

Prof. Inż. Dr. STEFAN BRYŁA

Ekonomiczne i techniczne walory spawania konstrukcyj stalowych.

Spawanie, które w ostatnim dziesiątku lat weszło w zastosowanie w konstrukcjach stalowych i wyparło w niektórych miejscach i dziedzinach w ogromnym stopniu używane dotychczas metody łączenia konstrukcyj stalowych, zawdzięcza swój rozwój walorom, które bezspornie posiada. Gdyby ich nie miało, nie wchodziłoby w życie i to w tempie tak niezmiernie szybkim, jak żadna dotychczas metoda konstrukcji. Nawet rozwój żelbetu przed kilku dziesiątkami lat nie wykazywał takiej prężności i takiej szybkości rozwoju.

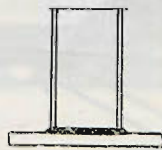
Z pomiędzy tych walorów wybija się na pierwszy plan oszczędność na materiale, jaką się uzyskuje przy stosowaniu spawania.

W stosunku do połączeń na nity lub na śruby występuje ona bezwzględnie zawsze. Innymi słowy: konstrukcja spawana musi być lżejsza od nitowanej. Składają się na to następujące czynniki:

1. Potrzebne przekroje prętów są mniejsze. Odpadają tu przede wszystkim dziury na nity, które w konstrukcjach nitowanych powodują, że przekrój netto jest równy przekrojowi brutto zmniejszonemu o powierzchnię dziur na nity, a więc stratę materiału, wynoszącą od 10—25%. Dotyczy to prętów rozciąganych zawsze, prętów ściskanych i belek zginanych w różnym stopniu, głównie w zależności od przepisów.

2. Odpadają w zupełności albo w znacznym stopniu łączniki, które w konstrukcjach nitowanych są potrzebne przy wszystkich połączeniach. Należą tu np. blachy i przykładki przy połączeniach prętów w kierunku ich osi, kątowniki lub inne przekroje, oraz blachy węzłowe, gdy chodzi o połączenie prętów pod kątem. Podstawa słupa stalowego wykonana przy pomocy nitowania wymaga blach trapezowych, kątownek i t. p. przy konstrukcji spawanej możemy je w zupeł-

ności pominąć, umieszczając np. trzon słupa bezpośrednio na odpowiednio grubej płycie podstawowej (ryc. 68). W blachownicy nitowanej kątowniki służą wprawdzie w pewnym stopniu do zwiększenia przekroju, ale głównym ich celem jest umożliwienie połączenia pomiędzy blachami pionowymi a poziomymi, w blachownicach spawanych kątowniki są zbyteczne, a materiał może być tym samym lepiej wykorzystany (ryc. 69). Niemal wszystkie belki kratowe nitowane posiadają blachy węzłowe (fasonowe); w konstrukcjach spawanych przeważnie ich nie ma albo są one bez porównania mniejsze. Dołączenie dźwigarów do podciągów lub słupów wymaga odpowiednich kątownek; przy spawaniu kątownek tych nie ma, albo mają one znaczenie wyłącznie podrzędne montażowe, a więc waga ich jest bardzo mała.



Ryc. 68.
Podstawa słupa.



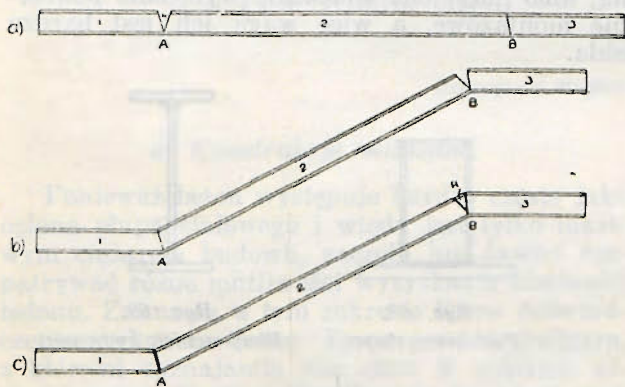
Ryc. 69.
Blachownica spawana.

