

C

Nr 292

Polytechnika Wars

INTERNATIONALE DES PONTS ET CHARPENTES
INTERNATIONALE VEREINIGUNG FÜR BRÜCKENBAU UND HOCHBAU
INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR BRIDGE AND STRUCTURAL
ENGINEERING

Résistance des soudures latérales au cisaillement.

SCHUBFESTIGKEIT VON GESCHWEISSTEN FLANKENNÄHTEN.
THE RESISTANCE OF LATERAL WELDS TO SHEARING STRESSES.

Stefan Bryla,
Docteur-ingénieur, Professeur à l'Ecole Polytechnique, Lwów, Pologne.

EXTRAIT DU DEUXIÈME VOLUME DES «MÉMOIRES»
SONDERDRUCK AUS DEM ZWEITEN BAND DER «ABHANDLUNGEN»
REPRINTED FROM THE SECOND VOLUME OF THE «PUBLICATIONS»

ZURICH 1934

C

Nr 2927

Politechnika Warszawska

BIBLIOTEKA
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ
Warszawa, ul. Żwirki i Wigury 1

~~28648 C.2927~~



nr. 343

RÉSISTANCE DES SOUDURES LATÉRALES AU CISAILLEMENT.

SCHUBFESTIGKEIT VON GESCHWEISSTEN FLANKENNÄHTEN.

THE RESISTANCE OF LATERAL WELDS TO SHEARING STRESSES.

STEFAN BRYLA, Docteur-ingénieur, Professeur à l'École Polytechnique, Lwów, Pologne.

On admettait ordinairement que la résistance des soudures latérales au cisaillement par unité de surface (kg/mm^2) a une valeur constante, indépendante de l'épaisseur de la soudure et de sa longueur. Sur cette conception sont basées les Prescriptions Allemandes, Américaines etc. quoique l'hypothèse ne soit pas exacte. A la base des essais que j'ai exécutés en 1928,

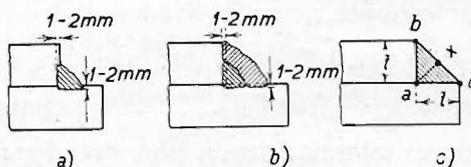


Fig. 1.

au cours de la construction du pont soudé sur la rivière Sludwia, près de Lowicz, j'ai admis pour le calcul de la résistance des cordons de soudure latéraux:

$$k = (905 - 115 t) \text{ kg/cm}^2 \text{ pour l'unité de surface} \quad (1)$$

ou

$$k = (905 - 115 t) \cdot 0,7 t = (640 - 80 t) \text{ kg/cm} \text{ pour l'unité de longueur} \quad (2)$$

où „t“ représente l'épaisseur de la soudure en cm. Pour les tensions en kg/cm^2 cette équation représente une ligne droite dont les ordonnées diminuent, tandis que les abscisses augmentent, si les abscisses indiquent l'épaisseur de la soudure en cm et les ordonnées les tensions admises en kg/cm^2 . Pour les tensions par unité nous obtenons donc une parabole.

Cette formule est basée sur le fait incontestable, que la résistance par unité de surface de la soudure latérale est plus grande pour les soudures minces que pour les soudures épaisses; les causes en sont les suivantes:

Les soudures minces sont exécutées par recouvrement à l'aide de l'électrode en une seule fois (fig. 1a), tandis que les soudures plus épaisses doivent être faites en plusieurs couches (fig. 1b) (suivant l'épaisseur de la soudure et le diamètre de l'électrode). Malgré le nettoyage de la couche de soudure avant le recouvrement par la couche suivante, l'assemblage n'est pas idéal. Aussi les tensions internes dues à la température élevée de la soudure sont plus considérables dans les soudures épaisses. Le moment résultant de l'excentricité de la force par rapport au centre de gravité de la soudure, qui est

plus grand pour les soudures épaisses, exerce aussi une influence. Enfin, la profondeur de pénétration de la fusion, qui est de 1 à 2 mm. dans la soudure bien exécutée, et sensiblement la même pour toutes les épaisseurs des cordons de soudure (fig. 1a, b) augmente la résistance de la soudure,

