

CIĘŻAR WŁASNY MOSTÓW STAŁOWYCH

1. Części składowe przęsła

Przy obliczaniu ciężaru własnego mostu, który to ciężar jest niezbędny do obliczania sił występujących we wszystkich nośnych elementach konstrukcji mostowej, będziemy rozróżniać następujące części składowe przęsła mostu drogowego lub kolejowego:

- 1) jezdnia: nawierzchnia jezdni i chodników, belki podłużne oraz belki poprzeczne jezdni i chodników;
- 2) tężniki podłużne i tężniki poprzeczne pomiędzy dźwigarami głównymi;
- 3) dźwigary główne.

2. Ciężar własny nawierzchni jezdni i chodników

a. Ciężar nawierzchni

Ciężar nawierzchni mostów kolejowych w kG/m i mostów drogowych w kG/m^2 obliczamy na podstawie określonych wymiarów tej części składowej mostu.

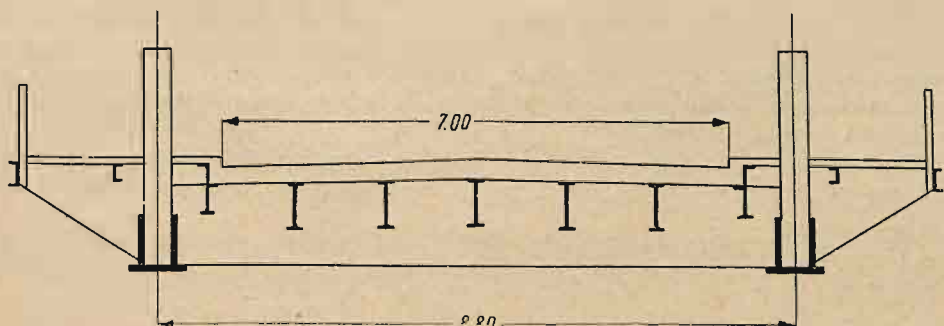
Wymiary te powinny być ściśle oznaczone na rysunkach projektu szkicowego.

Ciężar normalnej nawierzchni kolejowej, przypadający na obie podłużnice (belki podłużne jezdni lub dźwigary główne w przypadku kładzenia nawierzchni bezpośrednio na dźwigarach), zależy od typu nawierzchni (szyny, złączki i mostownice) i może być przyjęty $600 \div 700 \text{ kG/m}$ toru.

b. Ciężar własny żeber pomostu jezdni i chodników

Znając ciężar części mostu, wymienionej w p. 1, przystępujemy do określania wymiarów elementów żeber pomostu jezdni i chodników, przede wszystkim do obliczenia tych żeber pomostu, które bezpośrednio podtrzymują nawierzchnię.

Zależnie od układu żeber pomostu mogą być w mostach drogowych zastosowane drugorzędne belki podłużne lub drugorzędne belki poprzeczne albo pierwszorzędne belki podłużne.



Rys. 14

Układ belek jezdni i chodników mostu drogowego z jazdą dołem podany jest w przekroju poprzecznym mostu na rys. 14 i w planie schematycznym dwóch przedziałów jezdni mostu (po 4,80 m każdy) — na rys. 15. Plan

ten ułatwia ustawienie obciążenia ruchomego przy obliczeniu odpowiednich belek jezdni.

Przy obliczaniu belek ich ciężar własny ma zwykle bardzo mały wpływ na wymiary samych belek. Wymiary ich zależne są przede wszystkim od obciążenia ruchomego i ciężaru nawierzchni.

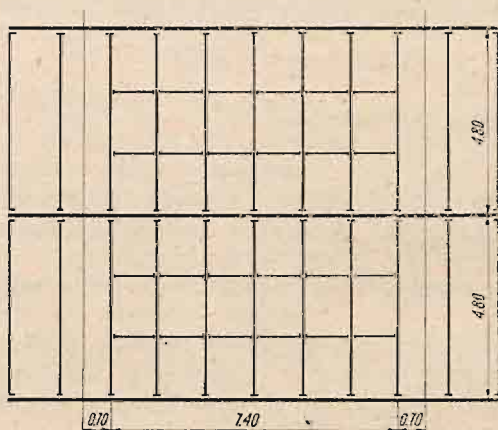
Zmniejszając dopuszczalne naprężenie w belce o kilka procent, dobieramy przekrój belki i następnie obliczamy jego wytrzymałość.

Ciężar belki o dobranym przekroju, z uwzględnieniem główek nitów i usztywnień, dodajemy do jej obciążenia stałego i ponownie sprawdzamy naprężenie. Jeżeli naprężenie znajdzie się w granicach $\pm 3\%$ w stosunku do naprężeń dopuszczalnych,

to w takim razie przekrój dobrany pozostawiamy. Jeżeli zaś różnice okażą się większe, to wprowadzając poprawkę na zwiększenie przekroju otrzymujemy nowy przekrój i nowy ciężar belki; zwykle to drugie obliczenie, tak zwane drugie przybliżenie, jest już odpowiednie.

Po obliczeniu pierwszej belki przystępujemy kolejno do obliczenia następnych, które podtrzymują belki poprzednio już obliczone.

Przy obliczaniu następnych belek postępujemy w ten sam sposób jak przy obliczaniu pier-



Rys. 15

wszej belki, tylko zmniejszamy więcej naprężenie dopuszczalne, gdyż następne belki, mające większą rozpiętość i większe obciążenie, będą miały większy przekrój, a zatem większy ciężar własny.

Postępując nadal w ten sam sposób dojdziemy do belek głównych poprzecznych, do których również możemy stosować tę samą metodę obliczania, lecz naprężenia dopuszczalne mogą wówczas zmniejszyć się do 20%.

Można wprowadzać do obliczeń ciężaru belek jezdni wzory empiryczne, jednak w tym przypadku obliczenia trzeba przeprowadzać dwa razy. Po pierwszym obliczeniu belki z przyjętym ciężarem według wzorów empirycznych, po dobraniu przekroju i uwzględnieniu wszelkich dodatkowych usztywnień, nakładek, główek nitów, całkowity ciężar wszystkich elementów belki może być ściśle obliczony, a zatem i wprowadzony do ostatecznego obliczenia przekroju belki.

Należy dążyć do tego, aby ciężar poszczególnych belek, przyjęty do obliczeń statycznych, różnił się od rzeczywistego ich ciężaru tylko w granicach $\pm 5\%$.

W mostach kolejowych belki podłużne i belki poprzeczne jezdni, jak również elementy chodników, obliczamy także według podanych zasad.

3. Ciężar własny tężników

Ciężar tężników pomiędzy dźwigarami głównymi można by obliczyć z dostateczną dokładnością za pomocą wzorów teoretycznych. Ponieważ jednak ciężar tężników stanowi niewielki odsetek całkowitego ciężaru mostu, więc pewna nieścisłość w obliczeniu tego ciężaru i przyjęciu do obliczenia

mostu wpływa w niewielkim stopniu na naprężenia w prętach dźwigarów głównych; najzupełniej przeto wystarcza, gdy ciężar ten przyjmiemy w odsetkach ciężaru własnego dźwigarów głównych. Dla wielu mostów odsetek ten mieści się w granicach $9 \div 12\%$ i rzadko dochodzi do 15% .

Ponadto należy zaznaczyć, że w mostach o większych rozpiętościach przypadający na tężniki odsetek ciężaru jest mniejszy, w mostach zaś o mniejszych rozpiętościach odsetek ten jest większy. Objasnia się to tym, że w mostach o małych rozpiętościach siły w tężnikach są niewielkie, a ze względów konstrukcyjnych przekroje prętów trzeba zwiększać, co podnosi odsetek ciężaru tężników. Również odsetek ten zbliża się do górnej granicy w mostach z jazdą górą, gdyż w tym typie mostów tężniki poprzeczne są zazwyczaj cięższe niż w mostach z jazdą dołem.

Średnio możemy zawsze przyjąć odsetek, bez popełnienia większej nieścisłości, jako 10% ciężaru dźwigarów głównych, czyli że ciężar tężników $p_1 = 0,1 p = \alpha p$, jeżeli przez p oznaczymy ciężar dźwigarów głównych, wyrażony w T/mb i $\alpha = 0,1$.

4. Ciężar własny dźwigarów głównych i mostu

a. Ciężar dźwigarów głównych

Dla obliczenia ciężaru dźwigarów głównych wprowadzamy następujące wielkości:

- p T/mb — ciężar własny dźwigarów głównych,
- F T/mb — całkowity ciężar jezdni i chodników,
- $p_1 = \alpha p$ T/mb — ciężar tężników podłużnych i poprzecznych,
- q T/mb — obciążenie ruchome na całej szerokości mostu,
- k T/m² — dopuszczalne naprężenie dla materiału dźwigarów,
- γ T/m³ — ciężar gatunkowy materiału, z którego budowane są dźwigary,
- q — współczynnik ustrojowy,
- S_p^i — siła w jakimkolwiek przęcie dźwigara od obciążenia stałego, równomiernie rozłożonego na całej długości dźwigara i równego 1 T/mb,
- S_q^i — siła w tym samym przęcie od obciążenia ruchomego, rozłożonego na linii wpływowej i równego 1 T/mb,
- λ — długość pręta,
- L — rozpiętość teoretyczna dźwigara.

Teoretycznie ciężar jednego pręta określa się wzorem:

$$\frac{1}{k} \gamma \left[(F + p + \alpha \cdot p) S_p^i + q S_q^i \right] \lambda,$$

rzeczywisty zaś ciężar całego dźwigara wyrazi się wzorem w postaci sumy ciężarów teoretycznych wszystkich prętów, pomnożonej przez współczynnik ustrojowy q , czyli:

$$\frac{q \gamma}{k} \Sigma \lambda \left[(F + p + \alpha p) S_p^i + q S_q^i \right].$$

Z drugiej strony ciężar rzeczywisty dźwigarów przesła o rozpiętości L równa się pL .

Porównując oba wyrażenia otrzymujemy równanie liniowe względem p , z którego określamy:

$$p = \frac{F \Sigma S_p^i \lambda + q \Sigma S_q^i \lambda}{\frac{kL}{\gamma\varphi} - (1 + \alpha) \Sigma S_p^i \lambda}$$

W równaniu tym mamy niewiadomy współczynnik ustrojowy φ . Od odpowiedniego zastosowania tego współczynnika zależy właściwe obliczenie ciężaru dźwigarów głównych. Zależnie od rozpiętości dźwigarów współczynnik ten waha się w granicach od $\varphi = 2,45$ do $\varphi = 1,67$ przy rozpiętościach dźwigara $34 \div 160$ m.

Współczynniki ustrojowe dla różnych rozpiętości dźwigarów można przyjąć według następującej tablicy:

Tablica 29

Rozpiętość L w m	34	75	110	127	160
Współczynnik φ	2,45	2,00	1,75	1,71	1,67

Podany wzór na ciężar własny dźwigarów głównych jest wzorem ogólnym, nie określającym samego systemu układu dźwigarów kratowych. Oprócz tego wzoru teoretycznego istnieje szereg innych wzorów.

