


ACIER INOXYDABLE [PARTIE 4-2]

SOUDAGE A L'ARC AVEC ELECTRODES ENROBEES

Dans cette fiche d'information (partie 4-2), nous traitons du soudage à l'arc avec électrodes enrobées, un procédé de soudage très répandu et très flexible. Nous commentons les différents types d'électrode et l'exécution de la soudure. Nous vous donnerons également un aperçu des avantages et inconvénients du soudage à l'arc avec électrodes enrobées.

 Par ir. Robert Vennekens, IWE, CEWE, Fweldl, Centre de recherche de l'IBS, Service Guidance Technologique (service subsidié par la Région Wallonne)

Ir. Wim Van Haver, Centre de Recherche de l'IBS

(Traduction: M.C. Ritzen – IBS-BIL)

GENERALITES

Avec ce procédé de soudage très répandu et très flexible, on utilise des électrodes enrobées. Ce procédé peut être appliqué pour tous les aciers inoxydables soudables et ce, dans un large domaine d'application. Le soudage avec électrode enrobée de l'acier inoxydable ne diffère pas beaucoup de celui de l'acier non allié. Il faut tenir compte de la conductibilité thermique et électrique moindre. Cette caractéristique entraîne, entre autres, l'emploi d'électrodes plus courtes et une intensité de courant d'environ 25% plus faible. L'extrémité perdue de l'électrode peut aller jusqu'à 10% environ en raison du plus grand risque de surchauffe de l'électrode.

Sources de courant

Le courant le plus élevé, utilisé pour un diamètre de 5 mm, est de 200 A environ. Avec des électrodes à haut rendement, on peut atteindre 300 A environ. Pour réaliser une pénétration sur tôle mince, la source de courant doit être réglée, d'une façon précise, entre 30 et 120 A. La plupart des électrodes pour acier inoxydable peuvent être soudées tant avec du courant continu que du courant alternatif. Néanmoins, la tendance est d'utiliser du courant continu. Lors du soudage en courant continu, le risque de projections est plus faible que lors du soudage en courant alternatif. L'électrode est donc presque toujours reliée au pôle positif. En ce qui concerne les positions de soudage, il existe une plus grande flexibilité par rapport

aux autres procédés de soudage. Le soudage à l'arc avec électrodes enrobées a un large domaine d'application et est utilisé dans les nouvelles constructions (surtout sur chantier) et lors de réparations par soudage. C'est un procédé manuel souvent utilisé à partir de 2 mm d'épaisseur (possible jusque 1 mm, mais difficile); en principe, il n'y a pas de limite supérieure pour l'épaisseur. La figure 1 donne le principe de base de ce procédé de soudage. L'âme et l'enrobage de l'électrode fondent simultanément. L'enrobage assure la protection, par le laitier et le gaz, des gouttes métalliques et du bain de fusion. Le laitier se solidifiant protège la soudure de l'oxydation due à l'air ambiant.

**POUR LE SOUDAGE
AVEC ELECTRODE
ENROBEE, IL FAUT
TENIR COMPTE DE LA
CONDUCTIBILITE
THERMIQUE ET
ELECTRIQUE MOINDRE**

TYPES D'ELECTRODE

Il existe un large assortiment d'électrodes de telle sorte qu'un type approprié d'électrodes est disponible pour chaque type d'acier inoxydable. Ces électrodes sont réparties en différents groupes (EN 1600 et AWS A5.4). Les électrodes les plus appliquées pour l'acier inoxydable sont réparties sur base de leur enrobage: rutile-acide, basique et rutile. De plus amples détails sont donnés ci-après.

Electrodes avec enrobage rutile-acide

(Indication: R dans EN1600 et -17 dans AWS A5.4.)