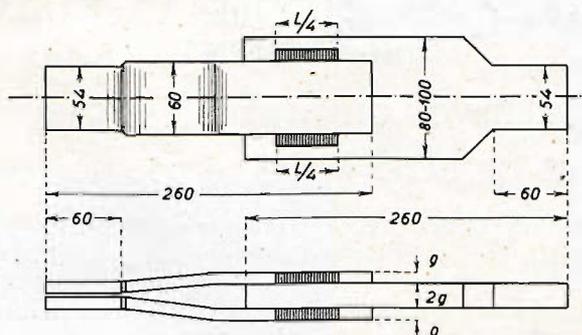


Fig. 2.

donc le rapport entre la pénétration de la fusion et la section théorique du cordon est, pour les soudures minces, beaucoup plus grand que pour les soudures épaisses. Par exemple, pour une soudure d'une épaisseur $t = 4$ mm., ce rapport est de $\frac{1}{4 \cdot 0,7} = \text{env. } 0,35$ tandis que pour une soudure d'une épaisseur $t = 20$ mm., il est de $\frac{1}{20 \cdot 0,7} = 0,07$. Ce fait augmente par conséquent la résistance des soudures minces dans un plus grand rapport que celle des soudures épaisses.

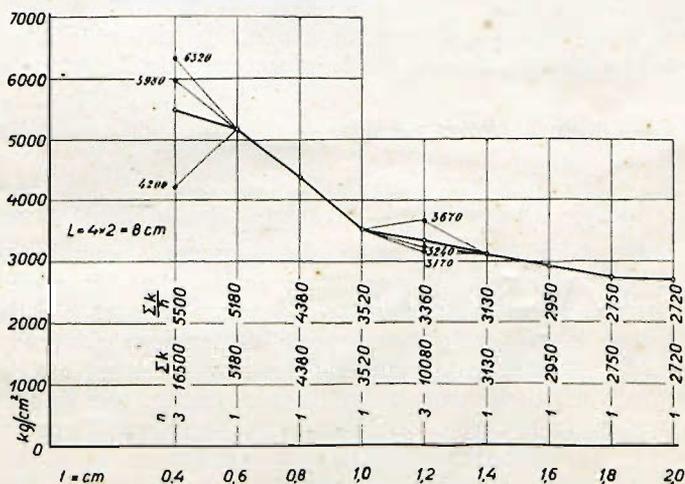


Fig. 3.

Sur la base de ses essais HÖHN (1930) a proposé la formule :

$$k = 80 \cdot \frac{15t + 40}{t + 1}$$

En vue de déterminer aussi exactement que possible le rapport entre l'épaisseur des soudures latérales et la résistance unitaire (par unité de la

surface et par unité de la longueur de la soudure), on a exécuté, en 1930/31, 220 échantillons qui ont subi des essais à la traction au Laboratoire de la Station Mécanique d'Essais de l'Ecole Polytechnique de Lwów (Lemberg) Pologne

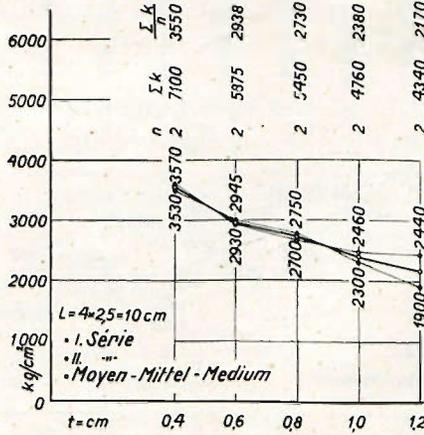


Fig. 4.

Les éprouvettes (fig. 2) ont été exécutées en trois séries: la première par des soudeurs médiocres; la deuxième par des soudeurs moins qualifiés, la troisième à été exécutée très soigneusement.