3. Połączenia spawane pozwalają na uzyskanie ciągłości i sztywności, w sposób bardzo łatwy, podczas gdy uzyskanie tego przy konstrukcji nitowanej jest żmudne i utrudnione. Konstrukcje spawane są niemal monolityczne. Wszystko to powoduje znaczne zmniejszenie działających momentów i t. d., a w konsekwencji zmniejszenie przekrojów. Normalne połączenie dźwigarów z podciągami lub słupami wykonywa się w konstrukcji nitowanej przy pomocy kątownek. Miejsce połą-

czenia posiada zmniejszony przekrój dźwigara, a nadto w chwili niszczenia wykazuje wygięcie i wyciągnięcie kątówek i nitów. Utwierdzenie, jakie dają nity (śruby), jest bardzo małe — wynosi od kilku najwyżej do kilkunastu procent; na skutek zaś osłabienia przekroju belki nie można z reguły na nie wogóle liczyć i dlatego nie uwzględnia go się, chyba, że wykonamy połączenie zupełnie specjalnie. Połączenie analogiczne wykonane przy pomocy spawania, wykazuje natomiast zawsze znacznie większy stopień utwierdzenia, nawet całkowite utwierdzenie, zależnie od wielkości zastosowanych spoin.

4. Ilość straconych części, odcinków i t. d. redukuje się do minimum. W przeważnej ilości wypadków można odcinki te włączyć w jednym czy w drugim miejscu w konstrukcję. Powoduje to co najwyżej dodatkowy koszt spoiny łączącej, ale ocala materiał. Np. przy wykonywaniu schodów spawanych często stosuje się konstrukcję następującą (ryc. 70): dźwigar stalowy wycina się w miejscu *A* w kształt trójkąta, a przecina w miejscu *B* od góry; następnie wygina go się w *A* i zespaja również, używając w ten sposób ostatecznie dźwigar jednolity, wygięty i to bez straty materiału.

5. Dobór przekrojów potrzebnych może być w konstrukcjach spawanych przeprowadzony bez porównania korzystniej niż w nitowanych. Przy nitowaniu ograniczeni jesteśmy chociażby tem, że połączenia muszą być symetryczne względem płaszczyzny więzara, musimy więc wogóle w belkach kratowych prawie wszędzie stosować kratownice i sił działających musimy stosować np. po dwie kątówki, chociaż naprężenia będą nieraz dochodziły tylko do ułamka naprężeń dopuszczalnych. W konstrukcji spawanej można i pasy i przekątne wykonać z jednego przekroju, np. z teówek, stosując przytem taki przekrój, jaki jest najekonomiczniejszy.



Ryc. 70.

Wykonanie policzka schodowego.

Dodatkowy ciężar elementów łącznikowych, jakimi są główki nitów, względnie spoiny, wynosi w konstrukcjach nitowanych 2—5%, w spawanych: 0,6—1,5%, średnio 1%.

6. Z tych wszystkich powodów zmniejsza się i ciężar własny konstrukcji, a wskutek tego w porządku wtórnym zmniejszają

się również potrzebne przekroje, gdy ten ciężar własny stanowi znacznie większy ułamek obciążenia.

Oszczędność na materiale uzyskana z powodów powyższych wynosi od 15—30% w stosunku do konstrukcyj nitowanych, zazwyczaj około 20%.

Jeżeli chodzi jednak o całkowity koszt konstrukcji, to musimy wziąć pod uwagę nie tylko ogólną jej wagę, ale także i koszt jednostkowy konstrukcji. Zazwyczaj koszt ten określa się przy oddawaniu konstrukcji stalowej od 1 kg. — Ustosunkowanie się zaś ceny jednostkowej konstrukcji spawanej do tejże ceny konstrukcji nitowanej waha się w zależności od tego, z jakiego rodzaju konstrukcją mamy do czynienia, z szkieletową, z blaszaną, czy z kratową. Dodać należy, że w konstrukcji spawanej zmierza się zawsze jeszcze w większym stopniu niż w nitowanej do tego, aby o ile możności największą część robót wykonać w warsztacie, a na montażu możliwie najmniejszą. W warsztacie można bowiem ustawić elementy konstrukcji zawsze w tem położeniu, aby spawanie było jaknajwygodniejsze. Np. unika się o ile możności spawania sufitowego; w warsztacie można ułożyć elementy zawsze tak, aby go uniknąć, lecz na budowie musimy spawać tak, jak wymaga tego definitywne położenie spoiny. Ponadto wykonanie na budowie uzależnione jest w większym stopniu od czynników przypadkowych, np. wpływów atmosferycznych.

