Zeitschrift: IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH Kongressbericht

Band: 5 (1956)

Artikel: Possibilités offertes par les aciers français en construction soudée

Autor: Delcamp, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-5994

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 04.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

IIIb1

Possibilités offertes par les aciers français en construction soudée

Possibilities offered by french steels in welded construction

Verwendungsmöglichkeiten französischer Stähle geschweisste Bauwerken

Possibilidades oferecidas pelos aços franceses em construção soldada

A. DELCAMP

Professeur à l'Ecole Centrale des Arts et Manufactures
et à l'Ecole Spéciale des Travaux Publics
Ingénieur en Chef de la Compagnie de Fives-Lille

Paris

INTRODUCTION

En quelques années, en France, la construction soudée s'est imposée totalement dans les Ateliers de chaudronnerie, de tuyauterie, même à très haute pression, sur les chantiers de construction navale et les récents pétroliers de 38.000 Tonnes, ou même de 52.000 T. que construisent les Chantiers de St. Nazaire en sont le vivant exemple. Dans ces diverses industries, les machines à river sont mises au musée en attendant d'être riblonnées.

Dans le domaine de la construction métallique des ponts et charpentes, au contraire, la bataille en faveur de la soudure n'est pas gagnée et si des ouvrages soudés sont actuellement exécutés, c'est au prix de grandes difficultés et les ingénieurs des Administrations comme les Construteurs qui les conçoivent ou les réalisent, font encore figure de pionniers.

Cela tient, en particulier, à ce que depuis 1939, en raison des hostilités, la production sidérurgique française a rencontré de nombreux obstacles pour produire en quantité et à un prix abordable, les aciers réclamés par les constructions métalliques soudées.

C'est en partant d'une donnée économique que sera développé notre exposé technique sur les possibilités offertes par les aciers français pour les constructions soudées.

En effet, tandis que les Industries que nous avons déjà citées: chaudronnerie, tuyauterie, construction navale, peuvent payer des aciers

de qualité avec des majorations importantes sur les prix de base, c'est que l'emploi de la construction en acier s'impose; pour les ouvrages d'art et les charpentes, au contraire, la concurrence du béton armé et du béton précontraint est grande, ces matériaux ont pris naissance en France et leurs techniques sont défendues par des Ingénieurs de très grande valeur et par des entreprises de tout premier ordre. Il faut donc que les constructeurs métalliques puissent acheter aux forges des aciers de qualité à bon marché.

C'est cet impératif qui est à la base de nos difficultés.

I

NUANCES DIVERSES d'ACIERS SOUDABLES

A – *Acier Doux* (Adx)

C'est l'acier courant qui est produit par les forges françaises, avec plusieurs nuances, dont les principales sont:

— acier doux charpente dont la limite de rupture est comprise entre 35 et 45 Kgs/mm²,

— acier doux de construction avec limite élastique garantie de 24 Kgs/mm² répondant à la circulaire du Ministère de la Reconstruction et du Logement d'utilisation de l'acier dans les bâtiments.

Tous ces aciers, même sans autre garantie, sont pratiquement soudables, mais il ne saurait être question de les utiliser pour l'exécution de soudures soumises à des sollicitations importantes. Ils conviennent fort bien pour la serrurerie et les constructions légères.

Lorsqu'on veut les utiliser pour des ouvrages plus importants, il faut vérifier la composition chimique et les forges prévoient un contrôle de phosphore et soufre avec limites de:

$$P \leq 0{,}06\ \%$$
$$S \leq 0{,}06\ \%$$

moyennant un faible supplément de prix.

Pour les grandes constructions, ce contrôle doit être accompagné d'un minimum de résilience UF de 3 Kgs/cm².

B – *Acier Ac 42 Ponts et Chaussées*

Cet acier est couramment utilisé pour les ouvrages d'art avec:

— limite de rupture: 42 Kgs mm²
— limite d'élasticité: 24 Kgs mm²
— Allongement de rupture: 25 %

Les essais de réception actuels prévoient:

— essais de traction,
— essais de pliage à froid et à chaud pour les profilés,
— essais de résilience UF de 8 Kgs/cm².

Des essais systématiques de soudabilité ont été effectués récemment sur cet acier par l' Institut de Recherches de la Construction Navale qui a bien voulu nous communiquer les renseignements suivants:

Mode opératoire:

a Essais mécaniques,
b Analyses chimiques,
c Essais macrographiques,
d Essais de résilience à diverses températures,
e Essais de déchirement Kahn — Imbenbo,
f Essais de fragilité Schnadt.

Résultats des essais

1.° – *Influence de l'épaisseur*

Dans l'ensemble, la qualité diminue quand l'épaisseur augmente, comme le montrent les résiliences qui, à 0°, sont bonnes pour de faibles épaisseurs, mais entre 18 et 25 mm, on est déjà dans la zone de transition à 0°.

Les températures de transition caractérisées par la résilience UF = 3 sont, avec 12 mm d'épaisseur, à — 28°, en moyenne, et avec 25 mm à — 16°.

L'essai Schnadt montre qu'en épaisseur de 25 mm, les aciers sont déjà un peu sensibles aux entailles à la température de 0°.

Il faut, en conclusion, être très prudent pour des aciers de plus de 25 mm d'épaisseur.

Il faudrait envisager une modification de composition chimique.

2.° – *Influence du recuit sur la qualité des aciers effervescents*

Une constatation essentielle est que le recuit remonte légèrement les points de transition, mais n'améliore pas sensiblement la qualité, il ne peut être envisagé que pour les fortes épaisseurs.

3.° – *Utilisation des aciers chaudières effervescents recuits*

Ces aciers ne doivent pas être préconisés; ils comportent, sans plus de qualité, tous les risques consécutifs au recuit pour les aciers de cette catégorie.

4.° – *Possibilité d'amélioration des aciers effervescents par augmentation du rapport Mn/C*

Les essais montrent que l'augmentation du rapport Mn/C se fait toujours avec bénéfice, variable d'ailleurs suivant le type d'essais:

La résilience est nettement améliorée à 0° et le point de transition baisse de 15° quand Mn/C passe de 2 à 3.

L'influence est nette sur les déchirements et sur l'essai Schnadt à 0°.

En conclusion, il faut réaliser des aciers avec Mn/C nettement supérieur à 2,5 %.

5.° – *Aciers semi-calmés — Influence du recuit*

Ces aciers ne sont produits en France que depuis 3 ou 4 ans, et il est trop tôt pour conclure, mais les premiers résultats montrent que ces aciers, en fortes épaisseurs, ne sont pas meilleurs que les aciers effervescents avec Mn/C élevé supérieur à 3.

Le recuit n'apporte guère d'amélioration et l'intérêt économique du recuit reste discutable.

6.° – *Aciers calmés*

Ls résultats sont excellents et ne sont guère modifiés pour les fortes épaisseurs. Les caractéristiques de transition sont nettement plus basses.

