

TREŚĆ: St. Bryła: Wytrzymałość spoin bocznych na ścinanie. — Inż. St. Ochęduszek: Wartość opałowa gazów z teoretycznego punktu widzenia. (Dokończenie). — Dr. Inż. A. Freudenthal: W sprawie wzoru dla słupów uzwojonych w przepisach polskich. — Memorjał w sprawie zatrudnienia bezrobotnych inżynierów i techników. — Wiadomości z literatury technicznej. — Nekrologja. — Uzupelnienie. — Sprawy Towarzystwa.

Stefan Bryła.

Wytrzymałość spoin bocznych na ścinanie.

Doświadczenia opisane stanowią trzecią z rzędu serję doświadczeń z połączeniami spawanymi wykonanych dla Departamentu Drogowego b. Ministerstwa Robót Publicznych, a obecnie Ministerstwa Komunikacji, kierowanego przez Dyr. M. Nesterowicza. Dotyczą zaś wytrzymałości spoin bocznych na ścinanie.

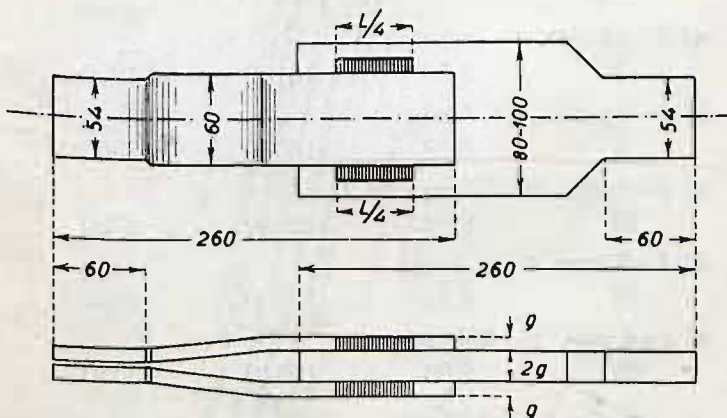
Wytrzymałość spoin bocznych na ścinanie przyjmowana była dotychczas najczęściej na jednostkę powierzchni, w wielkości stałej, niezależnie od grubości spoiny. Na tym przyjęciu też oparte są dotychczasowe przepisy niemieckie, amerykańskie i t. d., aczkolwiek wiadomo, że założenie to jest błędne. Wykazywałem to już w 1928 roku podczas budowy spawano mostu drogowego na rzece Słudwi pod Łowiczem, gdzie dla obliczenia wytrzymałości szwów bocznych przyjąłem:

$k = 905 - 115 t \text{ kg/cm}^2$ na jednostkę powierzchni . . . 1
względnie:

$k = (640 - 80 t) \text{ kg/cm}$ na jednostkę długości 2

gdzie „ t ” oznacza grubość szwu w cm mierzoną w przyprostokątnej spoiny. Dla naprężeń w kg/cm^2 równanie to przedstawia linię prostą, której rzędne maleją ze wzrastającymi odciętymi, jeżeli odcięte oznaczają grubość szwu w cm , a rzędne naprężenia dopuszczalne w kg/cm^2 . Dla naprężeń na jednostkę długości otrzymujemy zaś parabolę. Wzór ten ustawiono na podstawie szeregu doświadczeń wykonanych podówczas. Uwzględnia on bezsporny fakt, że wytrzymałość na jednostkę powierzchni szwu bocznego jest dla szwów cienkich większa niż dla szwów grubych.

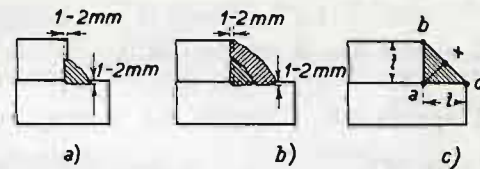
Celem otrzymania możliwie dokładnego związku pomiędzy grubością spoin bocznych, a wytrzymałością jednostkową (na jednostkę powierzchni, oraz na jednostkę długości spoiny), wykonano w 1930/31 r. 220 próbek i poddano rozerwaniu w laboratorium Mechanicznej Stacji Doświadczalnej Politechniki Lwowskiej.



Rys. 1.

Próbki (rys. 1) wykonano w trzech serjach, przy czym serja pierwsza wykonana została przez spawaczy miernych, serja druga przez spawaczy średnio dobrych, zaś serja trzecia wykonana została bardzo starannie.

Nasuwa się pytanie, na jakiej podstawie snuto przypuszczenie, że naprężenia jednostkowe będą maleć przy wzrastającej grubości szwu. Kwestja ta staje się łatwo zrozumiała, jeśli bierzemy pod uwagę dwa następujące fakty: Szwy cienkie wykonywujemy przy pomocy jednorazowego nakładania elektrody (rys. 2a), natomiast szwy grubsze musimy nakładać kilkakrotnie (rys. 2b) (zależnie od grubości szwu, oraz od średnicy elektrody). Pomimo oczyszczenia warstwy spoiny wykonanej przed nałożeniem dalszej warstwy, połączenie może nie być idealne. Również naprężenia wewnętrzne



Rys. 2.