Les enrobages des électrodes rutil-acides forment un volet spécial des électrodes rutil. Les caractéristiques de ces électrodes sont l'amorçage aisé et le fait qu'elles supportent des

courants de soudage élevés. Le laitier s'élimine aisément et les soudures ont un bel aspect extérieur, légèrement concave. La pénétration est du côté inférieur; il faut donc souder avec un écartement un peu plus grand que lors du soudage avec électrodes basiques. Tant le courant continu avec électrode positive que le courant alternatif peuvent être appliqués, mais avec le courant continu électrode positive, l'arc est plus stable et le bain de fusion est mieux maîtrisé.

Électrodes basiques

(Indication: B dans EN1600 et -15 dans AWS A5.4.)

L'enrobage des électrodes basiques contient beaucoup de CaF_2 (flux) par rapport aux électrodes rutiles et rutiles-acides, ce qui donne un point de fusion plus faible. De ce fait, la soudure a une faible teneur en oxygène et peu d'inclusions, ce qui a pour résultat une ductilité plus élevée et une sensibilité moindre à la fissuration à chaud. C'est pourquoi les électrodes totalement austénitiques et à base de nickel ont un enrobage basique. En position PF, la soudabilité est généralement très bonne. Ce type d'électrode donne également une très bonne pénétration. La soudure est légèrement convexe et plus rugueuse qu'avec les types rutiles. Les électrodes basiques doivent être soudées en courant continu électrode positive.

Électrodes rutiles

(Indication: R dans EN1600 et -16 dans AWS A5.4.)

Les enrobages des électrodes rutiles ont une teneur élevée en TiO_2 (rutile).

Ceci a pour résultat un amorçage aisé de l'arc, une surface lisse de soudure et un laitier facile à éliminer. Les propriétés mécaniques et surtout la résilience ne sont pas aussi bonnes qu'avec les électrodes basiques. Les paramètres typiques de soudage sont donnés au tableau 1.

CHOIX DU TYPE D'ELECTRODE

Types d'enrobage: les électrodes enrobées sont réparties en deux types principaux:

- type rutile (R) et
- type basique (B)

Il existe également des mélanges dont on a déjà parlé.

Propriétés de l'enrobage rutile:

- facile à souder, également en positions
 - approprié pour la racine de la soudure et le remplissage
 - aspect lisse de la soudure et bonne élimination du laitier
 - faible tension d'amorçage
 - faible risque de projections
- Les électrodes à enrobage rutile sont les plus utilisées.

Propriétés de l'enrobage basique:

- modérément bien soudable
- nécessité d'une tension d'amorçage élevée
- aspect assez rugueux de la soudure
- formation relativement forte de projections
- élimination assez bonne du laitier
- métal déposé ayant de bonnes propriétés à la résilience

Les types basiques sont uniquement appliqués dans des cas spéciaux tels que:

- application à très faibles températures grâce à la bonne résilience sous $-150\text{ }^\circ\text{C}$,
- applications dans des installations à haute température en raison de la faible sensibilité à la formation de phases fragiles,
- soudures soumises à des tensions élevées (en raison de la faible sensibilité à la fissuration à chaud),
- réalisation de la racine de la soudure,
- obtention d'une faible teneur en hydrogène (sinon risque de porosités dans le métal austénitique). Séchage possible à température élevée.

EXECUTION DE LA SOUDURE

Selon le type d'enrobage, la longueur d'arc influence la tension d'arc et donc le développement de chaleur. Les électrodes basiques doivent être soudées avec une faible longueur d'arc.

La longueur d'arc doit être maintenue aussi courte que possible. Un arc plus long augmente la reprise en azote et fait donc diminuer le pourcentage en ferrite ce qui augmente le risque de fissuration à chaud. Pour contrer la diminution en éléments d'alliages et la reprise en azote, il faut souder avec une longueur d'arc relativement courte et constante. Pour avoir une bonne pénétration, en plus d'un courant de soudage suffisamment élevé, la vitesse de soudage doit être telle que le bain de fusion ne précède pas l'électrode. Avant de déposer un cordon de soudure, les soudures de pointage doivent être bien meulées. Ceci est particulièrement

d'application pour les passes de fond dans des joints chanfreinés. Afin d'éviter les fissures de cratères, l'électrode est retirée sur le côté à la fin d'un cordon ou à chaque interruption, ou tirée vers l'arrière de 10 à 15 mm et ensuite lentement tirée vers le haut.

