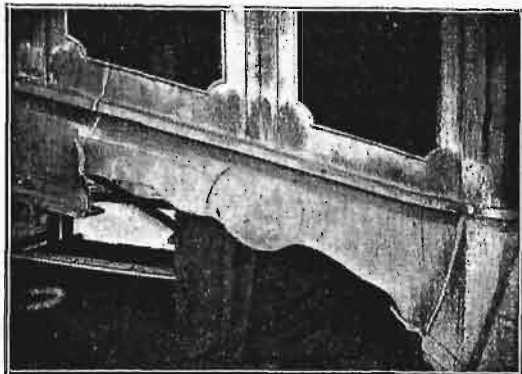


wyłamanie dużego kawałka odlewu (około $3 \times 0,4 \text{ m}$ powierzchni, rys. 2).

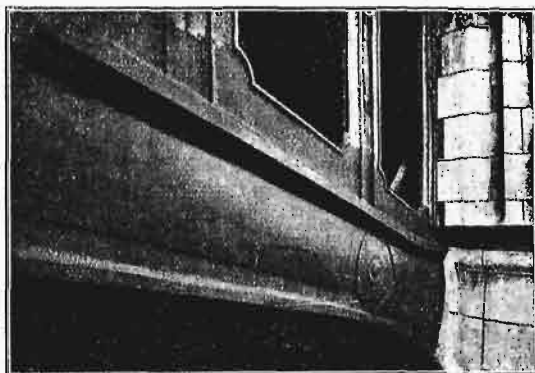
Rozważając możliwości naprawy, projektowano początkowo wykonać ją drogą otoczenia uszkodzonej części łuku betonem. Jednakże rzeczoznawcy słusznie orzekli,



Rys. 2. Widok uszkodzonego łuku żeliwnego. Pęknięty pas dolny i wyłamany spory jego kawałek.

że otaczanie betonem ustroju żelaznego lub żeliwnego może wzmocnić go tylko wówczas, gdy cały ustrój otrzyma taką powłokę; nadto oczywiście miejscowe obetonowanie łuku zepsułoby zupełnie wygląd tego ładnego mostu.

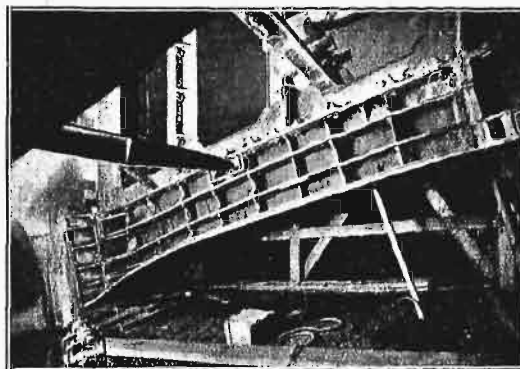
Rzeczoznawca, inż. L. de Boulongne, wystąpił tedy z projektem wykonania spawania pękniętego łuku, oraz połączenia, również drogą spawania, wykonanej na nowo żeliwnej części łuku, wzamian wyłamanej. Spawanie acetylenowe nie mogło być przeprowadzone, gdyż nagrzewanie uszkodzonych miejsc łuku mogłoby być niebezpieczne dla sąsiednich łuków mostu; pozostawało więc tylko spawanie łukowe elektryczne. Projekto-



Rys. 3. Uszkodzony pas łuku po naprawie.