z powodu wysokiej temperatury spawania są większe w spoinach grubszych. Wreszcie też ważną przyczyną leży w tem, że dobrze wykonana spoina jest wtopiona w stal, przyczem grubość wtopienia się wynosi od 1 do 2 mm i to dla wszystkich grubości szwów mniej więcej jednako (rys. 2a, b). Teoretyczna powierzchnia ścicia spoiny zostaje więc o te 1–2 mm powiększona, przez co zostaje również powiększona wytrzymałość spoiny. Stosunek głębokości wtopienia elektrody w stal do teoretycznego przekroju ścicia jest dla spoin małych dużo większy, niż dla grubszych. Np. dla spoiny o grubości $t = 4 \text{ mm}$, stosunek ten wynosi $\varphi = \frac{2}{4 \times 0,7} = \text{około } 0,7$, natomiast dla spoiny o grubości $t = 20 \text{ mm}$ $\varphi = \frac{2}{20 \times 0,7} = 0,14$. Toteż wpływ zwiększenia się teoretycznego przekroju przez wtopienie elektrody i przez to zwiększenia wytrzymałości spoiny, będzie dla spoin małych dużo większy niż dla spoin dużych. Pod tym względem otrzymałem wyczerpujący artykuł od inż. Branda.

Wymiary spoin wybrano dla wartości t od 4 do 20 mm , zaś długości spoin L od 80 do 240 mm . Kształt próbki podany jest na rysunku 1. Spoiny zostały zeszlifowane do należytych wymiarów, celem usunięcia przypadkowości. Wszystkie próbki spawane były elektrycznie. Zaznaczam odrazu, że te same próbki, uzupełnione, zostaną następnie zużytkowane dla zbadania zależności wytrzymałości spoin od ich długości.

Próbki badane były w jednakowych warunkach, t. j. przy jednostajnym wzroście obciążenia od 0,2 do 0,5 $\text{kg/mm}^2/\text{sek}$. Co do charakteru i kształtu zerwania spoiny obserwowano wypadki następujące: a) spoina została zerwana w płaszczyźnie ab lub ac ; b) spoina została zerwana w najmniejszej płaszczyźnie pracującej ax lub też w płaszczyźnie nachylonej pod małym kątem do najmniejszej płaszczyzny; c) spoina została zerwana zupełnie dowolnie, częściowo jak pod a), częściowo jak pod b).

Ze względu jednak na konieczność pewnej jednolitej podstawy do określenia wytrzymałości, oblicza się zawsze wytrzymałość spoiny w odniesieniu do płaszczyny αx . Wszystkie podane niżej przeliczenia wykonane też zostały na tej podstawie.

Poniżej podane są wyniki I. partji próbek. Dokładny pomiar szwów uskutecznił tak przed, jakoteż po zerwaniu każdej próbki. Na każdy poszczególny pomiar wykonano przynajmniej trzy próbki. O ile wyniki były zbyt rozmaite, wykonano dwie próbki dodatkowe celem jaknajdokładniejszego ustalenia wartości R .

Ze względu na brak miejsca podano poniżej zestawienie pomiarów wykonanych na jednej próbce jako przykład. Wszędzie l oznacza długość jednej spoiny, L łączną długość czterech spoin, więc $L=4l$.

L. p. 7. Przekrój spoiny $t=10$ mm, $t'=7$ mm.

Cztery spoiny o łącznej długości $L=4l=10$ cm.

Próbka	$F=t' \cdot l$ mm ²	Łączny przekrój spoiny po zerwaniu F' mm ²	P kg	R kg/mm ²
7/1	700	$4 \times 6 \times 24 = 576$	16400	28,5

cztery spoiny ścięte ukośnie

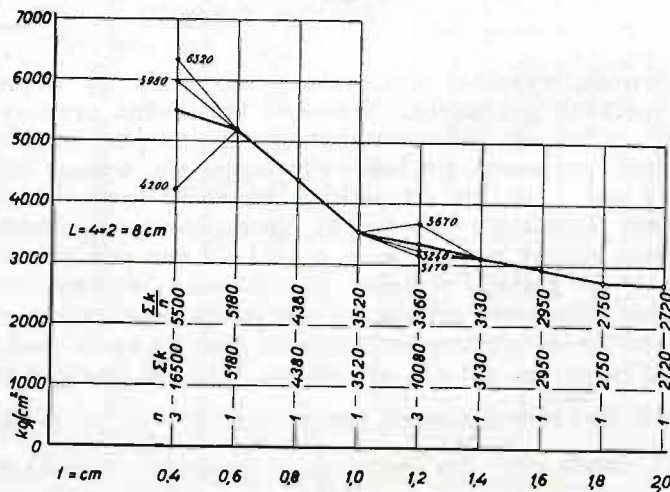
7/2	700	$4 \times 7 \times 25 = 700$	17550	25,1
-----	-----	------------------------------	-------	------

1 spoina $a c$, 3 spoiny (uk.)

7/3	700	$4 \times 6 \times 25 = 600$	17700	29,1
-----	-----	------------------------------	-------	------

1 spoina $a b$, 1 spoina $a c$, 2 szwy (uk.)

R średnio 24,60



Rys. 3.

W podobny sposób wykonano pomiary dla wszystkich próbek. W dalszym ciągu podane są średnie wartości naprężeń rozrywających i to tak na jednostkę powierzchni jak i na jednostkę długości szwu.

