

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

**Band:** 5 (1956)

**Rubrik:** IIIb. Structural steel for welded structures

#### **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:** 19.02.2026

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

## **III b 1**

### **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 riveter 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 Constructeurs 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/mm<sup>2</sup>,
- acier doux de construction avec limite élastique garantie de 24 Kgs/mm<sup>2</sup> 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:

$$\begin{aligned} P &\leq 0,06 \% \\ S &\leq 0,06 \% \end{aligned}$$

moyennant un faible supplément de prix.

Pour les grandes constructions, ce contrôle doit être accompagné d'un minimum de résilience UF de 3 Kgs/cm<sup>2</sup>.

#### B – Acier Ac 42 Ponts et Chaussées

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

- limite de rupture: 42 Kgs mm<sup>2</sup>
- limite d'élasticité: 24 Kgs mm<sup>2</sup>
- 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/cm<sup>2</sup>.

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.<sup>o</sup> – 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.<sup>o</sup> – 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.<sup>o</sup> – 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.<sup>o</sup> – 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.º — 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.º — Aciers calmés

Les 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 mm<sup>2</sup>
- Limite d'élasticité: 36 Kgs mm<sup>2</sup>
- Coefficient d'allongement: 20 %
- Résilience UF: 7 Kgs/cm<sup>2</sup>

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).

$$\begin{aligned} C &\leq 0,22 \% \\ S &\leq 0,04 \% \\ P &\leq 0,04 \% \end{aligned} \quad \left. \right\} (S + P) \leq 0,07 \%$$

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. <sup>o</sup> 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 $\Sigma$ %
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 zone.

TABLEAU IV  
*Essais de soudage à franc bord*

Nuance	N°	R Kg/mm <sup>2</sup>	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  $10 \times 10 \times 55$  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  $50^\circ$ .

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  $2,5 \text{ Kg/mm}^2$  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 :

- 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 Brinell).

TABLEAU VI  
*Essais de pliage sous cordon fissuré*  
(Essai Dutilleul)

Nuance	N°	$\frac{S_2}{S}$	$\frac{D}{C}$	Critérium de Classement	
				$1 - \frac{D}{C}$	$K_i = \frac{S_2}{S} + \frac{(1-D)}{C}$
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  $K_i = (5), 1, 7, 11, 6, 4, 8, 2, 10, 3, 9$ .

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

D'après la température de transition $t_{zs}$		D'après l'écart des températures de transition $\Delta t = t_{zs} - t_z$		D'après $t_{zs} + \Delta t$	
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  $\Delta t$  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  $\frac{S_2}{S}$  et  $\frac{D}{C}$

$\frac{S_2}{S}$  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  $K_1 = \frac{S_2}{S} + (1 - \frac{D}{C})$  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:

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

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 température 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'apparaît pas comme très différent de celui qui est donné par la température sur métal non soudé  $t_z$ .

Le classement d'après l'écart  $\Delta t = (t_z s - t_z)$  paraît, 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, apparaît 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  $\Delta t$ , 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.º – Si l'on fait abstraction d'un seul acier dont la composition était erronée (N.º 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 %		$\Delta T_t$
	C	Mn	$\frac{Mn}{C}$	S	P	N2	O2	$T_t$	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	0,0060	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

$\Delta T_t$  = différence des températures de transition aux deux états

IIIb1. A. DELCAMP

2.<sup>o</sup> – 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.<sup>o</sup> – 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.<sup>o</sup> 5, 4 et 8 est assez marqué.

4.<sup>o</sup> – Les limites élastiques peuvent être garanties ; 34 ou 36 Kgs/mm<sup>2</sup> dans le cas général — 40 Kgs dans le cas des aciers au Manganèse-Vanadium (sauf pour l'acier 4).

5.<sup>o</sup> – Toutes les courbes résilience/température sont nettement satisfaisantes (résilience UF 3 toujours inférieure à -60° sauf pour l'acier N.<sup>o</sup> 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.<sup>o</sup> – Les études de comportement sous entaille très fine, menées à l'aide de l'éprouvette Schnadt de cohérence 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.<sup>o</sup> – 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.<sup>o</sup> 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) paraissent 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-chrome), 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.<sup>o</sup> 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/mm<sup>2</sup>.

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 :

$$R = 52 \text{ Kgs/mm}^2$$

$$C \leq 0,20 \%$$

$$\text{Mn: } 1,20 \text{ à } 1,35 \%$$

$$\text{Si : } \leq 0,30 \%$$

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

Nous ne dirons que quelques mots des aciers nuance 70/75 Kg/mm<sup>2</sup>, 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/mm<sup>2</sup> ou même 180 Kgs/mm<sup>2</sup> 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 minéraux 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 surcoupage 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 procéderait 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  $\geq 0,06\%$ .

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 corollaire 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 oxygène, est très élevée, de l'ordre de 0,1 % et plus.

Comme la constante d'équilibre C × 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'oxygène, 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 acieristes THOMAS, toute une gamme de moyens permettant de régler 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 réglage 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  $\frac{\text{Mn}}{\text{C}}$  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 «acières 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 entraîne les laitiers au sein du métal où ils s'émulsifient 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 réservé 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 apparaîtrait 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  $\frac{\text{Mn}}{\text{C}}$  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 (cohérence) 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 *reception* 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 globale :

- 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 ENROBÉES 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 résultait 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 :

Caractéristiques du métal déposé	Avec fil nu	Avec électrodes enrobées
Charge de rupture ... ...	$R = 30 \text{ à } 40 \text{ Kg/mm}^2$	$R \times 1,5$
Limite élastique... ...	$E = 20 \text{ à } 30 \text{ Kg/mm}^2$	$E \times 1,5$
Allongement ... ...	$A = 5 \text{ à } 10 \%$	$A \times 3$
Résilience... ...	$K = 1 \text{ kgm/cm}^2$	$K \times 10$

#### 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.<sup>o</sup> – *Electrodes à enrobages cellulaires*

2.<sup>o</sup> – *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.<sup>o</sup> – Electrodes à enrobages basiques:*

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

*4.<sup>o</sup> – 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 remplissent 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 ( $C \leq 0,10\%$ ) 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 ( $S + P \leq 0,05$ ), 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.<sup>o</sup> – 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.<sup>o</sup> – 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 entraînés.

3.<sup>o</sup> – 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'aciérs de qualité à des prix intéressants.

#### S U M M A R Y

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 Chausées», 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 weiteren Verbreitung der geschweissen Bauweise eine dauernde Verbindung von Stahlindustrie, Architekten und Ingenieuren und der Verwaltung die Herstellung von Qualitätsstählen zu günstigen Preisen erlauben.

#### R E S U M O

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 favoravelmente.

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**

## **III b 2**

**Structural steels for welded structures, as related to the practice of bridge construction in the United States**

**Baustähle für geschweißte Bauwerke, im Zusammenhang mit dem Brückenbau in den Vereinigten Staaten**

**Os aços de construção para estruturas soldadas e o seu emprego na construção de pontes nos Estados Unidos**

**Les aciers de construction pour charpentes soudées et leur utilisation dans la construction des ponts aux Etats Unis**

ERIC L. ERICKSON      NATHAN W. MORGAN

*Chief Bridge Engineer      Bridge Engineer*

*Bureau of Public Roads, U. S. Department of Commerce*

*Washington, D. C.*

The historical development of a structural steel for welding in the United States had its beginning in the 1930 decade at the same time that structural welding specifications were being promulgated. The following two decades saw a demand for a more weldable steel that would safely meet the requirements for dynamically loaded structures.

There has been a constant development of structural steels and specifications covering materials, design, and construction. This development has been enhanced by numerous programs of research and the constructive thinking of engineers and scientists in various appurtenant fields.

The basic steels for structural use have been limited, generally speaking, to mild structural carbon steel, structural silicon steel, structural nickel steel, a few high strength special steels, and a low alloy group. While all of these have found wide usage in riveted construction, the preponderance of the structural metal has gone into the mild structural carbon steel type. This steel, developed in 1901 following the era of wrought iron, is a soft or mild carbon steel which, since 1949, has been designated as A7 steel for bridges and buildings by the American Society for Testing Materials. The pertinent elements of this specification are shown in Table I.