Wzór uwzględniający wysokość dźwigarów o pasach równoległych i liczbę przedziałów, od której zależy najbardziej ekonomiczna wysokość dźwigarów, a zatem i ich ciężar, jest następujący:

1. Belki jednoprzęsłowe swobodnie podparte o m przedziałach długości a z pasami równoległymi:

$$p = \frac{2F[a^2(2m^2 + 3m - 2) + 6mh^2] + q[a^2(4m^2 + 7m - 6) + 2h^2(7m - 2)]}{\frac{2akh}{\gamma\varphi} - 2,2[a^2(2m^2 + 3m - 2) + 6mh^2]} T/\text{mb.}$$

2. Wsporniki o n przedziałach:

$$p = \frac{(F + q) \cdot a[a^2(2n^2 + 1) + 3n(a^2 + 2h^2)] + 6Q[a^2(n + 1) + 2h^2]}{\frac{6ahk}{\gamma\varphi} - 1,1a[a^2(2n^2 + 1) + 3(a^2 + 2h^2)]} T/\text{mb.}$$

W tym ostatnim wzorze Q oznacza całkowite obciążenie końca wspornika od strony zawieszanej belki, h — wysokość dźwigara lub wspornika; pozostałe oznaczenia w obydwu wzorach jak podane poprzednio.

b. Ciężar mostu

Do określania ciężaru mostu istnieje szereg wzorów, z których wymienić należy wzory podane przez Schwedlera. Przy zastosowaniu odpowiednich współczynników ustrojowych i naprężeń dopuszczalnych dają one dosyć ściśle określenia wielkości ciężarów mostów. Zachowując poprzednie oznaczenia otrzymamy następujące wielkości całkowitego ciężaru mostu, a więc dźwigarów głównych, jezdni z nawierzchnią i tężników mostu kolejowego lub drogowego, w zależności od obciążenia ruchomego q , przyjętego dla całej szerokości mostu i od układu dźwigarów.

1. Dźwigary belkowe jednoprzęsłowe o pasach równoległych:

$$p = \frac{Fk + 1,22 \varphi q \gamma L \left[\frac{L}{6h} + 0,5 \right]}{k - q \gamma L \left(\frac{L}{6h} + 0,5 \right)} T/\text{mb.}$$

2. Dźwigary belkowe jednoprzęsłowe o pasach krzywych:

$$p = \frac{4Fkh + 1,11 \varphi \cdot q \gamma \left(L^2 + \frac{8}{3} h^2 \right)}{4kh - \varphi \gamma \cdot \left(L^2 + \frac{8}{3} h^2 \right)} T/\text{mb.}$$

3. Dźwigary belkowe ciągle wieloprzęsłowe:

a) przęsła środkowe:

$$p = \frac{Fk + 1,95 \varphi \cdot q \gamma \cdot L \left(0,0642 \frac{L}{h} + 0,5 \right)}{k - q \gamma L \left(0,0642 \frac{L}{h} + 0,5 \right)} T/\text{mb.}$$

b) przęsła skrajne:

$$p = \frac{Fk + 2,34 \varphi \cdot q \gamma \cdot L \left(0,077 \frac{L}{h} + 0,5 \right)}{k - 1,2 \varphi \gamma \cdot L \left(0,077 \frac{L}{h} + 0,5 \right)} T/\text{mb.}$$

We wzorach tych przy pasach krzywych wysokość h jest wysokością średnią geometrycznego konturu dźwigara. Współczynnik ustrojowy należy przyjmować nie mniejszy od 1,75, naprężenie zaś dopuszczalne — jeżeli jest różne dla poszczególnych prętów, co zdarza się np. w mostach kolejowych — zaleca się przyjmować zmniejszone.

Przy obliczaniu ciężaru mostów często korzystamy ze wzorów empirycznych, wyprowadzonych na podstawie projektów całego szeregu mostów, wykonanych z dokładnym obliczeniem ich ciężaru własnego. Mosty te powinny być projektowane według tych samych warunków technicznych, tj. powinny mieć mniej więcej jednakowe układy (belki jednoprzęsłowe) z jednakowymi w głównych zarysach projektowanymi jezdniami i służyć do jednakowych celów, do jednakowych obciążeń, np. kolejowych lub drogowych, przy odpowiednio przyjmowanych naprężeniach dopuszczalnych.

Najprostszy wzór ciężaru mostów kolejowych, zależny od rozpiętości l dźwigarów głównych, ma postać:

$$p = Cl + F,$$

gdzie: p — ciężar całkowity mostu,

F — ciężar jezdni,

C — ciężar dźwigarów; wszystko razem odniesione do 1 mb mostu.

We wzorze tym brak jest całego szeregu czynników wpływających na ciężar jezdni i dlatego tym wzorem możemy się posługiwać tylko przy projektowaniu mostów kolejowych.

W tabelicy 30 podane są wielkości C i F dla różnych rozpiętości mostów kolejowych przy jeździe górą i jeździe dołem oraz przy obciążeniach odpowiadających normie B (Przepisy szczegółowe obliczania i wykonywania stalowych mostów kolejowych, Warszawa 1946).

Ciężar przęsła mostów kolejowych

Jazda górą		Jazda dołem	
Rozpiętość teoretyczna m	Ciężar przęsła $p = (Cl + F)$ kG/mb	Rozpiętość teoretyczna przęsła l m	Ciężar przęsła $p = (Cl + F)$ kG/mb
5	77,7l + 660	20	61,0l + 1300
10	72,5l + 660	25	55,5l + 1400
15	71,2l + 660	30	51,5l + 1400
20	69,2l + 660	35	48,2l + 1400
25	67,5l + 660	40	45,0l + 1400
30	63,0l + 660	45	43,0l + 1400
35	59,8l + 660	50	42,4l + 1400
40	58,4l + 660	55	41,7l + 1400
45	58,6l + 1250	60	40,0l + 1400
50	55,3l + 1250	90	40,5l + 1400
55	52,0l + 1250	100	41,0l + 1750
60	49,5l + 1250	120	41,0l + 1800
65	47,0l + 1250	130	42,0l + 1800
—	—	140	43,0l + 1800
—	—	150	44,5l + 1800
—	—	160	47,0l + 2200

W tablicy tej, dla mostów z jazdą górą do 40 m rozpiętości ciężar jezdni F jest jednakowy, gdyż jezdnia składa się z mostownic ułożonych bezpośrednio na pasach dźwigarów głównych i z szyn ze złączkami oraz urządzeniami ochronnymi (odbojnice, zabezpieczenie przeciwpożarowe itp.).

Przy rozpiętościach mostów powyżej 40 m jezdnia, prócz toru kolejowego, ma belki poprzeczne i belki podłużne, co zwiększa jej ciężar.

Mosty z jazdą dołem o rozpiętości do 90 m mają jednakowy rozstaw dźwigarów głównych, zależny od skrajni taboru kolejowego, i dlatego ciężar jezdni przyjęty jest dla wszystkich tych rozpiętości jednakowy. Przy rozpiętości powyżej 90 m rozstaw dźwigarów głównych zwiększa się, wskutek czego i ciężar jezdni wzrasta (zwiększają się rozpiętości belek poprzecznych). W mostach o rozpiętości 160 m cała nawierzchnia jest stalowa i pokryta blachami stalowymi, co znacznie zwiększa ciężar jezdni przypadający na 1 mb mostu.

Wielkości C i F dla rozpiętości dźwigarów pośrednich można przyjmować według interpolacji liniowej.

Przy innym obciążeniu ruchomym q_1 i ciężarze jezdni F_1 można współczynnik C_1 obliczyć ze wzoru:

$$C_1 = C \frac{F_1 + q_1}{F + q}$$

5. Obliczenie ciężaru dźwigara przy przejściu od istniejących naprężeń do nowych

Przejście od ciężaru własnego dźwigarów, zbudowanych z materiału o naprężeniu dopuszczalnym k , do ciężaru dźwigarów o tej samej rozpiętości, wykonanych z materiału o naprężeniu dopuszczalnym k_1 oblicza się w sposób następujący:

Oznaczając przez μ stosunek nowego naprężenia dopuszczalnego k_1 do k przyjmujemy, że $k_1 = \mu k$. Należy przy tym pamiętać, że ciężar mostu zmniejsza się nie tylko w wyniku zwiększenia naprężeń dopuszczalnych, lecz również wskutek zmniejszenia się sił w prętach od ciężaru własnego.

Wprowadzamy następujące oznaczenia:

G i G_x — ciężar mostu, zależny od naprężeń dopuszczalnych k i k_1 ,

S_1 i S_1^1 — siły w prętach, zależne odpowiednio od ciężaru G i G_x ,

S_2 — siły w prętach od obciążeń, niezależnie od naprężeń dopuszczalnych,

α — stosunek sił w prętach od obciążenia stałego, zależnego od naprężenia dopuszczalnego, do sił od obciążenia całkowitego, tj. stałego i ruchomego łącznie z parciem wiatru, jeżeli ono decyduje przy wyznaczaniu przekrojów prętów,

μ — stosunek naprężeń dopuszczalnych starych i nowoprzyjętych, zwiększonych lub zmniejszonych.

Zakładając, że współczynniki ustrojowe φ pozostają jednakowe zarówno przy starym jak przy nowoprzyjętym naprężeniu, możemy przyjąć, że ciężary prętów są proporcjonalne do tych sił. Ponadto przyjmujemy, że geometryczne wymiary dźwigarów pozostają bez zmiany. Możemy zatem napisać następujące równania:

$$\frac{S_1 + S_2}{k} = \varphi G; \quad \frac{S_1^1 + S_2}{\mu k} = \varphi G_x; \quad \frac{S_1}{S_1^1} = \frac{k_1}{k} = \mu; \quad \frac{S_1}{S_1 + S_2} = \alpha.$$

Na podstawie tych równań możemy określić ciężar mostu przy nowych naprężeniach dopuszczalnych:

$$G_x = G \frac{(1 - \alpha)(\mu - 1) + 1}{\mu^2}.$$

Ciężar G należy rozłożyć na dwie części: jedną — niezależną od naprężeń dopuszczalnych stali i drugą — zależną od tych naprężeń.

Ciężar mostów stalowych można też określać na zasadach statystycznych, tj. na podstawie wykonanych dotychczas konstrukcji mostowych, racjonalnie zaprojektowanych. Na tej zasadzie dla mostów kolejowych przy obciążeniu normą A (pieciodosiowy parowóz o obciążeniu 25 T/ós z tendrem i wagonami — Przepisy szczegółowe obliczania i wykonywania stalowych mostów kolejowych, Warszawa 1946 r.) zostały np. wyprowadzone przez inż. Mariana Bibińskiego wzory i wykresy na obliczenie ciężaru mostów stalowych z podziałem na ciężar dźwigarów głównych, jezdni, wiatrownic i łożysk dla mostów o ścianie pełnej i kratownic z jazdą dołem i górą.

Z chwilą wprowadzenia nowego normatywu obliczenia mostów stalowych, wobec zwiększenia zasadniczego naprężenia dopuszczalnego, wprowadzenia przekrojów brutto do obliczenia prętów na wyboczenie oraz zmniejszenia nacisku na oś w normie NC w stosunku do dawnej normy A — ciężar mostów stalowych nutowanych powinien się zmniejszyć o 8 ÷ 10% i w tym stosunku należy zmniejszyć ciężar mostów, określany na podstawie wzorów inż. Bibińskiego.