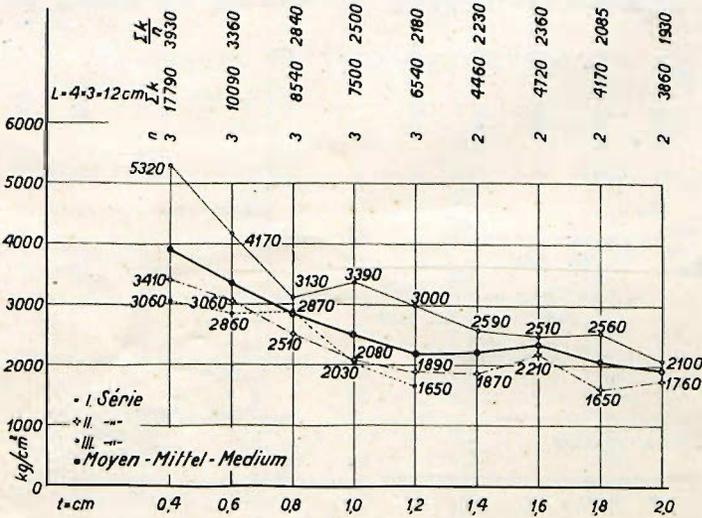


Fig. 5.

Les dimensions admises pour les soudures ont été pour t de 4 à 20 mm. et pour les longueurs L=4l= de 80 = 4 × 20 à 20 à 240 = 4 × 80 mm. La forme des échantillons est représentée sur la fig. 1. Les soudures ont été usinées aux dimensions nécessaires, vu d'éviter le hasard. Toutes les éprouvettes ont été soudées à l'arc.

Les essais ont été effectués dans des conditions identiques c. à d. sous un accroissement régulier de la charge de 0,2 jusqu'à 0,5 kg mm²/sec.

Quant au caractère et à la forme de la rupture des soudures, on a constaté les cas suivants:

a) La soudure a été rompue dans la section *ab* ou *ac*.

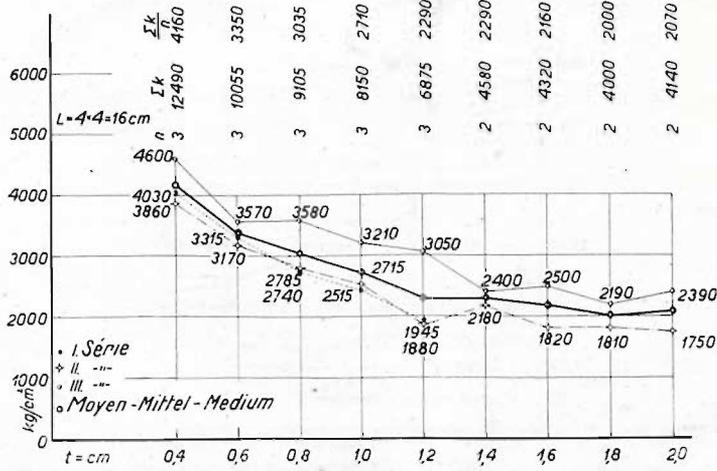


Fig. 6.

b) La soudure a été rompue dans la plus petite section soumise au travail *ax* ou bien dans un plan faiblement incliné par rapport à cette plus petite section.

c) La soudure a été rompue à volonté, soit suivant *a*, soit suivant *b* (fig. 2c).

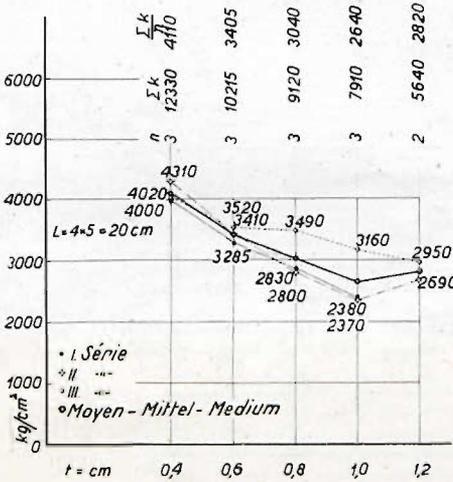


Fig. 7.

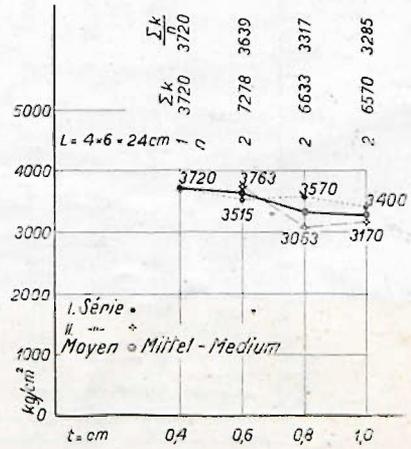


Fig. 8.

