

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Aboubakr Belkaïd– Tlemcen –
Faculté de TECHNOLOGIE
Département de Génie Mécanique



Assemblages Soudés
Préparation aux examens IWT

Procédés et matériels de soudage



Présenté par :

M SEBAA Fethi
M RAHOU Mohamed

Année universitaire : 2019 / 2020

Liste des figures

Figure 1 :	Soudage homogène.	2
Figure 2 :	Soudage hétérogène	2
Figure 3 :	Soudage à l'arc à l'électrode enrobée	3
Figure 4 :	Soudage à l'arc par gravité	4
Figure 5 :	Soudage à l'arc avec fil fourré auto-protecteur.....	4
Figure 6 :	Constitution d'une électrode enrobée	5
Figure 7 :	Principe de soudage MIG/MAG	12
Figure 8 :	Poste de soudage MIG/MAG.....	13
Figure 9 :	Torche de soudage MIG.....	13
Figure 10 :	Schéma du procédé MIG/MAG.....	14
Figure 11 :	Transfert par court-circuit.....	15
Figure 12 :	Cordon en court-circuit.....	15
Figure 13 :	Transfert Grosse Goutte	16
Figure 14 :	Cordon en transfert globulaire	16
Figure 15 :	Transfert par pulvérisation axiale	16
Figure 16 :	Soudage en pulvérisation axiale.....	16
Figure 17 :	Poste de soudage MIG/MAG.....	17
Figure 18 :	Soudage par friction.....	18
Figure 19 :	Phase de pénétration de l'outil.....	18
Figure 20 :	Phase transitoire d'échauffement par frottement	19
Figure 21 :	Phases de soudage.....	19
Figure 22 :	Phase de retrait de l'outil	20
Figure 23 :	Transferts thermiques induits par le procédé FSW	21
Figure 24 :	Principaux paramètres de soudage.....	22
Figure 25 :	Soudage par points.....	25
Figure 26 :	Soudage par bossage.....	26
Figure 27 :	Soudage à la molette	27

Figure 28 :	Soudage en bout par étincelage.....	28
Figure 29 :	Principe de soudage par point	29
Figure 30 :	Mécanisme de formation des points de soudure	29
Figure 31 :	Différentes phases d'un cycle de soudage	30
Figure 32 :	Cycle de soudage	30
Figure 33 :	Temps de maintien exprimés en milliseconde et en période.....	32
Figure 34 :	Illustration des phénomènes électriques dans le soudage par points	33
Figure 35 :	Coupe d'un point de soudure	34
Figure 36 :	Microstructures générées par l'opération de soudage	36
Figure 37 :	Distance entre chaque point	37
Figure 38 :	Effets du courant de soudage sur le diamètre du noyau soudé	38
Figure 39 :	Effets du temps de soudage sur le diamètre du noyau	38
Figure 40 :	Effets de l'effort aux électrodes sur le diamètre du noyau soudé	39
Figure 41 :	Evolution simultanée des diamètres des faces actives et noyaux fondus	42
Figure 42 :	Exemple de formats standardisés	44
Figure 43 :	Exemple des différents formats d'électrode	45
Figure 44 :	Poste à souder TIG	45
Figure 45 :	Principe de soudage TIG.....	46
Figure 46 :	Soudage TIG	46
Figure 47 :	Description d'un poste TIG	48
Figure 48 :	Buses céramiques TIG	49
Figure 49 :	Affûtage correct de l'électrode	51
Figure 50 :	Mauvais affûtage d'une électrode	51
Figure 51 :	TIG Orbital.....	54
Figure 52 :	TIG double flux.....	55
Figure 53 :	Soudure A-TIG	56
Figure 54 :	TIG multi-cathodes	57
Figure 55 :	Poste de soudage plasma.....	60
Figure 56 :	Schématisation du principe du soudage par plasma	61
Figure 57 :	Arc non transféré.....	61
Figure 58 :	Arc transféré.....	62
Figure 59 :	Poste "chalumeau"	65

Figure 60 :	Chalumeau.	65
Figure 61 :	Flamme chalumeau normale – Réglage parfait	66
Figure 62 :	Flamme chalumeau oxydante – Mauvais réglage – Excès d’oxygène	67
Figure 63 :	Flamme chalumeau – Mauvais réglage – Excès d’acétylène/propane/... ..	67
Figure 64 :	Température de flamme chalumeau	67
Figure 65 :	Procédé SAW	69
Figure 66 :	Principe du soudage sous flux.....	70
Figure 67 :	Mode CV.....	71
Figure 68 :	Mode CC.....	71
Figure 69 :	Presse soudeuse	75
Figure 70 :	Soudeuse ultrason pour métaux	75
Figure 71 :	Principe de soudage ultrasons	76
Figure 72 :	Assemblages possibles de soudage plastique par ultrasons.....	77
Figure 73 :	Abaque de soudabilité des matières thermoplastiques.....	78
Figure 74 :	Assemblages possibles pour soudage des métaux par ultrasons.....	79
Figure 75 :	Abaque de soudabilité des matières thermoplastiques.....	79
Figure 76 :	Principe de soudage par Impulsion Magnétique	81
Figure 77 :	Géométrie microscopique de la soudure par Impulsion Magnétique	82
Figure 78 :	Etapas de formation de la soudure résultant de la collision de métaux	83
Figure 79 :	Soudage d’un tube en Al par impulsion magnétique sur un tube en cuivre	84
Figure 80 :	Tôles de différents matériaux soudées par impulsion magnétique	84
Figure 81 :	Exemples d’utilisation la technique de soudage	85
Figure 82 :	Etapas d’une opération de soudage explosive	90
Figure 83 :	Soudage par explosion	91
Figure 84 :	Exemples d’utilisation du procédé de soudage à l’explosif	92
Figure 85 :	Exemples de soudage des rails par aluminothermique	94
Figure 86 :	Moulage de l’opération de soudage des rails par aluminothermique	94
Figure 87 :	Soudage aluminothermique	95
Figure 88 :	Soudage des câbles en cuivre.....	97
Figure 89 :	Nettoyage des extrémités des conducteurs	97
Figure 90 :	Verrouillage des parties des moules	98
Figure 91 :	Versage du métal d’apport à l’intérieur du creuset	98

Figure 92 :	Fermeture du couvercle et allumage avec le pistolet	98
Figure 93 :	Fissuration à chaud	100
Figure 94 :	Forme du cordon	100
Figure 95 :	Fissuration due aux Contraintes appliquées lors de la solidification.....	101
Figure 96 :	Types de fissures fréquentes	102
Figure 97 :	Exemples des défauts de fissure -1-.....	102
Figure 98 :	Exemples des défauts de fissure -2-.....	103
Figure 99 :	Exemples des défauts de fissure -3-.....	103
Figure 100 :	Types de soufflures fréquentes	103
Figure 101 :	Types de piqures -1-.....	104
Figure 102 :	Types de piqures -2-.....	104
Figure 103 :	Types de piqures -3-.....	105
Figure 104 :	Type des piqures -4-.....	105
Figure 105 :	Exemples de défauts d'inclusions solides.....	106
Figure 106 :	Exemples de manques de pénétration	107
Figure 107 :	Exemples de manques de pénétration	107
Figure 108 :	Exemples de défaut de morsures et caniveaux	108
Figure 109 :	Défauts de convexité.....	108
Figure 110 :	Défauts d'excès de pénétration	109
Figure 111 :	Défauts d'alignement- dénivellation.....	109
Figure 112 :	Défaut de Manque d'Epaisseur-concavité	110
Figure 113 :	Défauts de mauvaise reprise de cordon	110

Liste des tableaux

Tableau 1 :	Choix du courant de soudage en fonction des matériaux	8
Tableau 2 :	Intensité du courant en fonction du diamètre de l'électrode et de l'épaisseur de la pièce.....	9
Tableau 3 :	Effets du temps d'accostage.	31
Tableau 4 :	Effets de l'effort	31
Tableau 5 :	Effets du temps maintien	32
Tableau 6 :	Effets de l'intensité.....	32
Tableau 7 :	Défauts possibles du point soudé	36
Tableau 8 :	Soudabilité des métaux usuels	40
Tableau 9 :	Paramètres de soudage pour les aciers doux	41
Tableau 10 :	Caractéristiques de l'acier et du zinc.....	42
Tableau 11 :	Choix de la buse en fonction de l'épaisseur de la pièce à souder.....	66
Tableau 12 :	Consignes de sécurité pour le procédé de soudage OA.....	68

Sommaire

1. Introduction générale	1
2. Historique	2
3. Avantages du soudage.....	2
4. Types de soudures	2
I. SOUDAGE A L'ARC A L'ELECTRODE ENROBEE	3
Introduction	3
1. Définition	3
1.1. Autres procédés	4
1.1.1. Soudage à l'arc par gravité	4
1.1.2. Soudage à l'arc avec fil fourré auto-protecteur (114)	4
2. Principe de la soudure à l'électrode enrobée.....	5
3. Electrodes	5
3.1. Âme métallique	6
3.2. Enrobage.....	6
3.3. Composition	7
3.4. Différents rôles de l'enrobage	7
4. Courant électrique	7
4.1. Polarité directe (négative)	8
4.2. Polarité indirecte (positive)	8
5. Choix du courant en fonction des matériaux.....	8
6. Déclinaisons de la soudure à l'électrode enrobée	9
7. Influence de l'intensité en soudage à l'arc avec électrode enrobée	10
8. Avantages	10
9. Inconvénients	10
10. Applications	10
11. Principaux défauts rencontrés	11
Conclusion.....	11
II. PROCEDES DE SOUDAGE SEMI-AUTOMATIQUE MIG-MAG	11
1. Historique	11
2. Terminologie:	11
3. Références des différents types de procédés de soudage semi-automatique.....	11
4. Principe et définition	12

5. Définition du procédé de soudage MIG (131)	12
6. Principe du procédé de soudage MIG (131).....	13
7. Nature de courant et polarités utilisés	14
8. Paramètres de soudage MIG-MAG	14
9. Avantages et inconvénients du procédé de soudage MAG	15
10. Transferts d'arc	15
10.1. Transfert par court-circuit (short-arc).....	15
10.2. Transfert globulaire (grosse-goutte).....	16
10.3. Transfert par pulvérisation axiale (spray-arc)	16
11. Installation d'une unité de soudage MIG	17
III. SOUDAGE PAR FRICTION.....	17
Introduction	17
1. Technique de soudage par friction	18
1.1. Soudage par friction malaxage	18
1.1.1. Phases du procédé	18
1.1.2. Phénomènes physiques observés dans le procédé.....	20
1.1.3. Principaux paramètres	22
1.1.4. Autres paramètres.....	22
1.2. Soudage par friction	23
1.2.1. Caractéristiques du procédé.....	23
1.2.2. Matériaux de base.....	23
2. Applications	23
3. Avantages	24
4. Inconvénients	24
5. Hygiène et sécurité	24
Conclusion.....	24
IV. SOUDAGE PAR POINTS.....	24
1. Principe du soudage par résistance.....	24
1.1. Soudage par point.....	25
1.2. Soudage par bossage	26
1.3. Soudure à la molette	27
1.4. Soudage en bout par étincelage	27
2. Principe de base du procédé	29
2.1. Rappel de base d'électricité.....	29
2.2. Cycle de soudage.....	30

3. Mécanisme de formation de la soudure.....	33
4. Point et son environnement.....	34
4.1. Microstructure du point soudé.....	34
5. Défauts possibles du point soudé.....	36
6. Distance entre chaque point.....	37
7. Soudabilité.....	37
8. Compatibilité de soudage des métaux usuels.....	40
9. Aciers doux.....	40
10. Tôles galvanisées.....	41
11. Processus de l'usure des pointes d'électrodes.....	42
12. Préparation des surfaces de tôles dégraissage.....	43
13. Décapage.....	43
13.1. Décapage mécanique.....	43
13.2. Décapage chimique.....	43
14. Electrode.....	44
V. SOUDURE TIG (141).....	45
1. Principe et définition du soudage TIG (141).....	45
2. Description de la torche TIG.....	46
3. Paramètres ayant une influence sur le soudage TIG.....	47
4. Applications du soudage TIG.....	47
5. Avantages du soudage TIG.....	47
6. Inconvénients du soudage TIG.....	47
7. Description d'un poste de soudage TIG.....	48
8. Alimentation électrique du procédé de soudage TIG.....	48
9. Gaz utilisés en procédé TIG.....	49
10. Buses utilisées en soudage TIG.....	49
10.1. Diamètre de la buse.....	50
11. Electrodes non fusibles.....	50
12. Affutage des électrodes en tungstène.....	51
13. Récapitulatif simplifié.....	51
13.1. Aciers et aciers inoxydables.....	51
13.2. Aluminiums et alliages.....	52
13.3. Réglages du pré-gaz et du post-gaz.....	52
13.4. Aciers et aciers inoxydables.....	52
13.5. Aluminiums et alliages légers.....	52

14. Défauts des soudures	52
14.1. Rochage	52
14.2. Inclusion de tungstène	52
14.3. Oxydation	53
14.4. Fissuration	53
15. Procédés divers.....	53
15.1. TIG pulsé.....	53
15.2. TIG Orbital.....	54
15.2.1. Avantages du procédé TIG Orbital	54
15.3. TIG double flux	54
15.4. TIG fil chaud	55
15.5. A-TIG	55
15.5.1. Performances du procédé A-TIG	56
15.6. TIG multi-cathodes	56
16. Hygiène et sécurité	57
16.1. Protection contre les dangers du courant électrique.....	57
16.2. Protection contre les rayonnements.....	58
16.3. Protection contre les fumées	58
16.4. Protection contre les poussières d'électrode	58
16.5. Sous oxygénation dans les opérations de soudage	59
VI. SOUDAGE PLASMA	59
Introduction	59
1. Généralités et principe de soudage au plasma.....	59
1.1. Définition	59
1.2. Principe.....	59
2. Source d'énergie.....	61
3. Métal d'apport	62
4. Domaine d'utilisation	62
5. Avantages du procédé	63
6. Inconvénients du procédé.....	63
7. Risques	63
Conclusion.....	64
VII. SOUDAGE OXYACÉTYLENIQUE	64
1. Définition du soudage oxyacétylénique	64
2. Description du poste de soudage OA	64

3. Choix de la buse	65
4. Mode opératoire	66
5. Sécurité.....	68
VIII. PROCEDE ARC SUBMERGE	68
Introduction	68
1. Définition du procédé.....	69
2. Principe du procédé.....	69
3. Paramètres de soudage à l'arc submergé.....	70
4. Caractéristiques d'arc	70
5. Domaines d'applications	71
6. Matériaux utilisés	72
7. Flux et leur rôle	72
8. Générateur de courant de soudage.....	72
9. Avantages	72
10. Inconvénients	73
Conclusion.....	73
IX. SOUDAGE PAR ULTRASONS	73
Introduction	73
1. Histoire de soudage par ultrasons.....	74
2. Définition	74
3. Principe de soudage par ultrasons	75
4. Théorie de soudage ultrasonique.....	76
5. Types de soudage par ultrasons.....	77
5.1. Soudage par ultrasons de plastiques	77
5.1.1. Assemblages possibles	77
5.1.2. Tableau de soudabilité des matières thermoplastiques	78
5.2. Soudage métallique par ultrasons.....	78
5.2.1. Assemblages possibles	78
5.2.2. Tableau de soudabilité des métaux.....	79
6. Applications	80
7. Avantages du soudage par ultrasons	80
8. Inconvénients du soudage par ultrasons.....	80
X. SOUDAGE PAR IMPULSION MAGNETIQUE.....	81
Introduction	81
1. Principe.....	81

2. Techniques de soudage.....	82
2.1. Soudage par TIM.....	82
2.1.1. Impact.....	83
2.1.2. Soudage de forme tubulaire.....	84
2.1.3. Soudage à plat	84
3. Avantages de la soudure par TIM	85
4. Exemples et domaines d'utilisations	85
5. Limites du processus	86
Conclusion.....	86
XI. SOUDAGE PAR EXPLOSION.....	87
Introduction	87
1. Généralités.....	87
1.1. Définition	87
1.2. Historique et développement.....	87
2. Principe.....	88
2.1. Préparation	88
2.2. Assemblage	88
2.3. Fonctionnement de liaison	89
3. Applications	91
4. Avantages et inconvénients	92
4.1. Avantages	92
4.2. Inconvénients	92
Conclusion.....	92
XII. SOUDAGE ALUMINOTHERMIQUE.....	93
Introduction	93
1. Définition	93
2. Principe.....	93
3. Soudage des rails.....	94
4. Etapes de soudage	95
5. Contrôle de qualité des soudures.....	96
6. Avantages et inconvénients	96
XIII. SOUDAGE DES CABLES EN CUIVRE	96
1. Principe de base.....	97
2. Etapes de soudures	97
3. Avantages et inconvénients	99

Conclusion.....	99
5. Classification des défauts géométriques (matériaux métalliques).....	99
1. Fissures.....	100
2. Cavités.....	103
3. Inclusions solides	105
4. Manque de fusion	106
4.1 Manque de pénétration	106
4.2 Manque de fusion (collage).....	107
5. Défauts de forme (Forme irrégulière- largeur irrégulière)	108
5.1. Morsures et caniveaux.....	108
5.2. Défauts de convexité	108
5.3. Excès de pénétration.....	109
5.4. Défaut d'alignement- Dénivellation.....	109
5.5. Manque d'épaisseur-concavité	110
5.6. Mauvaise reprise de cordon.....	110
Références bibliographiques	111
Annexe : QCM / IWT : Questionnaires	1
Annexe : QCM / IWT : Réponses aux Questionnaires	35

**Procédés et matériels
de soudage**

1. Introduction

Le bureau d'études à l'heure de l'ingénierie simultanée, est le lieu de convergence de nombreux métiers et spécialités aussi divers que complexes. Dans ce contexte de dialogue, de complémentarité et d'interactivité, des compétences doivent être acquises lors de la formation. Or, lors des stages qui sont les moyens privilégiés de découverte de l'entreprise et de ses réalités, une demande latente de diplômés en soudage est constatée dans le milieu industriel spécialisé ou pas dans le domaine du soudage.

Le soudage est présent dans l'ensemble des activités concernées par la mise en œuvre des métaux en feuilles, tubes et profilés, que l'on rencontre dans tous les secteurs des industries métallurgiques (chaudronnerie et structures métalliques, constructions aéronautiques, automobiles, navales, pétrolières, ...). Le soudage occupe une place importante tant par son volume d'activités que par la modernité des techniques qu'il requiert, notamment dans la maîtrise de la qualité.

Ce polycopié est le premier volume d'un traité de soudage destiné aux enseignants, étudiants en licence professionnelle Assemblages Soudés et les professionnels contraints à la formation.

Il prépare les candidats aux QCM des examens de l'IWT (International Welding Technologue) ayant la compétence de technologue international de niveau II ou coordinateur en soudage. Il répond aux programmes agréés par le canevas du MESRS, conformes à la norme de soudage ISO 14731 garantissant la qualité des assemblages soudés.

D'autres polycopiés, à paraître ultérieurement, sont consacré à la fabrication en soudage ainsi que le calcul et conception en soudage.

Nous espérons que ce polycopié soit un guide, un outil efficace et agréable pour les utilisateurs qu'ils soient en formation de licence ou déjà engagés dans la vie professionnelle.

2. Historique

Pendant des millénaires, l'assemblage des métaux s'est fait par forgeage. La rupture est intervenue à la fin du 19^{ème} siècle, lorsqu'il est devenu possible d'obtenir des températures de flammes suffisantes en mélangeant des gaz comme l'oxygène et l'acétylène désormais stockables en toute sécurité et que sont apparus des procédés de soudage, comme le soudage par résistance et le soudage à l'arc, utilisant l'électricité comme source d'énergie.

Le soudage à l'arc, le soudage par résistance et le soudage sous protection gazeuse ont tous été inventés avant la Première Guerre mondiale.

3. Avantages du soudage

- Facilité de mise en œuvre ;
- Meilleures propriétés mécaniques de l'assemblage ;
- Il assure une continuité métallique de la pièce ;
- Conférant des caractéristiques au niveau de l'assemblage équivalentes à celles du métal assemblé ;
- Il est durable (insensible aux variations de température, aux conditions climatiques ...) ;
- Il garantit l'étanchéité de la pièce soudée ;
- Économie de matière et meilleure solution technique.

4. Types de soudures

Les figures 1 et 2 illustrent pour les métaux deux types de soudures :

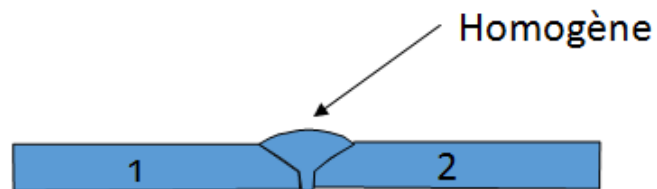


Figure 1 : Soudure homogène

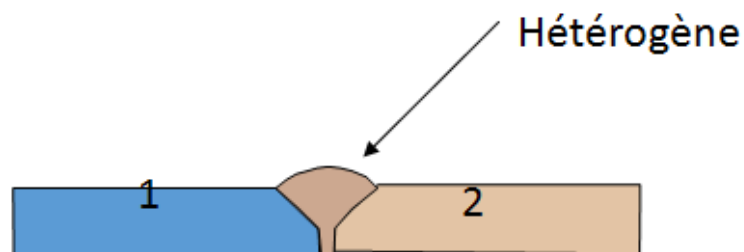


Figure 2 : Soudure hétérogène

Type « A »

1=2 # métal d'apport.

Type « B »

1# 2 # métal d'apport.

I. SOUDAGE A L'ARC A L'ELECTRODE ENROBEE

Introduction

Le soudage est apparu à la fin 19^{ème} siècle comme une opération d'assemblage permanente des matériaux métalliques.

Le soudage à l'électrode enrobée était et reste toujours l'un des procédés de soudage les plus utilisés à cause de son efficacité pour souder des matériaux différents.

1. Définition

Le soudage à l'arc à l'électrode enrobée (111), soudage manuel ou soudage à la baguette (figure.3), est l'un des procédés de soudage les plus utilisés.

Lorsque l'on approche l'électrode enrobée des pièces à assembler, il se crée un arc électrique qui dégage un fort pouvoir calorifique provoquant la fusion de l'électrode.



Figure 3 : Soudage à l'arc à l'électrode enrobée

1.1. Autres procédés

1.1.1. Soudage à l'arc par gravité

C'est un soudage à l'arc avec électrode fusible dans lequel une électrode-contact est fixée dans un dispositif lui permettant de descendre par gravité (figure 4).

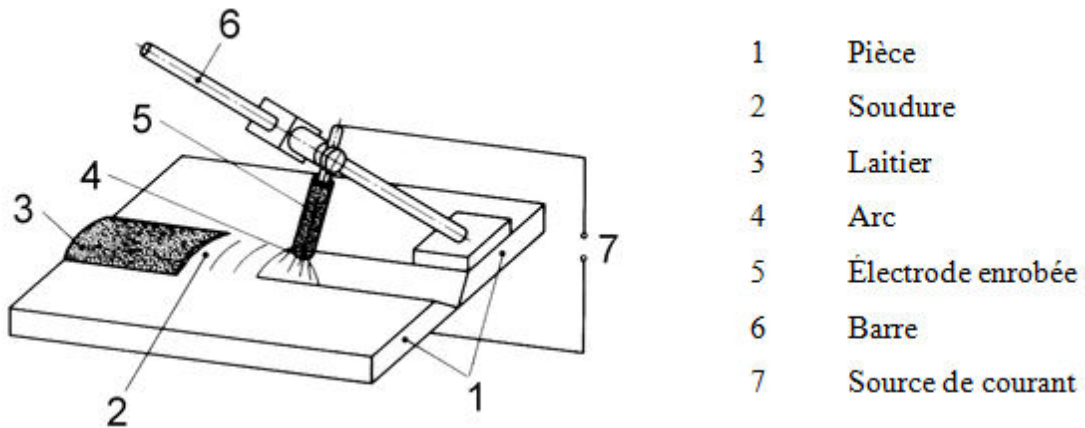


Figure 4 : Soudage à l'arc par gravité

1.1.2. Soudage à l'arc avec fil fourré auto-protecteur (114)

C'est un soudage à l'arc avec électrode fusible dans lequel on utilise un fil-électrode fourré sans protection gazeuse extérieure (figure 5).

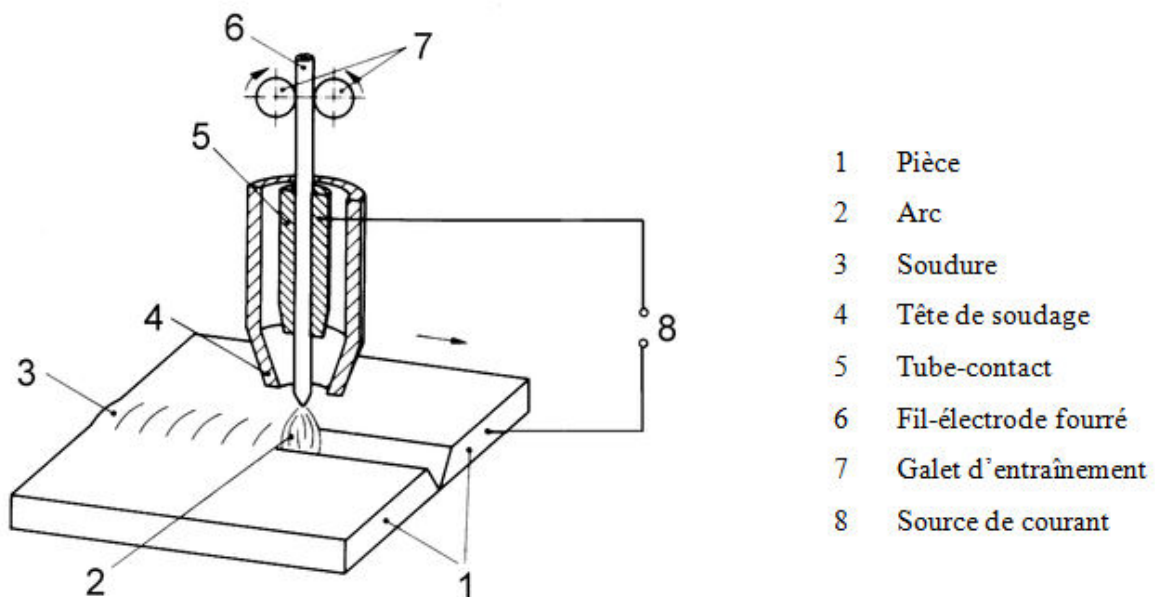


Figure 5 : Soudage à l'arc avec fil fourré auto-protecteur

2. Principe de la soudure à l'électrode enrobée

Le principe de la soudure à l'arc tient dans le principe de l'élévation de température au point de fusion par l'utilisation d'un arc électrique.

C'est l'échauffement créé par la résistivité des métaux parcourus par l'électricité qui élève la température au point de soudure jusqu'à celle requise pour la fusion du métal et de l'électrode fusible.

Le poste à souder délivre un courant électrique (alternatif ou continu).

- La pièce à souder est reliée à un pôle et sur le second pôle c'est une électrode qui transporte le courant électrique. L'opérateur manœuvre le porte-électrode pour amener l'électrode à frôler la surface de la pièce à souder.
- L'arc électrique qui se crée provoque l'échauffement du métal de la pièce à souder et la fusion de l'électrode enrobée.

3. Electrode

L'électrode enrobée, ou baguette de soudage, est constituée d'une âme métallique et d'un enrobage (figure 6).

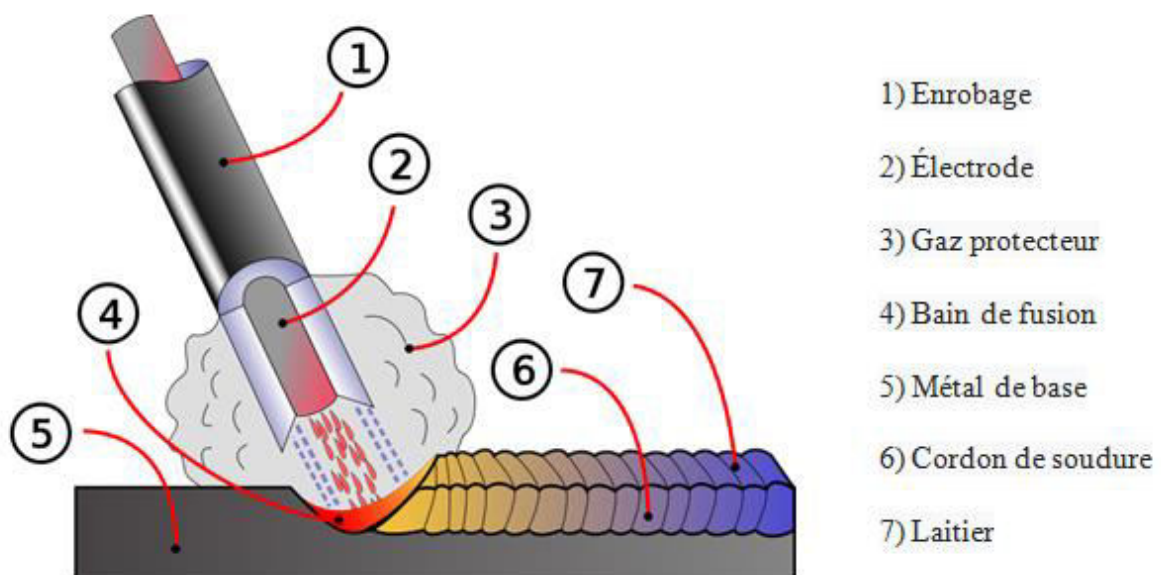


Figure 6 : Constitution d'une électrode enrobée

3.1. Âme métallique

C'est la partie métallique de l'électrode. C'est le métal d'apport déposé pour assembler les pièces. Elle compose le centre de l'électrode.

Diamètres : 1,25 ; 1,6 ; 2 ; 2,5 ; 3,15 ; 4 ; 5 ; 6,3 ; 7 et 8 mm.

Composition : aciers, alliages d'aluminium ou de cuivre, nickel, chrome.

Le rôle de l'âme :

- Conduit le courant ;
- Dépose le métal ;
- Crée l'arc électrique.

3.2. Enrobage

C'est un mélange complexe dont les composants sont choisis en fonction du métal à souder. Il forme le laitier qui remonte à la surface. Sa viscosité permet de varier les positions.

Pour éviter l'absorption d'humidité, les électrodes sont préchauffés au four (étuvage) avant de les utiliser. Certains enrobages sont résistants à l'absorption d'humidité mais leur efficacité ne dure que quelques heures.

Types d'enrobage :

- Cellulosique ;
- Oxydant ;
- Basique ;
- Rutilé ;
- Acide.

Il peut être de différents types :

- A ou RA (acide) : adapté aux aciers ;
- B ou RB (basique) : à utiliser en courant continu, son laitier adhère peu, donne des soudures étanches ;
- C ou RC (cellulosique) : courant continu, adapté aux positions délicates, pénétration profonde, donne des soudures étanches, l'arc décroche facilement ;
- (oxydant) : arc stable, pénètre peu, bel aspect des soudures ; (non utilisé de nos jours car dégage trop de fumées, source de maladie professionnelles) ;

- R ou RR (rutile, TiO_2) : arc stable, pénètre moyennement, donne des soudures étanches ;
- S : spécial.

Les électrodes ont des longueurs variées, 225mm, 250mm, 300mm, 350mm, 450mm, 600mm, ou 700mm.

3.3. Composition

- Le potassium et le sodium, aux potentiels d'ionisation bas, maintiennent l'arc en place ;
- La cellulose, les matières organiques et les carbonates dégagent du CO_2 ;
- Les métaux en poudre : chrome, manganèse, nickel, silicium, titane et le graphite migrent dans le métal pour lui conférer leurs propriétés ;
- L'hydrogène diffusible accélère la fusion de l'âme, et diminue les coûts de main-d'œuvre.

3.4. Différents rôles de l'enrobage

- **Rôle électrique** : l'enrobage permet une bonne circulation du courant électrique, il favorise l'amorçage et la stabilisation de l'arc par ionisation de l'air.
- **Rôle physique** : l'électrode est de même nature que le métal de base, la soudure est autogène. L'enrobage confère une protection vis à vis de l'air ambiant, permettant le soudage et l'unification de l'arc électrique.
 - Il concentre l'arc par la formation d'un cratère à son extrémité. Il permet le soudage dans différentes positions et influence la forme et l'aspect du cordon, l'enlèvement des dépôts de laitier.
- **Rôle mécanique** : l'apport de matière confère une solidité à l'assemblage.
- **Rôle métallurgique** : il protège le bain de fusion de l'action de l'air par formation d'une pellicule de laitier liquide et d'une veine gazeuse.
 - Il ralentit le refroidissement et ajoute, dans certains cas, des éléments nécessaires à l'obtention des caractéristiques mécaniques du joint de soudure.
 - Par ailleurs, l'adhérence du laitier solidifié au cordon de soudure dépend essentiellement du type d'enrobage de l'électrode (acide, basique, cellulosique ou rutile : oxyde de titane $Ti O_2$).

4. Courant électrique

On peut modifier les paramètres tels que l'intensité ou la tension.

Le courant peut être alternatif ou continu.

Dans le cas du courant continu, la polarité joue un rôle important dans la qualité et l'aspect du cordon de soudure. Le choix de la polarité est dicté par le type d'électrode utilisée.

4.1. Polarité directe (négative)

- Électrode au pôle négatif (-).
- Pièce au pôle positif (+).

Note :

- Température plus élevée du métal de base.
- Bonne fusion du bain.
- Utilisation généralement pour les électrodes rutiles.

4.2. Polarité indirecte (positive)

- Électrode au pôle positif (+).
- Pièce au pôle négatif (-).

Note :

- Température plus élevée du métal d'apport.
- Utilisation généralement pour l'électrode basique.

5. Choix du courant en fonction des matériaux

Le tableau 1 illustre le choix du courant de soudage en fonction des matériaux

	Courant alternatif	Courant continu	
		Polarité directe	Polarité inverse
Aciers non alliés	+	++	
Aciers inoxydables	+	++	
Fontes	+	++	
Aluminium et alliages	++		+
Rechargements durs	+		++
Electrodes basiques			++

Tableau 1 : Choix du courant de soudage en fonction des matériaux

6. Déclinaisons de la soudure à l'électrode enrobée

Par la possibilité d'assembler des aciers de toutes nuances et de toutes compositions ainsi qu'en raison des excellentes caractéristiques mécaniques des dépôts issus de l'enrobage, la soudure à l'électrode enrobée permet le soudage de toutes les épaisseurs d'acier dans toutes les positions de soudage en mono-cordon ou en passages multiples.

Il suffit de choisir le bon enrobage selon le métal à souder, le diamètre de l'électrode enrobée et l'intensité du courant électrique de soudage.

- Lorsque l'intensité de courant est trop faible, il y a collage de l'électrode enrobée sur la pièce à souder.
 - La fusion est molle, la pénétration est faible et l'amorçage difficile.
 - Il y a une instabilité de l'arc provoquant une mauvaise compacité du métal déposé avec des défauts et des incrustations du laitier dans la soudure.
- Lorsque l'intensité de courant est trop forte, il se produit d'importantes projections aux abords du joint et des écoulements de métal lors du soudage en position verticale.

Le tableau 2 présente l'intensité du courant (A) par rapport au diamètre de l'électrode (\varnothing) et à l'épaisseur de la pièce.

Épaisseur	Électrode				
	\varnothing 2,0 mm	\varnothing 2,5 mm	\varnothing 3,2 mm	\varnothing 4,0 mm	\varnothing 5,0 mm
3 mm	60 A	70 A	90 A		
4 mm		80 A	100 A	120 A	
5 mm		90 A	110 A	130 A	160 A
6 mm		90 A	120 A	140 A	160 A
8 mm		90 A	125 A	150 A	170 A
10 mm			130 A	160 A	190 A
12 mm			130 A	170 A	190 A
15 mm			130 A	170 A	200 A
20 mm				190 A	220 A

Tableau 2 : Intensité du courant en fonction du diamètre de l'électrode et de l'épaisseur de la pièce

7. Influence de l'intensité en soudage à l'arc avec électrode enrobée

En règle générale pour une intensité élevée, l'amorçage sera facilité, mais la vitesse de fusion de l'électrode est trop rapide et les projections sont plus abondantes.

En revanche, pour une intensité faible, l'amorçage sera difficile. Il y'a un risque de collage de l'électrode à la pièce pendant le soudage. Il y'a un risque de défaut de collage (métal d'apport qui ne pénètre pas le métal de base) et un manque de pénétration.

Le réglage de l'intensité dépend du diamètre de l'électrode, et du type de cordon à réaliser.

- En soudage à plat :

$$I=50x \text{ (Diamètre électrode - 1)}$$

- En soudage en angle intérieur (Il faut 20% de plus qu'en soudage à plat):

$$I=60x \text{ (Diamètre électrode - 1)}$$

- En soudage en angle extérieur (Il faut 20% de moins qu'en soudage à plat):

$$I=40x \text{ (Diamètre électrode - 1)}$$

Ces réglages sont des valeurs approchées qui doivent être ajustées en fonction des soudeurs.

8. Avantages

- Soudure de bonne qualité ;
- Procédé "économique" ;
- Résistance des soudures.

9. Inconvénients

- Aspect des soudures ;
- Les électrodes doivent toujours être maintenues dans un état sec ;
- Déformations des pièces soudées.

10. Applications

Le procédé de soudage SMAW est très répandu, entre autres dans certaines tâches spécialisées telles que, par exemples des récipients et des tuyaux sous pression, des réservoirs de stockage, des ponts et des bâtiments ou des navires et des wagons.

Il offre une bonne mobilité et la possibilité de souder à l'extérieur sans précaution particulière, notamment pour effectuer des réparations ou du travail sur un chantier.

11. Principaux défauts rencontrés

- Défauts de pénétration ;
- Soudure "percée" ;
- Porosités.

Conclusion

Le soudage à l'électrode enrobée fait partie des procédés innovants à cause des bons caractéristiques mécaniques obtenue après soudage et son habilité a souder même des matériaux difficilement soudables.

II. PROCEDES DE SOUDAGE SEMI-AUTOMATIQUE MIG-MAG

1. Historique

À la fin des années 1930, le procédé automatisé du soudage à l'arc submergé (SAW) est apparu utilisant un fil électrode. Dès 1940, les Etats Unis expérimentent un nouveau procédé avec une protection de l'arc avec un gaz inerte (TIG). Quelques années plus tard 1947 apparait une combinaison entre les deux procédés (SAW-TIG).

2. Terminologie

- **GMAW**: Gas Métal Arc Welding;
- **MIG**: Métal Inert Ga ;
- **MAG**: Metal Actif Gas ;
- **FCAW**: Flux Corred Arc Welding;
- **MCAW**: Metal corred Arc Welding.

3. Références des différents types de procédés de soudage semi-automatique

- **131** : Soudage MIG avec fil - électrode fusible ;
- **132** : Soudage MIG avec fil fourré de flux (auparavant 137) ;
- **133** : Soudage MIG avec fil fourré de poudre métallique ;
- **135** : Soudage MAG avec fil - électrode fusible ;
- **136** : Soudage MAG avec fil fourré - électrode fusible ;
- **138** : Soudage MAG avec fil fourré de poudre métallique.

