

~~C~~

~~Nr. 11849~~

~~Politechnika Warszawska~~

INŻ. DR. STEFAN BRYŁA
Profesor Politechniki Lwowskiej

Dob. 5.172

Wzmacnianie kratowych konstrukcyj nitowanych przy pomocy spawania

LWÓW
PIERWSZA ZWIĄZKOWA DRUKARNIA
1931

INŻ. DR. STEFAN BRYŁA

Profesor Politechniki Lwowskiej

Wzmacnianie kratowych konstrukcyj nitowanych przy pomocy spawania

LWÓW

PIERWSZA ZWIĄZKOWA DRUKARNIA

1 9 3 1

BIBLIOTEKA
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ
Warszawa, Pl. Jedności Robotniczej 1

~~C-11849~~

ODBITKA Z KSIĘGI PAMIĄTKOWEJ KU CZCI PROF. DR. M. THULLIEGO



nr. 739

~~86/12, 1953, D~~

BG04A/004-34

INŻ. DR. STEFAN BRYŁA

Profesor Politechniki Lwowskiej

Wzmacnianie kratowych konstrukcji nitowanych przy pomocy spawania.

Wzmocnienia konstrukcji żelaznych kratowych dokonywano dotychczas przy pomocy donitowywania części wzmacniających lub też przy pomocy otulania konstrukcji żelaznej betonem. Spawanie wchodzące tak ogromnie szybko w ogólne zastosowanie w technice rozszerzyło i na tem polu, a do pewnego stopnia nawet przede wszystkim na tem polu, możliwości, jakie posiadał inżynier-konstruktor.

Spawanie ma te ogromne walory, jakich oba inne, wyżej wspomniane sposoby wzmacniania nie posiadają. Otulanie betonem, wogóle korzystne, prowadzi jednak do znacznego zwiększenia ciężaru własnego, co nieraz nie jest dopuszczalne ze względu na podpory, a przytem w częściach rozciąganych zmusza do stosowania wielkiej ilości żelaza, która często bywa większa, niżby wymagała konstrukcja czysto żelazna. Donitowywanie poszczególnych części konstrukcyjnych zaś jest trudne i kłopotliwe, konieczne jest tu bowiem usunięcie istniejących nitów przy należytem podtrzymaniu konstrukcji i niezmiernie dokładnem dostosowaniu nowych części, tak, aby otwory w nich najzupełniej dostosowały się do istniejących, a dopiero następnie umieszczenie nitów nowych. Trudności te powodowały, że wzmacnianie mostów istniejących przy pomocy nitowania opłacać się mogło tylko w granicach do najwyżej 30% wagi istniejącej konstrukcji żelaznej; przy niektórych zaś przekrojach pasów i innych prętów było nieomal niemożliwe; podobnie ilości nitów w połączeniach węzłowych nieraz zwiększyć poprostu nie było można, a wtedy tem samem wszelkie wzmocnienie konstrukcji wogóle musiało odpaść.

Przy zastosowaniu spawania prawie wszystkie te trudności odpadają. Wzmocnienie konstrukcji żelaznej mostów da się tu wykonać bez usuwania nitów, a zatem bez chwilowego choćby osłabienia konstrukcji istniejącej, bez trudnego dostosowywania się do nitów

istniejących. Da się ono wykonać nadto przy nieomal wszystkich kształtach prętów i belek. Wreszcie zaś należyte wzmocnienie połączeń węzłowych również przeprowadzić da się zazwyczaj łatwo i prosto.

Również pod względem stopnia zniszczenia zastosowanie tego sposobu zwiększa niezmiernie skalę możliwości wzmocnień. Jeżeli bowiem zniszczenia są tylko lokalne, choćby i bardzo znaczne, to wzmocnienie będzie można nieraz wykonać w wypadkach, gdy przy pomocy nitowania było ono albo niezmiernie trudne, albo wręcz niewykonalne.

W poniższych rozważaniach omówimy zasady jakimi należy się posługiwać przy wzmacnianiu mostów i wszelakich konstrukcyj kratowych bezpośrednio, t. j. bez zmiany zasadniczego ustroju¹⁾. W takim razie dotyczy ono wogóle:

A) wzmacniania poszczególnych prętów, zbyt słabych lub też zniszczonych lokalnie;

B) wzmacnianie połączeń węzłowych.

Oba zadania są równie ważne; niemożność wypełnienia jednego z nich redukowałaby wartość możliwości wzmocnień do minimalnej ilości wypadków. Rozpatrzmy kolejno, do jakiego stopnia rozwiązać je będzie można przy pomocy spawania.