The A7 steel has been used in many welded highway bridges and also some railroad bridges. The types of welded new steel structures

built in America, are as follows: trusses, arches, frames, beams reinforced with cover plates or for composite design, columns, and girders. The welding of railway bridges has been largely limited to repair of existing structures, although a number of all-welded bridges have been built. The welding of highway bridges began with trusses, as a changeover from riveted work. Beam, plate girder spans, and rigid frames are

TABLE I

*A7 Steel*

## Chemical Requirements

	Ladle Analysis	Check Analysis
Phosphorus, max, %:		
Open-hearth or electric furnace:		
Acid .....	0.06	0.075
Basic .....	0.04	0.05
Acid-Bessemer .....	0.11	0.138
Sulfur, max, % (open-hearth or electric furnace) ...	0.05	0.063
Copper, when copper steel is specified, min, % ...	0.20	0.18

## Tensile Requirements

	Plates, Shapes, and Bars
Tensile strength, p. s. i. ....	60,000 to 72,000 (*)
Yield point, min, p. s. i. ....	33,000
Elongation in 8 in., min., % ....	21
Elongation in 2 in., min, % ....	24

(\*) The upper limit of 72,000 p. s. i. may be increased by 3,000 p. s. i. for material over 1  $\frac{1}{2}$  inches in thickness.

the types most frequently used today. The Bay shore Freeway structures in the city of San Francisco involve some 26,000 tons of welded steel with 2  $\frac{1}{2}$  million linear feet of welding, and make up the largest all-welded bridge project in the United States. The structure is equivalent in length to about 9  $\frac{1}{2}$  miles of 2-lane highway.

It should be noted that for A7 steel there is no specified limit for either carbon or manganese, both of which elements are contained in steel. Likewise, a killed steel is not specified for any thickness of plate and this is a further detriment especially for the weldability of thick material. Since such a steel can be subject to hardenability, under-bead cracking, and notch sensitivity, it is obvious that a change in specifications was needed to insure sound work. Although much of the A7 steel being manufactured at the present time has chemical characteristics which assure good weldability, and that the thicker plates are

either semi-killed or fully killed, the fact remains that since this specification does not assure definite weldability, there was motivated an effort to obtain a specification acceptable to the American steel industry having the physical properties of A7 steel and chemistry and process of manufacture sufficiently restrictive to assure satisfactory weldability.

It may be well at this point to review the meaning of the term weldability, because we are constantly confronted with the statement that A7 steel is weldable because it has been used in such a large number of structures. The term weldability involves the degree of satisfactory service. The steel that went into a welded ship that failed, or into a bridge that collapsed, was «weldable» in the sense that it was welded with ease. In this sense, structural silicon steel with 0.40 percent carbon is «weldable». However, this is not true of weldability. The American Welding Society's definition for the term «weldability» is as follows:

«The capacity of a metal to be welded under the fabrication conditions imposed, into a specific, suitably designed structure and to perform satisfactorily in the intended service.»

Thus, «weldability» involves the ease with which a material can be welded with due consideration to all variables and to the necessity of obtaining acceptable physical properties and performance. Considering the frequency of cracking of A7 steel during and after welding, it is evident that a more weldable type of structural steel has been needed.

The welding era for structures may be said to have begun in the 1920 decade. For bridges and buildings, the currently existing form of the A7 type of steel was used for both riveting and welding. After the first edition of the American Welding Society's Specifications for Highway and Railway Bridges was published in 1936, efforts were begun to specify a more suitable steel than A7. Numerous attempts before 1950 met with failure on the part of the engineers and the producers to agree.

In 1951, the steel manufacturers consented to furnish the State of California for the Bayshore Freeway structures, a more weldable type of steel. The principal characteristics are shown in Table II.

In 1953, after the steel producers had been approached in the hopes of obtaining a jointly agreeable specification for general use in welding and patterned on the California specification shown in Table II, the following specification was agreed upon for both plates and shapes. This specification has been adopted by the American Welding Society and will appear in the forthcoming edition of their Bridge Specifications, also by the American Society for Testing Materials and published as Tentative Specification for Structural Steel for Welding, A373-54T, and also by the Bridge Committee of the American Association of State Highway Officials.

The Tentative Specification for Structural Steel for Welding by the American Society for Testing Materials, ASTM Designation: A373-54T include the following requirements:

1. This specification covers structural material not over 4 inches thick.
2. The steel is made by the basic open hearth or electric furnace process.

**TABLE II**  
*Bayshore Freeway Steel*  
 Chemical Requirements (plates only), Ladle Analysis

	THICKNESS		Over 1 in.
	To $\frac{1}{2}$ in.	Over $\frac{1}{2}$ ins., to 1 in., incl.	
Carbon, max, % ... ...	—	0.25	0.25
Manganese, %... ... ...	—	0.50 to 0.90	1.15, max.
Phosphorus, max, %...	0.04	0.04	0.04
Sulfur, max, % ... ...	0.05	0.05	0.05
Silicon, % ... ... ...	—	—	0.15 to 0.30

Physical Requirements (plates only)

	THICKNESS		Over 1 in.
	To $\frac{1}{2}$ in.	Over $\frac{1}{2}$ ins., to 1 in., incl.	
Tensile strength p. s. i.	58,000 to 75,000	58,000 to 75,000	58,000 to 75,000
Yield p. s. i. ... ... ...	32,000	32,000	32,000
Elongation in 8 in. min., % ... ... ...	21	21	21
Elongation in 2 in. min., % ... ... ...	—	23	23

For material over  $3/4$  to  $2 \frac{1}{2}$  in., inclusive, in thickness, a deduction from the percentage of elongation in 8 in. specified of 0.25 %, shall be made for each increase of  $1/32$  in. of the specified thickness of  $3/4$  in. to a minimum of 19 %.

**TABLE III**  
 3. General Requirements (Chemical) A373 Steel

	Ladle Analysis	Check Analysis
Phosphorus, maximum, % ... ... ...	0.04	0.05
Sulfur, Maximum, % ... ... ...	0.05	0.063
Copper when copper steel is specified, minimum, %	0.20	0.18

TABLE IV

4. Additional Chemical Requirements for Plates,  
A373 Steel

	To $1/2$ in., incl., in thickness	
	Ladle Analysis	Check Analysis
Carbon, maximum, per cent	0.26	0.30
Manganese, per cent ... ...	—	—
Silicon, per cent... ... ...	—	—

TABLE V

5. *Additional Chemical Requirements for Shapes and Bars, A373 Steel*

	Shapes other than Group A (*) and bars to 1 inch, inclusive, in thickness		Shapes in Group A (*) and bars over 1 inch in thickness	
	Ladle Analysis	Check Analysis	Ladle Analysis	Check Analysis
Carbon, maximum, per cent ... ...	0.28	0.32	0.28	0.32
Manganese, per cent ... ... ...	—	—	0.50 to 0.90	0.46 to 0.94

(\*) Group A comprises the following shapes as described in the Manual of Steel Construction of the American Institute of Steel Constructors

Wide Flange Beams in Nominal Sizes (inches)

36 by 16 $\frac{1}{2}$	30 by 15	21 by 13
36 by 12	30 by 10 $\frac{1}{2}$	14 by 16
33 by 15 $\frac{3}{4}$	27 by 14	14 by 14 $\frac{1}{2}$
33 by 11 $\frac{1}{2}$	24 by 14	12 by 12 10 by 10

TABLE VI

6. *Tensile Requirements, A373 Steel*

Plates, Shapes, and Bars

Tensile strength, p. s. i. ... ... ... ...	58,000 to 75,000
Yield point, min., p. s. i. ... ... ... ...	32,000
Elongation in 2 in., min. per cent ... ...	21
Elongation in 2 in., min. per cent ... ...	24

Over 1/2 to 1 in., incl., in thickness		Over 1 to 2 in., incl., in thickness		Over 2 to 4 in., incl., in thickness	
Ladle Analysis	Check Analysis	Ladle Analysis	Check Analysis	Ladle Analysis	Check Analysis
0.25	0.29	0.26	0.30	0.27	0.31
0.50 to 0.90	0.46 to 0.94	0.50 to 0.90	0.46 to 0.94	0.50 to 0.90	0.46 to 0.94
—	—	0.15 to 0.30	0.13 to 0.33	0.15 to 0.30	0.13 to 0.33

### 7. *Bending properties*

The bend test specimen shall stand being bent cold through 180 degrees without cracking on the outside of the bent portion to an inside diameter which shall have a relation to the thickness of the specimen as prescribed in Table VII.