Pierwsza partja próbek:

1. $L=4 \times 2,5=10$ cm

Próbka	t	t'	$\frac{P}{l}$	$\frac{P}{F'}$
L. p.	mm	mm	kg/cm	kg/cm ²
25	4	2,8	1000	3570
18	6	4,2	1210	2930
12	8	5,6	1500	2700
7	10	7,0	1740	2460
3	12	8,5	2200	2440
2. $L=4 \times 3=12$ cm				
24	4	2,8	850	3060
17	6	4,2	1200	2860
11	8	5,6	1680	2870
6	10	7,0	1700	2030
2	12	8,5	1600	1650

3. $L=4 \times 4=16$ cm

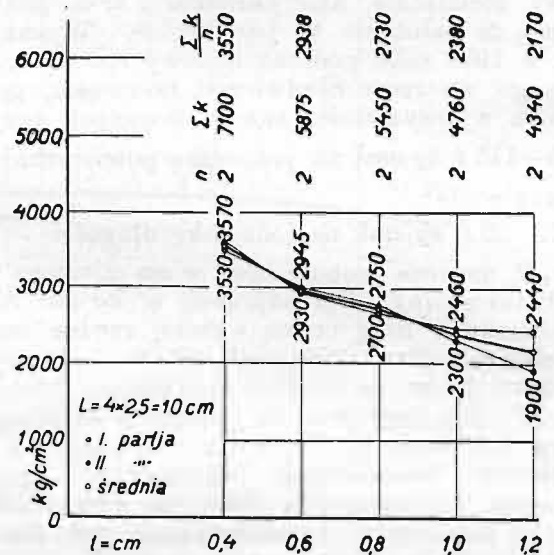
Próbka	t	t'	$\frac{P}{l}$	$\frac{P}{F'}$
L. p.	mm	mm	kg/cm	kg/cm ²
23	4	2,8	1080	4030
16	6	4,2	1400	3315
10	8	5,6	1540	2740
5	10	7,0	1780	2415
1	12	8,5	1580	1945

4. $L=4 \times 5=20$ cm

22	4	2,8	1100	4000
15	6	4,2	1480	3285
9	8	5,6	1800	2830
4	10	7,0	1600	2370

5. $L=4 \times 6=24$ cm

21	4	2,8	1040	3720
14	6	4,2	1600	3515
8	8	5,6	1790	3570
13	10	7,0	2400	3400



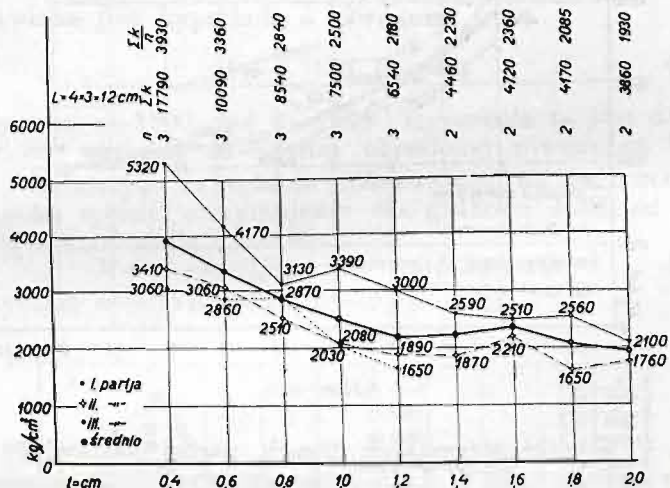
Rys. 4.

Druga partja próbek.

1. $L=4 \times 2,5=10$ cm

Próbka	Pow. ścięta F'	P	$\frac{P}{F'}$
L. p.	cm ²	kg	kg/cm ²
a) $t=12$ mm, $t'=8,5$ mm			
3	8,50	16100	1900
b) $t=10$ mm, $t'=7$ mm			
7	6,98	16050	2300
c) $t=8$ mm, $t'=5,6$ mm			
12	5,62	15450	2750
d) $t=6$ mm, $t'=4,2$ mm			
18	4,42	13000	2945
e) $t=4$ mm, $t'=2,8$ mm			
25	2,93	10340	3530
2. $L=4 \times 3=12$ cm			
a) $t=20$ mm, $t'=14,1$ mm			
33	16,78	29550	1760
b) $t=18$ mm, $t'=12,6$ mm			
27	15,10	24400	1610
c) $t=16$ mm, $t'=12,3$ mm			
31	13,60	30050	2210

Próbka L. p.	Pow. ściegta F' cm^2	P kg	$\frac{P}{F'}$ kg/cm^2
d) $t=14 mm, t'=10 mm$ 29	12,03	22500	1870
e) $t=12 mm, t'=8,5 mm$ 2	10,20	19300	1890
f) $t=10 mm, t'=7 mm$ 6	8,37	17400	2080
g) $t=8 mm, t'=5,6 mm$ 11	6,71	16870	2510
h) $t=6 mm, t'=4,2 mm$ 17	5,05	15420	3060
i) $t=4 mm, t'=2,8 mm$ 24	3,33	11360	3410



Rys. 5.