Przy wypośredkowaniu ciężaru konstrukcji mostowych różnych kategorii można brać pod uwagę wyłącznie konstrukcje zaprojektowane racjonalnie, a więc przede wszystkim o najkorzystniejszym stosunku wysokości belki h do rozpiętości l , odpowiedniej do typu i rozpiętości konstrukcji wysokości ustrojowej oraz właściwym stosunku wzajemnym innych wymiarów.

Ciężar przesł mostowych, które z pewnych względów (np. ograniczenie wysokości konstrukcyjnej) nie odpowiadają wymogom najracjonalniejszego projektowania, będzie większy od przewidzianego przez wskaźniki (przyp. red.)

Rozdział V

WYKONANIE KONSTRUKCJI MOSTOWEJ W WARSZTATACH

1. Zasady ogólne

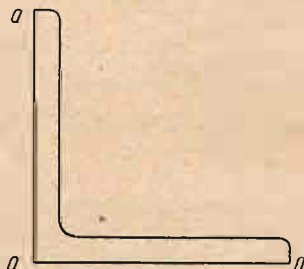
Wykonanie konstrukcji mostowej w warsztatach odbywa się różnie, w zależności od posiadanych instalacji warsztatowych. Instalacje te mogą być nawet prymitywne, na przykład w postaci warsztatów prowizorycznych na miejscu budowy.

Jednakże stal przesyłana do takich prowizorycznych warsztatów musi być odpowiednio przygotowana już w hucie, która tę stal wysyła.

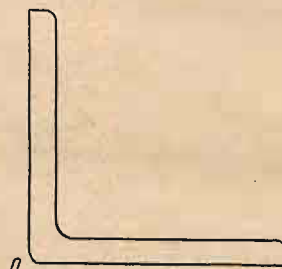
W warsztatach mostowych zwykle znajdują się odpowiednie urządzenia maszynowe, które sortymentom stali, wysłanym z hut, nadają właściwe kształty. Blachy po walcowaniu nie zawsze są równe i całkowicie proste, często są pofałdowane i należy je wyrównać przed skierowaniem do ostatecznej obróbki, jak heblowanie krawędzi, trasowanie otworów do nitów i przebijanie lub wiercenie innych otworów.

Prostowanie blach odbywa się między pięcioma walcami poziomymi, przez które blachę przepuszcza się kilkakrotnie.

W razie potrzeby blachy uniwersalne po wyrównaniu pomiędzy walcami, należy wyprostować. Często po walcowaniu blachy uniwersalne krzywią się, pomimo że są zwykle ujmowane w kleszcze przed zupełnym ostygnięciem. Jeżeli skrzywienie to jest nieznaczne, to prostowanie wykonuje się w ten



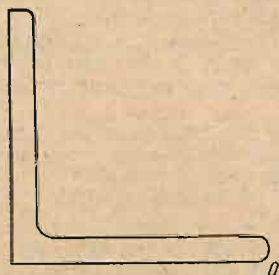
Rys. 16



Rys. 17

sposób, że w kilku miejscach przy krawędziach wyznacza się niewielkie trójkąty, pod które wsuwa się gładką podstawkę stalową. Pod uderzeniami młota w miejscach trójkątów blacha staje się cieńsza i w ten sposób wydłuża się wklęsłą krawędź blachy.

Jeżeli zaś płaszczyznę blachy trzeba nieco skrzywić, to można to wykonać w ten sam sposób. Jednakże nie należy tego sposobu stosować przy znacznych wykrzywieniach blachy, gdyż pod uderzeniem młota blacha staje się w tym miejscu cieńsza i twardsza, co nie jest pożądane. Miejsca takie łatwo można zauważyć patrząc na blachę pod światło.

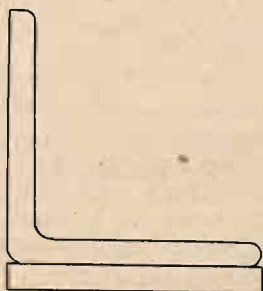


Rys. 18

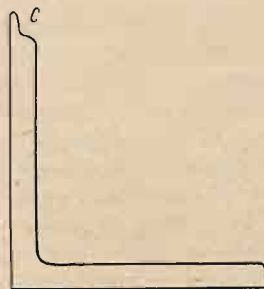
Kątowniki przy walcowaniu skręcają się, wykrzywiają i boki ich nie tworzą kąta prostego. Prostowanie odbywa się zwykle na zimno. Aby otrzymać kąt prosty pomiędzy bokami, przepuszcza się kątowniki na zimno przez walce, których boki są pochylone ściśle pod kątem prostym. Walec górny, z powierzchniami tworzącymi kąt prosty, ma grzbiet zaokrąglony o promieniu, który może być większy od promienia zaokrąglenia kątownika.

Po walcowaniu kątowników krawędzie a ich boków powinny być ostre (rys. 16). Zdarza się jednak, że płaszczyzny zewnętrzne (rys. 17) lub płaszczyzny krawędzi kątowników (rys. 18) nie przecinają się pod kątem prostym, ale ich krawędzie a są zaokrąglone. Jeżeli zaokrąglenie to jest małe, to można je tolerować, jeżeli zaś jest duże, to takich kątowników nie należy używać,

szczególnie gdy do nich są przytwierdzone blachy, ponieważ między bokiem kątownika a blachą tworzy się wyłobienie, w którym może się zbierać woda (rys. 19). Ponadto tego rodzaju kątowniki szpecą konstrukcję. Aby otrzymać właściwe krawędzie, należy kątowniki walcować z pewnym nadmiarem materiału. Tworzą się wtedy po bokach kątowników rąbki *c* (rys. 20), które ścina się specjalnymi nożycami okrągłymi i następnie wyrównuje pilnikiem.



Rys. 19



Rys. 20

Czynności te zwiększają wprawdzie koszt konstrukcji, lecz w zamian staje się ona bardziej estetyczna, co ma szczególne znaczenie w mostach miejskich.

Do obcinania blach służą zwykle długie nożyce, nożyce zaś krótkie stosuje się do niewielkich cięć. Jednakże krótkie nożyce można stosować również do obcinania blach długich, co jakkolwiek trwa znacznie dłużej, gdyż poszczególne cięcia są krótkie, to jednak nie wymagają one tak wielkiej siły nacisku jak nożyce długie.

Do obcinania kątowników służą nożyce, których dolny nóż jest wklęsły, wycięty pod kątem prostym, górny zaś nóż jest wypukły, z bokami ściętymi również pod kątem prostym.

Inne profile stali, jak dwuteowniki, teowniki itp. prostuje się przeważnie po walcowaniu w hutach i do warsztatów mostowych dostarcza się je w postaci belek zdatnych do natychmiastowego użycia.

2. Wyginanie profilów i blach

Wyginanie blach w płaszczyźnie prostopadłej do ich szerokości i przechodzącej przez oś podłużną blachy przy dużym promieniu krzywizny nie wymaga zwykle specjalnego urządzenia warsztatowego, gdyż niewielka grubość blachy nie nastęrcza trudności przy jej wyginaniu.

Jeśli promień krzywizny jest mały, to blachę należy tak wygiąć, aby to wygięcie było trwałe. Zwykle wyginanie odbywa się na zimno na specjalnie do tego przeznaczonych maszynach. Często jednak blachy wygina się na gorąco i jeśli warsztaty nie są wyposażone w odpowiednie maszyny, to blachy wygina się za pomocą uderzeń młotów. Wygięcie o małym promieniu powinno być w stadium końcowym takie, aby blacha zachowała na stałe kształt wygięcia i aby przy tym nie była naprężona.

Kątowniki wyginamy na zimno tylko w przypadkach małej krzywizny. Jeżeli zaś krzywizna jest duża, to wyginanie wykonywa się na gorąco na maszynach albo uderzeniami młota, co wykonują zwykle warsztaty kowalskie.

Cięcie kątowników w zasadzie powinno odbywać się na gorąco na przyrządach warsztatowych. Niewielkie załamania kątowników, np. pod kliny, wykonywa się na zimno na prasach pneumatycznych lub hydraulicznych.

3. Trasowanie

Po przygotowaniu poszczególnych elementów danego zespołu wyznacza się w traserniach położenie nitów na blachach, kątownikach, ceownikach, dwuteownikach itp. Właściwe wytrasowanie osi nitów jest bardzo ważne, ponieważ od niego zależy prawidłowe złożenie elementów w zespoły konstrukcyjne.

Trasowanie w poszczególnych elementach konstrukcji odbywa się różnie w różnych warsztatach mostowych i według różnych wzorów.

W niektórych warsztatach każdy element zespołu ma swój numer i swój oddzielny rysunek, ze wskazaniem na nim wszystkich wymiarów z dokładnością czasem do $1/4$ mm. W innych zaś warsztatach wystarczają rysunki ogólne, oczywiście ze ściśle określonymi wymiarami. Na podstawie tych ogólnych rysunków, na stołach pokrytych białą pociągniętą białą farbą kredowo-wodną, traserzy rysują elementy konstrukcji w wielkości naturalnej i wyznaczają osie nitów w elementach. Niekiedy wykonuje się szablon z cienkiej blachy, według których przygotowuje się elementy konstrukcyjne.

Przy projektowaniu mostu zwykle dążymy do tego, aby jak największa liczba elementów konstrukcji była jednakowa, gdyż zmniejsza to pracę trasowania, która jest kosztowna.

Traserzy są typowani spośród pracowników wykwalifikowanych, znających się dobrze na rysunkach i orientujących się w konstrukcjach nie tylko płaskich, lecz i przestrzennych.

Czasem za szablon może służyć jeden element konstrukcji, którego używa się do trasowania innych, takich samych elementów. Do tej pracy można użyć pracowników mniej wykwalifikowanych, przysposabiających się do samodzielnej pracy przy wykonywaniu konstrukcji stalowych.

Trasowanie polega na wyznaczeniu ostrym sztydłem stalowym osi elementów, następnie względem tych osi nanosi się osie szeregów nitów i na tych osiach rysuje się prostopadłe osie samych nitów. Na przecięciu się osi wybija się specjalnymi stalowymi punktakami małe wgłębienia, które są środkami otworów do nitów. Przy trasowaniu należy uwzględnić warunek, aby konstrukcja mostowa miała przewidzianą w projekcie odwrotną strzałkę ugięcia, co zwykle nie jest uwidocznione na rysunkach konstrukcyjnych mostu.

Aby uniknąć wpływu zmian temperatury na długości poszczególnych elementów stalowych, używa się taśmy stalowej do wszelkich pomiarów. Należy mieć na względzie, że współczynniki liniowej wydłużalności tak stali, z której wykonujemy daną konstrukcję, jak również i stali, z której jest zrobiona taśma pomiarowa, powinny być jednakowe.

4. Otwory do nitów i składanie konstrukcji w wytwórni

a. Wiercenie otworów

Otwory do nitów powinny być wiercone.

Jeżeli w wytwórni konstrukcji mostowych przebijają się otwory, to średnice otworów w elementach przed złożeniem konstrukcji powinny być o 4 mm mniejsze niż oznaczone w projekcie.

Przebijanie otworów do nitów wykonuje się w poszczególnych elementach konstrukcji oddzielnie, niezależnie od tego czy dany element powtarza się kilkakrotnie, czy też nie, przy czym na każdym elemencie konstrukcji muszą być wytrasowane osie wszystkich nitów.