TABLE VII

#### *Bend Test Requirements, Plates, Shapes, and Bars, A373 Steel*

Thickness of material (inches)	Ratio of Bend — Diameter to Thickness of Specimen
3/4 and under ... ... ... ... ...	1/2
Over 3/4 to 1, inclusive ... ... ... ...	1
Over 1 to 1 1/2, inclusive ... ... ... ...	1 1/2
Over 1 1/2 to 2, inclusive ... ... ... ...	2 1/2
Over 2 ... ... ... ...	3

Pending the results of more exhaustive tests on A373 steel, the following information has been furnished by one of the major steel manufacturers from their test data on steel plates meeting the requirements of the specification.

For 1/2 inch thick plates, the transition temperature at 12 foot-pounds as determined by Charpy Keyhole impact test specimens ranged from an average of -36° F. to -13° F. with a spread of  $\pm$  25° F. for each value.

For plates 1/2 inch to 1 inch thick the transition temperature at 15 foot pounds Charpy Keyhole ranged from -32° F. (3/4 inch thick) to -15° F. (5/8 inch thick) with a spread of  $\pm$  25° F. for each value.

For plates 1 inch to 1 1/2 inches silicon killed, the transition temperature at 15 foot pounds Charpy Keyole ranged from -20° F. to + 50° F. with a spread of  $\pm$  25° F. for each value.

Sample mill test reports for the A373 steel show the following typical properties:

TABLE VIII  
*Typical Properties of A373 Steel*

Thickness (inches)	COMPOSITION					Yield Point p. s. i.	Tensile Strength p. s. i.	Elongation 8 in., %
	C	Mn	P	S	Si			
To 1/2 ...	.18 to .26	.45 to .61	.011 to .022	.021 to .040	—	34,400 to 41,610	61,010 to 71,336	21.5 to 33.0
1/2 to 1...	.18 to .24	.48 to .83	.008 to .038	.018 to .036	—	33,300 to 41,500	61,680 to 73,780	24.0 to 32.0
1 to 2 ...	.18 to .20	.55 to .78	.009 to .039	.021 to .035	.16 to .23	33,290 to 39,550	63,560 to 70,620	25.0 to 38.0
Over 2 ...	.18 to .23	.60 to .86	.009 to .021	.022 to .030	.20 to .26	34,710 to 39,440	65,440 to 74,500	30.5 to 38.0

  

Shapes								
5/8 to 1 ...	.20 to .26	.47 to .67	.007 to .015	.020 to .035	—	37,000 to 44,510	60,120 to 69,840	28.2 to 33.7
1 to 1½ ...	.22 to .26	.52 to .76	.010 to .018	.025 to .035	—	36,270 to 42,960	62,000 to 73,260	27.7 to 34.0

It should be realized that these Charpy Keyhole test values show lower transition temperatures than would result from Charpy V-notch tests. They are shown here merely to give some idea as to the characteristics of the steel. Tests on other steels have shown that transition temperatures based on Keyhole tests can be 10° to 40° below those obtained from V-notch tests.

Table IX shows the workmanship requirements applicable to the A373 steel to prevent underbead cracking as will appear in the forthcoming American Welding Society Bridge Specifications. The references to EXX 15 and EXX 16 electrodes concern the low hydrogen types.

TABLE IX  
*Welding Requirements, A373 Steel*

Thickness	Preheat, interpass temperatures, and electrode requirements
Plates to 1 inch thick, inclusive,	None required.
Plates over 1 to 2 inches thick, inclusive,	EXX 15 or EXX 16 electrodes, or 200° F. preheat and interpass temperature. No welding to be done below 10° F.
Plates over 2 to 4 inches thick, inclusive,	100° F. minimum preheat and interpass temperature with EXX 15 or EXX 16 electrodes or 300° F. minimum preheat and interpass temperature.
Bars and shapes with intermediate and light web and flange to 1/2 inch thick, inclusive,	None required.
Bars and shapes with intermediate and light web and flange 1/2 inch to 1 inch thick, inclusive,	100° F. preheat and interpass temperature or EXX 15 or EXX 16 electrodes. No welding to be done below 10° F.
Bars and shapes with heavy web and flange,	EXX 15 or EXX 16 electrodes, or 200° F. preheat and interpass temperature. No welding to be done below 10° F.

In a discussion such as this, it would be remiss not to mention some of the other steels available to the structural engineer faced with a structural welding problem in the United States. Among the best welding steels we have today are those in the Navy's specifications Mil-S-20166, October 3, 1951, for shapes and Mil-S-16113 (ships), April 15, 1951, for plates. The chemical and physical requirements for the HT Grade are shown in Table X for shapes and Table XI for plates.

**TABLE X**  
*Mil-S-20166, Shapes*

Chemical Composition, Shapes, HT Grade		
Carbon, maximum, %	...	0.18
Manganese, maximum, %	...	1.30
Phosphorus, maximum, %	...	0.04
Sulfur, maximum, %	...	0.05
Silicon, %	...	0.15-0.35
Copper, maximum, %	...	0.35
Nickel, maximum, %	...	0.25
Titanium, minimum, %	...	0.005
Vanadium, minimum, %	...	0.02
Chromium, maximum, %	...	0.15
Molybdenum, maximum, %	...	0.05

  

Physical Properties — Shapes, HT Grade		
Thickness, inches	Tensile Strength p. s. i.	Yield Point p. s. i. minimum
Under 1/4	90,000	50,000
1/4 to 1/2, inclusive	87,000	48,000
Over 1/2 to 1, inclusive	84,000	45,000
Over 1 to 2, inclusive	84,000	42,000
Over 2	82,000	40,000

**TABLE XI**  
*Mil-S-16113 (ships), Plates*

Chemical composition, plates — check analysis, HT Grade		
Manganese, maximum, %	...	1.30
Carbon, maximum, %	...	0.18
Phosphorus, maximum, %	...	0.040
Sulfur, maximum, %	...	0.050
Silicon, %	...	0.15-0.35
Copper, maximum, %	...	0.35
Nickel, maximum, %	...	0.25
Vanadium, minimum, %	...	0.02
Titanium, minimum, %	...	0.005
Chromium, maximum, %	...	0.15
Molybdenum, maximum, %	...	0.05

  

Mechanical Properties — Plates, HT Grade		
Thickness, inches	Ultimate tensile strength, p. s. i.	Yield point, minimum p. s. i.
Under 1/2	92,000	50,000
1/2 to 1-1/2, inclusive	88,000	47,000
Over 1-1/2 to 2, inclusive	86,000	44,000
Over 2	85,000	42,000

A steel with characteristics and weldability similar to A373 steel is available in Grade M of the following Navy Department Specifications:

TABLE XII  
*Mil-S-20166, dated October 3, 1951, Shapes*

**Chemical composition percent — shapes, M grade**

Carbon 0.31 max.	Manganese 0.75 max.
Phosphorus 0.045 max.	Sulfur 0.055 max.
Silicon 0.25 max.	Copper 0.35 max.
Nickel 0.25 max.	