4. Principe et définition

Un procédé de soudage par fusion au moyen d'un arc électrique amorcé et maintenu entre l'extrémité du fil électrode consommable et la pièce à souder le bain de fusion est sous protection gazeuse. Un gaz ou un mélange de gaz provenant d'une source externe ou un flux du fil lui-même assure la protection du bain de fusion contre la contamination atmosphérique durant le soudage contre l'oxygène et l'azote de l'air.

Le procédé MIG (Métal inert gas) : emploie un gaz inerte, à savoir de l'argon (Ar), de l'hélium (He) ou un mélange d'argon et d'hélium (Ar-He).

Le procédé MAG (Metal Active Gas) : utilise un gaz actif. Il peut s'agir de gaz (CO_2), d'un mélange d'argon et de gaz carbonique (Ar- CO_2) ou d'un mélange d'argon et d'oxygène (Ar- O_2).

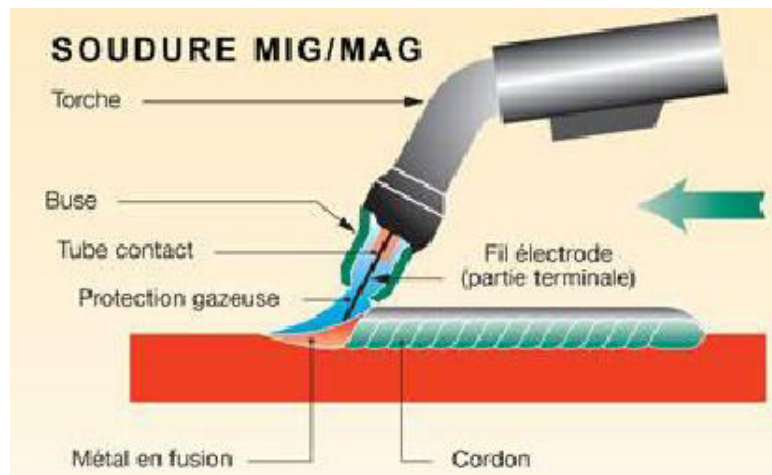


Figure 7 : Principe de soudage MIG-MAG

5. Définition du procédé de soudure MIG (131)

La soudure MIG sous protection de gaz inerte est un procédé de soudage très utilisé de nos jours. Pour ce procédé, on crée un arc électrique entre la pièce à souder et le fil d'apport (de \varnothing 0,6 à \varnothing 2,4 mm). Lorsque l'arc est obtenu, on dévide ce fil d'apport à vitesse constante et continu dans le bain de fusion généré par la puissante énergie de cet arc. On obtient un cordon de soudure par mélange du métal d'apport et du métal de base, en fusion pendant l'arc. Il est réalisé sous protection gazeuse (active pour le procédé de soudure MAG et inerte pour le procédé de soudure MIG). Les paramètres influant sur la réalisation du cordon sont :

- La vitesse de fil (l'intensité) ;
- Le débit en gaz ;

- Le diamètre du fil électrode ;
- La position de soudage ;
- La préparation ;
- La dimension et les matériaux à souder.

La figure 8 illustre un poste à souder MIG-MAG avec refroidissement à eau.



Figure 8: Poste Souder MIG-MAG

6. Principe du procédé de soudure MIG (131)

Lorsque le soudeur actionne la gâchette, celui-ci actionne le dévidage du fil, la sortie du gaz et en même temps, il ferme le circuit électrique qui permet le passage du courant. Si le fil est suffisamment proche d'une pièce en contact avec la masse, il se crée un arc électrique d'une énergie suffisante pour fondre la matière. Le métal d'apport peut ainsi se mélanger à la matière et ainsi grossir la partie fondue. Le tout s'exécute sous protection gazeuse.

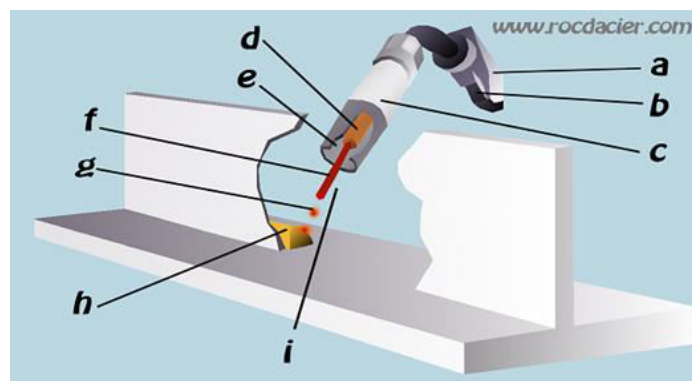


Figure 9 : Torche de soudage MIG

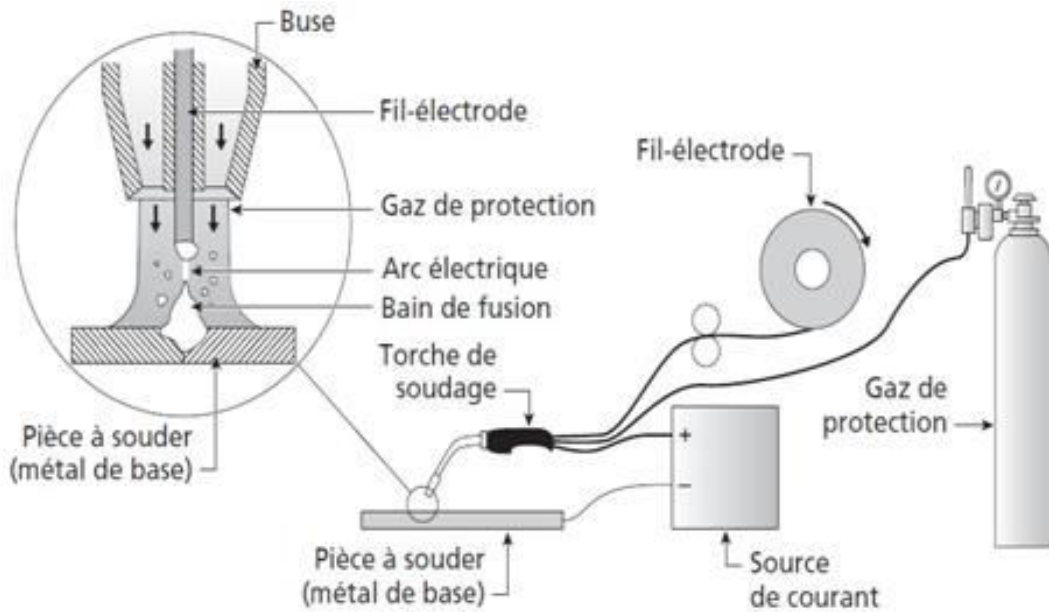


Figure 10 : Schéma de procédé MIG/MAG

7. Nature du courant et polarité utilisés

Le courant continu est le seul courant de soudage utilisé par ce procédé. On utilise toujours la polarité positive (Pôle positif au fil électrode et Pôle négative à la pièce à souder). Cela permet une plus grande vitesse de fusion du fil et dans le soudage de l'aluminium et de ses alliages, de briser la couche réfractaire les recouvrant.

8. Paramètres du soudage MIG-MAG

Les paramètres importants du soudage MIG-MAG sont :

- La vitesse de dévidage de fil ;
- Diamètre du fil ;
- Le voltage ;
- La distance de la torche à la tôle ;
- La vitesse de déplacement de la torche ;
- La position de la torche.

La variation de ces paramètres influe principalement sur les aspects de soudage suivants :

- Taille et forme du cordon de soudure ;
- Pénétration du métal d'apport dans le métal de base (métal à souder).

9. Avantages et inconvénients du procédé de soudage MAG

- Rentabilité du procédé ;
- Vitesse très élevée en soudage ;
- Taux de dépôt de métal élevé ;
- Longueur possible d'un cordon sans point d'arrêt très important ;
- Pas de décrassage du laitier ;
- Plage d'épaisseurs de soudage très importante ;
- Possibilité de soudage dans toutes les positions ;
- Contrôle relativement aisé de la pénétration en régime de court-circuit ;
- Aspect de cordon correct ;
- Procédé automatisable et utilisé en robotique.

10. Transferts d'arc

10.1. Transfert par court-circuit (short-arc)

L'intensité et la tension sont basses ($I < 200$ A et U entre 14 et 20 V), la pénétration est bonne.

Le métal se dépose par gouttes dans le bain de fusion par une série de courts-circuits (50 à 200 environ par seconde) entre le fil d'apport et le métal à souder. Cette méthode de transfert (figure 11 et figure 12) permet une bonne précision dans les passes de pénétration. L'arc est cependant instable (peu régulier) et les projections de gouttes autour du cordon sont nombreuses. En passe de pénétration, le tube contact doit être sorti de 5 à 10 mm à l'extérieur de la buse. Il est placé au niveau de la buse pour les autres passes.



Figure 11 : Transfert par court-circuit



Figure 12 : Cordon en court-circuit

10.2. Transfert globulaire (grosse-goutte)

Il s'agit d'un régime intermédiaire entre le régime par court-circuit et le régime par pulvérisation axiale. Les projections sont difficiles à éviter. Les intensités et les tensions sont de valeurs moyennes. La pénétration est moins prononcée qu'en court-circuit.

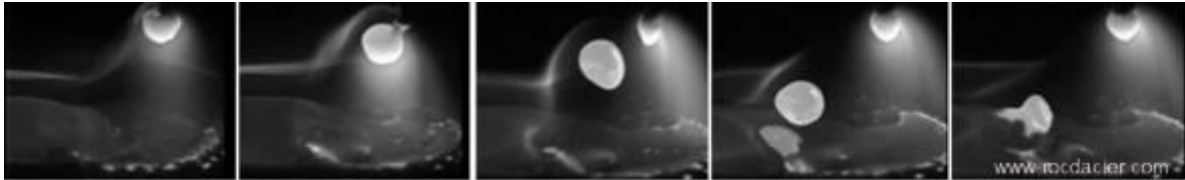


Figure 13 : Transfert Grosse Goutte

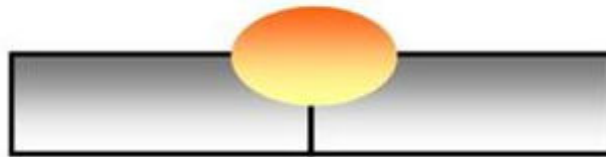


Figure 14 : Cordon en transfert globulaire

10.3. Transfert par pulvérisation axiale (spray-arc)

L'intensité et la tension sont élevées ($I > 200$ A et U entre 20 et 40 V). L'extrémité du fil fond en très fines gouttelettes projetées dans le bain de fusion. L'arc est long et stable et le taux de dépôt est important. On constate peu de projections sur les bords du cordon. Le tube contact est en retrait à l'intérieur de la buse. Ce transfert est illustré dans les figures 15 et 16.

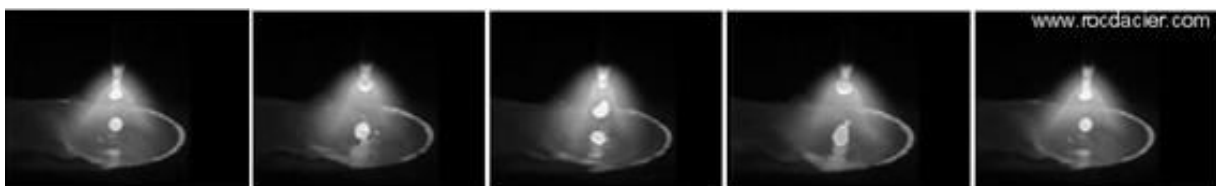


Figure 15 : Transfert par pulvérisation axiale



Figure 16 : Soudure en pulvérisation axiale

11. Installation d'une unité de soudage MIG

La figure 17 présente une installation d'une unité de soudage MIG :

- a) Bobine et système de dévidage
- b) Système de dévidage et les galets lisses ou crantés
- c) La torche
- d) L'unité de réglages



Figure 17 : Poste de soudage MIG/MAG

III. SOUDAGE PAR FRICTION

Introduction

Le soudage est généralement considéré comme une étape critique majeure dans la production d'une structure métallique. La rentabilité doit être associée à des propriétés optimales d'assemblage. En outre, et à juste titre, une attention de plus en plus grande est accordée à l'impact environnemental des procédés de soudage. Le soudage par friction-malaxage ('Friction stir welding' ou FSW), inventé et breveté par 'The Welding Institute' (Royaume-Uni) au début des années 1990, est une technique d'assemblage qui fournit une solution à ces préoccupations, parfaitement adaptée pour le soudage des alliages d'aluminium (figure 18). Cette méthode d'assemblage a déjà trouvé de nombreuses applications et a démontré ses capacités dans des domaines parfois très pointus, tels que l'aérospatiale et l'aviation.

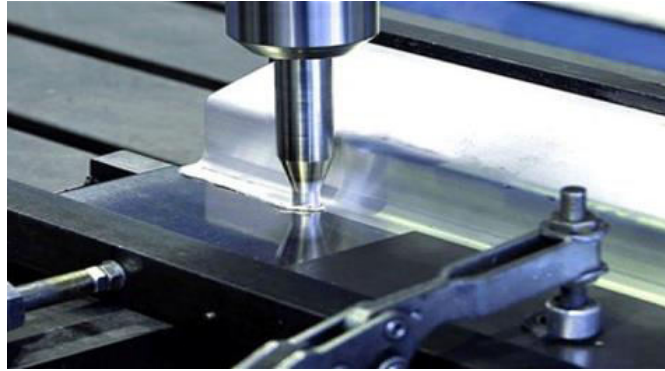


Figure 18 : Soudage par friction

1. Techniques de soudage par friction

1.1. Soudage par friction malaxage

Le soudage par friction malaxage FSW est un procédé de soudage à l'état solide qui consiste à assembler deux pièces en les amenant dans un état pâteux grâce à un pion en rotation.

Le soudage par friction malaxage est principalement utilisé pour assembler des alliages d'aluminium. Il est aujourd'hui possible d'appliquer le FSW aux alliages de titane, de cuivre, de nickel, de magnésium, les thermoplastiques, les MMCs (Composite à matrice métallique). Le grand défi actuellement, est son application aux aciers et aciers inox.

1.1.1. Phases du procédé

Le FSW passe par 4 phases :

a. Phase de pénétration de l'outil (figure 19) :

Dans cette étape, on réalise la pénétration du pion sous l'effet d'un effort vertical variant de quelques KN jusqu'à une trentaine de KN. En effet, le pion pénètre progressivement à l'intérieur du joint, à l'aide de la vitesse de rotation, jusqu'à ce que l'épaulement soit en contact avec les plaques à souder.

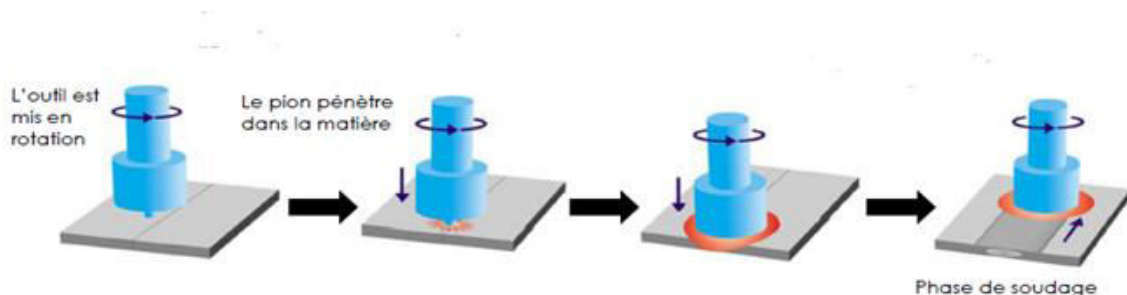


Figure 19 : Phase de pénétration de l'outil

b. Phase transitoire d'échauffement par frottement (Figure 20) :

Cette étape transitoire consiste à entraîner localement l'épaulement dans un mouvement de rotation pour transformer la matière à l'état pâteux. Cette étape de pré-soudage dure une à trois secondes avant le passage à l'étape de soudage.

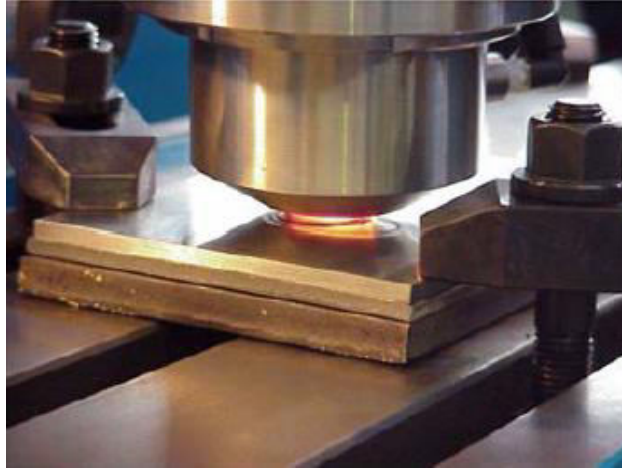


Figure 20 : Phase transitoire d'échauffement par frottement

c. Phase de soudage (figure 21) :

Dans cette étape, l'outil est animé d'un mouvement de translation dans la direction du joint représentant l'interface des deux plaques à souder.

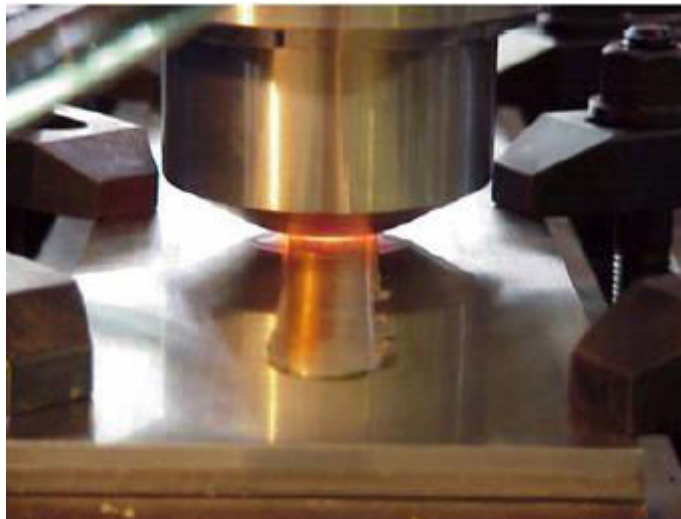


Figure 21 : Phase de soudage

d. Phase de retrait de l'outil :

A la fin du soudage, l'outil est retiré des deux plaques à souder. Ce retrait (figure 22) laisse un trou difficile à remplir de façon simple. Ce problème peut être résolu dans le cas des soudures

linéaires ouvertes par l'élimination des défauts au début et à la fin du joint soudé. Dans le cas des soudures circulaires fermées, la fin du joint soudé au niveau du recouvrement peut être résolue de façon particulière, par exemple par fusion. De plus, le trou peut être contourné par l'utilisation d'un outil à pion rétractable (retirable).

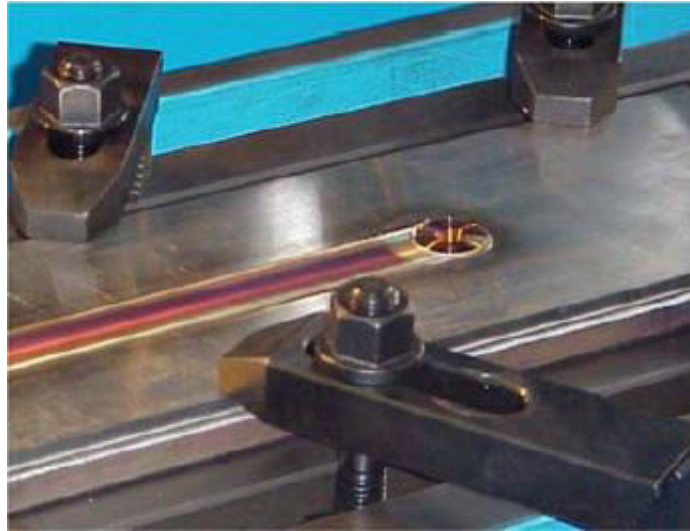


Figure 22 : Phase de retrait de l'outil

1.1.2. Phénomènes physiques observés dans le procédé

Les divers phénomènes physiques, mis en jeu pendant le soudage par FSW, sont de trois types:

- **Mécanique** : En général, les phénomènes mécaniques sont dus au frottement à l'interface entre l'outil et les pièces soudées et à la déformation plastique du matériau.

La source de frottement est le contact de l'outil en rotation avec le matériau. Le frottement est caractérisé par une contrainte de cisaillement à l'interface. La déformation plastique trouve sa source dans le mouvement du matériau en rotation sous l'effet du frottement à l'interface outil plaques et dans le malaxage dû au pion. La déformation plastique est importante dans la région située sous l'outil.

- **Thermique** : Les deux phénomènes thermiques principaux au cours du procédé

FSW sont la génération et la conduction de la chaleur. La génération de la chaleur vient d'une source de chaleur surfacique due au frottement à l'interface et une source volumique due à la déformation plastique du matériau. La répartition de la génération de la chaleur entre ces deux sources dépend de la condition de contact entre l'outil et le matériau. En effet, pour un contact presque collant, la chaleur est principalement générée par la déformation plastique du

matériau. Par contre, pour un contact glissant, la plus grande partie de la chaleur est créée par le frottement.

La chaleur générée est transférée principalement par conduction. Le transfert par conduction dans les pièces soudées dépend de deux choses. Premièrement, il dépend de la conductivité thermique du matériau soudé, par exemple, l'aluminium est caractérisé par une grande conductivité thermique, ce qui contribue à évacuer rapidement la chaleur créée. En second, il dépend de la chaleur évacuée dans la plaque support et dans l'outil c'est-à-dire la résistance des interfaces de contact aux transferts thermiques (voir figure 23). Finalement, la chaleur est évacuée aussi par convection entre l'outil, les deux plaques à souder, la plaque support avec le milieu extérieur (ambiant).

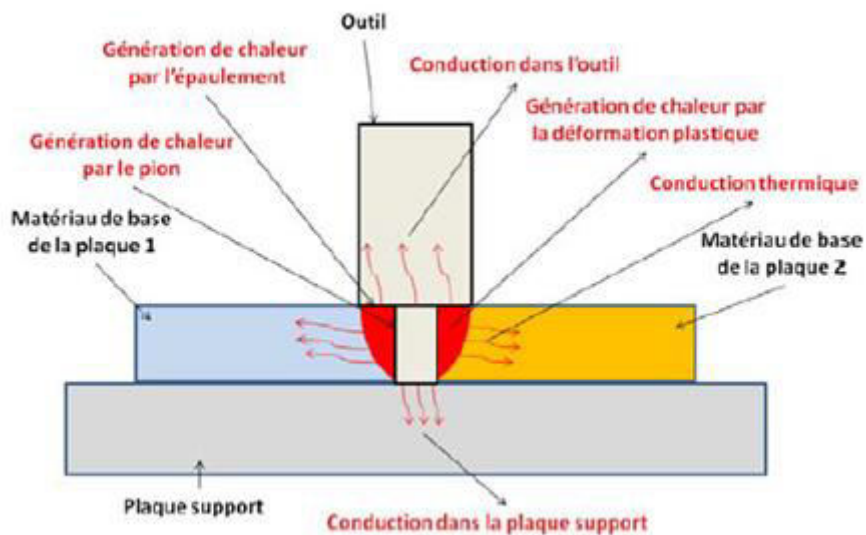


Figure 23 : Transferts thermiques induits par le procédé FSW

- **Métallurgie** : Les phénomènes mécaniques et thermiques, dans l'ensemble des procédés de soudage par fusion, entraînent une modification de la microstructure du matériau de base et ses propriétés mécaniques. Cet inconvénient provient des phénomènes métallurgiques qui apparaissent lors du soudage et qui représentent le lieu de concentration des contraintes dans le cas des sollicitations externes. Le premier phénomène métallurgique est la modification de l'état de précipitation du matériau. Le second est la recristallisation du matériau.

Le procédé de soudage FSW permet au contraire d'obtenir des modifications métallurgiques moins importantes, par rapport aux autres procédés, causées par les différents changements de phase au cours de soudage. Une coupe transversale du joint soudé permet d'obtenir les

différentes zones dans lesquelles la matière est affectée thermiquement (Heat Affected Zone HAZ) ou thermo-mécaniquement (Thermo-Mechanical Affected Zone TMAZ). Chaque zone dépend de la température atteinte, des modifications métallurgiques et des déformations subies au cours du procédé de soudage.

1.1.3. Principaux paramètres

Il existe des paramètres principaux (figure 24) qui influent sur la qualité de soudure :

- Vitesse de rotation de l'outil : N [tr/min]
- Vitesse d'avance de l'outil : V_a [mm/min]
- Effort de soudage : F [kN]

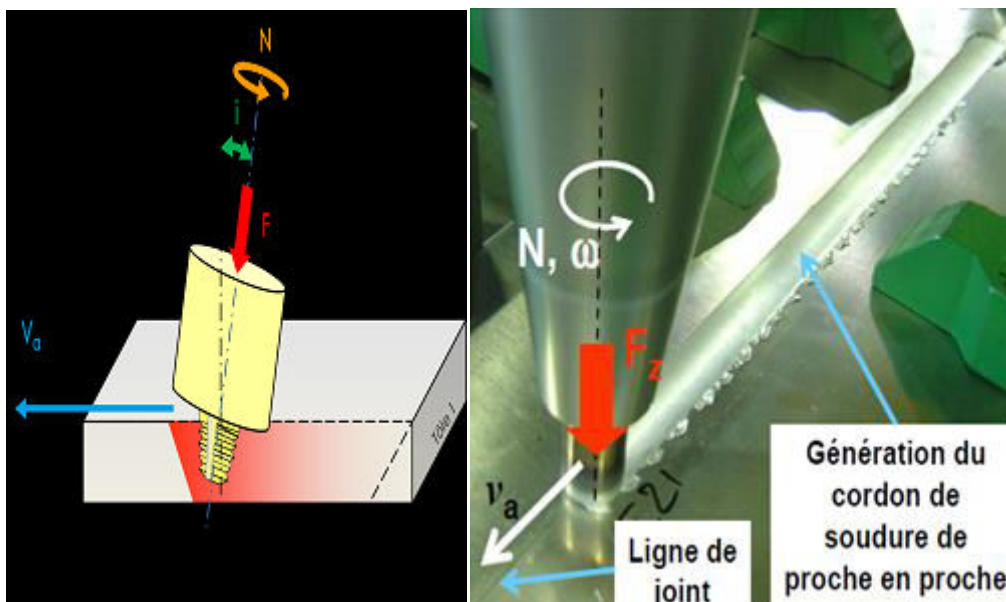


Figure 24 : Principaux paramètres de soudage

1.1.4. Autres paramètres

- Forme et matière de l'outil ;
- Angle d'inclinaison de la tête de soudage : i [°] ;
- Mode d'asservissement de la machine (position ou effort) ;
- Montage de bridage.

1.2. Soudage par friction

Le soudage par friction est un procédé de soudage mécanique où l'apport de chaleur nécessaire au soudage est fourni par le frottement des pièces à assembler. L'une est fixe, l'autre est animée d'un mouvement, soit linéaire, soit en rotation (le plus utilisé).

Lorsque la température est atteinte, on applique un effort supplémentaire de forgeage.

Ce procédé simple et rapide permet d'obtenir des liaisons comportant une zone thermiquement affectée relativement étroite, du fait qu'il n'est pas nécessaire de passer par l'état liquide.

Il existe 2 techniques de soudage par friction

- Le soudage linéaire (LFW, Linear Friction Welding), obtenu par un mouvement d'aller/retour linéaire.
- Le soudage orbital, obtenu par rotation relative des deux pièces.

1.2.1. Caractéristiques du procédé

- Vitesse de rotation 50 à 80 000 t/min ;
- Pression axiale 15 à 400 MN/m² ;
- Gamme de diamètre 1 à 150 mm ;
- Durée de cycle 5 à 500 s.

1.2.2. Matériaux de base

Pratiquement tous les matériaux et les thermoplastiques ainsi que la possibilité d'assemblage de métaux différents.

2. Applications

Dans l'automobile, l'aéronautique, le ferroviaire, la mécanique générale, l'électricité, le matériel de travaux publics tels que soupapes de moteurs, composants de transmission, cartouches d'air bag, les ponts de voitures, ponts de tracteurs et de remorques de poids lourd, les tiges de vérin hydraulique, les axes d'articulation à rotule, les paliers de chenilles, petits connecteurs électriques, tiges de forage.

3. Avantages

- Exécution de joint de qualité : pas d'inclusion, déformation et contrainte limitée, cycle de soudage contrôlé, soudage autogène et hétérogène. Permet d'obtenir une microstructure à grains fins dans la zone de soudage. Cordon de bonne étanchéité.
- Grande productivité : Rapidité d'assemblage de surfaces importantes ; automatisation possible.
- Équipement mécanique robuste et simple ;
- Pas de consommables : métal d'apport, gaz de protection ;
- pas de consommation d'énergie importante.

4. Inconvénients

Limitation du procédé par la mise en rotation d'un des composants, importante précision de l'alignement axial du joint soudé. Investissement important, effort de bridage important, besoin d'un dispositif d'appui arrière.

5. Hygiène et sécurité

Pas de radiation, pas de risque électrique, absence de fumées et de projections, risques des machines outils tournantes.

Conclusion

Le FSW fait partie des procédés spéciaux et innovants à cause de leur bonne soudure et de leur habilité à souder même des matériaux différents sans passer par la phase liquide.

IV. SOUDAGE PAR POINT

1. Principe du soudage par résistance

Le procédé de soudage est un procédé à chaud, sous pression et sans métal d'apport. Il consiste à échauffer localement les pièces par passage d'un courant électrique.

La technique la plus utilisée est le soudage par résistance par points. Dans ce cas, les pièces à souder sont superposées et serrées localement entre deux électrodes. L'ensemble est traversé par un courant de soudage provoquant une élévation de température. L'échauffement provoque la fusion localisée des deux pièces dans la zone située entre les deux électrodes, suivi de la formation d'un noyau de métal recristallisé. Il existe plusieurs procédés dérivés, on peut citer le soudage à la molette, le soudage par bossage ou le soudage en bout.

Le point commun de ces procédés est qu'ils utilisent l'effet Joule, c'est-à-dire qu'ils exploitent le phénomène de l'échauffement d'un conducteur parcouru par un courant électrique. Pour rappel, dans un circuit électrique, la chaleur dégagée par chaque élément est proportionnelle à $R.I^2.t$ où R est la résistance de l'élément, I étant l'intensité efficace du courant et t la durée de son passage.

1.1. Soudage par points

Le soudage par points est un procédé d'assemblage discontinu, par recouvrement. Il s'applique à des assemblages en tôles d'aciers doux, allié, inoxydable, d'aluminium, etc. d'épaisseurs généralement comprises entre 0,5 et 10 mm.

Lors de l'opération de soudage par points (figure 25), les deux pièces sont placées et maintenues dans leur position respective d'assemblage, puis introduites dans les bras de la machine.

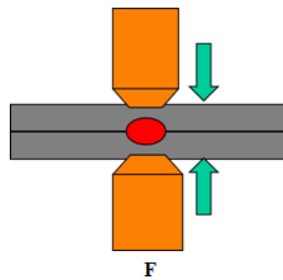


Figure 25 : Soudage par points

L'action d'une pédale déclenche pour chacun des points à réaliser un cycle complet qui comprend les phases suivantes :

- l'accostage : les électrodes se rapprochent et viennent se serrer sur les pièces à souder à l'endroit prévu et sous un effort donné ;
- le soudage : le courant passe, déclenché par la fermeture du contacteur du circuit de puissance ;
- le forgeage ou maintien d'effort à la fin duquel les électrodes s'écartent et reviennent au repos.

Ces différentes phases, dont la durée totale reste de l'ordre de quelques secondes selon les épaisseurs, sont rigoureusement temporisées et se déroulent automatiquement.

Au coup par coup, la machine ne réalise qu'un cycle et il faut appuyer de nouveau sur la pédale pour en réaliser un autre.

À la volée, la machine fonctionne d'une manière répétitive, chaque cycle étant séparé du précédent par un intervalle de temps ou temps mort qui permet à l'opérateur de déplacer la pièce à souder. Sa durée détermine ainsi la cadence de travail.

L'ensemble de ces phases est appelé cycle de soudage. Il existe de nombreuses formes de cycles appropriés aux matériaux à souder ou au niveau de qualité recherchée.

1.2. Soudage par bossage

Le procédé de soudage par bossage est une méthode d'assemblage directement dérivée du procédé classique de soudage par résistance par points. Dans le cas de ce dernier, la surface de passage du courant est déterminée par la forme des électrodes et de l'effort de compression qui doit vaincre la raideur des tôles. La surface de contact peut donc être variable et elle est relativement mal contrôlée. Dans le cas du soudage par bossage, l'effort de compression et l'endroit du passage du courant sont localisés à un ou des points déterminés par des bossages préexistants sur une des deux pièces à assembler. En effet les bossages, grâce à leur effet de concentration, délimitent parfaitement la surface de passage du courant de soudage. Ils assurent une bonne régularité des conditions de contact des pièces et favorisent ainsi la régularité de la quantité d'énergie dégagée à l'endroit du joint à réaliser.

Le soudage par bossage est souvent utilisé dans le cas d'assemblage des tôles ayant une certaine courbure, car sans le bossage, il est difficile de garantir un contact correct des deux tôles à l'endroit de la soudure comme illustré sur la figure 26.

Le soudage de barres et de fils en croix, utilisé par exemple pour la fabrication de chariots de supermarché, est également assimilé au soudage par bossage, car il présente de nombreuses similitudes dans sa mise en œuvre.

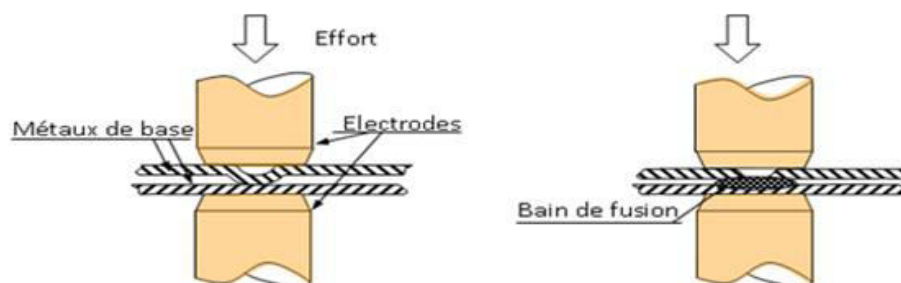


Figure 26 : Soudage par bossage

1.3. Soudage à la molette

Le soudage à la molette diffère du soudage par points ; les électrodes classiques sont remplacées par des rotations permettent de faire des soudures par recouvrement, continues et étanches.

La soudure se réalise de façon progressive et continue, associant le serrage des tôles et le passage du courant, sur toute la longueur comme illustré par la figure 27.

Un cycle de soudage comporte les phases suivantes, similaires à celles du soudage par points :

- l'accostage : les deux molettes viennent serrer, pour les accoster et localiser le courant, les deux pièces à souder au point de départ.
- le soudage : le courant passe, déclenché par la fermeture du contacteur primaire, et la rotation des molettes est engagée, créant une liaison continue.
- l'arrêt qui commande l'écartement des molettes en fin de cordon.

Le cycle de soudage est celui de la machine typique et les différentes phases opératoires.

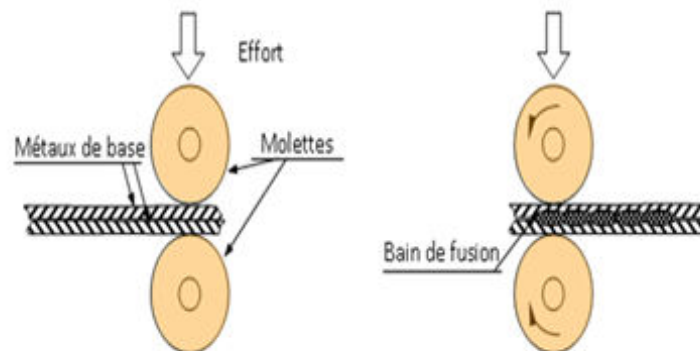


Figure 27 : Soudage à la molette

1.4. Soudage en bout par étincelage

Le procédé de soudage en bout, première forme du soudage par résistance, permet comme son nom l'indique, de souder bout à bout des barres ou des profilés de même section droite ou des pièces ayant reçu une préparation les ramenant à ce cas.

Les pièces sont placées dans des mâchoires en cuivre, dont l'une est fixée sur un chariot mobile en translation parallèlement à l'axe de soudage.

L'opérateur actionne la commande du cycle qui se déroule automatiquement de la façon suivante :

- avance et accostage : le chariot mobile entre en mouvement pour rapprocher les pièces qui viennent en contact sous un effort déterminé
- soudage : le courant passe, déclenché par la fermeture du contacteur primaire du circuit de puissance, et porte les parties en contact à la température de soudage ;
- forgeage ou maintien : exercé par l'effort du char mâchoires s'ouvrent en permettant le retour au repos du chariot.

Comme dans le cas général, ces différentes opérations sont temporisées. Il n'existe pas, dans les machines en bout, de marche soudage par points. Cependant, avec un dispositif de chargement et déchargement automatiques des pièces, on peut obtenir un fonctionnement similaire.

La description précédente concerne un mode opératoire qui se limite en pratique au soudage de pièces de très petites sections, ne dépassant pas quelques dizaines de millimètres carrés.

Lorsqu'il s'agit de pièces massives, pour lesquelles il n'est pas possible d'obtenir une portée parfaite des surfaces en regard, la répartition du courant très imparfaite ne permet pas d'engager directement un processus d'échauffement régulier et utilisable ; aussi a-t-on recours à un artifice, consistant à produire des étincelles de contact, dont l'intérêt est de créer un échauffement parfaitement réparti sans exiger de densité de courant exagérée. Le procédé est alors appelé, pour cette raison, soudage en bout par étincelage ou plus simplement soudage par étincelage et c'est sous cette forme qu'il est généralisé. Il permet de souder des sections de $10\,000\text{ mm}^2$. La figure 28 présente une opération de soudage en bout par étincelage.

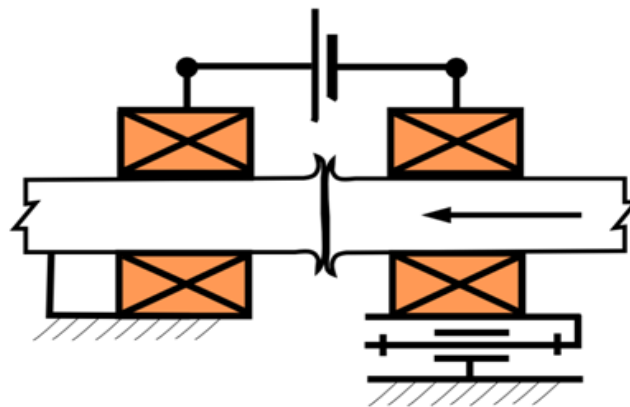


Figure 28 : Soudage en bout par étincelage

2. Principe de base du procédé

Les pièces à souder sont superposées et sont serrées localement entre deux électrodes en alliage de cuivre (figure 29). L'ensemble pièces / électrodes est traversé par un courant de soudage qui provoque une élévation de température par effet de joule et la fusion localisée des deux pièces dans la zone de positionnement des deux électrodes.

