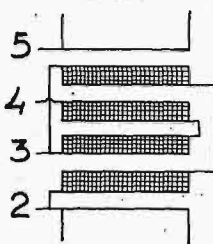
sób, że starają się powiększyć niesymetrię położenia uzwojeń.

Niesymetria w układzie powstaje też przy przełączaniu na zaczepach, jeśli zaczepy są wykonane na końcu uzwojeń, jak na rys. 3. Cokolwiek lepsze warunki otrzymuje się przy wykonaniu zaczepów pośrodku uzwojeń, lecz przy połączeniu na środkowy zaczep 3-ci (rys. 4) powstaje też nierówne położenie w kierunku osiowym. Zupełną symetrię otrzymuje się tylko przy wykonaniu zaczepów, jak pokazane jest na rys. 5. Jeśli nawet uzwojenia są zupełnie symetryczne, lecz jedno jest dłuższe, niż drugie, jak rys 7-my, to końce uzwojenia ab i cd są rozpychane z pewną siłą przy zwarcu w obu kierunkach. Przytem całe uzwojenie nie otrzymuje parcia, usiłującego je przesunąć, lecz końcowe zwojnice mogą być partę z wielką siłą.

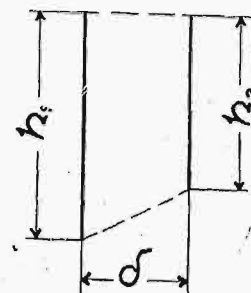
Przykład. Transformator 270 kVA, 3000/36 300 V o napięciu zwarcia  $e_z = 4,4\%$  otrzymał zwarcie od pioruna po



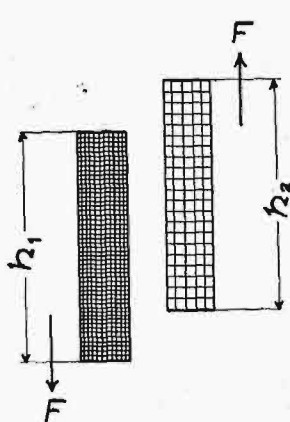
Rys. 4.



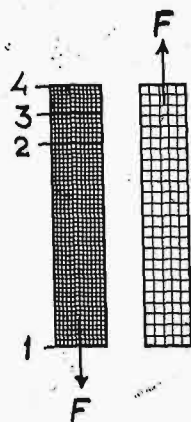
Rys. 5.



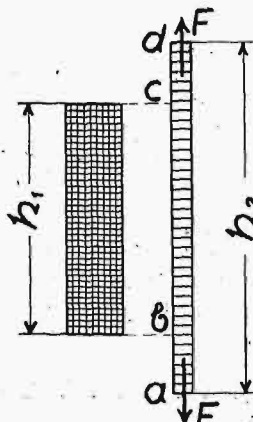
Rys. 6.



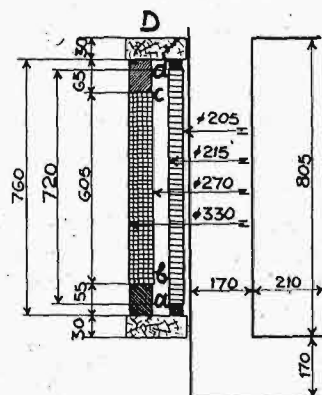
Rys. 2.



Rys. 3.



Rys. 7.



Rys. 8.

czyniące transformatorowi żadnej szkody, może też niekiedy przesunąć uzwojenie tak, iż drugie, następne zwarcie może już wywołać większe siły osiowe. Dlatego też po zwarcu należy obowiązkowo dokładnie obejrzeć transformator i sprawdzić położenie uzwojeń. Rys. 2 przedstawia takie przesunięcie uzwojeń; siły osiowe działają w ten spo-

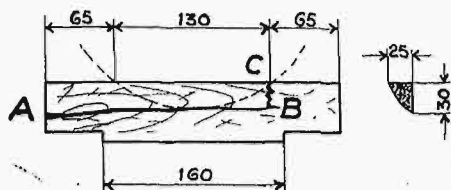
stronie 36 300 V; po zwarcu transformator pracował jeszcze około pół roku, dopiero po tym czasie został zbadany, gdyż zaczął dawać oznaki przebicia. Po rozmontowaniu stwierdzono złamanie górnej podkładki drewnianej buko-

wej na skrajnej fazie. Podkładka ta została rozłupana i ścięta po linii A. B. C. (rys. 9) <sup>4)</sup>. Rys. 8 daje wymiary uzwo-

<sup>4)</sup> Rys. 9a i 9b przedstawiają zdjęcie złamanej podkładki drewnianej i uszkodzonego pierścienia z bakelizowanego papieru.



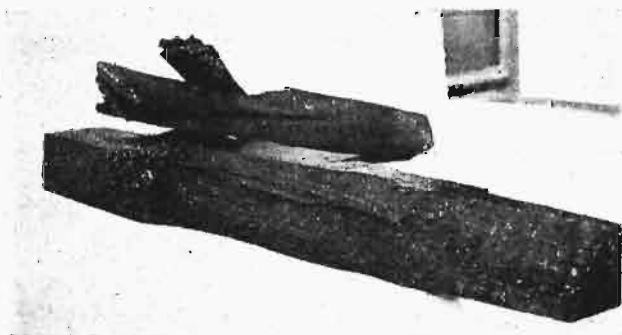
jeń. Część uzwojenia pierwotnego (3000 V) została wyrzucona ku górze. Drzewo podkładki było zdrowe, a popękanie wzdłuż mogło nastąpić z przesuszenia. Ścięcie jed-



Rys. 9.

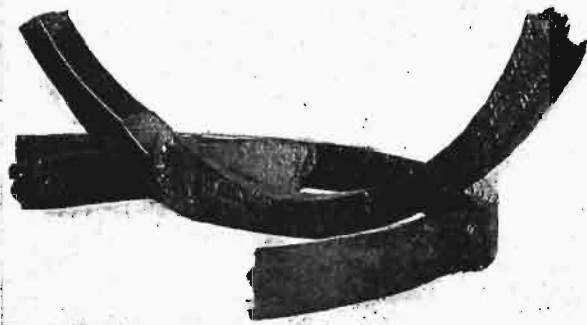
nakże na przekroju ok. 3,75 cm kw. mogła wykonać znaczną siłę, choć możliwe też było, że podkładka była już nadwyrężona przed zwarcie przy prasowaniu uzwojeń, co się zdarza i dlatego nie można zupełnie pewnie sądzić o siłach z uszkodzenia przy zwarcie.

Całkowita ilość zwojów uzwojenia 3000 V wynosiła  $Z_1 = 276$  zwojów przy wysokości uzwojenia 720 mm, przekrój przewodów  $10 \times 2$  mm, uzwojenie spiralne. Część wystająca u góry  $cd = 65$  mm. Pozostałe podkładki, jak dolne, tak i obie podkładki drugiego uzwojenia skrajnego, były zdrowe i całe.



Rys. 9-a.

Połowa siły, wypierającej część  $cd$  uzwojenia, mogła działać na podkładkę, i z tej siły tylko połowa mogła dokonać ścięcia 3,75 cm kw drzewa bukowego, t. j. czwarta część siły osiowej uzwojenia powinna dokonać deformacji, z którejbyśmy mogli obliczać tę siłę<sup>6)</sup>.



Rys. 9-b.

Nie można też przypuszczać, aby przy tak małym transformatorze udarowy prąd zwarcia osiągał swą największą wartość, podaną przez wzór 3-ci.

<sup>6)</sup> Wytrzymałość drzewa na ścięcie, określona doświadczalnie, wynosiła 275 kg/cm<sup>2</sup> przy powolnym ścinaniu (ok. 30 sek). Nagłe ścięcie mogła wytworzyć siła 300 kg/cm<sup>2</sup>, a więc siła = 1125 kg, co dałoby siłę osiową — 4500 kg.

R. Richter na str. 89-ej wspomnianej już książki podaje wzór pg. obliczeń Bodefeld'a, który w skróceniu przedstawia się jak następuje:

$$F_0 = 0,37 \varepsilon \lg(\varepsilon^2 + C^2) F_{pr} \quad (38)$$

W powyższym  $F_0$  — siła osiowa,  $F_{pr}$  — siła promieniowa:

$$C = \frac{\delta}{h}; \quad \varepsilon = \frac{h_1 - h_2}{h_1} \quad (39)$$

pg rys. 6-go. Uzwojenia są tu przedstawione jako nieskończenie cienkie walce w odstępie zredukowanej szczeliny  $\delta$ . Przy  $\varepsilon \leq 0,1$  i  $\varepsilon \gg C$  wzór 36-ty ma dawać pg Richtera wartości o ok. 30% mniejsze od rzeczywistych.

Siły osiowe mogą być sprowadzone do bardzo małych wartości przez odpowiedni montaż transformatora, należy tylko pamiętać, że nietylko jest tu ważna symetria geometryczna, co symetria amperozwojów. Świadomość jednak przyczyn, wywołujących te siły, jest ważna, gdyż tylko wtedy można wykonać transformator, odporny na zwarcia.

#### Uzwojenia krążkowe,

W uzwojeniach krążkowych siły osiowe działają na dwie skrajne połówkowe zwojnice przy równych ilościach amperozwojów grup oraz zwojnic. Grupę stanowi jedna zwojnica wysokonapięciowa, otoczona przez dwie połówki zwojnicy niskonapięciowej. Ilość grup oznaczmy przez  $q$ . Jeśli natomiast zwojnice połówkowe będziemy liczyli za oddzielne zwojnice, to ilość zwojnic jednego uzwojenia oznaczmy przez  $m$ . Na rys. 10 mamy  $q = 3$  i  $m = 6$ . Siły osiowe, powstające tu przy zwarcie w całym uzwojeniu, wzajemnie się znoszą, tylko więc dwie skrajne zwojnice są odpychane. Jeśli przez  $h$  oznaczmy szerokość wieńca zwojnicy, to podobnie do wzoru 12-go średnia wartość natężenia pola będzie:

$$H = \frac{0,4 \pi I_z \sqrt{2}}{m 2 h_1} \quad (40)$$

Siła więc osiowa na skrajną zwojnicę podobnie do wzoru 13-go określi się jako:

$$F_0 = \frac{0,4 \cdot \pi \cdot (I_z)^2 I_s}{10 h_1 m^2} \text{ dyn} \quad (41)$$

Jeśli zamiast prądu  $I$  podstawimy ustalony prąd zwarcia, to średnia wartość siły, którąbyśmy mierzyli przy próbach odpowiednio do wzoru 15-go, wyniesie:

$$F_0 = \frac{0,407 \cdot \pi \cdot (I_1 z)^2 I_s 10^{-3}}{2 h_1 e_z^2 m^2} \quad (42)$$

Udarowy zaś prąd zwarcia może dać siłę:

$$F_{0ur} = \frac{1,63 \pi (I_1 z)^2 I_s 10^{-3}}{h_1 e_z^2 m^2} \text{ kg} \quad (43)$$

M. Vidmar na str. 155-ej wspomnianej wyżej książki daje dla transformatorów trójfazowych wzór na tę siłę:

$$F_{0ur} = \frac{P 10^{-6}}{m \delta f e_z} \quad (44)$$

Wzory 43 i 44-ty dają wartości zgodne. Wzór 44-ty otrzymamy z wzoru 41-go, jak wzór 23-ci otrzymamy z wzoru 13-go, pamiętając, że w uzwojeniu krążkowym oporność urojona zwarcia:

$$X = \frac{8 f z^2 \delta I_s 10^{-8}}{m h} \quad (45)$$

R. Richter na str. 86-ej swej książki o transformatorach podaje dla uzwojeń krążkowych wzór:

$$F_{0ur} = 0.032 \frac{l_s}{q^2 h_1} \left( \frac{z i_{uz}}{1000} \right)^2 \text{ kg} \quad (46)$$

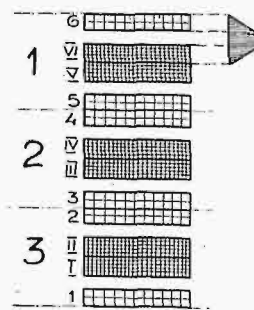
dający wartość *dwukrotnie* większą, niż wzór 41-szy, a więc i wyprowadzone z tegoż wzory 43 i 44-ty. R. Richter przy wyprowadzaniu wzoru brał oporność urojoną  $X$  lub magnetyczną energję nie  $m$  razy mniejszą, niż całość, lecz  $q$  razy mniejszą, t. j. nie pola, zawartego między skrajnymi zwojniami VI i 6 na rys. 10, lecz magnetyczną energję grupy, składającej się z dwóch zwojnic wysokonapięciowych i dwóch niskonapięciowych, t. j. zwojnic V i XI oraz 5 i 6-ej na rys. 10.

Niemą zapewne żadnej podstawy do określania siły oddziaływania na zwojnicę 6-tą z dwóch obwodów magnetycznych między ostatnimi i przedostatnimi zwojniami.

Dotknąłem powyżej kilku kwestyj, związanych z za-

gadnieniem sił przy zwarcu, lecz nie dałem odpowiedzi, do wywodów którego autora sam się skłaniam, a to dlatego, że poruszone tematy wymagają jeszcze dalszego uzasadnienia, możliwego do przeprowadzenia czy to drogą analizy teoretycznych wywodów, czy też badań praktycznych.

Rozbieżność poglądów różnych poważnych autorów bardzo popiera zasadę, że budowa czy też nawet dobra obsługa transformatorów może się opierać na naszych własnych rozważaniach lub badaniach. Nie możemy całkowicie polegać na tem, że wszystkie kwestje rozstrzygną nam licencje lub jakieś powagi zagraniczne. Życie zmusza nas do takiej samej pracy, jak elektryków innych narodów.



Rys. 10.

## WARUNKI PRACY MASZYN ELEKTRYCZNYCH NA OKRĘTACH.

Inż. A. Sadowski.

**Streszczenie.** Stopniowy rozwój elektryfikacji okrętów. Rodzaj prądu, stosowanego na okrętach. Napięcie. Uzwojenia maszyn elektrycznych na okrętach. Ogólne warunki pracy okrętowych maszyn elektrycznych w odniesieniu do wysokiej temperatury pomieszczeń maszynowych, braku miejsca, warunku małej wagi, pracy przy przechyłach okrętu. Sprawa izolacji maszyn elektrycznych na okręcie. Zakres prób odbiorczych. Widoki rozwoju produkcji elektrycznych maszyn okrętowych.