Le tableau 2 donne des valeurs pour l'exécution de soudures d'angle à plat (position PB). La position de l'électrode et la signification de la hauteur 'a' sont reprises sous le tableau 2.

Le tableau 3 donne les types de joints soudés pour le soudage avec électrode enrobée.

Sur le marché, on dispose de différents métaux d'apport tels que: électrode enrobée pour le soudage de l'acier inoxydable austénitique (avec ou sans molybdène), l'acier inoxydable duplex ou pour les assemblages hétérogènes (acier inoxydable à l'acier au carbone). Selon la position de soudage, on peut appliquer des électrodes à haut rendement ou des électrodes pour toutes positions.

Le soudage avec électrode à haut rendement est surtout destiné pour les positions PA et PB de joints bout à bout et joints d'angle.

Quand on applique une électrode avec 150% de rendement, le dépôt peut être de 30% plus élevé qu'avec des produits standards. La longueur de dépôt de l'électrode est alors plus grande ce qui donne moins de démarrages et d'arrêts. De ce fait, on soude d'une façon plus économique et on augmente la qualité. Ces électrodes sont normalement utilisées à partir de 5 mm d'épaisseur. □

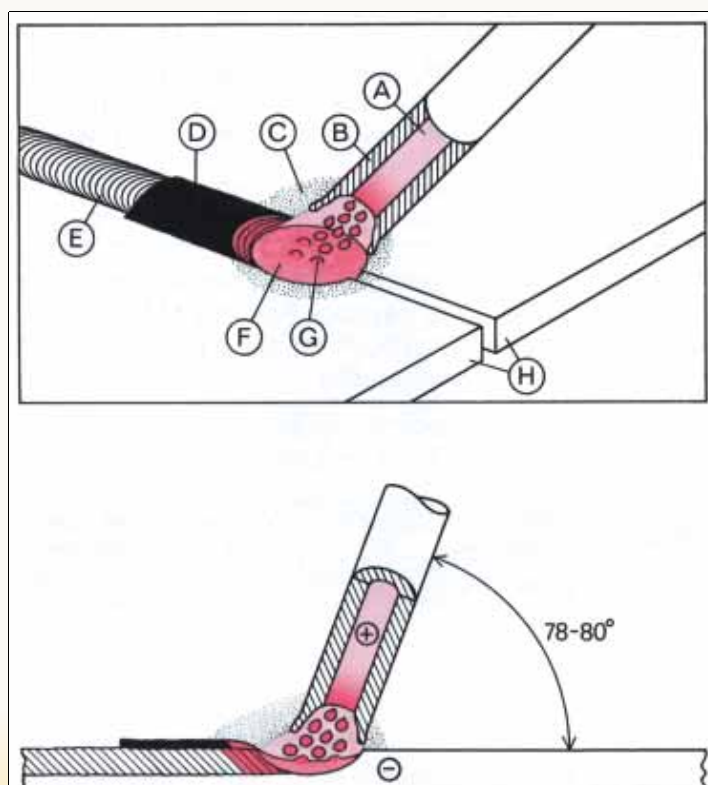


Figure 1: représentation schématique du soudage à l'arc avec électrode enrobée. A) Ame; B) Enrobage; C) Protection gazeuse; D) Laitier solidifié; E) Métal déposé; F) Bain de fusion; G) Gouttes métalliques couvertes d'une légère couche de laitier fondu; H) Métal de base