Jeżeli zaś w wytwórni wierci się otwory do nitów, to wówczas jednakowe blachy łączy się w paczki, w jednej takiej paczce może być $4 \div 8$ blach lub nawet więcej. Na wierzchu takiej paczki kładzie się wytrasowaną blachę. Następnie całą taką paczkę ściąga się mocno śrubami lub zaciskami i wierci otwory jednocześnie w całej paczce. Blachy przygotowane w ten sposób mogą być użyte jako elementy zamiennie.

W elementach, które nie mogą być składane w paczki, jak np. stal profilowa, wiercenie odbywa się oddzielnie w każdym elemencie według trasy, lub — jeżeli są wiertarki — po wywierceniu otworów w jednym kątowniku wierci się automatycznie otwory w innych kątownikach, mających taką samą trasę nitów. Wiercenie otworów na automatach lub w paczkach odbywa się szybciej i jest mniej kosztowne niż przy przebijaniu.

Przed nitowaniem przylegające części elementów powinny być oczyszczone z łuski i z rdzy.

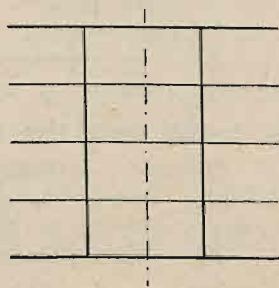
b. Składanie konstrukcji mostowej

Przy składaniu elementów nie należy używać środków naprężających części stali składanej.

Po wykonaniu otworów do nitów składa się oddzielnie każdy dźwigar konstrukcji mostowej na klatkach lub sztywnych rusztowaniach w położeniu oznaczonym w projekcie. Przy większych zaś rozpiętościach dźwigara składa się go, zamiast w halach warsztatowych, na otwartych placach w położeniu poziomym.

Konstrukcję łączy się bolcami z miękkiego żelaza lub śrubami, umieszczonymi w pewnej odległości jedna od drugiej, w ilości nie mniejszej niż $1/4$ otworów do nitów; przytwierdzenie to zapobiega przesuwaniu się poszczególnych elementów zespołów i gwarantuje, że będą one znajdować się w układzie pionowym po złożeniu całej przestrzennej konstrukcji mostowej na miejscu budowy.

Następnie w tak ześrubowanych zespołach rozwierca się otwory do nitów, jeżeli były przebijane, aż do uzyskania projektowanej średnicy. Nit wiercony również podlega rozwiercaniu w celu wyrównania niedokładności w elementach danego zespołu, gdyż należy wymagać, aby otwory do nitów — w miarę możliwości — były ściśle cylindryczne, a więc były wiercone w jednym kawałku stali o tej samej grubości, jaką ma dany zespół (rys. 21).



Rys. 21

Rozwiercanie odbywa się za pomocą wiertarek ręcznych, elektrycznych lub pneumatycznych, obsługiwanych przez dwóch robotników, albo też za pomocą wiertarek podwieszonych do przesuwnej dźwigowych, które przeważnie są stosowane w halach warsztatowych.

c. Nowe metody wiercenia nitów

Obecnie stosuje się wyłącznie wiercenie otworów za pomocą wiertarek szybkoobrotowych. Należy nadmienić, że wykonywanie otworów jest jednym z najbardziej pracochłonnych procesów wytwórczych i w związku z tym racjonalizacja wykonywania otworów ma decydujący wpływ na obniżenie kosztów konstrukcji mostowych. Pierwsze kroki na tej drodze zostały poczynione przez radziecką szkołę konstrukcyjną, zastosowując wielowrzecionowe wiertarki szybkoobrotowe. Racjonalne wykorzystanie wiertarek wymaga przede wszystkim wprowadzenia typizacji i standaryzacji kratowych przesł

stalowych w ten sposób, aby ograniczyć do minimum ilość układów geometrycznych węzłów w kratownicach.

d. Wykończenie konstrukcji mostowej

Wykończenie w wytwórni każdego zespołu konstrukcji mostowej polega na złożeniu go w możliwie największych częściach w miarę posiadanych środków transportowych, aby ograniczyć do minimum nitowanie przy końcowym składaniu w całość na miejscu budowy mostu.

Części konstrukcji mostowych należy uszczelnić w stykach kitem z minii na oleju, a całą ich powierzchnię powlec (zagruntować) olejną farbą miniową, po czym wszystkie części powinny być ponumerowane lub oznaczone w taki sposób, aby nie było wątpliwości i pomyłek przy składaniu konstrukcji na miejscu budowy mostu.

Rozdział VI

NITOWANIE

1. Zasady nitowania

Nitowanie w konstrukcjach mostowych stosujemy w następujących przypadkach:

- 1) gdy zamierzamy z różnych lub jednakowych oddzielnych elementów złożyć zespół konstrukcyjny, który stanowi pręt jednolity;
- 2) gdy z braku dostatecznie długich prętów lub dla ułatwienia pracy w warsztatach mostowych albo dla ułatwienia przewozu trzeba łączyć kilka prętów krótkich;
- 3) gdy łączyjemy w konstrukcji stalowej jedne pręty z drugimi.

Na nity używamy stali zlewnej o przekroju okrągłym i o różnych średnicach, zależnie od wymaganej średnicy nitów.

a. Kształt nitu i jego wymiary

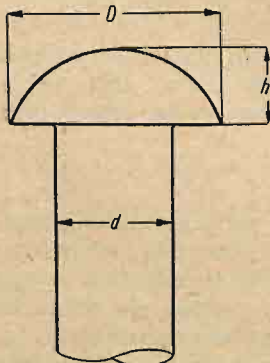
Mówiąc o średnicy nitu mamy na myśli średnicę otworu na nit, nie zaś średnicę samego trzpienia nitu, która zwykle jest około 5% mniejsza od średnicy otworu na nit.

Nity stawiamy na gorąco przy temperaturze około 900° C.

Średnice trzpieni nitów przy nagrzewaniu zwiększają się i dlatego należy w stanie zimnym wyznaczyć je trochę mniejsze, aby po nagrzaniu i usunięciu łuski swobodnie wchodziły w przeznaczone dla nich otwory.

Główka nitu ma kształt odcinka kuli, przy czym zarówno średnica tego odcinka jak i jego wysokość powinny odpowiadać warunkom określającym wytrzymałość.

Pierwszym warunkiem stawianym główce nitu jest to, aby przy nawet największym naprężeniu, powstałym od naciągu nitu, nie mogła ona się ścieść po obwodzie trzpienia; drugim niezbędnym do zachowania warunkiem jest to, aby przy tym samym naciągu nitu nie mogło nastąpić zmiażdżenie główki nitu lub tego elementu konstrukcji, do której ona bezpośrednio przylega.



Rys. 22

Jeżeli oznaczymy przez D średnicę podstawy główki nitu i przez d średnicę trzpienia nitu (rys. 22) oraz przez k_r , k_c , k_t naprężenia dopuszczalne stali nitu na rozerwanie, bezpośrednie ściskanie i ścinanie, to możemy wymienione warunki ująć w następujące wzory:

$$\frac{\pi (D^2 - d^2)}{4} k_c \geq \frac{\pi d^2}{4} k_r \quad \text{czyli} \quad D \geq \sqrt{\frac{k_c + k_r}{k_c}} \cdot d = 1,23d$$

$$\pi d h k_t \geq \frac{\pi d^2}{4} k_r \quad \text{i} \quad h \geq \frac{d}{4} \frac{k_r}{k_t} = 0,31 d.$$

W mostach zarówno kolejowych jak i drogowych przyjmujemy $D = 1,75d$ i $h = 0,75d$.

Kształty i wymiary główek powinny odpowiadać normom Polskiego Komitetu Normalizacyjnego PN/M-82904*) 82906**) 82907***).

Jednym z warunków, który musi spełnić dobre nitowanie, jest to, aby główki nitów znajdowały się na osi trzpienia. Może się zdarzyć, że jakkolwiek główka wytworzona na trzpieniu nitu w warsztatach w sposób maszynowy odpowiada temu wymaganiu, to jednakże druga główka, formowana przy nitowaniu konstrukcji, nie spełnia już tego warunku i nie kryje dobrze otworu (rys. 23). Tym się uzasadnia potrzebę, aby podstawa i wysokość główek nitów mostowych była większa niż w innych konstrukcjach stalowych.

Przy naciągu nitu główka taka ścina się i do otworu dostaje się wilgoć. Przy większej główce niewielkie jej zsunięcie z trzpienia nie jest szkodliwe.

Wykończone główki nitów nie powinny mieć rąbków ani pęknięć włoskowatych na obwodzie. Rąbki powstałe na obwodzie główek nitów należy ostrożnie usunąć za pomocą dłuta i młotka, bez uszkodzenia powierzchni łączonej części konstrukcji.

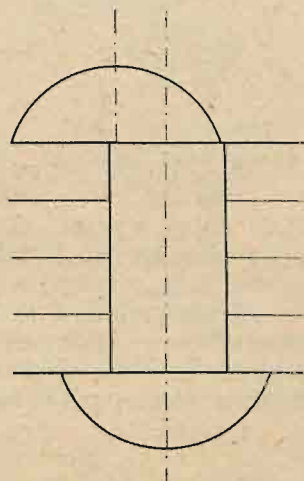
Średnica nitów w konstrukcjach mostowych waha się w granicach $12 \div 26$ mm.

Nity o średnicy większej od 26 mm stosuje się przeważnie w mostach większych rozpiętości.

b. Nitowanie na gorąco

Nitowanie nitami o średnicy do 12 mm można wykonywać na zimno, powyżej 12 mm nitowanie odbywa się na gorąco. Na rys. 24 pokazane jest osadzenie nitu przed formowaniem drugiej główki.

Ponieważ przy nitowaniu na gorąco nit nagrzewa się do jasnej czerwoności przy temperaturze około 900°C , a zakończenie nitowania zasadniczo powinno odbywać się przy temperaturze około 500°C i ciemnoczerwonym kolorze główki, przeto długość nitu, a zatem grubość części nitowanych musi być ograniczona i uzależniona od jego średnicy ****).



Rys. 23

*) „Nity z łbami kulistymi zwykłymi. Wymiary i ciężary”. Październik 1948.

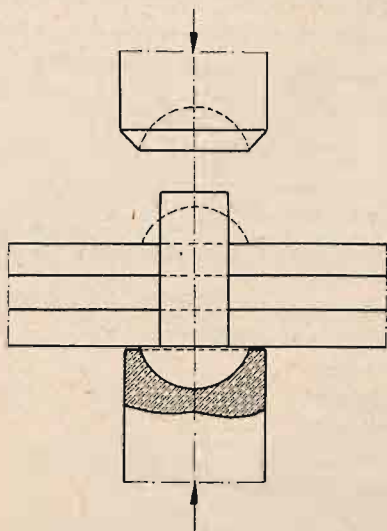
**) „Nity z łbami płaskimi. Wymiary i ciężary”. Październik 1948.

*** „Nity z łbami soczewkowymi. Wymiary i ciężary”. Październik 1948.

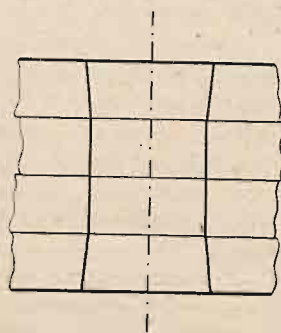
****) Przy dużej grubości nitowanych części i stosowaniu nieodpowiedniej średnicy nitów, nity w czasie nitowania przy stygnięciu rozrywają się lub główki ich odpadają.