**Physical properties — shapes, M grade**

Tensile strength 60,000 p. s. i.	
Yield point, minimum p. s. i.	
Under 1/4 inch thick ... ... ... ...	37,000
1/4 to 3/8, inclusive, thick ... ... ...	35,000
Over 3/8 to 5/8, inclusive, thick ... ...	34,000
Over 5/8 thick ... ... ... ...	33,000

TABLE XIII  
*Mil-S-16113, Ships, dated 15 1951, Plates*

**Chemical composition percent maximum — plates, M grade**

	Carbon	Manganese	Phos-phorus	Sulfur	Silicon	Copper	Nickel
Under 5/8 inch thick... ...	.26	.90	.045	.055	—	.35	.25
5/8 to 3/4 inch thick... ...	.27	.90	.045	.055	—	.35	.25
3/4 to 7/8 inch thick... ...	.28	.90	.045	.055	—	.35	.25
7/8 to 2 inches thick... ...	.28	.60-.90	.045	.055	.15-.30	.85	.25
Over 2 inches thick ... ...	.30	.60-.90	.045	.055	.15-.30	.85	.25

**Mechanical properties — plates, M grade**

	Tensile strength	Yield point, minimum
Under 3/8 inches, excl. ... ...	58,000	36,000
3/8 to 5/8 inches, excl. ... ...	58,000	34,000
5/8 to 3/4 inches, excl. ... ...	58,000	33,000
Over 3/4 inches, excl. ... ...	58,000	32,000

It is interesting to note that the new A373 welding steel costs very little more than the long used A7 structural carbon steel. Table XIV shows mill extras, dollars per ton, as of August 6, 1953, for the two steels. The large extra for plates 1 inch to 1  $\frac{1}{2}$  inches in thickness for the new A373 steel is due to the fact that it is a silicon killed steel in these thicknesses. The mill extras represent the amounts to be added to the base price for control of chemical requirements.

TABLE XIV  
*Mill extras, dollars per ton, August 6, 1953*

Plates	A7	A373
Up to 1/2 inch ... ... ... ...	1.00	2.00
Over 1/2 to 1 inch ... ... ... ...	1.00	4.00
Over 1 to 1-1/2 inches ... ... ... ...	1.00	14.00
Over 1-1/2 to 3 inches ... ... ... ...	14.00	17.00
Over 3 to 4 inches ... ... ... ...	16.00	19.00
<b>Shapes</b>		
Intermediate and light ... ... ... ...	—	2.00
Heavy ... ... ... ...	—	4.00

Engineers are forced to give careful consideration to the fact that welding has certain detrimental effects upon steel that are not encountered in riveting. The difficulties must all be recognized, understood and overcome, if welded structures are to be safe for the various types of modern loadings and to safely withstand the conditions to be imposed. It is not within the province of this paper to discuss the various groups of welding difficulties, but it is felt that it is pertinent to the subject to summarize briefly certain welding effects arising out of the base metal characteristics.

Naturally it is desired to produce a welded structure in which the welded joints remain 100 percent efficient and as nearly unnoticeable as practicable. This requires a minimizing of cracking, warping, residual stresses, and failures at or near welded joints. In turn, these require a minimizing of air hardening, micro-cracks, porosity, notch sensitivity, high transition temperature, high quench effect, and other metallurgical defects. Among other things, these difficulties are affected by chemistry, thickness, and temperature of the base metal, the welding technique, the filler metal, and rigidity of the joint. Brittle fractures are associated with multiaxial stresses, stress concentrations, low temperature, section, size, and rate of loading. Combinations of these factors may reduce

ductility to a low value and it is well known that the amount of energy required to propagate a crack through a region of low ductility, is small.

In the welding of steels, a small change in the chemical composition of the base material can seriously affect its weldability. In A7 steel, the principal alloying elements which occur, but which are not explicitly specified, are carbon, manganese, and silicon. These elements may possibly exceed the desired limits for weldability, in which case a transition from a desirable ductile behavior to an undesirable brittle type behavior occurs, the cracking tendency increases and the entire welding procedure becomes complex and may even become impracticable for field conditions.

Ductility decreases rapidly as the carbon content increases above the critical range from 0.20 to 0.25 percent. Below this range, ductility is relatively constant at a high level for say 1/2 inch thickness of material. For thicker material or for conditions involving more rapid cooling, the reduction in ductility occurs at a lower level of carbon content.

Following World War II, the Ship Structure Committee was organized for the purpose of studying welded ship design and construction. These studies have brought to light many fundamental facts concerning the weldability of structural steels. Included in the findings to date are these interesting facts:

- (1) Generally, notch sensitivity increased as plate thickness increased.
- (2) For a particular strength level, steels with higher manganese to carbon ratios have lower transition temperatures.
- (3) The manganese carbon ratio may be a factor contributing to notch sensitivity.
- (4) The tear test transition temperature was raised appreciably by increases in carbon, phosphorus, and vanadium content.
- (5) Increases in carbon and manganese content, especially carbon, were accompanied by marked increase in crack sensitivity.
- (6) For plates of equal thickness, and hence equal metallurgically, the transition temperature rises with the width.
- (7) Transition temperature in rolled steel gradually decreases as the extent of deoxidation increases.

The weldability of structural steel decreases rapidly as the carbon content exceeds the range from 0.20 to 0.25 % but the relationship is a complex one and beyond the scope of this discussion. Some of the procedures which tend to improve weldability are increased heat input, preheat, post heat, and proper selection of electrode.

In general, carbon raises, and manganese, lowers, the transition temperature of semikilled steels. The effects of a particular variation in composition differ quantitatively with the criterion used to define notched bar transition temperature. The transition temperature of semikilled steels in notched bar tests may be improved by decreasing the carbon content. Manganese may be used to replace carbon in order to

maintain the desired tensile strength. For equal strengths, steels with higher Mn-C ratios have better notched bar properties. Rolling temperatures must be taken into consideration when attempting to evaluate changes and strength and notched bar properties resulting from differences in carbon and manganese contents. The grain size of semikilled steels increased significantly with increases in either carbon or manganese contents.

Transition temperature, at which there is a change from ductile to brittle fracture, is raised by an increase in carbon content. It has been found that increasing the carbon content from 0.12 to 0.25 increases the transition temperature about 90° F. Other elements such as manganese, titanium, vanadium, phosphorus, and silicon may have similar detrimental effects, depending upon the presence and amounts of other elements. The effect of welding is also to increase the transition temperature, so the effect of carbon, for example, may be twofold when the material is welded. Low hydrogen type electrodes help to lower the transition temperature of welds and to control the presence of fish-eyes and porosity.

The cracking sensitivity of steels, as exemplified by underbead and toe cracks, increases with certain alloys, especially carbon. Investigators have noted a sharp rise in the amount of underbead cracking as the carbon content exceeds the critical range from 0.20 to 0.25 percent. Below this range there is practically no cracking. For this reason crack sensitive steel products should not be used in structures subjected to impact and fatigue.

Welding procedures may, to varying degrees, supplant the difficulties encountered from the effects of chemical composition on ductility, transition temperature, and cracking sensitivity. These procedures include preheating, postheating, increased heat input, special electrodes, and stress relieving.

The weldability of materials having compositions in excess of those mentioned above may be improved by decreasing the cooling rate by either using increased heat input or by the use of preheat. Increasing the heat input is successful only for thin material, say less than 1/2 inch, while for thicker material preheating must be employed.

Similar sensitivity may be caused by the presence of hydrogen, phosphorus, manganese, or silicon, depending upon the presence and amounts of other elements. The A7 steel specification thus does not provide sufficient control over the chemical composition to assure acceptable weldability.

Low alloy steels contain more alloying elements than plain carbon steel and a full discussion of their weldability would be more complicated. The weldability of these steels decreases rapidly as the carbon content exceeds the critical range from 0.15 to 0.20 percent. Hydrogen in these steels becomes more detrimental even at lower carbon contents, because of their high hardenability, so it is often advisable to use a low hydrogen type electrode and perhaps increased heat input, preheating, and post-heating.

It is of interest to note some results of laboratory tests made by the Ship Structure Committee on American Bureau of Shipping steel which is comparable to the A373 structural welding steel.

1. In general, lower finishing temperatures gave lower transition temperatures due primarily to the fine grain resulting from lower finishing heats.

2. Increasing amounts of carbon, phosphorus, and nitrogen increased the transition temperature under all conditions reported.

3. Manganese in increasing quantities decreased the transition temperature under all conditions reported.

4. As silicon is increased in the absence of aluminum, the transition temperature decreases up to about 0.20 percent Si., then increases with further increase in silicon up to a maximum of 0.48 percent Si.

5. Increasing amounts of manganese and nickel lower the transition temperature while increasing amounts of carbon, phosphorus, copper, molybdenum, and silicon increased the transition temperature. The effects of carbon, manganese, and nickel are approximately additive.

Other tests indicate that the transition temperature increases with size of specimen and with widths of plates tested.

The fatigue strength of weld metal from low hydrogen E7016 type electrodes is significantly greater than for the mild E6010 type electrodes, the difference being about 25,000 p. s. i. for preheated welds and 18,000 p. s. i. for quenched welds.