C – *Acier Ac 55 à haut résistance*

Avant 1939, cet acier était dénommé en France Acier 54 au chrome cuivre, mais, depuis la guerre, en raison des inconvénients résultant de la présence du cuivre dans les ferrailles, les forges françaises lui ont substitué un acier manganèse donnant les mêmes caractéristiques:

— Limite de rupture: 54 à 63 Kgs mm²
— Limite d'élasticité: 36 Kgs mm²
— Coefficient d'allongement: 20 %
— Résilience UF: 7 Kgs/cm²

C'est cette nuance d'aciers qui soulève actuellement le plus de difficultés pour une production à un prix acceptable.

La Chambre Syndicale de la Construction Métallique, le Laboratoire de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, l'Institut de Recherches de la Sidérurgie, l'Institut International de la Soudure et l'Institut de Recherches de la Construction Navale, ont multiplié les essais depuis plusieurs années.

Les premiers essais ont porté sur des épaisseurs de 12 mm avec composition chimique (tableau I).

$$C \leq 0{,}22\,\%$$
$$\left.\begin{array}{l} S \leq 0{,}04\,\% \\ P \leq 0{,}04\,\% \end{array}\right\} (S + P) \leqq 0{,}07\,\%$$

TABLEAU I

Aciers soudables à haute résistance

Composition Chimique

Nuance	Repère	C	Mn	Cr	Ni	Va	Cu	Si	S	P	S + P
Aciers au Manganèse	n.° 1	0.22	1.29	0.19	0.50	—	0.13	0.25	0.025	0.030	0.055
	11	0.21	1.30	—	0.06	—	—	0.27	0.030	0.020	0.050
Manganèse chrome	6	0.13	1.29	0.37	0.20	—	0.16	0.13	0.015	0.015	0.030
	8	0.21	1.13	0.49	0.09	—	0.13	0.32	0.015	0.025	0.040
	9	0.24	1.33	0.33	0.14	—	0.15	0.20	0.020	0.020	0.040
	10	0.28	1.48	0.41	0.22	—	—	0.19	0.020	0.015	0.035
Manganèse Vanadium	2	0.19	1.40	0.16	0.10	0.16	0.14	0.28	0.035	0.035	0.070
	4	0.17	1.36	0.11	0.11	0.09	0.13	0.13	0.020	0.030	0.050
	5	0.18	1.45	0.21	0.13	0.10	0.07	0.14	0.025	0.040	0.065
	7	0.20	1.61	0.31	0.20	0.17	0.11	0.11	0.010	0.020	0.030
Chrome Cuivre	3	0.21	1.03	0.52	0.11	—	0.48	0.21	0.015	0.025	0.040

TABLEAU II

Essais de traction

Nuance	N°	Sens	R	E (0,2 %)	A	R + 2,5 A	Striction Σ %
Mn	1	L	57.4	37.9	26	122.4	64
		T	57.4	35.5	24.6	118.9	67
	11	L	54.9		24.1	115.2	51
		T	55		21.3	108.3	46
Mn Cr	6	L	47.2	27.9	31.4	125.7	76
		T	47.2	28.9	28.5	118.4	64
	8	L	59	36.2	27.5	127.7	66
		T	61.2	32.6	20.5	112.4	52
	9	L	62	35.8	23.7	121.2	62
		T	63.2	36.5	23.2	121.2	55
	10	L	56.1	34.5	24	116	63
		T	58.4	37	23.1	116.2	60
Mn V	2	L	60.7	41.5	29.5	134.4	65
		T	60.6	43.8	25.6	124.6	59
	4	L	54.1	35	28.5	125.3	67
		T	54.1	34.7	23	116.6	55
	5	L	60.4	42.3	27.3	128.6	66
		T	59.2	36.6	22.5	115.4	47
	7	L	60.5	47.8	24.5	121.7	70
		T	58.5	44.4	24.3	119.2	64
Cr - Cu	3	L	56.6	34.3	28.2	127.1	62
		T	56.7	34.5	26.5	122.9	60

TABLEAU III

Resiliences et températures de transition

Nuance	N°	Resilience U F			Température de transition en° C		
		à 20° C	à 0° C	à -20° C	K = 5	K = 3	Seuil de fragilité
Mn	1	8	7.7	7.5	- 60°	- 80°	- 110 à - 90°
	11	6	5.6	5.2	- 30°	- 80°	- 130 à - 110°
Mn Cr	6	13	11.7	10	- 60°	- 65°	- 90 à - 60°
	8	6	5.5	5	- 20°	- 65°	- 120 à - 80°
	9	6.5	6	5	- 20°	- 35°	- 80 à - 40°
	10	11	10.5	9.5	- 65°	- 75°	- 110 à - 90°
Mn V	2	9.5	8.5	7.5	- 70°	- 100°	- 150 à - 110°
	4	7	6.2	5.3	- 30°	- 65°	- 100 à - 80°
	5	4.5	4.3	4	(+ 50°)	- 60°	- 120 à - 80°
	7	15	13	11	- 70°	- 80°	- 120 à - 80°
Cr Cu	3	9.5	8.5	7.5	- 55°	- 75°	- 110 à - 80°

Les valeurs des températures de transition ont fait l'objet d'une vérification.

Les températures du seuil de fragilité ne doivent être considérées que comme ordre de grandeur, par suite de la dispersion des résultats dans cette zône.

TABLEAU IV

Essais de soudage à franc bord

Nuance	N°	R Kg/mm²	Angles de pliage 2 e	Pliage à la presse Epaisseur des mandrins	Résilience U F
Mn	1	60.7	95 180 - 180	— 15 mm	10.5
	11	59.8	62 (1)	—	13
Mn Cr	6	49	180 - 180 - 180	à bloc	12.6
	8	61.1	180 - 180 165	15 mm —	11.1
	9	64.7	180 - 180 165	13 mm —	10
	10	62.8	50° - 55° (1)	—	11.6
Mn V	2	62.5	180 - 180 - 180	10 mm	8.6
	4	56.1	180 - 180 - 180	à bloc	10.8
	5	60.9	73 - 131 180	— 15 mm	11.3
	7	59.4	180 - 180 - 180	à bloc	9.6
Cr Cu	3	59.8	180 - 180 155	7 mm —	10.7

(1) Première crique à la jonction soudure métal de base.

En outre, certains aciers contenaient du vanadium mais leurs prix sont tels qu'ils ne pourront être utilisés que pour des travaux spéciaux, la construction métallique courante étant surtout intéressée par les aciers Cr-Cu, Mn-C ou Mn-Cr.

Les essais de traction sur métal de base (tableau II) ont été complétés par des essais de résilience à diverses températures dont les résultats sont résumés dans le tableau ci-après (tableau III).

Des essais Schnadt ont été également exécutés (barreau Charpy 10 × 10 × 55 avec entaille très fine), il y a corrélation entre les résultats des méthodes sur éprouvettes de résilience UF et Schnadt avec décalage moyen des températures de transition de l'ordre de 50°.

D'autre part, de multiples essais ont été faits sur joints soudés:

Essais mécaniques sur joints soudés

Les aciers ont tous été soudés à franc bord, avec électrodes Marine 60, sans aucune difficulté ni incident.

