

Mnożąc otrzymane wskaźniki przez bezpieczne naprężenie R , otrzymamy wartości tych momentów zginających, które wymienione rodzaje przekrojów poprzecznych belki są zdolne wytrzymać. Wartości te odkładamy na wykresie momentów (rys. 126).

Punkty a, b, a', b' przecięcia się wykresu momentów z prostymi, ograniczającymi wielkość WR , wskazują, gdzie na długości belki należy zmienić jej przekrój, aby otrzymać belkę, możliwie blisko odpowiadającą warunkom równomiernej wytrzymałości. Punkty te są właściwie jednak tylko teoretycznymi punktami zmiany przekroju. W rzeczywistości zmiana następować musi tu z takim wyliczeniem, aby w punktach a, b, a', b' dołączone blachy poziome mogły zachowywać się już, jak części jednolitego dwuteowego przekroju belki. W celu więc uzyskania należytego połączenia blach doprowadza się je do punktów a_0, b_0, a'_0, b'_0 , wysuniętych za wyżej wspomniane punkty teoretyczne.

W sposób, podobny do wyżej opisanego, znajdujemy również i punkty zmiany przekrojów poprzecznych belek żelaznobetonowych.

3. Najwłaściwsze przekroje poprzeczne belek.

Już z poprzedniego paragrafu wynika, że kształt belki o równomiernej wytrzymałości zależy między innymi i od kształtu przekroju poprzecznego belki. Dla uzyskania więc największej możliwej oszczędności w zużyciu materiału na daną konstrukcję należy się starać, aby, oprócz najwłaściwszego kształtu w widoku, miała belka również i przekrój poprzeczny najwłaściwszy.

Porównujemy tu ze sobą wytrzymałość belki przy różnych kształtach przekroju, posiadającego stałą wysokość h i stałe pole A . Za miarę wytrzymałości będziemy przyjmowali stosunek $\frac{W}{A}$ t. j. wielkość wskaźnika wytrzymałości, przypadającą na jednostkę pola przekroju, a więc naogół i na jednostkę objętości materiału konstrukcji.

1) Dla koła o średnicy h (wysokość przekroju)

$$W = \frac{\pi}{4} \left(\frac{h}{2} \right)^3 = \sim 0,094 h^3, \quad A = \pi \cdot \left(\frac{h}{2} \right)^2 \quad (192)$$

$$\frac{W}{A} = 0,125 h \quad (193)$$

2) Dla prostokąta o tem samem polu przekroju, co poprzednio, szerokość przekroju wynosić powinna $a = \frac{A}{h} = \frac{\pi \left(\frac{h}{2} \right)^2}{h}$.

Wskaźnik wytrzymałości równa tu się:

$$W = \frac{a h^2}{6} = \frac{\pi \left(\frac{h}{2}\right)^2}{h} \cdot \frac{h^2}{6} = 0,131 h^3, \text{ a } \frac{W}{A} = 0,167 h \quad (194)$$

Ponieważ we wzorze (194) szerokość przekroju a nie występuje, więc przekrój jest jednakowo oszczędny przy wszelkiej jego szerokości.

3) W dalszym ciągu pole A rozmieszczamy według rys. 124, t. j. rozdzielając je na dwie części rozsunięte o długość h , przyczem połączenie ab nie zostaje wprowadzone ani do wskaźnika wytrzymałości, ani do pola. Stosownie do wzoru (187) w paragrafie poprzednim, w danym wypadku:

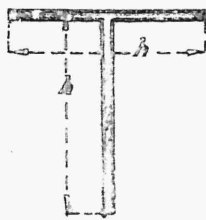
$$W = \frac{A \cdot h}{2} = \frac{\pi \left(\frac{h}{2}\right)^2 \cdot h}{2} = 0,375 h^3, \quad \frac{W}{A} = 0,5 h \quad (195)$$

Wypadek ten najściślej się urzeczywistnia w belkach dwuteowych (rys. 127) lub takich, gdzie połączenie pasów ze sobą ma miejsce zapomocą poprzeczek lub kraty.