Some high strength heat treated rolled steels for welded structures are being produced in the United States. These steels have been used for pressure vessels and for machinery parts. Yield strength values run as high as 90,000 p. s. i. at the present and values up to 150,000 p. s. i. are proposed. Specifications covering these steels provide for welding crack-sensitivity tests for those metal compositions not previously tested. Fillet welds are laid on the thickest material to be used and examined for cracking before and after sectioning the specimens. Only cracks outside the weld metal are considered as cause for rejection of the base metal.

At the present time extensive tests are under way at the University of Illinois to further determine the welding characteristics of the new A373 steel. It is expected that these studies will bring to light much needed information not only on the weldability on the new steel as a base metal but also on various types of welded joints under variable conditions. Considerable information is needed affecting the design and serviceability of welded girders and beam spans.

It may be of interest to quote from an editorial on the new welding steel from «Engineering News Record», dated July 16, 1953, in reference to A373 steel.

«The purpose of the new specification is to minimize the possibility of brittle failures in large welded structures, chiefly bridges. Though brittle failures have occurred in riveted or bolted structures, damage to large welded structures failing in this manner usually is more severe, because cracks can pass through welds and spread over a wide area.

The new specification attempts to prevent brittle failures through requirements for chemical composition. These insure against low notch toughness and segregations in the steel, eliminate «rimmed» steels alto-

gether and make certain that only fully killed steel will be furnished for thick material. Because of the influence of the chemical requirements on the steel mill practices, the weldable steel probably will cost more than A7 steel.

Some engineers may consider the additional cost of the weldable steel a needless expense in view of the satisfactory past record of A7 steel. Also, they may claim that a large portion of A7 steel now being produced could meet the new specification substantially anyway. However, the absence from A7 of requirements for elements other than phosphorus, sulfur, and copper leaves the door open for the production of steel that may not be suitable for certain welded structures — and it may be noted sometimes not even for some riveting or bolting applications.

The question may well be raised, therefore, as to whether A7 should have been modified to extend protection to all structural steel rather than a new specification introduced. Certainly, a single specification for structural steel that would be applicable regardless of how the material is to be connected is highly desirable, and A7, already in widespread use, could well be adapted for the purpose.»

Thus it appears that after many years of effort, we now have a tolerable specification for a welding structural steel of commercial quality. It must be realized, however, that this new steel specification is not ideal in that the carbon content is still high so that special workmanship is required to insure safe construction when working with the heavier thicknesses. Yet, whatever shortcomings this new specification may have, a great step forward has been made which broadens the horizon for the welding of steel bridges, buildings, and other structures.

#### S U M M A R Y

This paper covers a brief discussion of the development of a welding quality of Structural steel in the United States, from the standard structural steels which have been used for riveted structures. Reasons are developed for the necessity of departing from the common standard structural steel as used for many decades for riveted work. This departure is seen to be fundamental to the field of structural welding.

Experience in the realm of structural welding, combined with a vast amount of welding research growing out of the experience gained during the last war in the welding of ships, has produced for the first time an economical, structural steel for welding which is commercially available for all standard shapes and plates. This steel costs about fifteen hundredths cents per pound or three dollars per ton more than the steel that has been used for riveting for many decades, except that for plates over 1 to 1  $\frac{1}{2}$  inches thick the extra cost is thirteen dollars per ton because a killed steel is introduced in this range.

Characteristics of the new welding steel are given, followed by a discussion of both detrimental and desirable features which pertain to an ideal welding quality structural steel.

### ZUSAMMENFASSUNG

Der Beitrag enthält eine kurze Besprechung der Entwicklung eines zum Schweißen geeigneten Baustahles in den Vereinigten Staaten, ausgehend von den normalen Baustählen, die für genietete Bauwerke verwendet wurden. Die Gründe sind dargelegt, warum vom normalen, seit Jahrzehnten für genietete Bauwerke verwendeten Stahl unbedingt abzugehen ist. Diese Trennung wird als die Grundlage der geschweißten Bauweise angesehen.

Die Erfahrung im Gebiet des geschweißten Stahlbaues hat gemeinsam mit umfangreichen Schweissuntersuchungen im Zusammenhang mit den Erfahrungen beim Schweißen von Schiffen während des letzten Krieges erstmals zur Herstellung eines wirtschaftlichen, zum Schweißen geeigneten Baustahls geführt, der im Handel in allen normalen Profilen und Platten erhältlich ist. Dieser Stahl kostet ungefähr fünfzehn Hundertstel Cents pro Pfund oder drei Dollar pro Tonne mehr als der jahrzehntelang zum Nieten verwendete Stahl, mit der Ausnahme, dass Platten mit Dicken über 1 bis  $1 \frac{1}{2}$  inches dreizehn Dollar pro Tonne Mehrkosten aufweisen, weil in diesem Bereich ein beruhigt vergossener Stahl eingeführt wurde.

Die Merkmale des neuen Schweiss-Stahls sind beschrieben, zusammen mit einer Besprechung der unerwünschten und erwünschten Eigenschaften, die zu einem ideal schweißbaren Baustahl gehören.

### R E S U M O

Os autores apresentam uma breve discussão acerca da obtenção, nos Estados Unidos, de uma qualidade soldável de aço de construção a partir dos aços de construção correntes utilizados nas estruturas rebitadas. Indicam-se as razões que obrigaram a tomar como ponto de partida o aço de construção de tipo corrente empregado durante muitas dezenas de anos para trabalhos rebitados, facto que foi fundamental no que diz respeito ao emprego da soldadura nas estruturas.

Os ensaios referentes à soldadura de estruturas, aliados a pesquisas resultantes da experiência adquirida durante a última guerra na soldadura de navios, deram ocasião a que se produzisse pela primeira vez um tipo de aço de construção económico aplicável a conjuntos soldados e que se encontra no comércio em todas as dimensões usuais de chapas e perfilados. Este aço custa mais cerca de três dólares por tonelada do que o aço empregado até aqui para construções rebitadas excepto no caso de chapas com mais de 1" a  $1 \frac{1}{2}$ " de espessura em que o suplemento passa para treze dólares por tonelada pelo facto de se empregar um aço acalmado nestas espessuras.

Dão-se as características deste novo aço soldável e discute-se a seguir as características que deverá, ou não, ter um aço soldável de construção de tipo ideal.

### RÉSUMÉ

Les auteurs présentent une brève discussion au sujet de l'obtention aux Etats Unis, d'une qualité soudable d'acier de construction à partir

des aciers de construction courants, employés dans les charpentes rivées. L'on y donne les raisons qui ont obligé à prendre comme base l'acier courant de construction employé pendant des décades dans les charpentes rivées, fait qui a été fondamental en ce qui concerne l'emploi ultérieur de la soudure dans les charpentes.

Des essais dans le domaine de la soudure des charpentes, combinés avec d'importantes recherches issues de l'expérience obtenue pendant la dernière guerre dans la soudure des navires, ont rendu possible la production, pour la première fois, d'un acier de construction soudable économique que l'on trouve dans le commerce dans toutes les dimensions courantes de tôles et profilés. Cet acier coûte près de trois dollars par tonne plus cher que l'acier employé jusqu'à maintenant dans les constructions rivées à l'exception des tôles d'épaisseur supérieure à 1" ou 1 1/2" pour lesquelles ce supplément est de 13 dollars par tonne à cause de l'emploi d'acier calmé dans ces épaisseurs.

Les auteurs donnent encore les caractéristiques de ce nouvel acier soudable et discutent également les caractéristiques désirables et indésirables d'un acier de construction soudable idéal.

**Leere Seite**  
**Blank page**  
**Page vide**

## **III b 3**

**Die Anforderungen der Schweißtechnik an den Baustahl**

**Exigências da técnica da soldadura em relação aos aços  
de construção**

**Les exigences de la technique de la soudure vis à vis  
des aciers de construction**

**Structural steels as related to the requirements  
of welding practice**

DR. ING. R. KÜHNEL

Minden

Der Begriff Baustahl. Nachweis seiner Eigenschaften nach der Norm. Die Anforderung der Schweißtechnik. Nachweis der Erfüllung der Anforderung im Rahmen der DIN 4100 — Geschweißte Stahlbauten. Nachweis in zusätzlichem Prüfverfahren — Dauerfestigkeit — Aufschweissbiegeversuch und Kerbschlagbiegeversuch mit und ohne Alterung und bei Temperaturabfall. Die Gütegruppen des neuen Normvorschlages für Stabstahl, Formstahl und Breitflachstahl sowie Bleche als Ersatz für DIN 1611 - 1623. Chemische Zusammensetzung. Nachweis von Gefügestörungen.