Pour avoir une base uniforme pour définir la résistance, nous calculons toujours la résistance de la soudure par rapport à la surface *ax*. Tous les calculs indiqués ci-après ont été effectués sur cette base.

On trouvera ci-après successivement les résultats des séries particulières d'essais. Les dimensions exactes des soudures ont été prises tant avant qu'après la rupture de chaque échantillon. Pour prendre les dimensions on a exécuté à chaque fois un nombre minimum de 3 éprouvettes.

Lorsque les résultats étaient trop différents, on a exécuté deux éprouvettes supplémentaires pour fixer la valeur de R aussi exactement que possible.

Par suite du manque de place, il est donné ci-dessous comme exemple une spécification des dimensions prises sur une seule éprouvette. l indique partout la longueur d'une seule soudure, $L =$ la longueur totale de quatre soudures, donc $L = 4l$.

No 7. Section de la soudure $t = 10$ mm, $t' = 7$ mm.

4 soudures d'une longueur totale $L = 4l = 10$ cm.

Echant.	$F = t'l$ mm ²	Section totale de la soudure après la rupt. F' mm ²	P kg	R kg/mm ²
7/1 4 soudures chanfreinées	700	$4 \cdot 6 \cdot 24 = 576$	16400	23,5
7/2 1 soudure ac , 3 soudures (obliques)	700	$4 \cdot 2 \cdot 25 = 700$	17550	25,1
7/3 1 soudure ab , 1 soudure ac , 2 cordons de soudure (obl.)	700	$4 \cdot 6 \cdot 25 = 600$	17700	25,1
			R moyenne	24,60

Les dimensions des autres éprouvettes ont été prises de la même manière. On trouvera ci-après les valeurs moyennes des résistances à la traction tant par unité de surface que par unité de longueur du cordon de soudure.

Première série d'éprouvettes :

	Eprouvette No.	t mm	t' mm	$\frac{P}{l}$ kg/cm	$\frac{P}{F'}$ kg/cm ²
1. $L = 4 \cdot 2,5 = 10$ cm	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. $L = 4 \cdot 3 = 12$ 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. $L = 4 \cdot 4 = 16$ cm	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. $L = 4 \cdot 5 = 20$ 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. $L = 4 \cdot 6 = 24$ 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

Deuxième série d'éprouvettes :

		Eprouvette	Surf. cisailée F'	P	$\frac{P}{F'}$
		No.	cm^2	kg	kg/cm^2
1.	$L = 4 \cdot 2,5 = 10 \text{ cm}$				
a)	$t = 12 \text{ mm}, t' = 8,5 \text{ mm}$	3	8,50	16100	1900
b)	$t = 10 \text{ "}, t' = 7 \text{ "}$	7	6,98	16050	2300
c)	$t = 8 \text{ "}, t' = 5,6 \text{ "}$	12	5,62	15450	2750
d)	$t = 6 \text{ "}, t' = 4,2 \text{ "}$	18	4,42	13000	2945
e)	$t = 4 \text{ "}, t' = 2,8 \text{ "}$	25	2,93	10340	3530
2.	$L = 4 \cdot 3 = 12 \text{ cm}$				
a)	$t = 20 \text{ mm}, t' = 14,1 \text{ mm}$	33	16,78	29550	1760
b)	$t = 18 \text{ "}, t' = 12,6 \text{ "}$	27	15,10	24400	1610
c)	$t = 16 \text{ "}, t' = 12,3 \text{ "}$	31	13,60	30050	2210
d)	$t = 14 \text{ "}, t' = 10 \text{ "}$	29	12,03	22500	1870
e)	$t = 12 \text{ "}, t' = 8,5 \text{ "}$	2	10,20	19300	1890
f)	$t = 10 \text{ "}, t' = 7 \text{ "}$	6	8,37	17400	2080
g)	$t = 8 \text{ "}, t' = 5,6 \text{ "}$	11	6,71	16870	2510
h)	$t = 6 \text{ "}, t' = 4,2 \text{ "}$	17	5,05	15420	3060
i)	$t = 4 \text{ "}, t' = 2,8 \text{ "}$	24	3,33	11360	3410
3.	$L = 4 \cdot 4 = 16 \text{ cm}$				
a)	$t = 20 \text{ mm}, t' = 14,1 \text{ mm}$	32	21,60	37800	1750
b)	$t = 18 \text{ "}, t' = 12,6 \text{ "}$	28	20,00	36250	1810
c)	$t = 16 \text{ "}, t' = 11,3 \text{ "}$	26	18,16	33060	1820
d)	$t = 14 \text{ "}, t' = 10 \text{ "}$	34	15,90	34650	2180
e)	$t = 12 \text{ "}, t' = 8,5 \text{ "}$	1	12,53	23600	1880
f)	$t = 10 \text{ "}, t' = 7,0 \text{ "}$	5	11,20	28180	2515
g)	$t = 8 \text{ "}, t' = 5,6 \text{ "}$	10	8,97	24900	2785
h)	$t = 6 \text{ "}, t' = 4,2 \text{ "}$	16	6,95	22000	3170
i)	$t = 4 \text{ "}, t' = 2,8 \text{ "}$	23	4,50	17310	3860
4.	$L = 4 \cdot 5 = 20 \text{ cm}$				
a)	$t = 12 \text{ mm}, t' = 8,5 \text{ mm}$	30	16,90	45500	2690
b)	$t = 10 \text{ "}, t' = 7,0 \text{ "}$	4	12,30	29400	2380
c)	$t = 8 \text{ "}, t' = 5,6 \text{ "}$	9	10,72	30130	2800
d)	$t = 6 \text{ "}, t' = 4,2 \text{ "}$	15	8,40	28610	3410
e)	$t = 4 \text{ "}, t' = 2,8 \text{ "}$	22	5,63	24200	4310