Jeszcze 20—25 lat temu na okręcie w dziale maszynowym i przy urządzeniach okrętowych niepodzielnie panował mechanik ze swemi kotłami, turbinami, maszynami parowymi i całą siecią rur i zaworów, doprowadzających i odprowadzających parę.

Wszystkie urządzenia pomocnicze, jako to: maszyna sterowa, dźwigarka kotwiczna, dźwigi towarowe, pompy najróżnorodniejszych przeznaczeń, sprężarki, chłodnie — wreszcie ogrzewanie okrętu były poruszane i zasilane parą.

Dział elektryczny natomiast był bardzo skromny, nie śmiało stawiał dopiero swe pierwsze kroki i ograniczał się przeważnie do oświetlenia wnętrza i pokładu okrętu, do świateł nawigacyjnych i reflektorów, wentylacji pomieszczeń i najprostszej sygnalizacji okrętowej; obok urządzeń elektrycznych znajdowały się jednak zastępcze urządzenia mechaniczne, jako rezerwa zawsze niepewnej elektryczności, a więc: sygnalizacja mechaniczna, tuby głosowe, przewietrzniki rurowe, lampy naftowe do świateł nawigacyjnych, jak również w kotłowniach, maszynowniach i w najważniejszych dla ruchu okrętu pomieszczeniach.

Wynikało to z małego zaufania do urządzeń elektrycznych. Dlatego też pierwsze próby stosowania elektryczności na okręcie szły opornie, towarzyszyły im nieraz wielkie trudności, a niekiedy nawet kończyły się one zupełnym niepowodzeniem.

Aby to uwypuklić, przytoczę wypadek, który wydarzył się z okrętem o wyporności około 10 000 tonn podczas

manewrowania przy silnej fali i sztormie w pobliżu brzegów Szwecji, obfitujących w małe, lecz liczne wysepki skaliste. Okręt ten był zaopatrzony w maszynę sterową z napędem elektrycznym. W pewnej chwili kapitan okrętu ujrzał, że okręt zamiast posuwać się według swego kursu pędzony jest przez wiatr na najbliższą wysepkę i grozi mu niebezpieczeństwo roztrzaskania się o skały. Sternik zameldował, że ster się zaciął i nie działa. Trzeba przeżyć te chwile, aby zrozumieć całą groźbę sytuacji, gdy masa 10 000 t pędzi z wzrastającą szybkością wprost na skały wysepek! Nie było chwili do stracenia. Padł rozkaz odłączenia zbędnego napędu elektrycznego, a kilkunastu ludzi załogi, walcząc z żywiołem musiało przy największym wysiłku mięśni postawić ster na odpowiedni kurs. Dzięki przytomności umysłu kapitana i wysiłkom załogi okręt w ostatniej chwili uniknął katastrofy, ale nad sterowaniem elektrycznym zawisł wyrok potępiający je na długie czasy.

Później już, po zbadaniu przyczyny zacinania się steru, wyjaśniło się, że silnik elektryczny, napędzający ster, nie był przewidziany dla pracy przy tak znacznych przechyłach i nie posiadał odpowiednich łożysk oporowych; ustawiony z konieczności w kierunku poprzecznym na rufie okrętu, przy dużej fali i silnem kołysaniu się bocznem musiał wykonywać swą pracę przy przechyłach, dochodzących do 45°, i wskutek tego zaciął się, to zaś powodowało pobór nadmiernego prądu: bezpieczniki topiły się, napęd elektryczny był wyłączany i silnik zatrzymywał się.

W tak beznadziejnej prawie sytuacji na pomoc elektryfikacji okrętu przyszedł silnik dyzelski.

Bezsporne jego zalety w porównaniu do maszyn lub turbin parowych w stosunku do wagi całkowitego urządzenia napędowego, a szczególnie do wielkości niezbędnego pomieszczenia na okręcie, większa sprawność cieplna i możność zmagazynowania dużej ilości paliwa płynnego, wystarczającego na daleko większe rejsy, niż przy węglu bunkrowym, spowodowały, że kotły parowe, a z niemi i maszyny parowe lub turbiny, zaczęły zniknąć z okrętów,

zastępowane przez silniki dyzłowskie. Zjawisko to trwa nadal.

Przytoczę tu dla przykładu nowoczesne kieżowniki niemieckie A, B i C o wypomości po 10 000 t, oraz najnowsze zamówienia naszej marynarki handlowej na dwa transatlantyki po 15 000 t każdy dla linii okrętovej Gdynia — Ameryka, na których jest przewidziany napęd dyzłowski.

Z chwilą usunięcia z okrętu kotłów parowych weszła na porządek dzienny sprawa napędu i zasilania wszystkich pomocniczych urządzeń okrętoowych, a również i ogrzewania już nie parą, a w inny sposób.

Rozpoczęła się walka poglądów, zdania się ścięrały, a tymczasem elektrycy zaczęli skrupulatnie badać warunki pracy urządzeń elektrycznych na okręcie, ich wymagania oraz warunki zapewnienia im tak niezbędnej pewności ruchu.

Brak zaufania i niechęć do urządzeń elektrycznych były bardzo znaczne i, niestety, trzeba przynać, że aż do chwili obecnej nie zostały jeszcze one całkowicie zwalczone.

Widzimy więc, jak pomocnicze urządzenia parowe zostają zastępowane z początku przez napędy pneumatyczne przy pomocy sprężonego powietrza, potem zjawiają się urządzenia elektro-pneumatyczne lub elektro-hydrauliczne, które w końcu ustępują miejsca urządzeniom czysto elektrycznym.

Jeszcze i teraz można obserwować, że na niektórych okrętach obok silników dyzłowskich znajdują się kotły parowe dla poruszania parą pomocniczych urządzeń okrętoowych i zasilania ogrzewania parowego, lecz są to już przeżytki i zjawiska takie będziemy obserwować coraz rzadziej, aż znikną one zupełnie.

Już obecnie można śmiało twierdzić, że elektryfikacja okrętu wyszła z tych zmagani zwycięsko i, choć trwają jeszcze niewielkie utarczki zdań i poglądów, to jednak obserwujemy na całym froncie cofanie się urządzeń mechanicznych, miejsce ich zaś zajmują zmodernizowane urządzenia elektryczne.

Wdzierają się one bezapelacyjnie do wszystkich bez wyjątku działów na okręcie, — szczególnie daje się to zaobserwować na okrętach wojennych. Jest to więc dowodem, że urządzenia elektryczne mają swoje bezsporne zalety: mniejszą wagę, szybkość i łatwość natychmiastowego uruchomienia, możliwość zautomatyzowania niezbędnych manewrów, synchronizację ruchu całego szeregu obiektów, wreszcie — niewielką ilość personelu do obsługi i konserwacji, naprawy daleko rzadsze i mniej kosztowne, niż przy urządzeniach mechanicznych.

### Rodzaj prądu.

Od zarania stosowania elektryczności na okrętach aż do chwili obecnej stosuje się prawie wyłącznie prąd stały.

W tej sprawie, według mego zdania, panuje pewien konserwatyzm. Konstruktorzy, przystosowawszy swoje wyroby do prądu stałego, niechętnie okiem patrzą na wszelkie nowatorstwa w tej dziedzinie, o ile im to nie wróży bezpośrednich i niezaprzeczalnych korzyści.

W wyjątkowych wypadkach spotykamy na okrętach zastosowanie prądu zmiennego, gdy w grę wchodzą bardzo znaczne moce, jak na przykład na wielkich motorowcach dyzłowskich przy elektrycznym napędzie śrub, poruszających okręt, lub tam, gdzie niezbędny jest synchroniczny ruch dwóch lub kilku silników elektrycznych, np. przy przekaznikach rozkazów i sygnałów rozmaitego przeznaczenia, a na

wojennych okrętach przy scentralizowanym poruszaniu dział, wież armatnich, aparatów torpedowych i t. p.

W tych wypadkach prąd stały nie daje lub daje wyniki o wiele gorsze. Przy dużych mocach natężenie prądu stałego jest bardzo znaczne wobec niskiego napięcia, z czego wynikają ogromne przekroje przewodów i niedopuszczalna w warunkach okrętoowych ich waga. Uzyskanie dokładnego synchronicznego ruchu kilku urządzeń przy pomocy silników prądu stałego jest nadzwyczaj trudne i wymaga kosztownych urządzeń.

Prąd zmienny, konieczny przy takich urządzeniach, jest albo wytwarzany dodatkowo w centrali elektrycznej, albo przy zastosowaniu przetwornic czerpany z ogólnej sieci okrętovej prądu stałego.

Zalety stosowania prądu stałego na okrętach stanowią:

- 1) przejrzystość i większa prostota sieci okrętoowych i rozdzielni,
- 2) łatwa praca równoległa zespołów bez potrzeby synchronizacji,
- 3) największa zaleta: łatwość dowolnej, ściślej i ekonomicznej regulacji obrotów silników prądu stałego,
- 4) możliwość otrzymania znacznych momentów rozruchowych przy poruszaniu wielkich mas.

Wadę prądu stałego, poza już przytoczonymi, stanowią: komutator i szczotki węglowe, co powoduje konieczność utrzymywania stałej i fachowej obsługi oraz dokonywania periodycznych napraw i przetaczania komutatora, co zmusza okręty do wożenia niezbędnego zapasu poszczególnych części wymiennych, a nawet całych tworników i utrudnia w znacznym stopniu wykonanie należytej izolacji maszyny, odpornej na warunki morskie.

Gdyby w sposób ekonomiczny i prosty udało się rozwiązać regulację obrotów bezkomutatorowych silników prądu zmiennego, trudności zastosowania prądu zmiennego na okręcie, jak mały cos  $\varphi$  przy znacznej ilości drobnych silników, lub nierównomierne obciążenie faz przy oświetleniu pomieszczeń okrętoowych, — dałyby się łatwo usunąć i wówczas prąd zmienny wobec jego wielkich zalet zapanowałby niepodzielnie na okrętach.

Już nawet w chwili obecnej można się spotkać z poglądami, że należy budować na okrętach instalację prądu zmiennego, a w wypadkach konieczności stosowania prądu stałego dla uzyskania należytej regulacji obrotów lub bardzo znacznych momentów rozruchowych — przetwarzać prąd zmienny na stały.

### Wysokość napięcia.

Stosowanie na okręcie możliwie niskich napięć uwarunkowane jest pewnymi względami historycznymi oraz zupełnie nieuzasadnioną bojaźnią, że wobec dużej przewodności żelaznego okrętu załódze grozi niebezpieczeństwo życia w razie zwarcia z metalowym korpusem jakiegokolwiek części instalacji elektrycznej, będącej pod napięciem.

Mniemanie to jest niesłuszne, gdyż wprawdzie kadłub okrętu jest dobrym przewodnikiem elektryczności, ale zanurzony on jest w wodzie morskiej — również dobrym przewodnikiem, posiadającym potencjał ziemi, czyli zero.

Zwarcia instalacji elektrycznej z kadłubem są na okręcie na porządku dziennym, lecz o porażeniach załogi prądem elektrycznym nic nie słychać; nawet przy dotknięciu się kadłuba podczas zwarcia nie będziemy odczuwali napięcia sieci i to bez różnicy, czy będzie ono 40, 110 lub 220 woltów, a nawet i więcej.



Pomimo to jednak początkowo napięcia, jakie stosowano na okrętach, wahały się około 45 woltów, co głównie było uwarunkowane wymaganiami łuku elektrycznego przy reflektorach okrętowych. Z biegiem czasu jednak zaczęło stosować napięcia 75 — 80 woltów, które okazały się dogodniejsze dla utrzymania stateczności łuku w reflektorach.

Dopóki energię elektryczną stosowano jedynie do oświetlenia i reflektorów, napięcie to było wystarczające. W miarę jednak wzrostu zastosowania elektryczności na okręcie i do innych celów, jak napęd silników mechanizmów pomocniczych i t. p., przekroje przewodów stawały się nadmierne, szczególnie w stosunku do ich wagi; powodowało to konieczność zwiększenia napięcia sieci okrętowej do wielkości 100 woltów. I tak, Rosjanie i Amerykanie zaczęli stosować napięcie 105 woltów, natomiast Niemcy i Francuzi, a za nimi i polska marynarka — napięcie 110 woltów, względnie nawet 120 woltów.

Dziś już jest jasne, że napięcie to długo się nie utrzyma, gdyż pobór energii elektrycznej na okręcie szybko wzrasta i natężenie prądu w sieciach okrętowych często osiąga 500 — 1 000 amperów, a nawet więcej. Z tego wynika potrzeba dalszego zwiększania napięcia aż do 220 woltów. Nawet Włosi z powodzeniem stosują obecnie już te napięcia na okrętach wojennych i handlowych, a za nimi w niedługim czasie pójdą z konieczności i inne marynarki.

Należy tu jednak zauważyć, że zwiększenie napięcia sieci okrętowej wymaga również zwiększenia wytrzymałości izolacji przewodów i kabli oraz staranniejszego montażu całej instalacji elektrycznej.

Jak wskazuje praktyka, większe lub mniejsze zwarcia z kadłubem są najczęściej spowodowane przez braki montażowe i niedość dokładne zakończenie lub zabezpieczenie końcówek przewodów i kabli okrętowych, które wcześniej czy później zaczynają dotykać ścianek armatury; bywa to również z powodu starzenia się izolacji przewodów wskutek zabójczych dla niej warunków okrętowych.

Dotychczas przewody i kable są izolowane przeważnie gumą, gdyż papier i inne materiały izolacyjne nie dały lepszych wyników. Gumę wybiera się o wysokiej zawartości czystego kauczuku (do 50%), lecz mimo to traci ona własności izolacyjne pod wpływem szczególnie niekorzystnych warunków okrętowych i ulega z czasem starzeniu. Niekiedy kable z braku innego miejsca znajdują się w pobliżu gorących rur parowych; prócz tego temperatura pomieszczeń okrętowych bywa dość znaczna, wreszcie duża zawartość ozonu w powietrzu morskim oraz soli wraz z wilgocią stwarzają warunki, w których guma starzeje się daleko szybciej, niż na lądzie.

Do niedawna jeszcze, aby uchronić gumę od destrukcyjnego działania powietrza morskiego, powlekano przewód koszulką ołowianą, a końce kabli uszczelniano w dławnicach. Lecz szybki i wszechstronny rozwój elektryfikacji na okręcie właśnie stoi temu na przeszkodzie, gdyż coraz większa ilość i coraz większe i dłuższe kable, których ogólna długość dosięga nieraz paruset kilometrów, stwarza nadmierny ciężar ołowiu, wyrażający się dziesiątkami tonn. Ponieważ zaś każda tona urządzeń okrętowych powiększa ogólny tonaż okrętu w przybliżeniu  $2\frac{1}{2}$  razy, widzimy, że zabezpieczenie kabli ołowiem staje się środkiem bardzo kosztownym i ze względów ekonomicznych konstruktorzy zrzekają się stosowania ołowiu, godząc się z tem, że z czasem trzeba będzie wymieniać narażone na zniszczenie części przewodów elektrycznych.