A) Wzmacnianie prętów konstrukcyj kratowych.

Mogą tu wogóle zajść dwa wypadki. Najczęściej mamy do czynienia z mostem, którego przekroje przeliczone były dla znacznie mniejszych obciążeń niż obciążenia, jakie obecnie są stosowane w obliczeniach, a nawet niż obecnie zachodzą w rzeczywistości. Zdarza się jednak, że rekonstrukcja spowodowana jest zniszczeniem, a więc osłabieniem mostu z powodu rdzy lub z powodów innych.

1. Wzmocnienie z powodu wzrostu obciążeń.

Przy wzmocnieniu prętów, przy których chodzi jedynie o odpowiednie zwiększenie ilości materiału, należy dodać nowe profile o potrzebnym przekroju. Należy je dodać tak, aby o ile możliwości środek ciężkości przekroju nie przesunął się, a przynajmniej przesunął się możliwie nieznacznie.

Przy przekrojach symetrycznych należy zatem oczywiście profile wzmacniające umieścić symetrycznie, co zazwyczaj trudności nie nastęrcza. Przy niesymetrycznych natomiast utrzymanie dotychczasowej ich osi ciężkości jest wogóle trudne, jeżeli nawet nie niemożliwe do

¹⁾ Zaznaczyć należy, że tembardziej wzmocnienie pośrednie da się również wykonać przy pomocy spawania.

osiągnięcia. Przekroje takie posiadają w belkach kratowych najczęściej pasy, tak górny, jakoteż dolny. W pasach jednakowoż linje środków ciężkości przekrojów są i tak zazwyczaj częściowo przesunięte wobec zarysu osiowego kratownicy, tem samem zaś pewna niezgodność obu osi dana jest a priori i, znów tem samem, na zupełnie doskonałej zgodności ich po wzmocnieniu specjalnie zależeć nie będzie. Zredukowanie zaś przesunięcia do minimum prawie zawsze da się uzyskać.

Najkorzystniej jest, jeżeli części dodatkowe wzmacniające dadzą się umieścić bez przeszkody ze strony nitów. Główki tychże bowiem utrudniają zadanie w wysokim stopniu. Najłatwiej zatem wzmocnić przekroje na tych powierzchniach, na których nitów niema. Spełnić się to da jednak stosunkowo rzadko, tembardziej, że w grę wchodzi wogóle moment drugi, natury ekonomicznej: możliwe zmniejszenie ilości użytego szwu. Przy wzmacnianiu konstrukcyj nitowanych bowiem nie materiał, potrzebny do wzmocnienia, odgrywa pierwszą i główną rolę w kosztorysie ogólnym, ale raczej samo spawanie. Chodzi zatem o to, by zużytego materiału pałeczek i mniej więcej proporcjonalnie doń zużytego prądu było jak najmniej.

W przeważnej części wypadków musi się umieścić części wzmacniające na płaszczyznach, posiadających przeszkody w postaci główek nitów. Przy wzmacnianiu przy pomocy nitowania musiało ono bezwzględnie pociągnąć za sobą usunięcie starych nitów. Przy pomocy spawania nawet i tutaj trudności dadzą się ominąć stosunkowo łatwo.

Uzyskać to można w kilka sposobów:

a) Można dać nakładkę z otworami w miejscach główek nitów i zalać je następnie elektrodą. Otwory te oczywiście muszą być odpowiednio większe od główek nitów, tak, aby materiał elektrody mógł chwycić nietylko główkę nitu, ale i sam właściwy materiał konstrukcyjny. Ważne jest to tembardziej, że główki nitów wskutek zetknięcia się z roztopionym materiałem pałeczki pękają stosunkowo łatwo. Zresztą sposób ten wymaga stosunkowo dużej ilości materiału nałożonego, tem samem zaś prądu elektrycznego.

b) Można nałożyć podkładki o grubości równej lub nieco większej od wysokości główek nitów. Podkładki takie wykonane być mogą z płaskowników lub nawet odpadków blach (co zresztą jest znacznie gorsze). Na takich podkładkach umieszcza się dopiero właściwy element wzmacniający. Ten rodzaj wzmocnienia wymaga stosunkowo dużej ilości szwów; potrzebne są bowiem szwy podwójne: jedne, łączące podkładki z częścią wzmacnianą i drugie, łączące części wzmacniające z podkładkami.

c) Wreszcie można dla wzmocnienia wybrać profile takie, któreby nie kolidowały z główkami nitów, ale stykały się powierzchnią prze-

kroju wzmocnionego pomiędzy nimi. Jako taki profil nadaje się przede wszystkim ceówka (korytko); mogą być jednak zastosowane i inne profile. Profil ten należy tak dobrać, aby mieścił się przynajmniej w granicach pomiędzy odpowiednimi szerokościami; lepiej jest, gdy jest o tyle mniejszy, iżby szwy można było swobodnie wzmocnić, nie zbliżając się zbyt do główek nitów.