AVANTAGES ET INCONVENIENTS POSSIBLES DU SOUDAGE A L'ARC AVEC ELECTRODE ENROBEE

AVANTAGES

- Investissement limité
- Application en toutes positions
- Utilisable partout
- Réglage rapide
- Electrode pour chaque type d'acier inoxydable
- Peu de problème d'impuretés
- Protection par laitier solidifié, également à l'envers
- Faible apport calorifique
- Bonnes propriétés mécaniques et chimiques

INCONVENIENTS

- Faible facteur de marche
- Faible vitesse de soudage
- Projections
- Oxydation progressive (décoloration)
- Décapage et passivation toujours nécessaires
- Résidus de laitier
- Risque d'inclusions de laitier

BIBLIOGRAPHIE

- Lassen van roest- en hittevast staal, VM42, FME - NIL
- The Avesta Welding Manual - Practice and products for stainless steel welding (3rd Edition - December 2007 and edition 1986)
- Roestvast staal lassen, Smitweld BV, Nijmegen (1996)

TABLEAU 1: PARAMETRES TYPQUES DE SOUDAGE POUR LE SOUDAGE A L'ARC AVEC ELECTRODE ENROBEE DE L'ACIER INOXYDABLE

TYPE D'ELECTRODE	DIAMETRE [mm]	TENSION [V]	COURANT [A]		
			A PLAT (PA/1G)	VERTICAL MONTANTE (PF/3G)	AU PLAFOND (PE/5G)
RUTILE-ACIDE	1,6	26 – 30	30 – 50	30 – 40	35 – 45
	2,0	26 – 30	35 – 60	35 – 50	40 – 50
	2,5	26 – 30	50 – 80	50 – 60	60 – 70
	3,25	26 – 30	80 – 120	80 – 95	95 – 105
	4,0	26 – 30	100 – 160	/	/
	5,0	26 – 30	160 – 220	/	/
BASIQUE (*)	2,0	24 – 27	35 – 55	35 – 40	35 – 45
	2,5	24 – 27	50 – 75	50 – 60	55 – 65
	3,25	24 – 27	70 – 100	70 – 80	90 – 100
	4,0	24 – 27	100 – 140	100 – 115	125 – 135
	5,0	24 – 27	140 – 190	/	/
RUTILE	2,0	22 – 24	35 – 55	35 – 40	40 – 50
	2,5	22 – 24	50 – 75	50 – 60	60 – 70
	3,25	22 – 24	70 – 110	70 – 80	95 – 105
	4,0	22 – 24	100 – 150	100 – 120	120 – 135
	5,0	22 – 24	140 – 190	/	/

(*): pour les électrodes à base de nickel, utiliser un courant légèrement plus faible

TABLEAU 2: DIRECTIVES POUR LA REALISATION DE SOUDURES D'ANGLE A PLAT

EPAISSEUR DE TOLE [MM]	HAUTEUR 'A' [MM]	ELECTRODE Ø ET LONGUEUR [MM]	RENDEMENT [%]	INTENSITE DE COURANT PAR ELECTRODE [A]	LONGUEUR DE SOUDURE [mm]
2 – 3	env. 2,5	2,5 x 350	100	50 – 80	200 – 300
		2,5 x 300	150	60 – 90	300 – 350
3 – 4	2,5 – 3	3,25 x 350	100	70 – 90	300 – 350
		3,25 x 350	150	80 – 120	400 – 450
5 – 7	env. 3,0	4,0 x 350	100	90 – 140	350 – 500
		3,25 x 450	130	90 – 120	env. 450
		4,0 x 450	130	120 – 160	env. 600
		3,25 x 350	150	80 – 120	500 – 600
		4,0 x 450	150	130 – 170	650 – 750
8 – 10	env. 3,5	5,0 x 350	100	160 – 200	450 – 550
		4,0 x 450	130	120 – 160	env. 500
		5,0 x 450	130	160 – 210	env. 650
		4,0 x 450	150	130 – 170	550 – 650
		5,0 x 450	150	170 – 230	650 – 750
10 – 12	env. 4,0	5,0 x 350	100	160 – 210	380 – 500
		5,0 x 450	130	160 – 220	env. 620
		5,0 x 450	150	170 – 230	600 – 700
12 – 14	env. 4,5	5,0 x 350	100	160 – 220	300 – 420
		5,0 x 450	130	160 – 230	env. 520
		5,0 x 450	150	170 – 230	650 – 750
> 14	env. 5,0	En une seule couche, en principe uniquement possible avec des électrodes à rendement			
		5,0 x 450	130	160 – 230	env. 400
		4,0 x 450	150	170 – 230	450 – 500