Największa grubość nitowanych części nie powinna przekraczać $4,5 d$. Jest rzeczą wskazaną, aby utrzymywać ją w granicach $3,5 \div 4,0 d$.

Przy większej grubości łączonych zespołów należy stosować albo śruby toczne, albo nitowanie na chłodno, które przy użyciu należytego materiału ze stali miękkiej o wytrzymałości na zerwanie około $35 \div 37 \text{ kG/mm}^2$ z wydłużeniem około 30%



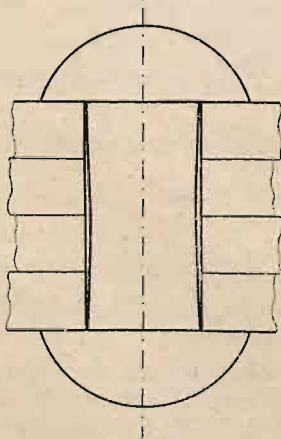
Rys. 24



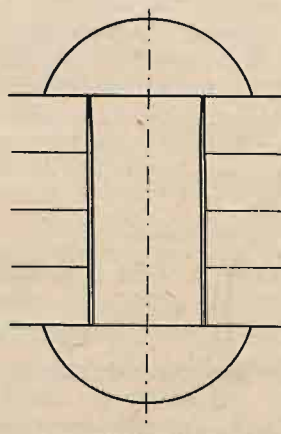
Rys. 25

daje dobre wyniki. W danym przypadku nitom nadaje się kształt stożków ściętych o bardzo łagodnym pochyleniu boków około 1%. Otwory do takich nitów mają przekrój w kształcie przedstawionym na rys. 25.

Środek otworu do nitu jest cylindryczny, zewnętrzne zaś części nitu są stożkowe o pochyleniu boków takim samym, jaki mają w tym przypadku trzpienie nitów. Dobrze osadzony trzpień takiego stożkowego nitu daje ściśle i mocne połączenie, tak że po przecięciu wzdłuż nitów znitowanego



Rys. 26



Rys. 27

zespołu trudno jest dojrzeć miejsca, w których stykają się powierzchnie poszczególnych elementów łączonych. Nitowanie takie jest kosztowne i stosuje się tylko w szczególnych przypadkach, jak np. w celu przynitowania wahacza łożysk do pasów w mostach łukowych lub jakichkolwiek innych odlewów stalowych do konstrukcji mostowej.

Przy nitowaniu na gorąco zwykle nagrzewa się cały nit. Jeśli jednak grubość nitowanej konstrukcji jest znaczna, np. $4,5 \div 5,0d$, to wówczas lepiej jest nagrzewać tylko koniec trzpienia nitu, z którego ma być wykonana główka. Skurczenie się bowiem nitu przy stosunkowo chłodnym trzpieniu jest znacznie mniejsze i przy osadzaniu trzpienia otwór jest lepiej wypełniony, zwężenie nitu jest mniejsze, a przez to i mniejsze jest także osłabienie nitu.

Nit osadzony przy nagrzaniu całego trzpienia ilustruje rys. 26, a przy nagrzaniu tylko górnego końca — rys. 27.

c. Wymiana wadliwych nitów

Po zupełnym ostygnięciu nitów należy uderzeniami młotka stalowego (o ciężarze $0,2 \div 0,5$ kG) po główkach nitów sprawdzić, czy nity są dobrze osadzone. Palec oparty na przeciwległej główce nie powinien odczuwać ani drgania, ani ruszania się nitów. Nity obłuznione należy usunąć w ten sposób, aby nie wywołać odkształcenia ścianek otworów do nitów i zastąpić je nowymi nitami, po czym sprawdzić nie tylko nowe nity, ale również i stare nity, znajdujące się w ich pobliżu, gdyż mogły one być naruszone przy wymianie.







Niedopuszczalne jest ścinanie główek nitu za pomocą dłuta i silnych uderzeń ciężkiego młota w dłuto, przystawione do podstawy główki nitu. Wskazane zaś jest usuwać główkę nitu po wyzłobieniu w niej dwóch rowków za pomocą zwykłego młotka i dłuta (rys. 28), po czym wybite pozostałego nitu z drugą główką odbywa się bez trudności.

Bardzo dobrym sposobem ścinania główek nitów jest ścinanie ich za pomocą palnika acetyleno-tlenowego. Należy tylko przy tym sposobie przestrzegać warunku, aby palnik, stapiając główkę, pozostawiał warstewkę grubości $2 \div 3$ mm, tak by płomień nie mógł uszkodzić powierzchni znitowanych elementów.

d. Wady główek nitów

Nity, których główki nie przylegają całą płaszczyzną do elementu łączącego (tabl. 31 e) lub mają włoskowate pęknięcia na powierzchni (tabl. 31f), albo których niedokładności wykonania przekraczają dopuszczalne granice (tabl. 31 a—d) powinny być wymienione, ponieważ są wadliwe.

Tablica 31

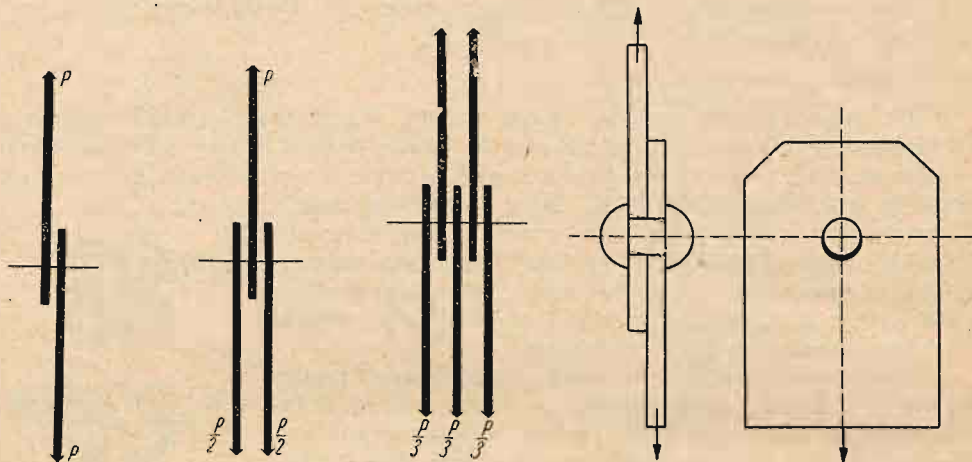
	a	b	c	d	e	f
Szkic nita						
Dopuszczalne odchylenie	$a \leq a - 1d$	$a \leq 1mm$	$a + b \leq 0,15d$ $c \leq 0,05d$	$a \leq 0,05d$		

Wymiary główek nitów należy mierzyć szablonami, a luz pod główkami — za pomocą cienkich blaszek.

e. Nity ścinane w przekrojach

W zależności od sposobu łączenia jednych elementów z drugimi otrzymuje się nity ścinane w jednym przekroju, czyli jednocięte (rys. 29), lub ścinane w dwóch i więcej przekrojach, czyli dwucięte lub wielocięte (rys. 30 i rys. 31).

Połączenia, w których płaszczyzny cięć nitów są położone symetrycznie względem osi sił działających na zespół, są lepsze od połączeń, w których ta siła działa niesymetrycznie.



Rys. 29

Rys. 30

Rys. 31

Rys. 32

Przy jednociętych nitach może wystąpić wykrzywienie nitów i elementów łączonych (rys. 32); nacisk nitów na otwór jest wtedy niejednakowy na całej grubości elementów.

2. Obliczanie nitów

a. Średnica nitu

Przy obliczaniu liczby nitów pracujących w stykach i w przymocowaniach pretów do węzłów przyjmujemy zwykle, że nacisk nitów na ich otwory jest równomierny, a naprężenie w nitach na ścinanie jest również równomiernie rozłożone na cały przekrój nitu.

Zatem można przyjąć, że obciążenie dopuszczalne na jedno cięcie nitu na zgniatanie w ścianie grubości δ wyraża się wzorami:

$$\frac{\pi d^2}{4} k_t \text{ oraz } d \delta k_c.$$

W wielu przypadkach dążymy do tego, aby dobierać nity o takiej średnicy, która przy danej grubości nitowanych elementów odpowiadałaby warunkowi, by wytrzymałość nitu na ścinanie równała się jego wytrzymałości na zgniatanie; wówczas dla nitów jednociętych otrzymamy równanie:

$$\frac{\pi d^2}{4} k_t = d \delta k_c.$$

Jeżeli założymy, że $k_t = 0,8 k_r$ i $k_c = 1,5 k_r$, to z powyższego wzoru otrzymamy przy nitach jednociętych: $d = 2,4 \delta$, przy nitach zaś dwuciętych: $d = 1,2 \delta$.

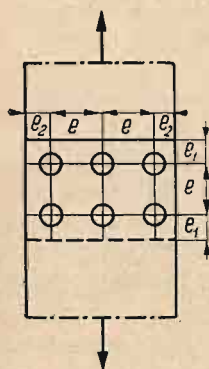
Gdybyśmy założyli, że $k_e = 2 k_r$, to na podstawie tego samego wzoru otrzymalibyśmy: $d = 3,2 \delta$ przy nitach jednociętych i $d = 1,6 \delta$ przy nitach dwuciętych.

Wzory te nie zawsze są obowiązujące i w poszczególnych przypadkach zwykle obliczamy przy nitowaniu tak naprężenia na ścinanie nitów, jak również i na zginanie ścianek części nitowanych.

Przy nitach jednociętych i przy zwykłych grubościach elementów stosowanych w konstrukcjach mostowych można nie sprawdzać nitów na docisk, gdyż naprężenie na docisk prawie zawsze uzyskuje się w granicach dopuszczalnych.

Przy nitach dwuciętych należy zawsze przeprowadzać obliczenie naprężeń na docisk.

b. Odległość między nitami



Rys. 33

Najmniejsza odległość między nitami e , odległość nitów e_1 do krawędzi przytwierdzanych lub łączonych elementów w kierunku działania siły, lub odległość e_2 w kierunku prostopadłym do działania siły (rys. 33) znajdujemy z równań:

$$2 \left(e_1 - \frac{d}{2} \right) \delta k_t^1 = \frac{\pi d^2}{4} k_t \text{ oraz } (e - d) \delta k_r = \frac{\pi d^2}{4} k_t.$$

Pierwsze z tych równań wyraża, że wytrzymałość nitu na ścinanie powinna odpowiadać wytrzymałości elementu nitowanego na ścinanie; drugie zaś równanie wykazuje, że wytrzymałość na rozzerwanie paska elementu, przypadającego na jeden nit, powinna odpowiadać wytrzymałości nitu na ścinanie.

Jeżeli w podane wzory wstawimy zamiast $k_t^1 = 0,75 k_r$, zamiast $k_t = 0,8 k_r$ i zamiast δ wymienione w p. 2a zna-

czenie $\delta = \frac{d}{2,4}$, to otrzymamy:

$$e_1 = 1,5 d \text{ oraz } e = 2,5 d.$$

Praktycznie przyjmujemy zwykle $e_1 = 2 d$ i e co najmniej równe $3 d$ dla pojedynczych nitów, a przeważnie $3,5 d$ w zespołach węzłowych.