dawca wskazuje, że na podstawie wieloletniego doświadczenia można liczyć na wytrzymałość na rozciąganie naprawionego miejsca żeliwnego łuku około 500 kg/cm^2 . Naprawę udało się wykonać bardzo pomysłnie, tak iż uszkodzone miejsce jest niemal niewidoczne (rys. 3). Taka tylko naprawa nie byłaby wszakże wystarczająca. Przedewszystkiem bowiem spawanie, jakkolwiek byłoby dobrze wykonane, nie zapewniłoby tak wielkiej wytrzymałości łuku naprawionego, jak nowego; po drugie, należało postarać się o to, by łuk spawany był bardziej sztywny od sąsiednich, nieuszkodzonych, zwłaszcza że most ten stale ulega niebezpieczeństwu uderzeń ciężkich barek wskutek konieczności omijania przez nie przystani ze statkami i t. p. rozlokowanych szeroko obok przyczółka. Wobec tego postanowiono usztywnić to przeszło trzema pasami stalowymi

szerokości $0,25 \text{ m}$, zaś grubości 20 i 30 mm , połączonymi z łukiem również drogą spawania, od wewnętrznej jego strony; pomiędzy temi pasami rozmieszczono pasy poprzeczne — prostopadłe do pierwszych (rys. 4). W ten sposób powiększono wytrzymałość łuku o 200% .



Rys. 4. Wewnętrzna strona łuku z usztywnieniami.

Przypadkowo zdarzyła się wkrótce sposobność przekonania się o skuteczności naprawy i usztywnienia; ponowne uderzenie barki w to samo miejsce wywołało już nie uszkodzenie mostu lecz rozbicie statku.

Koszta naprawy były stosunkowo niskie, gdyż wyniosły $50\,000$ franków franc.

WALCOWNICTWO.

Nowe ujęcie teoretyczne przebiegu walcowania¹⁾.

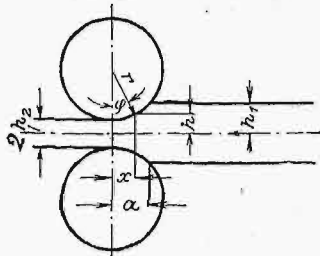
Teoretycy i eksperymetatorzy, pracujący usilnie w ostatnich czasach nad ugruntowaniem podstaw mechaniki ciał plastycznych, mają na widoku przedewszystkiem cele naukowe i na razie mniej troszczą się o zastosowania praktyczne. Ale, jak to powtarza się stale w rozwoju nauki, przychodzi chwila, gdy teoria sprawdzająca początkowo w sposób pewny i przejrzysty zagadnienia prostsze, zaczyna stawać się użyteczną przy rozpatrywaniu zjawisk złożonych, z jakimi ma np. do czynienia inżynier w życiu praktycznym. Jak to wykazała ostatnia konferencja drezdeńska²⁾, poświęcona specjalnie zagadnieniom z teorii plastyczności, ten dział mechaniki zaczyna wchodzić w omawianą fazę rozwoju. Mianowicie obok referatów dotyczących podstaw teorii, zgłoszone zostały tam prace, posiadające bezpośrednie znaczenie w dziedzinie mechanicznej technologii metali. Na uwagę pod tym względem zasługuje praca Th. v. Kármán'a, prof. politechniki akwizgrańskiej, znanego zaszczytnie z badań we wszystkich prawie dziedzinach mechaniki technicznej. Traktuje on w niej przebieg walcowania, wprowadzając pojęcia zapożyczone z teorii plastyczności. Pracę powyższą można uważać za próbę racjonalnego ujęcia ważnego zagadnienia, otwierającą szersze perspektywy dla wszechstronnego rozwiązania w przyszłości.

Kármán traktuje przebieg walcowania jako zjawisko spęczniania (Stauchvorgang). Ogranicza się on do zagadnienia dwuwymiarowego, nie biorąc pod uwagę rozciągania bocznego. Tak więc obliczenie stosuje się w sposób przybliżony dla materiału bardzo szerokiego

¹⁾ Th. v. Kármán. Beitrag zur Theorie des Walzvorgangs. Z. f. angew. Math. u. Mech., 1925 r. str. 139 — 141.