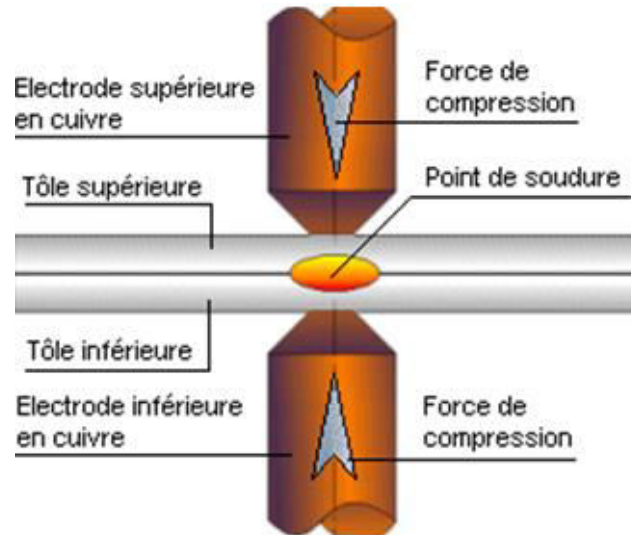


Figure 29 : Principe de soudage par point

2.1. Rappel de base d'électricité

Loi de Joule : lorsqu'un courant électrique parcourt un conducteur, la quantité de chaleur dégagée est proportionnelle au carré de l'intensité du courant et au temps.

$$W \text{ (en joules)} = R \text{ (Ohm)} \times I^2 \text{ (Ampères)} \times t \text{ (secondes)}$$

La résistivité est l'opposition d'un matériau au passage du courant électrique. Les électrodes en cuivre présentent une résistivité faible (1,7 micro-ohm/cm/cm² contre 8 pour une tôle standard de 1 mm).

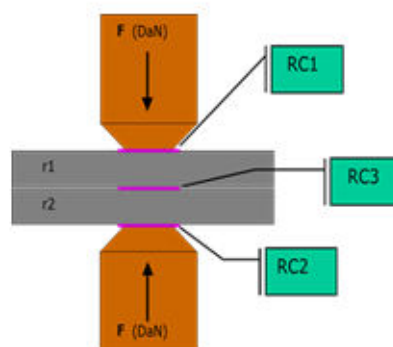


Figure 30 : Mécanisme de formation de point de soudure de soudage par point

Définition de R dans $R = R^2 t$ RC = Résistance de contact r = Résistance interne

$$R = RC1 + RC2 + RC3 + r1 + r2 \quad RC1 + RC2 + RC3 > r1 + r2$$

Les résistances de contacts RC1, RC2 et RC3 dépendent de :

- L'état de surface des tôles, la nature des tôles, la nature et forme des électrodes

2.2. Cycle de soudage

Le cycle simple de soudage le plus fréquemment utilisé est le cycle 4 fonctions (voir figure 27) :

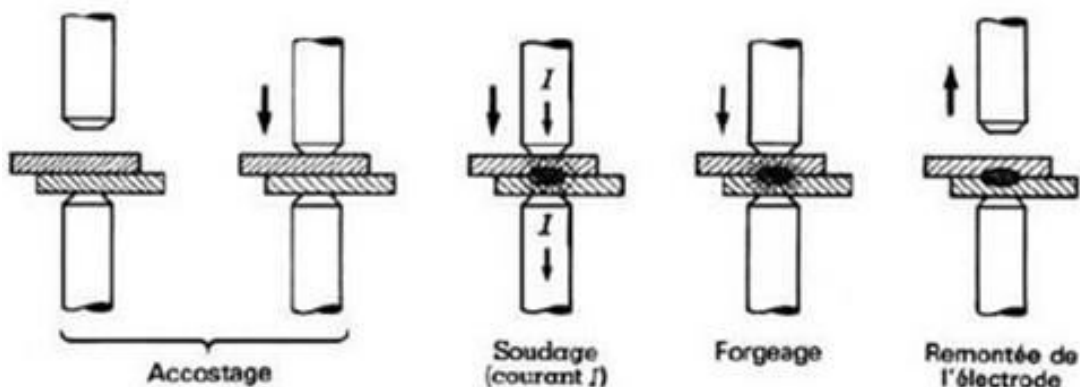


Figure 31 : Différentes phases d'un cycle de soudage



Figure 32 : Cycle de soudage

a. Accostage

L'accostage est le temps nécessaire à la fermeture de la pince ou de la machine. Lors de cette phase de la séquence on assure la mise en serrage des pointes d'électrodes sur les tôles à assembler et l'on détermine donc la valeur de résistance sur laquelle va s'appliquer l'effet Joule.

Le tableau 3 présente l'effet du temps d'accostage.

Un temps d'accostage trop court provoque :	Un temps d'accostage trop long provoque :
points brûlés, des projections de métal en fusion	Un ralentissement de la cadence
Des éclatements aux électrodes	
Des points sans résistance mécanique	
Une usure anormale des électrodes	

Tableau 3 : Effets du temps d'accostage

b. Effort

Pendant le passage du courant, l'effort maintient le bon accostage et s'oppose à la destruction, sous l'influence de la dilatation du creuset contenant le noyau de métal en fusion.

Le tableau 4 présente les effets de l'effort.

Un effort trop important provoque :	Un effort insuffisant provoque:
Une réduction des résistances	Une augmentation des résistances
Des points trop petits ou collés	Des projections de métal en fusion / points brûlés
Un écrasement ou emboutissage des bossages	Une usure anormale des électrodes

Tableau 4: Effets de l'effort

c. Soudage

Le soudage est un chauffage obtenu par l'effet Joule d'un courant électrique traversant les pièces à assembler. L'intensité et le temps de soudage exigent la plus grande précision.

Une fluctuation de plus ou moins 5% peut différencier un point bon d'un point mauvais.

d. Temps de soudage

Les temps en soudage par résistance sont exprimés soit en milliseconde, soit en période.

La période correspond à 20ms pour une fréquence réseau de 50Hz (ou 16,66ms pour 60Hz).

La figure33 présente le temps de maintien.

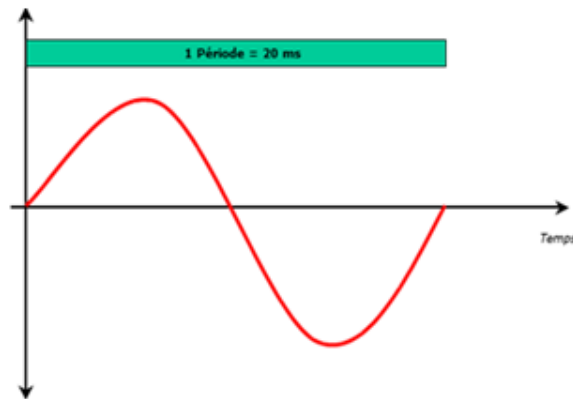


Figure 33 : Temps de maintien exprimés en milliseconde et en période

Le tableau 5 présente l'effet du temps de maintien.

Un temps trop long provoque :	n temps trop court provoque :
Un cuivrage des tôles	Pas ou peu de fusion
Des projections de métal en fusion, une indentation trop importante	Soudage réalisé mauvais
Une détérioration rapide des électrodes	
Un collage des électrodes sur la tôle	

Tableau 5 : Effets du temps maintien

e. Intensité

Le tableau 6 présente l'effet de l'intensité.

Une intensité trop forte provoque :	Une intensité insuffisante provoque :
Un cuivrage des tôles	Pas ou peu de fusion
Des projections de métal en fusion, une indentation trop importante	Soudage réalisé mauvais
Une détérioration rapide des électrodes	

Tableau 6 : Effet de l'intensité

f. Maintien

Il permet de contenir l'expansion du point de soudure, favorise son refroidissement et de là limite le soulèvement entre les 2 tôles.

g. Forgeage

Le forgeage est utilisé en lieu et place du maintien, le but de son application est :

- Diminuer le volume de retassure et affiner le grain du métal ;
- Augmenter les caractéristiques mécaniques et limiter les défauts internes.

3. Mécanisme de formation de la soudure

La chaleur servant à faire fondre l'acier au niveau du contact tôle-tôle est créée par effet Joule durant le passage du courant dans les conducteurs. La quantité de chaleur dégagée pendant la durée t en fonction de l'intensité du courant et de la résistance électrique traversée est donnée par la relation : $Q = \int RI^2 dt$ Où :

- 'Q' est la quantité de chaleur générée en Joules
- 'R' est la résistance électrique dynamique globale des pièces, en Ohm
- 'I' est l'intensité de courant de soudage en Ampère
- 't' est le temps de passage du courant en secondes

La figure 34 présente en (a) l'évolution des résistances en cours de soudage d'un assemblage de tôles nues et en (b) le circuit électrique équivalent d'un assemblage de deux tôles nues.

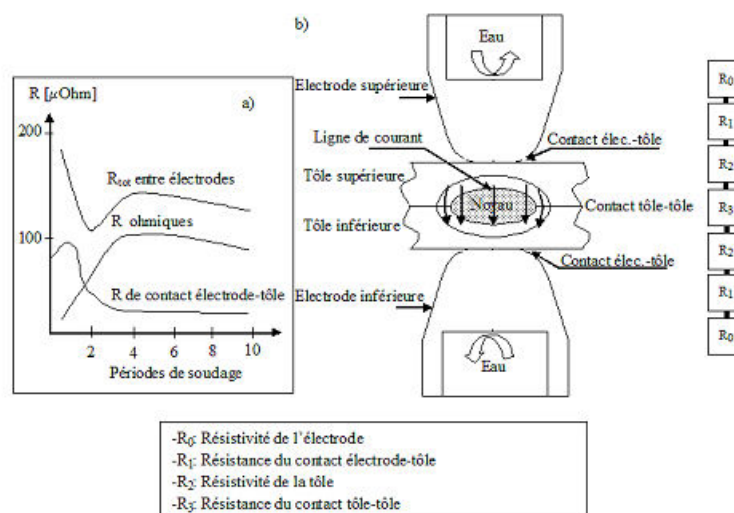


Figure 34 : Phénomènes électriques dans le procédé de soudage par points

4. Point et son environnement

Si l'on effectue une coupe transversale d'un point assurant la soudure entre deux tôles, par des moyens métallographiques (sciage, polissage et attaque chimique), il devient possible d'observer la section du point et de son environnement comme le montre la figure 35.

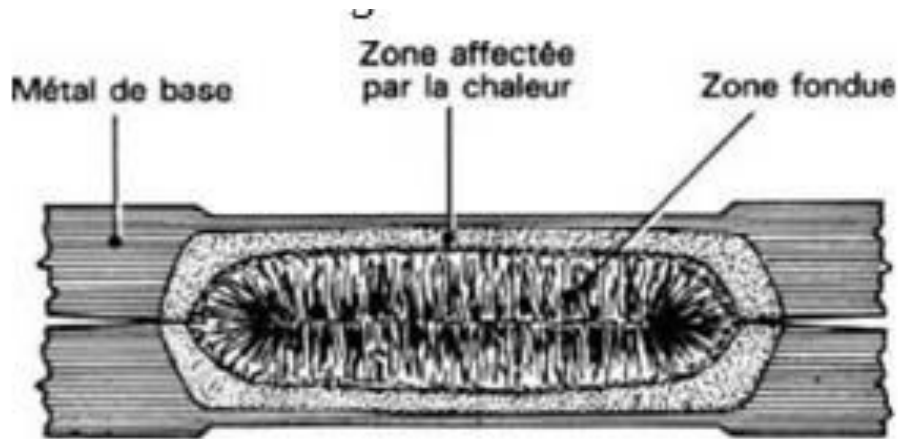


Figure 35 : Coupe d'un point de soudure

Les dimensions du noyau soudé sont déterminées en fonction de la résistance mécanique recherchée. Par analogie à d'autres procédés d'assemblage discontinus tels que le vissage ou le rivetage, on conçoit bien que les caractéristiques de résistance du point soudé, devront tendre vers la résistance de base, du matériau assemblé (en fonction de la position, de l'espacement et du nombre de points, de vis ou de rivets...).

En fait, la résistance au « cisaillement » des points soudés est dans la majorité des cas presque équivalente à celle d'une section identique de la tôle de base, voire même supérieure, pour des tôles dont l'épaisseur est inférieure à 1,5mm.

4.1. Microstructures du point soudé

L'opération de soudage par points se caractérise par un cycle thermique très rapide qui modifie profondément la microstructure du métal de base au voisinage du point soudé.

Le métal subit un chauffage à des vitesses de l'ordre du millier de degrés Celsius par seconde jusqu'à une température pouvant aller au-delà de la température de fusion. Il s'en suit immédiatement un refroidissement très rapide dont la vitesse dépend des paramètres de soudage. Un cycle de soudage par point complet est typiquement effectué en moins d'une seconde.

Au niveau microstructural, on distingue plusieurs zones, illustrées schématiquement par la figure 36.

- La zone associée au métal de base **MB** : la température atteinte dans cette zone est restée en dessous de 600°C environ si bien qu'on ne détecte pas de modification structurale visible.
- La zone subcritique **SCZAT** : zone où la température maximale atteinte est comprise entre environ 600°C et Ac1. On n'observera globalement aucun effet sur la taille des grains mais certaines modifications métallurgiques peuvent déjà avoir lieu selon l'état initial. Au chauffage, une partie du carbone peut être remis en solution. Au refroidissement, on peut observer de la précipitation-coalescence en présence d'éléments dispersoïdes, des phénomènes de revenu (de la martensite du métal de base par exemple) en fonction de la vitesse de refroidissement.
- La zone inter critique **ICZAT** (Inter-Critical HeatAffected Zone) : zone où la température est arrivée entre Ac1 et Ac3.

L'austénitisation partielle (coexistence de la ferrite α et de l'austénite γ) conduit à des modifications importantes de la microstructure.

- La zone à grains fins **GFZAT** : (Fine Grained Heat Affected Zone) zone de température entre Ac3 et 1100°C environ. D'après le diagramme d'équilibre Fe-C, l'austénitisation est totale dans cette zone. Dans le cas du soudage, Ac3 peut être décalé par la rapidité du cycle thermique. Au chauffage, la nouvelle structure austénitique, non homogène et globalement fine, remplace la microstructure initiale. Suite au refroidissement rapide, on observera généralement une structure bainito-martensitique fine avec éventuellement quelques hétérogénéités.
- La zone à gros grains **GGZAT** : zone entre 1100°C environ et la température de fusion. Au chauffage, on assiste à une forte croissance du grain austénitique qui confère à cette zone une forte trempabilité. La microstructure obtenue après refroidissement rapide est en général martensitique et homogène.
- Zone fondue **ZF** : outre une fine zone de liaison (difficilement observable) constituée par la zone semi-solide, la dernière zone est la zone fondue, où la température a dépassé la température de liquidus. La microstructure observée après refroidissement rapide sera dendritique, grossière au centre du point et plus fine en bordure de noyau. On peut observer de la ségrégation inter dendritique.

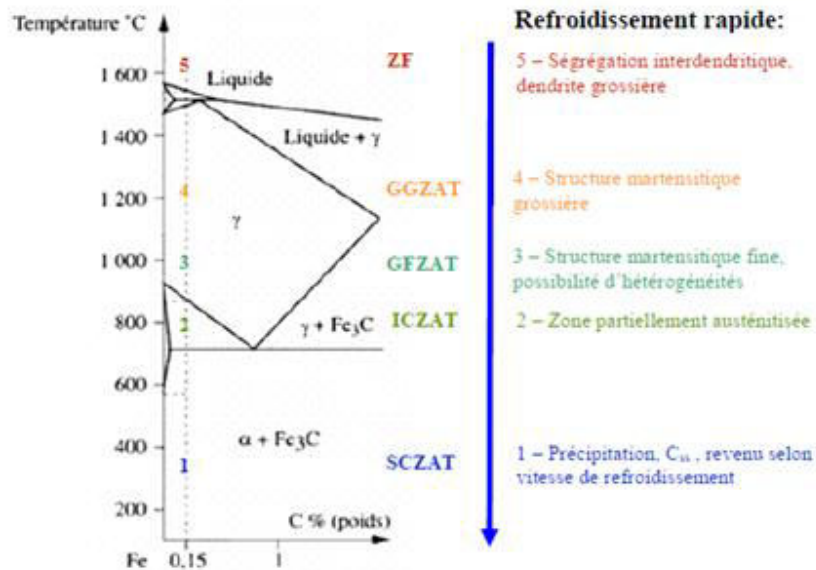


Figure 36 : Microstructures générées par l'opération de soudage

5. Défauts possibles du point soudé

Le tableau 7 présente les défauts possibles du point.






Aspect du point		Causes possibles
	Point percé	<ul style="list-style-type: none"> • Effort trop faible ; • Intensité trop forte ; • Electrode mal ajustée.
	Point cuivré	<ul style="list-style-type: none"> • Effort trop faible ; • Intensité trop forte ; • Usure des électrodes ; • Electrodes mal affûtées.
	Point avec éclat	<ul style="list-style-type: none"> • Effort trop faible ; • Intensité trop forte ; • Mauvaise position de la pince.
	Point enfoncé	<ul style="list-style-type: none"> • Paramètres de soudage mal adaptés ; • Pression excessive.
	Point correct	<p>Les trois paramètres ont été respectés :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Effort ; • Temps ; • Puissance.

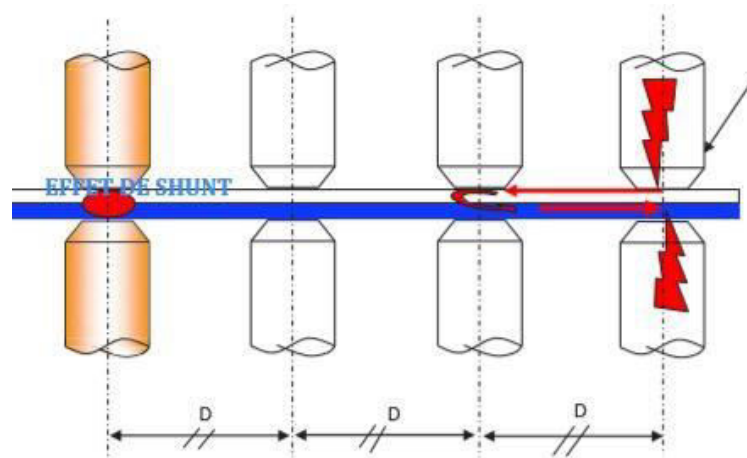
Tableau 7 : Défauts possibles du point soudé

6. Distance entre chaque point

La distance entre deux points de soudure doit être $10 \times \text{épaisseur} + 10\text{mm}$ pour éviter « l'effet de shunt » du courant de soudage.

C'est quoi « l'effet de SHUNT » ?

L'effet de shunt c'est lorsque la distance entre points de soudure n'est pas respectée et le courant au lieu de passer d'une électrode à l'autre au travers d'une pièce à assembler le courant passe par le précédent point déjà existant sans réaliser un point de soudure. En conséquence, aucun point de soudure ne se réalise.



$$D = 10e + 10 \text{ mm}$$

Figure 37 : Distance entre chaque point

7. Soudabilité

Il présente une excellente soudabilité par points, aussi bien pour des assemblages homogènes qu'hétérogènes, tant à 50 Hz qu'à 1000 Hz.

Les domaines de soudabilité sont larges et les tenues mécaniques des assemblages (traction, cisaillement) sont conformes aux exigences des constructeurs automobiles et aux normes.

Grace à la nature de la couche alliée obtenue après emboutissage à chaud, la durée de vie des électrodes de soudage est considérée comme très bonne (plusieurs milliers de points sans dégradation) par rapport aux revêtements métalliques conventionnels.

En raison d'une très haute résistance mécanique et d'une faible ductilité, on observe avec l'utilisation de paramètres de soudage standards des projections de soudure qui peuvent conduire à des défauts de type fissuration et une dégradation de la surface du point soudé.

Afin de limiter ces défauts, on préconise une intensité de soudage relativement basse avec un temps de soudage plus conséquent et enfin un effort de serrage plus élevé. On pourra également augmenter le diamètre de la face active de l'électrode de manière à réduire la densité de courant par rapport à la surface.

Les figures 38 et 39 montrent les effets du courant de soudage sur le diamètre du noyau soudé.

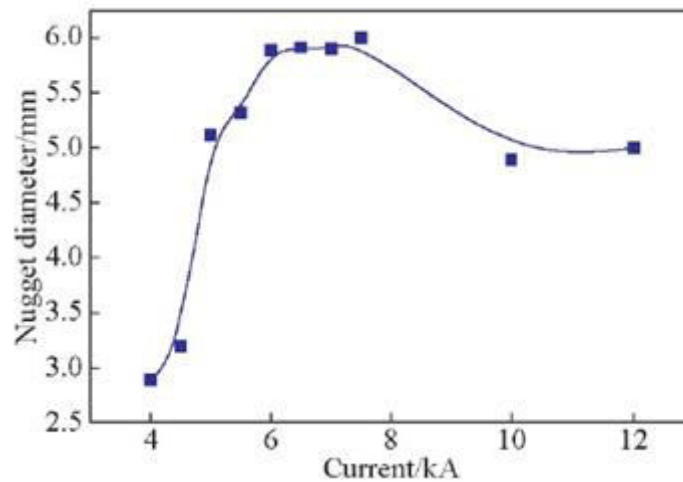


Figure 38 : Effets du courant de soudage sur le diamètre du noyau soudé

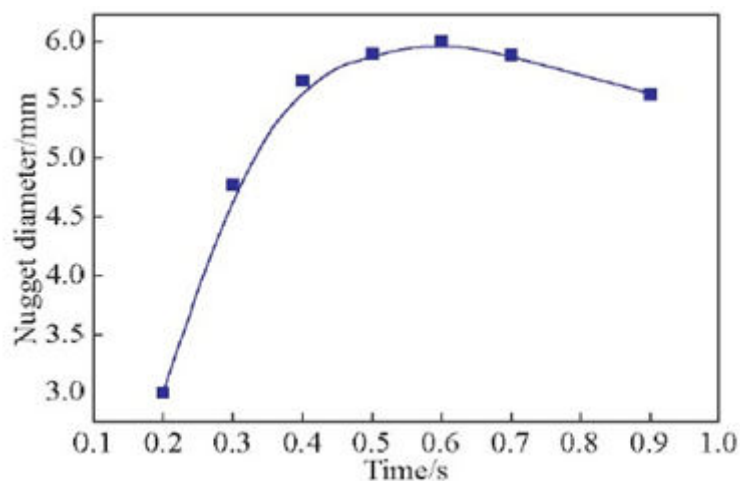


Figure 39 : Effets du temps de soudage sur le diamètre du noyau

La figure 40 montre les effets de l'effort aux électrodes sur le diamètre du noyau soudé.

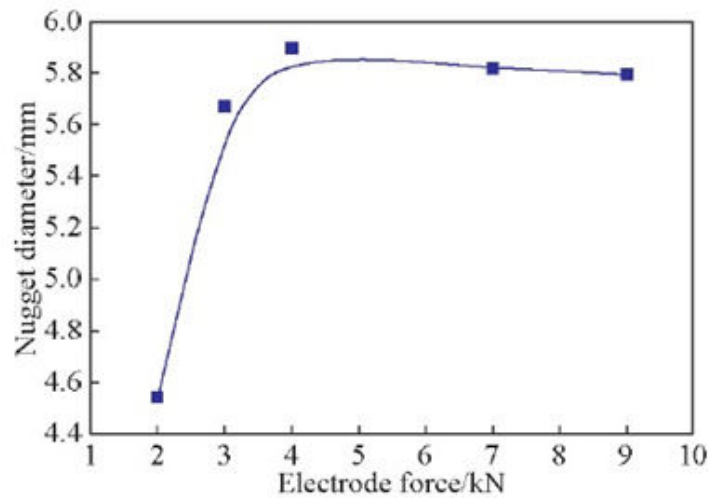


Figure 40 : Effets de l'effort aux électrodes sur le diamètre du noyau soudé

a) **Soudabilité opératoire** : Elle s'appuie sur un ensemble de condition qui permet d'assurer sans problème l'opération de soudage :

- Fiabilité : mécanique, électrique, thermique des machines ;
- Matériau de qualité : résistivité, conductivité ;
- Aspect de surface : calamine, rouille,

La notion de coefficient d'aptitude au soudage par résistance aide à définir à priori la soudabilité opératoire des matériaux.

$$C.A.S.P.R. = \frac{\text{Resistivité}}{\text{temps de fusion} \times \text{conductivité thermique}}$$

L'aptitude au soudage par résistance croit avec la valeur du C.A.S.P.R

L'aluminium = 0.76 Nickel = 4.66 Acier doux = 6.35 Inox = 144

b) **Soudabilité métallurgique** : Malgré l'obtention de la liaison, l'assemblage peut ne pas donner satisfaction pour des raisons métallurgiques. Compte tenu des matériaux en présence et du cycle thermique, un assemblage peut être faible.

Généralement, on peut constater que plus le domaine de soudabilité est situé vers les hautes intensités, plus l'énergie à fournir pour réaliser un bon diamètre du noyau est élevée. Ainsi plus le domaine de soudabilité est étroit, plus le réglage de la machine de soudage est délicat.

Le procédé de soudage par points est le procédé le plus connu parmi les autres procédés de soudage par résistance dans les industries légères et lourdes. Ceci est dû à sa facilité d'utilisation et les caractéristiques mécaniques obtenues.

8. Compatibilité de soudage des métaux usuels

Le tableau 8 présente la soudabilité des métaux usuels.

METAUX	AL U	INO X.	ZIN C	GALV A.	ACIE R	LAI- TON	UIVR E	LOM B	NICK- EL	FER BLANC C	BRON ZE PHOSP
ALU	2	6	3	3	4	4	5	5	4	3	3
INOX	6	1	6	2	1	5	5	6	3	2	4
ZINC	3	6	3	3	6	5	5	3	6	3	4
GALVA	3	2	3	2	2	4	5	4	3	2	4
ACIER	4	1	6	2	1	4	5	5	3	2	3
LAITON	4	5	5	4	4	3	4	6	3	4	3
CUivre	5	5	5	5	5	4	6	5	4	5	3
PLOMB	5	6	3	4	5	6	5	3	5	6	5
NICKEL	4	3	6	3	3	3	4	5	1	3	3
FER BLANC	3	2	3	2	2	4	5	6	3	3	4
BRONZE PHOSP	3	4	4	4	3	3	3	5	3	4	2

1 : Excellent - 2 : Bon - 3 : Passable - 4 : Pauvre - 5 : Très pauvre - 6 : Impraticable

Tableau 8 : Soudabilité des métaux usuels

9. Aciers doux

L'acier est un alliage de fer et de carbone (à dosage de carbone variable).

Le fer est un métal à structure cristalline changeante en fonction de la température. Le carbone est un semi-conducteur réfractaire à solubilité variable dans le fer, en fonction de la température.

Une opération de soudage par résistance, libère intégralement le carbone, mais suivant la quantité et compte tenu du refroidissement, la redilution de celui-ci ne s'effectue pas harmonieusement dans les différentes phases allotropiques parcourues (Fer α Fer γ Fer δ).

Le tableau 9 illustre les paramètres de soudage pour les aciers doux.

ep. (mm)	Ø Élect.	Ø Face active	Pas	Recouv.	Tps soudure (~)	Effort (daN)	Intensité (A)	Ø Débout.	R (kgf)
0,25	9,5	3,5	6,5	9,5	3	90	4600	3,3	100
0,5	9,5	4	9,5	11	4	130	6100	4,3	240
0,75	9,5	4,5	12,5	11	6	180	8000	5	440
1	12,7	5	19	12	8	230	9500	5,8	610
1,25	12,7	5,5	22	14	10	290	10500	6,3	825
1,5	12,7	6	27	15	11	320	11000	6,7	900
1,75	12,7	6,5	31	16	14	380	12000	7,5	1250
2	16	7	35	18	17	500	13300	7,9	1460
2,5	16	8	40	20	21	590	14700	8,6	1850
3	16	9	50	22	25	815	17500	10,2	3120
3,5	20	10	57	27	34	925	18200	11,2	3880
4	20	11	66	32	41	1030	18900	11,9	4750
4,5	20	12	80	38	55	1200	19800	13	6000
5	20	13	88	44	70	1320	20900	14,7	6700
6	25	15	110	47	79	1600	22700	17	8250
7	25	17	133	66	116	2000	24400	19	9850
8	30	19	146	73	135	2400	25700	20,8	10800

Tableau 9 : Paramètres de soudage pour les aciers doux

10. Tôles galvanisées

C'est la forme la plus utilisée de tôle revêtue, dans l'industrie en général dans le monde industriel.

Le matériau est défini par le poids de zinc (déposé à chaud par trempage) à l'unité de surface, soit au mètre carré, et non par l'épaisseur de la couche déposée. C'est ce qui permet de différencier celui-ci de l'électro-zingué qui lui, se définit par l'épaisseur de Zn déposé (procédé électrolytique).

Pour fixer les idées, le plus régularisé des dépôts galvanisés, soit le SKIN PASSE en faible charge ($< 200\text{g/m}^2$) double face présente une couche de Zn, 4 fois plus forte en surface que l'électro-zingué de qualité courante.

Le tableau 10 illustre les caractéristiques de l'acier et du zinc

Matière	Point de Fusion (°C)	Densité	Coefficient de dilatation	Conductivité thermique	Résistivité (ρ : $\mu\Omega/\text{cm}^2$)
Zn	418	7,14	$39,7 \times 10^{-6}$	0,27	$5,9 \mu\Omega$
Acier	1450	7,85	12×10^{-6}	0,11	$11 \mu\Omega$

Tableau 10 : Caractéristiques de l'acier et du zinc

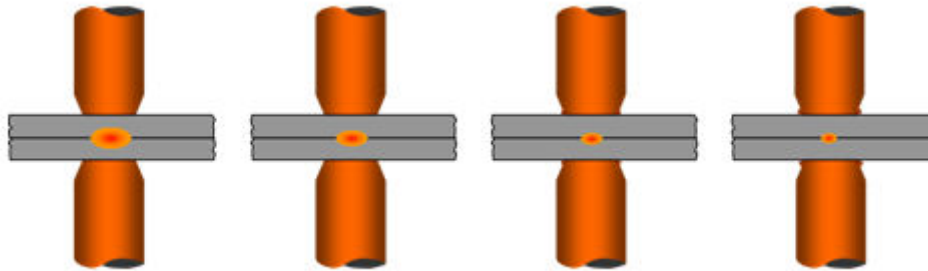


Figure 41 : Evolution simultanée des diamètres des faces actives et noyaux fondus

11. Processus de l'usure des pointes d'électrodes

En surface, c'est-à-dire au contact des faces actives des pointes d'électrodes, le point de fusion du zinc est dépassé de façon fugitive, mais indiscutable ($0^\circ\text{C} > 418^\circ\text{C}$). La pollution intervient alors de deux manières. Lors des premiers points (de 30 à 50), il subsiste une adhérence de zinc et d'oxyde de zinc sur la face active de l'électrode.

Cette couche initiale modifie bien sûr les conditions de « résistance » électrique. Très souvent, cette pollution entraîne des problèmes de « collages d'électrodes » sur les surfaces soudées.

Ces premiers points sont effectués avec des paramètres minimisés en intensité et des temps faiblement accrus. On les considère parfois comme des points de pré conditionnement de l'électrode avant ré ajustage des paramètres de départ d'une campagne.

On accroît donc ensuite, la tension du courant de soudage de manière à compenser l'accroissement de résistance. Ce faisant, la pollution ne va pas se limiter à un simple dépôt, mais le zinc va peu à peu s'allier au cuivre de l'électrode en profondeur. Il va donc se former un alliage cuivre/zinc à la pointe de l'électrode et cette solution d'alliage (laiton) va s'étendre en profondeur, entraînant une diminution de la dureté du métal d'électrode.

Sous l'effet des chocs d'accostages et des efforts de compression, la pointe d'électrode va « s'émousser » et le diamètre de sa face active va s'accroître, entraînant une chute de la densité

du courant (A/mm^2), le diamètre du noyau fondu va décroître dans les mêmes proportions jusqu'à l'apparition des premiers points collés.

Ayant constaté qu'il suffit de maintenir une densité de courant constante, en fonction du diamètre de face active, ce problème est palié par l'utilisation de systèmes d'incrémentation automatique de l'intensité. Et une nouvelle architecture d'électrode en est issue.

12. Dégraissage

La préparation des surfaces par dégraissage se fait :

- à froid, par application de solvants classiques ;
- à chaud, également par les procédés à base de solvant habituels, toutefois une réserve sera faite en ce qui concerne certains solvants chlorés qui sont susceptibles, à chaud, exposés aux ultras violets, d'entraîner la formation de phosgène toxique.

13. Décapage

L'aluminium et ses alliages s'oxydent à l'air et se recouvrent d'une mince pellicule d'alumine (quelques microns). L'alumine étant réfractaire au passage du courant, doit être éliminée avant soudage, afin de maîtriser une fourchette de valeur constante des résistances de contact et, pour éviter par ailleurs, l'incorporation de cette alumine dans le noyau fondu, à l'interface des tôles à assembler. C'est pour cette raison que l'on procède à un décapage des tôles d'alliage léger avant soudage. Ce décapage sera mécanique ou mieux chimique.

13.1. Décapage mécanique

Le décapage mécanique s'effectue localement, en utilisant des abrasifs classiques, toiles ou papiers, il présente l'inconvénient majeur de laisser subsister des stries en relief, susceptibles de retenir des particules abrasives et d'alumine, même après soufflage.

13.2. Décapage chimique

Le décapage chimique est préférable, il n'altère pas les surfaces et ses effets restent valables de 12 à 24 heures. Il s'effectue dans une succession de bains à chaud (soude caustique, acide nitrique, rinçage à l'eau). Aujourd'hui il est préférable d'utiliser les produits de synthèse spécialisés qu'offre l'industrie chimique, (le plus souvent à base d'acide phosphorique).

14. Electrodes

Le métal employé pour la fabrication des électrodes doit présenter les caractéristiques suivantes :

- Une très bonne conductivité afin d'opposer la résistance au courant la plus faible possible ;
- Une bonne conductibilité thermique pour une dissipation rapide de la chaleur ;
- Des propriétés mécaniques afin d'éviter la fissuration sous l'effet du martelage.

Il est nécessaire que le métal possède une dureté optimale à chaud, ce qui ne signifie pas dureté maximale que l'on pourrait lui conférer par écrouissage.

Le métal doit être suffisamment dur pour ne pas s'écraser sous l'effort de compression, et conserver cette dureté optimale en cours de service pour que l'électrode ne soit pas sujette à un adoucissement qui la rendrait rapidement inutilisable.

Parmi ces métaux, le plus intéressant par l'étendue de ses possibilités d'utilisation est le cuivre au chrome à faible teneur en zirconium (0,02 à 0,10% Zr). De par sa composition, cet alliage possède les qualités fondamentales précitées. En outre, ses propriétés mécaniques sont encore nettement renforcées du fait que son élaboration particulière lui confère une structure à cristaux orientés en longues fibres.

Par exemple, sa dureté à chaud et sa résistance à l'adoucissement sont sensiblement plus favorables que celles des alliages cuivre-zirconium courants, cuivre-chrome.

Des formats de pointes d'électrode sont utilisés à face active sphérique. Cette pratique est particulièrement préconisée dans le soudage d'alliages légers ou pour le soudage des tôles d'acier de fortes épaisseurs.

Les figures 42 et 43 illustrent quelques exemples de formats standardisés des électrodes.

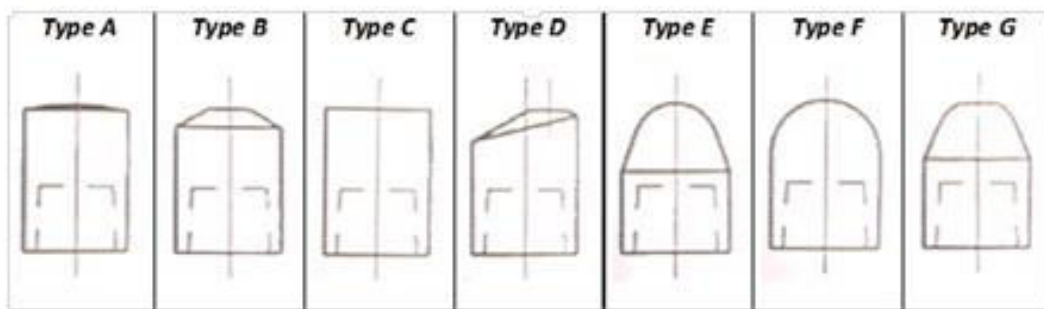


Figure 42 : Exemple de formats standardisés



Figure 43 : Exemple des différents formats d'électrode

V. SOUDURE TIG (141)

1. Principe et définition de la soudure TIG (141)

Les figures 44 et 45 montrent une installation d'un poste à souder TIG.



Figure 44 : Poste à souder TIG

Lorsque le soudeur actionne la gâchette, celui-ci actionne d'une part la sortie du gaz, et en même temps, il ferme le circuit électrique qui permet le passage du courant. Si l'électrode tungstène est suffisamment proche d'une pièce en contact avec la masse, il se crée un arc électrique d'une énergie suffisante pour fondre la matière. Le soudeur apporte manuellement (ou automatiquement sur certaines installations) le métal d'apport (d'un diamètre d'environ

0,8 mm à 4 mm) pour le mélanger à la matière et ainsi grossir la partie fondue en créant le cordon de soudure. Le tout s'exécute sous protection gazeuse. La soudure TIG à la particularité d'être exécutée sous protection de gaz inerte avec une électrode non fusible et réfractaire (en tungstène).

Ce procédé est appelé Tungsten Inert Gas (TIG) ou Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) aux USA. Le poste TIG est une machine qui est désormais un procédé très prisé des entreprises, pour sa précision notamment.