Figures: positionnement de l'électrode et signification de la valeur 'a'

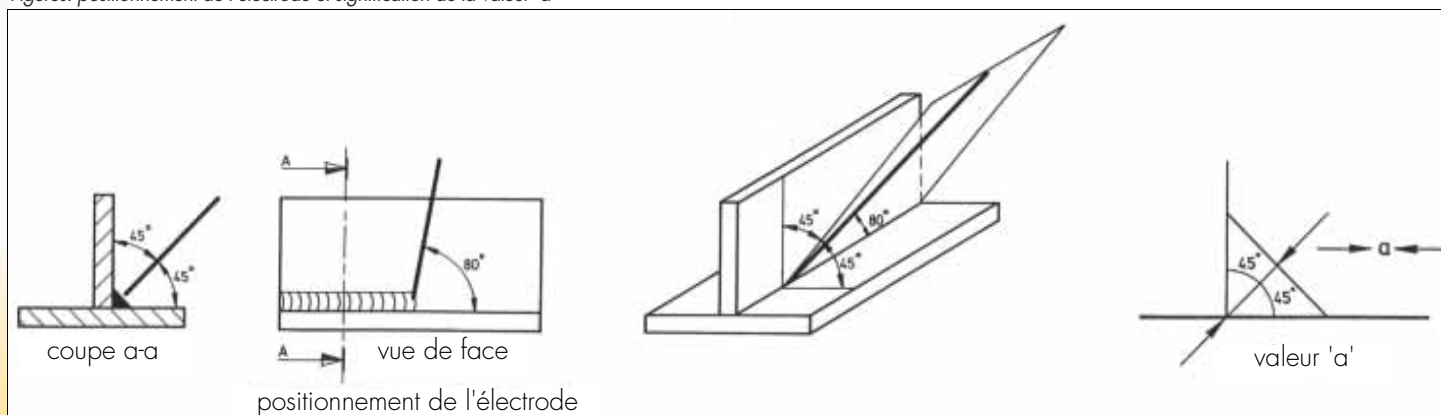
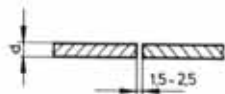

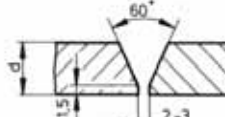
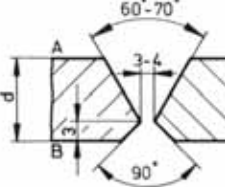
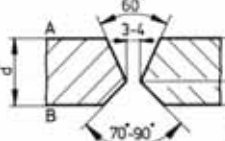
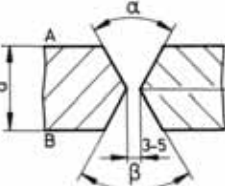
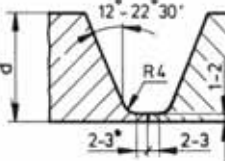
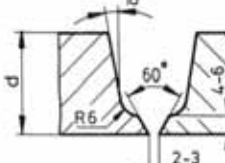
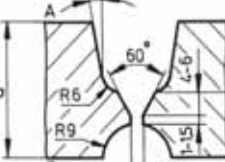