Pozatem musimy przytem przy porównaniu cen konstrukcyj obu typów liczyć się z następującymi czynnikami:

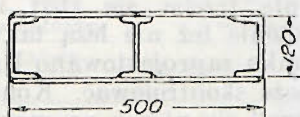
Roboty przygotowawcze, t. j. prace rysunkowe dadzą się łatwiej skutecznie w konstrukcjach spawanych. Sam proceder rysowania nitów z dokładnym określeniem ich odstępów, wielkości blach węzłowych, odległości poszczególnych elementów, oznaczania położenia nitów rozmaicie na poszczególnych elementach, jest bez porównania znużający niż przy projektowaniu konstrukcji spawanej. Do tego dochodzi jeszcze w niektórych wypadkach konieczność niezwykle drobiazgowego — na milimetry — określania długości odstępów i t. d. Wprawdzie i konstrukcje spawane muszą być obliczane na milimetry, jednakowoż wogóle dopuszczalna tolerancja jest tutaj większa, a w wielkiej ilości wypadków nieraz właśnie tam, gdzie określenie dokładnej długości jest najtrudniejsze — można podać prosto wymiary przybliżone z dokładnością nawet na kilka centymetrów; w najgorszym razie przytem się któryś pręt na budowie acetylenem. Jako przykład przytoczę np. określenie długości wiatrownic w dachach, które muszą być wymiarowane zazwyczaj w innej płaszczyźnie niż rysunkowa. W poszczególnych wypadkach można nawet obyć się bez rysunków szczegółowych i spawać na podstawie szkiców.

Równoległe z tem zmniejsza się wybitnie i robota warsztatowa, praca postępuje znacznie szybciej, a do wykonania konstrukcji potrzeba znacznie mniejszej ilości ludzi niż przy nitach. Inna rzecz, że muszą to być ludzie wykwalifikowani i egzaminowani w odpowiednich okresach czasu.

Musimy jednak zważyć jeszcze jeden czynnik, mianowicie potrzebne instalacje. Nie da się

zaprzeczyć, że istniejące warsztaty, urządzone na nitowania, muszą się przy przejściu na spawanie dostosowywać do tego i instalować odpowiednio urządzenia. Wymaga to nowych inwestycji, które zarazem muszą być w jakimś czasie zamortyzowane. Natomiast instalacje do nitowania istnieją już i ulegają minimalnym zmianom.

To jest najważniejszym powodem, dla którego cena jednostkowa konstrukcji spawanej (1 kg) jest u nas wogóle wyższa od takiejże ceny konstrukcji nitowanej. Zresztą najzupełniej niesłusznie, gdyż wyżej podane powody, poza nowymi instalacjami, prowadzi raczej do rezultatów wręcz odmiennych. Różnica ceny jest jednakowoż coraz mniejsza i w miarę dostosowywania się warsztatów do nowego systemu produkcji, zmienia się na korzyść konstrukcji spawanej. Wynosi ona u nas obecnie średnio ok. 5% na korzyść konstrukcji nitowanej¹⁾. Jeżeli uwzględnimy jednak oszczędność na wadze, to dojdziemy do rezultatu, że konstrukcja spawana będzie zawsze tańsza od nitowanej (oczywiście dobrze zaprojektowana). Wszystkie te konstrukcje spawane wykonane w ostatnich kilku latach w Polsce były oddane jako tańsze od nitowanych. W warsztatach konstrukcyjno-spawalniczych należycie zorganizowanych i uposażonych cena jednostkowa już dzisiaj wypada niższa przy spawaniu, a wtedy oszczędność własna przy zastosowaniu konstrukcji spawanej w koszcie ogólnym dochodzi do 15% i wyżej.



Ryc. 71.

Przekrój słupa w magazynie Biblioteki Jagiellońskiej w Krakowie.

Niektóre warsztaty nie stosują jeszcze chętnie spawania na budowie. Powodem tego jest nie tyle niepewność co do dobroci wykonania na budowie, co niedostosowanie się ich należyte do montażu spawanego. Prowadzi to do typu konstrukcji spawanej na warsztacie a nitowanej na budowie, co daje oszczędność pośrednią. Dobry warsztat, posiadający odpowiednie urządzenia i odpowiedni personel, nie będzie się napewno obawiał spawania na montażu. Dowodzi tego cały szereg konstrukcji, wykonany zagranicą i w Polsce, z których przeważna część jest spawana w całości, a tylko mały odsetek nitowany na montażu. Doskonałe rezultaty, otrzymane przy tych budowlach, dają pewność, że przy dobrej firmie wykonywającej, nie potrzeba się obawiać spawania montażowego, oraz, że konstrukcja typu mieszanego, spawano-nitowanego zupełnie zniknie w najbliższym czasie.

Inne korzyści spawania konstrukcyj stalowych są następujące:

¹⁾ Różnica ta waha się zależnie od urządzeń i przystosowania warsztatu. Dla warsztatów posiadających dobrą organizację i instalacje spawalnicze, cena jednostkowa konstrukcji spawanej już dziś jest w wewnętrznej kalkulacji niższa od takiejże ceny konstrukcji nitowanej.