Les éprouvettes soudées, prélevées sur les joints, ont fait l'objet d'essais de traction, de pliage et de résilience.

Les résultats en sont reproduits sur le tableau IV.

Résistance:

Toutes les éprouvettes ont cassé hors soudures pour des valeurs supérieures de 1 à 2,5 Kg/mm² à celles du métal de base.

Angles de pliage:

Ces pliages sont dans l'ensemble satisfaisants. Ce sont ceux du métal déposé. Un très grand nombre de pliages à bloc ont pu être exécutés. Les aciers 10 et 11 ont des angles de pliage relativement faibles.

Résilience:

Les résultats sont également satisfaisants, comme on pouvait s'y attendre d'après la nature de l'électrode employée. Ces résiliences sont, en effet, celles du métal de base qui aurait pu être défavorablement influencé par le soudage. Les résiliences des joints soudés sont généralement égales, ou supérieures, aux résiliences des aciers de base.

On notera qu'aucune résilience de joint soudé n'est inférieure à 8,6.

Essais de billage sur joint soudé

Ils ont été effectuées par billages BRINELL et par billages ROCKWELL; les résultats sont reproduits sur le tableau V.

On peut déduire de ce tableau que:

a) sauf pour les Aciers 2, 7, 8, 9 et 11, la résistance de la soudure est supérieure à celle du métal de base d'environ 10 à 20 %,

TABLEAU V

Essais de billage

(Rockwell & Brinnell)

Tous les résultats sont exprimés en dureté Brinell

Nuance	N°	Dureté initiale (1)	Dureté du métal déposé (2)	D (3)	Zone affectée par la soudure			
					Partie basse (4)	(5)	Partie haute (6)	(7)
Mn	1	156	166	+ 10	175	+ 19	197	+ 41
	11	162	165	+ 3	165	+ 3	173	+ 11
Mn Cr	6	146	174	+ 28	163	+ 17	170	+ 24
	8	162	171	+ 9	204	+ 42	235	+ 73
	9	169	178	+ 9	195	+ 26	240	+ 71
	10	159	178	+ 19	235	+ 75	242	+ 83
Mn Va	2	172	172	0	213	+ 41	244	+ 72
	4	150	185	+ 35	179	+ 29	176	+ 26
	5	167	181	+ 14	206	+ 39	233	+ 66
	7	167	175	+ 8	238	+ 71	250	+ 83
Cr Cu	3	156	182	+ 26	210	+ 54	223	+ 77

(1) Moyenne de mesures faites par Billage Brinell et par billage Rockwell à 40 mm.
(2) Mesuré par billage Brinell au centre du V du métal déposé.
(3) Différence Brinell entre métal déposé et métal de base.
(4) et (6) Mesuré par Billage Rockwell.
(5) et (7) Durcissement par rapport au métal non affecté (exprimé en unités Brinnel).

TABLEAU VI

Essais de pliage sous cordon fissuré
(Essai Dutilleul)

Nuance	N°	$\frac{S2}{S}$	$\frac{D}{C}$	Critérium de Classement	
				$1-\frac{D}{C}$	$K_1=\frac{S2}{S}+\frac{(1-D)}{C}$
Mn	1	0.51	0.07	0.93	1.44
	11	0 42	0	1.00	1.42
Mn Cr	6	0.67	0.27	0.73	1.40
	8	0.54	0.20	0.80	1.34
	9	0.42	0.68	0.32	0.74
	10	0.50	0.35	0.65	1.15
Mn Va	2	0.50	0.36	0.64	1.14
	4	0.50	0.23	0.77	1.35
	5	0.55	0	1.00	1.55
	7	0.63	0.20	0.80	1.43
Cr Cu	3	0.46	0.56	0.44	0.90

Classement d'après $1-\frac{D}{C}$ = 11 (5), 1, 7, 8, 4, 6, 10, 2, 3, 9

Classement d'après K_1 = (5), 1, 7, 11, 6, 4, 8, 2, 10, 3, 9.

TABLEAU VII

Classement des aciers d'après les résultats des essais Kinzel sur éprouvettes soudées

D'après la température de transition t z s		D'après l'écart des températures de transition $\Delta t = t\ z\ s - t\ z$		D'après $t\ z\ s + \Delta t$	
N°	Type	N°	Type	N°	Type
11	Mn	9	Mn - Cr	7	Mn - Va
7	Mn - Va	7	Mn - Va	8	Mn - Cr
2	Mn - Va	8	Mn - Cr	2	Mn - Va
10	Mn - Cr	2	Mn - Va	10	Mn - Cr
3	Cr - Cu	10	Mn - Cr	3	Cr - Cu
8	Mn - Cr	3	Cr - Cu	9	Mn - Cr
9	Mn - Cr			5	Mn - Va
5	Mn - Va				

Les aciers n° 1, 4 et 6 n'ont pas été essayés.

La mesure de Δt sur aciers n° 11 et l'acier 5 a été impossible.

b) la dureté BRINELL des aciers proposés est assez voisine de 160 (de 150 à 172, si l'on fait abstraction de l'acier 6).

c) Les augmentations de dureté dans la zone affectée par la soudure sont assez peu marquées. Dans la partie basse, l'augmentation varie de 19 à 61 unités BRINELL, et dans la partie haute, vis à vis du dernier cordon déposé, de 26 à 83.

Le maximum de dureté constaté est de 250 BRINELL.

Ces mesures confirment qu'il s'agit dans l'ensemble de nuances bien étudiées en matière de ductilité et de non trempabilité.

Essais d'encastrement R. D.

Les essais d'auto-encastrement ont été exécutés suivant la norme anglaise du Research Department.

Deux essais ont été effectués par nuance d'acier.

En aucun cas, l'examen visuel des éprouvettes brutes de soudage n'a permis de déceler des fissures dans le joint ou à son voisinage, ce qui permet de conclure favorablement pour l'ensemble des aciers examinés, l'essai étant relativement sévère.

Essais de pliage sous cordon fissuré Dutilleul

Les essais de pliage sous cordon fissuré ont été exécutés conformément aux indications des spécifications de la Marine Nationale.

Les résultats de ces essais sont reportés sur le tableau VI. Il est possible de caractériser ce mode d'essai par différents coefficients qui font intervenir les quantités $\frac{S2}{S}$ et $\frac{D}{C}$

$\frac{S2}{S}$ est le rapport du travail de déchirement au travail total de pliage et de cassure,

$\frac{D}{C}$ est le rapport entre les chutes brutales de l'effort de déchirement à l'effort maximum de pliage.

Le coefficient $K_1 = \frac{S2}{S} + (1 - \frac{D}{C})$ a été considéré pendant longtemps comme le plus intéressant pour les aciers à haute résistance. Si l'on admet que l'on doit rejeter les aciers pour lesquels $K_1 < 1$, on éliminerait les aciers 9 et 3.

En fait, on peut considérer que le critérium:

$$\frac{D}{C} < 0{,}5 \quad \text{ou} \quad 1 - \frac{D}{C} < 0{,}5$$

a une valeur au moins égale, sinon supérieure.