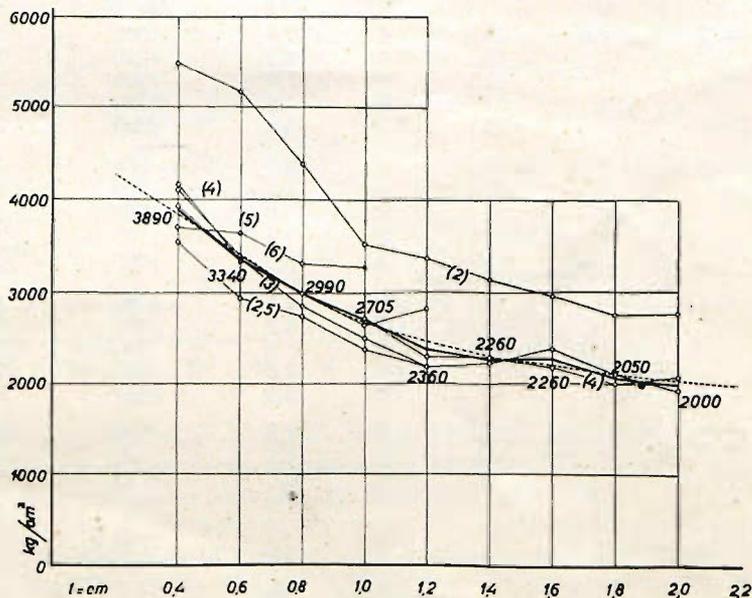


Fig. 9.

La résistance moyenne à la traction de 3 éprouvettes 8, 8/1, 8/2 d'une longueur de cordon $L = 4 \times 6 = 24$ cm est de 3060 kg/cm^2 (l'épaisseur des cordons étant $t = 8 \text{ mm}$). Pour les éprouvettes 14, 14/1, 14/2 dont les dimensions des soudures sont comme ci-dessus, la résistance moyenne à la traction est de 3760 kg/cm^2 .

Les résultats de la troisième série, de longueur $L = 8 \text{ cm}$, n'ont pas été pris en considération pour l'étude graphique générale du rapport entre l'épaisseur de la soudure et sa résistance par unité de surface, étant donné les résultats très élevés des résistances à la traction.