Ustrój ten posiada zalety znacznie większej prostoty, oraz mniejszej ilości szwów, tem samem większej taniości; natomiast tę niekorzyść, że odchyła więcej oś ciężkości niż ustrój *b*.

Stabą stroną ustrojów *b* i *c* jest to, że pozostaje przestrzeń wolna, trudno dostępna, narażająca powierzchnię przylegających profili na rdzewienie i niszczenie. Należy ją wypełnić albo kitem, albo zaprawą cementową, względnie nawet betonem. Kit jest wygodniejszy przy zastosowaniu wzmocnienia drugiego (*b*), zaprawa cementowa trzeciego (*c*). Większe walory konserwacyjne przedstawia oczywiście zaprawa cementowa. Pewne trudności powstają też wskutek tego, że profile — zwłaszcza pasów — są zmienne, oraz wskutek tego, że do wzmocnienia potrzeba w poszczególnych prętach różnych profili. Jeżeli zaś nawet w niektórych wypadkach ze względu na prostotę roboty stosuje się ten sam profil wzmacniający, to nie jest to jednak regułą zasadniczą. Trudność pierwszą łatwo jest usunąć przy pomocy palnika tleno-acetylenowego, trudność drugą przez zastosowanie wstawek poprzecznych zamykających poszczególne części, złożone z tego samego profilu, jak to proponowałem dla wzmocnienia mostu w Równem (por. niżej).

2. Wzmocnienie z powodu uszkodzeń przez rdzę, uderzenie i t. d.

Inaczej przedstawia się sprawa, gdy poszczególne pręty belki kratowej zostały zniszczone przez rdzę lub z powodów innych. Stopień takiego zniszczenia może być bardzo różny, również i miejsce konstrukcji, w którym zniszczenie nastąpiło, może być bardzo różne.

Odpowiednio do obu tych czynników i sposób wzmocnienia może być w poszczególnych wypadkach zupełnie inny.

W razie, gdy uszkodzenia są stosunkowo niewielkie, zwłaszcza pod względem zniszczenia powierzchni, najprostszym sposobem naprawy jest poprostu zalanie uszkodzonych miejsc przy pomocy metalu elektrody po należytem ich oczyszczeniu i przygotowaniu. Jedno z pierwszych zastosowań spawania do rekonstrukcji budowli mostowej, mianowicie mostu w Pittsburgu, polegało właśnie na zastosowaniu tego sposobu; części mostu zostały tam wyżarte przez rdzę.

Może zająć jednak wypadek gorszy: uszkodzenie konstrukcji żelaznej są tak znaczne, że z pręta pozostała np. połowa przekroju lub

nawet mniej. W skrajnym wypadku może dojść nawet do zupełnego zniszczenia i zniknięcia przekroju w pewnym miejscu. Wtedy, oczywiście, sposób wyżej opisany do celu nie doprowadzi, tembardziej, że wogóle można przypuszczać, że materiał w ten sposób dobrany będzie mniej wartościowy od materiału konstrukcyjnego. Tak znaczne zniszczenie może być spowodowane tak przez rdzę, jakoteż przez jakiegokolwiek zewnętrzne powody, np. uderzenie, wybuch i t. p.

W takim wypadku można albo część zniszczoną zastąpić wstawioną częścią nową, albo też ująć ją w odpowiednie przykładki, które przenosić będą siły wewnętrzne.

Celem zastosowania wstawki należy materiał pręta usunąć na takiej przestrzeni, aby pozostał wyłącznie pełny zdrowy materiał; dla wszelkiej pewności kilka do kilkunastu *cm* poza obręb dostrzeżonego zniszczenia; następnie wstawić odpowiednio dobraną wstawkę, wreszcie spoić ją z materiałem konstrukcyjnym pręta. Aby uzyskać należyte połączenie, musi być miejsce spojenia odpowiednio zukosowane i wolne od wszelkich nieczystości. Wstawka musi być nieco mniejsza wymiarem, tak, aby przy zukosowaniu na *V*, jakie najchętniej stosowane będzie, materiał elektrody mógł się przedostać nawskróś przekroju. Oczywiście niezmiernie ważną rzeczą będzie należyte ustalenie wszystkich części w prostej przy pomocy uchwytów, które gwarantować będą niezmiennosc osi wobec czynności spawania. Po wykonaniu spoiny z nadlaniem zeszlifuje się ją do gładkiej powierzchni i powlecze farbą.