Jak wynika z obliczenia, odległość e_2 może się równać $1,25 d$; jednakże — ze względu na konieczność utrzymania należytej szczelności nitowania wzdłuż krawędzi blachy — odległość e_2 powinna mieścić się w granicach $1,75 \div 3,5 d$, których nie należy przekraczać.

Określone już odległości pomiędzy nitami stosuje się w stykach, węzłach i w tych miejscach konstrukcji, gdzie przez zgęszczenie nitów można zaoszczędzić materiał.

W innych zaś przypadkach, gdy nity służą tylko do połączenia elementów w jeden zespół, a ich odległości nie wynikają z obliczeń wytrzymałościowych, wówczas w prętach rozciąganych stosujemy odległość pomiędzy nitami w granicach $6 \div 10 d$, w prętach zaś ściskanych $5 \div 8 d$. Ponadto im cieńsze są poszczególne elementy, tym mniejsza powinna być odległość pomiędzy nitami, tak aby szczelność połączeń nitowanych była należycie zabezpieczona.

Wszędzie, gdzie odległość pomiędzy nitami otrzymujemy z obliczeń wytrzymałościowych, jak np. w zginanych blachownicach, odległości te uzależniamy ściśle od wyników tego obliczenia.

3. Obliczanie połączeń nitowanych

Przy obliczeniu połączeń nitami posługujemy się następującymi metodami.

Pierwsza polega na obliczeniu liczby nitów niezbędnych do danych połączeń na podstawie sił istniejących w poszczególnych elementach, które łączą się z sobą. Druga zaś metoda polega na tym, że niezależnie od sił istniejących w danych elementach liczbę nitów oblicza się na podstawie pól przekrojów elementów łączonych.

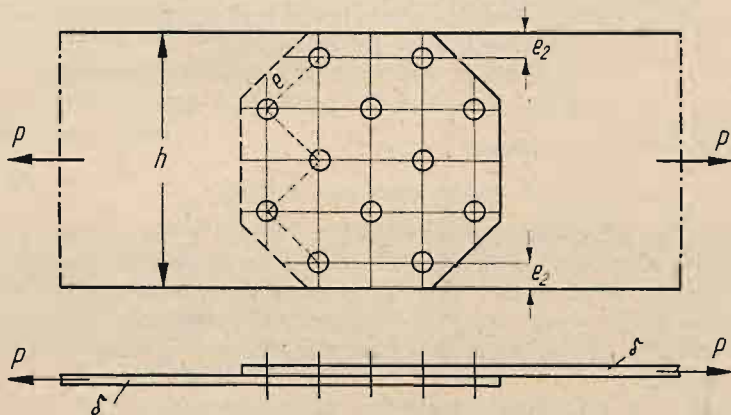
W mostach zasadniczo powinno się stosować drugą metodę obliczania i tylko w wyjątkowych przypadkach, np. w drugorzędnych częściach konstrukcji jak wiatrownice, można obliczać połączenie nitami w zależności od siły występującej w danej części zespołu.

Przekroje elementów, które nituje się, należy przyjmować netto, tj. po potrąceniu osłabień otworami do nitów, przy czym osłabienie powinno być przyjęte możliwie jak największe, w zależności od rozłożenia nitów.

a. Rozstawienie nitów

Rozstawienie nitów może być szeregowe (rys. 33) lub w szachownicę (rys. 34).

Pierwszy rodzaj rozstawienia nitów stosuje się wówczas, gdy po przeprowadzeniu przez środki nitów drózek nitów poziomych i pionowych nity są rozmieszczone na wszystkich przecięciach drózek. Drugi rodzaj występuje wówczas, gdy zarówno w szeregach poziomych jak i pionowych nity są rozłożone co drugie przecięcie; wtedy mamy rozłożenie w szeregach przestępnych lub w szachownicę.



Rys. 34

Rozłożenie w szeregach przestępnych powinno być takie, aby osłabienie przekroju po linii łamanej (rys. 34) było nie większe aniżeli po linii prostej. Tak np. $(h - 3d) \delta \leq (2e_2 + 4e - 5d) \delta$.

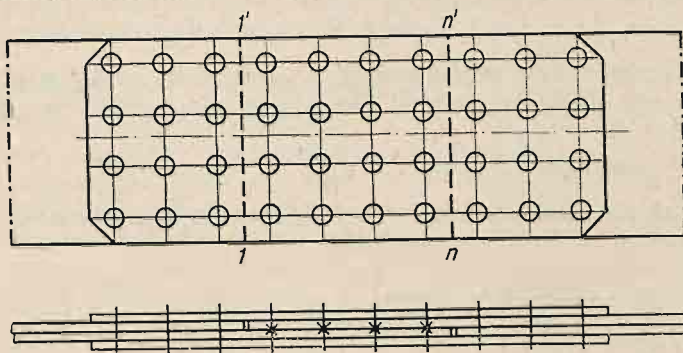
b. Obliczanie ilości nitów

Jako ogólny przykład obliczania ilości nitów przy łączeniu kilku elementów danego zespołu, ściskanego lub rozciąganego siłami osiowymi, rozpatrzmy styk kilku blach, które łączymy dwiema nakładkami.

Oznaczmy przez F_b , F_1 i F_2 przekroje dwiema zasadniczych i dwóch nakładek, przy czym $F_1 + F_2$ netto powinno być co najmniej równe, a nawet

nieco większe od F_b netto, następnie oznaczmy przez k_r naprężenie dopuszczalne na rozciąganie w blachach i przez d średnicę nitu.

Styk blach stosujemy tzw. stopniowy, tj. blachy z przerwami tworzą rodzaj stopni (rys. 35 i 36).

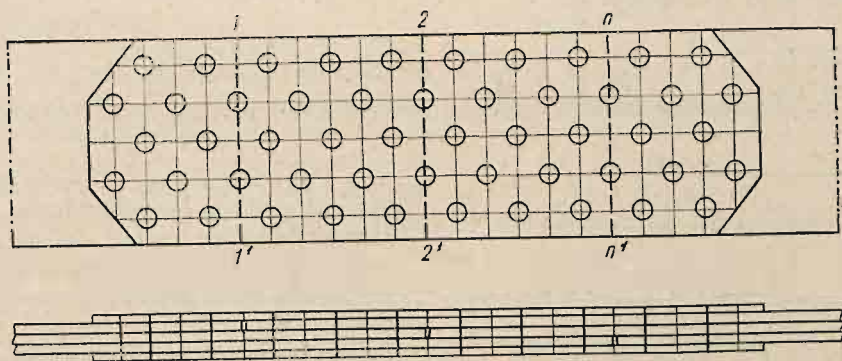


Rys. 35

Tego rodzaju styki przeważnie stosuje się w stalowych konstrukcjach mostowych.

Pracę nitów w stykach stopniowych przy nakładkach dwustronnych można przedstawić w sposób następujący (rys. 35).

Elementy jednakowo cechowane mają połączenie bezpośrednie z cięciem nitów na liniach z krzyżykami, górny zaś element lewy i dolny prawy połączone są nakładkami górną i dolną za pomocą nitów, które przechodzą przez wszystkie elementy środkowe.



Rys. 36

Nity rozłożone w końcach nakładek są dwucięte, pomiędzy przekrojami zaś 1 — 1' oraz n — n' są jednocięte.

Przy nakładce pojedynczej górnej (rys. 36) połączenie i praca nitów są podobne jak przedstawionych na rys. 35 z tą różnicą, że połączenie górnego lewego elementu z dolnym elementem prawym jest wykonane za pomocą górnej nakładki i nitów z lewej strony, które są ścinane w płaszczyźnie bezpośredniego dotyku nakładki z lewym górnym elementem; z prawej zaś strony element dolny łączy się z górną nakładką przez nity, które przechodzą przez elementy środkowe.

Jeżeli blach będzie n , to dopuszczalna siła w tych n blachach wyniesie $n F_b k_r$.

W przekrojach $1 - 1^1, 2 - 2^1 \dots n - n^1$ powstaną naprężenia:

$$\frac{n F_b k_r}{(n - 1) F_b + F_1 + F_2} = \alpha k_r.$$

Siły zaś dopuszczalne, przypadające na poszczególne blachy, wyniosą:

$$\alpha k_r F_b, \alpha k_r F_1 \text{ i } \alpha k_r F_2.$$

Jeśli wprowadzimy współczynnik μ , czyli ilość nitów przypadającą na 1 cm^2 przekroju elementu, to tym siłom będą odpowiadać następujące liczby cięć nitów:

$$m = \alpha \mu F_b, \quad m_1 = \alpha \mu F_1 \quad \text{ i } \quad m_2 = \alpha \mu F_2. \quad [5]$$

Ponieważ nit ścina element w jednym przekroju, zatem współczynnik μ przy $k_t = 0,8 k_r$ wyrazi się wzorem:

$$\mu = \frac{k_r}{\frac{\pi d^2}{4} 0,8 k_r} = \frac{1}{\frac{\pi d^2}{4} 0,8};$$

jeżeli $F_b = F_1 = F_2 = F$, to $m = m_1 = m_2 = \frac{n}{n + 1} \mu F$.

Przy $F_1 = F_2 = \frac{1}{2} F_b$ $\alpha = 1$, $m = \mu F_b$ i $m_1 = m_2 = \frac{1}{2} \mu F_b$.

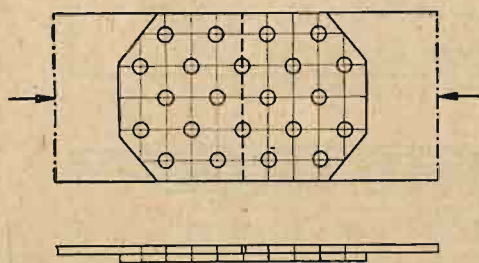
Jeżeli styki przekrywamy tylko jedną nakładką, to $F_1 = F_b$, $F_2 = 0$ i $m = m_1 = \mu F_b$, gdyż $\alpha = 1$.

Wzór zatem (5) jest wzorem ogólnym i może być stosowany do wszelkich obliczeń nitów.

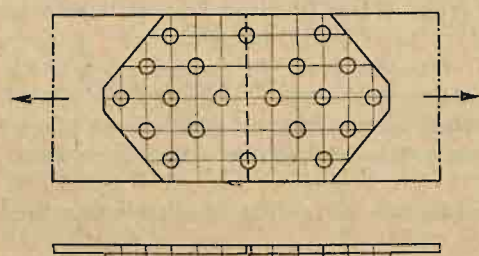
Współczynnik μ przy różnych średnicach nitów pojedynczo ścinanych podany jest w tablicy 32.

Tablica 32

num	10	12	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	28	30	32
μ	1,59	1,11	0,81	0,71	0,62	0,55	0,49	0,44	0,40	0,36	0,33	0,30	0,28	0,26	0,24	0,20	0,18	0,16



Rys. 37



Rys. 38

Ponieważ przy prawidłowym kryciu styków współczynnik α jest zawsze bliski jedności, co się osiąga przez odpowiednie przyjęcie grubości nakładek, to w celu uproszczenia obliczeń zwykle bierze się pod uwagę tylko te elementy, które przy łączeniu na styk tworzą styk stopniowy.