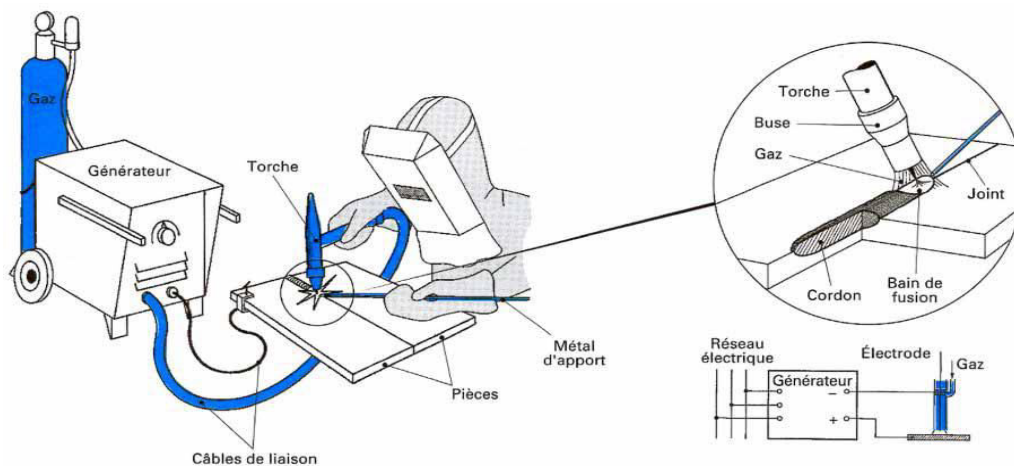


Figure 45 : Principe de soudage TIG

2. Description de la torche TIG (figure 46)

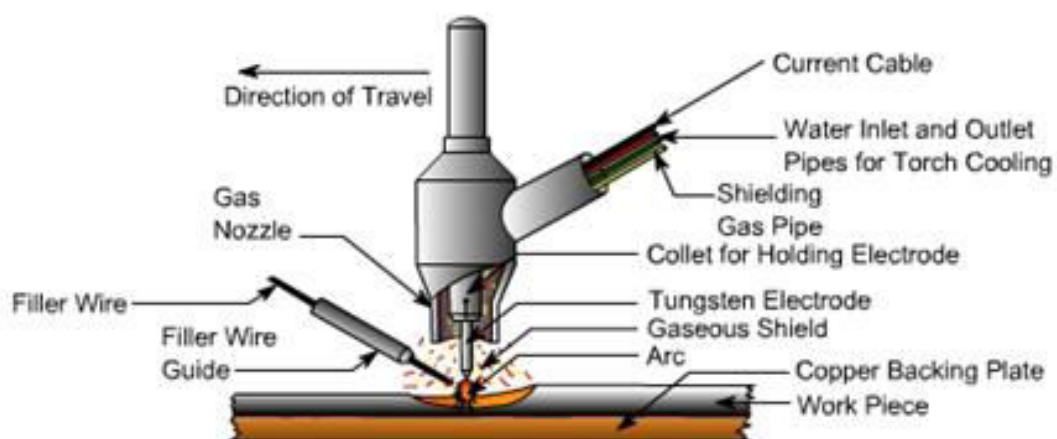


Figure 46 : Soudeur TIG

3. Paramètres ayant une influence sur la soudure TIG

- La vitesse de soudage (avance du soudeur) ;
- Le choix et le débit du gaz ;
- Le choix et le débit du métal d'apport ;
- Le choix, l'affûtage et le diamètre de l'électrode réfractaire ;
- La position de soudage ;
- La préparation ;
- La dimension et la nature des matériaux à souder.

4. Applications de la soudure TIG

- La réalisation d'ouvrages alimentaires ;
- La chaudronnerie d'acier inoxydable ;
- L'industrie aéronautique et spatiale ;
- La carrosserie ;
- Plus généralement, les entreprises travaillant des matériaux à bases d'aciers inoxydables * et d'alliages légers.

5. Avantages de soudage TIG

- Large gamme d'épaisseurs à souder ;
- Simple d'emploi ;
- Travail précis et esthétique ;
- Peu de fumées ;
- Soudage dans toutes les positions ;
- Procédé automatisable ;
- Faible vitesse de soudage ;
- Apport important d'énergie.

6. Inconvénients de soudage TIG

- Équipement dispendieux ;
- Prix élevé de la soudure à cause du gaz de protection et du coût de l'équipement ;
- Déformations des pièces soudées.

7. Description d'un poste de soudure TIG

La figure 47 décrit un poste de soudage TIG.



Figure 47 : Description d'un poste TIG

8. Alimentation électrique

En fonction des matériaux, des dimensions et des épaisseurs à souder, on pourra souder en courant continu à polarité directe, souder en courant pulsé, ou encore souder en courant alternatif.

Le courant continu à polarité directe (pôle négatif à l'électrode) s'exécute pour le soudage de tous les métaux, y compris de l'aluminium (avec certaines précautions à prendre)

Le courant pulsé, qui consiste à développer des périodes de hautes et de basses intensités, pour réduire le volume de métal fondu. Ceci facilite le travail en position et le soudage des faibles épaisseurs avec une meilleure régularité, surtout au niveau des pénétrations.

Le courant alternatif est principalement utilisé pour le soudage des alliages d'aluminium.

9. Gaz utilisés en procédé TIG

Des gaz de protection sont nécessaires lors du soudage à l'arc sous gaz tungstène (GTAW) pour protéger la zone de soudage des gaz atmosphériques, tels que l'azote et l'oxygène, qui provoquent des défauts. Le gaz transfère également la chaleur de l'électrode de tungstène au métal et contribue à démarrer et à maintenir un arc stable.

Le choix d'un gaz de protection dépend de:

- Type de matériau à souder ;
- Conception commune ;
- Aspect final souhaité de la soudure.

L'argon pur est le plus couramment utilisé en soudage TIG.

L'hélium utilisé en complément à l'argon, l'arc développe une énergie plus importante et donc des performances accrues du fait de la vitesse plus grande. Le coût du soudage est plus important cependant.

L'hydrogène utilisé en addition avec l'argon permet lui aussi d'obtenir un arc plus énergétique, donc une vitesse de soudage améliorée. En outre, une pénétration plus importante est constatée ainsi qu'un aspect plus esthétique du cordon de soudure.

L'azote peut aussi être utilisé en complément à l'argon et en très petite quantité pour souder des aciers duplex.

10. Buses utilisées

Les buses utilisées seront soit en céramique (rose foncé) (figure 48), en aluminium (rose clair) ou en corindon (blanc) et auront un diamètre qui pourra varier de 6 mm à 20 mm suivant l'intensité de soudage.



Figure 48 : Buses céramiques TIG

10.1. Diamètre de buse

Une épaisseur à souder nécessite une intensité donnée. Plus cette intensité est élevée, plus le diamètre de la buse doit être important.

A un diamètre de buse correspond un débit optimal pour la protection efficace du bain de fusion. Un dépassement trop important de ce débit provoque des turbulences dans l'écoulement gazeux favorisant l'entraînement d'air et conduit à une dégradation de la qualité de la protection.

Une règle simple définit que le débit d'argon ne doit pas excéder 1 l/min par mm de diamètre de la buse. La faible densité des mélanges à forte teneur en hélium peut toutefois obliger à dépasser cette limite.

Selon la forme de l'assemblage, le diamètre de buse et/ou le débit sont amenés à être modifiés.

Les diamètres couramment utilisés sont : 6 – 8 – 10- 12-15 mm de diamètre, d'autres diamètres pourront être trouvés pour des applications particulières.

11. Electrodes non fusibles

Il existe 4 types d'électrodes non fusibles pouvant être utilisées en soudage TIG:

- Tungstène pur (extrémité verte) utilisée pour les courants alternatifs (alliages Al);
- Tungstène avec oxyde de zirconium utilisé aussi en courant alternatif (alliages Al);
- Tungstène thorié (couleur d'extrémité rouge) utilisée pour les aciers de construction et aciers inoxydables ;
- Tungstène cérié qui est moins utilisé

Proposition de nom:

Le lanthane est de plus en plus utilisé en remplacement des électrodes Tungstène thorié.

Nota :

L'oxyde de thorium augmente le pouvoir émissif de l'électrode infusible de tungstène. Il facilite l'amorçage de l'arc et sa stabilité.

Lors du soudage, l'électrode de tungstène doit continuellement être protégée par un courant de gaz argon jusqu'à son refroidissement complet afin d'éviter son oxydation et sa détérioration. C'est le post-gaz.

Les poussières des électrodes affûtées doivent être aspirée et traitées. On peut aujourd'hui remplacer ces électrodes nocives par des électrodes au lanthane, dont la fonction est la même.

12. Affutage des électrodes en tungstène

Lors de la soudure TIG, l'affûtage des électrodes est un paramètre important puisque la qualité de votre cordon dépendra en partie de cette opération (figure 49 et 50). En effet, selon que le soudage se fait en courant continu ou en courant alternatif, la pointe de l'électrode sera affûtée de façon différente. Dans tous les cas, les stries dues au meulage doivent être dans le sens de l'électrode et devront respecter un angle de 30° à 60° avec un méplat pour éviter les inclusions de tungstène dans le cordon de soudure, en cas de soudage des aciers. Un affûtage à 90° sera réalisé pour souder des alliages légers tels que l'aluminium.

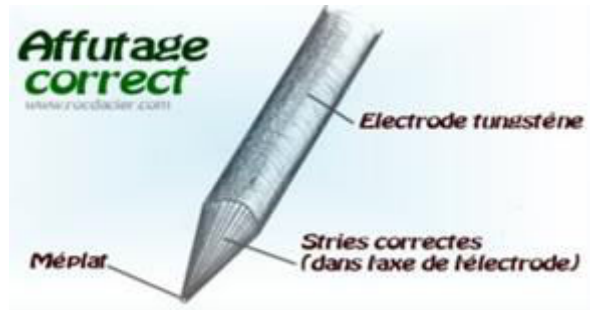


Figure 49 : Affutage correct de l'électrode



Figure 50 : Mauvais affûtage d'une électrode

13. Récapitulatif simplifié

13.1. Pour les aciers et aciers inoxydables

En bout à bout: 20 à 25 Ampères par mm d'épaisseur.

En angle: 30 à 35 Ampères par mm d'épaisseur.

13.2. Pour les aluminiums et alliages

- En bout à bout: 35 à 40 Ampères par mm d'épaisseur ;
- En angle: 45 à 50 Ampères par mm d'épaisseur.

13.3. Réglages du pré-gaz de 3 secondes et du post-gaz

- 8 secondes à 50 A ;
- 10 secondes à 100 A ;
- 15 secondes à 200 A ;
- 25 secondes à 250 A.

13.4. Pour les aciers et aciers inoxydables *

Courant continu, polarité directe, électrode en tungstène thorié (rouge), affûtage de 30 à 60°.

13.5. Pour les aluminiums et alliages légers

Courant alternatif, électrode en tungstène pur (vert), affûtage de 90°.des endroits difficilement accessibles pour d'autres procédés

14. Défauts des soudures

Parmi les défauts que l'on rencontre en soudage en générale : formes et dimensions – manque de métal– collage – manque de pénétration...

Les défauts ci-après sont principalement rencontrés en soudage TIG.

14.1. Rochage

Le métal des cordons de soudure roche se présente sous la forme d'une mousse métallique.

Il est du, en soudage TIG sur les aciers inoxydables principalement, à une oxydation excessive provoquée par un débit d'argon trop élevé ou insuffisant et ne doit être toléré en aucun cas. En soudage oxyacétylénique, le rochage est particulièrement marqué lors du soudage des aciers effervescents. Un mauvais choix de la nuance du métal d'apport provoque également ce phénomène.

14.2. Inclusion de tungstène

Le défaut caractéristique du soudage TIG est provoqué par un affûtage trop en pointe de l'électrode, par l'utilisation de densités de courant trop importantes ou par un contact fortuit avec le bain de fusion.

14.3. Oxydation

C'est le défaut caractéristique du soudage TIG.

L'oxydation se manifeste de part et d'autre du cordon de soudure sous la forme d'une auréole dont les teintes sont plus ou moins foncées suivant son degré de gravité.

Elle peut être due à un débit d'argon insuffisant ou trop important, ainsi qu'à un diamètre de buse trop petit. Une mauvaise tenue de la torche peut également, par manque de protection, provoquer l'oxydation du cordon de soudure. Bien veiller aux courants d'air.

14.4. Fissuration

C'est un défaut dont les causes sont aussi nombreuses que variées. Nous nous limiterons ici à n'en donner que les principales.

Notons que les fissures peuvent apparaître dans le métal d'apport ou dans le métal de base à proximité du joint. Leur apparition peut être due:

- A un manque d'énergie en première passe sur tôles épaisses ;
- A une mauvaise conception des assemblages ;
- Au mauvais choix du métal d'apport.

15. Procédés divers

15.1. TIG Pulsé

Dans les cas de soudage délicats tels que les très faibles épaisseurs, les métaux et alliages difficiles à assembler ou le soudage de tubes en position, on recherche une maîtrise la plus grande possible de l'énergie de soudage, du volume du bain de fusion et de la pénétration. Ceci s'obtient avec les générateurs utilisant l'électronique qui fournit des impulsions de courant de forme, d'amplitude, de durée et de fréquence variable. Les dispositifs de pulsation sont soit optionnels, soit intégrés dans les générateurs de soudage.

Les avantages du courant pulsé sont:

- De souder avec une énergie de soudage inférieure à un courant lisse sur un même assemblage.
- De souder avec un bain de fusion petit et étroit, ce qui facilite le soudage en toute position.
- De mieux contrôler la continuité de la pénétration avec les pics d'intensité.
- De souder des épaisseurs nettement inférieures à ce que l'on pourrait faire en courant lisse.

15.2. TIG Orbital

C'est une variante spécifique au raboutage des tubes ou à l'assemblage sur plaque tubulaire.

C'est un procédé totalement automatisé où la torche motorisée, montée sur rails, se déplace autour du tube. L'approvisionnement en métal d'apport est assuré par un fil en bobine et un dévidoir.

15.2.1. Avantages du procédé TIG Orbital (figure 51)

- Soudage de grandes séries de pièces et grande répétitivité de production ;
- Utilisation dans les milieux hostiles à l'homme ;
- Utilisation possible dans les espaces confinés à accessibilité réduite ;
- Aspect et finition de cordon de très grande qualité ;
- Maîtrise parfaite du cordon de pénétration en toutes positions ;
- Aucune préparation de joint sur les faibles épaisseurs (< 3 mm) ;
- Procédé complètement automatisé ;
- Excellentes qualités de joint et bonnes caractéristiques mécaniques ;
- Peu de nuisance environnementale.



Figure 51 : TIG Orbital

15.3. TIG double flux

Le TIG double flux (ou TIG rigidifié) illustré par la figure 52, permet d'accroître les performances de soudage en contractant l'arc par un second flux gazeux. Le gaz annulaire et le gaz de protection peuvent être de même nature ou de natures différentes.

Sans préparation, on peut ainsi souder une passe jusqu'à:

- 5 mm sur acier inoxydable ;
- 6 mm sur alliage léger.

Comparativement au TIG classique, pour une épaisseur donnée, l'intensité de soudage est moindre, ce qui diminue le volume du bain de fusion.

On obtient ainsi un cordon étroit, une étendue de ZAT limitée et moins de déformations de soudage.

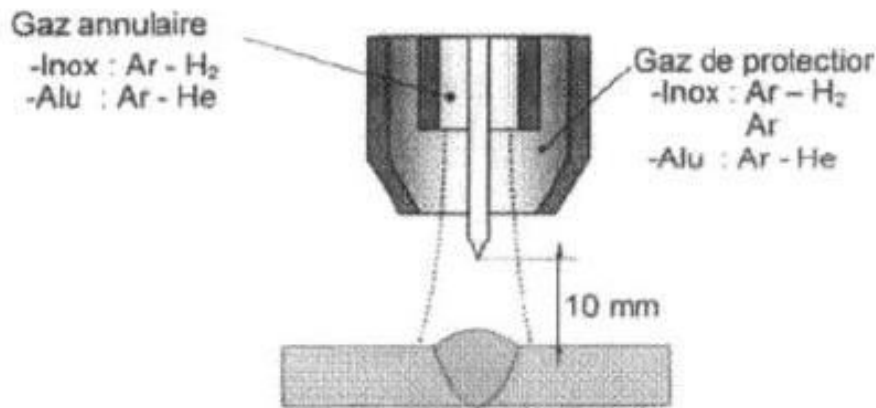


Figure 52: TIG double flux

15.4. TIG fil chaud

Pour améliorer le taux de dépôt du procédé TIG classique, il a été proposé de chauffer le fil d'apport, par effet Joule, au moyen d'une source auxiliaire de courant alternatif réglée pour éviter la formation d'un arc.

Par ce procédé, des taux de dépôt sont atteints de 3 à 4 fois plus élevés (jusqu'à 4kg/h) qu'avec un fil froid.

Ce procédé n'est utilisable qu'en soudage automatique. Ce qui permet de quadrupler la vitesse de soudage par rapport au TIG manuel.

15.5. A-TIG

Le soudage A-TIG n'est pas une variante du soudage TIG mais une aide au soudage TIG qui a fait son apparition il y a plus de 30 ans dans les pays de l'ex-URSS. Ce procédé utilise un flux inorganique dit activant qui permet d'obtenir une augmentation remarquable de la pénétration du bain de fusion. Ce flux activant est essentiellement composée essentiellement d'oxydes métalliques (TiO, TiO₂, Cr₂O₃...) et de fluorures.

Le procédé TIG est reconnu pour la qualité de ses soudures mais reste limité quant aux épaisseurs soudées (de l'ordre de 2 à 3 mm d'épaisseur en une seule passe selon les matériaux). L'apport de ce flux permet d'assembler en une seule passe jusqu'à 8 mm

d'épaisseur des métaux tels que les aciers inoxydables, les aciers noirs, les alliages légers, et autres métaux reconnus pour les difficultés qu'ils engendrent lors de l'opération de soudage.

Sans augmenter vos paramètres, en conservant le même gaz, vous obtenez une pénétration totale sur une tôle ou un tube de 6 mm d'épaisseur sans chanfrein, ni écartement.

La figure 53 illustre la soudure A-TIG.

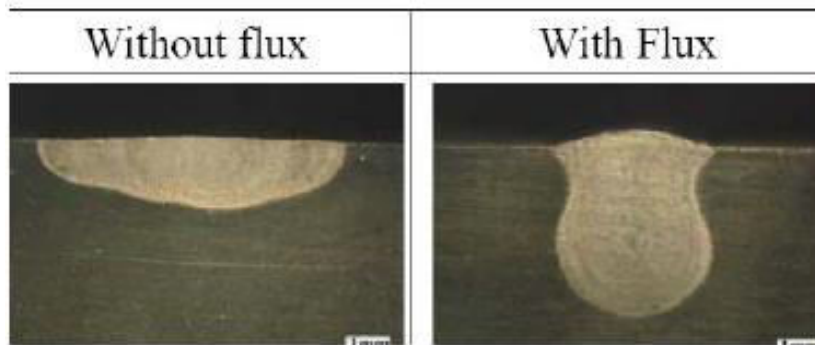


Figure 53 : Soudure A-TIG

15.5.1. Performances du procédé A-TIG

- Absence de préparations des bords à souder ;
- Facilité de pointage des assemblages de fortes épaisseurs ;
- Réduction du nombre de passe et augmentation des vitesses de soudage ;
- Diminution notable du poids de métal déposé ;
- Réduction de l'énergie de soudage, donc des retraits et déformations inhérentes ;
- Absence d'investissements en matériels lourds ;
- Diminution des consommations de gaz protecteurs endroit et envers.

15.6. TIG multi-cathodes

3 ou 4 têtes TIG de dimensions réduites placées l'une derrière l'autre à courte distance, chacune avec son alimentation en courant de soudage, forment un bain de fusion unique. La première électrode est destinée à assurer le préchauffage, la ou les suivantes la pénétration et le soudage, et la dernière le lissage du cordon.

Il est possible de combiner les procédés TIG, TIG double flux et plasma.

C'est un équipement représenté par les figures 54, très spéciales et pratiquement spécifiques au soudage automatique industriel longitudinal des tubes minces en acier inoxydable ou en alliage léger.

Les vitesses de soudage peuvent atteindre plusieurs m/min soit multiplier par 10 la vitesse du TIG manuel.

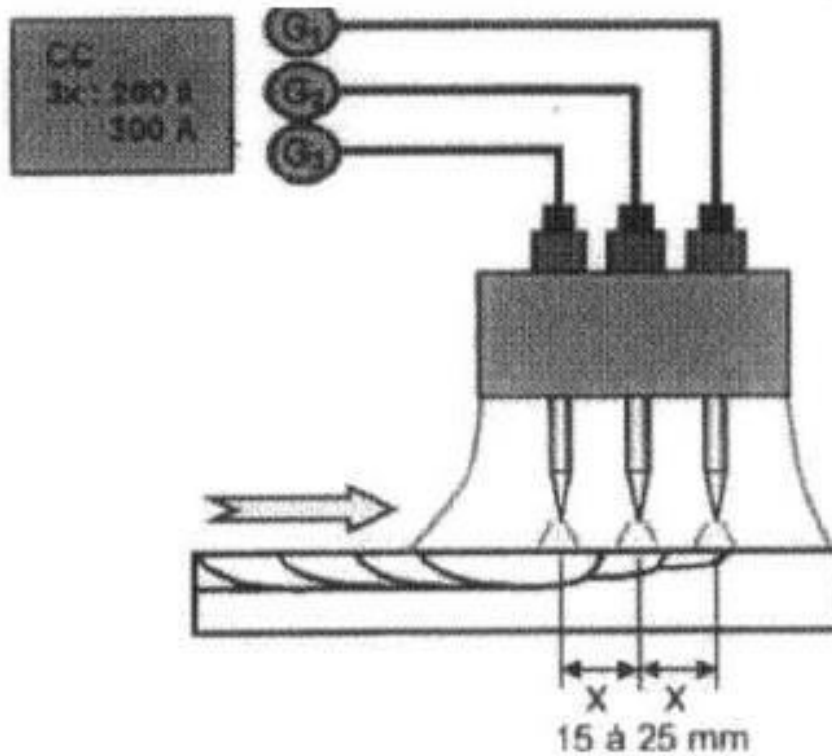


Figure 54 : TIG multi-cathodes

16. Hygiène et sécurité

16.1. Protection contre les dangers du courant électrique

Les consignes de sécurité relatives aux générateurs de courant utilisés en soudage TIG sont identiques à celles concernant les appareils de soudage avec électrodes enrobées, à savoir:

Utilisation de conducteurs isolés, Mise à la terre des appareils,

Installation de dispositifs de coupure automatique du courant en cas de défaillance de la mise à la terre.

La protection contre les dangers du courant électrique est complétée par :

Le port de gants isolants au cours du soudage,

L'utilisation de boîtes isolées ou de support pour déposer la torche entre les opérations de soudage.

16.2. Protection contre les rayonnements

Les rayonnements émis par l'arc en soudage TIG sont beaucoup plus importants que ceux émis par l'arc avec électrode enrobées :

- Ultra violet: 4 fois plus important ;
- Infra rouge: 1,5 fois plus intense.

Il est donc nécessaire de protéger la vue contre ces rayonnements à l'aide de filtres de protection oculaire dont le choix sera effectué en fonction de la nature des matériaux et des intensités de soudage.

La protection de tête se fera au moyen d'un casque préférentiellement au masque à cause de la nécessité d'avoir les 2 mains libres, pour tenir la torche et le métal d'apport.

16.3. Protection contre les fumées

Le soudage TIG est le procédé qui produit le moins de fumées de soudage. Le seul dégagement de fumées possible en soudage TIG peut provenir de pièces mal nettoyées ou mal dégraissées, ou un contact fortuit entre le bain de fusion et l'électrode de tungstène.

Les surfaces doivent être bien décapées et dégraissées avec des produits conformes à la législation en vigueur.

16.4. Protection contre les poussières d'électrode

Les électrodes en tungstène thorié comporte des oxydes de thorium dans une proportion au plus égal à 4,2% en masse. La radioactivité naturelle du thorium est relativement élevée mais reste en dessous des limites pour les soudeurs.

La nature du rayonnement généré rend totalement négligeable le risque d'irradiation externe, que ce soit lors du stockage ou en cours de soudage ou lors de l'élimination des déchets solides.

Par contre, lors du meulage de la pointe des électrodes, il y a un risque incontestable de mise en suspension dans l'air de poussières radioactives. D'où le risque d'exposition interne par inhalation ; le risque pulmonaire, même mineur, existe. Il y a nécessité d'aspiration des poussières à la source de meulage, complétée si besoin est par un appareil de protection respiratoire individuel.

16.5. Sous oxygénation dans les opérations de soudage

Signalons que l'argon est un gaz non toxique, mais que, inhalé en grande quantité, il peut provoquer l'asphyxie par manque d'oxygène. Celui-ci étant plus lourd que l'air, une surveillance toute particulière

sera effectué pendant les opérations de soudage au fond de cuve par exemple, pour éviter la formation d'une nappe d'argon stagnante dans les parties basses.

En particulier, l'air s'appauvrit en oxygène, ce qui crée le risque d'un malaise, voire d'asphyxie. Ce phénomène est plus sensible avec les procédés TIG et MIG utilisant de l'argon qui est plus lourd que l'air.

VI. SOUDAGE PLASMA

Introduction

Il y a plusieurs moyens pour obtenir la continuité métallique. Dans la majorité des cas, elle est obtenue par fusion locale. Elle peut aussi être obtenue par diffusion, déformation, ...

Les procédés de soudage sont nombreux et peuvent être classés suivant la façon de transférer l'énergie.

En 1953 le soudage au plasma est apparu pour fournir une source d'énergie bien plus concentrée et des températures bien plus élevées, permettant d'accroître la vitesse de soudage en réduisant l'apport de chaleur.

1. Généralités et principe de soudage au plasma

1.1. Définition

C'est un gaz porté à très haute température et devenant électro-conducteur.

Pour obtenir un arc plasma, on confine un arc électrique en le faisant passer par l'orifice d'une tuyère de faible diamètre (quelques millimètres).

On obtient un « jet plasma » ayant une vitesse de sortie supérieure à la vitesse du son.

1.2. Principe

- Le soudage plasma est un TIG « amélioré » ;
- Technique de soudage à l'arc avec une électrode réfractaire en tungstène (cathode) sous atmosphère gazeuse: gaz plasmagène ;

- La pièce à souder constitue l'anode ;
- L'arc est plus rigide et plus énergétique grâce à une tuyère (canal de sortie) et une protection par un gaz auxiliaire servant à protéger le bain de fusion et augmenter la pénétration ;
- Les températures atteintes peuvent avoisiner les 20 000°C ;
- Le métal d'apport est amené en continu ;

La figure 56 représente une installation de soudage plasma avec compresseur d'air.



Figure 55 : Poste de soudage plasma

La figure 56 représente la schématisation du principe du soudage par plasma.

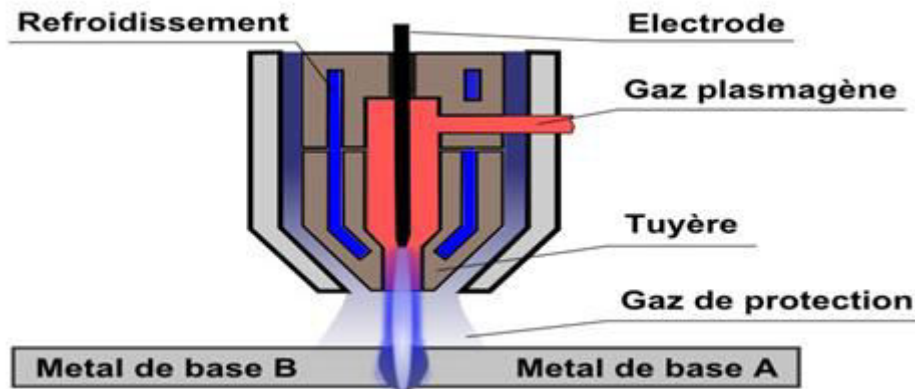


Figure 56 : Schématisation du principe du soudage par plasma

2. Source d'énergie

Elle est de type électrique

La chaleur est produite :

- Soit par un arc électrique étranglé, amorcé entre une électrode de tungstène et une électrode en cuivre. Il s'agit d'un arc non transféré (figure 57) soufflé par un gaz plasmagène.

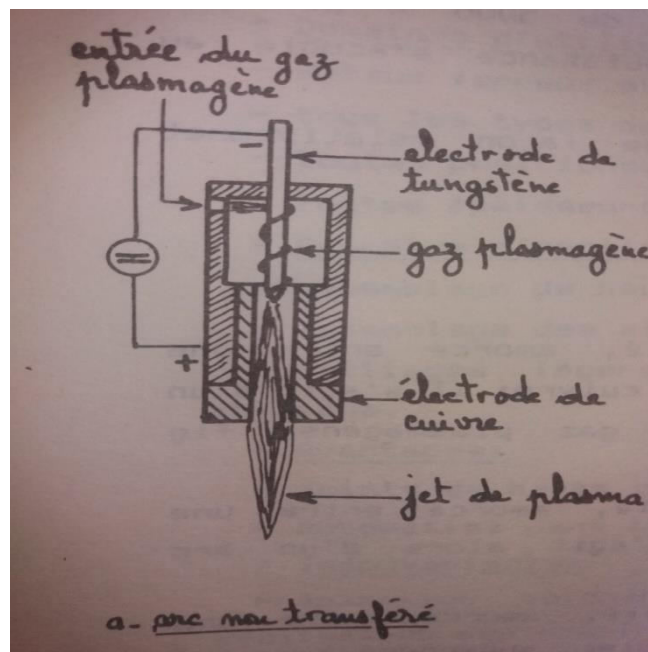


Figure 57 : Arc non transféré

- Soit par un arc électrique étranglé, amorcé entre une électrode et les pièces à assembler. Il s'agit d'un arc transféré (figure 58).

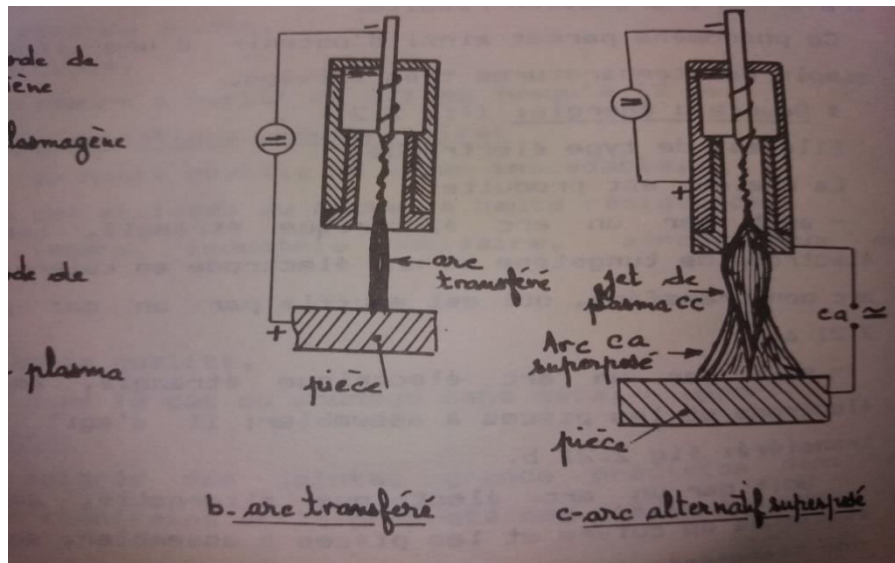


Figure 58 : Arc transféré

- Soit par un arc électrique alternatif, amorcé entre une électrode de cuivre et les pièces à assembler, superposé à un arc non transféré. Il s'agit d'un arc alternatif superposé.

L'intensité varie entre 10 et 400 A, l'énergie varie entre 0.5 et 10 kW dans le cas du soudage au plasma. L'intensité I varie entre 10 et 40 A et E entre 0.01 et 0.5 kW dans le cas du soudage au micro plasma.

3. Métal d'apport

- Le soudage au plasma peut être utilisé avec ou sans métal d'apport ;
- Dans le premier cas, le métal d'apport se présente sous la forme d'une baguette auxiliaire ;
- Dans le cas de rechargement de pièces, le métal d'apport peut être introduit dans le jet de plasma, sous forme de poudre. La protection du bain de fusion est assurée par des gaz inertes tel que l'argon, et des gaz actifs tels que les mélanges riches en argon.

4. Domaine d'utilisation

- assemblages de la plupart des métaux ;
- assemblages bout à bout, principalement dans le cas d'une préparation bord à bord ;
- épaisseurs de 3 à 7 mm pour le soudage au plasma et 0.05 à 3 mm pour le soudage au micro plasma ;
- Rechargement et découpage des pièces.

5. Avantages du procédé

a. Sous protection gazeuse

- Meilleures qualités de soudure (aspect visuel) ;
- Vitesse de soudage élevée ;
- Pénétration plus profonde ;
- Temps de nettoyage réduit ;
- Valeur de résilience plus élevée ;
- Rendement légèrement supérieur.

b. Avec fil auto protégé

- Moins sensible aux effets des courants d'air ;
- Nécessite moins d'équipement ;
- Peut utiliser le même équipement qu'en SMAW s'il est muni d'un dévidoir à vitesse variable et asservi à la tension de soudage ;
- Pour le soudage avec fil auto protégé, la longueur terminale devra être supérieure à celle de la protection gazeuse (préchauffage du fil et aide à sa fusion). Il assure un taux de dépôt plus élevé.

6. Inconvénients du procédé

- Equipements très coûteux ;
- Précision de l'accostage des bords essentielle ;
- Mise en œuvre manuelle difficile.

7. Risques

- Fortes radiations U-V et I-R ;
- Procédé très bruyant ;
- Risques d'ordre électrique avec une tension à vide (U_0) élevée.

Conclusion

Le soudage au plasma est parmi les procédés innovant et spécial car il peut réaliser des soudures difficiles avec une bonne résilience et un bon aspect de cordon.

VII. SOUDAGE OXYACÉTYLENIQUE

1. Définition du soudage oxyacétylénique

Le soudage OA (Oxygène et acétylène) est un procédé d'assemblage thermique qui s'applique aux tôles et aux tubes de même matière dont l'épaisseur reste inférieure ou égale à 2 mm.

2. Description du poste de soudage OA

- On mélange deux gaz, l'oxygène et l'acétylène ;
- On enflamme le mélange ;
- On obtient alors, après réglage une flamme permettant de souder.

La figure 59 représente les composants du soudage oxyacétylénique :

1-Manomètre

2-Bouteille d'oxygène

3-Bouteille d'acétylène

4-Chariot de transport

5-Buses

6-Chalumeau

7-Raccord anti-retour

8-Tuyau Acétylène de couleur rouge

9-Tuyau Oxygène de couleur bleue

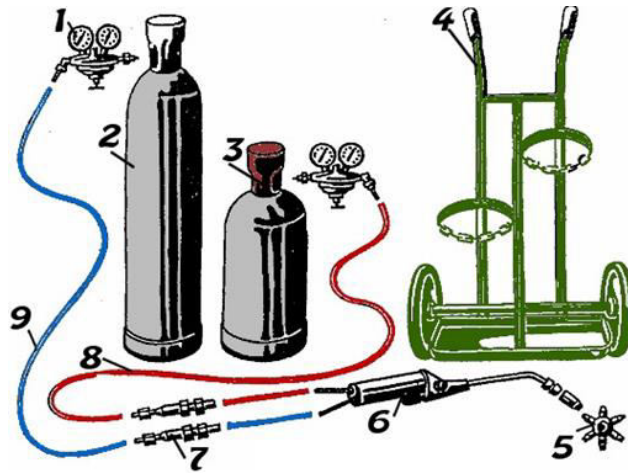


Figure 59 : Poste "chalumeau"

Le chalumeau, illustré par la figure 60, se compose de 6 parties :

- 1-Bouton permettant le réglage de l'acétylène (0,5 Bars)
- 2-Bouton permettant le réglage de l'oxygène (1,5 Bars)
- 3-La lance
- 4-La buse
- 5-Raccord acétylène (tuyau rouge)
- 6-Raccord oxygène (tuyau bleu)

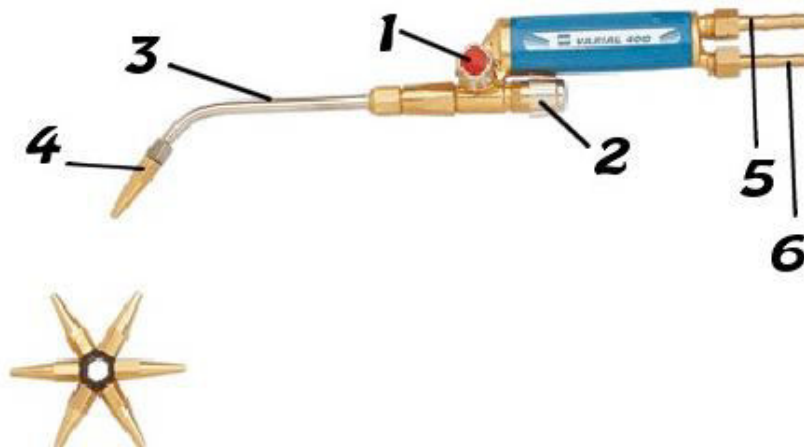


Figure 60 : Chalumeau

3. Choix de la buse

La buse est interchangeable, elle est choisie en fonction de l'épaisseur de la pièce à souder.

Pour un soudage à plat, on considère 100 L/h/mm c'est-à-dire, une buse de 100L pour une épaisseur de 1 mm à souder.

Le tableau 11 présente le choix de la buse en fonction de l'épaisseur de la pièce à souder.

Epaisseur (mm)	Calibre de la buse (l/h)	Diamètre du fil d'apport (mm)	Vitesse de soudage (m/h)
2	100	2	5
3	200	2	3.3
4	250	2	2.5
5	315	3	2
6	400	3	1.6

Tableau 11 : Choix de la buse en fonction de l'épaisseur de la pièce à souder

4. Mode opératoire

L'opération du soudage se décompose en 5 parties :

- 1-Ouvrir les vannes d'acétylène et d'oxygène
- 2-Régler les pressions sur le manomètre: Oxygène 1,5 bars et Acétylène 0,5 bars
- 3-Ouvrir le robinet d'acétylène d'1/8 de tour sur le chalumeau
- 4-Allumer le chalumeau
- 5-Ouvrir l'oxygène et régler selon la flamme désirée.

Les figures 61, 62 et 63 illustrent les différents types de flammes du chalumeau.



Figure 61 : Flamme chalumeau normale – Réglage parfait



Figure 62 : Flamme chalumeau oxydante – Mauvais réglage – Excès d’oxygène



Figure 63 : Flamme chalumeau comburante – Mauvais réglage – Excès d’acétylène/propane/...

La flamme est composée de 3 zones :

- Le dard ;
- La zone réductrice ;
- Le panache.

La distribution des températures de flamme du chalumeau est illustrée par la figure 64.

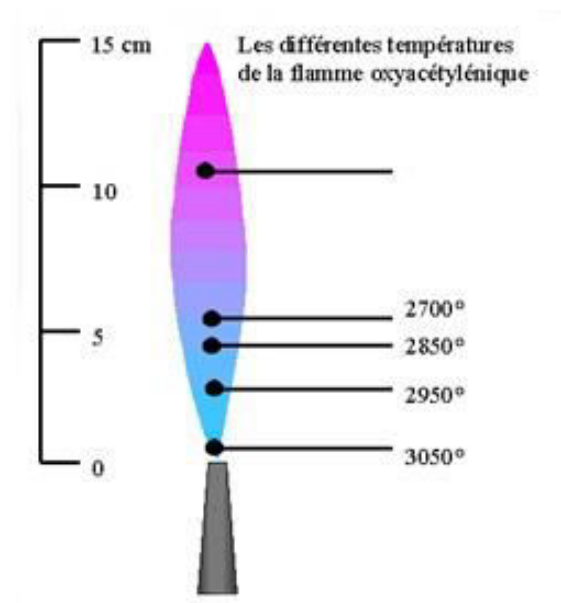


Figure 64 : Température de flamme chalumeau

5. Sécurité

Le tableau 12 illustre les consignes de sécurité pour le procédé de soudage OA.



Risques	Moyens de protection	
<p>Dus à la flamme :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Brûlures cutanées • Conjonctivites et lésions oculaires provoquées par les infrarouges et la chaleur • Lésions de la cornée provoquées par les ultraviolets 	<ul style="list-style-type: none"> • Lunettes de protection teintée • Gants de soudage ignifugés ou en cuir 	
<p>Dus à la fumée :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Intoxications, irritations, provoquées par l'échappement de l'oxyde de fer dans les fumées 	<ul style="list-style-type: none"> • Atelier aéré • Système d'aspiration des fumées 	

Tableau 12 : Consignes de sécurité pour le procédé de soudage OA

VIII. PROCEDE ARC SUBMERGE (SAW)

Introduction

Le soudage à l'arc submergé est généralement utilisé dans les applications industrielles impliquant des plaques d'acier épaisses ou des soudures longues. Ce procédé consiste à créer un joint de soudure entre les composants en acier à l'aide d'un arc électrique submergé par une couche de flux en poudre.