Te właśnie okoliczności stanowią przeszkodę stosowania coraz to wyższych napięć, jak tego wymagają zwiększa-

jące się moce urządzeń elektrycznych; napięcie 220 woltów normalnej sieci okrętowej w obecnych warunkach można przyjąć jako maksymalne.

Mamy przykłady stosowania nawet przy prądzie zmiennym napięć 1 000, a nawet 2 000 woltów, lecz są to przeważnie krótkie odcinki przewodów specjalnego przeznaczenia, jak to ma miejsce przy dużych silnikach elektrycznych, napędzających śruby bardzo wielkich okrętów.

### Rodzaj uzwojeń maszyn elektrycznych.

Przeważna większość maszyn elektrycznych na okręcie posiada uzwojenie magnesu boczniko-szeregowego. Wynika to z powodów następujących: od prądnicy wymaga się, aby napięcie jej na zaciskach było stałe i niezależne od wielkości obciążenia, a nawet, aby napięcie to wzrastało wraz z obciążeniem i przewyższało o kilka procentów normalne napięcie, gdy maszyna jest całkowicie obciążona. Obciążenie bowiem na okręcie jest nadzwyczaj zmienne; zdarzają się szybkie i gwałtowne zapotrzebowania prądu, które najczęściej trwają niedługo. Stwarza to warunki, uniemożliwiające utrzymanie stałego napięcia w sieci okrętowej, i wymaga stałej i bardzo czujnej obsługi regulatora w wypadku prądnicy bocznikowej. Stosuje się więc te prądnice z dodatkowym uzwojeniem szeregowym. Praca równoległa takich prądnic wymaga zabezpieczeń specjalnych w postaci trzeciego przewodu wyrównawczego, łączącego między sobą równolegle uzwojenia szeregowe tych maszyn.

Przy silnikach uzwojenie szeregowe stosuje się najczęściej dla zwiększenia momentu rozruchowego silnika, co jest konieczne przy poruszaniu mas, celem nadania im większego przyspieszenia.

Stosunkowo rzadziej stosuje się uzwojenie szeregowo-różnicowe w celu uzyskania zupełnie stałych obrotów, niezależnych od obciążenia, jak to ma miejsce przy silnikach, napędzających maszyny sterowe.

Silniki, mające bieg w obu kierunkach, są zwykle zaopatrzone w bieguny pomocnicze, aby nie trzeba było przesuwać szczotek przy zmianie kierunku biegu.

### Ogólne warunki pracy.

**Temperatura.** Ogólnie biorąc, warunki pracy maszyn elektrycznych na okręcie są nadzwyczaj trudne. Składa się na to przede wszystkim wysoka temperatura niektórych pomieszczeń okrętowych, jak: kotłownie, maszynownie — szczególnie przy silnikach spalinowych i t. p., gdzie temperatura w cieplej porze roku może osiągnąć  $55^{\circ}\text{C}$ , a nawet  $60^{\circ}$ . Z tego wynika, że przyrost temperatury w uzwojeniach maszyn, które są zmuszone pracować w takich pomieszczeniach, nie powinien przekraczać  $45^{\circ}\text{C}$  dla izolacji klasy A, czyli przesyconej bawełny. Ponieważ w maszynach lądowych z taką izolacją dopuszczalny jest przyrost temperatury do  $60^{\circ}\text{C}$ , widzimy, że pod tym względem maszyny okrętowe wyłamują się z ogólnie przyjętych norm i muszą być specjalnie obliczone i budowane.

Aby ułatwić chłodzenie, prawie wszystkie maszyny elektryczne są zaopatrzone w silne przewietrzanie.

**Brak miejsca.** Stały brak miejsca i przestrzeni na okręcie, gdzie wszystkie urządzenia montuje się w sposób najekonomiczniejszy co do przestrzeni, gdzie każdy  $\text{cm}^2$  podłogi lub  $\text{cm}^3$  przestrzeni jest brany pod uwagę i wykorzystany, — wszystko to stwarza, że obok maszyny lub nad nią ustawia się inne urządzenia i dostęp do maszyny jest conajmniej utrudniony, demontaż zaś w celach konserwacji lub oczyszczenia niekiedy wprost niemożliwy lub wymaga skom-



plikowanej rozbiórki urządzeń sąsiednich; zmusza to do nadania maszynom elektrycznym specjalnej budowy, ułatwiającej oględziny bez potrzeby demontowania.

Te właśnie względy powodują, że maszyny elektryczne dla okrętu buduje się przeważnie ze stojanem podzielnym i złożonym z 2-ch części, z których górna po odkręceniu odpowiednich śrub i sworzni może być zsunięta naprzód lub w tył, aby w ten sposób ułatwić dostęp do wnętrza maszyny i dać możliwość skutecznie w miarę potrzeby wymianę cewek magnetycznych lub całego twornika.

Ulepszenia te stosuje się prawie zawsze do maszyn, poczynając od 400 kg wagi.

Waga. Jak wiadomo, waga urządzeń okrętowych winna być możliwie jaknajmniejsza pod warunkiem jednak dostatecznej wytrzymałości mechanicznej. Każda tona, niepotrzebnie wożona przez okręt, pomijając już, że zwiększa jego wymiary i tonnaż, powoduje jeszcze konieczność zwiększenia mocy głównych maszyn napędowych dla przezwyciężenia siły bezwładności i utrzymania odpowiedniej szybkości.

To też konstruktorzy przy maszynach elektrycznych okrętowych nie stosują prawie stojanów żeliwnych, zastępując je kosztowniejszymi, lecz o wiele lżejszymi odlewami stalowymi. Pozostałe części maszyny, które nie są narażone na naprężenia mechaniczne, jak np. pokrywy, zasłony i t. p., wykonywa się z blachy żelaznej lub stalowej dostatecznej grubości.

Tużaj jestem zmuszony zauważyć, że najnowsze konstrukcje maszyn, budowanych zapomocą spawania z żelaza profilowego, miałyby szerokie zastosowanie; niestety, dotychczas maszyny takie spotyka się nadzwyczaj rzadko.

### Przechył.

Praca maszyn elektrycznych na okręcie różni się tem od lądowych, że, będąc ustawione na okręcie, który podczas wiatru kołysze się na falach we wszystkich możliwych kierunkach, winny spełniać swe zadania w tych warunkach z dostateczną dokładnością i pewnością ruchu poszczególnych maszyn.

Przechyły okrętu są rozmaite w zależności od miejsca ustawienia maszyny: czy to na dziobie lub na rufie, czy w środkowej części okrętu. Wielka różnica przechyłu powodowana jest również tem, czy maszyna ustawiona jest wzdłuż osi podłużnej, czy też poprzecznej okrętu.

Największe odchylenia od pozycji poziomej posiadają maszyny, ustawione w poprzek okrętu na jego dziobie lub rufie. Odchylenie to łatwo osiągać może 45°. Do takich właśnie maszyn należy silnik napędowy maszyny sterowej, który zapomocą ślimaka wprawia w ruch sektor sterowy i winien być wskutek tego ustawiony w poprzek okrętu i na jego rufie.

Wychylenia w kierunku podłużnym okrętu są o wiele mniejsze i sięgają zaledwie 15°.

Wobec tego wszystkie maszyny elektryczne, których charakter pracy na to zezwala, z zasady ustawia się, o ile to jest możliwe, tak, że linia wału jest równoległa do długości osi okrętu.

Przy znacznych odchyleniach linii wałów od pozycji poziomej, łożyska maszyn okrętowych są anormalnie obciążone i winny być specjalnie do tego przystosowane.

A więc przedewszystkiem muszą to być łożyska oporowe o dostatecznie dużej powierzchni panewki, aby utrudniać osiowy ruch twornika; przy dużych maszynach wykonuje się je w postaci grzebieni, aby uniemożliwić przesuwanie się twornika w kierunku przechyłu, co może wprowadzić zaburzenia elektryczne w maszynie.

Poza tem podczas przechyłu smar nie powinien wyciekać ze smarownic i panewek; powoduje to konieczność

uszczelnienia panewek z obu stron zapomocą specjalnych uszczelnień kształtu trapezoidalnego, niepozwalającego smarowi spływać wzdłuż wału. Smarownice winny mieć specjalną konstrukcję.

### Isolacja.

Jednym z najważniejszych i przytem najtrudniejszych warunków należytej pracy maszyn elektrycznych na okręcie jest właściwie dobrana i wykonana izolacja uzwojeń elektrycznych tych maszyn. Warunki, w jakich maszyny elektryczne zmuszone są pracować na okręcie, są nadzwyczaj trudne i sprawa należytego izolowania ich uzwojeń nie jest jeszcze całkowicie i bez zastrzeżeń rozwiązana.

Pod tym względem najbardziej charakterystyczne i najgorsze są warunki pracy na łodziach podwodnych. Tam maszyny elektryczne z natury rzeczy pracują w pomieszczeniach zamkniętych i niewentylowanych. Temperatura tych pomieszczeń wobec obecności organizmów ludzkich oraz znajdujących się w ruchu urządzeń napędowych i pomocniczych jest większa, niż otaczającej wody, to też na ścianach żelaznych korpusu łodzi podwodnej następuje skraplanie się pary wodnej, znajdującej się wewnątrz tych pomieszczeń, przy zetknięciu z zimnemi ścianami łodzi, chłodzonemi przez wodę morską.

Wilgoć w postaci kropeł wody zjawia się na wszystkich częściach metalowych, nawet wewnątrz tych maszyn i osiada nawet na uzwojeniach elektrycznych.

Poza tem obecność organizmów żyjących, zamkniętych przez kilkanaście godzin w stosunkowo niewielkich pomieszczeniach, powoduje przesiąknięcie całej atmosfery wydzielinami tych organizmów, zawierających rozmaite kwasy organiczne i substancje gryzące.

Właśnie zatrucie atmosfery wewnątrz łodzi podwodnej przez organiczne wydzieliny, nie zaś brak tlenu do oddychania, którego zapas w butlach mógłby być dostateczny, stawia granicę przebywaniu istot żyjących wewnątrz łodzi do pewnego ograniczonego okresu czasu.

Poza tem jeszcze na łodzi znajdują się potężne baterie akumulatorów ołowianych, które, chociaż zamykane są w specjalnych pomieszczeniach, to jednak podczas niezbędnych oględzin część wyziewów kwasowych przedostaje się i do pozostałych przedziałów łodzi i razem z wymienionemi wydzielinami organizmów niszczy izolację uzwojeń maszyn.

Jak wskazuje praktyka, po pewnym czasie uzwojenia pokrywają się rodzajem śluzu, zmniejszającego się lub zwiększającego w zależności od warunków pracy łodzi. Śluz ten powoli, ale systematycznie atakuje substancje izolacyjne uzwojeń i przewodów łączących w maszynach elektrycznych; w zależności od oporności tej izolacji na działanie śluzu mamy lepszą lub gorszą pracę maszyn elektrycznych.

Zdawałoby się na pierwszy rzut oka, że maszyny elektryczne na łodziach podwodnych winny być hermetycznie zamknięte, aby należycie zabezpieczyć ich uzwojenia od niszczącego działania wilgoci i żrących substancji atmosfery łodzi. Praktyka jednak zadała kłam temu twierdzeniu. Idealnie hermetycznie zamkniętych maszyn wykonać prawie niepodobna. Substancje, niszczące izolację, przenikają przez łożyska, podczas oględzin, dzięki wewnętrznemu skraplaniu się wilgoci, gromadzą się stopniowo wewnątrz maszyny i w końcu niszczą izolację. Lepszym środkiem zabezpieczającym okazała się intensywna wentylacja wnętrza maszyny, czy to zapomocą specjalnego wentylatora, umieszczonego nad maszyną, czy też zapomocą wentylatora, osadzonego wprost na wale przy obecności kanałów powietrznych wejściowych i wyjściowych, odpowiednio jednak zabezpieczonych od spadających kropeł skraplającej się pary wodnej.

Nie o wiele lepsze są warunki pracy maszyn elektrycznych na pokładzie okrętów. Wprawdzie żrących wydzielin organicznych tam nie ma, ale mamy do czynienia ze słońcem, powietrzem morskim, przesyconym ozonem.

Natomiast podczas sztormów, połączonych z deszczem, maszyny te są narażone na działanie strumieni wody, uderzających w nie pod rozmaitymi kątami z wielką siłą, oraz zalewane falami wody morskiej, przewalającej się przez pokład okrętu.

Tutaj wentylacja oczywiście nic nie pomoże, musimy maszyny zamykać możliwie jaknajszczelniej i po okresie złej niepogody suszyć je na otwartym powietrzu lub przy użyciu suszarki elektrycznej strugą gorącego powietrza.

Ciężkie są również warunki pracy maszyn elektrycznych w zenzach (spód okrętu) okrętowych, np. pomp zenzowych w atmosferze zamkniętej i stale przesyconej wilgocią.

Lepsze bez porównania są warunki pracy maszyn, które się znajdują w wyższych przedziałach okrętowych, pomieszczeniach mieszkalnych i maszynowych.

Te maszyny nie posiadają zasadniczo korpusów hermetycznie zamkniętych, lecz są jedynie osłonięte przed kroplami spadającej wody, bryzgami oliwy lub zawsze możliwymi strugami pary lub wody. W tej kategorii maszyn spotykamy nawet maszyny o charakterze pół-otwartych.

Z tego krótkiego przeglądu warunków pracy maszyn na okręcie wynika, że izolacja ich uzwojeń winna być wykonana zupełnie inaczej, niż dla maszyn lądowych i musi być ściśle dostosowana do tych specjalnych warunków, w jakich maszyny okrętowe muszą pracować.

W tej dziedzinie możemy spotkać się z kilkoma rozmaitymi poglądami i sposobami wykonania tej izolacji; każdy z nich z mniejszym lub większym powodzeniem dąży do rozwiązania tej trudnej kwestii.

Wspomnę przedewszystkiem o pokrywaniu całych uzwojeń i tworników szklistą powłoką płynnego bakelitu lub lakierów celonowych z pozostawieniem włóknistej izolacji na przewodach.