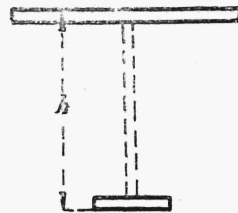
4) Następnie rozmieszczamy pole A w sposób przedstawiony na rys. 128 według przekroju zwanego teowym.



Rys. 127.



Rys. 128.



Rys. 129.

Wskaźnik wytrzymałości takiego przekroju (mniejszy), przy grubości ścianek teownika równych $0,165 h$ (tak dobranych, aby pole jego było równe polu omówionego wyżej przekroju kolistego), równa się $W = 0,039 h^3$, a stosunek:

$$\frac{W}{A} = 0,130 \quad (196)$$

5) Rozmieszczamy wreszcie pole A (rys. 129) w ten sposób, że $\frac{3}{4} A$ przypada na jeden pas przekroju, a $\frac{1}{4} A$ na drugi (żelazo okrętowe).

W tym wypadku środek ciężkości znajduje się w odległości $\frac{h}{4}$ od górnego pasa, a wskaźnik wytrzymałości (mniejszy) równa się

$$W = \frac{1}{4} A \cdot h = 0,196 h^3 \quad (197)$$

$$\frac{W}{A} = \frac{\frac{1}{4} A \cdot h}{A} = 0,250 h \quad (198)$$

Następująca tablica zawiera porównanie ze sobą przekrojów o różnych kształtach przy tej samej wielkości h i przy tym samym polu przekroju A .

Punkty opisu	Rys.	Nazwy przekrojów	W	$\frac{W}{A}$	Stosunek
1		kolisty	$0,094 h^3$	$0,125 h$	1,00
2		prostokątny	$0,131 h^3$	$0,167 h$	1,34
3	124	dwuteowy	$0,375 h^3$	$0,500 h$	4,00
4	128	teowy	$0,039 h^3$ (mniejszy)	$0,130 h$	1,04
5	129	żelazo okrętowe	$0,196 h^3$ (mniejszy)	$0,250 h$	2,00

W uzupełnieniu poziomych rubryk 3, 4 i 5 powyższej tablicy zaznaczyć należy, że profile fabryczne kształtowników mają stosunki $\frac{W}{A}$ przeważnie inne, niż podane tu przekroje uproszczone. Stosunek taki waha się np. dla żelaza dwuteowego około $0,300 h$. Różnica tłumaczy się przede wszystkim tem, że ścianki ab (rys. 124) muszą być w profilach fabrycznych pełne i że przekrój ma w rzeczywistości cały szereg zaokrągleń (rys. 127) i zgrubień.

Analiza przekroju o kształcie zamkniętym w rodzaju przedstawionego na rys. 114 może być sprowadzona do analizy przekroju dwuteowego, zawartej w rubryce 3, nie wymaga więc już specjalnego omówienia.

Cyfry przedostatniej pionowej rubryki przedstawionej w tym paragrafie tablicy, wyrażające pośrednio wielkości wskaźnika wytrzymałości danej kon-

strukcji, przypadające na jednostkę objętości zawartego w niej materiału, wskazują, że stosunek $\frac{W}{A}$ zależy od wysokości przekroju, to znaczy, że przy danym kształcie przekrój jest tem bardziej oszczędny, im jest wyższy.

Wynika stąd również, że tak przekrój prostokątny, jak i dwuteowy będzie tem wytrzymałszy, im będzie wyższy, czyli, że dla zwiększenia wytrzymałości przekroju należy materiał przesuwac od osi obojętnej ku krawędziom. Z tego samego powodu przekrój pierścieniowy belki jest oszczędniejszy od kolistego.

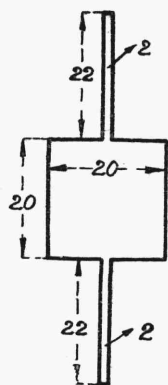
Rozsuwanie przekroju w górę jest ograniczone zarówno względami konstrukcyjnemi, jak i względami na naprężenia styczne i główne.