1. Définition du procédé

Le procédé sous arc submergé (SAW) ou procédé 121 est une technique de soudage à l'arc électrique avec électrode fusible sous flux électro-conducteur en poudre.

La figure 65 illustre le procédé sous arc submergé.

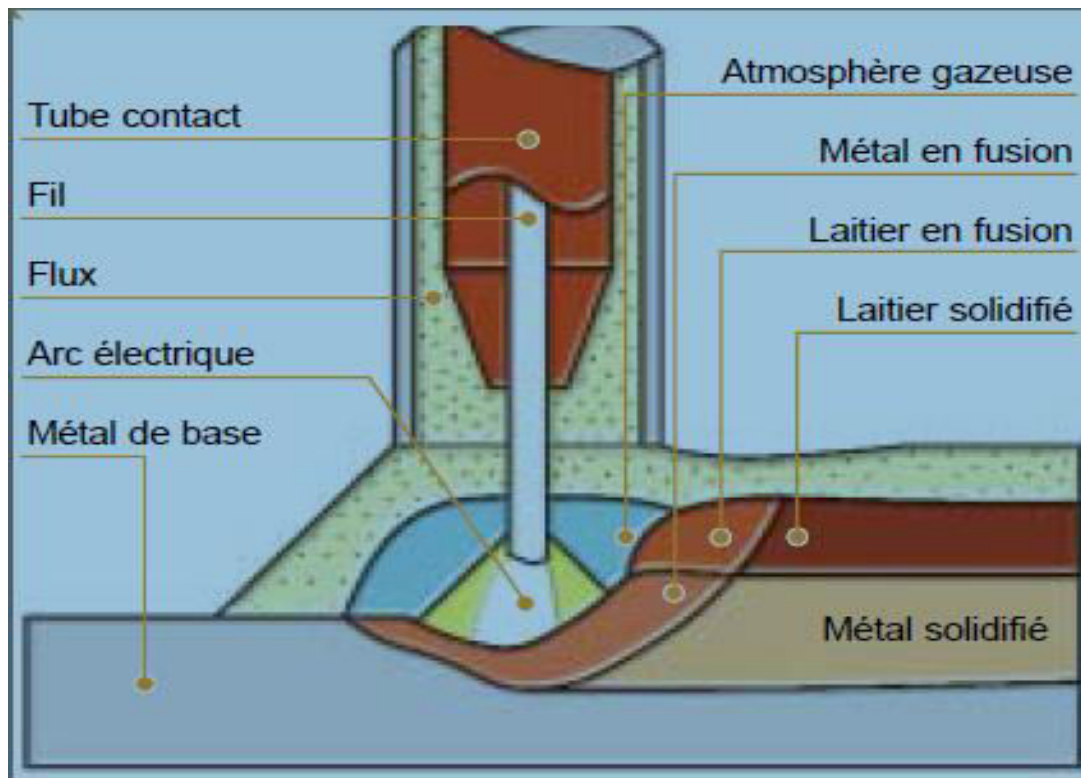


Figure 65 : Procédé SAW

2. Principe du procédé

Le soudage à l'arc submergé repose sur la formation d'un arc entre un fil à distribution permanente et la pièce à souder. Un couvert de flux en poudre permet d'obtenir une protection et de constituer un laitier pour la zone à souder. Ce procédé ne nécessite aucun gaz de protection. L'arc est submergé en dessous du couvert du flux, et reste la plupart du temps invisible durant le soudage.

Le soudage s'effectue normalement en mode automatique ou semi-automatique. Ce procédé est généralement limité aux soudures d'angle à plat ou soudures d'angle en gouttière.

La figure 66 présente le principe du soudage sous flux.

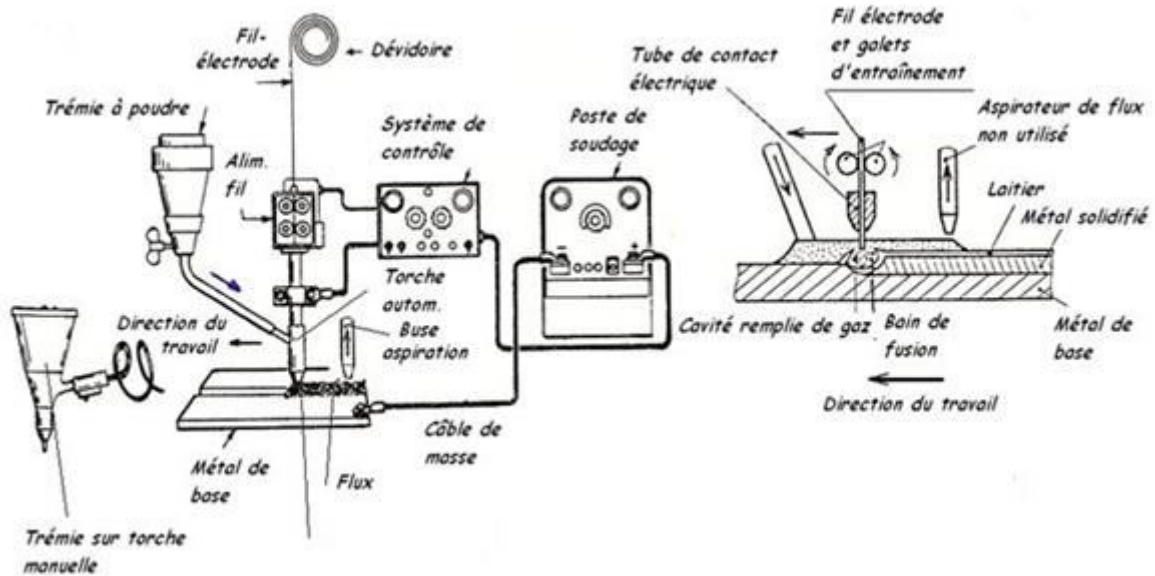


Figure 66 : Principe du soudage sous flux

3. Paramètres de soudage à l'arc submergé

La géométrie du cordon peut évoluer sous l'influence des principaux facteurs ci-après:

- Intensité de soudage (I_s);
- Tension de soudage (U_s);
- Vitesse de soudage (V_s);
- Nature du courant et polarité;
- Diamètre du fil électrode (\varnothing);
- Position du fil et inclinaison par rapport à la surface de la tôle.

4. Caractéristiques d'arc

Les diamètres des fils utilisables en procédé arc submergé s'étend de 1, 2mm à 5, 6mm. Pour cette raison, ce procédé peut être employé avec deux modes de régulation de l'arc électrique : CC ou CV.

Mode Tension Constante (CV) (figure 67)

Ce mode s'adapte parfaitement aux électrodes de petits diamètres (<3,2mm). Il offre une stabilité d'arc excellente et une bonne réactivité du système car il maintient une vitesse de dévidage de fil constante en régulant l'intensité dans le but de maintenir la tension au point de fonctionnement. Ce mode garantit un taux de dépôt constant.

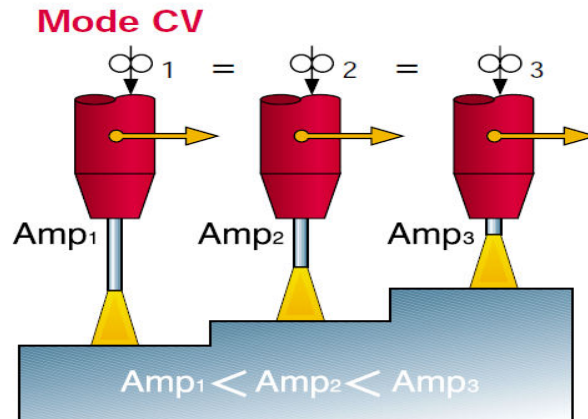


Figure 67 : Mode CV

Mode Courant Constant (CC) (figure 68) :

Ce mode est utilisé habituellement avec des électrodes de gros diamètres (> 3,2 mm). Il régule la vitesse de dévidage de fil dans le but de maintenir la tension et l'intensité au point de fonctionnement. Ce mode garantit une pénétration constante.

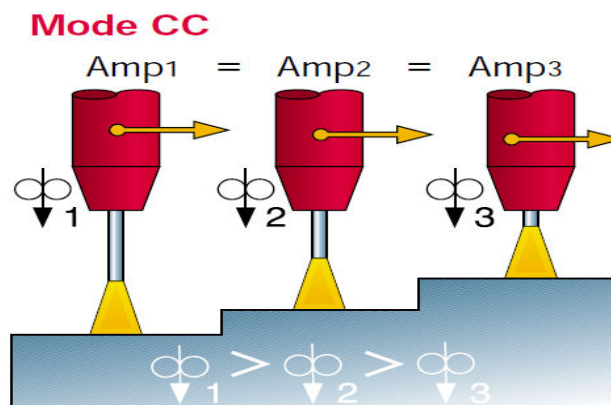


Figure 68 : Mode CC

5. Domaines d'application

Essentiellement utilisé en automatique, le procédé SAW est employé pour des pièces ayant des épaisseurs allant de 2 mm jusqu'à 200/300 mm et apporte, à la fois en usine et sur chantier, une grande vitesse de soudage et des taux de dépôt élevés. On rencontre ce procédé, avec un ou plusieurs fils dans beaucoup d'industries :

- Charpente métallique ;
- Chantier naval ;
- Chaudronnerie (appareils sous pression) ;
- Industrie légère et lourde (aciers non alliés) ;

- Appareils à pression (aciers faiblement alliés) ;
- Tuyauteries industrielle ;
- Rechargement cylindres de laminoirs ;
- Industrie pétrochimique (aciers inoxydables/base nickel).

6. Matériaux utilisés

- Aciers au carbone ;
- Aciers inoxydables ;
- Alliages à base de nickel.

7. Flux et leur rôle

Acides ou basiques, ils sont obtenus par fusion au four électrique, puis broyés, ou encore par agglomération de poudres. Ils contiennent des éléments désoxydants (silicium, manganèse, aluminium). Leurs rôles s'apparentent à ceux des enrobages des électrodes déjà examinés en soudage manuel à l'arc.

Les éléments d'alliage à apporter au métal fondu sont incorporés dans le fil, mais peuvent être également apportés par le flux.

Une granulation fine permet un meilleur aspect du cordon de soudure, ainsi qu'un soutien efficace du métal fondu en angle positionné.

Une granulation à gros grains facilite le dégazage du bain et éloigne le risque de porosité du métal fondu.

8. Générateur courant de soudage

Il débite un courant de soudage sous faible tension : $U_e = 50 \text{ à } 75 \text{ v}$; $U_s = 25 \text{ à } 40 \text{ v}$. A 1200A le courant continu est utilisé. Le fil électrode est relié au pôle (+). Au-delà de 1200A, le courant alternatif est préféré au courant continu qui engendrerait des champs magnétiques pouvant gêner l'exécution des soudures (soufflages de l'arc).

9. Avantages

- Une pénétration importante due à une énergie de soudage très élevée (soudage de 2 tôles bout à bout et 20mm sans chanfrein, en 2 faces recto-verso) ;
- Une très grande vitesse de soudage supérieur à 2 m/min ;
- Un dépôt de cordon de soudure de très bel aspect ne nécessitant aucun usinage et de très bonnes caractéristiques du joint soudé (physique, mécanique) ;

- L'arc invisible ;
- Le soudeur travaille sans masque de protection et sans gêner l'entourage ;
- Le prix de revient du mètre de soudure est bas au regard de quelques autres procédés de soudure.

10. Inconvénients

- En raison de l'importance du bain de fusion et du risque de fissuration à chaud, il faut respecter certaines règles : le rapport largeur par profondeur du bain ($L/P < 1,5$ ou $P/L > 0,7$)
- Le procédé sous flux ne s'applique pratiquement qu'aux soudures en position horizontale sauf un dispositif particulier, sur des aciers exclusivement. Le coût des équipements est assez élevé, d'où la nécessité des travaux en série pour assurer l'amortissement des équipements de soudage.

Conclusion

Le procédé SAW est le plus souvent automatisé, mais on trouve également des systèmes semi-automatiques sur le marché. Le courant électrique peut être alternatif ou continu. L'électrode peut être simple ou composée de multiples fils pleins ou tubulaires, ou encore de bandes. Le soudage ne peut se faire qu'à plat, puisqu'il faut utiliser un flux granulé et que le bain de fusion est fluide. Le procédé de soudage à l'arc submergé permet d'obtenir un taux de dépôt élevé et de souder des pièces très épaisses et très minces.

IX. SOUDAGE ULTRASON

Introduction

Avec le développement des techniques de production industrielle, notamment dans le domaine des plastiques, les techniques d'assemblage et de soudure se sont développées avec des résultats satisfaisants et esthétiques.

Parmi les techniques qui ont montré une grande efficacité dans le soudage de formes complexes et petites en plastique et polymère, même une certaine nuance des métaux non ferreux avec des caractéristiques spéciales le soudage par ultrason.

1. Histoire du soudage ultrason

L'application pratique du soudage par ultrasons pour les plastiques rigides a été achevée dans les années 1960. À ce point, seuls les plastiques durs pourraient être soudés. Le brevet de la méthode par ultrasons pour le soudage de pièces thermoplastiques rigides a été attribué à Robert Soloff et Seymour Linsley en 1965.

Soloff était un directeur de laboratoire chez Branson Instruments où de minces films en plastiques étaient soudés dans des sacs et des tubes à l'aide d'ultrasons. Il a involontairement déplacé la sonde près d'un distributeur de ruban en plastique et les moitiés du distributeur ont été soudées ensemble. Il s'est rendu compte que la sonde n'avait pas besoin d'être déplacée manuellement autour de la pièce, mais que l'énergie ultrasonique pouvait circuler à travers et autour des plastiques rigides et souder un joint entier. Il a ensuite développé la première presse à ultrasons.

La première application de cette nouvelle technologie était dans l'industrie du jouet.

La première voiture faite entièrement en plastique a été assemblée en utilisant la soudure ultrasonique en 1969.

L'industrie automobile l'utilise régulièrement depuis les années 1980 pour une multitude d'applications.

2. Définition

- Le soudage par ultrasons est une technique d'assemblage industrielle rapide et économique pour les matériaux thermo fusibles. Il consiste à assembler des éléments en matière synthétique à l'aide de vibrations acoustiques ultrasonores à haute fréquence. Ces dernières sont appliquées localement sur des pièces maintenues ensemble sous pression. Une fente locale des éléments synthétiques fait apparaître un assemblage permanent, invisible et de qualité supérieure.
- La soudure est à l'état solide car la température atteinte est comprise entre 30 à 50 % de la température de fusion.
- Cette technique est rapide, extrêmement précise, applicable sur des formes complexes et ne requiert aucun adjuvant.
- Les machines de soudage ultrasonique existent sous plusieurs formes (manuelle, semi-automatique, automatique) pour le pointage, le soudage continu, et le soudage des métaux spécifiques ... etc.

Les figures 69 et 70 illustrent quelques types de machines à souder par ultrasons.



Figure 69 : Presse soudeuse



Figure 70 : Soudeuse ultrason pour métaux

3. Principe de soudage ultrason

Cette technologie repose sur le principe piézoélectrique, qui consiste à transformer un signal électrique en une vibration mécanique. Pour cela, 4 éléments sont nécessaires :

- Un générateur ultrason pour piloter et fournir son énergie à la tête ultrasonore ;
- Une unité mécanique composée d'un convertisseur, d'un booster et d'une Sonotrode, pour réaliser les opérations de coupe ou soudage ultrason

Ce principe est illustré dans la figure 71.

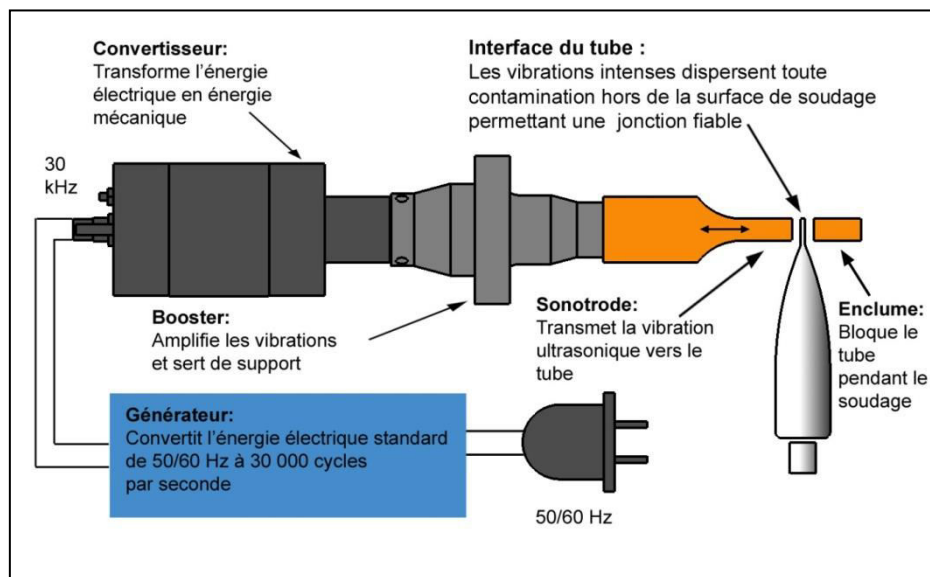


Figure 71 : Principe de soudage ultrasons

- Le générateur ultrason transforme l'énergie (100-250 Volts, 50-60 Hz) en un signal électrique 20 à 30 kHz, 800-1000 Volts.
- Ce signal est appliqué à des céramiques piézoélectriques (à l'intérieur du convertisseur) qui vont transformer le signal en vibrations mécaniques haute fréquence.
- Le booster est utilisé comme un amplificateur.
- La sonotrode est la partie active de l'ensemble qui porte l'amplitude à son maximum. Elle est en contact avec le produit et agit comme un marteau contre une enclume (contre-outil).
- Les vibrations générées engendrent sur la surface de contact de ces deux pièces une chaleur importante, ce qui crée le phénomène de soudure par thermo-fusion.
- La sonotrode et le contre outil peuvent être adaptés en fonction des opérations à réaliser.

4. Théorie de soudage ultrasonique

- L'effet ultrasonore est une onde ultrasonore stationnaire maintenue dans un outil avec deux effets concomitants utilisés pour souder des matériaux ;
- Un effet mécanique (marteau-piqueur) ;
- Un effet thermique (outil chaud) ;
- Pour souder, il faut une énergie E. Elle est calculée ainsi : $E = P \times A \times T$

Avec:

P = pression appliquée aux matériaux

A = amplitude ultrasonore

T = temps

5. Type de soudage par ultrasons

On peut citer deux types de soudage par ultrasons :

Soudage des plastiques et soudage des métaux

5.1. Soudage par ultrasons de plastiques

5.1.1. Assemblages possibles

- Soudage linéaire par ultrasons ;
- Soudage torsionnel par ultrasons ;
- Assemblage par déformation ;
- Soudage par points ;
- Rivetage ;
- Insertion.

La figure 72 illustre des assemblages possibles de soudure plastique par ultrasons.

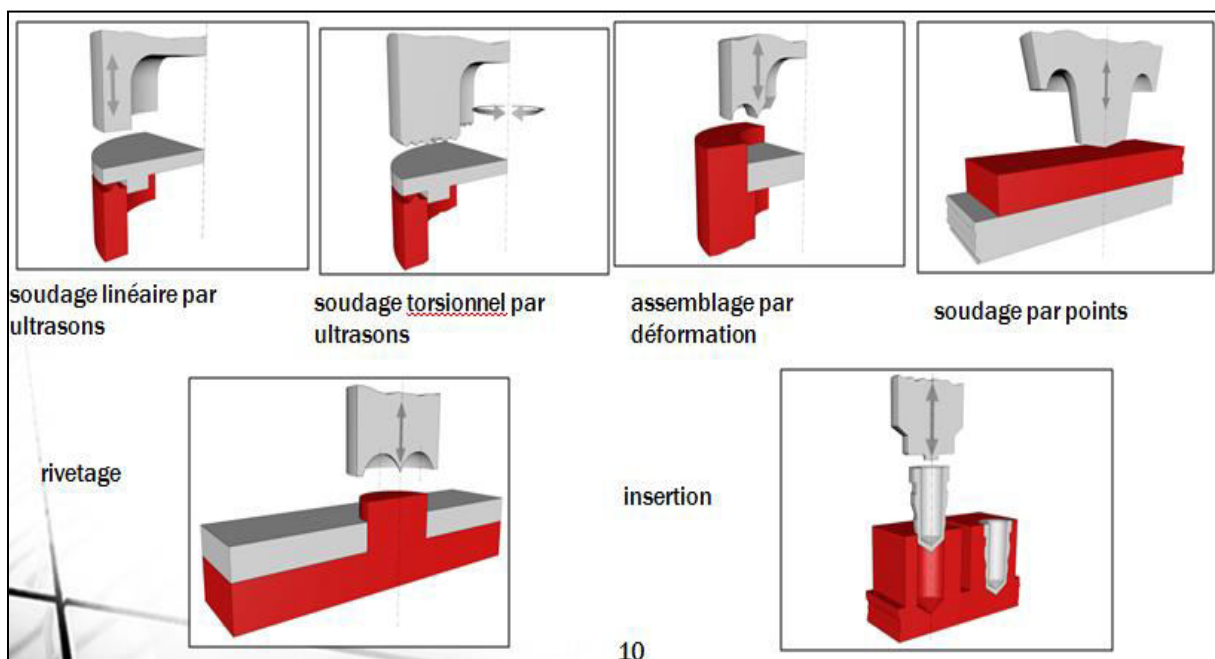


Figure 72 : Assemblages possibles de soudure plastique par ultrasons

5.1.2. Tableau de soudabilité des matières thermoplastiques

La figure 73 présente un abaque de soudabilité des matières thermoplastiques.

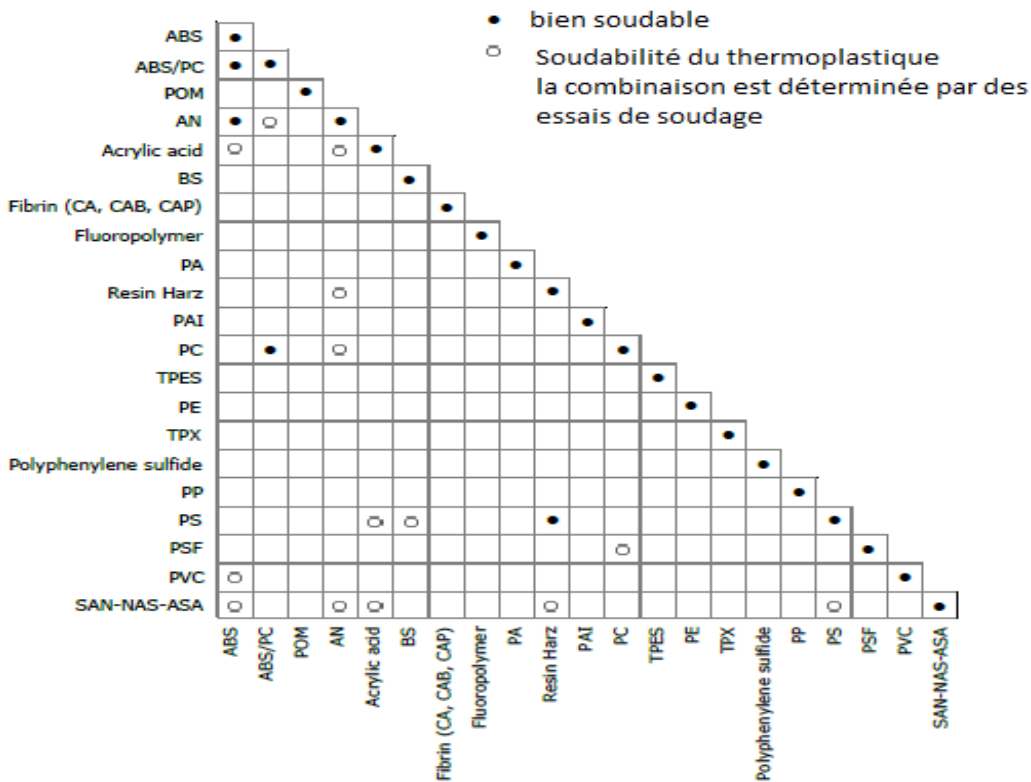


Figure 73 : Abaque de soudabilité des matières thermoplastiques

5.2. Soudage métallique par ultrasons

- Le soudage métallique par ultrasons est une sorte de soudage par friction lors duquel l'oxyde et d'autres salissures sont brisées sur la surface ;
- Les pièces à souder sont assemblées sous une pression uniforme. Une liaison moléculaire apparaît ; elle est précise, très résistante et extrêmement fiable.

Il est utilisable pour des lames en :

- Métaux non ferreux : cuivre, aluminium, argent, etc.
- Alliages métalliques non ferreux.

5.2.1. Assemblages possibles

- Soudure torsionnelle
- Power Wheel
- Soudage longitudinal Soudure torsionnelle - Soniqtwist

6. Applications

- Les applications du soudage par ultrasons sont étendues et se retrouvent dans de nombreuses industries, notamment l'électricité et l'informatique, l'automobile et l'aérospatiale, le médical et l'emballage ;
- Si deux objets peuvent être soudés par ultrasons est déterminé par leur épaisseur. Si elles sont trop épaisses, ce processus ne les rejoindra pas. C'est le principal obstacle à la soudure des métaux ;
- Cependant les fils, les connexions à microcircuit, la tôle, les feuilles, les rubans et les mailles sont souvent assemblés par soudage ultrasons ;
- Le soudage par ultrasons est une technique très populaire pour le collage de thermoplastiques ;
- Il est rapide et facile à automatiser avec des temps de soudage souvent inférieurs à une seconde et il n'y a pas de système de ventilation nécessaire pour évacuer la chaleur ou les gaz d'échappement ;
- Ce type de soudage est souvent utilisé pour construire des assemblages trop petits, trop complexes ou trop délicats pour des techniques de soudage plus courantes.

7. Avantages du soudage par ultrasons

- Aucune modification de la structure cristalline des matériaux ;
- Assemblage de métaux différents ;
- Assemblage de pièces d'épaisseurs différentes (exp 1/10 sur 40 mm) ;
- Aucun métal d'apport ;
- Suppression des opérations de nettoyage avant et après soudage ;
- Rapide et facile à automatiser.

8. Inconvénients

- Pour les plastiques, seulement certains assemblages spéciaux peuvent être soudés ;
- Pour les métaux on peut souder seulement les métaux non ferreux (cuivre, aluminium, argent, etc.) et les alliages métalliques non ferreux ;
- Inutilisables pour les métaux d'épaisseur > 2 mm ;

Cette technologie s'est propagée au point d'entrée dans la plupart des domaines industrielles en raison de ses propriétés. L'une des caractéristiques les plus importantes est la soudure à froid sans modification de la structure cristalline des matériaux.

X. SOUDAGE PAR IMPULSION MAGNETIQUE

Introduction

La Technologie par Impulsion Magnétique (TIM) est un procédé innovant pour mettre en mouvement des pièces à haute vitesse permettant de faire de la déformation et de l'assemblage. Ce procédé actuellement en plein développement est basé sur l'utilisation de forces électromagnétiques. Il est destiné à assembler, souder, former et découper des pièces métalliques. Il s'agit d'un procédé automatique qui peut être utilisé, par exemple, pour l'assemblage de produits plats ou tubulaires dans une configuration à recouvrement.

1. Principe

La figure 76 schématise le principe de base. Une bobine est placée au-dessus des pièces à souder mais sans être en contact avec celles-ci. Durant le cycle de soudage, une très grande quantité d'énergie électrique est libérée en un laps de temps très court.

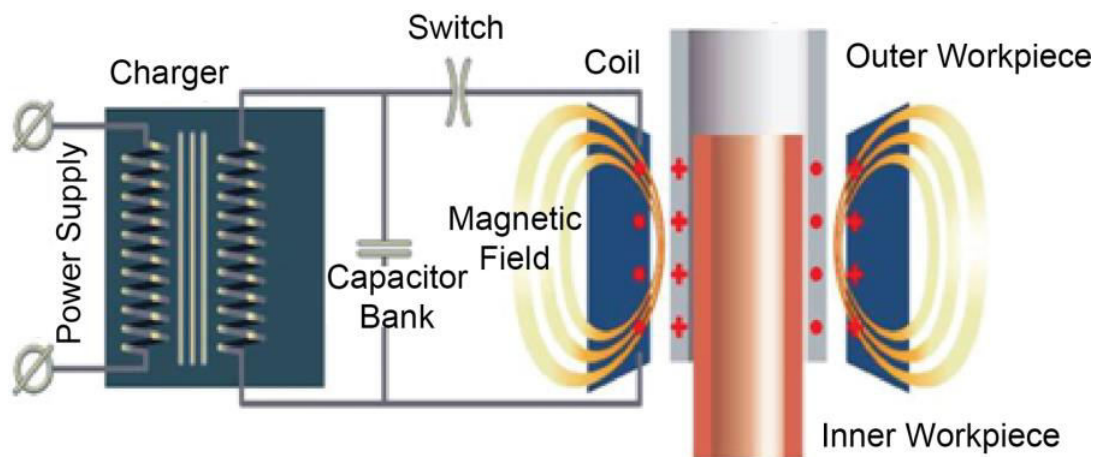


Figure 76 : Principe de Soudage par Impulsion Magnétique

Le flux élevé d'énergie traverse la bobine et cette décharge de courant induit des courants de Foucault dans la pièce externe. Ces deux courants créent un champ magnétique. La répulsion entre les deux champs magnétiques développe une force qui donne une très grande accélération à la pièce externe en direction de la pièce interne. Une telle force pousse les atomes des matériaux les uns contre les autres de telle sorte qu'on obtient un assemblage métallique.

- Le procédé de soudage par impulsion magnétique est un procédé de soudage "froid". Les matériaux n'atteignent pas plus de 30 °C. Il n'y a pas de zone affectée thermiquement et le

matériau ne perd pas ses propriétés. Ceci signifie qu'après soudage, les pièces peuvent être immédiatement débloquées et mises en œuvre ;

- Le procédé de soudage par impulsion magnétique est un procédé de soudage "solide state" ce qui signifie que le métal n'est pas mis en fusion durant le cycle de soudage ;
- Le procédé utilise la pression et non la chaleur de sorte que tous les problèmes conventionnels de soudage dus au cycle de chaleur et à la perte des propriétés du matériau sont évités.

2. Techniques

2.1. Soudage

Certains couples de matériaux ont la réputation de ne pas pouvoir se souder entre eux. Le soudage par impulsion magnétique peut le faire. Une grande quantité d'énergie est libérée pendant une impulsion très brève. Cela peut aller jusqu'à 110 kJ en 10 μ s. A l'impact des pièces, il se produit une fusion localisée à l'interface sur quelques dizaines de microns. Cette soudure est quasi froide, c'est-à-dire qu'après l'assemblage, nous pouvons prendre la pièce à main nue. C'est parce qu'il n'y a pas d'échauffement de pièce dans la masse qu'on a la possibilité de souder des couples de matériaux qui sont réputés impossibles. Lors de la soudure, la vitesse de l'impact va jusqu'à 1000 km/h. Pour obtenir une soudure, il faut au départ une distance d'environ 1 ou 2 millimètres entre les deux pièces pour permettre à la pièce mobile d'accélérer avant d'entrer en collision. Lorsque l'on regarde la soudure au microscope, on observe des vagues à l'interface des deux pièces. Cette géométrie participe à la bonne tenue mécanique de la soudure illustrée par la figure 77.

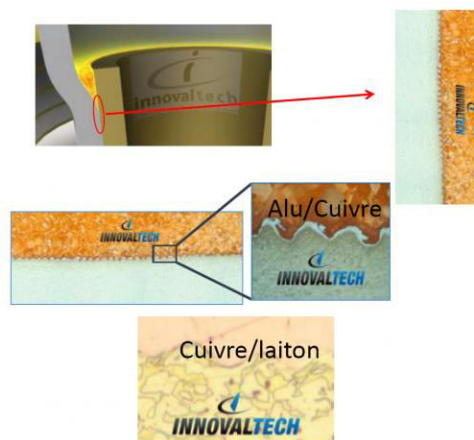


Figure 77 : Géométrie microscopique de la soudure par Impulsion Magnétique

La figure 78 illustre les étapes de formation de la soudure résultant de la collision de métaux.

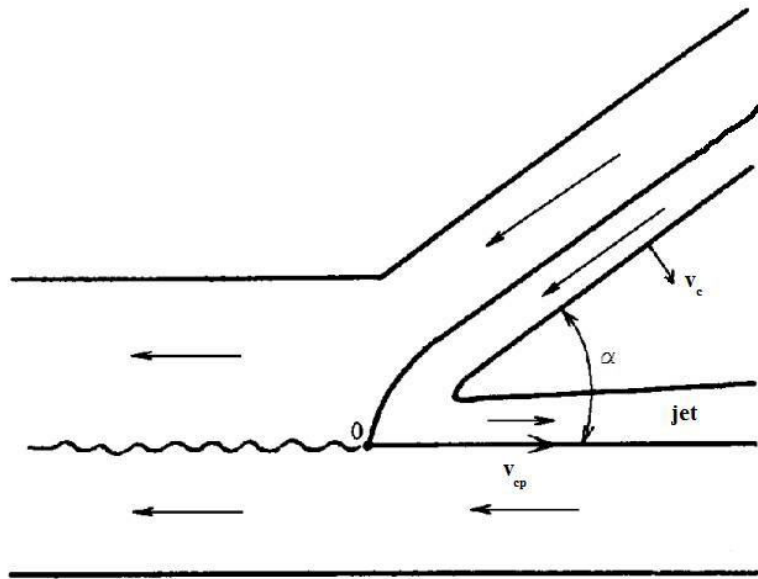


Figure 78 : Etapes de formation de la soudure résultant de la collision de métaux

2.1.1. Impact

Comme indiqué ci-dessus, la différence dans le champ magnétique autour du tube de flyer se traduira par une force avec comme direction intérieure. Cette force va accélérer le tube du dépliant vers la pièce à usiner intérieure. Pendant ce temps phase, le processus est donc comparable au processus de soudage par explosion (EXW). Dans les deux processus,

La liaison est créée par l'impact à grande vitesse de deux surfaces. Cet impact énergétique élevé est capable de surmonter les forces répulsives entre les atomes des deux matériaux et de diminuer la distance entre les surfaces à une valeur suffisamment petite pour que les électrons puissent être partagés entre les deux matériaux. Ce processus crée le lien.

Les graisses, les films d'oxyde et autres contaminants de surface pourraient fournir un film protecteur sur les surfaces ce qui contrecarre les tentatives de rapprochement des surfaces. Il est supposé que pas de nettoyage des pièces à usiner sont nécessaires avant le soudage. Cela peut contribué au fait qu'un jet soit formé lors de l'impact des matériaux. Bien que le processus semble être instantané, il est en fait une action progressive très rapide. Les surfaces sont effondrées les unes contre les autres avec une rapidité élevée. Cela participera à la projection de surface si l'angle de collision et la vitesse de collision sont en la plage de la fenêtre de soudabilité. Souvent, il est prescrit que l'angle de collision doit être entre 6-14 °.

La vitesse de collision dépend plus des matériaux à souder. Ce jet va maintenant enlever les contaminants de la surface.

2.1.2. Soudage de forme tubulaire

La Technologie par Impulsion Magnétique s'applique très bien à la soudure de pièces de formes tubulaires par recouvrement. Le tube en alliage d'aluminium est soudé par impulsion magnétique sur le tube en cuivre comme illustrée par la figure 79.



Figure 79 : Soudage par TIM d'un tube en alliage d'aluminium sur un tube en cuivre

2.1.3. Soudage à plat

Des soudages à plat peuvent également être réalisés. Deux plaques de matières différentes sont superposées localement l'une au-dessus de l'autre et une impulsion magnétique est envoyée dans la zone de recouvrement. Une des plaques est accélérée pour impacter l'autre afin d'obtenir la soudure. La figure 80 illustre des tôles de différents matériaux soudées par impulsion magnétique.

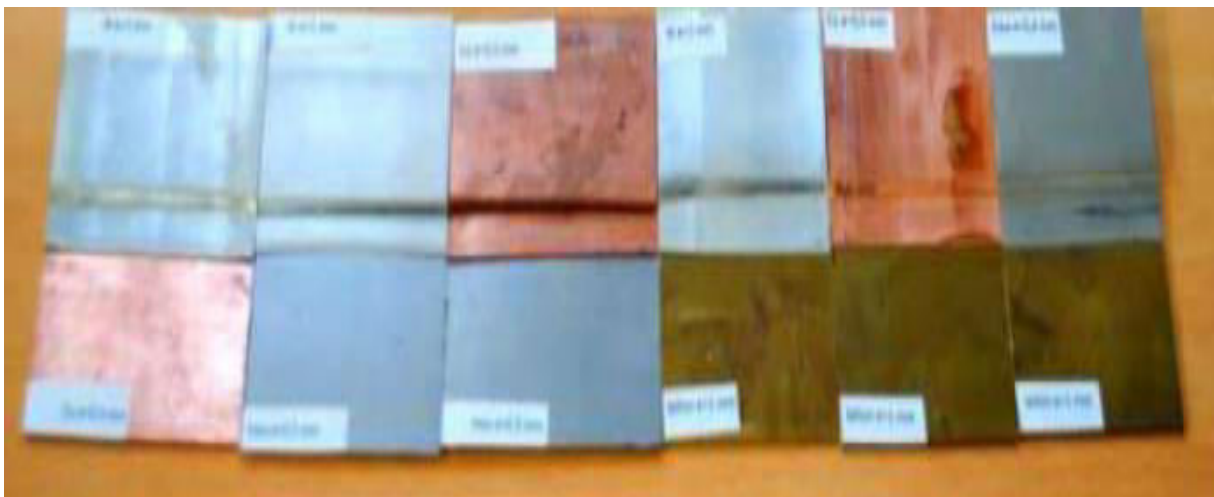


Figure 80 : Tôles de différents matériaux soudées par impulsion magnétique

3. Avantages de la soudure par TIM

- Dans le cas d'une exécution correcte, la soudure est plus résistante que le métal de base le plus faible: lors d'un essai, la rupture se fait toujours en dehors de la zone de la soudure ;
- Les gaz de protection, métaux d'apport ou autres accessoires sont inutiles ;
- Le soudage par impulsion magnétique permet une conception meilleure et plus simple des pièces à souder ;
- Le procédé de soudage par impulsion magnétique est un procédé de soudage "froid". Les matériaux n'atteignent pas plus de 30°C. Il n'y a donc pas de zone affectée thermiquement et le matériau ne perd pas ses propriétés. Ceci signifie qu'après soudage, les pièces peuvent être immédiatement débloquées et mises en œuvre ;
- Vitesse de production élevée, parfois 10 pièces à la minute ;
- Procédé de soudage écologique étant donné qu'on ne produit pas de chaleur, rayonnement, gaz ou fumées.

4. Exemples et domaines d'utilisation

Le soudage peut s'utiliser comme technique d'assemblage dans tous les domaines (armement, automobile, joaillerie, etc....).

La figure 81 présente un domaine d'utilisation de la technique de soudage.



Figure 81 : Exemple d'utilisation le technique de soudage.

5. Limites du processus

Le soudage par impulsions magnétiques impose certaines limitations concernant les pièces à souder.