²⁾ Konferencja powyższa, zwołana w marcu r. b. przez niemieckie Tow. Matem. i Mech. Stosowanej, zgromadziła bardzo wielu specjalistów w tej dziedzinie. Można ją uważać za dalszy ciąg wymiany poglądów i wzajemnego zbliżenia specjalistów, zapoczątkowanego na zjeździe Mechaniki Technicznej w Delfcie

lub walców z bocznym ograniczeniem, przy pominięciu tarcia o ściany boczne. Nowością w obliczeniu jest przyjęcie, poza oporem właściwym spęczniania q , naprężenia ściskającego lub rozciągającego p w kierunku walcowania.



Rys. 5.

Niech r oznacza promień walców; h_1 i h_2 — połowy grubości materiału przed i po walcowaniu; x — spórzędną wzdłuż kierunku walcowania; φ — spórzędną kątową; μ — spólczynek tarcia; ω — prędkość kątową walców. W pierwszym przybliżeniu można zastąpić rzeczywiste naprężenia w przekrojach poprzecznych wartościami śred-

niemi i, pozatem, uważać x za małe wobec r . Równanie równowagi dla odcinka ograniczonego spórzędnymi x i $x + dx$ wyrazi się w postaci

$$\frac{d}{dx}(ph) = q(\sin \varphi - \mu \cos \varphi).$$

Przyjmując, że $\cos \varphi \approx 1$, zaś $\sin \varphi \approx \frac{x}{r}$ mamy:

$$h = h_2 + r(1 - \cos \varphi) \approx h_2 + \frac{x^2}{2r}; \quad \frac{dh}{dx} \approx \frac{x}{r}$$

skąd znowu

$$h \frac{dp}{dx} + p \frac{x}{r} = q \left(\frac{x}{r} - \mu \right). \quad (1)$$

Ponieważ żelazo lub stal walcujemy na gorąco, przeto możemy materiał walcowany uważać za ciało idealnie plastyczne (Prandtl). Warunek plastyczności przedstawi się w sposób następujący: różnica obu naprężeń głównych $= k$ = granicy plastyczności danego materiału. W pierwszym przybliżeniu można utożsamić naprężenia główne z naprężeniami p i q . Mamy wówczas

$$q - p = k, \quad (2)$$

przyczem k zależy od temperatury i prędkości odkształcania plastycznego. Uwzględnienie tych czynników oraz ściślejsze sformułowanie warunku (2) uważa Kármán za najbliższy etap udoskonalenia podanej teorii. Na razie przyjmujemy, że $k = \text{const.}$

Z równań (1) i (2) otrzymujemy równanie różniczkowe, dające możność znalezienia p lub q :

$$\text{lub} \quad h \frac{dp}{dx} + \mu p = k \left(\frac{x}{r} - \mu \right),$$

$$\frac{dp}{dx} + \frac{\mu}{h_2 + x^2/2r} p = \frac{k}{h_2 + x^2/2r} \left(\frac{x}{r} - \mu \right). \quad (3)$$

Równanie powyższe przekształcamy, wprowadzając nowe (bezwymiarowe) zmienne $\xi = x/a$ i $\pi = p/k$, jak również charakterystyczne spólczynek walcowania

$$\delta = \frac{a^2}{2r h_2} = \frac{\Delta h}{h_2} = \frac{h_1 - h_2}{h_2} = \text{zmniejsz. wysokości}$$

$$\varepsilon = \frac{a}{\mu r} \approx \frac{\varphi_{\max}}{\mu} \approx \frac{\varphi_{\max}}{\arctg \mu} = \frac{\text{rzeczyw. kąt chwytu}}{\text{teoret. kąt chwytu}}$$

Mamy wówczas:

$$\frac{d\pi}{d\xi} + \frac{\mu a/h_2}{1 + \delta \xi^2} \pi = \frac{1}{1 + \delta \xi^2} \left(2\delta \xi - \frac{\mu a}{h_2} \right).$$