Der Begriff «Baustahl» ist in der Norm bisher nicht einheitlich. Das zeigen die beiden hierfür hauptsächlich in Frage kommenden Normblätter DIN 1611 und 1612. DIN 1611 hat als Hauptüberschrift «Maschinenbaustahl» und darüber — kleiner gedruckt — «Flus stahl, geschmiedet oder gewalzt, unlegiert». Die Machine mit ihren vielen beweglichen Teilen stellt die Bezeichnung des Stahls nach seiner Herstellung und seinen Eigenschaften einschliesslich eines Reinheitsgrades in den Vordergrund. Sie verlangt auch ein vielseitiges Angebot von Stählen, vom St 00 bis zum St 70, und zwar geschmiedet oder gewalzt. Das Blatt für den Baustahl des Brücken-, Hoch- und Apparatebaues ist DIN 1612. Die Überschrift «Flus stahl für Bauzwecke» erscheint hier aber nicht. Es interessiert nur die Art des Walzerzeugnisses, wie Formstahl, Stabstahl, Breitflachstahl. Die Nebenüberschrift ist «Flus stahl, gewalzt». Ein Reinheitsgrad wird nicht verlangt, man kommt mit dem unberuhigten

Thomasstahl aus. Die Stahlsorten sind dieselben wie in DIN 1611, vom St 00 bis St 42. Die neuere Entwicklung vom St 52 bis zum St 58 hat in den älteren Blättern noch keinen Platz. Der Nachweis der mechanischen Eigenschaften erfolgt durch den Zug- und Faltversuch. Mit der Einführung der Schweißtechnik in den Stahlbau ändern sich die Anforderungen. Zunächst erscheint in der Ausgabe der DIN 1611 von 1943 auch für St 37 eine Begrenzung der chemischen Zusammensetzung. Aber das ist noch lange nicht genug. An sich ist die Forderung der Schweißtechnik an den Baustahl zwar einfach. Die Schweißverbindung soll möglichst dieselben Eigenschaften haben wie der Baustahl selbst, d. h. es soll durch sie keine Verschlechterung des Verhaltens des Stahls und seiner mechanischen Eigenschaften eintreten. Die gestellte Anforderung bezieht sich nun auf alle Arten der Beanspruchung, und es ist zu untersuchen, inwieweit die einzelnen Prüfverfahren zum Nachweis anwendbar sind und welchen Umfang der Erfüllung sie ergeben. Die Ausführungen sollen dabei beschränkt bleiben auf die Schweißverbindung und das überwiegend zur Anwendung kommende Elektroschmelz-Verbindungsschweißverfahren. Die Anforderungen an den Schweißdraht selbst sind in DIN 1913 (letzte Ausgabe Dezember 1954) enthalten. Sie bilden ein kleines Lehrbuch für sich und sollen hier ausser Betracht bleiben.

Die üblichen an die Schweißverbindung zu stellenden Anforderungen enthält nun die DIN 4100 (letzte Ausgabe Entwurf Dezember 1954). Da ist zunächst für den Baustahl selbst unter 3.11 vorgeschrieben: «Als Werkstoff dürfen nur Stähle mit gewährleisteter Schmelzschweißbarkeit, und zwar St 37.12 und St 37.21 nach DIN 1612 und DIN 1621, St 50 m. e. S. (mit erhöhter Streckgrenze) und St 52 nach den Lieferbedingungen der Deutschen Bundesbahn bzw. der Deutschen Reichsbahn verwendet werden (918156). St 52 in Dicken über 30 mm muss von Walzwerken hergestellt sein, die auf Grund besonderer Prüfungen von der Deutschen Bundesbahn bzw. der Deutschen Reichsbahn zugelassen sind». Die Anforderungen, die dabei an die geschweißte Verbindung zu stellen und mit dem üblichen Zug- und Faltversuch nachzuweisen sind, finden sich in dem Abschnitt 2.3 «Anforderungen an die Schweisser». Bei der Stumpfschweißnaht ist der Zugversuch mit besonderen Probestäben nach DIN 50120 durchzuführen. Verlangt wird die volle untere Zugfestigkeit des in Frage kommenden, Stahls, also für St 37 37 kg/mm<sup>2</sup>, für St 52 52 kg/mm<sup>2</sup>. Es macht auch dem geübten Schweisser keine Schwierigkeit, diese Forderung zu erfüllen. Das bedeutet also, dass bei zügiger Beanspruchung die volle untere Zugfestigkeit des Stahls einzuhalten ist. Wesentlich anders ist das Ergebnis bei einer Biegeprüfung der Schweißverbindung. Hier sind ebenfalls besondere Probestäbe nach DIN 50121 anzuwenden. Der Stahl lässt sich um 180° falten, ohne Anrisse zu zeigen. Bei der Schweißverbindung kann man aber beim St 37 nur noch 120° und beim St 52 nur noch einen Biegewinkel von 70° fordern. Würde man beim Stahlbau beispielsweise noch einen St 80, der nicht mehr genormt ist, anwenden und ein volles Profil prüfen, wie es bei den im Abschmelzschweißverfahren geschweißten Schienen geschieht, so lassen sich nur noch mm an Durchbiegung erreichen. Mit steigender Zugfestigkeit entsteht also beim Biegeversuch in der Schweißverbindung ein

immer grösserer Abstand von der vollen Leistung des ungeschweißten Stahls. Neben der Stumpfnaht kommt nun auch ebenso häufig die Kehlnaht mit ihr ähnlichen Nähten vor. Die Beanspruchung ist auch hier zügig, aber auf Abscheren. Für die Prüfung sieht die Norm die sogenannte Kreuzprobe nach DIN 50126 vor. Erreicht werden muss damit für den St 37 eine Scherfestigkeit von 30 kg/mm<sup>2</sup> und beim St 52 eine solche von 41 kg. Trotz der Umleitung der Kraftlinien wird demnach bei der Kreuzprobe etwa die volle Scherzugfestigkeit des ungeschweißten Stahls erreicht. Da die Schweissnaht stets eine Unterbrechung des längs gerichteten Gefüges des Walzstahls bedeutet und damit eine Störung des Kraftlinienverlaufs bedingt, so ist zu erwarten, dass sie bei Dauerbeanspruchung gegenüber der Festigkeitsleistung des vollen Werkstoffs zurückbleibt. Das ist auch, besonders bei einer Beanspruchung auf Wechselseitigkeit, der Fall. Der Einfluss der äusseren Form tritt aber dabei in den Vordergrund und der des Werkstoffs tritt zurück. Daher finden sich auch in DIN 4100 keine Angaben über eine zu erreichende Mindest-Dauerfestigkeit. Man erfasst sie durch Beifügung von Faktoren in der Berechnung.

Die schnelle Erwärmung und die schnelle Abkühlung bringen nun unvermeidlich erhebliche Schrumpfspannungen in den Stahl und das eingeschmolzene Schweissgut. Bei härteren Kohlenstoffstählen sowie auch besonders bei den mit Chrom legierten Stählen können dabei schon am Ausgangspunkt der Schweissnaht Risse entstehen. Da die Anforderung an den Stahl hier schon von der Konstruktion her bedingt und daher meist wenig zu ändern ist, kann man dieser Erscheinung nur durch Vorwärmung Herr werden.

Eine ähnliche Schweissrissigkeit zeigt sich bei diesen Stählen auch gelegentlich in Form von Längsrissen neben der Schweissnaht. Auch sie ist nicht durch Anforderungen an den Stahl, sondern nur durch Vorwärmung zu bekämpfen. Aber auch die Verwendung von sogenannten kalkbasiischen Schweissdrähten kann hier vorteilhaft sein, ebenso dann, wenn das eingeschmolzene Schweissgut bei höheren Phosphor- und Schwefelgehalten des Stahls (Thomasstahl) einen Teil dieser Bestandteile aufgenommen hat und nun warmrissig wird.