- Puisque le processus repose sur la formation de courants de Foucault dans le matériau de flyer, seuls les matériaux avec une conductivité élevée peuvent être utilisés pour la pièce extérieure ;
- La géométrie des pièces à souder est limitée aux tubes et aux feuilles. Aucune autre forme n'a encore été soudée. De plus, certaines parties de la pièce sont plus difficiles à souder que d'autres (coins par exemple) ;
- La taille des pièces est limitée de 5 à 121 mm. Dans la littérature ouverte, il est rapporté que le plus grand diamètre de tubes qui a été soudé jusqu'à maintenant est de 121 mm. La taille maximale est également limitée par le coût de la machine, qui augmente considérablement avec l'augmentation de la taille des pièces ;
- Les pièces doivent se chevaucher pour générer le joint et ainsi aucune surface plane ne peut être produite ;
- En raison de la taille de la machine à souder, les soudures ne peuvent être effectuées que dans un atelier.

Une fois qu'elle a été développée pour être une solution de soudage innovatrice et exceptionnelle, le soudage par impulsion magnétique a beaucoup attiré l'attention des industries automobiles grâce à ses solutions pour des assemblages complexes au début des années 2000. Bien que cette technique ait été mise en œuvre par certains fabricants géants pour diverses tâches d'assemblage, le processus n'a pas encore été bien adopté par les industries. Ce travail met clairement en évidence le processus, ses applications et son principe de fonctionnement.

Conclusion

Le principe de fonctionnement est semblable à celui du soudage par explosion mais l'accélération est générée par des forces électromagnétiques transmises par une bobine ou outillage.

XI. SOUDAGE PAR EXPLOSION

Ces procédés sont innovants et de plus en plus plébiscités par les industriels. En effet, ces techniques peuvent assembler des multi-matériaux tout en gardant une excellente caractéristique mécanique et/ou électrique et répétition.

De plus lors des essais effectués, le retour élastique est inférieur à celui constaté avec d'autres procédés de mise en forme.

La TIM est aussi une technologie verte car il n'y a pas de lubrification, pas de gaz, pas de nettoyage à effectuer après chaque opération, etc.... Il y a juste de l'électricité. Bien sûr, les industriels doivent prendre des précautions car la technologie utilise du courant à haute intensité.

Introduction

Le soudage est un processus de fabrication qui relie les métaux. Ceci est souvent fait en faisant fondre les pièces de travail et l'ajout d'un matériau de remplissage pour former une piscine de matériau fondu (la soudure flaque) qui se refroidit pour devenir une articulation forte, avec une pression pour produire la soudure. Par contre il y a aussi un soudage à l'état solide qui ne dépend pas de la température de point de fusion, parmi lesquels le soudage explosif.

1. Généralités

1.1. Définition

Le soudage par explosion (EXW) est un procédé à l'état solide (en phase solide) où le soudage est réalisé en accélérant l'un des composants à une vitesse extrêmement élevée grâce à l'utilisation d'explosifs chimiques. Ce procédé est le plus couramment utilisé pour plaquer une plaque d'acier au carbone avec une fine couche de matériau résistant à la corrosion (par exemple, acier inoxydable, alliage de nickel, titane ou zirconium). En raison de la nature de ce processus, les géométries productibles sont très limitées. Les géométries typiques produites comprennent les plaques, les tubes et les plaques tubulaires.

1.2. Historique et développement

Contrairement à d'autres formes de soudage telles que le soudage à l'arc (qui a été développé à la fin du 19ème siècle), le soudage par explosion a été développé relativement récemment, dans les décennies après la seconde guerre mondiale. Ses origines, cependant, remontent à la

Première Guerre mondiale, quand il a été observé que des éclats d'obus collés à un blindage non seulement s'enfonçaient, mais étaient en fait soudés au métal. Étant donné que la chaleur extrême associée à d'autres formes de soudage n'a pas joué de rôle, il a été conclu que le phénomène était dû aux forces explosives agissant sur les éclats d'obus. Ces résultats ont ensuite été reproduits dans des tests de laboratoire et, peu de temps après, le procédé a été breveté et mis en service.

En 1962, DuPont a demandé un brevet sur le procédé de soudage par explosion, qui a été accordé le 23 juin 1964 sous brevet américain et a conduit à l'utilisation de la marque Detaclad pour décrire le procédé. Le 22 juillet 1996, Dynamics Matériaux Corporation a conclu l'acquisition des activités Detaclad de DuPont.

La réponse des plaques inhomogènes subissant une soudure explosive a été modélisée analytiquement en 2011.

2. Principe

2.1. Préparation

La première étape de l'opération de gaine est la préparation des deux surfaces à coller ensemble. Ces surfaces sont rectifiées ou polies pour obtenir une finition de surface uniforme avec une rugosité Ra de 3 μm (140 RMS) ou moins, selon la combinaison et l'épaisseur des métaux.

2.2. Assemblage

La plaque de revêtement est positionnée parallèlement et au-dessus de la plaque de base, à une distance de sécurité qui a été prédéterminée pour la combinaison de métaux spécifiques qui est liée. Cette distance est sélectionnée pour assurer que la plaque de revêtement entre en collision avec la plaque de base après l'accélération à une vitesse de collision spécifique. La distance de séparation varie typiquement de 0,5 à 4 fois l'épaisseur de la feuille de la gaine, en fonction du choix des paramètres d'impact. La tolérance limitée dans la vitesse de collision entraîne un contrôle de tolérance similaire de la distance de sécurité. La distance de sécurité est contrôlée par des entretoises de support sur les bords de la plaque et à l'intérieur si nécessaire. Les dispositifs d'espacement internes sont conçus pour être consommés par le jet. Un cadre de confinement explosif est placé autour des bords de la plaque métallique de revêtement. La hauteur du cadre est définie pour contenir une quantité spécifique d'explosif fournissant un dégagement d'énergie spécifique par unité de surface.

2.3. Fonctionnement de liaison

La composition explosive et le type sont choisis pour produire une libération d'énergie spécifique et un taux de détonation spécifique (la vitesse à laquelle le front de détonation se déplace à travers la couche explosive). Le taux de détonation doit être subsonique aux vitesses acoustiques des métaux. L'explosif, généralement granulaire, est uniformément réparti sur la surface de la plaque de parement remplissant le cadre de confinement. Il est allumé en un point prédéterminé sur la surface de la plaque à l'aide d'un accélérateur d'explosifs à grande vitesse. La détonation se déplace à partir du point d'initiation et à travers la surface de la plaque à la vitesse de détonation spécifiée. L'expansion des gaz de la détonation explosive accélère la plaque de gainage à travers l'espace d'écartement, ce qui se traduit par une collision angulaire à la vitesse de collision spécifiée. L'impact résultant crée des pressions localisées très élevées au point de collision. Ces pressions s'éloignent du point de collision à la vitesse acoustique des métaux. Puisque la collision avance à une vitesse subsonique, des pressions sont créées sur les surfaces adjacentes qui s'approchent immédiatement, ce qui est suffisant pour écailler une mince couche de métal de chaque surface et l'éjecter dans un jet. Les contaminants de surface, les oxydes et les impuretés sont éliminés dans le jet. Au point de collision, les surfaces de métal propre nouvellement créées subissent des pressions élevées de plusieurs GPa. Bien qu'il y ait beaucoup de chaleur produite dans la détonation explosive, il n'y a pas de temps pour le transfert de chaleur aux métaux. Le résultat est une liaison métal-métal idéale sans fusion ni diffusion.

La figure 82 illustre les étapes d'une opération de soudage explosive.

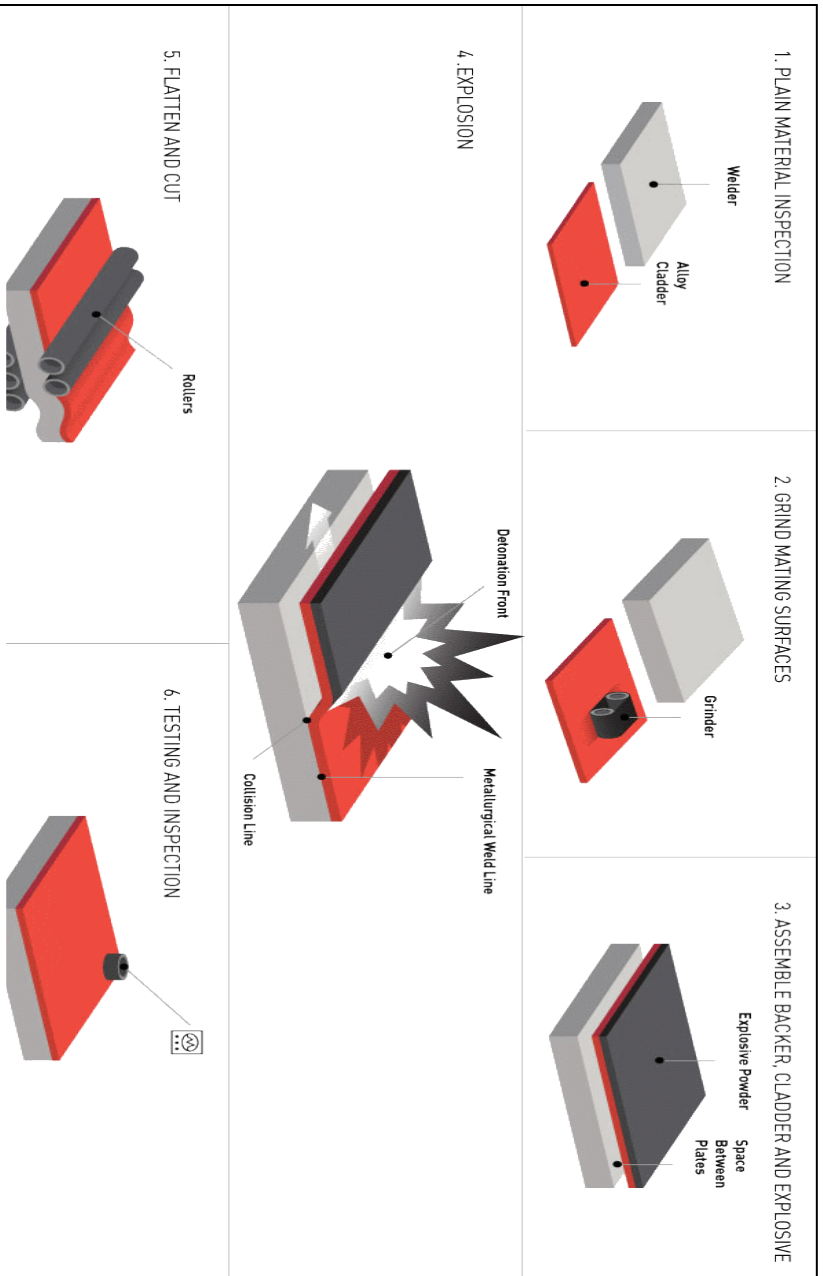


Figure 82 : Etapes d'une opération de soudage explosive

- 1- Inspection matérielle simple.
- 2- Meulage accouplement surfaçage.
- 3- Assembler Backer, vestimentaire et explosif.
- 4- Explosion.
- 5- Flottant et coupe.
- 6- Essai et inspection.

La figure 83 illustre le soudage par explosion.

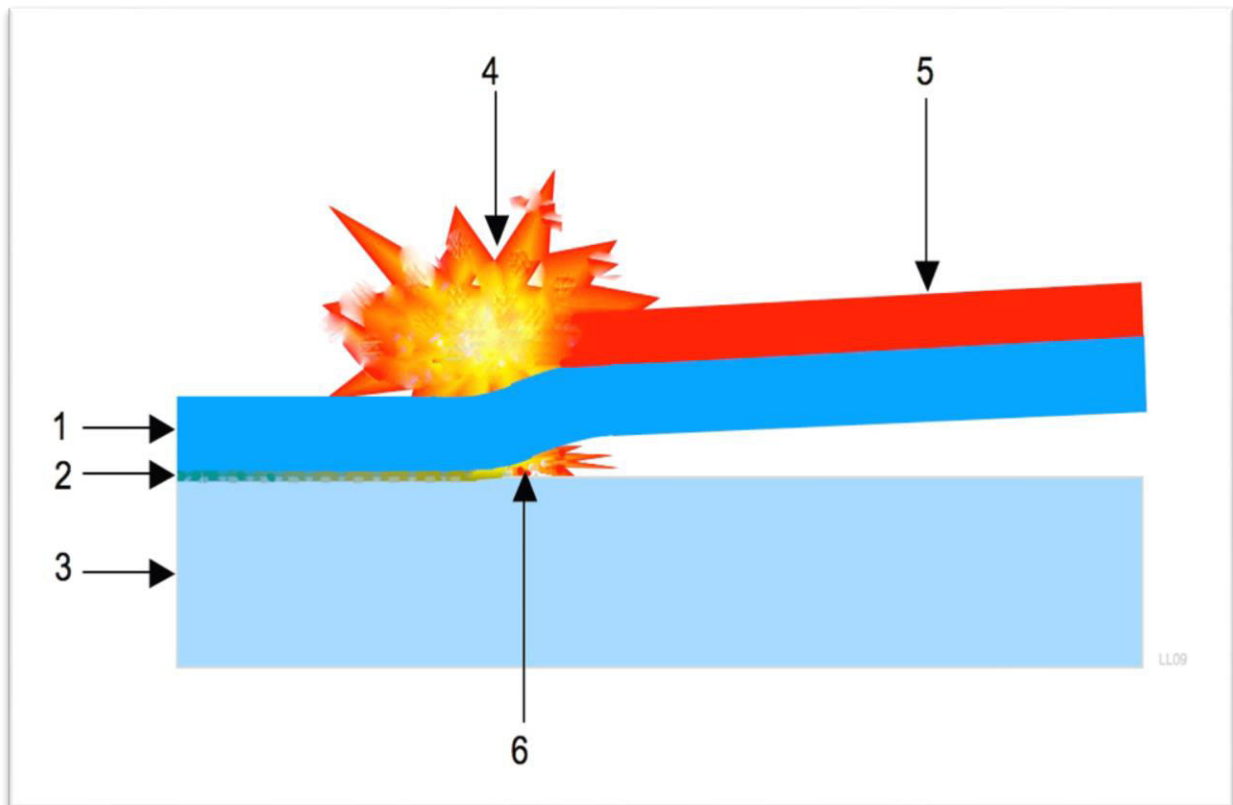


Figure 83 : Soudage par explosion

1-Métal d'apport.

2-Zone ressolidifiée (doit être minimisée pour le soudage de matériaux dissemblables).

3-Métal de base.

4-Explosions.

5-Poudre explosive.

6-jets de plasma

3. Applications

La soudure explosive est utilisée dans de nombreuses organisations et industries différentes (figure 84), parmi les applications importantes du procédé de soudage à l'explosif:

- Utilisée pour souder de grandes feuilles d'aluminium à l'acier inoxydable ;
- Employée pour souder le composant cylindrique comme le tuyau, le cylindre concentrique, le tube etc.
- Soudée la tôle revêtue d'acier dans un échangeur de chaleur ;

- Rejoindre des métaux dissemblables qui ne peuvent pas être soudés par d'autres procédés de soudage ;
- Pour joindre le ventilateur de refroidissement etc.

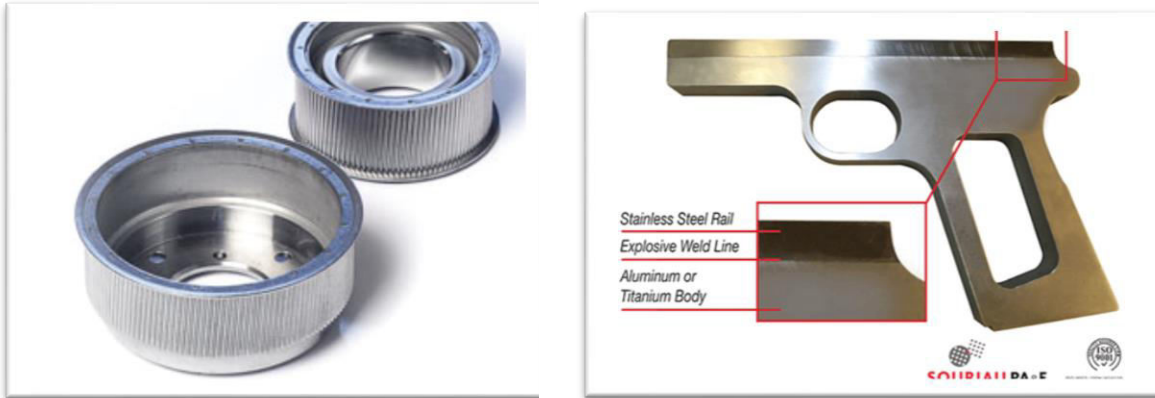


Figure 84 : Exemple d'utilisation du procédé de soudage à l'explosif

4. Avantages et inconvénients

4.1. Avantages

- Joindre à la fois des documents similaires et dissemblables ;
- Simple dans l'opération et la manipulation ;
- Grande surface pouvant être soudée en un seul passage ;
- Taux de liaison élevé du métal. Généralement le temps est utilisé dans la préparation de la soudure ;
- Non affectation des propriétés du matériau de soudage ;
- Processus à l'état solide n'impliquant aucun matériau de remplissage, flux.

4.2. Inconvénients

- Soudage seulement de métal ductile avec une ténacité élevée ;
- Création d'un grand bruit qui produit du bruit pollution ;
- Dépendance forte des paramètres du processus ;
- Précautions de sécurité plus élevées en raison d'explosifs ;
- Conceptions des joints limitées.

Conclusion

Le parement d'explosion est un procédé de soudage à l'état solide qui utilise des explosions de précision pour lier deux métaux dissemblables tout en conservant les propriétés mécaniques,

électriques et de corrosion des deux. Cependant, le soudage par explosion peut rejoindre un large éventail de métaux compatibles et non compatibles avec plus de 260 combinaisons de métaux possibles.

La soudure d'explosion est réalisée en millisecondes, par conséquent, il n'y a pas de chauffage en masse (traitement thermique dans la masse d'un matériau qui affecte tout ce matériau et non uniquement sa zone superficielle) et les métaux ne subissent aucune dilution.

XII. SOUDAGE ALUMINOTHERMIQUE

Introduction

L'assemblage des rails de chemin de fer se fait généralement à travers un procédé de soudage par aluminothermie. Ce procédé consiste en la coulée de métal de jonction entre les deux extrémités de rails à assembler. La qualité de cet assemblage dépend étroitement des conditions de la réalisation qui sont généralement difficiles à respecter.

1. Définition

La soudure aluminothermique est un procédé totalement autonome pour réaliser des liaisons électriques de très haute qualité entre des matériaux tels que cuivre, alliages de cuivre ou acier.

Ce procédé consiste en une liaison moléculaire garantissant une fiabilité et une durabilité dans le temps inégalé permettant de conserver des propriétés électriques optimales. Le résultat obtenu est une liaison mécanique et électrique faite d'un alliage composé des différents métaux issus de la fusion

2. Principe

L'aluminothermie est un procédé pyro-métallurgique de production de métaux purs, mettant en jeu la réaction exothermique de divers oxydes métalliques par l'aluminium en poudre. Cette réaction se déroule à haute température (+/- 2800 °C) et ne nécessite aucune autre énergie. Elle peut donc s'appliquer facilement sur place et permet de souder ou réparer rapidement des pièces lourdes. L'une des utilisations la plus courante est le soudage des rails de chemin de fer, de tramways, à partir d'un mélange de poudre d'hématite, un oxyde de fer rouge (formule Fe_2O_3) et d'aluminium grâce à la réaction chimique suivante :

$$Fe_2O_3 + 2Al \rightarrow 2Fe + Al_2O_3$$

3. Soudage des rails

Le creuset est placé au-dessus d'un moule réfractaire, à base de sable siliceux, placé autour de la zone à souder. Un brûleur de préchauffage à la flamme chauffe l'intérieur du moule et les bords des rails. La réaction chimique du mélange placé dans le creuset est amorcée à l'aide d'une poudre d'allumage (Figure 85).



Figure 85 : Exemple de soudage des rails par aluminothermique

Dès que la réaction chimique est terminée dans le creuset, on ouvre le clapet et on laisse couler le métal dans le moule par gravité. La très haute température du métal d'apport liquide garantit l'obtention d'une bonne soudure. Le moule est cassé et un meulage donne au joint soudé le profil du rail (Figure 86).



Figure 86 : Moulage de l'opération de soudage des rails par aluminothermique

4. Etapes de soudure

Le réglage du rail est la phase la plus délicate. Elle implique de vérifier le bon alignement des rails, d'effectuer minutieusement le réglage du joint entre les rails et de s'assurer que le rail ne bouge pas pendant la mise en place du carcan et le réglage (figure 87). Le meulage est également très important car c'est une phase de finition. Cette dernière phase déterminera les conditions de confort pendant l'exploitation. Les soudures sont effectuées par des personnes qualifiées qui travaillent dans les règles de l'art. Une soudure bien faite est un gage de qualité pour l'ensemble de l'infrastructure voie ferrée, ainsi que pour la sécurité et le confort des utilisateurs.

Rappelons que les rails doivent supporter la masse d'une rame, avec une charge de 12 tonnes à l'essieu.

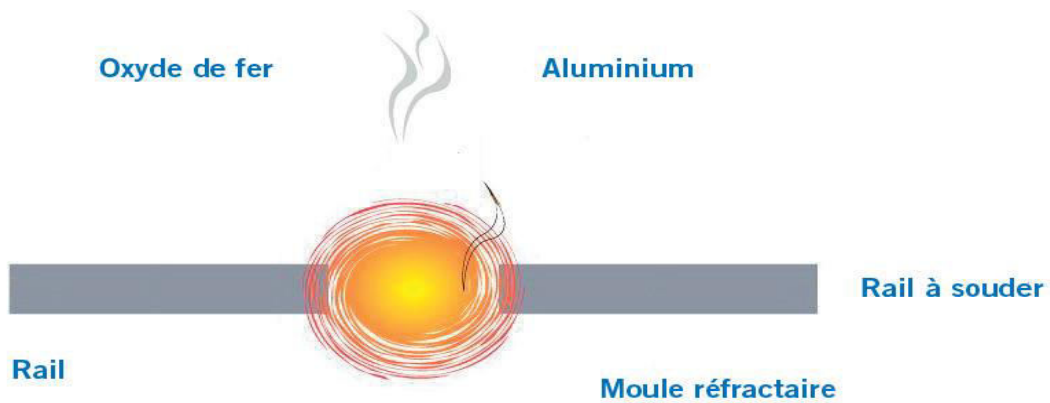


Figure 87 : Soudage aluminothermique

- 1- Le mélange, contenu sous forme de poudre dans un creuset résistant à des températures élevées, est mis à feu.
- 2- Quelques secondes après la réaction exothermique, un métal en fusion et de l'oxyde fluide d'aluminium (corindon) sont produits. Du fait de leur grande différence de densité, l'acier tombe au fond du creuset, tandis que le corindon reste en surface.
- 3- L'acier ainsi obtenu va couler automatiquement à une température d'environ 2000 °C dans le moule réfractaire qui enveloppe les bouts (extrémités) de rails, afin de les souder par fusion et apport de matière.
- 4- Ces bouts, préalablement chauffés, vont ainsi fondre et se trouver réunis par un métal de caractéristiques voisines de celles du rail.

5- Après quelques minutes nécessaires à la solidification du métal, on procède au démoulage puis on tranche à chaud le métal excédentaire.

6- La soudure est ensuite meulée afin d'assurer la continuité géométrique de rail et, ainsi, garantir un confort de roulement optimum. Cette dernière opération s'effectue 24 h après l'opération de soudure.

5. Contrôle qualité des soudures

Les soudures sont tout d'abord vérifiées par le soudeur lors du meulage avant un contrôle qui est le ressuage qui permet de détecter les défauts superficiels.

Par ailleurs il y a toujours la possibilité de demander un contrôle encore plus poussé, par radiographie. Contractuellement, les soudures sont garanties deux ans à partir de la réception. Si la soudure est bien faite, elle peut durer le temps de la vie du rail, entre 20 et 30 ans environ.

6. Avantages et inconvénients

- Une réduction des coûts d'entretien de la voie ;
- Une meilleure qualité de roulement et plus grand confort pour les voyageurs ;
- Une technicité plus grande de leur mise en œuvre et de leur entretien, nécessitant un personnel bien formé.

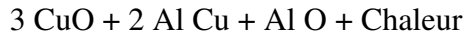
XIII. SOUDAGE DES CABLES EN CUIVRE (CADWELD)

Le soudage des câbles c'est un procédé qui permet de réaliser des liaisons électriques cuivre/cuivre, cuivre/acier, cuivre/alu, alu/alu sans apport extérieur d'énergie.

Le principe consiste à réunir dans un moule en graphite un métal d'apport et une poudre d'allumage. La composition du métal d'apport dépend de la nature des conducteurs à souder (oxyde de cuivre et aluminium pour une liaison Cu/Cu, Cu/acier ou acier/acier).

La réduction de l'oxyde de cuivre par l'aluminium produit, à très haute température, du cuivre fondu et un laitier d'oxyde d'aluminium. La forme de la chambre de soudure du moule, ses dimensions et le dosage du métal d'apport dépendent des éléments à souder et de leurs dimensions.

Le principe chimique de base est:



Ce qui peut être traduit par:

Oxyde de Cuivre + Alliages (Aluminium + Cuivre) + Oxyde d'aluminium + Chaleur

1. Principe de base

Le métal d'apport et la poudre d'allumage sont versés dans le creuset du moule. Ils sont retenus dans le creuset lors de la réaction exothermique au moyen d'un disque d'obturation.

Quand la réaction est complète, le métal en fusion est libéré et précipité dans la chambre de soudure à travers le trou de coulée (figure 88).

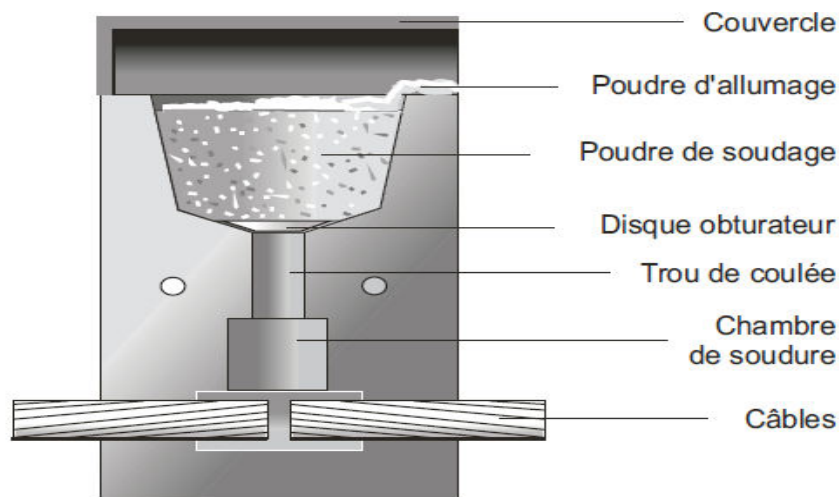


Figure 88 : Soudage des câbles en cuivre

2. Etapes de soudage

1. Nettoyer les extrémités des conducteurs et placer dans le moule (figure 89).

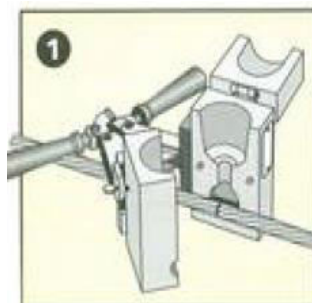


Figure 89 : Nettoyage des extrémités des conducteurs

2. A l'aide de la pince, fermer les parties du moule et verrouiller. Laisser glisser le disque métallique dans le creuset en s'assurant qu'il obstrue correctement le trou de coulée (figure90).

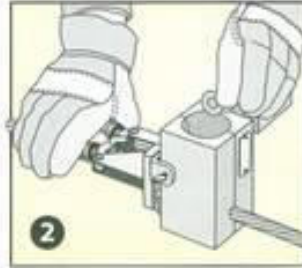


Figure 90 : Verrouillage des parties du moule

3. Verser le métal d'apport à l'intérieur du creuset. Refermer la dose et décompacter la poudre d'allumage en tapant sur le fond de la dose. Répartir cette poudre sur le métal d'apport(figure 91).

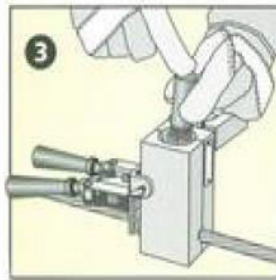


Figure 91 : Versage du métal d'apport à l'intérieur du creuset

4. Fermer le couvercle et allumer avec le pistolet d'allumage. Ouvrir le moule après environ 10s, lorsque le métal s'est solidifié (figure 92).

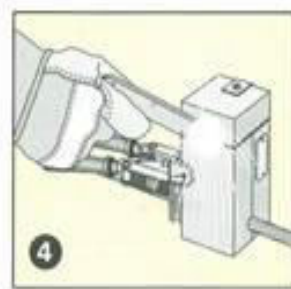


Figure 92 : Fermage du couvercle et allumage avec le pistolet

3. Avantages et inconvénients

- Capacité de passage du courant égale à celle du conducteur ;
- Liaison moléculaire permanente et insensible à la corrosion ;
- Fonctionne avec les doses de poudre de métal d'apport traditionnelles ;
- Fonctionne avec les doses de métal d'apport en capsules ;
- Résiste à des courants de défaut répétés ;
- Ne nécessite aucun apport d'énergie ;
- Connexions sur piquets ;
- Inspection visuelle de la soudure ;
- Simplicité d'utilisation.

Conclusion

La soudure aluminothermique fait partie des procédés spéciaux et innovant à cause de leur bonne soudure et de leur efficacité pour assembler les rails (donné au véhicule ferroviaire une bonne qualité du roulement qui garantit un meilleur confort pour les voyageurs) et les câbles formant une liaison massive autour des conducteurs assurant la continuité. La section transversale de la soudure a une capacité de transport du courant plus importante que les conducteurs.

5. Classification des défauts géométriques dans les soudures des matériaux Métalliques

L'inspection des soudures peut être effectuée pour un bon nombre de raisons. Le motif le plus important est sans doute pour déterminer si la qualité de la soudure convient à l'application prévue. L'identification et la caractérisation des défauts sont des opérations délicates dans le processus du contrôle de la qualité des soudures.

Elle se caractérise par l'identification des indications et l'application des critères d'acceptabilité définis par les documents de référence et qui aboutissent soit au rebut soit à l'acceptation du produit.

Dans la norme internationale **EN ISO 6520-1** de classification des défauts géométriques dans les soudures des matériaux métalliques, les défauts sont divisés dans les six groupes suivants :

- Fissures ;
- Cavités ;
- Inclusions solides ;

- Manque de fusion et de pénétration ;
- Défauts de forme ;
- Défauts divers n'appartenant à aucun des groupes cités ci-dessus.

1. Fissures

Fissuration à chaud : Qu'est-ce que la Fissure de solidification ?

La fissuration à chaud ou de solidification ne tarde pas à se manifester, elle apparaît lors du dernier stade de solidification avant que le métal ne soit complètement solidifié $T > 150\text{ C}^\circ$.

Où ? Toujours au plein centre du cordon de soudure (figure 93).



Figure 93 : Fissuration à chaud

Pourquoi ?

Composition chimique : La présence de cuivre, phosphore et le soufre dans la soudure favorise la fissuration à chaud.

Forme du cordon : Le cordon de forme concave plutôt que convexe favorise la formation de la fissure, il faut maintenir un rapport de largeur du cordon sur sa hauteur (figure 94).

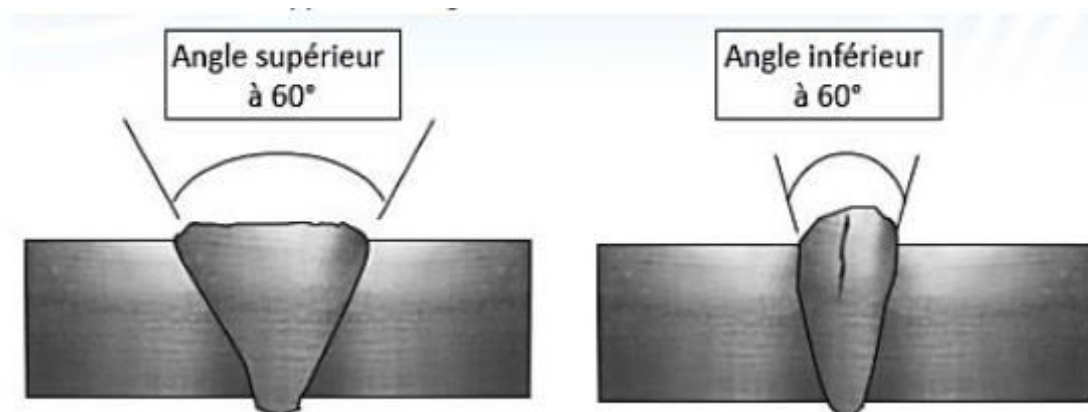


Figure 94 : Forme du cordon

La chaleur de soudage reste plus longtemps dans les plaques d'angle ouvert que l'angle le plus étroit (La chaleur s'évade moins vite).

Contraintes appliquées lors de la solidification : Le bridage trop rigide ou autres moyens de fixation peuvent entraîner la fissuration de soudure causée par le stress résiduel (contraintes) (figure 95).

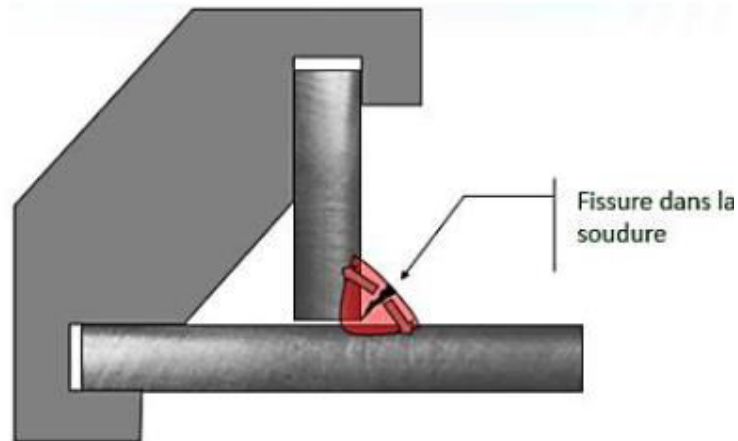


Figure 95 : Fissuration due aux contraintes appliquées lors de la solidification

Comment éviter la fissuration à chaud ?

En prenant en compte les paramètres cités précédemment, un préchauffage et post chauffage homogènes des pièces diminuent les contraintes

Fissuration à froid

Qu'est- ce que la fissure par hydrogène ?

La fissuration par l'hydrogène ou fissuration différée, elle intervient quand la soudure est froide $T < 150\text{ °C}$, mais le phénomène surgit souvent à la température ambiante. C'est pour cette raison que certains codes de contrôle recommandent des délais d'attente de 24 à 48 heures avant de procéder à l'inspection des soudures.

Où ?

La fissuration à froid se manifeste soit au niveau du joint ou de la zone affectée thermiquement (sous et à côté du cordon).

Pourquoi ?

Le phénomène ne peut être déclenché que suite à la coprésence des trois facteurs suivants :
Structure fragile de trempe.

Contraintes de tension (bridage, retrait lors du refroidissement).

Hydrogène (H₂) diffusé en concentrations suffisantes.

Comment éviter la fissuration à froid ?

La meilleure prévention de la fissuration à froid est un préchauffage approprié des pièces à souder afin d'évaporer l'hydrogène contenu dans l'humidité présente sur la pièce (le préchauffage doit atteindre au moins 100 °C, soit la température d'ébullition de l'eau). On peut aussi choisir des électrodes préchauffées à basse teneur en hydrogène (basiques). On prend soin de refroidir les pièces très lentement ainsi qu'un traitement thermique après soudage évitera l'apparition de tensions internes, favorisant l'apparition de fissures.

Défauts de fissure

Les fissures sont des ruptures du matériau. Elles sont orientées selon le type de défaut. Ces fissures peuvent se trouver aussi bien dans le métal de base que dans le cordon de soudure, dans la zone affectée thermiquement ou la zone de liaison.

Types de fissures fréquentes (figure 96)

- Fissure longitudinale ;
- Fissure transversale ;
- Fissure de cratère ;
- Fissure rayonnante ;
- Fissure marbrée ;
- Fissure Ramifiée.

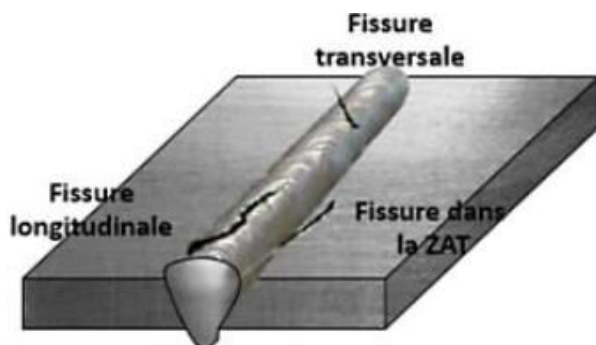


Figure 96 : Types de fissures fréquentes.

Les figures 97,98 et 99 illustrent des défauts de fissures.

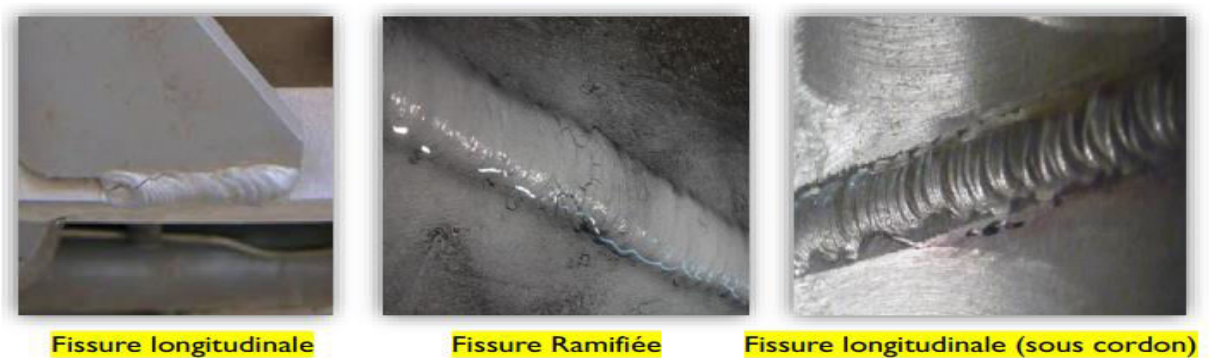


Figure 97 : Exemples des défauts de fissure -1-

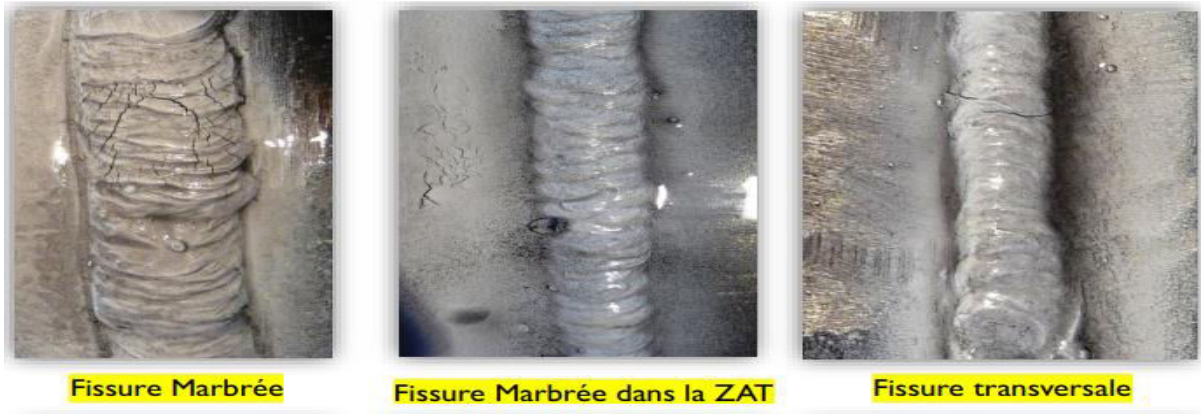


Figure 98 : Exemples des défauts de fissure -2-



Figure 99 : Exemples des défauts de fissure -3-

2. Cavités

Défauts des soufflures (figure 100)

Les soufflures (cavités) sont des défauts fréquents en soudage. Ce sont souvent des bulles de gaz enfermées dans le cordon de soudure. Les piqures sont des soufflures débouchâtes, donc visibles en surface.