Ceci éliminerait également les aciers 9 et 3.

On notera avec étonnement que l'acier 5 vient en tête: ceci semblerait indiquer que l'essai de pliage sous cordon fissuré est moins influencé par le feuilletage ou le dédoublement que les autres essais, et en particulier, l'essai Kinzel dont les résultats sont exactement inverses.

Essais Kinzel sur métal soudé

Les résultats des essais Kinzel sur métal soudé ont été reproduits tableau VII, 2ème colonne (Température t z s). Ils permettent de constater que l'apport d'un cordon de soudure sur la surface du métal augmente la température de transition.

Cet essai permet un double classement des aciers au point de vue de leur «soudabilité» suivant que l'on considère la valeur de la tempépérature de transition de l'échantillon soudé t z s, ou l'écart des températures de transition entre échantillon non soudé et échantillon soudé: t z s - t z.

Le classement des aciers en fonction de t z s n'apparait pas comme très différent de celui qui est donné par la température sur métal non soudé t z.

Le classement d'après l'écart Δ t = (t z s - t z) parait, au contraire, original et indépendant du précédent (tableau VII – 2ème colonne). Il caractérise en quelque sorte la «sensibilité» du métal à la soudure.

L'acier 9 cependant peu satisfaisant par ailleurs, apparait comme étant peu sensible à la soudure. On voit que cette caractéristique ne saurait être considérée isolément.

En fait, si l'on admet que la valeur absolue de la transition t z s doit entrer en ligne de compte dans le classement, et qu'il faut faire également intervenir l'écart Δ t, on peut être tenté de combiner les deux critères de la façon la plus simple, c'est à dire, en prenant leur somme:

$$t\ z\ s + \Delta\ t$$

qui constitue une sorte de «température de classement».

La 3ème colonne du tableau VII indique le classement correspondant.

Conclusions

Les conclusions que l'on peut tirer de l'ensemble de ces essais paraissent assez nombreuses, et nous pouvons les résumer comme suit, en distinguant les essais mécaniques «banals» (fragilité et fissilité), et les essais dits de soudabilité constitués par l'ensemble des essais Dutilleul et Kinzel.

a) *Essais mécaniques* (fragilité et fissilité).

On peut considérer comme acquis les points suivants:

1.° – Si l'on fait abstraction d'un seul acier dont la composition était erronée (N.° 6), les forges françaises ont proposé 10 aciers à haute résistance sensiblement conformes à la spécification originale.

TABLEAU VIII

Comparaison de coulées Thomas à fort Mn/C et de coulées Martin

Coulée	Composition Chimique							Brut		Vieilli 10 %		Δ T_t
	C	Mn	$\frac{Mn}{C}$	S	P	N2	02	T_t	s	T_t	s	
3 T	0,07	0,31	4,4	0,043	0,047	0,0060	0,012	- 7°5	+ 5°5	20°5	7°	28°
4 T	0,07	0,37	5,3	0,046	0,034	0,0060	0,028	- 20°	6°	23°5	5°2	43°5
7 T	0,05	0,20	4	0,044	0,029	0,0060	0,032	1°	4°5	35°5		34°5
8 T	0 05	0,21	4,2	0,048	0,029	0,0070	0,035	- 3°5		36°5		40°
13 T	0,05	0,16	3,2	0,028	0,024	0,0050	0,048	14°	6°	35°		21°
1 M	0,14	0,24	1,7	0,035	0,031	0,0050		- 1°	4°	39°5	4°2	40°5
7 M	0,10	0,26	2,6	0,041	0,029	0,0055	0,011	- 7°	8°	40°	3°5	47°
8 M	0,08	0,21	2,6	0,049	0,029	0,0060		- 5°	5°5	27°	6°	32°
10 M	0,11	0,39	3,6	0,030	0,032	0,0055		- 10°	10°	34°	5°2	44°
13 M	0,10	0,24	2,4	0,030	0,030	0,0050		- 7°5	8°	34°5	3°8	42°

T_t = température de transition
s = écart-type
Δ T_t = différence des températures de transition aux deux états

2.° – Les forges ont recherché des formules de composition variées:

— Acier au manganèse (type 50 Marine renforcé),
— Acier au manganèse-chrome (dérivé du 60 Marine adouci),
— Acier au manganèse-vanadium à haute limite élastique,
— Acier au chrome-cuivre (dérivé de l'acier A 54 des Ponts et Chaussées).

3.° – Tous ces aciers ont subi un traitement de normalisation avant livraison, leur critérium de qualité est supérieur à 110 en travers et 120 en long; le «travers» des aciers N.° 5, 4 et 8 est assez marqué.

4.° – Les limites élastiques peuvent être garanties; 34 ou 36 Kgs/mm² dans le cas général — 40 Kgs dans le cas des aciers au Manganèse-Vanadium (sauf pour l'acier 4).

5.° – Toutes les courbes résilience/température sont nettement satisfaisantes (résilience UF 3 toujours inférieure à -60° sauf pour l'acier N.° 9). Les résultats montrent que ces aciers conservent une bonne plasticité et des possibilités d'adaptation à toutes les températures usuelles, comme il ressort du graphique d'ensemble.

6.° – Les études de comportement sous entaille très fine, menées à l'aide de l'éprouvette Schnadt de cohéracie montrent également une tenue systématiquement satisfaisant au-dessus de 0°. Les aciers 7, 2, 6 et 1 donnent pratiquement toute garantie en-dessus de -20° C. Les aciers 3, 4, 5, 9 et 8 paraissent, à cet égard, d'une qualité moins élevée.

7.° – Les essais de déchirement Kahn-Imbenbo effectués à titre indicatif en utilisant un critérium énergétique (travail de déchirement), confirment la bonne qualité générale de ces aciers. L'acier 8 serait un peu moins satisfaisant.

En résumé, les essais mécaniques de fragilité permettent d'éliminer l'acier N.° 5, incorrectement chuté. Les aciers 8, 3 et 9, plus moyens, se placent vers la limite des critériums généralement admis.

b) *Essais de soudabilité.*

Les résultats apparaissent comme satisfaisants en matière de soudabilité opératoire, et de soudabilité locale, les aciers ne sont pas auto-trempants et donnent de bons résultats aux essais de traction et de pliage sur joints soudés à franc bord.

Les essais Kinzel et Dutilleul ont fait ressortir qu'un classement général des aciers peut être établi d'après leurs indications partielles, car il existe incontestablement une certaine relation d'allure très large entre les critériums d'appréciation utilisés.

L'ordre de valeur décroissant des aciers proposés parait être le suivant:

— Aciers acceptables: 7, 11, 2, 10, 1, 4 et 8
— Aciers douteux: 3
— Aciers inacceptables: 9 et 5.

La coulée 5 (Manganèse-vanadium) est affectée par des défauts microscopiques. La température de transition Kinzel est, de ce fait, très mauvaise.

La coulée 9 (Manganèse-chrome), est peu satisfaisante. Elle est déficiente tant en fragilité qu'en soudabilité.

La coulée 3 (Chrome-cuivre) est relativement correcte en matière de fragilité, mais sa soudabilité à l'essai Dutilleul peut être suspectée.