Neben Längsrissen der beschriebenen Art sind nun viel mehr gefürchtet Querrisse, die erst eine gewisse Zeit nach dem Schweissen auftreten und den gesamten geschweißten Querschnitt entweder mit lautem Knall durchreissen, oder aber es entsteht lautlos ein Einriss. Ihr Kennzeichen ist in jedem Fall ein verformungsloser Riss oder Anriss bei an sich mit den üblichen Prüfverfahren als zähe nachweisbaren Stahl. Man kennt drei Ursachen der Versprödung des Stahls. Zunächst einmal ist seit langem bekannt, dass mit sinkender Temperatur die Verformbarkeit des Stahls abnimmt, wobei die Zugfestigkeit ansteigt. Wendet man die Kerbschlagprüfung an, so fällt die Kerbzähigkeit etwa um 0° plötzlich ab, beim unberuhigten Thomasstahl zuerst. Im allgemeinen führt dieser Abfall der Kerbzähigkeit allein nicht zum Bruch von Stahlkonstruktionen. Nur in Sonderfällen, beispielsweise wenn ein Behälter mit verflüssigten Gasen reisst oder überläuft, kann die vom verflüssigten Gas bewehrte und stark abgekühlte Konstruktion reißen. Dagegen besteht um so mehr die Möglichkeit, dass aus anderen Ursachen vorgespannte Stahlkonstruk-

tionen durch zusätzliche Versprödung unter fallender Temperatur zu Bruch kommen. Die eine dieser primären Ursachen der Versprödung schon des Stahls ist längere Zeit bekannt. Es ist die Kaltverformung mit darauffolgender Alterung, d. h. über die Zeitspanne von etwa einem Monat noch anwachsender Versprödung. Dieses Anwachsen der Versprödung macht sich vornehmlich nach einem Verformungsgrad von etwa 10 % bemerkbar, während bei geringerer und höherer Verformung die Einwirkung nicht so erheblich ist. Die Kaltverformung kommt bei Stahl insbesondere beim Richten und Abkanten in Frage. Die kritische Dicken-grenze liegt bei etwa 5 mm. Schwächere Bleche oder Breitflachstähle erfahren dabei nicht so starke Verformung, so dass bei ihnen der mit der Alterung verbundene Abfall der Kerbzähigkeit sich nicht bis unter  $1 \text{ mkg/cm}^2$  erstreckt. Kommen nun stark verformte und damit versprödete Stahlteile zum Schweißen, so wird die Schrumpfspannung genügen, um Einrisse hervorzurufen. Diese Gefahr besteht natürlich umso mehr bei absinkender Temperatur. Es gehen dann Anrisse zu Lasten der Schweisstechnik, die eigentlich der Alterung zugeschrieben werden müssten. Das Eigentümliche der Alterungsanrisse scheint zu sein, dass sie fast lautlos erfolgen.

Im Gegensatz dazu reissen Querschnitte, bei denen sich Schrumpfspannungen in zu hohem Ausmass aufgestaut haben, mit lautem Knall quer durch. Eine zusätzliche Versprödung durch Temperaturabfall auf  $-10^\circ \text{ C}$  kann hier schon genügen, um die aufgestauten Spannungen auszulösen und den Querbruch herbeizuführen. Die kritische Dicke des Profils oder Blechs, bei der solcher Spannungsaufstau zu befürchten ist, liegt etwa über 30 mm, die Breite über 200 mm.

Wenn man nun auch von der Konstruktion her viel tun kann,, um das Eintreten solcher Versprödung zu verhindern, sei es, dass man die Kaltverformung richtig durchführt oder ihr ein Entspannen durch Ausglühen folgen lässt, sei es, dass man ungünstige Form bei der Schweissverbindung vermeidet, so ergibt sich doch daraus auch an den Stahlhersteller die Anforderung, einen Stahl herzustellen, der in der Lage ist, auch bei behinderter Verformung sich noch als möglichst wenig sprödbruchanfällig zu erweisen. Es sind eine grosse Anzahl von Prüfverfahren international entwickelt, die den Stahl unter mehrdimensionaler Beanspruchung und damit verbundener Verformungsbehinderung erproben wollen. Man kann sie in drei Gruppen unterteilen. Die erste hat zum Ziel, den Stahl selbst unverspannt zu lassen, ihm aber durch Kerb eine Verformungsbehinderung aufzuzwingen, und ausserdem durch Schlagbeanspruchung ihm keine Zeit zur Verformung zu geben. Es kann dabei sowohl Biege- wie Zugbeanspruchung aufgebracht werden. Da aber unter den hier in Frage kommenden Prüfverfahren die Kerbschlagbiegeprobe schon lange genormt war, so hat man ihr den Vorzug gegeben, während die Kerbzugprobe einstweilen nur vereinzelt bei Forschungsuntersuchungen angewendet wurde. Die zweite Gruppe hat zum Ziel, den Stahl bereits betriebsmäßig zu verspannen. Es wird möglichst der volle Querschnitt bzw. die volle Dicke des zu verwendeten Profils benutzt und die Verspannung durch Aufschweissung erzielt. Hierbei genügt statische Beanspruchung, und man ermittelt sozusagen die Restarbeit, die noch nötig ist, um den bereits vorgespannten Stahl zu Bruch zu

bringen. Diese Art Prüfverfahren ist in Form der sogenannten Aufschweissbiegeprobe in Deutschland in Eisenbahnlieferbedingungen und in DIN 4100 bei Dicken über 30 mm vorgesehen. In Österreich und Belgien ist dieses Prüfverfahren auch genormt. Schliesslich kann man auf einem dritten Wege auch den Stahl altern bzw. die Alterung und den Temperaturabfall zusätzlich verwenden, um die Beanspruchung des Stahls zu verschärfen.

Die neuen Normvorschläge in Deutschland bedienen sich der Prüfung des nicht verspannten Stahls und benutzen die Kerbschlagbiegeprobe zum Nachweis der mehr oder weniger grossen Unempfindlichkeit des Stahls gegen mehrdimensionale Beanspruchung. Es sind vier Gruppen A - D vorgesehen. Die Gruppe A wird den unberuhigten Thomasstahl üblicher Herstellung enthalten. Hier ist kein Nachweis vorgesehen. Die Gruppe B enthält bei den Baustählen (mit Ausnahme des St 52 und härterer Stähle) ebenfalls noch unberuhigte Stähle, nach dem Windfrisch- und Martinverfahren hergestellt. Die Prüfung wird mit der sogenannten DVMF-Probe mit einer Ausrundung von 8 mm Durchmesser ausgeführt, und zwar in gealtertem Zustand. Das Altern wird erreicht, indem man die Probe vor der Bearbeitung um 10 % staucht und sie dann eine halbe Stunde auf 250° C erwärmt. Es ist ein Mittelwert von 8 mkg/cm<sup>2</sup> einzuhalten. Der unterste Wert darf nicht unter 5 mkg absinken. Geprüft wird bei Zimmertemperatur. — Für die Gruppe C sind nun mit Silizium und Aluminium beruhigte Stähle vorgesehen, die sowohl nach dem Windfrischverfahren als auch nach dem Martinverfahren erzeugt werden können. Geprüft wird mit der DVM-Probe mit 2 mm Durchmesser im Kerb bei 0° C, aber ohne Alterung. Der einzuhaltende mittlere Wert für die Kerbzähigkeit beträgt 7 mkg, der unterste Wert 3,5 mkg. — Zu der letzten Gruppe D gehören zusätzlich mit Aluminium beruhigte und besonders alterungsbeständige Martinstähle. Es wird wieder im gealterten Zustand bei Zimmertemperatur mit der DVM-Probe geprüft. Der mittlere einzuhaltende Wert ist 5 mkg, unterster Wert 3,5 mkg. Damit ist der Versuch gemacht, etwaige Anforderungen der Schweißtechnik an die Sprödbruch- und Alterungsempfindlichkeit des Stahls prüftechnisch zu erfassen und Mittel- bzw. Mindestwerte bei der Abnahme nachzuweisen. Die Kerbschlagbiegeprobe wird als das hierfür geeignete Prüfverfahren erwählt, obwohl man bei ihr mit recht erheblichen Streuungen und oft überraschend ausgefallenen Werten rechnen muss. Es werden daher auch mindestens drei Proben vorgesehen, und bei Profildicken über 30 mm wird man vielleicht damit noch nicht einmal auskommen. Es ergeben sich weiterhin fürs erste bei dem Gebrauch dieser Probe drei Anwendungsbereiche nach der Profildicke. Da die Kerbschlagbiegeprobe 10 mm dick ist, so muss das Profil, aus dem sie herausgearbeitet werden kann, besonders noch bei Kaltverformung durch Alterung, mindestens 12 mm dick sein. Unterhalb von 12 mm ist also kein Nachweis der Sprödbruchanfälligkeit durchzuführen. Es ist nach den bisherigen Erfahrungen hier auch wohl nicht nötig. Oberhalb von 30 mm Dicke sieht die Norm 4100 noch weiter die Anwendung der Aufschweissbiegeprobe vor. Unter 3.13 heisst es: «Wenn ausnahmsweise Gurtplatten (auch solche mit Stegansätzen usw.) verwendet werden, die dicker als 30 mm sind, so müssen diese gemäss der TL 918156 der