Les types de soufflures fréquentes sont :

- Nid de soufflures ;
- Soufflures sphéroïdale isolée ;
- Soufflures uniformément réparties ;
- Soufflure alignée ;
- Soufflure allongée ;
- Soufflures vermiculaires ;
- Piqures.

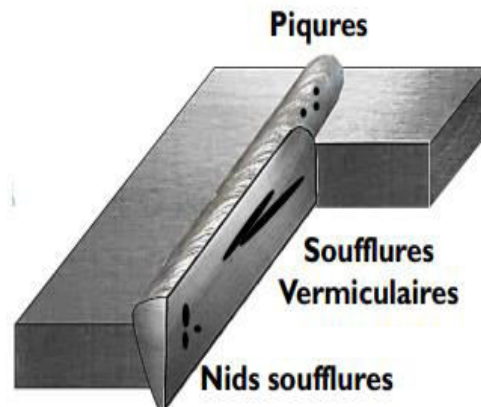


Figure 100 : Types de soufflures fréquentes

Pourquoi ?

- Mauvaise protection du bain de fusion ;
- Pièce humide ou électrode ;
- Saleté sur la pièce (oxyde, gris, huile...) ;
- Arc long ou (longueur terminale) ;
- Electrode défectueuse ;
- Vitesse de dégazage inférieur à la vitesse de solidification ;
- Choix du gaz de protection inapproprié (gaz et débit).

Les figures 101, 102, 103 et 104 illustrent différents types de piqûres.



Piqûres

Figure 101 : Types des piqûres -1-



Piqûres Forme vermiculaire

Piqûres

Formes uniformément réparties

Nid de piqûres

Figure 102 : Types des piqûres -2-

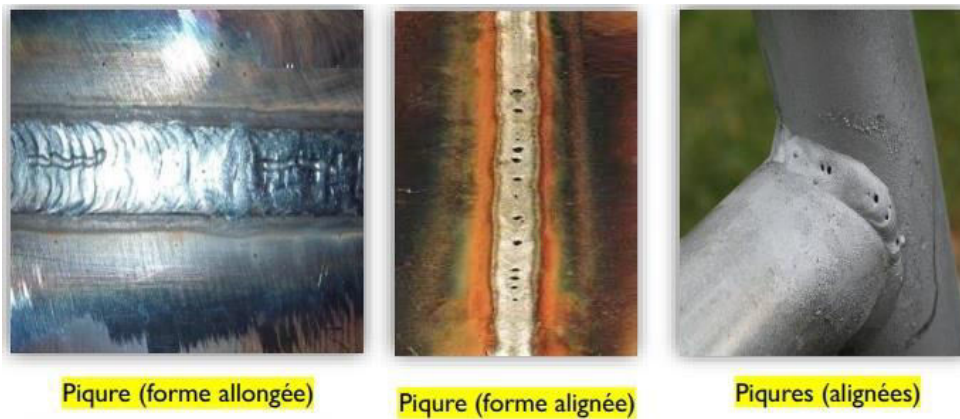


Figure 103 : Types des piqures -3-

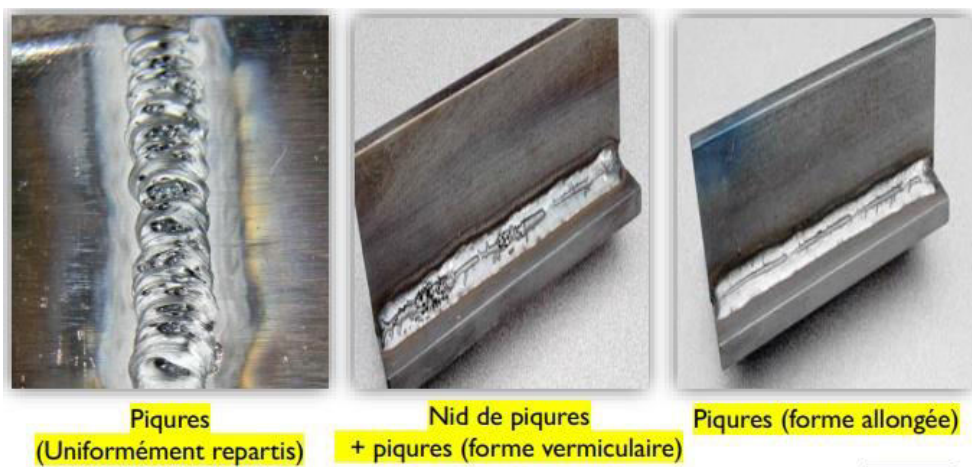


Figure 104 : Types des piqures -4-

3. Inclusions solides

En soudage, les inclusions désignent des corps étrangers présents au cœur du cordon.

Types d'inclusions fréquentes

- Inclusion de laitier : résidu de laitier emprisonné dans la soudure ;
- Inclusion de flux : résidu de flux emprisonné dans la soudure ;
- Inclusion d'oxyde : oxyde métallique emprisonné dans le métal fondu au cours de la solidification ;
- Inclusion métallique : particule métallique de composition différente au cordon emprisonnée (souvent tungstène en TIG).

Pourquoi ?**Inclusion de laitier, flux et oxyde**

- Mauvaise inclinaison de l'électrode ;
- Nettoyage insuffisant entre passes.

Inclusion métallique

- Contact de tungstène avec la pièce lors de l'amorçage ;
- Projection du tungstène en fusion.

Exemples : Défauts inclusions solides (figure 105)



Figure 105 : Défauts inclusions solides

4. Manque de fusion et de pénétration**4.1. Manque de pénétration**

Absence partielle de fusion des bords à souder, laissant subsister espace entre ces bords.

Causes

Energie de soudage trop faible (courant).

Vitesse de soudage élevée.

Ecartement étroit. Diamètre de l'électrode inapproprié (non-respect de l'écartement et le diamètre de l'électrode).

Exemple : manque de pénétration (figure 106)



Figure 106 : Manque de pénétration

4.2. Manque de fusion (collage)

Il s'agit d'une mauvaise continuité métallurgique entre les métaux à assembler. Il peut aussi s'agir de manque de fusion des passes les unes avec les autres

Types d'inclusions fréquentes

- Manque de fusion latéral qui intéresse les bords à souder ;
- Manque de fusion entre les passes ;
- Manque de fusion à la racine.

Causes de Manque de fusion

- Energie de soudage trop faible (courant) ;
- Vitesse de soudage élevée ;
- Pièce humide et sale ;
- Non préchauffage de la pièce ;
- Non-respect du temps entre passes.

Exemple Manque de pénétration



Figure 107 : Exemple Manque de pénétration

5. Défauts de forme (forme irrégulière - largeur irrégulière)

Manque de conformité d'ordre géométrique de la surface externe par rapport au profil correct.

5.1. Morsures et caniveaux

Le caniveau est un défaut due à une trop grande énergie apportée pendant la soudure ou une vitesse de soudage assez élevée. Ce qui entraîne un creux sur une grande partie de la longueur d'extrémité de la soudure (figure 108). Les caniveaux peuvent être en surface, entre le cordon et le métal de base. Ils peuvent aussi être à la racine. Les morsures sont des défauts locaux (ponctuels).

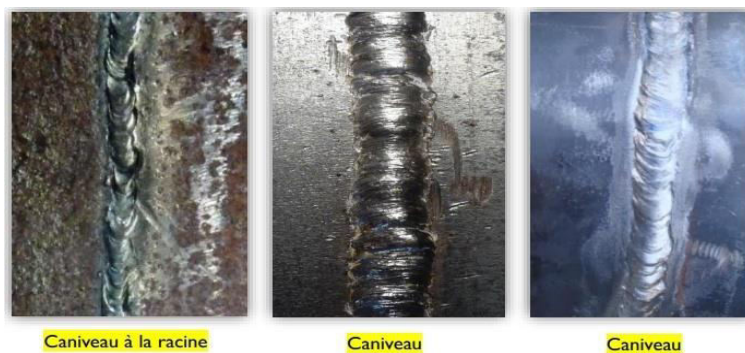


Figure 108 : Défauts de morsures et caniveaux

5.2. Défaut de convexité

Il s'agit d'un excès de matière sur la longueur, ou localisé dans les passes terminales de la soudure. Ce défaut est dû à une vitesse de soudage lente ou un courant fort. Les normes imposent des limites d'épaisseur pour le cordon. Si le cordon est trop bombé et dépasse ces limites, il y a défaut de convexité.



Figure 109 : Défaut de convexité

5.3. Excès de pénétration

Excès de métal à la racine pour une soudure exécutée à partir d'une seule face ou à travers le métal déjà déposé pour une soudure en plusieurs passes.

Ce défaut est dû aux : Energie de soudage élevée (courant). Vitesse de soudage lente. Ecartement large. Diamètre de l'électrode inapproprié (figure 110).



Figure 110 : Défaut d'excès de pénétration

5.4. Défaut d'alignement- Dénivellation

C'est le non-respect du niveau prévu entre deux pièces soudées. Ce défaut est exprimé généralement par la mesure d'une dénivellation. Lorsque les pièces sont mal bridées et/ou le pointage insuffisant, on peut avoir un défaut d'alignement (figure 111).

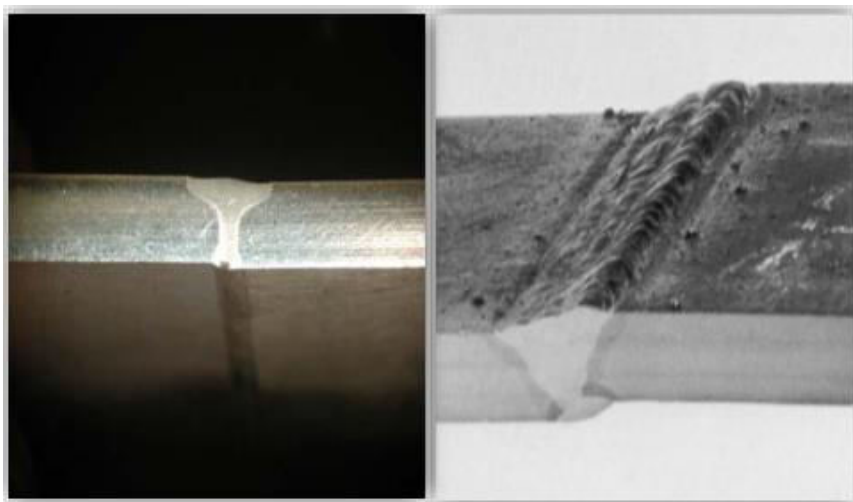


Figure 111 : Défaut d'alignement- Dénivellation

5.5. Manque d'Épaisseur-concavité

Il s'agit d'un manque de matière sur la longueur de la soudure, ou localisé. Si le cordon est trop creux et dépasse les limites des normes, alors il y a défaut de concavité (figure 112).



Figure 112 : Défaut de Manque d'Épaisseur-concavité

5.6. Mauvaise reprise de cordon

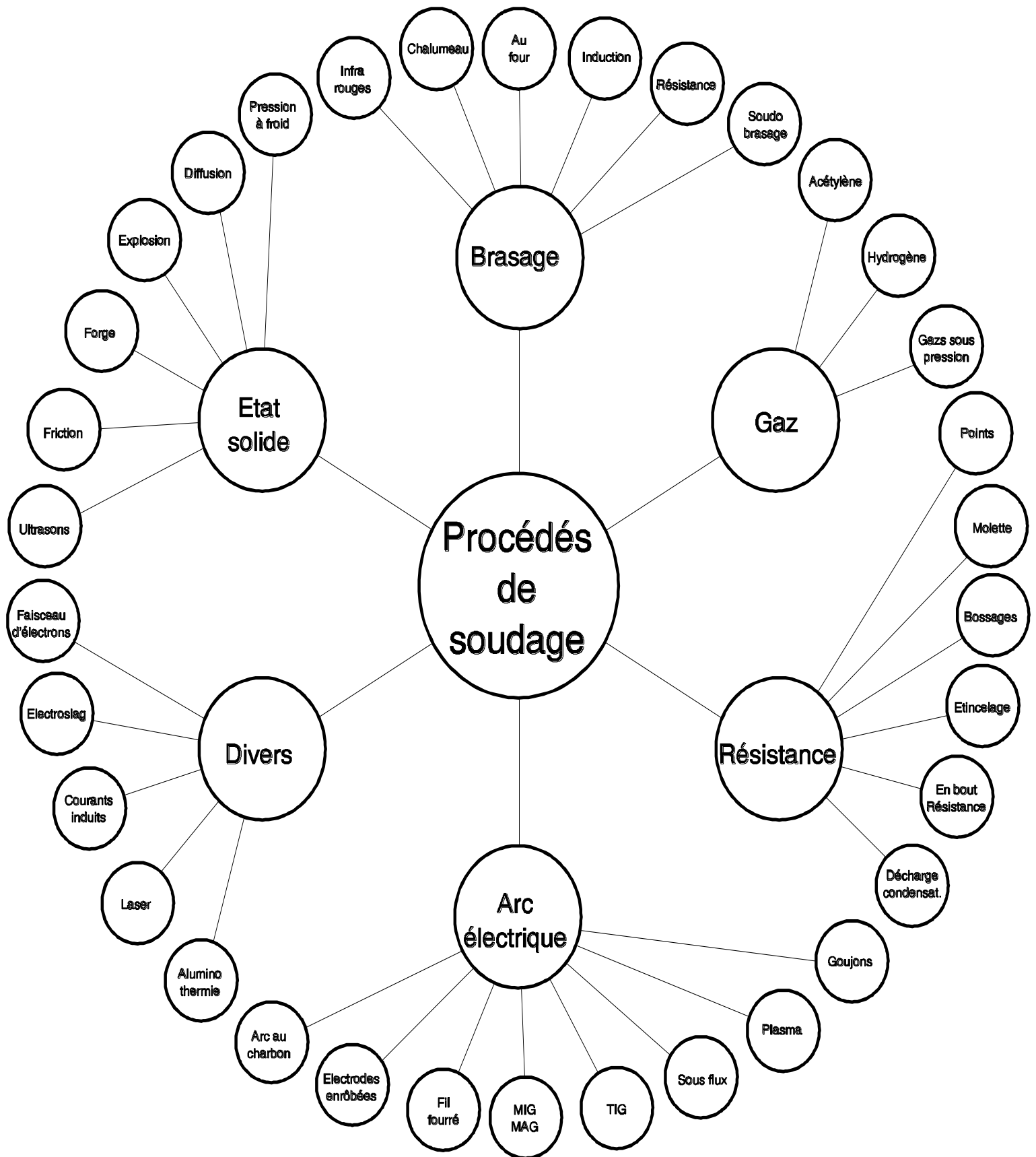
Lorsque le soudeur reprend une soudure qu'il souhaite continuer, il doit faire en sorte de garder la continuité visuelle et métallurgique du cordon. Lorsque ceci n'est pas réussi, on peut avoir un défaut de reprise par un manque ou un excès de matière (figure 113).



Mauvaise reprise

Figure 113 : Défaut de mauvaise reprise de cordon

LES PROCEDES DE SOUDAGE



Références bibliographiques

- Norme de soudage ISO 14731
- ROUQUETTE, 2016, cours assemblages soudés, IUT de Nîmes/ Université de Montpellier, France
- CERVELLIN Denis, 2016, TP assemblages soudés, IUT de Nîmes/ Université de Montpellier, France
- ENGTP, 2017, cours procédés de soudage, Arzew, Oran, Algérie
- ENGTP Tuberie spirale, 2017, cours procédés de soudage, Reghaia, Alger, Algérie
- Etts Akli, 2019, pdf cours de soudage, Gdyl, Oran, Algérie
- Documentation : Equipements de soudage, Air liquide, France
- Michel Colombié et Dunod, « Matériaux métalliques », Dunod, l'Usine Nouvelle, 2008.
- Michel Bramat, A. Althouse, C. Turnquist, Martin Villeneuve, W. Bowditch, K. Bowditch et M. Bowditch, « Technologie des métaux, contrôles et essais des soudures », De Boeck, Reynald Goulet, 2007.
- R. Blondeau « Procédés et applications industrielles du soudage », Hermès-Lavoisier, 2001.
- Bernard Lehembre, « Le soudeur », Editeur : Nathan, Mai 2000.
- Jean-Michel Jorion, « La soudure à l'arc », Editeur : Editions SAEP, Janvier 2007.
- Althouse, C. Turnquist, W. Bowditch, K. Bowditch, M. Bowditch, Chantal Paquet, Michel Bramat et Martin Villeneuve, « Coupage, procédés oxygaz » De Boeck, R. Goulet, 2007.
- Institut de soudure, « Données pratiques en soudage », Paris : Cetim, 2001.
- K. Weman et D Gouadec, « Aide-mémoire des procédés de soudage », Dunod, 2005
- K. Weman et G. Linden, « Guide du soudage MIG » Editeur : Dunod, Octobre 2007.
- C. Paquet, L. Lévesque, M. Bramat, W. Bowditch, K. Bowditch, M. Bowditch, A. Althouse et C. Turnquist, « Procédés de soudage à l'arc », De Boeck, Reynald Goulet, 2007.
- M. Bramat, A. Althouse, C. Turnquist, Martin Villeneuve, W. Bowditch, K. Bowditch et M. Bowditch, « Technologie des métaux, contrôles et essais des soudures », Editeur : De Boeck, Reynald Goulet, Juillet 2007.
- R. Blondeau, « Métallurgie et mécanique du soudage », Hermès-Lavoisier, Janvier 2002.
- Weman Klas. « Procédé de soudage : aide mémoire », Edition Dunod, 2005.
- Weman Klas. « Procédés de soudage : aide mémoire », Dunod, 2005.

- Marchal Paul. « Traité de soudage automatique : Robots de soudage : Environnement, caractéristiques et équipements, Procédé de soudage : aide mémoire », Dunod, 1982.
- Détriché Jean-Marie « Traité de soudage automatique : Commande et programmation ». Eds Hermes, 1987.
- Centre Technique des industries mécanique. « Evaluation du soudage en angle par faisceau laser CO2 ». CETIM, Paris.
- Paquet Lévesque. « Procédé du soudage à l'arc – soudage des tôles minces revêtues : guide pratique ». 2008.
- D. Landre, « Découverte des procédés de fabrication mécanique. Moulage, Soudage, Formage, Usinage ». Editions Foucher, 1970.

Webographie

www.casteilla.fr/fr/images_db/soudage.pdf

www.alcra.fr/CND_Ultrasons.pdf

WWW.TW.com

www.melody-in-blues.org/downloads/livre-la-soudure-a-l-arc-pas-a-pas.pdf

www.copperalliance.fr/uploads/2018/03/02_procedes.pdf

http://www4.ac-nancy-metz.fr/autocompetences/2_ressources_pedagogiques/12_parcset-jardins/stockage_debatty-jc/h-dossiers-divers/2_maintenance/2b_metallerie-soudure/6_soudage-oxyacetylenique.pdf

www.rocdacier.com/cours-de-soudage/

ANNEXE

QCM/IWT

QUESTIONNAIRES

1 - On appelle brasage une opération d'assemblage dans laquelle les pièces à assembler :

- Sont liées par mouillage et diffusion d'un métal d'apport, sans fusion des bords
 - Sont liées par la fusion partielle des rives des pièces
 - Sont liées par la fusion partielle des pièces et celle d'un métal d'apport
 - Sont liées sans fusion du métal de base et sans métal d'apport
-

2 - Quelle température est-il nécessaire d'atteindre pour réaliser une soudure en phase solide ?

- A température ambiante
 - A une température inférieure à 0,5 TF (TF température de fusion)
 - A une température comprise entre 0,5 à 0,8 TF (TF température de fusion)
 - A une température supérieure à TF (TF température de fusion)
-

3 - Dans une opération de brasage du cuivre utilisant un flux solide, le flux exerce :

- Un rôle décapant
 - Un rôle protecteur
 - Un rôle décapant et protecteur
 - Aucun rôle
-

4 - Les électrodes à enrobage basique sont utilisées parce qu'elles :

- Facilitent l'opération de soudage
- Améliorent la résilience du joint
- Ne sont pas sensibles à l'action de l'humidité
- Permettent de souder en toutes positions

5 - L'intérêt du soudage par faisceau laser réside dans :

- Le faible taux horaire de l'investissement
 - Sa puissance spécifique
 - Sa facilité d'utilisation sur chantier
 - Son absence de risques en matière de sécurité
-

6 - En soudage TIG, pour souder les alliages légers, on utilise des électrodes en tungstène:

- Thorié
 - Cérié
 - Pur
 - Oxydé
-

7 - En soudage TIG on utilise parfois comme gaz protecteur :

- De l'azote
 - Du dioxyde de carbone
 - Un mélange argon-hydrogène
 - Un mélange d'oxygène et de dioxyde de carbone
-

8 - Le soudage par friction est bien adapté à l'assemblage :

- De tubes/tubes
- De ronds pleins
- Des carrés
- Des profilés

9 - On utilise l'acétylène comme combustible en soudage oxyacétylénique parce que la flamme est :

- Réductrice
 - Bien visible
 - Facile à allumer
 - Oxydante
-

10 - L'étincelage est un procédé qui utilise :

- L'effet Joule
 - L'effet Peltier
 - La loi de Jurin
 - La loi de Hook
-

11 - Un générateur TIG présente généralement des caractéristiques:

- Plates
 - Plongeantes
 - Quelconques
-

12 - Dans l'arc d'une électrode à enrobage cellulosique, le métal est transféré par :

- Pulvérisation
- Court-circuit
- Gravité

13 - La température de brasage à l'argent d'un alliage cuivreux est :

- De l'ordre de 300°C
 - Comprise entre 600 et 850°C
 - Supérieure à 1000°C
 - Inconnue
-

14 - Dans quelle position sont principalement utilisées des électrodes à enrobage cellulosique?

- A plat
 - Au plafond
 - En vertical descendante
 - En vertical montante
 - En corniche
-

15 - En soudage à l'électrode basique de 4 mm, une intensité de 180 A peut être considérée comme :

- Normale
 - Excessive
 - Insuffisante
-

16 - Quel est le procédé le plus utilisé pour assembler des alliages légers ?

- Soudage à l'électrode enrobée
- Soudage au chalumeau
- Soudage sous flux en poudre
- Soudage MIG ou TIG

17 - Lors de la réparation d'une pièce en fonte grise à l'électrode enrobée, un décapage préalable des surfaces permet :

- De réduire les effets du retrait
 - D'améliorer les conditions opératoires et la résistance du joint
 - D'affiner la taille des grains
-

18 - Dans le procédé T.I.G. une proportion d'hélium est utilisé parce qu'il :

- Abaisse la tension d'arc
 - Elève la tension d'arc
 - Protège mieux le métal
 - Permet une augmentation de la résistance du matériau
-

19 - Dans le procédé T.I.G., pour le soudage des alliages légers, on utilise une électrode en tungstène pur parce qu'elle :

- Favorise l'amorçage de l'arc
 - Est moins fusible qu'une électrode alliée
 - Améliorent la pénétration
 - Est plus fusible qu'une électrode alliée
-

20 - Une électrode enrobée dont le rapport entre la masse de métal déposé et la masse d'âme consommée est supérieur à 1,2 est nommée :

- Electrode double enrobage
- Electrode à enrobage épais
- Electrode à haut rendement
- Electrode fourrée à enrobage

21 - Quel type d'enrobage produit par sa décomposition dans l'arc un gaz protecteur abondant?

- Acide
 - Oxydant
 - Cellulosique
-

22 - Quelle type de matières plastiques peut-on souder au chalumeau à air chaud ?

- Les plastiques 'thermoplastiques'
 - Les plastiques 'thermodurcissables'
 - Tous les types de matières plastiques
 - les élastomères
-

23 - La technique de soudage des matières plastiques soudables qui, bien mise en œuvre, assure la meilleure tenue mécanique est le soudage :

- Au gaz chaud
 - Par ultrasons
 - Par friction
 - A l'arc électrique
-

24 - Peut-on souder au miroir des plastiques de nature différente ?

- Non
- Oui
- Oui dans certains cas compatibles

25 - Quel est typiquement l'ordre de grandeur de la durée d'un soudage par ultrasons ?

- La seconde
 - La minute
 - L'heure
-

26 - La tenue mécanique d'un assemblage de 2 pièces en plastique renforcé de fibres de verre est :

- Egale à 2 fois la tenue mécanique du plastique renforcé
 - Inférieure ou égale à celle du plastique non renforcé
 - Egale à celle du plastique renforcé
-

27 - L'outil qui transmet les ondes pour le soudage par ultrasons s'appelle :

- Electrode
 - Sonotrode
 - Pérित्रode
-

28 - Dans un joint brasé classique, l'assemblage est soumis à un effort de :

- Traction
 - Compression
 - Cisaillement
 - Flexion
-

29 - Pour le revêtement par projection plasma sur des matières plastiques, on utilise un arc :

- Transféré
- Semi-transféré
- Non transféré

30 - Les torches utilisées pour le soudage MIG des alliages légers sont munies d'une gaine en :

- Cuivre
 - Téflon
 - Acier
 - En alliage léger
-

31 - En soudage TIG, l'angle d'affûtage de l'électrode n'a pas une grande importance lors du soudage de :

- L'aluminium et de ses alliages
 - Les aciers inoxydables
 - Le nickel et ses alliages
 - Le cuivre et ses alliages
-

32 - Pour souder des pièces dites 'de haute sécurité', on choisit des électrodes à enrobage de type:

- Acide
 - Basique
 - Oxydant
 - Rutile
-

33 - Dans une flamme oxyacétylénique, la zone de combustion où l'oxygène et l'acétylène sont dans des volumes sensiblement égaux est nommée :

- Le dard
- Le panache
- La zone oxydante

34 - La zone d'une flamme oxyacétylénique qui protège le métal en fusion est nommée :

- La zone réductrice
 - Le panache
 - La zone oxydante
-

35 - Le soufflage magnétique est important en soudage avec :

- Du courant continu
 - Du courant alternatif
 - Tout type de courant
-

36 - En soudage MIG/MAG, l'intensité de soudage se règle avec :

- La vitesse d'avance du fil
 - La tension d'arc
 - En réglant la tension au primaire
-

37 - En soudage MIG il faut éviter le transfert :

- Par pulvérisation axiale
 - Par court circuit
 - Globulaire
-

38 - La longueur d'onde d'un faisceau laser CO2 est :

- 1,06 mm
- 10,6 mm
- 106 mm

39 - Votre entreprise dispose de plusieurs lasers (CO2 et YAG). Pour assembler deux tôles de 0,5 mm en aluminium, vous préférerez utiliser le laser :

- CO2 de 1 kW
 - YAG de 1 kW
 - CO2 de 10 KW
-

40 - Comment désigne-t-on le procédé de soudage par fusion dans lequel la chaleur nécessaire au soudage est fournie par la réaction exothermique d'un mélange 'd'oxydes de fer' avec de la poudre d'aluminium ?

- Soudage aluminothermique
 - Soudage sous laitier
 - Soudage diffusion
 - Soudage sous flux en poudre
-

41 - Comment nomme-t-on la valeur de la tension aux bornes d'utilisation de la source de courant quand le circuit de soudage est ouvert ?

- Tension en charge
 - Tension à vide
 - Tension nominale d'alimentation
 - Tension de soudage
-

42 - Il existe divers modes de fabrication des enrobages d'électrodes. Quel est le type d'électrodes que l'on rencontre le plus fréquemment ?

- Electrodes extrudées
- Electrodes trempées
- Electrodes cristallisées

43 - Comment définit-on le facteur de marche ?

- C'est le rapport entre le temps d'arc allumé et la durée de l'opération de soudage dans un temps donné
 - C'est le rapport entre la durée de vie du générateur et le temps de passage du courant de soudage dans un temps donné
 - C'est le rapport entre la durée de vie de l'électrode et le temps de passage du courant de soudage dans un temps donné
-

44 - En soudage par résistance par points, une machine qui ne réalise qu'une opération à la fois a un mode de fonctionnement :

- A la volée
 - Au coup par coup
 - En continu
-

45 - Si des électrodes à enrobage rutile, acide ou oxydant ont pris l'humidité, leur température d'étuvage sera située entre :

- 50 et 80 °C
 - 120 et 150 °C
 - 180 et 210 °C
 - 300 et 500°C
-

46 - Le principal inconvénient à l'utilisation du fil fourré par rapport au procédé MAG est :

- La nécessité de décrasser le laitier entre chaque passe
- Le faible taux de dépôt
- La difficulté de souder en toutes positions
- Le faible rendement

47 - Vous avez dans votre atelier une bouteille de gaz ayant une ogive peinte en blanc.

Quelle est la nature du gaz contenu dans cette bouteille ?

- Acétylène
 - Oxygène
 - Argon
 - Azote
-

48 - Sous quelle forme se trouve l'acétylène dans une bouteille ?

- Liquide
 - Comprimée
 - Dissous dans un solvant
-

49 - Le soudage par explosion est adapté au :

- Placage de tôles
 - Soudage de tubes bout à bout
 - Soudage en angle de tôles de fortes épaisseurs
 - Soudage de tôles très épaisses
-

50 - L'intérêt du soudage par diffusion réside dans :

- La zone fondue réduite
- La faible déformation
- La ZAT réduite
- Le fait de pouvoir réaliser des pièces de grandes dimensions

51 - Le procédé de soudage par friction est intéressant parce qu'il :

- déforme peu les surfaces
 - permet le soudage de matériaux de natures différentes
 - est bien adapté au soudage des tôles minces
 - est bien adapté au raboutage des profilés
-

52 - Dans une installation de soudage par faisceau d'électrons, la tension d'accélération des électrons est généralement de l'ordre de :

- Quelques volts
 - Quelques kilo volts
 - Quelques dizaines de kilo volts
 - Quelques milliers de kilo volts
-

53 - Pour souder 2 tôles de 2 mm en inox ferritique par le procédé TIG, j'utiliserais :

- De l'argon
 - Un mélange d'argon et d'oxygène
 - Du dioxyde de carbone
 - Un mélange d'argon et d'hydrogène
-

54 - En soudage TIG, un des critères de choix de buses est :

- La tension de soudage
- La nature du gaz de protection
- Le débit d'argon
- La hauteur du stick-out

55 - Dans la nomenclature de la norme NF 04-021, les procédés de soudage par résistance sont désignés par un chiffre commençant par :

- 1
 - 2
 - 3
 - 4
-

56 - Parmi les désignations suivantes, indiquez celle qui est sans rapport avec le soudage à l'arc sous flux en poudre :

- Soudage sous flux solide
 - Soudage à l'arc submergé
 - Soudage sous laitier
 - Soudage unionmelt
-

57 - Lors du soudage à l'arc sous flux en poudre l'opérateur doit se munir d'un verre de protection dont l'indice est compris entre :

- 3 et 4
 - 5 et 7
 - 7 et 9
 - Un verre n'est pas nécessaire
-

58 - Lors du soudage à l'arc sous flux en poudre, une intensité trop importante entraîne:

- Un manque de pénétration
- Une pénétration importante
- Des risques de collage
- Une soudure trop large

59 - Lors du soudage à l'arc sous flux en poudre, le diamètre du fil doit être convenablement choisi car son augmentation entraîne :

- Une diminution de la pénétration
 - Une augmentation de la pénétration
 - Aucun effet
-

60 - Les hublots des enceintes des machines de soudage par faisceau d'électrons sont réalisés avec des verres spéciaux principalement destinés à assurer la protection contre :

- Les rayons ultraviolets
 - Les rayons X
 - Les rayons gamma
 - Le rayonnement Infrarouge
-

61 - En raison des risques de réaction chimique dangereuse, quel matériau ne faut-il pas utiliser pour réaliser des canalisations de transport d'acétylène ?

- Un acier
 - Un alliage de cuivre
 - Un alliage d'aluminium
 - Une fonte
-

62 - Lequel des facteurs suivants limite l'utilisation du gaz de ville comme gaz pour le découpage oxygaz combustible ?

- Son pouvoir calorifique trop faible
- Sa tendance à entraîner une fusion rapide
- Son inaptitude pour le découpage de tôles d'épaisseur inférieure à 12mm
- Son prix relativement élevé

63 - Lequel des dispositifs suivant est utilisé pour mesurer l'intensité dans un circuit de soudage à l'arc en courant alternatif ?

- Un rhéostat
 - Une self
 - Un voltmètre
 - Une résistance
-

64 - Les supports envers utilisés pour le soudage à l'arc avec électrode fusible des aciers à bas carbone doivent être réalisées en :

- Cuivre
 - Acier à bas carbone
 - Acier à outil
 - Fonte
-

65 - En soudage manuel à l'arc électrique en courant alternatif, on emploie une bobine d'impédance (self) pour :

- Transformer le courant alternatif en courant continu
 - Permettre le réglage correcte de l'intensité
 - Permettre le réglage de la tension d'arc désirée
 - Autoriser le choix de la polarité correcte
-

66 - Quel est le gaz de protection généralement recommandé pour le soudage bout à bout de tôles d'alliage de nickel de 6mm d'épaisseur, en soudage à l'arc sous protection gazeuse avec fil électrode fusible ?

- L'argon U ou Q
- Le CO₂
- L'hydrogène
- L'azote

67 - En soudage TIG en courant alternatif, lequel des dispositifs suivant est essentiel pour stabiliser l'arc ?

- Un dispositif pour injecter une surtension
- Un débitmètre
- Un régulateur d'intensité

68 - En soudage à l'arc électrique manuel, l'enrobage qui permet d'obtenir des pénétrations profondes doit contenir :

- Du manganèse
- De la cellulose
- Du carbonate de calcium
- De l'oxyde de fer

69 - Un détendeur de bouteille d'oxygène utilisé dans un dispositif de découpage à la flamme risque de givrer si :

- Le débit est trop faible
- La bouteille est allongée
- La soupape de la valve du détendeur n'est pas complètement ouverte
- Le débit est excessif

70 - En soudage multi-passe, la passe de fond est souvent effectuée en TIG ce qui permet:

- De contrôler la pénétration de la passe de fond
- D'éliminer totalement les déformations
- D'améliorer l'aspect extérieur de la surface
- D'effectuer une passe avec un dépôt de métal très important

71 - Lequel des métaux suivant peut être soudé en TIG polarité directe ?

- Cuivre
- Aluminium commercialement pur
- Aluminium-silicium
- Alliages de magnésium

72 - M.A.G. signifie :

- Mig Argon Gaz
 - Métal Atmosphère Gazeuse
 - Metal Activ Gas
-

73 - Généralement lorsque l'on veut souder des aciers avec le procédé M.A.G. fil plein, on branche :

- La borne + du générateur sur la pièce
 - La borne + du générateur sur la torche
 - La borne - du générateur sur la torche
-

74 - Le soudage M.A.G. désigne un procédé utilisant un fil fusible sous protection gazeuse destiné :

- Aux aciers au carbone
 - Aux alliages légers
 - Aux alliages de cuivre ou de titane
 - Aux aciers inoxydables austénitiques
-

75 - Le symbole du soudage oxyacétylénique selon la norme EN 287 est :

- 311
 - 111
 - 114
 - 212
-

76 - Les instruments non calibrés utilisés pour le nettoyage ou le débouchage des buses de chalumeaux (aiguillettes) doivent être :

- En laiton
- En aluminium
- En nickel
- En acier

77 - Dans le procédé 114 ou 136, lequel des noms suivants peuvent servir d'appellation à la torche :

- Chalumeau
 - Pistolet
 - Fer à souder
 - Pince à souder
-

78 - Lorsque l'envers d'une soudure TIG sur acier inoxydable présente une forte oxydation, celle-ci s'appelle du :

- Glaçage
 - Fluage
 - Rochage
 - Charbonnage
-

79 - En soudage TIG, pour une même intensité, la température maximale est obtenue avec une atmosphère :

- D'azote
 - D'argon
 - D'hélium
 - D'air comprimé
-

80 - Pour le soudage TIG des métaux légers (tôles minces par exemple) il est parfois conseillé d'abattre la 'carre' (ou encore de casser l'arrête inférieure). Cette précaution permet :

- D'obtenir un bel aspect de la soudure
- D'obtenir une bonne liaison de la pénétration
- De ne pas avoir de retassure en fin de cordon
- De limiter le risque de fissuration à chaud

81 - Pour le soudage TIG d'acier inoxydable d'épaisseur 4 mm on utilise une électrode de tungstène de diamètre :

- 1 mm
 - 1,6 mm
 - 2 mm
 - 3 mm
-

82 - L'installation où plusieurs bouteilles d'argon sont montées en série afin d'alimenter un atelier de soudage TIG s'appelle :

- Une batterie
 - Une rampe
 - Une panoplie
 - Un évaporateur
-

83 - Le taux de pureté de l'argon ordinaire, couramment utilisé en soudage TIG est :

- 85%
 - 88,5%
 - 95,5%
 - 99,5%
-

84 - L'assemblage des matériaux céramiques se fait principalement :

- Par vissage
 - Par collage avec des matériaux polymères
 - Par brasage
 - Par fusion
-

85 - Au cours d'une opération de brasage des matériaux céramiques :

- Il n'y a jamais de réaction chimique
- Il y a toujours une réaction chimique massique
- Il y a toujours une réaction chimique en surface

86 - L'assemblage des matériaux céramiques est nécessaire :

- En raison des masses importantes
 - A cause de la difficulté de faire des éléments de grande taille et de forme compliquée
 - Pour donner plus de rigidité au matériau
-

87 - Le procédé TIG orbital est bien adapté pour le soudage :

- Des satellites
 - Des tubes et pipes
 - Automatique des tôles
 - Sans fil
-

88 - Le soudage TIG permet d'obtenir :

- Une très bonne rentabilité
 - Un accroissement de productivité
 - Des soudures de haute qualité
-

89 - Quel est le gaz inerte le plus employé en soudage TIG ?

- L'hélium
 - L'argon
 - Le xénon
 - L'azote
-

90 - A cause des risques d'explosion qui peuvent apparaître, quel type de métal doit-on proscrire dans la construction des réseaux de distribution de l'acétylène ?