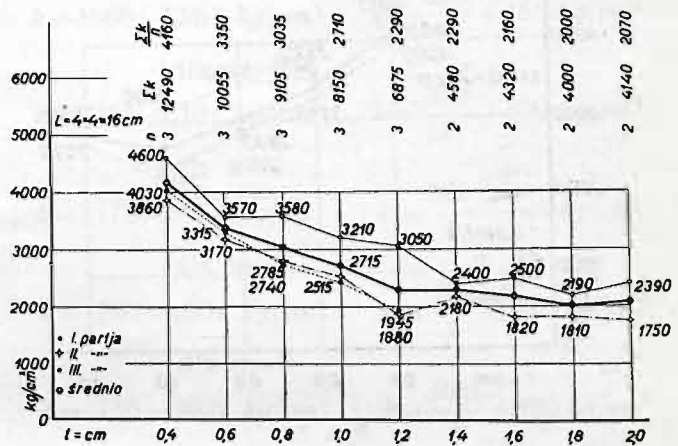
3. $L=4 \times 4=16 cm$

a) $t=20 mm, t'=14,1 mm$ 32	21,60	37800	1750
b) $t=18 mm, t'=12,6 mm$ 28	20,00	36250	1810
c) $t=16 mm, t'=11,3 mm$ 26	18,16	33060	1820
d) $t=14 mm, t'=10 mm$ 34	15,90	34650	2180
e) $t=12 mm, t'=8,5 mm$ 1	12,53	23600	1880
f) $t=10 mm, t'=7,0 mm$ 5	11,20	28180	2515
g) $t=8 mm, t'=5,6 mm$ 10	8,97	24900	2785
h) $t=6 mm, t'=4,2 mm$ 16	6,95	22000	3170
i) $t=4 mm, t'=2,8 mm$ 23	4,50	17310	3860

4. $L=4 \times 5=20 cm$

a) $t=12 mm, t'=8,5 mm$ 30	16,90	45500	2690
b) $t=10 mm, t'=7,0 mm$ 4	12,30	29400	2380

Próbka L. p.	Pow. ściegta F' cm^2	P kg	$\frac{P}{F'}$ kg/cm^2
c) $t=8 mm, t'=5,6 mm$ 9	10,72	30130	2800
d) $t=6 mm, t'=4,2 mm$ 15	8,40	28610	3410
e) $t=4 mm, t'=2,8 mm$ 22	5,63	24200	4310



Rys. 6.

Średnie naprężenie rozrywające z trzech próbek L. p. 8, 8/1, 8/2, o długości szwu $L=4 \times 6=24 cm$, wynosi $3060 kg/cm^2$ (grubość szwu wynosi $t=8 mm$). Dla próbek L. p. 14, 14/1, 14/2 o długości i wymiarach spoin jak powyżej, średnie naprężenie rozrywające wynosi $3760 kg/cm^2$.

Wyniki trzeciej partji dla spoin o długości stałej $L=8 cm$ nie zostały uwzględnione przy ogólnem rozważaniu graficznym nad związkami pomiędzy grubością szwu, oraz jego wytrzymałością na jednostkę powierzchni, a to z uwagi na nadzwyczaj wysokie wyniki naprężeń rozrywających.

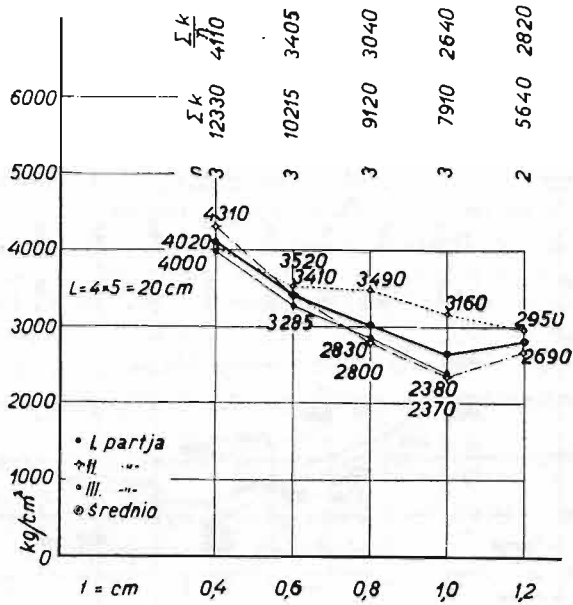
Trzecia partja próbek.

 $L=4 \times 2=8 cm$

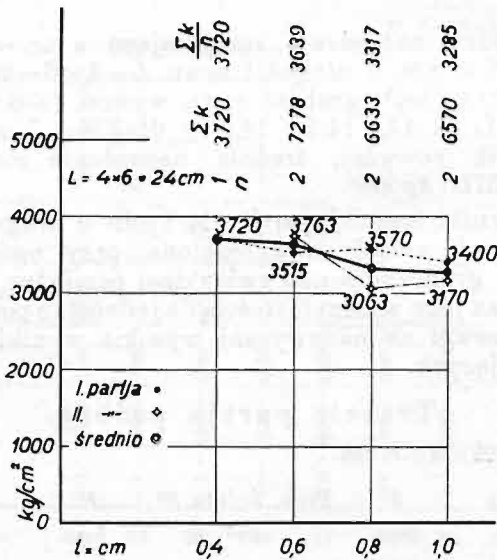
Próbka L. p.	t mm	Pow. ściegta F' cm^2	P kg	$\frac{P}{F'}$ kg/cm^2
1	20	11,3	30800	2720
2	18	10,2	28000	2750
3	16	9,05	26620	2950
4	14	7,90	24750	3130
4/1 x	12	6,8	24900	3670
4/2 x	12	6,8	22000	3240
4 średni	12	6,8	21500	3170
4 średni	12	6,8	—	3360
34	10	5,65	19850	3520
30	8	4,5	19700	4380
26	6	3,39	17600	5180
22/1	4	2,26	14250	6320
22/2	4	2,26	13500	5980
22/3	4	2,26	9500	4200
22 średni	4	2,26	—	5500