Metoda ta, dość szeroko stosowana, posiada bezwzględnie swoje dobre strony, gdyż chroni, o ile jest dobrze wykonana i nie posiada pęknięć, uzwojenia wewnętrzne maszyny od ujemnych czynników atmosfery morskiej. Posiada również i wady, mianowicie: stanowi pewną przeszkodę dla łatwego wypromieniowania ciepła z uzwojeń, wskutek czego uzwojenia silnie się rozgrzewają i muszą posiadać specjalne kanały wentylacyjne; poza tym przy znacznych zmianach temperatury mogą powstać pęknięcia, gdyż powłoka ta nie jest dostatecznie elastyczna, a wówczas niema już środków naprawy i cały twornik lub uzwojenie należy poddać ponownemu przewinięciu i zabakelizowaniu.

Drugi sposób polega na wielokrotnym przesyłaniu uzwojeń bardzo płynnymi lakierami, posiadającymi wybitne własności elastyczne, czyli niepękającymi pod wpływem rozszerzania się uzwojeń wraz ze wzrostem temperatury. Sposób ten powinien dawać rezultaty zadowalające pod warunkiem, że lakier ten jest odporny na działanie czynników morskich.

W tym wypadku naprawa uszkodzonych uzwojeń jest bez porównania łatwiejsza i mniej kosztowna.

Wreszcie trzeci sposób polega na zastosowaniu odpornej izolacji; na samych przewodach i uzwojeniach, — izolacji przeważnie pochodzenia mineralnego lub też organicznego, jak: mika, mikanit, mika-jedwab, specjalne rodzaje papieru i ich pochodne i t. p., silnie sprasowanej i wreszcie przesyconemu całości olejami organicznymi i lakierem izolacyjnym.

Ten jednak rodzaj izolacji jest nadzwyczaj kosztowny i nie zawsze może znaleźć swoje usprawiedliwienie w zależności od przeznaczenia i rodzaju pracy danej maszyny elektrycznej na okręcie.

### Odbiór i próby.

Wobec tak odmiennych, jak widzimy z powyższego, warunków pracy, którym winny odpowiadać maszyny elektryczne okrętowe, zakres warunków odbioru i prób wykonywanych z nimi jest inny, niż dla maszyn lądowych.

Poza stwierdzeniem, że poszczególne elementy budowy odpowiadają podstawowym warunkom, jak: waga całkowitej maszyny, podzielność stojana, rodzaj okapturzenia, solidne umocowanie szczotek i oprawy szczotkowej, należyta wentylacja i odpowiednia budowa kanałów wentylacyjnych i t. p., następują próby na przyrost temperatury w uzwojeniach, które dla maszyn okrętowych nie powinny przekraczać 45° dla izolacji klasy A i 60° — dla izolacji klasy B.

Pozatem maszyna zostaje poddana pracy znamionowej przy przechylach osi wałów o 15° względem linii poziomej, dla maszyn, ustawionych wzdłuż podłużnej osi okrętu, i dla przechylów o 45° — dla maszyn, ustawionych w poprzek okrętu, ze sprawdzeniem należytej pracy łożysk i niewyciekania smaru. Następnie idzie próba izolacji, która poza normalnymi próbami na przebicie i pomiaru stanu izolacji przy pomocy omomierza, polega na pogrążeniu całego twornika i cewek magnetycznych na 12 godzin do wody słodkiej o temperaturze 20° C i następnie po wyjęciu i powierzchniowym osuszeniu szmatą poddaniu napięciu (500+U) woltów (U napięcie znamionowe) w ciągu jednej minuty, przyczem izolacja uzwojeń względem korpusu nie powinna spadać niżej normy

$$R = \frac{U \cdot 107}{P + 2000}$$

gdzie U—napięcie znamionowe, a P—moc maszyny w kW.

Na zakończenie pozwolę sobie zaznaczyć, że chociaż w chwili obecnej zapotrzebowanie na okrętowe maszyny elektryczne jest u nas bardzo nieznaczne, to jednak przeświadczenie o konieczności posiadania własnej marynarki handlowej i wojennej oraz wyjścia na międzynarodowe szlaki komunikacyjne, wprawdzie powoli, ale systematycznie umacnia się w pojęciach naszego społeczeństwa i zbliża się dzień, w którym posiadziemy własną stocznię i rozpoczniemy własnymi siłami budowę okrętów handlowych i wojennych, a wówczas polski konstruktor i polski wytwórca będą mieli ogromne pole do działania, aby skutecznie pokonać piętzącą się na każdym kroku trudności przy budowie okrętowych maszyn elektrycznych.

# ELEKTRYCZNE SPAWANIE SZYN, NAPAWANIE BANDAŻY I INNE ROBOTY SPAWANE W TRAKCJI ELEKTRYCZNEJ.

Inż. Dawid Rozenfal.

**Streszczenie.** Opisane jest zastosowanie spawania łukiem elektrycznym w tramwajownictwie i kolejnictwie elektrycznym. Podany jest sposób spawania styków szyn i wskazanie korzyści, wypływające z tego sposobu. Spawanie elektryczne, zastosowane do napraw i utrzymania torów, krzyżownic, zwrotnic, iglic i t. p., jest bardzo korzystne dla eksploatacji. Ważna jest metoda pracy i dobór odpowiedniego materiału. Przy robotach warsztatowych opisane są metody napawania obręczy kół wagonowych i lokomotyw elektrycznych; napawane obręcze pod każdym względem zachowują się dodatnio. Liczne roboty przy naprawach uszkodzonych części taboru zapomocą spawania dają możliwość zorientowania się w znacznych oszczędnościach, uzyskanych przez zachowanie tych części i doprowadzenie ich do dobrego stanu. Spawanie elektryczne, jako cenne narzędzie pracy, zyskuje coraz większe rozpowszechnienie w warsztatach tramwajowych i kolei elektrycznych.

Przedsiębiorstwa tramwajowe, oddawna zainteresowane spawaniem elektrycznym, stopniowo zaczęły wprowadzać tę metodę do swoich warsztatów. Właściwe zastosowanie spawania w trakcji elektrycznej prowadzi do oszczędności i stanowi skuteczną ochronę przed licznymi, nieprzewidzianymi wypadkami. Wiadomości, które mi się podzielić z czytelnikami, oparte są na moich własnych spostrzeżeniach i doświadczeniach w kraju i zagranicą; korzystałem również z czasopism, specjalnie poświęconych technice spawania.

Jeśli idzie o spawanie szyn, to chciałbym zwrócić uwagę na spawanie szyn na styk w miejscach, gdzie znajdują się złącza. Metoda ta przechodziła kolejno różne fazy rozwoju, wykazując coraz lepsze wyniki. Wiadomo, że słabym punktem toru są miejsca, gdzie jedna szyna styka się z drugą. Miejsca te zazwyczaj są łączone łukami na śruby. Prof. R. Podoski pisze o tem połączeniu, jak następuje: 1) „Sposób jednak taki łączenia szyn okazał się już bardzo prędko niedostatecznym. Skutkiem nieuniknionego rozluźniania się śrub powstaje wkrótce pewna gra; końce szyn drgają silniej, niż same szyny, skutkiem czego powstają przy przejeździe wozów uderzenia; uderzenia te powodują w tych miejscach silniejsze starcie szyn, powstają więc wgłębienia, które naturalnie potęgują jeszcze uderzenia, tak, iż po krótkim już stosunkowo czasie złącze musi być wymienione. Oczywiście jest, iż ciągłe takie uderzenia i wstrząśnienia odbijają się fatalnie na trwałości elektrowozów, a również znacznie zwiększają opór trakcji, a tem samem powodują zwiększenie zużycia pracy”.

Powyższe niedogodności starano się usunąć przez zastosowanie złącz specjalnych, ulepszenia te jednak do pewnego tylko stopnia ograniczają niezależne odkształcenia końców szyn, po pewnym czasie następuje rozluźnienie złącz i nieunikniona gra między szyną i częściami składowymi złącz. Oddawna też zaczęto robić próby ze spawaniem szyn; w końcu zeszłego stulecia w Ameryce spawano szyny na styk oporowo zapomocą maszyny Thomsona; wkrótce zaczęto stosować inne metody, z których wymienię 3 najważniejsze, obecnie używane: a) system alumino - termitowy Gold-

schmidta, b) system autogenowy (acetylen - tlen) i c) system spawania łukiem elektrycznym.

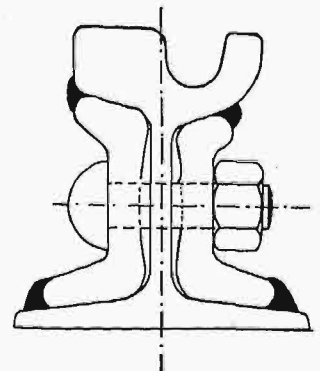
Każdy z powyższych systemów ma swoich zwolenników i przeciwników, nie da się jednak zaprzeczyć, że wszystkie 3 metody stanowią znaczny postęp w porównaniu ze sposobem łączenia końców szyn na łuki przez stworzenie jednej nieprzerwanej szyny. Przy spawaniu szyn osiąga się następujące korzyści: 1) końce szyn nie zużywają się; unika się uderzeń przy przejeździe wozów; 2) szyny nie są osłabione, gdyż niema tu wiercenia otworów dla umocowania złącza zapomocą śrub; 3) ciągłość prądu powrotnego jest zachowana, efekt prądów błądzących jest zmniejszony, łączniki elektryczne są zbędne i niema obawy ich kradzieży. Nasuwała obawy przez pewien czas sprawa rozszerzalności toru pod wpływem zmian temperatury. Obawiano się, że przy szynach spawanych mogą powstać szkodliwe naprężenia; przekonano się jednak, że dla szyn, zagłębionych w jezdni, gra dylatacyjna praktycznie równa się zeru, a dla torów otwartych rozszerzalność ogranicza się do kilku ostatnich metrów od końca szyny<sup>2)</sup>; wielka ilość złącz rozszerzalnych okazała się zbyt cenna, pozostawiono je jednak na torowiskach otwartych co 50 ÷ 70 metrów oraz na łukach.

Przy pierwszych próbach spawania szyn zachowano jeszcze złącza, spawając je z główką i stopą szyny. Właściwie nie były to spawane styki, lecz spawane złącza, zresztą trudno wykonalne ze względu na niewygodną pozycję przy spawaniu. Złącze takie przedstawione jest na rys. 1.

Z każdej strony główki i stopy wykonywano po 3 szwy przerywane; później spawano również główki na styk i często dla wzmocnienia styku i stopy. Zdawało się, że styk w ten sposób wykonany będzie odpowiadał swemu przeznaczeniu, ponieważ szyna i złącze stanowią całość, sztywno złączoną, a więc odpada rozluźnienie i wybijanie szyn. Złącze powyższe posiada jednak wady następujące: 1) kalkuluje się drożej od zwykłego złącza; 2) jest trudne do wykonania, szczególnie spawanie łuków z główką szyny; 3) jest zbyt sztywne z powodu zwiększenia momentu bezwładności w przekroju poprzecznym na styku. Próby wykazały przedwczesne złamanie w miejscu nagłej zmiany przekroju.

Powyższe spostrzeżenia doprowadziły do innego rozwiązania tego zagadnienia, a mianowicie do spawania szyn na styk bez złącza.

Ze względu na kilka metod spawania styków: termitem, autogenem czy też elektrycznie, ważną rzeczą jest ustalenie sposobu wykonania, właściwego dla każdej metody. Błędem byłoby mniemanie, że sposób, przyjęty dla jednej metody, nadaje się dla pozostałych. Jeśli naprz. przy



Rys. 1.  
Złącze spawane. Łuki do-  
spawane do główki i stopy  
szyny.

<sup>1)</sup> Inż. Roman Podoski „Tramwaje i Koleje Elektryczne” t. 1, str. 104.

<sup>2)</sup> Inż. Roman Podoski „Tramwaje i Koleje Elektryczne” t. 1, str. 108.

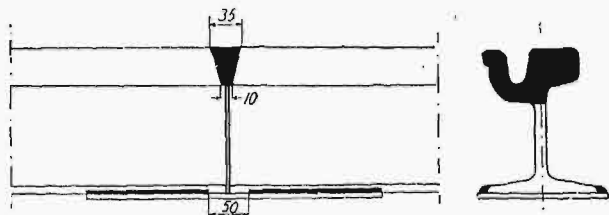


metodzie aluminotermitowej najracjonalniejsze i najekonomiczniejsze jest zalanie całego przekroju styku roztopionym metalem, powstałym z mieszaniny tlenku żelaza oraz rozdrobnionego aluminium, to sposób ten dla metody naprz. elektrycznej nie nadaje się; inne jest również postępowanie przy metodzie autogenowej. Wynika to z odmiennej techniki spawania, właściwej dla każdej metody.

W zasadzie wykonanie styku, niezależnie od metody, winno być takie, aby w miejscu spawaniem moment bezwładności był równy momentowi bezwładności w pełnej szynie, to samo dotyczy wytrzymałości na rozzerwanie, gięcie, elastyczności i twardości w stosunku do całego toru. Przy spawaniu łukiem elektrycznym styk może być zgóry obliczony z dokładnością do  $2 \div 3\%$ , inne metody spawania opierają się więcej na danych doświadczalnych.

Rys. 2 przedstawia styk, wykonany metodą spawania elektrycznego; kolejność postępowania jest następująca: 1) ułożenie płytki żelaznej pod stopą szyny i spawanie krawędzi tej ostatniej z płytką; 2) zukosowanie główki szyny łukiem elektrycznym lub palnikiem i spawanie główki; 3) oszlifowanie powierzchni główki dla zabezpieczenia spokojnej jazdy bez wstrząsów.

Należy zauważyć, że styk na całej swojej długości nie jest spawany, stopa również nie jest spawana, pozatem z każdej strony stopy od środka styku pozostawia się po 25 mm długości niespawanej. Ten sposób spawania okazał się praktyczny i celowy, gdyż wszystkie miejsca do spawania są łatwo dostępne, unika się niewygodnego pionowego



Rys. 2.

Szyny spawane elektrycznie na styk bez łąbków.