Troisième série d'éprouvettes :

	Eprouvette No.	t mm	Surf. cisailée F' cm ²	P kg	$\frac{P}{F'}$	
					kg/cm ²	
$L = 4 \cdot 2 = 8 \text{ cm}$	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 moyen	12	6,8	21500	3170	
	4 moyen	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 moyen	4	2,26	—	5500	
$L = \text{const.} = 4 \cdot 3 = 12 \text{ cm}$	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	
	$L = \text{const.} = 4 \cdot 4 = 16 \text{ cm}$	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	
32		8	9,05	32400	3580	
28		6	6,78	24200	3570	
24		4	4,51	20800	4600	
$L = \text{const.} = 4 \cdot 5 = 20 \text{ cm}$		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	

Les résultats des trois séries sont portés sur les fig. 3, 4, 5, 6, 7, 8, où les résultats correspondant aux longueurs particulières des soudures sont indiqués séparément comme suit :



nr. 343

- Fig. 3. $l = 2$ cm $L = 4 / l = 8$ cm
 „ 4. $l = 2,5$ cm $L = 10$ cm
 „ 5. $l = 3$ cm $L = 12$ cm
 „ 6. $l = 4$ cm $L = 16$ cm
 „ 7. $l = 5$ cm $L = 20$ cm
 „ 8. $l = 6$ cm $L = 24$ cm

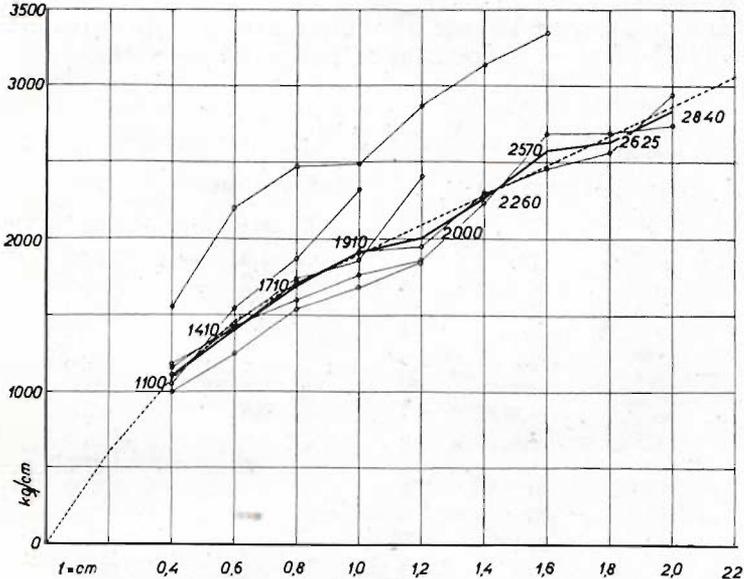


Fig. 10.

La représentation graphique générale, pour toutes les épaisseurs exécutées et pour les longueurs des cordons de soudure, est effectuée sur la

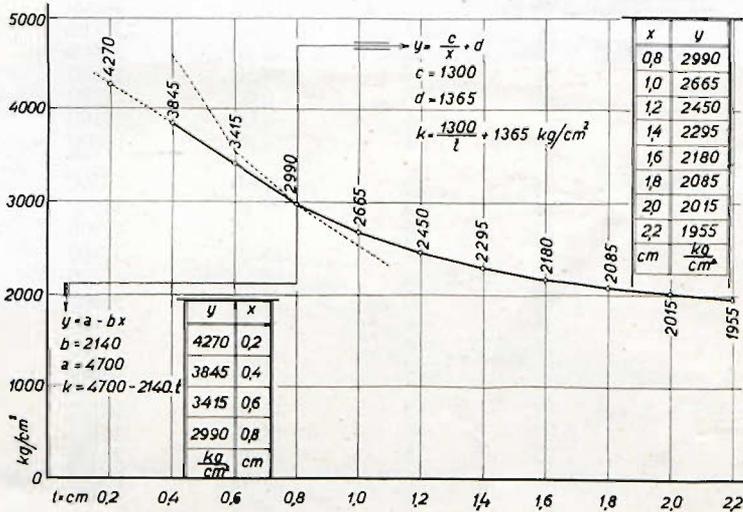


Fig. 11.

fig. 9. On n'a porté que les valeurs moyennes des résultats indiqués sur les fig. 3, 4, 5, 6, 7, 8.