Jednak i niezależnie od wymienionych względów rozsuwanie w górę poprzecznych przekrojów belek staje się niekiedy bezcelowem dlatego, że sam wskaźnik wytrzymałości nie dla wszystkich przekrojów wzrasta w miarę wzrastania h . Pochodzi to stąd, że we wzorze

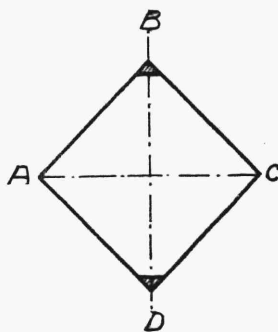
$$W = \frac{J}{\left(\frac{h}{2}\right)}$$

dla niektórych przekrojów J wzrasta mniej szybko niż $\frac{h}{2}$. Bierzemy, jako przykład, kwadrat o wymiarach przedstawionych na rys. 130 z doczepionemi do niego wąskimi prostokątami. Łatwo sprawdzić, iż odrzucenie wąskich prostokątów zwiększy tu wskaźnik wytrzymałości.

Podobne zjawisko ma miejsce i przy zginaniu belki o przekroju kwadratowym w płaszczyźnie jednej z przekątni (np. BD). Tutaj przez ścięcie kątów B i D (rys. 131) można uzyskać zwiększenie wskaźnika W .



Rys. 130.



Rys. 131.

O ile chodzi o wyznaczenie najdogodniejszego stosunku wysokości przekroju prostokątnego h do jego szerokości a i o ile prostokąt ma być wycięty z koła o promieniu r , wówczas do wyznaczenia najwłaściwszego stosunku $\alpha = \frac{a}{h}$ rozporządzamy równaniami:

$$(\alpha h)^2 + h^2 = 4r^2 \quad (199)$$

$$\frac{dW}{d\alpha} = 0 \quad (200)$$

Z równań tych otrzymujemy, że stosunek α , przy którym dla danego r możemy otrzymać max W , równa się 0,7.

Niekiedy używamy dla porównania przekrojów poprzecznych belek zginanych miernika $\frac{W}{A^{\frac{3}{2}}}$ posiadającego wymiar 0. Miernik ten jest szczególnie dogodny przy stosowaniu przekrojów o kształtach geometrycznie podobnych np. dla różnych typów szyn.

4. Naprężenia styczne przy zginaniu.

Siły poprzeczne, działające na belkę, wywołują przesuwanie się poszczególnych części belki względem siebie, przyczem powstają naprężenia styczne w płaszczyznach przesuwania.

Wyobraźmy sobie belkę o przekroju prostokątnym AB (rys. 132a) obciążoną siłą $2P$ w środku. Odpowiedni wykres sił poprzecznych przedstawiony jest na rys. 132b.

Gdyby belka nie doznawała żadnych naprężeń normalnych, wówczas obraz jej odkształcenia, będący rezultatem samego tylko przesuwania, mógłby być przedstawiony w sposób analogiczny do omówionego w rozdz. VI, 2 (rys. 105). Odkształcenie miałoby tu przebieg następujący:

Jednakowe siły poprzeczne we wszystkich przekrojach, położonych w lewej połowie belki, wywołują pionowe przesunięcie się względem siebie nieskończenie wąskich pionowych pasków dx , wyciętych z tej belki o równe sobie wielkości dy (rys. 132e, lewa połowa). W rezultacie dochodzimy do odkształcenia belki, przedstawionego na rys. 132e (prawa połowa). Naprężenia styczne działają tu w płaszczyznach prostopadłych do osi belki. Naprężenia te nazywamy ścinającymi.

Powyższy obraz odkształcenia komplikuje się znacznie, gdy uwzględnimy wpływ naprężeń normalnych na wyginanie się belki. Przedewszyst-