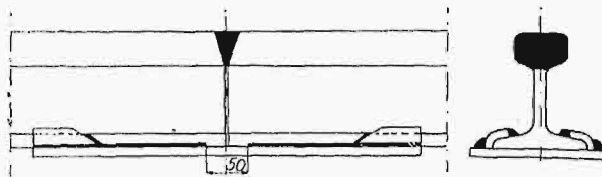
spawania szyjki, zresztą ta ostatnia przenosi nieznaczną część obciążenia szyny przy zginaniu; praktycznie całe obciążenie przenoszone jest przez główkę i stopę, przeto obojętne jest, czy szyjka szyny jest spawana czy nie; zredukowany przekrój szyjki jest skompensowany przez płytkę, której grubość jest odpowiednio obliczona w stosunku do brakującego przekroju. Pozostawienie niespawanego miejsca na długości 50 mm w stopie zapewnia połączeniu końców szyn elastyczność. Obliczenie styku, spawanego elektrycznie, sprowadza się do 1) obliczenia przekroju płytki (grubości) i 2) obliczenia długości płytki i szwów.

Z braku miejsca nie będę przeprowadzał tutaj całego obliczenia styku, które zainteresowani mogą znaleźć w broszurze Dr. Inż. Rosenthala „Le joint de rail soudé à l'arc électrique” (wydawnictwo Société Belge des Ingenieurs et des Industriels. Bruksela). Metoda obliczenia polega na rozpatrywaniu szyny na podkładach, jako belki ciągłej na podporach pod obciążeniem siły, skupionej w środku styku. Ze wzorów porównawczych na moment bezwładności i moment gnący znajduje się przekrój płytki. W ten sposób grubość płytki zależna jest od typu szyny, tak np. dla szyny typu S. 26 42,59 kg/m grubość płytki wynosi 12 mm, dla szyny U. V. F. I. 52,12 kg/m — 15 mm.

Najmniejsza grubość płytki może wynosić 10 mm; płytek o grubości mniejszej od 10 mm naogół nie używa się. Szerokość płytki powinna być o  $20 \div 30$  mm większa od szerokości stopy szyny celem pozostawienia miejsca na szwy. Długość płytki powinna być taka, aby spojenie, łą-

czące płytkę ze stopą, posiadało przynajmniej taką samą wytrzymałość, co sama płytka. Należy także zwrócić uwagę na długość płytki ze względu na odległości między podkładami w styku szyny.

Ostatnio wprowadzono pewne zmiany przy spawaniu



Rys. 3.

Szyny spawane elektrycznie na styk z zastosowaniem żabek.

styku metodą elektryczną, mianowicie zastosowano na końcach płytki 4 żabki kształtu trapezowego, spawane z płytką i stopą. Uzyskano w ten sposób lepszy rozkład naprężeń. Styk z żabkami uwidoczniiony jest na rys. 3. Przy próbach z obciążeniem trwałym 35-tonnowym przy odległości podpór, wynoszącej 1 m, zdołano osiągnąć 987 479 powtarzalnych uderzeń aż do złamania styku; styk bez żabek wytrzymał w tych samych warunkach 345 246 uderzeń. Stosowanie żabek dla wzmocnienia styku zaleca się przy dużych obciążeniach toru, również przy starych szynach, gdzie wskutek korozji krawędzie stopy mają zmniejszoną grubość; w wypadkach słabego obciążenia przy niezbyt ciężkich pociągach wystarczy styk zwykły bez żabek.

Koszt wykonania jednego styku zależy od sposobu przygotowania roboty i organizacji; ważny jest odpowiedni dobór pałeczek do spawania w zależności od materiału szyny; należy również zwrócić uwagę na odpowiedni aparat do spawania; pozatem nie jest rzeczą obojętną, czy prąd pobiera się z sieci, czy też należy go wytwarzać na miejscu. W/g danych, zebranych przezemnie w niektórych przedsiębiorstwach tramwajowych w Polsce, koszt spawania jednego styku sposobem elektrycznym waha się w granicach  $20 \div 25$  złotych, przy zużyciu ok.  $20 \div 25$  elektrod,  $12 \div 15$  kWh i 1,5 godziny pracy. W Belgii koszt spawania styku wynosi 75 fr. belg. (ok. 18 zł.). W Austrii wykonano 266 styków na długości toru 2 km (4 000 metrów długości szyn) i zaoszczędzono 8 800 szylingów (ok. zł. 8 650) przez uniknięcie zamiany złącz; podają<sup>3)</sup>, że przy tej jednej robocie zespół, używany do spawania, za-



Rys. 4.

Szyny spawane elektrycznie na styk podczas wykonania z pozostawieniem łąbków.

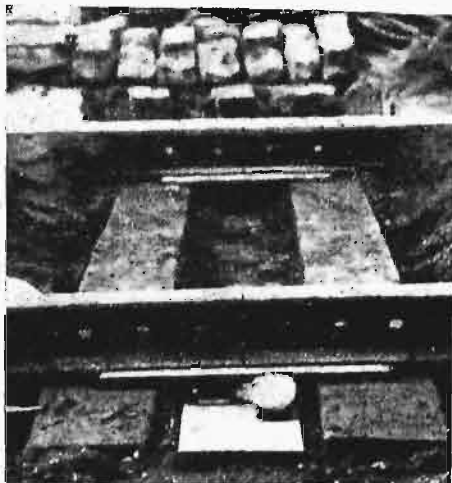
mortyzował się dwukrotnie. Spawanie styków szyn zapomocą łuku elektrycznego przyjęło się w wielu przedsiębiorstwach tramwajów i kolei elektrycznych zagranicą; naj-

<sup>3)</sup> Elektroschweissung Nr. 8, rok 1932, str. 151.



więcej styków zostało wykonanych w Belgii (kilkanaście tysięcy); szyny, spawane metodą elektryczną, pracują naogół zadowalająco. U nas w kraju elektryczne spawanie styków znajduje się jeszcze w stadium prób; niewątpliwie jednak przedsiębiorstwa tramwajowe i koleje elektryczne doj-

dnio z prądnicą prądu stałego na  $70 \div 80$  V i  $600 \div 650$  amperów. Przy tym jednym zespole może pracować 3-ch spawaczy jednocześnie. Zespół jest wyrobu angielskiego i bardzo dobry w użyciu. Tablica rozdzielcza wyposażona jest w wyłącznik nadmiarowy, w wyłącznik zanikowy na-



Rys. 5.  
Szyny, przygotowane do spawania na styk.

dą do dobrych wyników po przeprowadzeniu badań i zastosowaniu odpowiednich materiałów (rys. 4, 5 i 6).

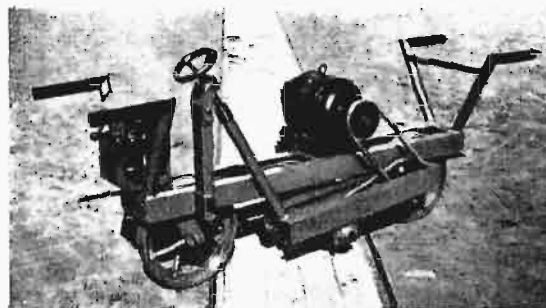
Poza spawaniem styków szyn spawanie elektryczne posiada duże zastosowanie przy rozmaitych naprawach toru; w większości wypadków roboty te są wykonywane na miejscu, niektóre zaś przedsiębiorstwa tramwajowe przeprowadzają te naprawy w dzień, co wcale nie wpływa na normalny ruch wozów tramwajowych. Dla przykładu opiszę sposób spawania w tramwajach brukselskich.

Spawanie szyn odbywa się tam zarówno w dzień, jak i w nocy. Przetwornica do spawania i cała aparatura umieszczona jest na samochodzie. W głębi wozu znajduje się zespół (silnik - prądnica), na przedzie — tablica rozdzielcza. Dopływ prądu stałego do silnika z sieci o napięciu 550 V odbywa się zapomocą odpowiednio długiego kabla, na końcu którego znajduje się specjalny zacisk do umocowania na przewodzie jezdnym. Zacisk jest tak wykonany, że pałak lub



Rys. 6.  
Szyna spawana na styk po wykonaniu.

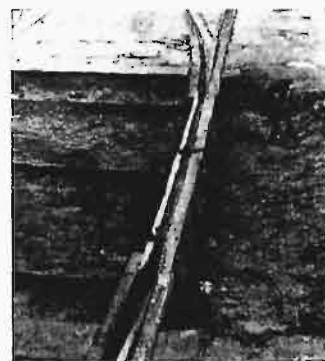
kółko swobodnie pod nim przechodzą, nie przeszkadzając w spawaniu. Drugi biegun stanowi szyna, od której prowadzi się przewód do silnika. Zespół do spawania składa się z silnika prądu stałego bocznikowego na  $550 \div 600$  V i 1400 obr/min. przy  $80 \div 100$  A, sprzęgniętego bezpośred-



Rys. 7.  
Szlifierka elektryczna (spawana elektrycznie) do wygładzania powierzchni szyn.

pośrednio, w regulator wzbudzenia, w bezpieczniki i przyrządy pomiarowe. Oprócz tej aparatury elektrycznej i oświetlenia (7 lampek węglowych w szereg), pod spodem wozu znajdują się bębny z nawiniętymi na nich kablami do spawania; kawałki blach żelaznych różnych wymiarów, zapas pałeczek do spawania, piecyk żelazny i narzędzia kompletują całość. Przed rozpoczęciem spawania, próbuje się szyny młotkiem, uderzając nim w kilku miejscach; głuchy odgłos oznacza, że szyna jest wadliwa lub złamana; miejsca te zależnie od uszkodzenia zostają wzmocnione. Pęknięcia w szynach bywają poprzeczne, jak również podłużne, często się zdarza, że odlew jest zły i zawiera dziury. Rozkopuje się szyny przy styku, między stopą a główką układa się płytkę, którą się spawa z szyną, sam styk po zukosowaniu łukiem również się spawa. Tramwaje belgijskie używają elektrod z otuliną i powlekanych (pochodzenia krajowego). Ostatnią warstwę styku nakłada się specjalnie twardymi elektrodami. Później powierzchnię hebluje się lub szlifuje (rys. 7). Cięcie łukiem elektrycznym przy układaniu blach żelaznych jest bardzo często stosowane w tramwajach brukselskich. Tak naprz. płytę o grubości 20 mm i szerokości 80 mm tną się w przeciągu 1 minuty prądem 300 amperowym.

Przy spawaniu szyn na styk unosi się oba końce nieco w górę, wbijając kliny pod szynę; w miejscach, gdzie są podkłady, wkłada się kawałki drewna indyjskiego, nie przyjmującego wilgoci. Po kilkakrotnym przejeździe wozów miejsce wzniesione styku staje się równe. Doświadczenia ze spawaniem (napawaniem) zwrotnic, rozjazdów, krzyżownic dały jaknajlepsze rezultaty (rys. 8 i 9). Wiadomo, że przy rozjazdach i skrętach szyny zużywają się mocno wskutek tarcia obrzeży kół wagonowych; miejsca te zostały napawane odpowiednimi elektrodami i w ciągu 2-ch lat wykazały minimalne zużycie. Wszelkie uszkodzone lub wytarte iglice były spawane i w pracy dobrze się zachowują. Główną rzeczą jest umiejętne stosowanie spawania,



Rys. 8.  
Naprawa zwrotnicy tramwajowej!

a więc: 1) wykwalifikowany spawacz, 2) odpowiedni prąd i 3) dobór materiału elektrod.

Według danych, zaczerpniętych z praktyki spawania w tramwajownictwie austriackim<sup>4)</sup>, ciekawe są następujące cyfry przy naprawach nawierzchni toru łukiem elektrycz-

a uszkodzona powierzchnia toru nie jest obciążana (rys. 10). Podwyższenie żłobka zapomocą napawania stosuje się dość często przy skrzyżowaniach, sposób ten jest lepszy od klinów na śruby, które się rozluźniają.

Napawania szyn, wykonane nieodpowiednim materia-

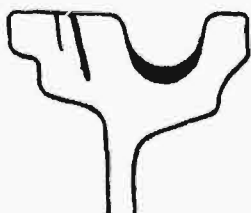


Rys. 9.

Napawanie elektryczne krzyżownicy tramwajowej.

nym. Podwójna krzyżownica ze stali manganowej kosztuje 20 000 szylingów (ok. 19 600 złotych), a ułożenie jej w asfalcie 2 000 szylingów (około 1 960 złotych); krzyżownica taka przy ruchu 2 minutowym (1 wagon motorowy i 2 doczepne) po 8 latach musi być wymieniana z obawy wykolejenia i uszkodzenia wagonów. Przez napawanie krzyżownicy bez rozkopania jezdni trwałość jej przedłuża się na dalsze 2 lata. Napawanie wykonywane jest przez jednego spawacza i 2-ch pomocników w ciągu 5 godzin pracy nocnej; koszt wynosi 500 szylingów (ok. 480 złotych). Napawanie można powtórzyć jeszcze dwa razy, w ten sposób długotrwałość krzyżownicy podwyższa się do 14 lat; 6-letni udział na 8 lat kosztów kapitału 22 000 szylingów wynosi 16 500 szylingów; 3-krotna naprawa  $3 \times 500 = 1500$  szylingów; w jed-

nym przypadku przy 15 godzinach roboczych zaoszczędza się 15 000 szylingów (ok. 14 700 złotych). Bardzo często stosowane są krzyżownice z szyn spawanych; koszt takiej krzyżownicy wynosi 4 000 szylingów (ok. 3 920 zł.).



Rys. 10.

Wzniesienie żłobka przez napawanie w wypadku pęknięcia główki szyny na dużej głębokości.

leży wspomnieć o naprawach zwrotnic i iglic, które się z czasem zużywają; napawanie elektryczne doprowadza te części do stanu pierwotnego. Z braku miejsca nie mogę wyliczyć wszystkich wypadków uszkodzeń, jakie się zdarzają przy zwrotnicach i iglicach, i sposobów spawania elektrycznego przy tych naprawach. Naprzykład przy pęknięciu szyny w główce na głębokości 10 cm, trudnem do naprawy zapomocą spawania, zostało zastosowane nieznaczne napawanie żłobka i jego podwyższenie, w ten sposób koło zostaje uniesione w tem miejscu przez obrzeże,



Rys. 11.

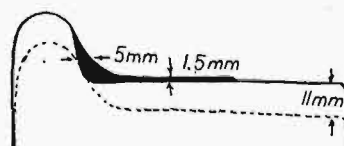
Próba na zginanie żabki, spawanej elektrycznie z podkładem żelaznym.

łem palczek, nie są trwałe, szczególnie przy drganiach, wywołanych zjawiskiem fal. Należy przeto dobierać taki materiał do spawania, któryby wykazywał dobre połączenie z materiałem podstawowym, aby warstwy nakładane były twarde, jednak niełamliwe i niekruche.