La courbe des résultats des éprouvettes de la troisième série est frappante étant donné la longueur totale des soudures $L = 4 \times 2 = 8$ cm car elle se trouve beaucoup au-dessus des autres. Les autres résultats sont sen-

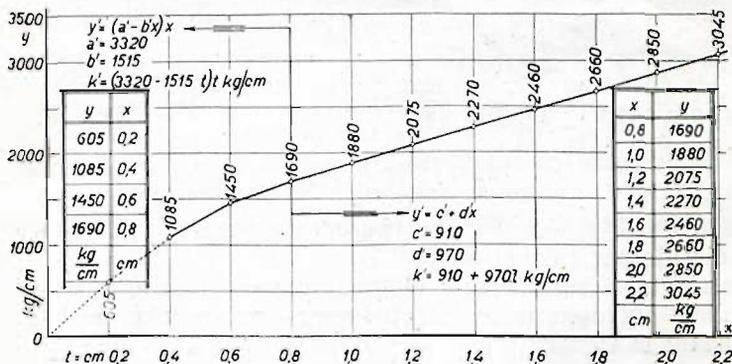


Fig. 12.

siblement groupés autour d'une même courbe. Les résultats correspondant à la soudure de 10 mm, d'une longueur de 24 cm (3285 kg/cm²) ainsi qu'à la soudure de 12 mm, d'une longueur de 20 cm font peut-être exception. L'allure des courbes correspondant aux longueurs des soudures $L = 20$ cm et aux longueurs plus importantes (au-delà de 10 mm, 12 mm) est inconnue

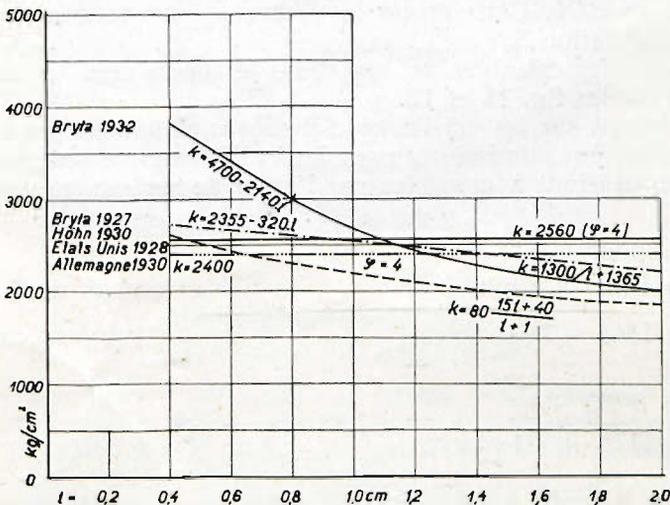


Fig. 13.

mais, de toute évidence, ce sont des courbes ayant la même allure que les précédentes et seuls les résultats des éprouvettes exceptionnellement bien exécutées peuvent être discutables.

La fig. 10 représente les mêmes valeurs que la fig. 9, mais rapportées à l'unité de longueur de la soudure tandis que les valeurs précédentes étaient rapportées à l'unité de surface.

A partir des résultats indiqués sur les fig. 9 et 10 on a calculé les valeurs moyennes pour chaque ordonnée d'épaisseur des soudures. La courbe

reliant ces valeurs moyennes nous donne la relation entre la résistance unitaire de la soudure et sa dimension transversale.

Pour les épaisseurs de soudure de 4 à 8 mm on peut considérer cette courbe comme une ligne droite d'équation:

$$k = a - b t \text{ kg/cm}^2$$

où $a = 4700$ et $b = 2140$.

Pour les épaisseurs de soudure dépassant 8 mm la courbe ci-dessus est une hyperbole dont l'équation est:

$$k = \frac{c}{t} + d \text{ kg/cm}^2$$

où $c = 1300$ et $d = 1365$. Cette hyperbole est pour $t = 8$ mm tangente à la droite définie par l'équation 3.

En calculant la résistance à la traction pour l'unité de longueur de la soudure, nous obtenons pour les épaisseurs de soudure de 4 à 8 mm une parabole ayant la forme:

$$k' = (a - b t) \cdot 0,7 t = (a' - b' t) t \text{ kg/cm. c}$$

$$\text{où } a' = 0,7 a = 3320, \quad b' = 0,7 b = 1515$$

Pour les épaisseurs au-dessus de 8 mm on obtient la droite dont l'équation est:

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

où $c' = 910$, $d' = 970$. Cette droite est pour $t = 8$ mm tangente à la parabole définie par l'équation 5.