Les coulées 8 (Manganèse-chrome) et 4 (Manganèse-vanadium) paraisent moyennes à tous égards.

La coulée 1 (Manganèse-nickel) dont la composition est dûe à une erreur de fabrication, est apparemment avantagée par sa teneur en nickel.

La coulée 11 (Acier au Manganèse), qui l'a remplacée, a des températures de transition plus satisfaisantes, des résiliences ou énergies de déchirement moins brillantes et une moindre ductilité au pliage.

La coulée 10 (Manganèse-chrôme), a remplacé l'acier 6 dont la résistance était insuffisante.

Les coulées 7 et 2 (Manganèse-vanadium) paraissent convenables, en dépit de légères microfissures accidentelles relevées au cours de l'essai RD sur l'acier N.° 2.

En conclusion, il semble bien prouvé que pour des épaisseurs de l'ordre de 12 mm, il soit possible d'accepter des formules de composition sensiblement différentes.

c) *Essais sur tôles de 25 mm.*

Ces essais ont été repris avec des tôles de 25 mm pour les aciers Mn-Cr et Mn-C.

Sur métal de base, on a constaté que la limite d'élasticité ne dépassait pas 34 Kgs/mm².

La résilience est en nette augmentation et la température de transition est majorée de l'ordre de 20°.

Les essais de soudage ont montré la supériorité de l'acier Mn-C, de sorte que l'on est conduit à conseiller du point de vue économique, un acier donnant:

R = 52 Kgs/mm²
C ≤ 0,20 %
Mn: 1,20 à 1,35 %
Si : ≤ 0,30 %

d) *Aciers durs pour rails et fils de câbles.*

Nous ne dirons que quelques mots des aciers nuance 70/75 Kg/mm², pour rails soudables avec certaines précautions, mais qui pourraient être utilisés en construction métallique soudée dans certains cas particuliers d'éléments travaillant en compression.

Enfin, nous citerons pour mémoire, l'acier spécial pour câbles de ponts suspendus ou pour appareils de levage, donnant 150 Kgs/mm² ou même 180 Kgs/mm² avec fils soudés bout à bout lors du câblage.

II

AMELIORATIONS APPORTEES DANS L'ELABORATION DES ACIERS THOMAS

Toutes les nuances d'acier soudables dont nous avons parlé précédemment, en dehors des aciers pour rails, sont normalement élaborées au procédé Martin.

L'utilisation d'acier Thomas présente, cependant, pour l'Europe occidentale, un gros intérêt tant en raison des minerais existants que la rareté des ferrailles.

Les reproches adressés couramment à l'acier Thomas sont les suivants:

a) Plus grande fragilité, en particulier à basse température,

b) Moindres aptitudes à la déformation à froid et à la soudabilité,

c) Risques accrus de déchirure après poinçonnage à froid,

d) Tendance à un vieillissement précoce.

Les recherches entreprises par les sidérurgistes, ont montré successivement que le soufre, le phosphore, l'azote et l'oxygène que l'on rencontre en plus grandes quantités dans l'acier Thomas que dans l'acier Martin, sont les causes principales des insuffisances constatées.

Avant d'examiner les améliorations apportées à la fabrication de ces aciers, nous rappellerons les principales influences attribuées aux quatre éléments précités:

SOUFRE. — L'action nocive de cet élément est l'une des plus anciennement connue, surtout en ce qui concerne sa tendance à se rassembler aux joints des grains métalliques sous forme de sulfure de fer dont le point de fusion est à 985° et parfois (lorsque le métal est oxydé par une prolongation de sursouflage pour déphosphoration), sous forme d'une eutectique oxyde de fersulfure de fer dont le point de fusion est encore plus bas (940°).

Cette prédisposition du soufre rendrait le métal «rouverin», si l'on ne procédait pas à une addition de manganèse formant un sulfure de manganèse ou un sulfure double de manganèse dont les points de fusion se situent respectivement aux alentours de 1610° et 1400°.

Pour des teneurs à peine supérieures à 0,025 %, le soufre manifeste déjà son action, en tant que facteur de fragilité, et cette action provoque une diminution notable des résiliences surtout dans le travers des aciers, dès que la teneur atteint $\geqq$ 0,06 %.

Le soufre a, de plus, une grande tendance à la ségrégation du fait de sa grande solubilité dans le métal à froid et les liquides de dernière solidification sont les plus riches en soufre, d'où manque d'homogénéité de l'acier avec, comme conséquences, des zones plus ou moins grandes de fragilité et risques accrus de mauvais comportement de l'acier en cours de soudure.

PHOSPHORE. — Tout comme le soufre et avec les mêmes conséquences le phosphore a une tendance marquée à la ségrégation. Il forme avec le fer et le carbone, un eutectique contenant 1,96 % de carbone, dont le point de fusion est à 953°, tandis que l'eutectique normal fer-carbone à 4,3 % de carbone fond à 1145°.

Lorsque le métal est chauffé à une température élevée, l'eutectique formé provoque un grossissement persistant du grain ayant, comme conséquence, une fragilité accrue au revenu et une forte contribution à l'hétérogénéité du métal et à son inaptitude à la soudure.

Les gaines impures créées autour des cristaux primaires du métal par le phosphore sont les facteurs de diminutions de résilience et la cause des criques et cassures survenant au cours de pliages ou déformations permanentes du métal, surtout lorsque les travaux sont effectués à froid. Cette action s'amplifie au cours du vieillissement du métal.

Il y a lieu de noter que ces effets sont très peu sensibles lorsque la teneur en phosphore est inférieure à 0,02 % mais qu'ils sont notables lorsqu'elle atteint 0,06 %.

AZOTE. — Ce n'est que peu de temps avant la guerre de 1939 que des moyens pratiques d'analyse de cet élément ont été mis au point et ont fourni des résultats à l'abri du doute.

On admet généralement que cet élément forme autour des grains de métal pur des graines nitrurées qui, provoquent une augmentation sensible de la résistance et de la limite élastique avec comme corrolaire une diminution de l'allongement et de la résilience.

Il est à noter que de même que celle du phosphore, l'action de l'azote s'amplifie au cours du vieillissement du métal.

De récents essais ont confirmé les prévisions de STROHMEYER qui pensait que, pour des aciers dont la composition en éléments autres que le phosphore et l'azote est identique, l'augmentation de la fragilité du métal est fonction de la valeur de l'indice (P + 5 N), attribuant à l'azote un effet cinq fois plus grand que celui du phosphore.

Ceci explique les efforts actuels faits par les sidérurgistes du monde entier pour obtenir dans les aciers Thomas, des teneurs en azote se rapprochant de celles de l'acier Martin qui varient de 0,001 % à 0,008 %.

OXYGENE. — Dans le procédé THOMAS, la fraction la plus importante de cet élément est introduite dans le métal en fusion par l'air de soufflage, le restant étant apporté par les additions du métal faites au moment de la charge et parfois en cours d'affinage.