W powyższem zestawieniu rzucają się w oczy szczególnie wyniki próbek L. p. 22/1, 22/2, 22/3. Dla próbek tych użyto takiego samego natężenia prądu jak dla innych próbek tej partji z wyjątkiem próbki L. p. 22/3, dla której natężenie prądu obniżono znacznie poniżej normalnego. Jak wynika z tego, wysokie wy-

niki próbek 22/1 i 22/2 mają swoją przyczynę prawdopodobnie w bardzo silnem wtapianiu się małych spoin w materiał.



Rys. 7.



Rys. 8.

Próbka L. p.	t mm	Pow. ścięta F' cm ²	P kg	$\frac{P}{F'}$ kg/cm ²
$L = \text{const.} = 4 \times 3 = 12 \text{ cm}$				
47	20	17,0	33600	2100
39	18	15,2	39000	2560
45	16	13,55	34000	2510
41	14	11,90	30800	2590
5	12	10,20	30600	3000
35	10	8,50	28800	3390
31	8	6,80	21200	3130
27	6	5,08	21100	4170
23	4	3,38	18000	5320

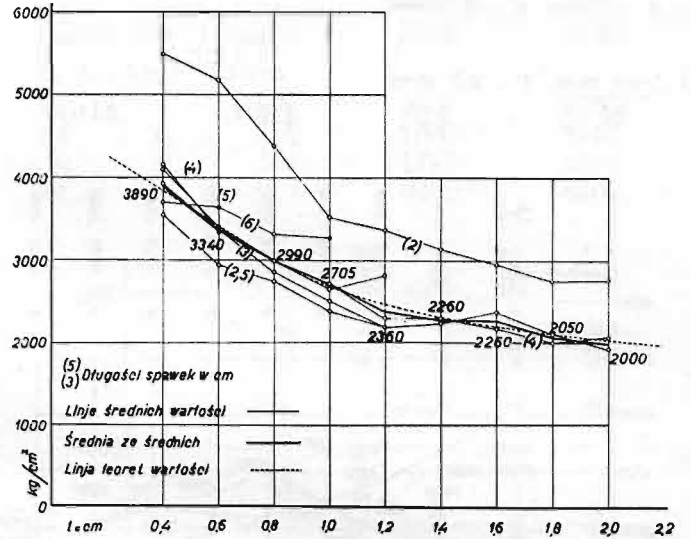
$L = \text{const.} = 4 \times 4 = 16 \text{ cm}$

44	20	22,60	54100	2390
38	18	20,30	44500	2190
43	16	18,05	45200	2500
46	14	15,80	37900	2400
40	12	13,55	41400	3050
36	10	11,30	36200	3210

Próbka L. p.	t mm	Pow. ścięta F' cm ²	P kg	$\frac{P}{F'}$ kg/cm ²
32	8	9,05	32400	3580
28	6	6,78	24200	3570
24	4	4,51	20800	4600

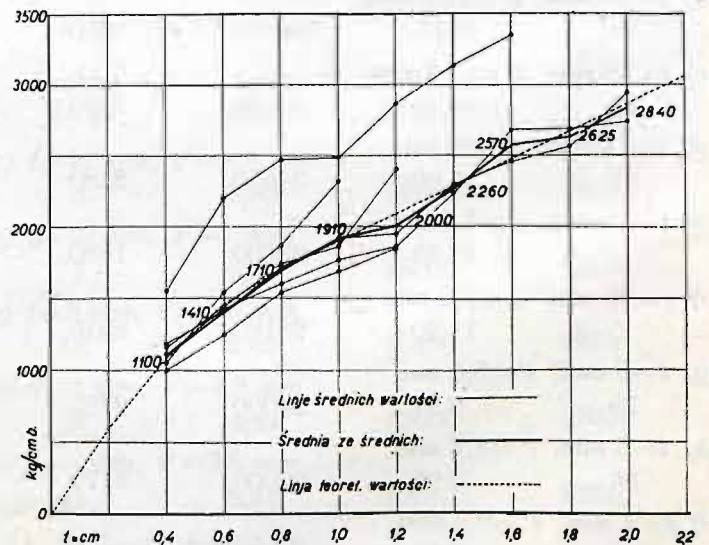
$L = \text{const.} = 4 \times 5 = 20 \text{ cm.}$

42	12	17,00	50200	2950
37	10	14,10	44700	3160
33	8	11,30	39400	3490
29	6	8,45	29800	3520
25	4	5,65	22700	4020



Rys. 9.