Wiele przedsiębiorstw tramwajowych i kolei elektrycznych, szczególnie zagranicą, stosuje podkłady metalowe; wymiary tych ostatnich są naogół standaryzowane; zdarza się niekiedy, że niektóre podkłady muszą mieć długość inną od przewidzianej; dotyczy to podkładów pod krzyżownice i rozjazdy. Różnice w wymiarach podkładów przedstawiają pewne trudności dla fabrykacji i przy dostawie, spawanie elektryczne usuwa z łatwością tę niewygodę. Tak np. tramwaje w Lozannie radzą sobie w ten sposób, że przecinają podkłady normalne i spawają je na styk na żadaną długość, niekiedy dwie części łączone są pod pewnym kątem dla ułatwienia zamocowania nawierzchni toru. Umocowanie szyn na podkładach metalowych wykonywa się zapomocą żabek, spawanych z podkładami. Sposób ten jest bardzo celowy i pewny, unika się przez to dziurawienia podkładów. Przeprowadzone próby wykazały dużą wytrzymałość tego połączenia (rys. 11). Na jednej z linii kolei belgijskich żabki takie pracują już od kilku lat zupełnie zadowalająco.

#### Napawanie bandaży.

Poza robotami na torze, spawanie elektryczne oddaje duże usługi w warsztatach tramwajowych i kolei elektrycznych. Jedną z najaktualniejszych kwestyj, która już od kilku lat interesuje warsztatowców kolejowych i tramwajowych, jest sprawa naprawy starych bandaży kół wagonowych zapomocą napawania. Obręcze i obrzeża kół ścierają się dość szybko przy przejściach na łukach i podczas hamowania. Ślizganie się wozu wskutek nagłego hamowania pociąga za sobą miejscowe spłaszczenie na powierzchni tocznej, co powodu-



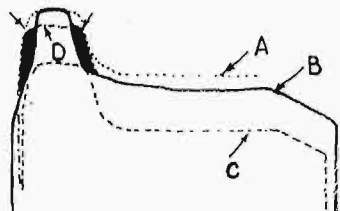
Rys. 12.

Normalny profil koła lokomotywy, z napawaniem obrzeżem na grubości 5 mm. Linja kreskowana wskazuje głębokość stoczenia w wypadku, gdyby napawanie nie było zastosowane.

<sup>4)</sup> Elektroschweissung Nr. 8, 1932, str. 151.

je powtarzane uderzenia dla podwozia szkodliwe, a dla pasażerów nieprzyjemne.

Dotychczasowa metoda polega na stoczeniu obręczy, przez co zmniejsza się średnicę; skrawanie wynosi ok. 12 mm w przypadku, gdy obrzeże ze strony przeciwszyny nie jest

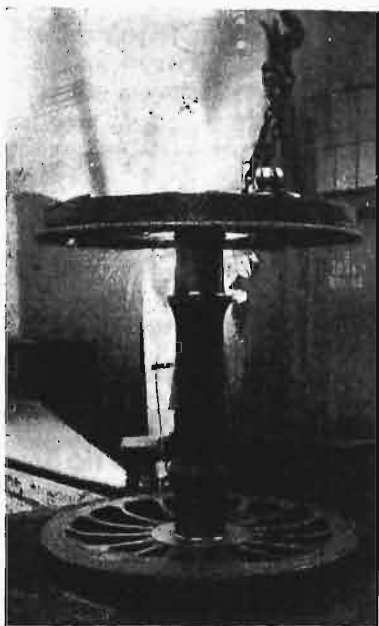


Rys. 13.

Normalny profil koła tramwajowego z napawaniem obrzeżem. A—profil teoretyczny początkowy, B—profil starty, C—po stoczeniu bez zastosowania napawania, D—profil po napawaniu z zachowaniem średnicy powierzchni tocznej i jej twardości.

zużyte, i sięga do 17 mm, jeśli obręcz jest starta z 2-ch stron; przy większym zużyciu wypada niekiedy stoczyć do 20 mm; po 2-krotnym przetoczeniu silnie zużytych obręczy otrzymuje się najmniejszą dopuszczalną grubość (rys. 12 i 13).

Najwięcej ściera się obrzeże; powierzchnia toczna obręczy kół tramwajowych zużywa się naogół mało, pozatem materiał obręczy wskutek utwardzenia jest dość trudny do obróbki, a z drugiej strony zachowanie twardości tego metalu przedstawia pewne korzyści, ponieważ przez bezustanne szlifowanie powierzchnia toczna otrzymuje kształt, odpowiadający lokalnym warunkom toru. Zamiast obręcze obtaczać, zaczęto je napawać i w ten sposób zachowano ich pierwotny profil. Wystarczy nakładanie metalu na starte obrzeża. Pierwsze próby z napawaniem obręczy były robione na kole-

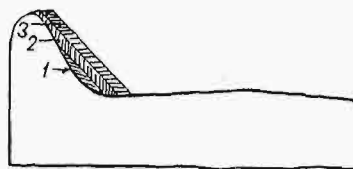


Rys. 14.

Napawanie obręczy koła parowozowego.

jach niemieckich i belgijskich i osiągnięto tam dobre wyniki. W warsztatach kolei belgijskich byłem obecny przy napawaniu obręczy kół lokomotyw. Starte obrzeża napawa się elektrycznie po przebiegu 300 000 km. Koleje belgijskie stosują napawanie elektryczne ze względu na to, że metoda ta wywołuje tylko miejscowe nagrzanie i że okazała się dotych-

czas najbardziej ekonomiczną. Zestaw kołowy zostaje ustawiony prostopadle do osi (rys. 14); miejsca przed napawaniem czyści się szczotką drucianą, a następnie na całym obwodzie we wgłębienia obrzeża, prostopadle do powierzchni tocznej, nakłada się warstwy metalu długości 15 cm i grubości 6 mm; nakładanie odbywa się zazwyczaj w 3 warstwach (rys. 15); spawacz zapomocą szablonu sprawdza profil i stara się o jaknajdokładniejsze zachowanie go; ma to na celu zmniejszenie obróbki przy toczeniu i ograniczenie zużycia elektrod. Przy spawaniu należy zachować środki ostrożności, a więc unikać nagłego oziębienia; wskazana jest praca w lokalu zamkniętym, aby nie było przewiewu. Dla koła o średnicy 1,4 m napawanie jednego obrzeża wymaga 8 godzin pracy spawacza i zużycia około 120 elektrod średnicy 5 mm. Koszt napawania jednej obręczy wraz z montażem, obróbką i zużyciem prądu elektrycznego wynosi ok. 400 fr. belg. (około 100 złotych). Doświadczenie wykazało, że obrzeże w ten sposób odnowione zachowywało się pod każdym względem dobrze. Koleje belgijskie podają przypadek oderwania się obrzeża na długości 4 do 6 cm; naprawa została uskuteczniła zapomocą spawania elektrycznego w cią-



Rys. 15.

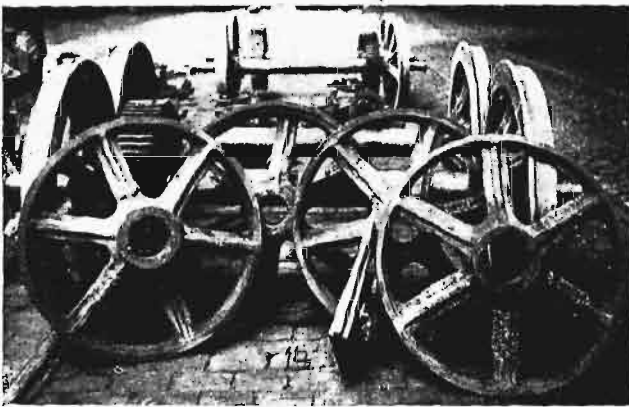
Napawanie obrzeża przez nakładanie 3-ch warstw.

gu kilku godzin i kosztowała 178 fr. belg. (ok. 45 zł.) zamiast 9 600 fr. belg. (ok. 2 400 zł.) gdyby trzeba było nałożyć nową obręcz; unieruchomienie zestawu trwałoby najmniej 12 dni. Przy napawaniu obręczy kół tramwajowych metoda postępowania jest taka sama, jak przy kołach kolejowych; jeśli zaś obrzeża są starte również ze strony przeciwszyny, to napawanie odbywa się na zmianę przy zestawie, ustawionym prostopadle do osi; najpierw napawa się obrzeże, zwrócone ku górze, przechodząc od koła górnego do dolnego i na odwrót. Stapia się 2 lub 3 elektrody na górnym kole, następnie 2 lub 3 elektrody na dolnym, następnie, przechodząc do górnego koła, napawa się część obrzeża średnicowo przeciwną do tej, od której rozpoczęto napawanie i tak postępuje się dalej. Ten sposób napawania zalecany jest ze względu na uniknięcie zbytniego nagrzania obręczy i na dużą szybkość wykonania. Warstwa metalu nakładanego o grubości 5 mm i długości 10 do 15 cm wystarcza. Średni koszt napawania można ustalić, porównując go z kosztem obtoczenia bandaży do pewnej grubości; koszt stoczenia 4 mm obręczy odpowiada kosztom napawania. Jeden spawacz napawa 2 zestawy tramwajowe w ciągu dnia; można założyć, że napawanie kalkuluje się prawie 4 razy taniej od staczania. Zamiast napawania ręcznego na niektórych kolejach niemieckich stosowane jest napawanie automatyczne. Opis spawarki mogą czytelnicy znaleźć w książce inż. Strausfogla p. t. „Zestawy kołowe taboru kolejowego”. Inż. Strausfogel podaje że dzienna wydajność maszyny stanowi 6 zestawów wagonowych lub 3 zestawy parowozowe. Przeciętny czas napawania jednego zestawu wagonowego wynosi 1,5 godziny przy zużyciu 40 m drutu o średnicy od 4 do 5 mm kosztem 40 kWh. Trwałość obręczy zwiększa się przez napawanie od 6 do 8 razy. Naogół napawane obrzeże wykazały dobre rezultaty. Inż. Strausfogel pisze w swojej książce: „W zależności od zastosowanej elektrody materiał napawany posiada bardzo różny stopień twardości, a często zdarza się, że pod tym względem przewyższa pierwotny materiał



obręczy. Wszystkie próby na zginanie, spęczanie i rozrywanie dały wyniki dodatnie. W ciągu 1,5 roku badano znajdujące się w ruchu napawane obręcze; po przebiegu 25 000, 60 000 i 80 000 km napawane obręcze nie różniły się absolutnie od nienapawanych, ani pod względem wyglądu ani też pod względem stopnia zużycia i nawet po przebiegu 90 000 km miejsca napawane zachowały się dodatnio. W niektórych wypadkach obręcze były napawane 8 razy, dając za każdym razem znakomite rezultaty".

W warsztatach tramwajowych i kolei elektrycznych jest pozatem wiele innych robót, do których spawanie elektryczne ma duże zastosowanie. Tabor tramwajowy i kolejowy, przy ciągłej swojej pracy w trudnych warunkach, narażony jest na uszkodzenia i duże zużycie. Warsztaty muszą wykonywać szybko różnego rodzaju naprawy. Ta różnorodność robót nie pozwala na stosowanie pracy seryjnej. Z drugiej strony czas unieruchomienia uszkodzonych wozów musi być ograniczony do minimum ze względu na niedopuszczalne nagromadzenie wozów i na martwy kapitał w postaci uszkodzonego taboru. Dla tej przyczyny magazyny tramwajów i kolei elektrycznych muszą być stale zaopatrzone we wszelkiego rodzaju części zamienne. Naprawa często polega na zmontowaniu nowej części, a wyrzuceniu uszkodzonej. Taki system wymaga z jednej strony unieruchomienia kapitału w postaci części za-



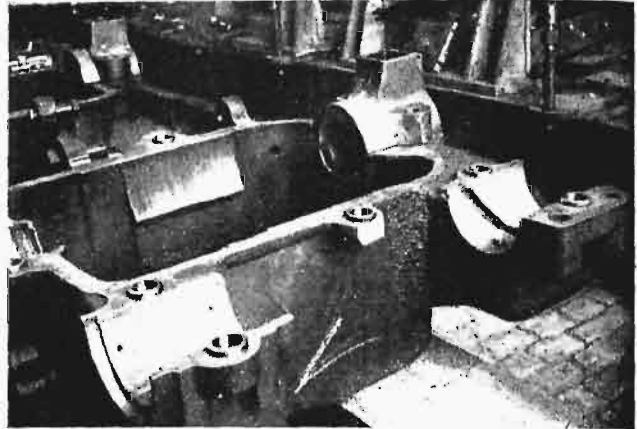
Rys. 16.  
Naprawa pękniętych kół wagonowych.

pasowych, z drugiej zaś strony wyrzucanie uszkodzonych części do starego żelastwa powoduje duże straty.

W tej gospodarce spawanie wprowadziło zmiany na lepsze: w większości wypadków naprawy mogą być przeprowadzone bez demontowania części, spawany przedmiot jest w takim samym dobrym stanie, jak i nowy, a niekiedy w lepszym, wreszcie część zużyta może być napawana dużą ilością razy.