Można przypuszczać przy bardzo dobrej robocie na miejscu budowy, że miejsce spojenia będzie miało wytrzymałość około 80% wytrzymałości materiału konstrukcyjnego. Jest to wystarczające o tyle, że przekrój użyteczny (*netto*) zazwyczaj nie dosięga nawet tej cyfry.

Przy wykonaniu należy baczną uwagę zwrócić na odkształcenia termiczne i dostosować do nich wykonanie spoin.

Zastosowanie przykładek jest bezporównania prostsze w wykonaniu, o tyle, że nie potrzeba tu żadnego dopasowywania i żadnej obróbki, poza oczyszczeniem odpowiednich części przekrojów spawanych. Szpary, które pozostają w częściach uszkodzonych pod przykładkami, można wypełnić kitem albo cementem j. w.

Rekonstrukcja przy pomocy nakładek jest pewniejsza od rekonstrukcji przy pomocy wstawek, jednakowoż, jeżeli chodzi o względy estetyczne, wskazane będą raczej wstawki, przykładki bowiem zdradzają odrazu swym wyglądem miejsca rekonstruowane, wyglądające wskutek tego jak łaty. Specjalnie wskazane są wstawki w przekrojach złożonych, bowiem główki nitów utrudniają zastosowanie przykładek, aczkolwiek w tym wypadku również wstawki są trudniejsze do wykonania.

B) Wzmacnianie połączeń węzłowych.

Wzmacnianie połączeń węzłowych polega na uzupełnieniu nitów przez spawki, zazwyczaj boczne lub czołowe, lub jedno i drugie, rzadziej szczelinowe.

Jednakowoż inny charakter pracy nitów, a inny spoin powoduje, że proste sumowanie wytrzymałości jednych i drugich nie da się przeprowadzić. Pierwsze doświadczenia, jakie zostały wykonane z połączeniami złożonymi z nitów i spawek (wykonane w Szwajcarii przez prof. Roša) dały nadmiar rzeczywiście wyniki nie zupełnie zachęcające. Nie były one ujemne, jednakowoż wpływ wzmocnienia przez dodanie szwów dawał się odczuć dopiero od pewnej granicy. Rezultaty te określił Roš w sposób następujący:

„Stosując odpowiednią spawkę czołową i boczną (przy połączeniach nitowanych), doprowadzi się do odciążenia połączenia nitowanego, jeżeli całkowity przekrój spawek jest większy niż 70% powierzchni nitów. Tylko nadwyżka ponad tę wartość powoduje odciążenie połączenia nitowanego. Z wytrzymałości połączenia nitowanego wyzyskać można tylko 60%, gdyż ponad tę wartość przy zwiększającym się obciążeniu wydłużenia nitów tak silnie wzrastają, że cała nadwyżka siły przenosi się na połączenie spawane. Przy założonej równowartości pomiędzy połączeniem nitowanym, a połączeniem kombinowanym, muszą spoiny przenieść resztę siły rozciągającej, t. j. 40%. Prowadzi to do zależności:

$$F_{sp} = F_{nit} \frac{(1-0.60) \cdot 4.00}{2.30} = 70\% F_{nit}$$

t. j. przy równowartości pomiędzy samem połączeniem nitowanym, oraz połączeniem kombinowanym z nitów i spawania czołowego i bocznego, musi całkowita powierzchnia spawania wynosić 70% powierzchni nitowania. Połączenie nitowane wzmacnia się przez spawkę wówczas, gdy powierzchnia spawania równa się pracującej powierzchni nitów. Zastosowanie spoin, które nie pozwalają na przenoszenie siły przez nity, jak to się dzieje przy szwach na styk i przy silnie dymenzjonowanych szwach czołowych, wyklucza współpracę obu rodzajów połączeń“.

Przytaczając powyższą opinię, zauważyć można, że sąd ten wypada raczej na niekorzyść połączeń kombinowanych, t. j. zarazem nitowanych i spawanych. W rzeczywistości sprawa wzmocnienia konstrukcji nitowanych przy pomocy połączeń spawanych przedstawia bardzo duże trudności w umiejętności doboru rodzaju połączenia spawanego i wielkości jego powierzchni w stosunku do powierzchni nitów pracujących ze względu na różny charakter i zdolność pracy obu rodzajów połączeń.