L'oxygène ne peut être dissous dans le bain qu'à l'état d'oxyde de fer qui se trouve en équilibre avec le carbone le silicium et le manganèse.

La teneur en oxyde de fer est d'autant plus élevée que ces derniers éléments se trouvent dans le bain en quantités moindres. De ce fait, en fin d'affinage, il est fréquent de constater que la teneur en oxyde de fer du métal, ou autrement dit, en oxigène, est très élevée, de l'ordre de 0,1 % et plus.

Comme la constante d'équilibre $C \times Fe\ O$ varie dans le même sens que la température, le départ de l'oxygène en excès au cours du refroidissement de l'acier dans les lingotières s'effectuerait sous forme d'oxyde de carbone, se traduisant par un fort dégagement gazeux d'une violence telle

qu'elle pourrait aller jusqu'à projeter presque complètement le métal hors de la lingotière.

Pour remédier à cet état de choses, dans toute la mesure possible, on ajoute à l'acier avant la coulée, des éléments avides d'oxigène, tels que: manganèse, aluminium, qui fixent l'oxygène libéré par la décomposition de l'oxyde de fer, en donnant des produits tous insolubles dans l'acier qui, suivant la grosseur des particules formées, décanteront dans le bain d'acier et remonteront en surface ou, au contraire, resteront emprisonnés dans le métal sous forme d'inclusions.

Ce métal effervescent, qui contient de nombreuses soufflures, mais dont la zone extérieure du lingot est particulièrement pure, présente une facilité d'emboutissage et donne de bons résultats à la soudure, à la forge. Mais, en contrepartie, le métal est beaucoup plus hétérogène que celui des aciers «calmés» et ses caractéristiques mécaniques sont moins favorables et surtout moins régulières; il présente également une grande aptitude au vieillissement, se traduisant par une augmentation de la fragilité. Certains sidérurgistes attribuent cette fragilité à la présence d'oxyde ferreux dissous dans les joints des grains de métal, alors que d'autres en rendent responsables les inclusions métalliques, ou non, apportées par la charge et les additions calmantes.

Les progrès réalisés depuis quelques années, ont mis à la disposition des aciéristes THOMAS, toute une gamme de moyens permettant de règler à volonté, dans de très larges limites, les teneurs en soufre, phosphore, azote, suivant les besoins.

Nous citerons, en particulier, la désulfuration au carbonate. C'est un affinage par addition de castine (pierre calcaire à base de carbonate de chaux) et de battitudes (copeaux d'acier et de ferrailles) ce qui permet de descendre l'azote au-dessous de 0,012 % et le phosphore au-dessous de 0,05 %.

D'autre part, le règlage précis de la température des charges et du point d'arrêt de l'opération par la mesure des débits de vent, l'emploi du pyromètre à immersion et des méthodes optiques d'observation de la flamme, permettent de limiter les teneurs en soufre, phosphore et azote.

Par ces moyens simples, à condition de fixer judicieusement les teneurs en carbone et en manganèse (rapport $\frac{Mn}{C}$ assez fort), on obtient des aciers THOMAS donnant des températures de transition du même ordre que celles de l'acier MARTIN, comme le montre le tableau VIII.

Si l'on veut aller plus loin, il faut avoir recours au soufflage avec du vent enrichi par des mélanges d'oxygène et de vapeur d'eau ou de gaz carbonique.

Les «aciers Thomas à l'oxygène», sont maintenant fabriqués industriellement. Le procédé d'affinage consiste en la substitution partielle ou totale, de l'oxygène à l'air de soufflage avec, pour conséquence, des réductions notables des teneurs en azote et phosphore, sans absorption notable d'oxygène en raison de la rapidité de l'opération réalisée.

Les fabrications entreprises en Europe Occidentale concernent surtout des aciers doux et extra doux, pour emboutissage et tréfilage. Le comportement de ces aciers au cours de l'emboutissage et des essais de vieillissement artificiel est comparable à celui des aciers Martin et le

prix de revient est inférieur, compte tenu du prix actuel des ferrailles.

Pour les aciers de construction métallique, le procédé à l'oxygène semble devoir donner satisfaction, sous réserve de mises au point techniques de fabrication.

Lorsque l'on veut réaliser des minima de fragilité et d'aptitude au vieillissement, il faut avoir recours pour l'acier Thomas comme pour le Martin, au «calmage».

C'est ainsi qu'a été mis au point, en France, le procédé Ugiperval, par émulsion de laitier dans la masse liquide.

Dans ce procédé, plusieurs laitiers sont successivement utilisés suivant les impuretés à éliminer. Ils sont fondus dans des fours électriques à arc de sole conductrice, et versés dans une poche de coulée.

Un choc violent entre métal et laitiers est provoqué en faisant basculer, d'une grande hauteur et en gros jet, le métal en fusion dans la poche de coulée. Le choc entraine les laitiers au sein du métal où ils s'émulsionnent en gouttelettes très fines et décantent sans laisser de traces d'inclusions dans le métal après solidification.

On obtient, en quelques minutes, des aciers dont les teneurs en soufre, phosphore, oxygène, peuvent être abaissées à un taux inférieur à celles observées pour les aciers Martin effervescents.

C'est un acier excellent. Malheureusement, la préparation des laitiers est très onéreuse et le prix de cet acier, actuellement, le fait réserver à des usages spéciaux comme les corps de chaudières à haute pression.

III

CARACTERISTIQUES À EXIGER DES ACIERS SOUDABLES

De ce que nous venons de dire au sujet des aciers Thomas améliorés, il résulte qu'il apparaitrait logique à l'avenir d'imposer non pas le mode d'élaboration des aciers de construction métallique, mais les caractéristiques d'analyse et d'essais mécaniques nécessaires pour garantir l'absence de fragilité, laissant au fournisseur le choix des moyens de réaliser au mieux les conditions imposées:

A – *Composition chimique*

Les teneurs maxima à exiger des divers éléments visant essentiellement en premier lieu S et P et en second lieu N et O'.

Les teneurs en C, Mn ou autres, doivent permettre une vaste gamme de fabrications à la disposition des forges.

Le rapport $\frac{Mn}{C}$ comme nous l'avons vu, doit être examiné de très près.

B – *Essais macrographiques et grosseur de grain moyenne*

Il s'agit, ici seulement, de la mesure du grain ferritique.

C – *Essais mécaniques*

Ce sont les essais de traction et le pliage qui doivent vérifier la résistance à la rupture, la limite élastique et le coefficient d'allongement, ce qui permettra de déterminer le critérium de qualité (R + 2,5 A).

D – *Essais de fragilité sur métal de base*

Ce sont les essais de résilience et de température de transition.

Ils peuvent être complétés par des essais Schnadt (cohéracie) de déchirement (KAHN-IMBENBO) et de pliage (KINZEL).

Ces essais doivent donner, en particulier, des renseignements sur la tenue des aciers à basse température.

IV

ESSAIS DE SOUDABILITE

La Commission de la soudabilité de l'Institut International de la Soudure, a établi une proposition pour une classification des essais de soudabilité.