Sprowadza się ono ostatecznie do postaci

$$\frac{d\pi}{d\xi} + X\pi + X_1 = 0,$$

gdzie X i X_1 są funkcjami jedynie ξ . Ogólna całka tego

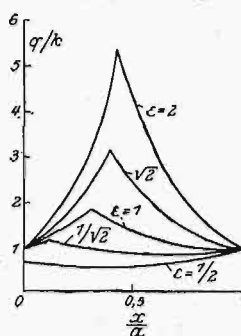
równania linowego jest następująca³⁾:

$$\pi = e^{-\int X d\xi} \left[C - \int X_1 e^{\int X d\xi} d\xi \right].$$

Ze względu na charakter funkcji X i X_1 daje się ona łatwo obliczyć zapomocą metod elementarnych. Na uwagę zasługuje przytem fakt, że całka ogólna zawiera jedną stałą całkowania C , pomimo że mamy do czynienia z dwoma warunkami brzegowymi, mianowicie dla przekroju wejściowego $x = a$ i wyjściowego $x = 0$. Ta pozorną sprzeczność wyjaśnia się w sposób następujący. Rozwiązanie równania różniczkowego dotyczy dwóch odcinków, na jakie dzielimy długość chwytu a . W jednej z dziedzin dla $x < x_0$ materiał wyprzedza, zaś w drugiej dla $x > x_0$

materiał jest wyprzedzany przez walec. W punkcie $x = x_0$ materiał przylega stale do walca.

Nadając różne wartości spólczynek charakterystycznym δ i ε , możemy przedyskutować różne przebiegi walcowania. Rys. 6 przedstawia rozkład naprężeń ściskających q dla obszaru $0 \rightarrow \xi \rightarrow 1$, przyjmując $\delta = 1$, czyli dla wypadku, gdy materiał jest przewalcowany do połowy swej pierwotnej grubości. Jeśli $\mu = 0,25$ mamy



Rys. 6.

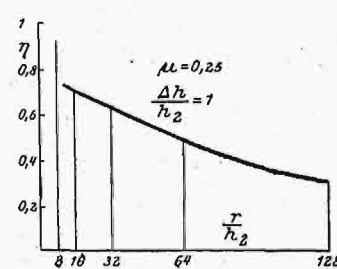
$\varepsilon = 0,5$	$1/2 \sqrt{2}$	1	$\sqrt{2}$	2
$r/h_2 = 128$	64	32	16	8

Specjalnie ciekawy wynik daje obliczenie spólczynek sprawności walcowania η dla różnych wartości r/h_2 . Jeśli praca odkształcania, inaczej moc użyteczna walcowania wynosi⁴⁾ $L_n = k V \log h_1/h_2$, gdzie V jest objętością przewalcowanego materiału, zaś moc napędowa walców wynosi (dla szerokości $= 1$)

$$L_n = \int_0^{\varphi_{\max}} \mu q r \omega d\varphi = \omega \int_0^a \mu q dx,$$

to posilując się równaniem (3) otrzymamy sprawność

$$\eta = \frac{\log(1 + \delta)}{\delta} \frac{h_0}{h_2} \frac{1}{1 + 2 \int_0^1 \pi \xi d\xi}$$



Rys. 7.

w postaci iloczynu trzech czynników. Przez h_0 oznaczamy przytem połowę wysokości materiału w punkcie x_0 , gdzie materiał przylega do walca.

Czynnik pierwszy jest funkcją δ ; czynnik drugi $h_0/h_2 = v_2/r\omega$, gdzie v_2 jest prędkością wyjściową materiału. Czynnik trzeci zależy wyłącznie od rozkładu naprężeń.

Rys. 7 przedstawia wpływ średnicy walców na sprawność. Wykazuje on zalety stosowania możliwie cienkich walców, co znane jest doskonale praktykom walcownikom.

Prof. H. Mierzejewski.

³⁾ E. Goursat. Cours d'analyse mathématique, Tom II, str. 304.

⁴⁾ Uzasadnienie tego wzoru znajdzie czytelnik we wszechstronnej i źródłowej pracy: Dr. Ing. G. Liss. „Die Nutzarbeit des Walzvorgangs. Grundlagen einer Mechanik bildsamer Körper“. Stahl u. Eisen, str. 689 i nast.