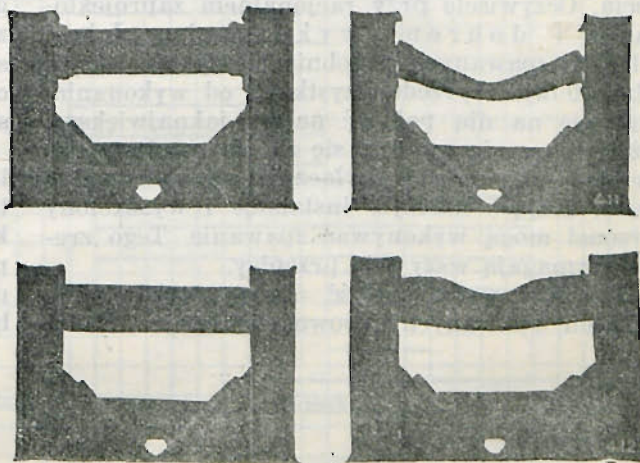
Spawanie można wykonać w warunkach, w których nitowanie może nie być wykonalne. Np. przy budowie magazynu Biblioteki Jagiellońskiej w Krakowie (1934), konieczny był przekrój słupów skrzynkowy zamknięty o ścianach zupełnie gładkich. Zastosowano przeto przekrój spawany, podany na ryc. 71; ani taki, ani jakikolwiek inny typ nitowany, któryby spełniał te warunki, jest nie do pomyślenia.

Wszelkie przeróbki, wzmocnienia i t.d. są znacznie łatwiejsze i prostsze; nie przeszkadzają tu bowiem zupełnie główki nitów, łączniki i t.d.

Jakiegokolwiek niedokładności, które okażą się na montażu, mają znacznie mniejsze znaczenie, niż w konstrukcjach nitowanych. Przesunięcia odpowiadających sobie otworów nitowych, np. w pasie i w blasze węzłowej, spotykane bardzo często, powodują konieczność naciągania przekrojów i wywołania tem samym naprężeń montażowych, które niejednokrotnie są bardzo znaczne. W konstrukcjach spawanych niedokładność przycięcia prętów wpływa bardzo mało lub zupełnie nie. Naprężenia zaś termiczne, jakie powstają przy spawaniu, nie są wogóle większe od naprężeń montażowych.

Wreszcie — w miastach rzecz bardzo ważna — wykonywanie konstrukcji bez hałasu, jaki przy nitarkach występuje, jest dalszą zaletą spawania. Jest to powód, dla którego np. przy budowie P. K. O. w Warszawie zastosowano spawanie, gdyż praca biurowa w przylegających częściach budynku musiała być utrzymana przez cały czas.

Niezależnie od powyższych walorów należy zaznaczyć, że w miejsce dawniej stosowanych odlewów (np. łożysk, przegubów i t. d.), wchodzi również dziś — podobnie jak w budowie maszyn — elementy spawane z blach i płyt, przez co odpada kłopotliwa potrzeba odlewania niewielkich części w warsztacie czy na budowie.



Ryc. 72.

Próby połączeń nitowanych i spawanych na uderzenie. Połączenie nitowane uległo zniszczeniu przy 27 tonnach, przyczem łączniki i nitki zostały zniszczone, natomiast połączenie spawane przy 41,7 tonnach nie wykazało żadnych pęknięć spoin (doświadczenia w Malines w Belgji jeszcze w r. 1927).

Spawanie nie weszłoby w życie, gdyby przy wspomnianych powyżej walorach ekonomicznych i wykonawczych, nie miało ono odpowiednich walorów wytrzymałościowych.