Wyniki wszystkich trzech partji zestawione są na rys. 3, 4, 5, 6, 7, 8, przyczem wyniki dla poszczególnych długości spoin zestawione są oddzielnie. Ogólne zestawienie graficzne, dla wszystkich wykonanych grubości, oraz długości szwów uskuteczniiono na rys. 9, a to w ten sposób, że narysowano tylko już wartości średnie z wyników podanych na rys. 3, 4, 5, 6, 7, 8. Uderzająca jest tu linja wyników próbek partji trzeciej dla sumarycznej długości spoin $L = 4 \times 2 = 8 \text{ cm}$, która



Rys. 10.

się znajduje daleko powyżej innych wyników. Reszta wyników daje obraz skupiony, naokół pewnej linii ciągłej. Wyjątek stanowią może rezultaty dla spoiny 10 mm i długości 24 cm (3285 kg/cm²), oraz dla spoiny 12 mm i długości 20 cm. Niewiadomy jest dalszy prze-

bieg krzywych dla długości spoin $L=20\text{ cm}$ i $L=24\text{ cm}$ dla większych ich grubości spoin (powyżej 10 mm , 12 mm), jednakowoż najprawdopodobniej są to krzywe o tej samej tendencji, co poprzednie, a punkty sporne są tylko wynikiem wyjątkowo dobrze wykonanych próbek.

Rys. 10 przedstawia te same wartości co rys. 9 tylko w przeliczeniu na jednostkę długości spoiny, gdy wartości poprzednie odnoszą się do jednostki powierzchni.

Z rezultatów podanych na rys. 9 i 10 obliczono znów wartości średnie dla każdej poszczególniej rzędnej grubości spoin. Krzywa, łącząca te średnie, podaje nam zależność pomiędzy wytrzymałością jednostkową spoiny i jej wymiarem poprzecznym.

Dla grubości spoin od 4 do 8 mm można przyjąć ją jako linię prostą o równaniu:

$$k = a - bt \text{ kg/cm}^2, \dots (3)$$

przyczem $a=4700$, zaś $b=2140$.

Dla grubości spoin większych od 8 mm , krzywa omawiana jest hyperbolą o równaniu:

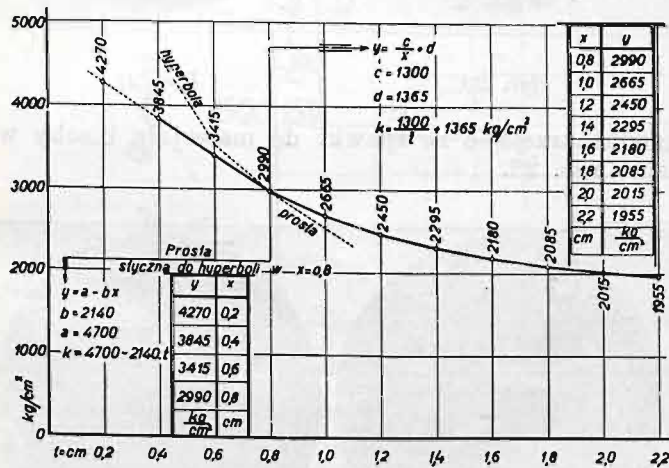
$$k = \frac{c}{t} + d \text{ kg/cm}^2, \dots (4)$$

przyczem $c=1300$, zaś $d=1365$. Hyperbola ta jest dla $t=8\text{ mm}$ styczną do prostej określonej równaniem 3.

Obliczając naprężenie rozrywające na jednostkę długości spoiny, otrzymujemy dla grubości spoin od 4 do 8 mm parabolę o kształcie:

$$k' = (a - bt) 0,7 t = (a' - b't) t \text{ kg/cm} \dots (5)$$

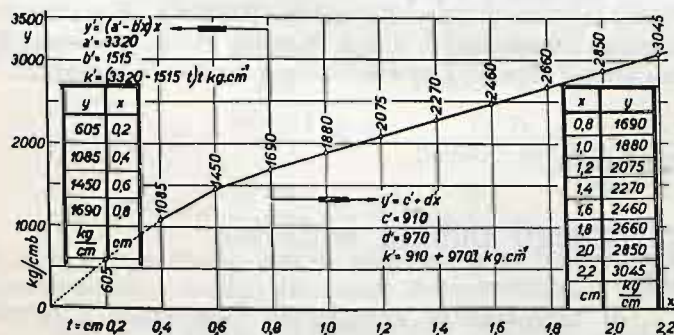
przyczem $a'=0,7a=3320$, $b'=0,7b=1515$.



Rys. 11.

Dla grubości spoin od 8 mm w górę otrzymamy tu linię prostą o równaniu:

$$k' = \left(\frac{c}{t} + d\right) 0,7 t = 0,7 c + 0,7 d t = c' + d' t \text{ kg/cm} \dots (6)$$



Rys. 12.

przyczem $c'=910$, $d'=970$. Prosta ta jest dla $t=8\text{ mm}$ styczną do paraboli, określonej równaniem 5.

Rzędne obliczone z powyższych równań zestawione tabelarycznie na rys. 11 i 12.

Na podstawie powyższych równań obliczono wartości naprężeń dopuszczalnych dla współczynników pewności $n=3, 3,5, 4, 5, 6$.