TABLEAU 3: TYPES DE JOINTS SOUDES POUR LE SOUDAGE AVEC ELECTRODE ENROBEE

DENOMINATION	FORME DU JOINT	EPAISSEUR [MM]	CONTENU THEOR. DU JOINT [CM ² /M]	SOUDAGE HORIZONTAL		SOUDAGE VERTICAL		REMARQUES
				ELECTRODE Ø [MM]	COURANT DE SOUDAGE [A]	ELECTRODE Ø [MM]	COURANT DE SOUDAGE [A]	
JOINT EN I D'UN SEUL COTE		< 2,5	/	TIG	40 – 100	/	30 – 60	Approprié pour toutes les positions
JOINT EN I DES DEUX COTES		2,5 3 4	/	2-2,5 2,5-3,25 3,25-4	30 – 65 50 – 90 70 – 120	2-2,5 2,5 2,5	40 50 60	Approprié pour toutes les positions. Si nécessaire, meuler avant de faire la reprise à l'envers
JOINT EN V D'UN SEUL COTE ET DES DEUX COTES		5 – 6 8 10 12	27 – 36 60 80 114	2,5-3,25 3,25-4-5 3,25-4-5	50 – 90 80 – 220 80 – 240 80 – 240	2,5 2,5-3,25 3,25 3,25	50 80 90 90	Les exigences posées pour la préparation et le montage sont plus élevées pour le soudage d'un seul côté que des deux côtés
JOINT EN X ASYMETRIQUE		8 10 13 16 20 23 25	45 63 95 133 186 253 293	pas de fond 3,25 reste 4-5	80 – 100 140 – 240	3,25 3,25 3,25 3,25-4 3,25-4 3,25-4	80 80 80 90 100 110 110	Pour le soudage en position. Souder d'abord le côté A; si nécessaire, meuler le côté B avant de faire la reprise à l'envers
JOINT EN X ASYMETRIQUE		8 10 13 16 20 23 25	45 63 95 133 186 253 293	pas de fond 3,25 reste 4-5	80 – 100 140 – 240	3,25 3,25 3,25 3,25-4 3,25-4 3,25-4	80 80 80 90 100 110 110	Règle générale: souder d'abord le côté A. Afin de limiter la déformation, on peut souder alternativement les côtés A et B
JOINT EN X SYMETRIQUE		8 10 13 16 20 23 25	45 63 95 133 186 253 293	pas de fond 3,25 reste 4-5	80 – 100 140 – 240	3,25 3,25 3,25 3,25-4 3,25-4 3,25-4	80 80 80 90 100 110 110	Séquence de soudage: passe de fond du côté A, remplir complètement le côté B, terminer la soudure côté A. $\alpha = 70 - 90^\circ$ $\beta = 60 - 75^\circ$
JOINT EN U D'UN SEUL COTE		13 16 20 23 25	152 195 253 297 326	pas de fond TIG reste 4-5 si nécessaire chanfreine	120 – 240	3,25 3,25 3,25-4 3,25-4 3,25-4	90 100 110 110 110	La passe de fond est réalisée avec le procédé TIG, de préférence avec un métal d'apport. La mesure 3* dépend du diamètre de la buse. A appliquer spécialement pour soudures sur tubes
JOINT EN U D'UN SEUL COTE ET DES DEUX COTES		13 16 20 23 25	90 140 210 280 320	pas de fond TIG ou 2,5-3,25, reste 4-5 si nécessaire souder à l'envers avec 3,25-4	50 – 90 140 – 240	3,25 3,25-4 3,25-4 3,25-4 3,25-4	80 90 100 110 110	Eventuellement, meuler l'envers et déposer une souder à l'envers
JOINT UN U D'UN SEUL COTE ET DES DEUX COTES		25 30 35 40	240 325 415 510	pas de fond 2,5 – 3,25, reste 4 – 5	50 – 90 140 – 240	3,25-4 3,25-4 3,25-4 3,25-4	110 120 120 120	Eventuellement, meuler l'envers et déposer une souder à l'envers