Przy rozstawianiu nitów w nakładkach elementów rozciąganych rozpoczynamy zwykle rozstaw nitów od jednego lub dwóch nitów w przekroju i stawiamy nity w szachownicę (rys. 38).

W elementach ściskanych rozpoczynamy zwykle rozstaw nitów w skrajnych szeregach pionowych od dwóch lub nawet od trzech nitów (rys. 37).

Rozpoczynanie nitowania nakładek od jednego nitu daje mniejsze

osłabienie elementów w tym przekroju i przy stopniowym zwiększaniu o jeden nit liczby nitów w następnych szeregach można przyjmować osłabienie elementu, który kryjemy nakładką, nie pełną ilością nitów, a tylko jednym nitem, umieszczonym w pierwszym szeregu pionowym.

Jeżeli mamy do czynienia z nitami jednociętymi, to zwykle przy obliczaniu liczby nitów decyduje ścinanie nitów.

4. Sprawdzanie nitów na zginięcie

Przy nitach dwuciętych, przechodzących przez elementy pojedyncze podlegające zginięciu przez nity, zazwyczaj decyduje zginięcie, czyli ciśnienie nitów na ściankę, i dlatego w tym przypadku zawsze należy sprawdzać nity na zginięcie.

Często przy przytwierdzaniu prętów, składających się z kilku elementów, do blach węzłowych pojedynczych, co zwykle zachodzi w węzłach kratownic, otrzymujemy różne liczby nitów w nakładkach po obu stronach styku; zwykle większa liczba nitów wypada na blasze węzłowej ze względu na jej zginięcie, mniejsza zaś na wolnej długości, gdzie występuje tylko ścinanie.

Rozpatrzmy pręt o przekroju pokazanym na rys. 39, który łączy się z blachą węzłową.

Nity w blasze są dwucięte i jeżeli przez n_1 , n_2 i n_3 oznaczmy liczbę nitów postawionych w blasze szerokiej, wąskiej i w kątownikach, a przez F_1 , F_2 i F_3 przekroje tych samych elementów, to przy grubości blachy szerokiej δ , równej grubości blachy węzłowej, otrzymamy następujące naprężenia na zginięcie:

$$\sigma_c = \left(\frac{F_1}{n_1} + \frac{F_2}{n_2} \right) \frac{k_r}{d \delta} \quad \text{ i } \quad \sigma_c = \left(\frac{F_1}{n_1} + \frac{F_2}{n_3} \right) \frac{k_r}{d \delta}.$$

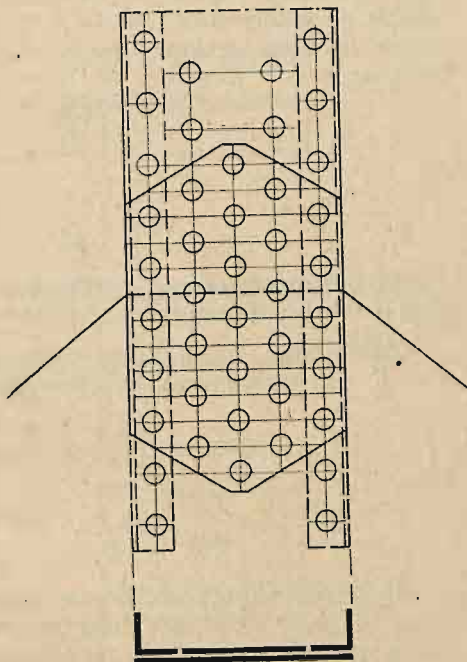
Jeżeli przekrój składałby się tylko z blachy szerokiej i kątowników, a w połączeniu zastosowanoby dwie nakładki F_2 i F_4 , to zachowując poprzednie oznaczenia otrzymalibyśmy następujące naprężenia na zginięcie ścianki przy oznaczeniu przez α wielkości:

$$\alpha = \frac{F_1 + F_3}{F_2 + F_3 + F_4}, \quad \sigma_c = \left(\frac{F_2}{n_2} + \frac{F_4}{n_4} \right) \alpha \frac{k_r}{d \delta}, \quad \sigma_c = \left(\frac{F_3}{n_3} + \frac{F_4}{n_4} \right) \alpha \frac{k_r}{d \delta}.$$

Przykład: Przekrój pręta składa się z przekroju blachy zasadniczej o wymiarach 400.10, blachy dodatkowej 240.10 i dwóch kątowników 75.75.10.

Nakładka dolna w górnej części ma nity jednocięte.

Przekroje netto: nakładki $F_1 = 40,0 \cdot 1,0 - 3 \cdot 1,0 \cdot 2,2 = 33 \text{ cm}^2$, blachy dodatkowej $F_2 = 24,0 \cdot 1,0 - 2 \cdot 1,0 \cdot 2,2 = 19,6 \text{ cm}^2$ i kątowników $F_3 = 14,1 - 1,0 \cdot 2,2 = 11,9 \text{ cm}^2$.



Rys. 39

Przy nitach o średnicy $d = 22$ mm liczba cięć, co zarazem odpowiada liczbie nitów, równa się:

$$n_1 = 0,33 \cdot 33,4 = 11 \text{ nitów};$$

$$n_2 = 0,33 \cdot 19,6 = 7 \text{ nitów};$$

$$n_3 = 0,33 \cdot 11,9 = 4 \text{ nity}.$$

W dolnej części pręta wszystkie nity są dwucięte — zarówno te, które są w kątownikach, jak i te, które są w nakładce. Gdybyśmy w dolnej części pręta umieścili w nakładce 11 nitów, w blasze górnej 7 nitów i w obu kątownikach po cztery nity, jak to wypada z obliczenia na ścinanie, to na dwóch nitach w blasze węzłowej grubości $\delta = 10$ otrzymalibyśmy następujące naprężenie:

$$\sigma_c = \left(\frac{33,4}{11} + \frac{19,6}{7} \right) \frac{k_r}{2,2} = 2,65 k_r$$

i

$$\sigma_c = \left(\frac{33,4}{11} + \frac{11,9}{4} \right) \frac{k_r}{2,2} = 2,73 k_r.$$

W obu przypadkach naprężenia na docisk w blasze węzłowej są za duże, gdyż przekraczają naprężenia dopuszczalne $2 k_r$.

Zakładając, że w dolnej części styku nitów (rys. 39) $n_1 = 16$, $n_2 = 10$, $n_3 = 5$, to otrzymane poprzednio naprężenia zmniejszą się do:

$$\sigma_c = \left(\frac{33,4}{16} + \frac{19,6}{10} \right) \frac{k_r}{2,2} = 1,84 k_r < 2 k_r$$

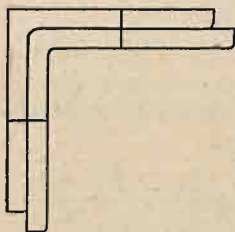
i

$$\sigma_c = \left(\frac{33,4}{16} + \frac{11,9}{5} \right) \frac{k_r}{2,2} = 2,03 k_r \approx 2 k_r,$$

co odpowiada naprężeniu dopuszczalnemu w blasze na docisk. Podane ilości nitów w przymocowaniu elementów pręta do blachy węzłowej są dostateczne zarówno ze względu na ścinanie nitów jak i na zginięcie blachy węzłowej.

5. Stykowanie i nitowanie kątowników

Przekrycie styku kątowników wykonuje się za pomocą albo tych samych kątowników, albo za pomocą kątowników o bokach nieco węższych, lecz za to grubszych, tak aby przekrój nakładki kątownika netto był nie mniejszy od przekroju netto zasadniczego kątownika; tak np. styk kątownika $100 \cdot 100 \cdot 10$ można kryć kątownikiem $85 \cdot 85 \cdot 13$ lub kątownikiem $90 \cdot 90 \cdot 12$.



Rys. 40

Kątownik nakładkowy powinien mieć ścięty i zaokrąglony kąt prosty, aby mógł dokładnie przylegać do kątowników stykowanych (rys. 40).

Kątowniki nakładkowe walcuje się w hutach lub wykonuje z normalnych kątowników w wytwórniach metalowych.

Styki dużych kątowników można kryć dwoma kątownikami o mniejszych przekrojach netto, lecz wówczas styki dwóch kątowników przylegających do jednej blachy i położonych w jednym poziomie, np. kątowniki pasowe belek o ścianie pełnej lub kątowniki pasowe kratownice powinny mieć styk schodkowy (rys. 41).

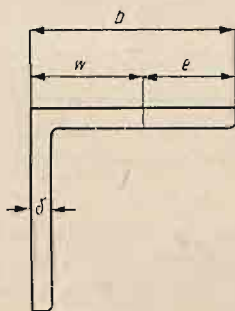
Przekrój dwóch kątowników nakładkowych powinien być wtedy nieco większy od przekroju kątownika, którego styk kryjemy. Na przykład kątownik $100 \cdot 100 \cdot 12$ kryjemy dwoma kątownikami $90 \cdot 90 \cdot 9$.



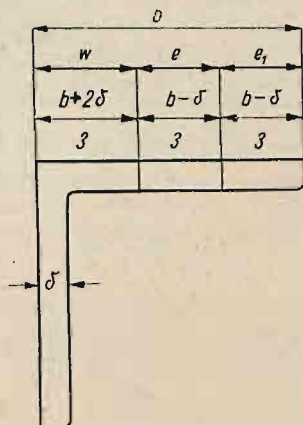
Rys. 41

Stosując wzory ogólne do obliczenia liczby nitów otrzymamy przekrycie, jak podane na rys. 41.

Niekiedy przekrywamy styk dużego kątownika kątownikiem mniejszym i dodatkowym płaskownikiem.



Rys. 42



Rys. 43

Linie nitów w kątownikach wyznacza się zwykle w odległości $w = \frac{b + \delta}{2}$ od krawędzi zewnętrznej (rys. 42), gdzie się schodzą oba boki, jeżeli w bokach kątowników umieszczamy tylko po jednym szeregu nitów, co zachodzi w bokach o szerokości mniejszej niż 120 mm.

W bokach kątowników o szerokości 120 mm i więcej należy umieszczać dwa szeregi nitów. Wówczas wewnętrzna szerokość boku dzieli się na trzy równe części (rys. 43).

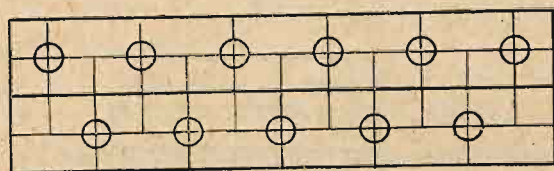
Zwykle odległości nitów od krawędzi kątownika oraz pomiędzy osiami nitów przy dwóch szeregach nitów w boku kątownika zaokrągla się do 0 lub do 5 mm i wyznacza według tablicy 33 następujące odstępy.

Bok kątownika	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	100
Odleg- łości w mm w i e	25—20	30—20	30—25	35—25	35—30	40—30	40—35	45—35	45—40	50—40	55—45
Bok kątownika	120	130	140	150	160	180	200				
Odleg- łości w mm w, e i e ₁	50-30-40 65-55	30-40-40	55-45-40	55-55-40 55-50-45	55-60-45	65-65-50	65-85-50				

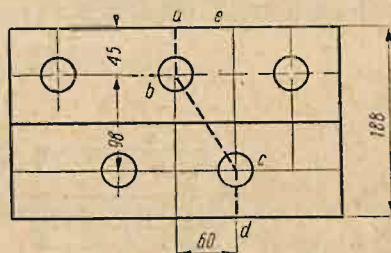
W bokach kątowników należy umieszczać nity w szeregach przestępnych, przesuniętych o pół kroku (rys. 44).