Roś przyjął w swych wywodach dla szwów bocznych i czołowych niezależnie od grubości i długości szwu średnią wartość 23 kg/mm^2 . Wynik ten wydaje się już na pierwszy rzut oka za niski, a powtórnie nie jest właściwe przyjęcie jednej wartości niezależnie od długości i grubości szwu, co stwierdzają dowodnie doświadczenia, przeprowadzone przezemnie dla Ministerstwa Robót Publicznych.

Ze względu na szczególne znaczenie tego zagadnienia dla wzmacniania mostów w serji doświadczeń nad konstrukcjami spawanymi, przeprowadziłem również badania połączeń kombinowanych: nitów i szwów spawanych. Doświadczenia te wykonane były również dla Ministerstwa Robót Publicznych, którego departament drogowy kierowany przez prof. Nestorowicza, ocenił przenikliwie znaczenie konstrukcyj spawanych wobec rozwoju techniki.

W danej części przeprowadzono kilka seryj doświadczeń przy różnych średnicach nitów, oraz różnych długościach i grubościach szwów tak bocznych, jakoteż czołowych. Z doświadczeń tych wykonanych w Mechanicznej Stacji Doświadczalnej Politechniki Lwowskiej, które ogłoszone będą szczegółowo w „Czasopiśmie Technicznym“, podaję tutaj wyniki.

Wytrzymałość połączenia kombinowanego obliczono za pomocą następującego ułożonego wzoru:

$$P_c = P_n + k \cdot P_s.$$

Przyczem oznaczenia są następujące:

- 1) P_c ... całkowita siła zrywająca dla połączenia kombinowanego, nitowanego i spawanego.
- 2) P_n ... siła zrywająca dla połączenia wyłącznie nitowanego.
- 3) P_s ... siła zrywająca dla samego połączenia spawanego.

Powyższe trzy wielkości dane są z oddzielnych pomiarów, a zatem do obliczenia mamy jedną niewiadomą k .

Spółczynnik k obliczony był przy danej wartości P_s , którą to wartość brano dokładnie z wyników doświadczeń z próbką spawaną tego samego typu, a więc wykonaną przez tego samego spawacza o tej samej długości i przekroju poprzecznym szwów.

Obliczenie wykonano oczywiście przy założeniu, że dobroć i jakość wykonanej spawki są takie same przy próbce o połączeniu kombinowanym, jak przy próbce wyłącznie spawanej.

Ostateczne rezultaty badań są następujące:

a) Dla szwów czołowych:

Do wartości $\frac{F_s}{F_n} = 0.70$ nie otrzymano wyraźnego wzmocnienia nitów przez spawkę; dla wartości $\frac{F_s}{F_n} = 0.5$ otrzymano dla nitów $\phi 14 R \approx 0.4$, dla



Przykłady obliczeń:

a) Szwy czołowe:

1. Łączna powierzchnia nitów utwierdzenia pręta obliczonego na siłę $P_n = 24.0$ ton wynosi $F_n = 30 \text{ cm}^2 = 3000 \text{ mm}^2$. Należy połączenie to wzmocnić zapomocą szwów czołowych, tak, aby przenieść mogło siłę $P_c = 32.0$ ton przy zachowaniu tego samego współczynnika pewności.

Spawka ma przenieść $32.0 - 24.0 = 8.0$ ton, czyli ponad 30% (jedną trzecią) siły przenoszonej przez nity. Należy ją zatem obliczyć na obciążenie $P_s = \frac{8 \text{ ton}}{k}$. Ponieważ dla szwu czołowego nie otrzymujemy wyraźnego wzmocnienia poniżej stosunku $\frac{F_s}{F_n} = 0.7$, przeto przyjmujemy

$$\frac{F_s}{F_n} = 0.7,$$

a tem samem przynależne $k = 0.5$

czyli:
$$P_s = \frac{8 \text{ ton}}{0.5} = 16 \text{ ton},$$

a stąd potrzebna powierzchnia spawki czołowej

$$F_{sp} = \frac{16000}{\sigma_{sp}}.$$

2. $P_n = 24$ ton, P_c wynosić ma 48 ton, zatem połączenie należy wzmocnić o 100% przy pomocy szwów czołowych.