Należyście wykonane połączenie spawane jest jednak wytrzymalsze od połączenia nitowanego, równie należyście wykonanego, obliczonego na podstawie tych samych przyjęć i przepisów, ponadto zaś w razie potrzeby połączenie to można zawsze wykonać „jeszcze mocniej“, zwiększając spoiny i konstruując odpowiednio przylegające partje elementu łączonego. Wskazują na to dobitnie przykłady elementów konstrukcyjnych, łamanych aż do zniszczenia, wykonywane nawet już 8 i 10 lat temu, a więc w początkach spawania konstrukcyjnego. Już podówczas okazało się np., że rama wedle ryc. 72 wykonana przy pomocy spawania, łamie się znacznie później, niż w wykonaniu nitowanym i to nie przez pęknięcie spoin, ale przez wygięcie belki, gdy w nitowanym pękają połączenia nitowane. Od tego czasu technika spawania, metody wykonywania, przycządo do spawania, elektrody, postąpiły niezmiernie naprzód. Ktokolwiek więc powołuje się na dawne rezultaty (nieraz zresztą również bardzo dobre), z przed kilku lat, to tak, jak gdyby w żelbiecie chciał opierać się na doświadczeniach z lat osiemdziesiątych, a w konstrukcjach nitowanych z połowy ubiegłego wieku. Ilość doświadczeń poczynionych w tych dziesięciu latach z konstrukcjami spawanymi we wszystkich niemal państwach świata, jest tak ogromna, że nie może się z nią równać ilość doświadczeń, wykonywanych przez długie dziesiątki lat z konstrukcjami nitowanymi nawet w odległej proporcji. Dlatego musi się bacznie śledzić ogromną literaturę techniczną, aby, zajmując się spawaniem, orjentować się w niem należyście. A właśnie wszystkie doświadczenia ostatnich lat stwierdzają, że połączenia spawane górują nad nitowanymi swoją mocą i wytrzymałością. Oczywiście przy racjonalnem zaprojektowaniu i dobrem wykonaniu. Jakość połączeń spawanych podobnie jak jakość betonu zależy bowiem przede wszystkim od wykonania. Musi się na nią położyć nacisk jaknajwiększy. Jeżeli spawanie wykona się źle, to rezultaty dobre być nie mogą. Wyłącznie odpowiedzialne firmy, mające należyte instalacje i wyszkolony personel mogą wykonywać spawanie. Tego zresztą wymagają wszystkie przepisy.

Większa wytrzymałość dobrze wykonanych połączeń spawanych, spowodowana jest nadto

możliwością skoncentrowania połączenia w dowolnem miejscu, dostosowania się do wymogów konstrukcji, oraz do sił działających, większą, niż w konstrukcjach nitowanych.

Jeszcze dziś podnoszone są zarzuty przeciw spawaniu konstrukcyj stalowych, które koncentrują się głównie w kierunku „braku należytej kontroli“ i „naprężeń i odkształceń termicznych“. Ktokolwiek na te zarzuty spojrzysz głębiej i nieuprzedzony, ten łatwo wyczuje ich niesłuszność. Istnieje wiele sposobów badania jakości spoin, m. in. niektóre bardzo proste, ale wogóle nie stosuje się ich, gdyż próby spawaczy i próby elektrod, wykonywane systematycznie, dają najzupełniej wystarczającą gwarancję wykonania. Zachodzi tu to samo, co w konstrukcjach żelbetowych, których również nie bada się inaczej, jak tylko przy pomocy prób betonu, wykonywanych na budowie. A jeżeli chodzi o konstrukcje nitowane, to badanie nitów przy pomocy młotka, nie jest żadnem badaniem wytrzymałościowem. Konstrukcje nitowane mają za sobą setkę lat istnienia, ale nigdy nie były tak badane, jak pragnie się nieraz badać i jak czasem bada się konstrukcje spawane.

Co dotyczy zaś naprężeń i odkształceń termicznych, to te ostatnie zależą przede wszystkim od systemu spawania. Należy zawsze wybrać zatem najodpowiedniejszy, taki, który gwarantując największą wytrzymałość, da zarazem najmniejsze napięcia i odkształcenia. Odkształceniami termicznymi nie trzeba się zbyt iluzjonować. Wkładki w betonie też nie leżą tak regularnie, jak je na rysunku zaprojektowano i nikt położenia ich nie może kontrolować. Konstrukcje nitowane „dociąga“ się nieraz na montażu, a nawet profile walcowane nie są tak czyste, jak na rysunku; — wiadomo przecież, że kształtówki tych samych numerów różnią się od siebie nieraz znacznie, co znaczy w konsekwencji nieraz więcej, niż odkształcenie termiczne przy spawaniu. Zresztą, stosując odpowiednie środki, można się uchronić nawet od odkształceń w tych samych granicach, co w konstrukcjach nitowanych. Zazwyczaj jednak nie jest to potrzebne. Bo konstrukcje inżynierskie nie są robotą jubilerską; one mają być przede wszystkim odpowiednio silne.

Gdy zważymy te wszystkie zalety spawania i porównamy je z wadami tegoż, zrozumiemy łatwo przyczyny tak szybkiego rozszerzania się konstrukcyj spawanych. Nie trzeba być wcale prorokiem, aby być pewnym, że w niem jest przyszłość budownictwa stalowego i to już w najbliższym czasie.