Les essais pratiqués dans les divers pays sont très nombreux:

— Essais mettant en évidence les conséquences directes du cycle thermique de soudage 23
— Essais mettant en évidence la fissuration 14
— Essais mettant en évidence la fragilité... 16

Il est bien évident que, pratiquement, il faut faire un choix. D'ailleurs, il y a en réalité deux problèmes, celui d'identification d'un acier soudable permettant de fixer son *signalement*, et celui de *recette* de cet acier.

Les premiers essais doivent être assez complets, les deuxièmes, au contraire, très simples et économiques.

A – *Essais de signalement*

Ils comprendront l'analyse chimique, le contrôle macrographique. et la détermination de la grosseur du grain ferritique.

Ils seront complétés par des essais de soudabilité locale:

— Traction transversale et pliage sur assemblages bout à bout,
— Traction longitudinale et pliage sur assemblage soudé bout à bout,
— Dureté sous cordon.

Et de soudabilité globable:

— Aptitude à la fissuration par essais sur assemblages bridés,
— Sensibilité à l'effet d'entaille.

Résilience, essais de pliage sur entaille en V (Kinzel), Essai Schnadt ou Dutilleul, exceptionnellement pour les grosses épaisseurs, essai de pliage KOMMERELL sur éprouvette comportant une soudure déposée dans rainure longitudinale.

B – *Essais de recette*

Quant aux essais de recette, ils devront être, comme nous le disions ci-dessus, très simples et prouver seulement que l'acier livré correspond bien au «signalement» fixé.

Ils devront, à notre avis, se borner à des essais sur le métal de base: traction, résilience, et, éventuellement essai Schnadt.

Pour les aciers à haute résistance, il faudrait, en outre, prévoir:

— analyse chimique,
— contrôle macrographique,
— détermination de la grosseur du grain.

V

ELECTRODES ENROBEES DE SOUDURE À l'ARC

Pour réaliser des constructions soudées correctes, le métal de base compte beaucoup, mais le but ne serait pas atteint si des défauts résultaient d'une insuffisance des électrodes ou, si le matériel nécessaire à la mise en oeuvre des électrodes, ne remplissait pas son rôle essentiel.

En effet, la continuité de la matière, résultat auquel on atteint par le soudage, doit s'accompagner, obligatoirement d'une bonne homogénéité de l'ensemble, métal de base-zone soudée, particulièrement en ce qui concerne les propriétés mécaniques. Cette nécessité a conduit dans le domaine du soudage à l'arc, à la fabrication des électrodes enrobées. Le soudage à l'arc au fil nu, dans une atmosphère non protégée, est aujourd'hui pratiquement abandonné.

Rôle des enrobages

Les enrobages remplissent un rôle multiple au point de vue électrique, mécanique, physique et métallurgique.

Rôle électrique. — Les enrobages contiennent des substances aux propriétés ionisantes qui facilitent l'amorçage et la stabilité de l'arc. En particulier, c'est grâce à l'incorporation de ces substances dans les enrobages qu'on a réussi à mettre au point les électrodes fonctionnant en courant alternatif. En outre, étant isolants, les enrobages s'opposent à l'amorçage d'arcs secondaires.

Rôle mécanique et physique. — En fondant, l'enrobage forme un laitier dont la densité et la tension superficielle influent sur la forme et l'aspect du cordon. Mais, le rôle essentiel de l'enrobage résulte du fait que sa fusion s'effectue avec un certain retard sur celle du métal de l'âme.

Il se forme un cratère de profondeur variable qui facilite le guidage de l'arc, contribue à sa stabilité et permet de le tenir aussi court que possible. L'obtention d'un dépôt de métal sain, la possibilité de soudage «en position» se trouvent facilitées par les qualités mécaniques de l'enrobage.

Rôle métallurgique. — Au point de vue métallurgique, les enrobages permettent:

a) de protéger le métal fondu contre l'influence pernicieuse de l'oxygène et de l'azote atmosphérique, en entourant l'arc d'une gaine protectrice d'hydrogène, d'oxyde de carbone ou d'autres gaz résultant de la combustion de certaines matières organiques ou autres;

b) de maintenir, par équilibre chimique, un dosage suffisant en carbone, silicium ou manganèse, qui risquerait de disparaître partiellement par voie d'oxydation; c'est le rôle des ferro-alliages.

L'amélioration des qualités mécaniques du métal déposé, procurée par les enrobages, est mise en évidence par les valeurs comparatives suivantes:

Cractéristiques du métal déposé	Avec fil nu	Avec électrodes enrobées
Charge de rupture	R = 30 à 40 Kg/mm²	R × 1,5
Limite élastique...	E = 20 à 30 Kg/mm²	E × 1,5
Allongement	A = 5 à 10 %	A × 3
Résilience...	K = 1 kgm/cm²	K × 10

Classification des électrodes

Les électrodes de construction en acier au carbone, ou faiblement allié, sont classées par la norme française A 81.309, en fonction de leurs caractéristiques mécaniques: charge de rupture, allongement et résilience et de la nature de leurs enrobages.

En ce qui concerne ces enrobages, on distingue:

1.° – *Electrodes à enrobages cellulosiques*

2.° – *Electrodes à enrobages acides ou neutres:*

On distingue dans cette classe d'enrobages, les types suivants:

a) enrobages au ferro-manganèse;

b) enrobages à l'oxyde de fer;

c) enrobages en rutile (oxyde de titane) à haute teneur en oxyde de titane corps très ionisant.

3.° – *Electrodes à enrobages basiques:*

Renfermant du carbonate de chaux ou des produits donnant au laitier des propriétés basiques.

4.° – *Electrodes à enrobages cellulosiques, basiques ou acides à la poudre de fer*

Choix des électrodes

Toutes ces électrodes sont utilisables en courant alternatif, comme en courant continu. Toutefois, pour être utilisables en courant alternatif, les électrodes basiques demandent une tension à vide élevée, d'au moins 70 Volts.

Le choix des électrodes dépend essentiellement des caractéristiques chimiques et mécaniques des métaux de base, de la forme et de la dimension des pièces à souder, qui nécessitent souvent le soudage en position, et aussi de la vitesse de soudage à réaliser.

Des essais très récents ont montré que les électrodes actuelles remplissaient bien leur rôle:

Du point de vue de la composition chimique:

a) les dépôts bruts de fusion à l'arc sont, en général, à faible concentration en carbone ($C \leqq 0{,}10$ %) et à teneurs élevées en manganèse et silicium. Le rapport Mn/C de l'ordre de 1 pour les électrodes oxydantes, atteint 4 à 6 pour les électrodes acides et cellulosiques 5 à 7 pour les électrodes rutiles et dépasse largement 8 à 10 pour les électrodes basiques;

b) les teneurs en soufre et phosphore sont faibles ($S + P \leqq 0{,}05$), ceci résulte du choix initial de l'acier qui constitue l'âme de l'électrode et du contrôle des produits dans l'enrobage;

c) les teneurs en oxygène, azote et hydrogène, sont relativement élevées; les teneurs en azote peuvent atteindre 0,04 % pour les électrodes oxydantes; elles s'abaissent à 0,025 % pour les électrodes acides et rutiles et restent inférieures à 0,015 % pour les électrodes cellulosiques et basiques;

d) sauf pour les électrodes oxydantes, le métal est calmé et quelquefois surcalmé.