Z wzoru 3 otrzymujemy dla $\frac{F_s}{F_n} = 1$ $k = 0.57,$

przyjmujemy okrągło $k = 0.60$. Wtedy:

$$P_s = \frac{P_c - P_n}{k} = \frac{48.0 - 24.0}{0.60} = \frac{24.0}{0.60} = 40 \text{ ton}$$

$$F_s = \frac{40000}{8} = 5000 \text{ mm}^2 = 50 \text{ cm}^2$$

Kontrolujemy przy pomocy wzoru 3.

$$\frac{F_s}{F_n} = \frac{5000}{3000} = 1.66$$

a stąd $k' = 0.71$, czyli obrano powierzchnię nieco za dużą. Przerachujemy ją zatem dla $k = 0.65$.

$$P_s = \frac{24}{0.65} = 37.0 \text{ ton} \quad F_s = \frac{37000}{8} = 4620 \text{ mm}^2$$

$$\frac{F_s}{F_n} = \frac{4620}{3000} = 1.54.$$

Sprawdzając k wedle równania 2, otrzymamy:

$$k = 0.69,$$

co jest dostatecznie zgodne z przyjęciem. Oczywiście można przez dalszą próbę uzyskać zupełną dokładność.

b) Szwy boczne:

Dana siła $P_n = 24.0$ ton; mamy uzyskać $P_c = 50.0$ ton. Spawka ma przenieść ponad 100% (dokładnie 108% siły P_n). Przyjmujemy $k = 0.8$, a stąd

$$P_s = \frac{P_c - P_n}{k} = \frac{26.0 \text{ ton}}{0.8} = 32.5 \text{ ton.}$$

Sprawdzamy wedle wzoru 3:

$$k = 4 \sqrt{\frac{32.5}{24} \cdot \frac{1}{30}} = \sqrt{0.72} = 0.85.$$

Zgodność teraz można uważać za dostateczną; liczymy jednakowoż dalej; przyjmujemy mianowicie $k = 0.83$, czyli:

$$P_s = \frac{26.0}{0.83} = 31.4 \text{ ton}$$

i powtórnie wedle wzoru 3:

$$k = 0.835,$$

co już jest zgodnością najzupełniej wystarczającą.

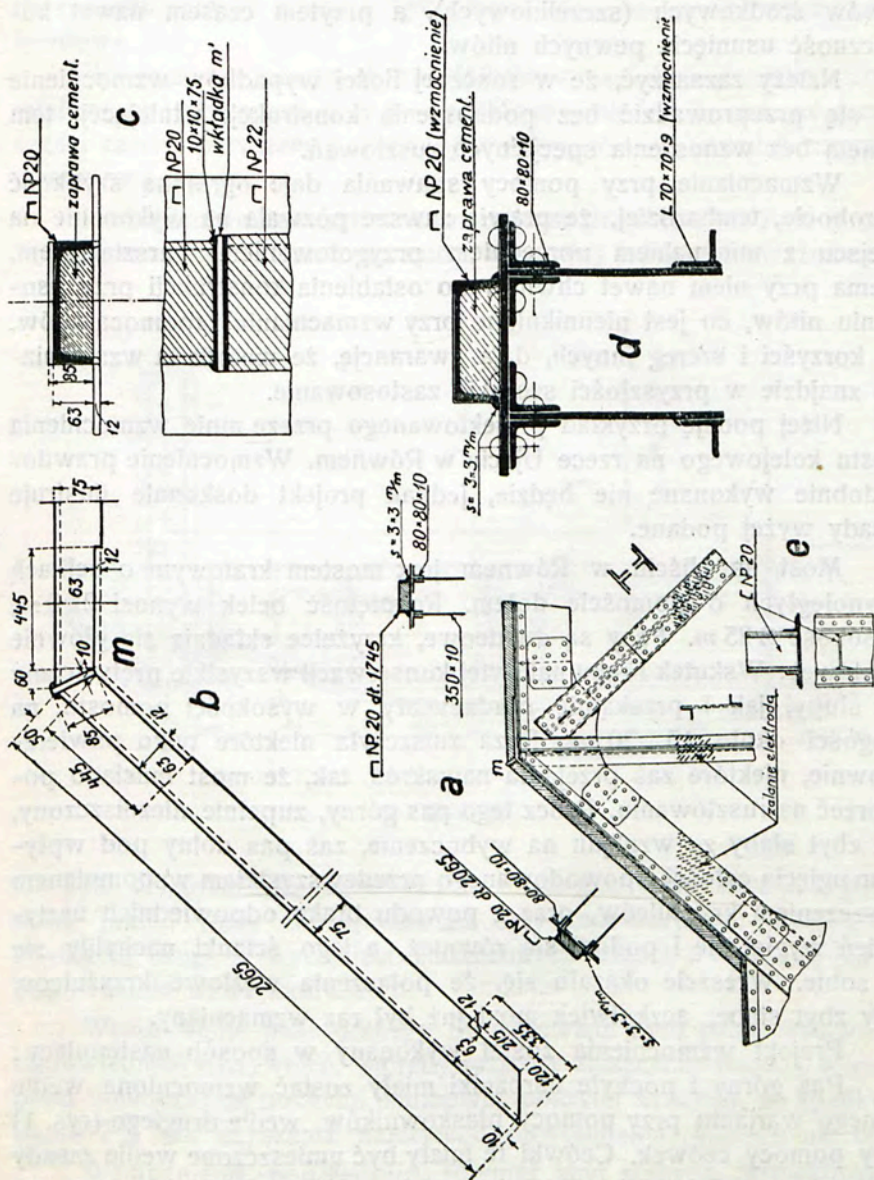
Niech spawka ma wytrzymałość 400 kg/cm b, to sumaryczna długość szwów:

$$\Sigma a = \frac{31400}{400} = \approx 80 \text{ cm.}$$

Może zająć potrzeba szwów kombinowanych, bocznych i czołowych. Wypadek ten nie ze wszystkim jest wyjaśniony, a doświadczenia odpowiednie są w toku. Zachodzi on jednakowoż przy potrzebnych dużych wartościach wzmocnień, a wtedy współczynnik k jest wogóle duży dla obu rodzajów szwów i wynosi conajmniej 0.8.

Powyższe wzory, wyprowadzone na podstawie bardzo znacznej ilości doświadczeń, najkompletniejszych, jakie dotychczas zostały wykonane, pozwalają na obliczenie potrzebnego wzmocnienia przy pomocy spawek, jakoteż dla różnej ich dobroci.

W praktyce inżynierskiej najczęściej trzeba będzie przedewszystkiem określić dobroć spawania wykonywanego przez spawaczy, którzy do roboty będą użyci, a następnie przy przyjęciu najkorzystniejszej grubości spawki określić k dla każdego węzła i każdego pręta z osobna. Względy konstrukcyjne będą bowiem niejednokrotnie nawet dyktowały inny rodzaj wzmocnienia w jednym, inny w drugim końcu tego samego pręta.



Rys. 1.

Przy stosowaniu spoin należy oczywiście uwzględnić te same reguły, jakie ważne są dla konstrukcyj spawanych, przedewszystkiem więc rozmieścić je odpowiednio do osi ciężkości poszczególnych prętów.

W poszczególnych wypadkach może zająć potrzeba zastosowania szwów środkowych (szczelinowych), a przytem czasem nawet konieczność usunięcia pewnych nitów.

Należy zaznaczyć, że w znacznej ilości wypadków wzmocnienie da się przeprowadzić bez podnoszenia konstrukcji istniejącej, tem samem bez wznoszenia specjalnych rusztowań.

Wzmacnianie przy pomocy spawania daje ogromną szybkość w robocie, tembardziej, że prawie zawsze pozwala na wykonanie na miejscu z minimalnem uprzedniem przygotowaniem warsztatowem. Niema przy niem nawet chwilowego osłabienia konstrukcji przy usuwaniu nitów, co jest nieuniknione przy wzmacnianiu zapomocą nitów. Te korzyści i szereg innych, dają gwarancję, że metoda ta wzmacniania znajdzie w przyszłości szerokie zastosowanie.

Niżej podaję przykład projektowanego przeze mnie wzmocnienia mostu kolejowego na rzece Ujściu w Równem. Wzmocnienie prawdopodobnie wykonane nie będzie, jednak projekt doskonale ilustruje zasady wyżej podane.

Most na Ujściu w Równem jest mostem kratowym o belkach równoległych o pomoście dołem. Rozpiętość belek wynosi 21·0 m, wysokość 2·25 m. Pasy są dwuteowe, krzyżulce składają się głównie z kątowników. Wskutek braku należytej konserwacji wszystkie pręty ściany tak słupy, jak i przekątnie porzadziały w wysokości pomostu, na długości około 15—20 cm. Rdza zniszczyła niektóre tylko powierzchnie, niektóre zaś przejadła nawskróś, tak, że most musiano podeprzeć na rusztowaniu. Prócz tego pas górny, zupełnie niezniszczony, był zbyt słaby ze względu na wyboczenie, zaś pas dolny pod wpływem ugięcia całości, spowodowanego przedewszystkiem wspomnianem zniszczeniem krzyżulców, oraz z powodu braku odpowiednich usztywnień wygiął się i poddał się również, a jego ścianki nachyliły się ku sobie. Wreszcie okazało się, że połączenia węzłowe krzyżulców były zbyt słabe, aczkolwiek most już był raz wzmacniany.