Les ordonnées calculées des équations ci-dessus sont représentées graphiquement sur les fig. 11 et 12.

En se basant sur les équations ci-dessus mentionnées on a calculé les valeurs des tensions admissibles pour les coefficients de sécurité $n = 3$ et 4.

Pour les tensions admissibles par l'unité de surface nous obtenons les équations:

pour $n = 3$	
$t = 4 \text{ mm à } 8 \text{ mm}$	$t = \text{au dessus de } 8 \text{ mm}$
$k = 1565 - 715 t \text{ kg/cm}^2$	$k = \frac{435}{t} + 455 \text{ kg/cm}^2$

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

Pour les tensions admissibles par unité de longueur de soudure, les équations suivantes répondent aux équations précédentes:

$t = 4 \text{ mm à } 8 \text{ mm}$	$t = \text{au dessus de } 8 \text{ mm}$
$n = 3$	
$k = (1105 - 505) t \text{ kg/cm. c}$	$k = 305 + 320 t \text{ kg/cm. c}$
$n = 4$	
$k = (830 - 380 t) t \text{ kg/cm. c}$	$k = 230 + 240 t \text{ kg/cm. c.}$

La spécification des tensions admissibles, proposées ou bien adoptées jusqu'ici est représentée sur la fig. 13.

En outre, on a exécuté pour la série II:

a) une analyse chimique portant sur le métal de la tôle pour C, P, S, Mn, Si et l'examen macro- et microscopique,

b) pour les soudures elles-mêmes des essais métallographiques.

Moyenne de ces analyses:

C 0,12%, S 0,037%, P 0,046%, Mn 0,34% et Si 0,012%.

On a constaté la présence, à titre d'impuretés, de soufre et de phosphore en proportions moyennes, ainsi que la présence de scories.

Les mêmes éprouvettes seront utilisées pour déterminer la résistance au cisaillement des soudures latérales par rapport à leur longueur. Les essais supplémentaires avec des soudures beaucoup plus longues sont en cours.

Résumé.

Résistance des soudures latérales au cisaillement.

La résistance des soudures latérales en kg/cm² est admise d'ordinaire constante, indépendamment de leur épaisseur. En réalité la résistance des soudures plus minces (en kg/cm²) est plus grande. C'est pour cela que les prescriptions polonaises de 1928 admettaient $k = 2355 - 320 t$ en kg/cm².

Selon les essais de HÖHN (1930)

$$k = 80 \cdot \frac{15t + 40}{t + 1}$$

L'auteur décrit ses essais, à la base desquels il résulte que pour les cordons jusqu'à l'épaisseur 8 mm

$$k = 4700 - 2140 t$$

pour les cordons plus grands que 8 mm

$$k = \frac{1300}{t} + 1365.$$

Zusammenfassung.

Scherfestigkeit der Flankennähte.

Die Festigkeit der Flankennähte in kg/cm² ist gewöhnlich als konstant vorausgesetzt, unabhängig von ihrer Dicke. In Wirklichkeit ist die Festigkeit der dünneren Schweißnähte (in kg/cm²) größer. Deshalb nehmen die polnischen Vorschriften von 1928 an $k = 2355 - 320 t$ in kg/cm².

Nach den Versuchen von HÖHN (1930)

$$k = 80 \frac{15t + 40}{t + 1}$$

Der Verfasser beschreibt seine Versuche, auf Grund welcher folgt, daß für die Schweißraupen

bis 8 mm Dicke $k = 4700 - 2140 t$

über 8 mm Dicke $k = \frac{1300}{t} + 1365$

gilt.

Summary.

The strength of welds in parallel shear (in kg/cm^2) is usually assumed as constant, independent of their thickness. In reality the strength of thinner welded joints (in kg/cm^2) is greater. Consequently the Polish 1928 Rules assume $k = 2355 - 320t$ in kg/cm^2 .

According to HÖHN's tests (1930)

$$k = 80 \frac{15t + 40}{t + 1}$$

The author describes his tests; based on these it follows that we have for beads

up to 8 mm thick $k = 4700 - 2140t$

over 8 mm thick $k = \frac{1300}{t} + 1365$



nr. 343