Du point de vue structural:

a) la structure ferritique du métal déposé est affinée par le traitement thermique des cycles de soudage;

b) la classification des électrodes de soudage en prenant comme critère la température de transition de fragilité, concorde bien avec celle qu'on peut déduire par d'autres critères comme les propriétés mécaniques;

c) aux basses températures, le cordon de soudure se comporte mieux que les aciers ordinaires de construction et au moins aussi bien que les meilleurs aciers.

VI

CONCLUSIONS

Pour que la construction métallique se développe pleinement, que faut-il?

1.° – Du côté de la Sidérurgie:

Il est indispensable que les producteurs fassent un gros effort de qualité, surtout pour les aciers à haute résistance, sans que les majorations sur les prix de base soient trop importantes.

2.° – Du côté des Architectes et des Ingénieurs:

Il faut que l'on pense «formes soudées» et que les études soient réalisées par des Bureaux d'études entrainés.

3.° – Du côté des Administrations:

Il faut que les Cahiers des Charges soient adaptés en liaison avec les Sidérurgistes et les Constructeurs.

RÉSUMÉ

Les constructions soudées en France sont en plein essor dans les industries de la chaudronnerie et de la construction navale. Pour les constructions métalliques des difficultés entravent le développement des ensembles soudés et cependant des possibilités existent.

Les constructeurs français ont obtenu de la Sidérurgie divers aciers avec garantie de soudabilité, et l'auteur du mémoire donne les derniers résultats des essais entrepris avec les aciers de plusieurs nuances: acier doux de construction, acier AC 42 des Ponts et Chaussées, acier à haute résistance.

Toutefois, la plupart de ces aciers ne sont pas produits en quantité suffisante d'où délais et prix élevés. C'est pourquoi, les améliorations que l'on peut apporter dans l'élaboration de l'Acier Thomas, doivent-elles retenir l'attention en vue d'arriver à des aciers dont le mode d'élaboration n'aura plus besoin d'être mentionné dans les Cahiers des Charges.

Il importe d'ailleurs de fixer les caractéristiques à exiger des aciers soudables et à préciser les conditions des essais de soudabilité, en séparant bien les essais complets d'identification d'un acier et ceux plus simples de réception courante.

Quant aux électrodes, de grands progrès ont été réalisés en France et l'on peut dire que ce problème est résolu favorablement.

En conclusion, pour que les constructions métalliques soudées se généralisent, il faut qu'une liaison continue entre la Sidérurgie, les Architectes et Ingénieurs et les Administrations permette la production d'aciers de qualité à des prix intéressants.

SUMMARY

In France welded construction is being increasingly used in boiler plate works and shipbuilding. In structural jobs, in spite of the existence of definite possibilities, a number of difficulties are keeping back development of welded assemblies.

French manufacturers have obtained from the Siderurgical Industries, a number of types of steel with guaranteed weldability; the author reports the latest results of experiments carried out with some of those: structural mild steel, AC 42 steel of the «Ponts et Chaussées», high tensile steel.

However, most of these steels are not produced in quantity, their prices are therefore high and their delivery long. Due to this situation, production of Thomas processed steel should be improved so as to reach a type of steel the production process of which need no longer be specified.

It is also important to decide on the specification of weldable steels and to define the weldability tests, sorting out the identification tests of a steel from the current reception ones.

As for electrodes, great progress has been made in France and the problem may be considered as favourably solved.

In conclusion, to generalise the use of welded constructions an active and continuous collaboration between the Siderurgical Industry and the Architects, Engineers and Public Administrations is necessary so as to enable the production of high quality steel at fair prices.

ZUSAMMENFASSUNG

Geschweisste Konstruktionen sind in Frankreich im Kessel- und Schiffsbau in vollem Aufschwung. Im Stahlbau hemmen noch Schwierigkeiten die Entwicklung geschweisster Bauwerke, doch es bestehen Lösungsmöglichkeiten.

Die französischen Konstrukteure erhielten von der Stahlindustrie verschiedene Stähle mit garantierter Schweissbarkeit, und der Verfasser dieses Beitrages gibt die Ergebnisse der letzten, an den verschiedenen Stählen durchgeführten Prüfungen: normaler Baustahl, Stahl AC 42 der Ponts et Chausées, hochwertiger Stahl.

Die Mehrzahl dieser Stähle werden jedoch nicht in genügender Menge und deshalb mit erhöhten Fristen und Preisen hergestellt. Daher verdienen die Verbesserungen in der Verhüttung des Thomas-Stahls besondere Aufmerksamkeit im Hinblick auf das Ziel, Stähle zu erhalten, deren Verhüttungsart in den Belastungsvorschriften nicht mehr erwähnt zu werden braucht.

Ferner ist es wichtig, die massgebenden Werte eines schweissbaren Stahls genau festzulegen, ebenso die Prüfungsbedingungen der Schweissbarkeit, wobei deutlich die vollständige Bestimmungsprüfung eines Stahls

von der viel einfacheren laufenden Abnahmeprüfung unterschieden werden soll.

Das Problem der Elektroden ist durch die grossen in Frankreich erzielten Fortschritte im günstigen Sinn gelöst.

Schiesslich muss zur weitern Verbreitung der geschweissten Bauweise eine dauernde Verbindung von Stahlindustrie, Architekten und Ingenieuren und der Verwaltung die Herstellung von Qualitätsstählen zu günstigen Preisen erlauben.

RESUMO

Em França a construção soldada está em pleno desenvolvimento na caldeiraria e na construção naval. Na construção metálica, apesar de existirem possibilidades interessantes, certas dificuldades atrazam o desenvolvimento das estruturas soldadas.

Os constructores franceses conseguiram obter da Indústria Siderúrgica vários aços com soldabilidade garantida; o autor indica os últimos resultados dos ensaios efectuados sobre alguns deles: aço macio de construção, aço AC 42 de «Ponts et Chaussées», aço de alta resistência.

A maior parte destes aços não são no entanto produzidos em quantidades suficientes, donde resultam preços elevados e prazos de entrega longos. Por estas razões, os melhoramentos a introduzir na elaboração dos aços Thomas deverão procurar produzir aços cujo modo de obtenção não necessite de ser mencionado nos cadernos de encargos.

Torna-se importante, por outro lado, fixar as características a exigir dos aços soldáveis e definir os ensaios de soldabilidade, marcando bem a diferença entre os ensaios completos de identificação de um aço e os ensaios mais simples de recepção corrente.

Quanto aos electrodos realizaram-se importantes progressos em França, e o problema pode considerar-se resolvido favoràvelmente.

Em conclusão, para que as construções soldadas se generalizem, torna-se necessário que uma colaboração contínua entre a Indústria Siderúrgica, os Arquitectos os Engenheiros e as Administrações permita a produção de aços de boa qualidade a preços interessantes.

Leere Seite
Blank page
Page vide