Dla naprężeń dopuszczalnych na jednostkę powierzchni otrzymujemy równania:

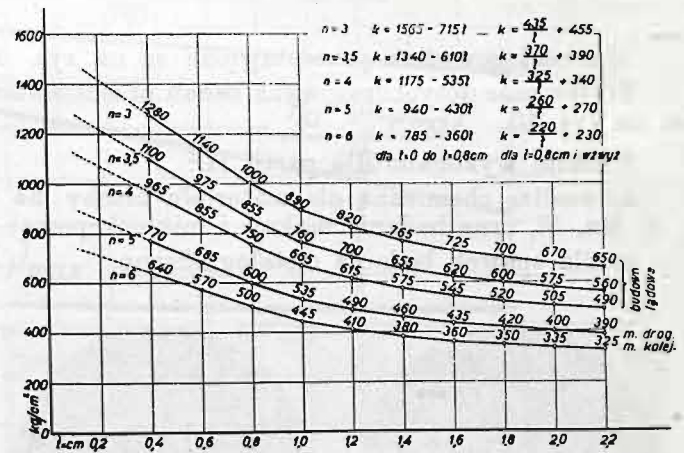
dla $n=3$
 $t=4\text{ mm}$ do 8 mm $t = \text{powyżej } 8\text{ mm}$
 $k = 1565 - 715t \text{ kg/cm}^2$ $k = \frac{435}{t} + 455 \text{ kg/cm}^2$

dla $n=3,5$
 $k = 1340 - 610t \text{ kg/cm}^2$ $k = \frac{370}{t} + 390 \text{ kg/cm}^2$

dla $n=4$
 $k = 1175 - 535t \text{ kg/cm}^2$ $k = \frac{325}{t} + 340 \text{ kg/cm}^2$

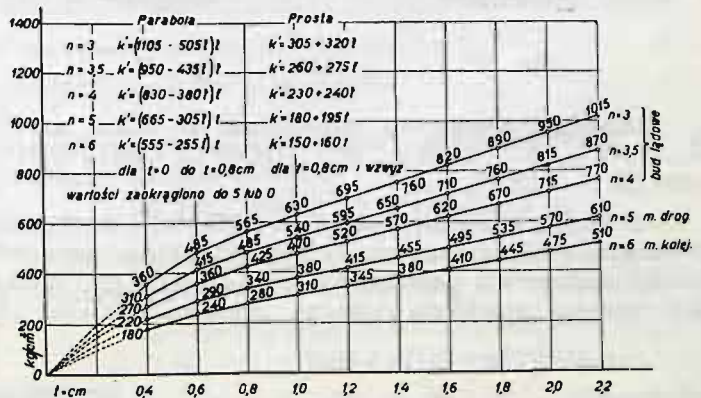
dla $n=5$
 $k = 940 - 430t \text{ kg/cm}^2$ $k = \frac{260}{t} + 270 \text{ kg/cm}^2$

dla $n=6$
 $k = 785 - 360t \text{ kg/cm}^2$ $k = \frac{220}{t} + 230 \text{ kg/cm}^2$



Rys. 13.

Wartości stałych w tych równaniach zaokrąglono do 0 lub 5 (rys. 13).

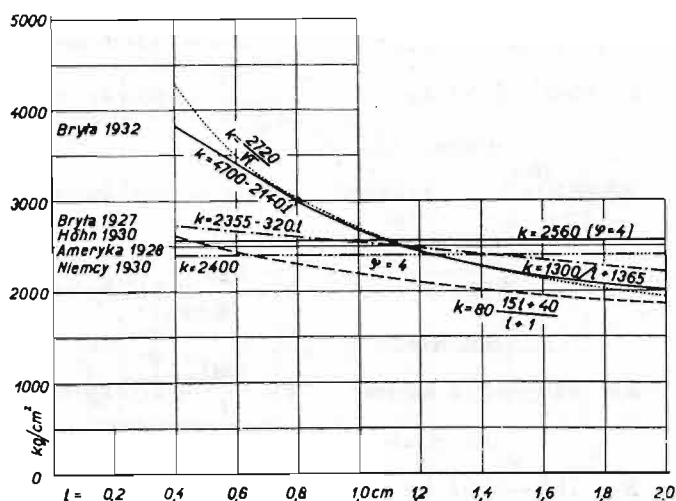


Rys. 14.

Dla naprężeń dopuszczalnych na jednostkę długości spoiny poprzednim równaniom, odpowiadają równania następujące:

$t=4\text{ mm}$ do 8 mm $t = \text{powyżej } 8\text{ mm}$
 $n=3$
 $k = (1105 - 505 t) t \text{ kg/cm}$ $k = 305 + 320 t \text{ kg/cm}$
 $n=3,5$
 $k = (950 - 435 t) t \text{ kg/cm}$ $k = 260 + 275 t \text{ kg/cm}$

$$\begin{aligned} n=4 & \\ k &= (830-380) t \text{ kg/cm} & k &= 230 + 240 t \text{ kg/cm} \\ n=5 & \\ k &= (665-305) t \text{ kg/cm} & k &= 180 + 195 t \text{ kg/cm} \\ n=6 & \\ k &= (555-255) t \text{ kg/cm} & k &= 150 + 160 t \text{ kg/cm} \end{aligned}$$

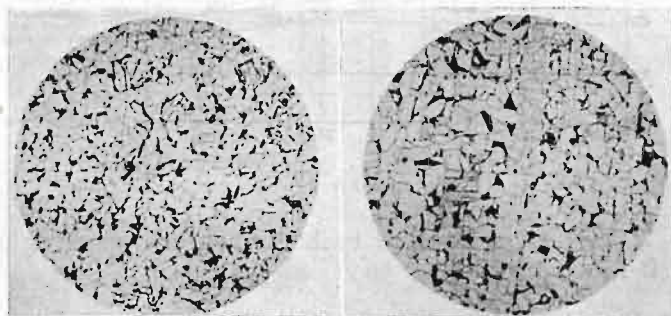


Rys. 15.