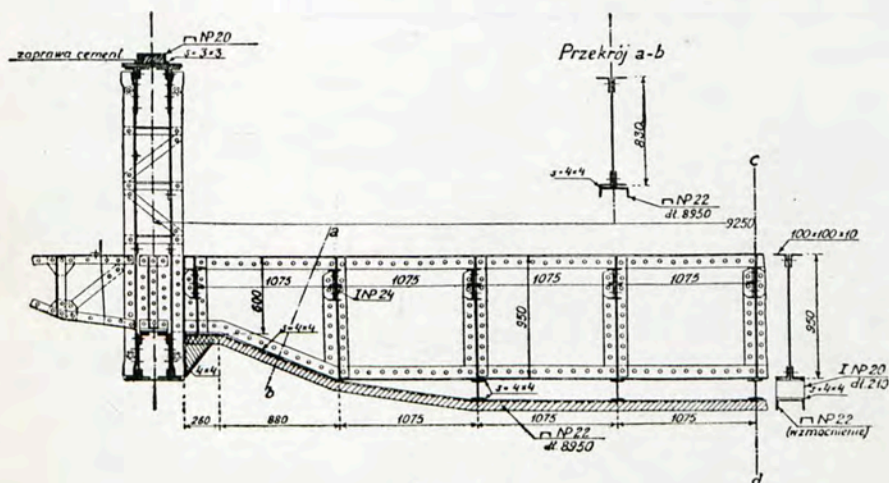
Projekt wzmocnienia został wykonany w sposób następujący:

Pas górny i pochyłe narożniki miały zostać wzmocnione wedle jednego warjantu przy pomocy płaskowników, wedle drugiego (rys. 1) przy pomocy ceówek. Ceówki te miały być umieszczone wedle zasady podanej powyżej pod *c*, a mianowicie miały mieścić się wraz ze szwami pomiędzy rzędami pionowych nitów. Ceówki te musiały być wzajemnie przeminięte pionowo względem siebie z powodu nakładek pasa górnego, których ilość jest zmienna. Odpowiednie umieszczenie

umożliwiają nadto ścięcia stopek na odpowiedniej długości, jakie należałoby wykonać przy pomocy palnika tleno - acetylenowego. Poszczególne części ceówek byłyby zamknięte przy pomocy poprzeczek z prostokątnych blach *m*. Ze względu na bezpieczeństwo przeciw rdzewieniu ceówki miałyby być wypełnione następnie zaprawą cementową.

Wzmocnienie ukośnych narożników w częściach przedrzewiałych miałyby być wykonane przy pomocy dospojenia blach, pokrywających części zżarte, przyczem próżnie byłyby wypełnione również zaprawą cementową lub kitem.

Zrekonstruowanie kątowników krzyżulców projektowane było w paru wypadkach przez nadlanie elektrody. Ponieważ jednak przeważna część



Rys. 2.

ich była tak przeżarta, że wyłącznie minimalna ilość materiału pozostała, przeto znów zaprojektowane były dwa warjanty: jeden z nakładkami, drugi z wycięciem zniszczonych części i wymianą ich na odpowiednie nowe kątowniki.

Wzmocnienie pasa dolnego projektowane było przez wstawienie odpowiednich usztywnień, któreby rozparły zniszczone ścianki, a nadto przez umieszczenie pochylnej betonowej, pokrytej asfaltem, ze spadkiem około 2% dla uzyskania należytego odwodnienia, którego nie było.

Wzmocnienie poprzecznic, również zbyt słabych, projektowano przez dospojenie dołem ceówki, opartej na słupkach, a tem samem utworzenie t. zw. belki wzmocnionej (rys. 2).

Wzmocnienia są w rysunkach zakreskowane.

Przykład ten, aczkolwiek niewykonany, świadczy dobitnie o szerokiej gamie możliwości, jakie przedstawia spawanie w zakresie wzmacniania konstrukcyj nitowanych kratowych.

W pracy niniejszej omówiłem wyłącznie bezpośrednio wzmacnianie konstrukcyj kratowych, pomijając ustroje inne, a także pomijając wzmocnienia pośrednie, przez dodanie nowych prętów, zmianę ustroju belki, obetonowanie i t. d. W zakresie tym jest to właściwie pierwsza praca syntetyczna, oparta z jednej strony na doświadczeniach krajów innych (Ameryki, Australji) i drugiej na własnym doświadczeniu, jakoteż na badaniach przeze mnie przeprowadzonych.

BIBLIOTEKA
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ
Warszawa, Pl. Jedności Robotniczej 1



nr. 739