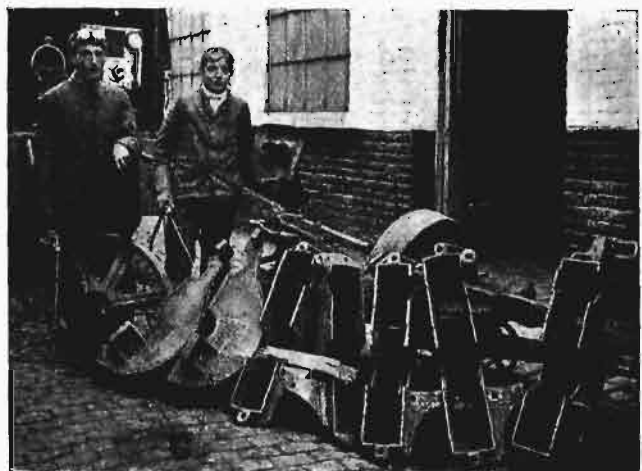
Pokrótkie wymienię tutaj kilka ważniejszych robót, do których spawanie lub napawanie łukiem elektrycznym może mieć zastosowanie. Wytarte czopy napawa się, ustawiając oś poziomo; nakłada się warstwy metalu na obręczach, następnie łączy się 2 wytworzone pierścienie ze sobą warstwami poziomymi, jedna obok drugiej. W kołach pękają często ramiona, miejsca pęknięte naprawia się przez zukosowanie i napełnienie materiałem elektrody przy pomocy łuku elektrycznego (rys. 16). Podwozia wagonów, wykonane czy to z żelaza walcowanego, czy blachy prasowanej, żelaza kutego i t. p. narażone są na ciągłe uderzenia i wstrząsy, zachodzą wypadki złamania lub pęknięcia ostojnicy, najczęściej w miejscach zmiany przekroju, spawaniem można te uszkodzenia łatwo usunąć, i to w krótkim czasie. Wszel-

kie urządzenia hamulcowe, jak dźwignie, ściągnące, drążki, chomała i t. p., starte w czasie pracy, można doprowadzić do dobrego stanu zapomocą napawania. Następnie spawanie elektryczne oddaje usługi przy



Rys. 17.  
Naprawa pękniętego kadłuba silnika trakcyjnego.

naprawach kadłubów silników (rys. 17), skrzynek trybowych; te ostatnie wykonywane są obecnie z blachy 3 mm spawanej i odznaczają się szczelnością (rys. 18). Wytarte zęby kół zębatach ze specjalnej lanej stali mogą być napawane; połączenie wieńca zębatego z kołem bosem może być wzmocnione zapomocą spawania; przy nasadzaniu nowego wieńca wystarczy go wprost spawać z kołem, składającym się z piasty i ramion, stoczenie i frezowanie zębów wykonywa się po umocowaniu. Sposób ten jest ekonomiczniejszy od nasadzania wieńca na gorąco na koło bosc ze skomplikowanymi ogonami jaskółczymi, które z czasem nie przeciwdziałają rozluźnieniu wieńca. Można również wykonać całe koło z żelaza płaskiego i blach razem spawanych; żeberka nadają takiemu kołu sztywność wystarczającą. Koła zębata, w ten sposób wykonane, odznaczają się małą wagą i są bardzo wytrzymałe, pozatem koszt wykonania takiego koła jest mniejszy od kosztu koła lanego.



Rys. 18.  
Naprawa osłon przekładni zębatej.

Te kilka nielicznych przykładów zastosowania spawania elektrycznego w warsztatach tramwajowych i kolei elektrycznych wskazuje na korzyść, osiąganą przy tej metodzie



pracy. Każde przedsiębiorstwo tramwajowe czy kolejowe w swojej praktyce spawania spotyka się codziennie z coraz innymi wypadkami napraw, które niesposób w tym jednym referacie wymienić. Z praktyki jednego z zagranicznych przedsiębiorstw tramwajowych przytaczam, że jeden zespół do spawania w ciągu 8 godzin pracy jest całkowicie wyzyskany dla utrzymania w dobrym stanie toru o długości 10 km ze zwrotnicami, krzyżownicami, z taborom, składającym się z 30 wagonów motorowych i 40 doczepnych. Jak widzimy, dział spa-

wania znalazł należne dla siebie miejsce w warsztatach tramwajowych.

Kierownictwo działu spawania w poszczególnych warsztatach winno się starać, aby przy naprawach

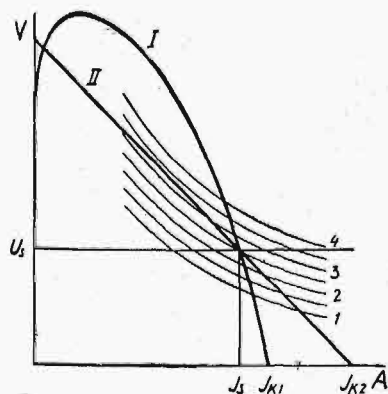
- 1) znaleźć najszybszą metodę pracy,
- 2) wziąć pod uwagę warunki, w jakich dana część pracuje, aby faktycznie spawać tam, gdzie należy.
- 3) wzmocnić miejsce naprawione dla usunięcia przyczyny, która spowodowała pierwsze pęknięcie lub złamanie.

## CHARAKTERYSTYKA MASZYN I ELEKTROD DO SPAWANIA.

Inż. I. Krymko.

**Streszczenie.** Referat omawia zasadnicze warunki, jakim powinna odpowiadać spawarka elektryczna: stałe natężenie prądu, małe prądy zwarcia, regulacja bez strat, łatwość zapłonu i łatwość utrzymania łuku. Krytyka maszyn prądu stałego i transformatorów do spawania i wpływ ich na obciążenie sieci. Wybór elektrod. Najnowsze zdobycze w dziedzinie spawania elektrycznego (elektroda węglowa).

50 milionów kWh, zużytych w Niemczech w r. 1932 na spawanie, zwróciło baczniejszą uwagę zakładów elektrycznych na tę nową gałąź przemysłu. Spawalnictwo rozpatrywać można, między innymi, tak ze stanowiska elektrowni, jak również — przemysłu maszynowego i wytwórców elektrod. Interesy tych trzech przemysłów często kolidują ze sobą i dlatego w literaturze, omawiającej kwestię spawalnictwa, spotykamy sprzeczności więcej, niż w innych działach technicznych, tembardziej, a może właśnie dlatego, iż dla wielu spornych zagadnień nie znaleziono obiektywnych, naukowo pewnych odpowiedzi. Dotychczas nie są zbadane dokładnie właściwości łuku elektrycznego, procesy metalurgiczne, zachodzące w spoinie, wpływ szlaki elektrod na naprężenia cieplne i t. p. Czy spawarka szeregową lub bocznikową, czy też transformator, albo — czy elektrody gołe, czy otulone, — to są kwestje, o które najczęściej toczą się spory.



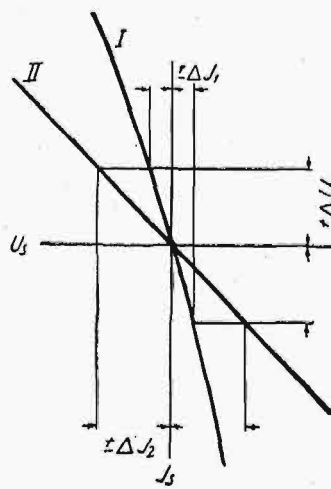
Rys. 1.

Koniecznym warunkiem dla uzyskania dobrej spoiny jest utrzymanie jednostajnego prądu. Od prądu zależy temperatura łuku, od temperatury — stopień jonizacji. Ponieważ łatwość utrzymania łuku jest uwarunkowana stopniem jonizacji, jest zrozumiałe, że korzystniejsza będzie taka charakterystyka maszyny, która przy dużych wahanach napięcia łuku daje małe zmiany prądu. Natężenie pola elektrycznego ma mniejszy wpływ na jonizację.

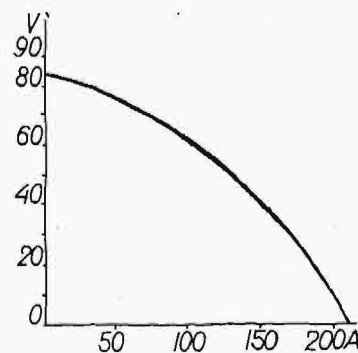
Na rys. 1 podana jest charakterystyka statyczna maszyny szerekowej o poprzecznym polu magnetycznym I, oraz maszyny bocznikowej II. Krzywe 1, 2, 3 i 4 — to krzywe łuku elektrycznego o długości: 1, 2, 3 i 4 mm. Załóżmy, że spawanie odbywa się w punkcie przecięcia krzywych, t. j. prądem  $J_s$  przy napięciu  $U_s$  i o długości łuku 2,5 mm. Jeżeli napięcie zmieni się o  $\pm \Delta U$ , to zmiana prądu maszyny szerekowej wyniesie  $\pm \Delta J_1$ , a maszyny bocznikowej  $\pm \Delta J_2$ , gdzie  $|\Delta J_2| > |\Delta J_1|$ .

Stość prądu, mająca zasadnicze znaczenie dla wytrzymałości spoiny, w maszynie I będzie większa. Dla wyrazistości podaliśmy na rys. 2 fragment rys. 1 w punkcie spawania. Dalej z rys. 1 widzimy, że, jeżeli łuk przez przypadkowe drgania ręki wydłuży się z 2,5 do 4 mm, to urwie się on w maszynie II, a utrzyma w I. Zaleta stromej charakterystyki jest tu widoczna także ze względu na łatwość utrzymania łuku, co jest miarodajne dla sprawności spawania. Charakterystyka statyczna transformatora do spawania w przybliżeniu podobna jest do charakterystyki statycznej maszyny I i jest tem bardziej stroma, im niższe ma  $\cos \varphi$  (rys. 3). Ta krzywa, miarodajna przy ocenie stałości prądu, nie ma znaczenia dla zapłonu łuku, jak zobaczymy niżej.

Przy każdym zwarcie maszyny lub zmianie obciążenia (wahania łuku) występują prądy wyrównawcze, których wielkość i czas trwania zależne są od konstrukcji spawarki.



Rys. 2.

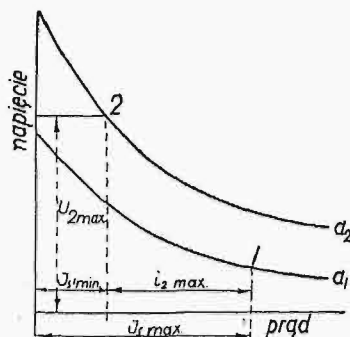


Rys. 3.

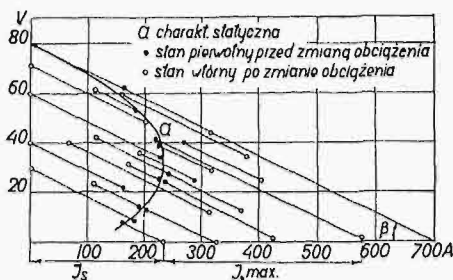
Im mniejsze będą prądy wyrównawcze i krótszy czas ich trwania, tem mniejsze będą różnice napięć łuku i tem szybciej napięcie maszyny nadążać będzie za napięciem łuku, czyli, jak mówimy, spawarka będzie elastyczna. Jeżeli w pewnym momencie (rys. 4) znajdziemy się w punkcie 1, to przy nagłym wydłużeniu łuku przejście do punktu spawania 2 będzie o tyle możliwe, o ile czas trwania prądu wyrównawczego  $t$  będzie krótki, i tem łatwiejsze, im prąd wy-

równawczy  $i_{2max}$  — mniejszy; w przeciwnym razie łuk się urwie. Elastyczność maszyny zależy również od jej bezwładności magnetycznej, która w maszynie szeregowej jest znacznie mniejsza, niż w bocznikowej. O wielkości prądów wyrównawczych, a więc o zachowaniu się maszyny w czasie spawania wnioskujemy z charakterystyki dynamicznej, którą zdejmujemy wg. metody Langkau'a lub zapomocą oscylografu.

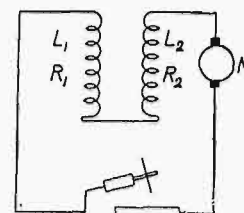
Przy szybkiej zmianie obciążenia w jakimś punkcie krzywej statycznej otrzymamy punkty, np. dla maszyny bocz-



Rys. 4.



Rys. 5.



Rys. 6.

nikowej, leżące na prostej (rys. 5). Dla różnych punktów krzywej statycznej otrzymamy szereg prostych i, rzecz ciekawa, równoległych do siebie. Jeżeli kąt nachylenia równoległych będzie duży, to maksymalne prądy zwarcia wypadną małe i metal nie będzie się przepalał. Zbadajmy, od czego to zależy.

Ułożmy równanie różniczkowe dla stanu zwarcia maszyny szeregowej z magnetycznym polem poprzecznym\*): suma napięć, wytworzonych przez prąd wyrównawczy musi być równa 0 (rys. 6).

$$L_1 \frac{di}{dt} + R_1 i + L_2 \frac{di}{dt} + R_2 i + M \frac{di}{dt} + Ni = 0; \dots (1)$$

gdzie  $L_1, R_1$  — indukcyjność własna i opór cewek magnesów,

$L_2, R_2$  — indukcyjność własna i opór cewek wirnika,

$M$  — indukcyjność wzajemna, a  $N$  — współczynnik rotacji.

Jeśli  $L_1 + L_2 = L_0$  i  $R_1 + R_2 = R_0$ , to upraszczając mamy:

$$(L_0 + M) \frac{di}{dt} + (R_0 + N) i = 0.$$

Rozwiązując to równanie, otrzymujemy wartość prądu wyrównawczego:

$$i = K \cdot e^{-\frac{R_0 + N}{L_0 + M} t} \dots (2)$$

gdzie  $K$  zależy od wielkości prądu, po którym nastąpiło zwarcie. Ponieważ całka szczególna tego równania wynosi  $\frac{V}{R}$ , gdzie  $V$  — napięcie maszyny przy biegu luzem, a  $R = R_0 + r$  ( $r$  — opory kabli i przedmiotu spawanego), to całka ogólna równa się

$$i = \frac{V}{R} + K \cdot e^{-\frac{R_0 + N}{L_0 + M} t} \dots (3)$$

przyczem  $e$  — podstawa logarytmów naturalnych, a stała czasu

$$T = \frac{L_0 + M}{R_0 + N} \dots (4)$$

W rzeczywistości prąd będzie przebiegał, jak wskazuje rys. 7, ponieważ napięcie  $V$  spada przy zwarcu maszyny.

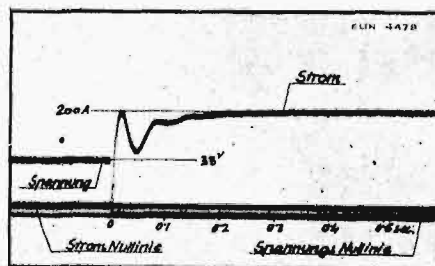
\*) Maszyna systemu Dra. Rosenberga.

Ponieważ napięcie biegu luzem tej maszyny wynosi za ledwie 25 V, to indukcyjność własna twornika  $L_2$  jest nieznaczna; niewielka ilość zwojów na magnesach maszyny szeregowej daje  $L_1$  również małe. Jeżeli zmniejszymy sprzężenie magnetyczne  $M$ , to wobec dużego  $N$  wartość ułamka (4) będzie mała i okres wahań prądu wyrównawczego krótki. Dla zmniejszenia sprzężenia  $M$  magnesy są zbudowane w ten sposób, że dają duże rozproszenie. Z równ. (3) łatwo znajdziemy, że maksimum prądu wyrównawczego ( $i_{2max}$ , rys. 4) nie przekracza prądu zwarcia.