Wartości powyższe przedstawione są na rys. 14. Zestawienie dotychczasowych badań przedstawione jest na rys. 15.

Ponadto wykonano dla partji II.:

- analizę chemiczną dla materiału blachy na *C*, *P*, *S*, *Mn*, *Si*, oraz badanie makro- i mikroskopowe;
- dla spawek badanie metalograficzne.



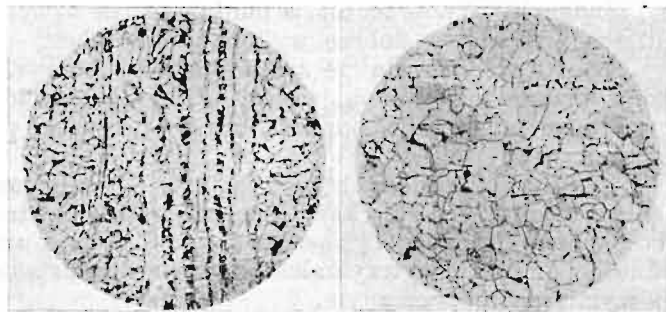
Rys. 16.

Rys. 17.

Analiza chemiczna przeciętna z kilku analiz: *C*...0,12%, *S*...0,037%, *P*...0,046%, *Mn*...0,34%, oraz *Si*...0,012%.

Przeciętne zanieczyszczenie fosforem i siarką oraz przeciętne zanieczyszczenie żużlem. Struktura materiału blachy siatkowa i pasemkowa (ryc. 16, 17 i 18). W okolicy miejsca spawania lokalne przegrzanie (ryc. 19).

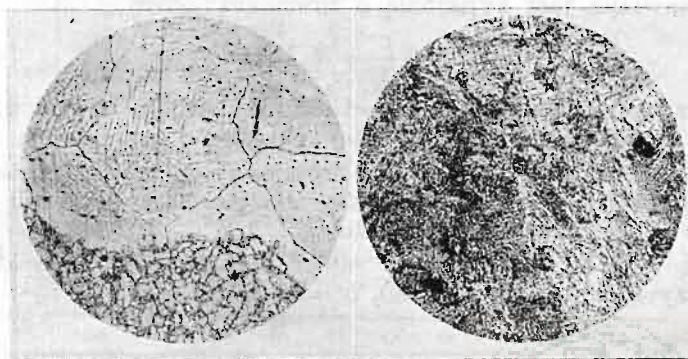
Ciekawy wypadek rozrostu ziarn w okolicy miejsca spawania wykazuje ryc. 20. W spawce widoczne liczne



Rys. 18.

Rys. 19.

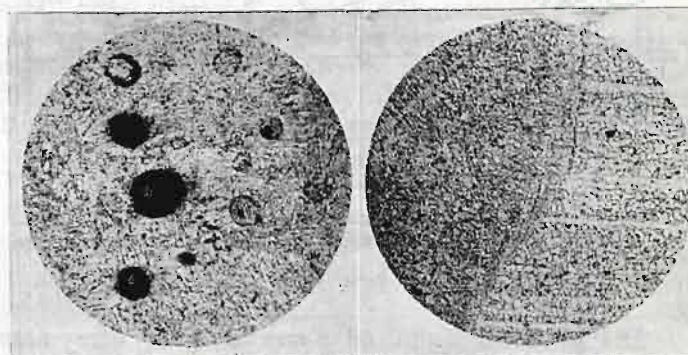
drobne pory i nieliczne większe pory. Struktura miejsca spawania wykazuje naogół przegrzanie (ryc. 21 i 22).



Rys. 20.

Rys. 21.

Łagodne przejście ze spawki do materiału blachy wykazuje ryc. 23.



Rys. 22.

Rys. 23.

Przy pracy tej pomocni byli mi p. inż. Venčeslav Poniž, asystent przy Katedrze Budowy Mostów Politechniki Lwowskiej i p. inż. Marjan Popiel, asystent Mechanicznej Stacji Doświadczalnej tejże Politechniki.

Inż. Stanisław Ochęduszek
Adjunkt Politechniki Lwowskiej.

Wartość opałowa gazów z teoretycznego punktu widzenia.

(Dokończenie).

Zależność ciepła spalania od nadmiaru powietrza.

Skolei zajmijmy się zagadnieniem, czy i jaki jest wpływ nadmiaru powietrza na ciepło spalania gazu palnego. Szczegółowy rachunek przeprowadzimy dla wodoru, przyczem zakładamy, że:

- temperatura odniesienia jest stała i wynosi $t=25^{\circ} C$, $T=288^{\circ} K$;
- wilgotność względna powietrza $\varphi_p=50\%$, $p_p=11,88 \text{ mm rt.}$;
- wilgotność względna gazu palnego $\varphi_{gp}=100\%$, $p_{gp}=23,76 \text{ mm rt.}$, $\gamma_{gp}=\gamma_n=23,1 \text{ g/m}^3$.