Boki kątownika przedstawione na rysunku są wyprostowane w jedną linię.

Przy danym skoku należy zawsze sprawdzać, ile otworów na nity należy odjąć od przekroju brutto, aby otrzymać przekrój netto; tak np. w ką-



Rys. 44



Rys. 45

towniku 100 · 100 · 12 przy skoku nitów 120 mm, po spłaszczeniu kątownika (rys. 45) i przy $d = 22$ mm otrzymamy długość przekroju netto po linii łamanej $abcd$:

$$l = 2 \cdot 45 + \sqrt{98^2 + 60^2} - 44 = 161 \text{ mm},$$

po linii zaś prostej ecd :

$$l_1 = 188 - 22 = 166 \text{ mm}.$$

Zatem osłabienie po linii łamanej jest o 5 mm większe, co przy średnicy nitu wynoszącej 22 mm odpowiada 0,23 d i dlatego przy takim rozstawieniu nitów w kątowniku należy przyjmować osłabienie kątownika równe 1,23 d .

6. Styki środków belek zginanych

W belkach zginanych o ściance pełnej (blachownicach) obliczenie nitów w pasach przeprowadza się podobnie jak w elementach ściskanych lub rozciąganych.

Styki środka przekrywamy nakładkami z dwóch stron, przy czym połączenie styku pod względem wytrzymałości powinno całkowicie odpowiadać wytrzymałości samej blachy pionowej środka, niezależnie od sił, które w nim działają.

Jeżeli przez F_s , F_n , F_{nit} i F_d oznaczymy odpowiednio przekrój środnika, przekrój nakładek, sumę przekrojów cięć nitów i sumę przekrojów nitów środnika z jednej strony styku, natomiast przez I_s , I_n , I_{nit} i I_d momenty bezwładności tych elementów, to otrzymany:

$$\begin{aligned} F_n &\geq F_s; & 0,8 F_{nit} &\geq F_s; & (1,5-2,0) F_d &\geq F_s; \\ I_n &\geq I_s; & 0,8 I_{nit} &\geq I_s; & (1,5-2,0) I_d &\geq I_s. \end{aligned}$$

Posługując się tymi warunkami otrzymujemy połączenie ścianki w styku tak, jak gdyby środnik był nieprzerwany.

Sposoby połączenia środnika oraz obliczania przekrycia jego styku (na podstawie sił występujących w danym przekroju środnika belki zginanej) są podane w części trzeciej, rozdział III.

7. Właściwości połączeń nitowanych

Badania laboratoryjne wykazały, że nity rozstawione w szeregach pracują niejednakowo w kierunku działania siły.

Przy obliczeniach połączeń nitowanych można przyjmować, że w kierunku działania siły tylko cztery nity w szeregu pracują prawie równomiernie. Dlatego więc zaleca się nie umieszczanie w kierunku działania siły więcej niż czterech nitów i tylko w wyjątkowych przypadkach można zastosować 5 nitów w szeregu *).

Elementy pojedyncze łączone w nakładkę (rys. 33 i 34) lub w dotyk z połączeniem nakładką pojedynczą (rys. 37 i 38) dają ugięcie elementów, przy czym nity stykowe są nie tylko ścinane, lecz również i zginane.

Jeżeli blacha jest złączona z innymi elementami sztywnymi, np. z kątownikami, to wówczas jej wygięciu przeszkadzają elementy sztywne z nią złączone.

Przekrycie styku nakładką pojedynczą nie powoduje wygięć, jakie występują w styku w nakładkę, przedstawionym na rys. 31.

Przy nakładce pojedynczej działa na nity dodatkowy moment $P \delta$, w którym przez P oznaczamy siłę działającą na elementy o grubości δ (rys. 37 i 38).



Rys. 46

Przy nakładkach podwójnych (rys. 46) moment działający na nity stykowe wynosi:

$$M = \frac{1}{4} P (\delta + \delta_1).$$

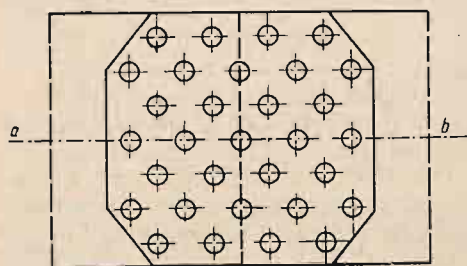
Ponieważ δ_1 jest zwykle tylko nieco większe od $\frac{\delta}{2}$, zatem przy podwójnych nakładkach moment ten jest przeszło dwa razy mniejszy niż przy nakładkach pojedynczych; ponadto zasadniczy element nie podlega wyginaniu, jak to zachodzi w przypadkach nakładek pojedynczych (rys. 37 i 48).

*) Najnowsze badania, oparte na metodzie nośności granicznej, wykazały, że w momencie rozzerwania nitowanej próbki siła rozkłada się prawie równomiernie na wszystkie nity. W związku z tym radzieckie przepisy nie stawiają żadnych ograniczeń co do ilości nitów w jednym szeregu. W naszych przepisach dotyczących projektowania mostów drogowych istnieje jeszcze ograniczenie ilości nitów w szeregu, ale ilość tę zaleca się ograniczyć do 6 nitów.

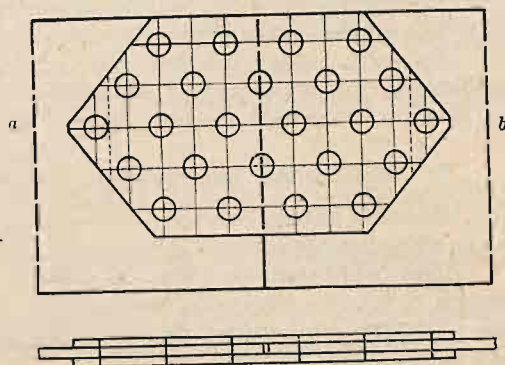
W miarę możliwości należy w blachach rozmieszczać nity symetrycznie względem ich osi podłużnej (rys. 39 i 47). Ten sposób rozstawienia nitów stosuje się w krzyżulcach i w słupach mostów kratowych.

Niesymetryczne rozstawienie nitów w stykach blach pionowych pasów kratowych (rys. 48) wywołuje dodatkowe naprężenia w blasze wskutek mimośrodowego działania siły w przekroju blachy netto.

Tak np. rozmieszczenie nitów w sposób podany na rys. 48 powoduje na linii ab naprężenie $n = 0,0664 P$, w sposób zaś przedstawiony na rys. 46 — naprężenie $n_1 = 0,0625 P$.



Rys. 47



Rys. 48

Z porównania n i n_1 wynika, że przy większym osłabieniu przekroju, lecz symetrycznym, naprężenie jest mniejsze niż przy osłabieniu mniejszym, lecz niesymetrycznym względem osi przekroju. W blachach czy to łączonych przez nałożenie jednej na drugą (rys. 33 i 34), co zresztą rzadko się spotyka, czy też łączonych dwiema nakładkami w stykach blach pionowych pasów dolnych kratownic (rys. 48), należy zawsze rozpoczynać nitowanie od jednego lub od dwóch nitów w szeregu i następnie zwiększać stopniowo ilość nitów w dalszych szeregach połączenia.

W ten sposób uzyskuje się mniejsze osłabienie przekroju niż przy rozstawieniu szeregowym nitów i jednakowej ich liczbie we wszystkich szeregach.

Ponieważ przekrój nakładek jest zazwyczaj większy od przekroju blachy łączonej, zatem większe osłabienie ich otworami do nitów może dać w rezultacie ich przekrój netto większy od przekroju blachy łączonej.

Tak np. dla blachy 450.12 przy osłabieniu jej przekroju dwoma otworami ilość cięć nitów o średnicy $d = 22$ mm powinna wynosić: $n = (45 - 2 \cdot 2,2) \cdot 1,2 \cdot 0,33 = 16,1$, czyli 9 nitów.

Naprężenia w blasze w poszczególnych szeregach przestępnych styku (rys. 49) wynoszą:

$$\sigma_I = \frac{P}{(45,0 - 4,4) 1,2} = 0,0205 \text{ } P/\text{cm}^2;$$

$$\sigma_{II} = \frac{P - \frac{2}{9} P}{(45,0 - 6,6) 1,8} = 0,0169 \text{ } P/\text{cm}^2;$$

$$\sigma_{III} = \frac{P - \frac{5}{9} P}{(45,0 - 8,8) 1,2} = 0,0103 \text{ } P/\text{cm}^2.$$

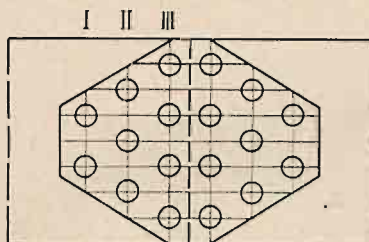
Przy szeregowym rozstawieniu nitów (rys. 50) otrzymamy następujące naprężenia w blasze w poszczególnych szeregach:

$$\sigma_I = \frac{P}{(45,0 - 6,6) 1,2} = 0,0217 \quad P/\text{cm}^2;$$

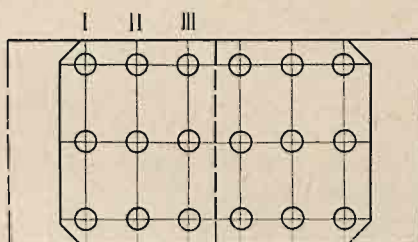
$$\sigma_{II} = \frac{P - \frac{3}{9} P}{(45,0 - 6,6) 1,2} = 0,0145 \quad P/\text{cm}^2;$$

$$\sigma_{III} = \frac{P - \frac{6}{9} P}{(45,0 - 6,6) 1,2} = 0,0072 \quad P/\text{cm}^2.$$

Jak wynika z podanych przykładów, przy rozstawieniu nitów w szachownicę (rys. 49) otrzymujemy w blasze mniejsze naprężenie maksymalne i różnice w poszczególnych przekrojach są mniejsze niż przy układzie szeregowym nitów (rys. 50).



Rys. 49



Rys. 50

Przy rozmieszczeniu nitów w szeregach przestępnych, jak to już wspomniano, przekrój wzdłuż linii zygzakowatej powinien być trochę silniejszy (większy) niż wzdłuż linii prostej, szczególnie w elementach rozciąganych. Jest rzeczą pożądaną, aby nadmiar przekroju wynosił około $10 \div 15\%$.

8. Oznaczanie średnic nitów na rysunkach konstrukcji stalowej

Na rysunkach konstrukcji stalowej należy zawsze oznaczać średnice nitów.

Oznaczanie średnic nitów w różnych wytwórniach jest różne.

Ogólnie można przyjąć oznaczenia podane w tablicy 34, przy czym średnica kółka na rysunkach odpowiada w skali średnicy główki nitu, a nie jego trzpienia.

Tablica 34

Średnica nitów w mm	14	17	20	23	26	29	32
Oznaczenie nitów							