Rozwiązując równanie różniczkowe dla maszyny bocznikowej i zakładając dla uproszczenia, że  $M=0$ , znajdziemy:

$$i_{2max} = E \cdot K \cdot \left[ \left( \frac{a_1}{a_2} \right)^{\frac{a_1}{a_1 - a_2}} - \left( \frac{a_2}{a_1} \right)^{\frac{a_2}{a_1 - a_2}} \right] \dots (5)$$

gdzie  $E$  — napięcie biegu luzem, przyczem  $R_1, R_2, L_1, L_2$  —

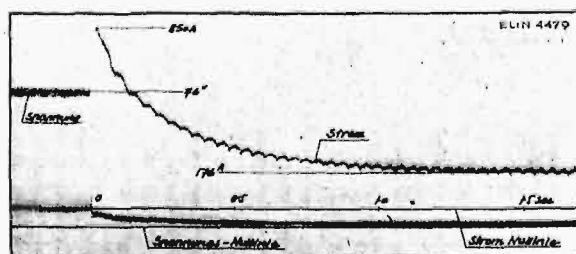


Rys. 7.

to opory i indukcyjności własne uzwojenia magnesów i wirnika.

Optimum  $i_2$  zachodzi, gdy  $\frac{a_2}{a_1} \rightarrow 1$ , ponieważ jednak współ-

stawienia  $a_1$  jest mały ze względu na dużą samoindukcję uzwojenia magnesów, przeto trzeba zmniejszyć  $a_2$  przez zwiększenie indukcyjności wirnika. Lecz wtedy rośnie bezwładność magnetyczna i elastyczność maszyny zmniejsza się. Nawiasem warto zauważyć, że  $\frac{E}{i_{2max}} = \tan \beta = \text{const}$  dla danej



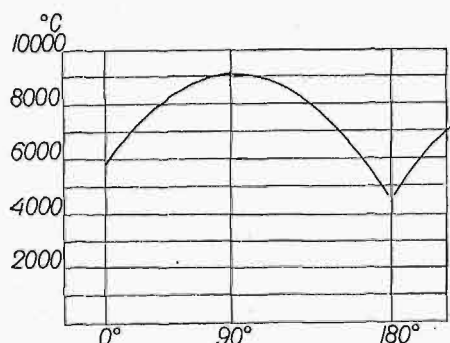
Rys. 8.

\*) A. Vaclavik, E. T. Z. 1934, Nr. 3.

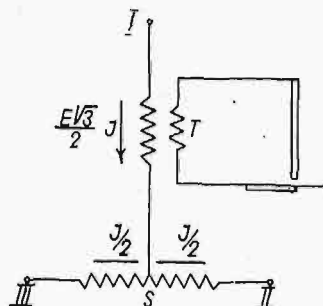
maszyny; stąd równoległe proste na rys. 5. Duże prądy zwarcia widoczne są na oscylogr. 8.

W transformatorach do spawania kwestia utrzymania łuku zależy od innych przyczyn. Temperatura łuku elektrycznego, według badań Król. Akademii w Amsterdamie, waha się wraz z amplitudą prądu, przyczem dla prądu zmiennego 220 V, 50 okr./sek, 12 A i 8 mm długości łuku wynosi od 5 000 do 9 000° C. Zapłon łuku następuje przy oderwaniu się elektrody od przedmiotu tylko w momencie dostatecznie dużej amplitudy prądu. Przy zmianie długości łuku powierzchnia chłodzenia zwiększa się i temperatura gwałtownie spada, gdyż straty przez promieniowanie i dyfuzję gazów nieproporcjonalnie rosną. Poza tym przy każdym przejściu prądu przez zero łuk faktycznie gaśnie. Temperatura więc okresowo spada i otrzymujemy słabe wpalanie się metalu. Dlatego elektroda musi mieć otulinę, jako izolację cieplną, by w momentach przejścia przez zero utrzymać temperaturę elektrody (emisja elektronów). Otulina spełnia oczywiście i inną rolę, o czym dalej mowa.

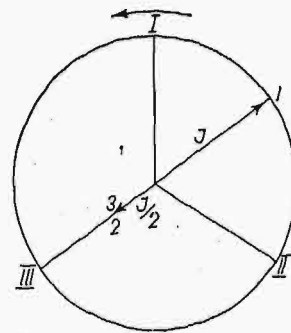
Transformator przedstawia się również niekorzystnie pod względem obciążenia. Spółczynnik  $\cos \varphi$  waha się od 0,35 — 0,45, co w przewidywaniu przyszłego rozwoju spawalnictwa grozi dużymi zakłóceniami w sieci. Wyrabiane



Rys. 9.



Rys. 10.



Rys. 11.

trójfazowe transtransformatory dla równomiernego obciążenia wszystkich 3 faz nie spełniają zadania, jak wynika z rozważania następującego.

Rys. 10 podaje schemat obciążenia transformatora jednofazowego, które ma być rozłożone na 3 przewody. Spawarka  $T$  włączona jest między fazę  $I$  i punkt środkowy dzielnika napięcia  $S$ . Dzielnik napięcia włączony jest między fazę  $II$  i  $III$ . Wobec równej ilości amperozwojów dzielnika napięcia, w fazie  $II$  i  $III$  popłynie prąd, równy połowie prądu fazy  $I$ . Napięcie odbiornika jest w fazie z napięciem przewodu  $I$ , które jest przesunięte o  $180^\circ$  względem prądu  $I$ . Jeżeli dla prostoty rysunku przyjmijemy  $\cos \varphi = 0,5$  ( $\varphi = 60^\circ$ ), to wykres będzie się przedstawiał, jak na rys. 11. Widać stąd, że przesunięcie w fazie  $II$  wynosi  $120^\circ$ , a w fazie  $III$  —  $0^\circ$ .

Ponieważ przesunięcie w fazie  $II$  jest większe, niż  $90^\circ$ , faza druga oddaje moc do sieci, a faza  $I$  i  $III$  muszą o tyle większą moc pobrać. Ponieważ jednak przesunięcie w fazie  $III$  jest  $0$ , cała moc bezwatowa obciąża fazę  $I$  i  $II$ . Rozkład prądów i mocy jest więc tak samo nierównomierny, jak w transformatorach jednofazowych. Niema celu budować droższe transformatory „trójfazowe”, wówczas gdy one w zasadzie są jednofazowe o trójfazowym włączeniu. Transformatory wirujące Sarazina lub Gefei mają  $\cos \varphi = 1$ , wobec  $\cos \varphi = 0,87$  zespołu prądu stałego. Lecz wobec trudności w spawaniu prądem zmiennym, mała różnica przesunięcia fazy przemawia za zespołem prądu stałego. Zużycie energii na kg stopionego metalu wynosi dla transformatora w dobrym wy-

konaniu  $3 \div 4$  kWh, dla zespołu —  $4 \div 5$  kWh. Oszczędniej pracuje transformator. W wyborze między transformatorem a spawką prądu stałego uwzględnić należy szereg następujących czynników. O ile niema do dyspozycji energii elektrycznej, zespół można napędzać silnikiem benzynowym, ropowym, od transmisji i t. p. Szczególniej wygodne to jest na robotach poza fabryką. Maszyny prądu stałego użyć można do spawania automatycznego, do czego transformator się nie nadaje. Możliwość stosowania elektrod gołych, a więc bardzo tanich, do spawania sulitowego (w położeniu poziomem — lepsze wpalenie), daje tylko prąd stały. Różne metale, jak aluminium, bronz, silumin oraz pewne gatunki elektrod otulonych (np. do żeliwa na gorąco), spawać można tylko prądem stałym. Lecz może najbardziej na korzyść prądu stałego przemawia stosowanie elektrody węglowej z opatentowaną niedawno wydmuchową cewką magnetyczną. Pozwala ona na spawanie cienkich blach począwszy już od 0,4 mm grubości. Łuk wytworzony jest przy pomocy elektrody węglowej, „ustalony” przez cewkę magnetyczną, miejsce spoiny pokrywa się specjalną pastą dla ochrony przed nawęglaniem i spawanie odbywa się na styk przez zwykłe stapienie brzegów lub z dodaniem obcego materiału, tak jak się to robi przy spawaniu acetylenowym. Metodę tę zastosował Benardos

(1887) i Zerener (1887), po tylu latach wróciła ona w formie ulepszonej. Wydaje się, że to udoskonalenie wyruguje zupełnie spawanie acetylenowe, które dotychczas miało przewagę nad elektrycznym w dziedzinie cienkich blach. Temperatura łuku elektrycznego kilkakrotnie wyższa od temperatury płomienia gazowego pozwala na uniknięcie naprężeń cieplnych — blacha nie skręca się, jak to ma miejsce przy acetylenie, i nie wymaga dodatkowych napraw, prostowań i t. p. Jeśli się zważy, że koszt 1 metra szwu blachy 1 mm grubości wynosi  $1/3$ , a przy automatycznym spawaniu —  $1/4$  kosztu spawania acetylenowego i że spoina jest szczelniejsza i gładsza, to łatwo zrozumieć, jak dalece elektryczność zaczyna wypierać inne metody spawania. Wytrzymałość spoiny równa się tutaj 80% wytrzymałości blachy.

#### Elektrody.

Zastosowane po raz pierwszy przez Sławianowa elektrody metalowe pozostawiały dużo do życzenia i spoina nie wykazywała należytej wytrzymałości; w czasie spawania metal przyskał, a łuk trudno było utrzymać. Zasluga Kjellberga było stworzenie elektrod powlekanych (1907 r.). Powłoka stanowiła izolację cieplną dla elektrody; wówczas bowiem rolę spawarki spełniały zwykłe prądnice, w których duże wahania prądu ze zmianą długości łuku nie zapewniały odpowiedniego dopływu energii. Zasadniczo Kjellbergowi chodziło o nadanie spoinie dużej wytrzymałości; zwrócił on uwagę na gatunek użytego metalu, wytwarzając elektrody o określonym składzie chemicznym i zestawil otulinę, do dziś używaną powszechnie. Podniesienie wytrzymałości z 15 —

na 40 kg/mm<sup>2</sup> było wielkim postępem i od tego czasu elektryczne spawanie zaczęło się szybko rozwijać. Zaczęto produkować elektrody grubo otulone, by otrzymać większe wydłużenie, twardość i inne żądane cechy. Elektrody otulone pozwoliły na zastosowanie prądu zmiennego do spawania sułitowego. Gazy niektórych pierwiastków otuliny przyspieszają jonizację i ułatwiają utrzymanie łuku.

Przy nowoczesnych spawarkach prądu stałego spawanie elektrodą gołą daje wytrzymałość od 25 ÷ 30 kg/mm<sup>2</sup> i trzeba stwierdzić, że duża ilość robót spawanych nie wymaga większej wytrzymałości. Natomiast tam, gdzie konieczne jest większe bezpieczeństwo, muszą być stosowane elektrody otulone: kotły parowe, zbiorniki i rury wysokiego ciśnienia, słupy żelazne do przewodów elektrycznych i t. p., pracujące statycznie, muszą mieć dostateczne bezpieczeństwo i spoina winna dawać około 40 kg/mm<sup>2</sup> oraz 7 ÷ 12% wydłużenia. Do tych robót nadają się elektrody cienko otulone. Natomiast części, pracujące na obciążenia dynamiczne, wymagają wyższej wytrzymałości — 50 ÷ 55 kg/mm<sup>2</sup> i wydłużenia około 20%. Wymienimy tutaj młoty hydrauliczne i parowe, wagi, mosty, krzyżulce i t. p.

Powłoka elektrod winna spełniać we wszystkich wypadkach zasadniczy warunek: musi dawać szlakę lekką, wypływającą na wierzch roztopionego metalu. Przy wielokrotnym nakładaniu spoinę oczyszcza się przez odbijanie szlaki, co wymaga dokładności spawacza. Wśród różnych gatunków elektrod zasługuje na uwagę typ elektrody cienko otulonej Kjellberga (OK. 40), w której szlaka daje się usunąć jednym pociągnięciem szczotki, gdyż na powierzchni spoiny występuje w postaci sproszkowanej. Jest przez to całkowita pewność, że przy powtórnym nakładaniu szlaka nie zostanie wewnątrz metalu i nie osłabi spoiny, której wytrzymałość wynosi normalnie 40 kg/mm<sup>2</sup> i 10% wydłużenia. W latach 1917 do 1920 zaczęto robić otulinę wg. metody le Chatelier (otulina gruba), Quasi-Arc i innych i obecnie niema trudności w uzyskaniu spoiny dla dowolnych celów.

Dzięki spawalnictwu rozwinęły się metody badania wytrzymałościowego materiałów, odkształceń i naprężeń cieplnych. Zapomocą nowoczesnych aparatów: tensometru Gehringa, ekstensografu Geigera, lampy rentgenowskiej lub

aparatów, opartych na zjawiskach elektromagnetycznych, można zbadać jakość materiału, nie powodując jego zniszczenia.

Dziś prościej, łatwiej i taniej wykonuje się wszelkie połączenia bez nitów, mając przytem całkowite bezpieczeństwo wytrzymałości i szczelności spoiny.

#### LITERATURA.

- 1) K. Meller. „Elektrische Lichtbogenschweissung“, Verlag Hirzel, Lipsk 1932.
- 2) Rosenberg. „Die Gleichstrom-Querfeldmaschine“, Verlag Julius Springer, Berlin 1928.
- 3) Rosenberg. „Fortschritte im Bau von Regulier-Querfeldmaschinen“.
- 4) Rosenberg. ETZ. Jahrgang 49/2, V. D. I. 1931/27.
- 5) „The Welding Engineer“ 1930 „Marking welding machines voltage more responsive to arc changes“.
- 6) „Elektroschweissung“ — 1933.
- 7) Michel. „Schmelzschweissung“ 1928/5.
- 8) Houst. „Wyłącz. dużych mocy, a temp. łuku elektr.“ Elektrot. Obzor — 1934/33.
- 9) Ing. F. Knill. „Schalt- und Schweissoszillogramme von Rosenberg Querfelddynamos mit Regulierpolen“ E. T. Z. 1931/28.
- 10) Gayczak — „Spawanie metali“, Nakład P. K. P. 1925.
- 11) Dr. Ing. Karl Widmann. „Bietet der Mehrphasige Anschluss eines Einphasenschweisstransformators einen Vorteil?“ E. u. M. 1933/28.
- 12) H. Hafner. „Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens XXIV. 1933.“
- 13) H. Langkau. „Die dynamische Charakteristik von Schweisstromerzeugern“ V. D. I. 1931/263.
- 14) Neuman. „Die dynamische und statische Charakteristik“ E. u. M. 1929/35.
- 15) Sandelowsky. „Die Entwicklung der Schweissgeräte nach dem Langmuir Verfahren in Amerika und Deutschland“ E. T. Z. 1930/48.
- 16) Finn. V. D. I. 1930/46.