Deutschen Bundesbahn bzw. der Deutschen Reichsbahn für dicke Gurtplatten abgenommen werden. Das Zeugnis über das Ergebnis der dort vorgeschriebenen Aufschweißbiegeversuche ist bei Bauten aus St 37.12, St 50 m. e. S. (mit erhöhter Streckgrenze) und aus St 52 den Baugenehmigungsbehörden vorzulegen. Werden für die Gurtungen geschweißter Träger getrennte I-Träger verwendet, dann dürfen nur solche aus beruhigt erschmolzenem Stahl verwendet werden, dessen Schweissbarkeit durch eine amtliche Abnahme nachgewiesen ist.

3.14. Soll anderer als der in Abschnitt 3.11 aufgeführte Baustahl geschweisst werden, so muss seine einwandfreie Schweissbarkeit nachgewiesen werden.»

Soweit der Auszug aus den Anforderungen der DIN 4100 an den Baustahl.

Es bleibt nun noch übrig, sich mit den Anforderungen zu befassen, die an die chemische Zusammensetzung und das Gefüge zu stellen sind.

Für den Phosphorgehalt sehen die neuen Vorschriften eine obere Grenze von 0,08 — 0,09 % in der Gütegruppe A und von 0,045 — 0,06 % in den übrigen Gütegruppen vor, für Schwefel 0,04 — 0,06 %. Eine allgemeine Höchstbegrenzung des Kohlenstoffgehaltes, die der Verbraucher für alle Baustähle haben möchte, ist bisher noch nicht festgelegt. In der alten Norm bestand sie für den St 37.12.

Zum Si-Gehalt findet sich eine Fussnote, die lautet: «Der Stahl ist im allgemeinen unberuhigt, kann aber auf Wunsch beruhigt geliefert werden, wobei der Si-Gehalt 0,07 — 0,30 % betragen soll». Zum Stickstoffgehalt ist folgendes vermerkt: «Bei windgefrischten Sonderstählen ist ein Stickstoffgehalt von höchstens 0,008 % für die unberuhigten Stähle und von höchstens 0,01 % bei beruhigten Stählen in der Schmelzanalyse zugelassen. Es gelten dabei noch die Seigerungszuschläge bis 20 % für unberuhigte Stähle». Gegenüber den früheren Normblättern für DIN 1612 für Baustahl sind also durch die Erfahrungen der Schweisstechnik die Anforderungen an die chemische Zusammensetzung des Baustahls erweitert worden.

Anforderungen an das Mikrogefüge sowohl als auch an das Makrogefüge würden die Abnahme zu sehr belasten und doch kein Durchschnittsbild über den Aufbau der gelieferten Gesamtmenge geben. Der Makroaufbau gewinnt nun aber besondere Bedeutung, wenn man gezwungen ist, Bauteile mit Kehlnaht anzuschliessen. Liegen dann unter der Oberfläche schlecht verschweisste Randblasen — bei unberuhigtem Stahl — oder starke Anhäufungen von Oxydationsprodukten — bei zusätzlich mit Aluminium beruhigtem Stahl —, so beult sich der Stahl an diesen Stellen unter der Oberfläche ab, und die Schweissverbindung ist unbrauchbar. Hier ist jedoch der Ultraschall berufen, derartige Fehler in Zukunft gut und eindeutig nachzuweisen bezüglich der Lage und Ausdehnung der nicht genügend gebundenen Stelle. Es ist dabei eine Frage der Wirtschaftlichkeit, ob man die Prüfung mit Ultraschall im Stahlwerk an der ganzen Schmelze, an einzelnen ausgewählten Stücken oder erst in der Stahlbauanstalt durchführt.

### ZUSAMMENFASSUNG

Der Begriff «Baustahl» war in der bisherigen Norm unterschiedlich für den Maschinen- und Stahlbau. Im neuen Entwurf soll er vereinheitlicht werden und neben den Kohlenstoffstählen auch den leicht legierten St. 52. enthalten. Die bisherige Fassung der Normen DIN 1611-23 enthielt neben Zugfestigkeit und Dehnung nur die Begrenzung der unerwünschten Beimengungen Phosphor und Schwefel, aber keinen Nachweis der Schweissbarkeit und Sprödbruchsicherheit. Die Anforderungen der Schweißtechnik enthält dagegen schon die Neuauflage von DIN 4100.

Weiterhin wird erörtert, welche Rissbildungen an geschweißten Konstruktionen aufgetreten sind, und welche Ursachen sie gehabt haben. Die entsprechenden Prüfverfahren zum Nachweis der Schweissbarkeit und Sprödbruchsicherheit werden beschrieben. Die Anwendung der Kerbschlagbiegeprobe bei den vier Gütegruppen des neuen Normentwurfs ist als Nachweis für die Sprödbruchsicherheit in Aussicht genommen.

### R E S U M O

A noção de «aço de construção» dividia-se, nas normas até agora em vigor, em «aço de construção de máquinas» e «aço de construção metálica». Na nova edição das normas essas distinções serão unificadas e incluir-se-ão, a par dos aços ao carbono, os aços ST 52. A norma DIN 1611-23, indicava até agora, únicamente a par da tensão de rotura e do limite de cedência, os limites das percentagens indesejáveis de fósforo e enxofre, sem se referir nem à soldabilidade, nem à fragilidade. Estas informações estão agora incluídas na nova versão da DIN 4100.

O autor refere-se ainda à fissuração de construções soldadas e analisa as suas causas. Descreve igualmente uma série de ensaios para a determinação da soldabilidade e da fragilidade. Considera também ensaios de flexão por choque com provetas entalhadas para a determinação da resistência.

### R É S U M É

La notion d'«acier de construction» se divisait dans les normes en usage jusqu'à présent en «acier de machines» et «acier de charpente». Dans la nouvelle édition de ces normes, ces nuances seront unifiées et l'on trouvera, avec les aciers au carbone, l'acier ST 52. Jusqu'à maintenant, la DIN 1611-23 ne contenait, à part la résistance à la traction et la limite élastique, que les limites admissibles des pourcentages de phosphore et de souffre; la nouvelle version de la DIN 4100 contiendra des renseignements sur la soudabilité et la fragilité.

L'auteur s'occupe encore des fissures dans les charpente soudées et de leurs causes. Il décrit une série d'essais pour la détermination de la soudabilité et fragilité et propose l'emploi, pour la détermination de cette dernière, d'un essai de flexion par choc sur une éprouvette entaillée.

**S U M M A R Y**

The notion of «structural steel» was divided, in the DIN Standards in use, in «machine steel» and «structural steel». In the new edition of those Standards these differences will be unified and steel ST 52 will be included together with carbon steels. Up to now, besides the tensile resistance and yield point, Standard DIN 1611-23 merely indicated the permissible limits of phosphorus and sulphur; new version of DIN 4100 will also include data about the weldability and fragility.

The author also refers to cracking of welded structures and its cause. He describes a series of tests to determine the weldability and fragility and considers impact bending tests on notched test pieces for the latter's determination.