- L'acier
- L'acier inoxydable
- Le cuivre
- L'aluminium

91 - On préchauffe les aciers durs et mi-durs avant de les découper au chalumeau pour :

- Augmenter la qualité de la découpe
 - Augmenter la vitesse de découpage
 - Affiner le grain
 - Limiter le risque de fissuration
-

92 - Le métal d'apport pour le brasage de l'aluminium est constitué de :

- Cupro-aluminium
 - Aluminium à 10-13% de silicium
 - Aluminium à 5% de magnésium
 - Aluminium pur
 - Alliage 2024
-

93 - Le soudage au chalumeau, comparé au soudage à l'arc avec électrodes enrobées permet :

- D'obtenir une vitesse de refroidissement plus lente
 - D'obtenir une vitesse de refroidissement plus rapide
 - D'obtenir une vitesse de soudage plus élevée
 - Se comporte de la même manière
-

94 - La zone la plus chaude de la flamme oxyacétylénique est :

- Le dard
 - Le panache
 - A 1, 2 ou 3 mm de l'extrémité du dard
 - A 1 cm de l'extrémité du dard
-

95 - Un chalumeau présente des difficultés de manœuvre, que faites-vous ?

- Lubrification à l'huile de vaseline
- Rodage avec de la graisse Belleville
- Lubrification avec du suif
- Démontage, vérification des organes et remontage sans lubrifiant

96 - Quels sont en France les types de chalumeaux les plus utilisés :

- Chalumeau haute pression sans aspiration
 - Chalumeau haute pression avec aspiration
 - Chalumeau basse pression avec aspiration
 - Chalumeau basse pression sans aspiration
-

97 - Un tube contact afin de remplir pleinement son rôle doit être :

- En matière isolante
 - Coudé à 45°
 - D'un diamètre de perçage deux fois plus gros que le fil employé
 - Conforme à l'utilisation de chaque diamètre de fil
-

98 - Le rôle du détendeur débitmètre que l'on fixe sur la bouteille est de :

- Permettre l'ouverture de la bouteille
 - Détendre le gaz
 - Régler le débit de gaz
 - Détendre et régler le débit de gaz
-

99 - Le CO₂ ou les mélanges argon-CO₂ sont réservés essentiellement au soudage :

- Des alliages cuivreux
 - De l'aluminium et de ses alliages
 - Des aciers courants
 - Des aciers inoxydables
-

100 - Dans les procédés MIG ou MAG, le bain de fusion est protégé par :

- Un gaz ou un mélange gazeux
- Un flux en poudre
- Une flamme réductrice
- Rien

101 - On doit utiliser de préférence des mélanges hélium-argon pour le soudage de :

- L'acier inoxydable
 - L'aluminium et les alliages légers
 - Tous les métaux
 - Des aciers au carbone
-

102 - Dans la fusion dite en 'pulvérisation axiale :

- L'extrémité du fil est pulvérisée par l'action du gaz de protection
 - Cette appellation vient du fait que la fusion s'effectue dans l'axe du bain de fusion
 - L'extrémité du fil se taille en pointe et fond régulièrement en fine gouttelettes
 - Ce mode de fusion est réservé aux matériaux peu fusibles
-

103 - La fusion en court-circuit donne des petits bains ; doit-on, de ce fait, réserver ce mode de fusion pour :

- Souder des tôles épaisses en recouvrement
 - Souder des tôles minces
 - Réaliser les passes d'aspect à plat
 - Souder à plat ou en gouttière sur tôles épaisses
-

104 - Dans les procédés MIG ou MAG, la distance pièce-buse doit être, pour exécuter un dépôt avec fil plein, d'environ :

- 2 à 6 mm
 - 6 à 12 mm
 - 12 à 20 mm
 - 20 mm minimum
-

105 - Dans les procédés MIG ou MAG, une pénétration excessive peut provenir :

- D'un diamètre de fil trop faible
- D'une vitesse de fil élevée
- D'un débit de gaz trop élevé
- D'un diamètre de fil trop faible et/ou d'une vitesse de fil élevée

106 - Pour souder de l'AG 5 avec un fil approprié et un mélange argon - hélium, la fusion peut être obtenue en :

- Court-circuit uniquement
 - Pulvérisation axiale uniquement
 - Grosses gouttes et pulvérisation axiale
 - Tous les modes de fusion
-

107 - Dans le procédé MAG, le rôle d'un gaz actif est de :

- Refroidir le fil
 - Agir sur la composition du métal fondu
 - Assurer le refroidissement de la torche
 - Faire fondre plus rapidement le métal de base
-

108 - Dans le procédé MIG, les lettres M, I, et G signifient :

- Metal Intensive Gouging
 - Metal Inert Gas
 - Massif et Inopérant Gougeage
 - Magic Inert Gas
-

109 - Selon vous, le procédé MIG/MAG est utilisé principalement :

- En construction métallique
 - En horlogerie
 - En laboratoire
 - En construction aéronautique
-

110 - Pour souder, pourquoi faut-il transformer le courant électrique en un courant de basse tension?

- Les hautes tensions ne conviennent pas au soudage et, de plus, sont extrêmement dangereuses
- Un courant basse tension peut être mieux régulé
- Cela permet d'avoir des courants de soudage plus élevés
- Les trois réponses précédentes sont valables

111 - En soudage MIG ou MAG, quelles sont les précautions à prendre quand on change de fil d'apport pour en prendre un d'un diamètre différent ?

- Le diamètre de la gorge du galet presseur doit correspondre au diamètre du fil
 - Aucune précaution particulière à prendre
 - Le tube contact a toujours le même diamètre
 - Le tube contact doit être réalésé
-

112 - Une bouteille qui contient un mélange argon-CO2 se distingue par :

- Une ogive grise à bandes jaunes
 - Une ogive jaune à bandes grises
 - Un ogive grise à anneaux jaunes
 - Une ogive jaune à anneaux gris
-

113 - Dans les gaz ci-dessous, celui qui présente un caractère inerte est :

- Mélange oxygène-acétylène
 - Mélange argon-CO2
 - Anhydride carbonique
 - Mélange argon-hélium
-

114 - Les gaz actifs permettent les modes de transfert sous forme de :

- Court-circuit, grosses gouttes et pulvérisation axiale
 - Grosses gouttes et pulvérisation axiale
 - Pulvérisation axiale et court-circuit
 - Pulvérisation axiale uniquement
-

115 - En ne considérant que les deux paramètres tension et diamètre des fils utilisés, on peut dire:

- Plus le diamètre du fil est important, plus les tensions doivent être élevées
- Plus le diamètre du fil est important, plus les tensions diminuent
- Plus le diamètre diminue, plus les tensions augmentent
- La tension reste constante, quel que soit le diamètre du fil

116 - Certains gaz ou mélanges gazeux présentent des modes de fusion particuliers.

Ainsi, les gaz inertes argon ou hélium permettent :

- La fusion en court - circuit
 - La fusion par capillarité
 - La fusion par effet Joule
 - La fusion en grosses gouttes et en pulvérisation axiale
-

117 - Quel gaz de protection peut être utilisé pour le soudage MAG ?

- CO₂
 - Hélium
 - Argon
 - Oxygène
-

118 - Quelles précautions faut-il prendre avec le métal d'apport utilisé en soudage MIG/MAG?

- Le stocker dans un local propre et humide
 - Pas de précautions spéciales
 - Le protéger de la graisse et des impuretés
 - Huiler le fil pour éviter son oxydation
-

119 - Le débit de gaz conseillé en soudage MIG, fil plein est de :

- 1 à 10 l/min
 - 15 à 25 l/min
 - 35 à 45 l/min
 - 15 à 25 l/h
-

120 - Comment peut-on éviter la formation de soufflures dans les soudures MIG/MAG ?

- En soudant dans un courant d'air
- En soudant avec un courant d'intensité élevée
- En tenant la torche dans une position très inclinée
- En réglant convenablement le courant et le gaz

121 - En soudage avec le procédé MIG, les morsures qui apparaissent à coté de la soudure sont dues à :

- Un courant d'air
 - Un courant de soudage trop faible
 - Un courant de soudage trop élevé
 - Une buse d'arrivée de gaz obstruée
-

122 - Pratiquement, en soudage MIG, on peut travailler en court-circuit avec les fils de diamètres suivants :

- De 06 à 1,2 mm
 - De 1,2 à 1,6 mm
 - De 1,6 à 2,4 mm
 - De 1,2 à 2,4 mm
-

123 - En soudage MIG, on peut conseiller le mode de transfert en pulvérisation axiale pour :

- Souder en position, méthode descendante
 - Effectuer les passes de pénétration sur acier faiblement allié
 - Souder de la tôle de 15/10 en acier doux
 - Effectuer les passes de remplissage à plat sur aluminium
-

124 - Les couleurs des ogives des bouteilles de gaz sont :

- Purement décoratives
 - Destinées à identifier le gaz contenu
 - Destinées à identifier le propriétaire des bouteilles
 - Destinées à éviter la formation de rouille
-

125 - Dans des bouteilles d'oxygène vides on peut emmagasiner :

- Uniquement de l'air comprimé
- De l'hydrogène
- De l'argon
- Il est strictement interdit d'emmagasiner un autre gaz

126 - Une ogive entièrement jaune moyen indique une bouteille contenant :

- De l'hélium
 - De l'argon
 - Du CO₂
 - De l'oxygène
-

127 - En soudage MIG, l'absence de gaz de protection occasionne :

- Des caniveaux
 - Des soufflures
 - Des inclusions de laitier
 - Des caniveaux et des inclusions de laitier
-

128 - Quelle proposition suivante n'a pas d'incidence sur la qualité de la soudure :

- Traces d'huile sur le fil de soudure
 - Fil de soudure rouillé
 - Cuivrage du fil
 - Humidité sur le fil
-

129 - Selon la norme EN 287, le procédé de soudage à l'arc semi-automatique avec protection de gaz actif et fil plein est symbolisé par :

- 131
 - 135
 - 311
 - 111
-

130 - La tension de soudage a une influence sur la manière dont le fil d'apport va fondre ; la valeur habituelle des réglages des tensions de soudage en procédé MIG/MAG est :

- De 2 à 10 V
- De 15 à 45 V
- De 50 à 70 V
- De 70 à 90 V

131 - Le sens du cordon (soudage en poussant ou en tirant) a une influence sur la pénétration, sur la grosseur du cordon, sur la facilité d'exécution du dépôt. Ainsi, pour un droitier qui utilise le procédé MIG/MAG, en soudant vers la droite, donc en tirant :

- On pénétrera plus et on 'chargera' davantage
- On pénétrera plus et on ne 'chargera' pas
- On ne pénétrera pas mais on 'chargera' davantage
- On ne doit jamais souder vers la droite

132 - En procédé MIG/MAG, les diamètres les plus courants de fils normalisés sont en mm :

- 0,01 - 0,012 - 0,03 - 0,04 - 0,05
- 0,6 - 0,8 - 1 - 1,2 - 1,6 - 2,4
- 2,5 - 3,15 - 4,5 - 6,3
- 8,1 - 9,2 - 10,3

133 - Dans quel cas le soudage MAG provoquera-t-il des projections ?

- Sous mélange argon - CO2 avec des fils moyens en grosses gouttes
- Sous argon avec des fils de petits diamètres en pulvérisation axiale
- Sous CO2 avec de gros fils utilisés en court-circuit
- Dans tous les cas on obtient ces défauts

134 - Dans le cas du soudage des aciers, on peut éviter la formation de caniveaux avec l'emploi de certains gaz comme :

- CO2
- Argon
- Argon + oxygène
- Aucune influence des gaz sur l'aspect du cordon

135 - Dans le procédé MAG, le défaut qui est le plus à craindre est :

- Le collage
- L'inclusion de laitier
- Le caniveau
- La morsure

136 - En soudage TIG, le type de générateur utilisé pour obtenir du courant continu est :

- Un appareil à tension constante
 - Un convertisseur de fréquence
 - Un transformateur
 - Un transformateur – redresseur
-

137 - En soudage TIG, le défaut spécifique au procédé qu'il faut le plus combattre, en particulier pour les aciers inoxydables est :

- La largeur de la soudure
 - L'oxydation
 - La surépaisseur exagérée
 - L'irrégularité des vagues de solidification
-

138 - Selon la norme EN 287, la symbolisation du procédé TIG est :

- 111
 - 131
 - 135
 - 141
-

139 - En soudage TIG sur métaux lourds (courant continu), pour que la pénétration soit maximale, il faut que l'électrode soit affûtée :

- A moins de 30°
 - A moins de 90°
 - A plus de 90°
 - A 90°
-

140 - Pour le soudage TIG d'acier inoxydable d'épaisseur 6 mm, la préparation conseillée est :

- Bords droits
- Bords chanfreinés en V à 80°
- Bords chanfreinés en X
- Bords chanfreinés de 60 à 70° avec méplat et écartement

141 - En soudage TIG, une électrode en tungstène thorié employée généralement pour le soudage des métaux lourds peut supporter des intensités de l'ordre de :

- 10 à 20 A par mm de diamètre
 - 30 à 80 A par mm de diamètre
 - 100 A par mm de diamètre
 - + De 100 A par mm de diamètre
-

142 - Pour qu'une soudure réalisée en TIG manuel ait le maximum de chances de ne pas être oxydée, la position de la torche par rapport à la pièce doit avoir une inclinaison de :

- 10°
 - 30°
 - 80°
 - "Plus de 80°
-

143 - En soudage TIG, pour que l'arc soit le plus stable possible, il faut travailler :

- Au minimum de l'intensité supportée par l'électrode de tungstène
 - A la valeur moyenne supportée par l'électrode de tungstène
 - Au maximum de l'intensité supportée par l'électrode de tungstène
 - Sans importance
-

144 - Pour le soudage TIG des aciers inoxydables d'épaisseur 2 mm, on adopte généralement la préparation à bords :

- Chanfreinés en V à 60°
- Croqués à 50% de l'épaisseur
- Droits
- Relevés

145 - Lors du soudage TIG de 2 pièces en aluminium d'épaisseur 2 mm, l'intensité recommandée est :

- 10 à 15 A
 - 30 à 40 A
 - 60 à 80 A
 - + de 100 A
-

146 - Pour souder deux éprouvettes de cuivre de 3 mm d'épaisseur par le procédé TIG, il est préférable de choisir :

- Le courant continu, polarité + à l'électrode
 - Le courant continu, polarité - à l'électrode
 - Le courant alternatif
 - Le courant pulsé
-

147 - En soudage TIG, la valeur moyenne de la tension à l'arc est :

- 5 à 10 V
 - 13 à 20 V
 - 25 à 30 V
 - + de 30 V
-

148 - Le brasage est une application de :

- La loi des mélanges
- La loi d'Ohm
- La loi de Jurin
- L'effet Joule

149 - Du point de vue thermique, les matériaux céramiques sont :

- Tous isolants
 - Principalement des isolants
 - Tous conducteurs
-

150 - Parmi ces séries classant les procédés de soudage par ordre croissant de taux de dépôt, quelle est la bonne réponse ?

- TIG - sous flux - EE - MIG fil fourré sans gaz
 - EE - TIG - MIG fil fourré sans gaz - sous flux
 - EE - TIG - sous flux - MIG fil fourré sans gaz
 - TIG - EE - MIG fil fourré sans gaz - sous flux
 - EE - sous flux - TIG - MIG fil fourré sans gaz
-

REPONSES AUX QUESTIONNAIRES (en gras/vert)

1 - On appelle brasage une opération d'assemblage dans laquelle les pièces à assembler :

- Sont liées par mouillage et diffusion d'un métal d'apport, sans fusion des bords**
 - Sont liées par la fusion partielle des rives des pièces
 - Sont liées par la fusion partielle des pièces et celle d'un métal d'apport
 - Sont liées sans fusion du métal de base et sans métal d'apport
-

2 - Quelle température est-il nécessaire d'atteindre pour réaliser une soudure en phase solide ?

- A température ambiante
 - A une température inférieure à 0,5 TF (TF température de fusion)
 - A une température comprise entre 0,5 à 0,8 TF (TF température de fusion)**
 - A une température supérieure à TF (TF température de fusion)
-

3 - Dans une opération de brasage du cuivre utilisant un flux solide, le flux exerce :

- Un rôle décapant
 - Un rôle protecteur
 - Un rôle décapant et protecteur**
 - Aucun rôle
-

4 - Les électrodes à enrobage basique sont utilisées parce qu'elles :

- Facilitent l'opération de soudage
- Améliorent la résilience du joint**
- Ne sont pas sensibles à l'action de l'humidité
- Permettent de souder en toutes positions

5 - L'intérêt du soudage par faisceau laser réside dans :

- Le faible taux horaire de l'investissement
 - Sa puissance spécifique**
 - Sa facilité d'utilisation sur chantier
 - Son absence de risques en matière de sécurité
-

6 - En soudage TIG, pour souder les alliages légers, on utilise des électrodes en tungstène:

- Thorié
 - Cérié
 - Pur**
 - Oxydé
-

7 - En soudage TIG on utilise parfois comme gaz protecteur :

- De l'azote
 - Du dioxyde de carbone
 - Un mélange argon-hydrogène**
 - Un mélange d'oxygène et de dioxyde de carbone
-

8 - Le soudage par friction est bien adapté à l'assemblage :

- De tubes/tubes
- De ronds pleins**
- Des carrés
- Des profilés

9 - On utilise l'acétylène comme combustible en soudage oxyacétylénique parce que la flamme est :

- Réductrice
 - Bien visible
 - Facile à allumer
 - Oxydante
-

10 - L'étincelage est un procédé qui utilise :

- L'effet Joule
 - L'effet Peltier
 - La loi de Jurin
 - La loi de Hook
-

11 - Un générateur TIG présente généralement des caractéristiques:

- Plates
 - Plongeantes
 - Quelconques
-

12 - Dans l'arc d'une électrode à enrobage cellulosique, le métal est transféré par :

- Pulvérisation
- Court-circuit
- Gravité

13 - La température de brasage à l'argent d'un alliage cuivreux est :

- De l'ordre de 300°C
 - Comprise entre 600 et 850°C**
 - Supérieure à 1000°C
 - Inconnue
-

14 - Dans quelle position sont principalement utilisées des électrodes à enrobage cellulosique?

- A plat
 - Au plafond**
 - En vertical descendante
 - En vertical montante
 - En corniche
-

15 - En soudage à l'électrode basique de 4 mm, une intensité de 180 A peut être considérée comme :

- Normale
 - Excessive**
 - Insuffisante
-

16 - Quel est le procédé le plus utilisé pour assembler des alliages légers ?

- Soudage à l'électrode enrobée
- Soudage au chalumeau
- Soudage sous flux en poudre
- Soudage MIG ou TIG**

17 - Lors de la réparation d'une pièce en fonte grise à l'électrode enrobée, un décapage préalable des surfaces permet :

- De réduire les effets du retrait
 - D'améliorer les conditions opératoires et la résistance du joint**
 - D'affiner la taille des grains
-

18 - Dans le procédé T.I.G. une proportion d'hélium est utilisé parce qu'il :

- Abaisse la tension d'arc
 - Elève la tension d'arc**
 - Protège mieux le métal
 - Permet une augmentation de la résistance du matériau
-

19 - Dans le procédé T.I.G., pour le soudage des alliages légers, on utilise une électrode en tungstène pur parce qu'elle :

- Favorise l'amorçage de l'arc
 - Est moins fusible qu'une électrode alliée**
 - Améliorent la pénétration
 - Est plus fusible qu'une électrode alliée
-

20 - Une électrode enrobée dont le rapport entre la masse de métal déposé et la masse d'âme consommée est supérieur à 1,2 est nommée :

- Electrode double enrobage
- Electrode à enrobage épais
- Electrode à haut rendement**
- Electrode fourrée à enrobage

21 - Quel type d'enrobage produit par sa décomposition dans l'arc un gaz protecteur abondant?

- Acide
 - Oxydant
 - Cellulosique**
-

22 - Quelle type de matières plastiques peut-on souder au chalumeau à air chaud ?

- Les plastiques 'thermoplastiques'**
 - Les plastiques 'thermodurcissables'
 - Tous les types de matières plastiques
 - les élastomères
-

23 - La technique de soudage des matières plastiques soudables qui, bien mise en œuvre, assure la meilleure tenue mécanique est le soudage :

- Au gaz chaud
 - Par ultrasons**
 - Par friction
 - A l'arc électrique
-

24 - Peut-on souder au miroir des plastiques de nature différente ?

- Non
- Oui
- Oui dans certains cas compatibles**

25 - Quel est typiquement l'ordre de grandeur de la durée d'un soudage par ultrasons ?

- La seconde
 - La minute
 - L'heure
-

26 - La tenue mécanique d'un assemblage de 2 pièces en plastique renforcé de fibres de verre est :

- Egale à 2 fois la tenue mécanique du plastique renforcé
 - Inférieure ou égale à celle du plastique non renforcé
 - Egale à celle du plastique renforcé
-

27 - L'outil qui transmet les ondes pour le soudage par ultrasons s'appelle :

- Electrode
 - Sonotrode
 - Pérित्रode
-

28 - Dans un joint brasé classique, l'assemblage est soumis à un effort de :

- Traction
 - Compression
 - Cisaillement
 - Flexion
-

29 - Pour le revêtement par projection plasma sur des matières plastiques, on utilise un arc :

- Transféré
- Semi-transféré
- Non transféré

30 - Les torches utilisées pour le soudage MIG des alliages légers sont munies d'une gaine en :

- Cuivre
 - Téflon**
 - Acier
 - En alliage léger
-

31 - En soudage TIG, l'angle d'affûtage de l'électrode n'a pas une grande importance lors du soudage de :

- L'aluminium et de ses alliages**
 - Les aciers inoxydables
 - Le nickel et ses alliages
 - Le cuivre et ses alliages
-

32 - Pour souder des pièces dites 'de haute sécurité', on choisit des électrodes à enrobage de type:

- Acide
 - Basique**
 - Oxydant
 - Rutile
-

33 - Dans une flamme oxyacétylénique, la zone de combustion où l'oxygène et l'acétylène sont dans des volumes sensiblement égaux est nommée :

- Le dard**
- Le panache
- La zone oxydante

34 - La zone d'une flamme oxyacétylénique qui protège le métal en fusion est nommée :

- La zone réductrice
 - Le panache
 - La zone oxydante
-

35 - Le soufflage magnétique est important en soudage avec :

- Du courant continu
 - Du courant alternatif
 - Tout type de courant
-

36 - En soudage MIG/MAG, l'intensité de soudage se règle avec :

- La vitesse d'avance du fil
 - La tension d'arc
 - En réglant la tension au primaire
-

37 - En soudage MIG il faut éviter le transfert :

- Par pulvérisation axiale
 - Par court circuit
 - Globulaire
-

38 - La longueur d'onde d'un faisceau laser CO2 est :

- 1,06 mm
- 10,6 mm
- 106 mm

39 - Votre entreprise dispose de plusieurs lasers (CO2 et YAG). Pour assembler deux tôles de 0,5 mm en aluminium, vous préférerez utiliser le laser :

- CO2 de 1 kW
 - YAG de 1 kW**
 - CO2 de 10 KW
-

40 - Comment désigne-t-on le procédé de soudage par fusion dans lequel la chaleur nécessaire au soudage est fournie par la réaction exothermique d'un mélange 'd'oxydes de fer' avec de la poudre d'aluminium ?

- Soudage aluminothermique**
 - Soudage sous laitier
 - Soudage diffusion
 - Soudage sous flux en poudre
-

41 - Comment nomme-t-on la valeur de la tension aux bornes d'utilisation de la source de courant quand le circuit de soudage est ouvert ?

- Tension en charge
 - Tension à vide**
 - Tension nominale d'alimentation
 - Tension de soudage
-

42 - Il existe divers modes de fabrication des enrobages d'électrodes. Quel est le type d'électrodes que l'on rencontre le plus fréquemment ?

- Electrodes extrudées**
- Electrodes trempées
- Electrodes cristallisées

43 - Comment définit-on le facteur de marche ?

- C'est le rapport entre le temps d'arc allumé et la durée de l'opération de soudage dans un temps donné
- C'est le rapport entre la durée de vie du générateur et le temps de passage du courant de soudage dans un temps donné
- C'est le rapport entre la durée de vie de l'électrode et le temps de passage du courant de soudage dans un temps donné

44 - En soudage par résistance par points, une machine qui ne réalise qu'une opération à la fois a un mode de fonctionnement :

- A la volée
- Au coup par coup**
- En continu

45 - Si des électrodes à enrobage rutile, acide ou oxydant ont pris l'humidité, leur température d'étuvage sera située entre :

- 50 et 80 °C
- 120 et 150 °C**
- 180 et 210 °C
- 300 et 500°C

46 - Le principal inconvénient à l'utilisation du fil fourré par rapport au procédé MAG est :

- La nécessité de dégrasser le laitier entre chaque passe**
- Le faible taux de dépôt
- La difficulté de souder en toutes positions
- Le faible rendement

47 - Vous avez dans votre atelier une bouteille de gaz ayant une ogive peinte en blanc.

Quelle est la nature du gaz contenu dans cette bouteille ?

- Acétylène
 - Oxygène
 - Argon
 - Azote
-

48 - Sous quelle forme se trouve l'acétylène dans une bouteille ?

- Liquide
 - Comprimée
 - Dissous dans un solvant
-

49 - Le soudage par explosion est adapté au :

- Placage de tôles
 - Soudage de tubes bout à bout
 - Soudage en angle de tôles de fortes épaisseurs
 - Soudage de tôles très épaisses
-

50 - L'intérêt du soudage par diffusion réside dans :

- La zone fondue réduite
- La faible déformation
- La ZAT réduite
- Le fait de pouvoir réaliser des pièces de grandes dimensions

51 - Le procédé de soudage par friction est intéressant parce qu'il :

- déforme peu les surfaces
 - permet le soudage de matériaux de natures différentes**
 - est bien adapté au soudage des tôles minces
 - est bien adapté au raboutage des profilés
-

52 - Dans une installation de soudage par faisceau d'électrons, la tension d'accélération des électrons est généralement de l'ordre de :

- Quelques volts
 - Quelques kilo volts
 - Quelques dizaines de kilo volts**
 - Quelques milliers de kilo volts
-

53 - Pour souder 2 tôles de 2 mm en inox ferritique par le procédé TIG, j'utiliserais :

- De l'argon**
 - Un mélange d'argon et d'oxygène
 - Du dioxyde de carbone
 - Un mélange d'argon et d'hydrogène
-

54 - En soudage TIG, un des critères de choix de buses est :

- La tension de soudage
- La nature du gaz de protection
- Le débit d'argon**
- La hauteur du stick-out

55 - Dans la nomenclature de la norme NF 04-021, les procédés de soudage par résistance sont désignés par un chiffre commençant par :

- 1
 - 2
 - 3
 - 4
-

56 - Parmi les désignations suivantes, indiquez celle qui est sans rapport avec le soudage à l'arc sous flux en poudre :

- Soudage sous flux solide
 - Soudage à l'arc submergé
 - Soudage sous laitier**
 - Soudage unionmelt
-

57 - Lors du soudage à l'arc sous flux en poudre l'opérateur doit se munir d'un verre de protection dont l'indice est compris entre :

- 3 et 4
 - 5 et 7
 - 7 et 9
 - Un verre n'est pas nécessaire**
-

58 - Lors du soudage à l'arc sous flux en poudre, une intensité trop importante entraîne:

- Un manque de pénétration
- Une pénétration importante**
- Des risques de collage
- Une soudure trop large

59 - Lors du soudage à l'arc sous flux en poudre, le diamètre du fil doit être convenablement choisi car son augmentation entraîne :

- Une diminution de la pénétration**
 - Une augmentation de la pénétration
 - Aucun effet
-

60 - Les hublots des enceintes des machines de soudage par faisceau d'électrons sont réalisés avec des verres spéciaux principalement destinés à assurer la protection contre :

- Les rayons ultraviolets
 - Les rayons X**
 - Les rayons gamma
 - Le rayonnement Infrarouge
-

61 - En raison des risques de réaction chimique dangereuse, quel matériau ne faut-il pas utiliser pour réaliser des canalisations de transport d'acétylène ?

- Un acier
 - Un alliage de cuivre**
 - Un alliage d'aluminium
 - Une fonte
-

62 - Lequel des facteurs suivants limite l'utilisation du gaz de ville comme gaz pour le découpage oxygaz combustible ?

- Son pouvoir calorifique trop faible**
- Sa tendance à entraîner une fusion rapide
- Son inaptitude pour le découpage de tôles d'épaisseur inférieure à 12mm
- Son prix relativement élevé

63 - Lequel des dispositifs suivant est utilisé pour mesurer l'intensité dans un circuit de soudage à l'arc en courant alternatif ?

- Un rhéostat
 - Une self**
 - Un voltmètre
 - Une résistance
-

64 - Les supports envers utilisés pour le soudage à l'arc avec électrode fusible des aciers à bas carbone doivent être réalisées en :

- Cuivre
 - Acier à bas carbone**
 - Acier à outil
 - Fonte
-

65 - En soudage manuel à l'arc électrique en courant alternatif, on emploie une bobine d'impédance (self) pour :

- Transformer le courant alternatif en courant continu
 - Permettre le réglage correcte de l'intensité**
 - Permettre le réglage de la tension d'arc désirée
 - Autoriser le choix de la polarité correcte
-

66 - Quel est le gaz de protection généralement recommandé pour le soudage bout à bout de tôles d'alliage de nickel de 6mm d'épaisseur, en soudage à l'arc sous protection gazeuse avec fil électrode fusible ?

- L'argon U ou Q**
- Le CO₂
- L'hydrogène
- L'azote

67 - En soudage TIG en courant alternatif, lequel des dispositifs suivant est essentiel pour stabiliser l'arc ?

- Un dispositif pour injecter une surtension**
- Un débitmètre
- Un régulateur d'intensité

68 - En soudage à l'arc électrique manuel, l'enrobage qui permet d'obtenir des pénétrations profondes doit contenir :

- Du manganèse
- De la cellulose**
- Du carbonate de calcium
- De l'oxyde de fer

69 - Un détendeur de bouteille d'oxygène utilisé dans un dispositif de découpage à la flamme risque de givrer si :

- Le débit est trop faible
- La bouteille est allongée
- La soupape de la valve du détendeur n'est pas complètement ouverte
- Le débit est excessif**

70 - En soudage multi-passe, la passe de fond est souvent effectuée en TIG ce qui permet:

- De contrôler la pénétration de la passe de fond**
- D'éliminer totalement les déformations
- D'améliorer l'aspect extérieur de la surface
- D'effectuer une passe avec un dépôt de métal très important

71 - Lequel des métaux suivant peut être soudé en TIG polarité directe ?

- Cuivre**
- Aluminium commercialement pur
- Aluminium-silicium
- Alliages de magnésium

72 - M.A.G. signifie :

- Mig Argon Gaz
- Métal Atmosphère Gazeuse
- Metal Activ Gas**

73 - Généralement lorsque l'on veut souder des aciers avec le procédé M.A.G. fil plein, on branche :

- La borne + du générateur sur la pièce
- La borne + du générateur sur la torche**
- La borne - du générateur sur la torche

74 - Le soudage M.A.G. désigne un procédé utilisant un fil fusible sous protection gazeuse destiné :

- Aux aciers au carbone**
- Aux alliages légers
- Aux alliages de cuivre ou de titane
- Aux aciers inoxydables austénitiques

75 - Le symbole du soudage oxyacétylénique selon la norme EN 287 est :

- 311**
- 111
- 114
- 212

76 - Les instruments non calibrés utilisés pour le nettoyage ou le débouchage des buses de chalumeaux (aiguillettes) doivent être :

- En laiton**
- En aluminium
- En nickel
- En acier

77 - Dans le procédé 114 ou 136, lequel des noms suivants peuvent servir d'appellation à la torche :

- Chalumeau
 - Pistolet**
 - Fer à souder
 - Pince à souder
-

78 - Lorsque l'envers d'une soudure TIG sur acier inoxydable présente une forte oxydation, celle-ci s'appelle du :

- Glaçage
 - Fluage
 - Rochage**
 - Charbonnage
-

79 - En soudage TIG, pour une même intensité, la température maximale est obtenue avec une atmosphère :

- D'azote
 - D'argon**
 - D'hélium
 - D'air comprimé
-

80 - Pour le soudage TIG des métaux légers (tôles minces par exemple) il est parfois conseillé d'abattre la 'carre' (ou encore de casser l'arrête inférieure). Cette précaution permet :

- D'obtenir un bel aspect de la soudure
- D'obtenir une bonne liaison de la pénétration**
- De ne pas avoir de retassure en fin de cordon
- De limiter le risque de fissuration à chaud

81 - Pour le soudage TIG d'acier inoxydable d'épaisseur 4 mm on utilise une électrode de tungstène de diamètre :

- 1 mm
- 1,6 mm
- 2 mm
- 3 mm**

82 - L'installation où plusieurs bouteilles d'argon sont montées en série afin d'alimenter un atelier de soudage TIG s'appelle :

- Une batterie
- Une rampe**
- Une panoplie
- Un évaporateur

83 - Le taux de pureté de l'argon ordinaire, couramment utilisé en soudage TIG est :

- 85%
- 88,5%
- 95,5%
- 99,5%**

84 - L'assemblage des matériaux céramiques se fait principalement :

- Par vissage
- Par collage avec des matériaux polymères
- Par brasage**
- Par fusion

85 - Au cours d'une opération de brasage des matériaux céramiques :

- Il n'y a jamais de réaction chimique
- Il y a toujours une réaction chimique massique
- Il y a toujours une réaction chimique en surface**

86 - L'assemblage des matériaux céramiques est nécessaire :

- En raison des masses importantes
 - A cause de la difficulté de faire des éléments de grande taille et de forme compliquée**
 - Pour donner plus de rigidité au matériau
-

87 - Le procédé TIG orbital est bien adapté pour le soudage :

- Des satellites
 - Des tubes et pipes**
 - Automatique des tôles
 - Sans fil
-

88 - Le soudage TIG permet d'obtenir :

- Une très bonne rentabilité
 - Un accroissement de productivité
 - Des soudures de haute qualité**
-

89 - Quel est le gaz inerte le plus employé en soudage TIG ?

- L'hélium
 - L'argon**
 - Le xénon
 - L'azote
-

90 - A cause des risques d'explosion qui peuvent apparaître, quel type de métal doit-on proscrire dans la construction des réseaux de distribution de l'acétylène ?

- L'acier
- L'acier inoxydable
- Le cuivre**
- L'aluminium

91 - On préchauffe les aciers durs et mi-durs avant de les découper au chalumeau pour :

- Augmenter la qualité de la découpe
 - Augmenter la vitesse de découpage
 - Affiner le grain
 - Limitier le risque de fissuration**
-

92 - Le métal d'apport pour le brasage de l'aluminium est constitué de :

- Cupro-aluminium
 - Aluminium à 10-13% de silicium**
 - Aluminium à 5% de magnésium
 - Aluminium pur
 - Alliage 2024
-

93 - Le soudage au chalumeau, comparé au soudage à l'arc avec électrodes enrobées permet :

- D'obtenir une vitesse de refroidissement plus lente**
 - D'obtenir une vitesse de refroidissement plus rapide
 - D'obtenir une vitesse de soudage plus élevée
 - Se comporte de la même manière
-

94 - La zone la plus chaude de la flamme oxyacétylénique est :

- Le dard
 - Le panache
 - A 1, 2 ou 3 mm de l'extrémité du dard**
 - A 1 cm de l'extrémité du dard
-

95 - Un chalumeau présente des difficultés de manœuvre, que faites-vous ?

- Lubrification à l'huile de vaseline
- Rodage avec de la graisse Belleville
- Lubrification avec du suif
- Démontage, vérification des organes et remontage sans lubrifiant**

96 - Quels sont en France les types de chalumeaux les plus utilisés :

- Chalumeau haute pression sans aspiration
- Chalumeau haute pression avec aspiration
- Chalumeau basse pression avec aspiration**
- Chalumeau basse pression sans aspiration

97 - Un tube contact afin de remplir pleinement son rôle doit être :

- En matière isolante
- Coudé à 45°
- D'un diamètre de perçage deux fois plus gros que le fil employé
- Conforme à l'utilisation de chaque diamètre de fil**

98 - Le rôle du détendeur débitmètre que l'on fixe sur la bouteille est de :

- Permettre l'ouverture de la bouteille
- Détendre le gaz
- Régler le débit de gaz
- Détendre et régler le débit de gaz**

99 - Le CO₂ ou les mélanges argon-CO₂ sont réservés essentiellement au soudage :

- Des alliages cuivreux
- De l'aluminium et de ses alliages
- Des aciers courants**
- Des aciers inoxydables

100 - Dans les procédés MIG ou MAG, le bain de fusion est protégé par :

- Un gaz ou un mélange gazeux**
- Un flux en poudre
- Une flamme réductrice
- Rien

101 - On doit utiliser de préférence des mélanges hélium-argon pour le soudage de :

- L'acier inoxydable
 - L'aluminium et les alliages légers**
 - Tous les métaux
 - Des aciers au carbone
-

102 - Dans la fusion dite en 'pulvérisation axiale :

- L'extrémité du fil est pulvérisée par l'action du gaz de protection
 - Cette appellation vient du fait que la fusion s'effectue dans l'axe du bain de fusion
 - L'extrémité du fil se taille en pointe et fond régulièrement en fine gouttelettes**
 - Ce mode de fusion est réservé aux matériaux peu fusibles
-

103 - La fusion en court-circuit donne des petits bains ; doit-on, de ce fait, réserver ce mode de fusion pour :

- Souder des tôles épaisses en recouvrement
 - Souder des tôles minces**
 - Réaliser les passes d'aspect à plat
 - Souder à plat ou en gouttière sur tôles épaisses
-

104 - Dans les procédés MIG ou MAG, la distance pièce-buse doit être, pour exécuter un dépôt avec fil plein, d'environ :

- 2 à 6 mm
 - 6 à 12 mm
 - 12 à 20 mm**
 - 20 mm minimum
-

105 - Dans les procédés MIG ou MAG, une pénétration excessive peut provenir :

- D'un diamètre de fil trop faible
- D'une vitesse de fil élevée
- D'un débit de gaz trop élevé
- D'un diamètre de fil trop faible et/ou d'une vitesse de fil élevée**

106 - Pour souder de l'AG 5 avec un fil approprié et un mélange argon - hélium, la fusion peut être obtenue en :

- Court-circuit uniquement
 - Pulvérisation axiale uniquement
 - Grosses gouttes et pulvérisation axiale**
 - Tous les modes de fusion
-

107 - Dans le procédé MAG, le rôle d'un gaz actif est de :

- Refroidir le fil
 - Agir sur la composition du métal fondu**
 - Assurer le refroidissement de la torche
 - Faire fondre plus rapidement le métal de base
-

108 - Dans le procédé MIG, les lettres M, I, et G signifient :

- Metal Intensive Gouging
 - Metal Inert Gas**
 - Massif et Inopérant Gougeage
 - Magic Inert Gas
-

109 - Selon vous, le procédé MIG/MAG est utilisé principalement :

- En construction métallique**
 - En horlogerie
 - En laboratoire
 - En construction aéronautique
-

110 - Pour souder, pourquoi faut-il transformer le courant électrique en un courant de basse tension?

- Les hautes tensions ne conviennent pas au soudage et, de plus, sont extrêmement dangereuses
- Un courant basse tension peut être mieux régulé
- Cela permet d'avoir des courants de soudage plus élevés
- Les trois réponses précédentes sont valables**

111 - En soudage MIG ou MAG, quelles sont les précautions à prendre quand on change de fil d'apport pour en prendre un d'un diamètre différent ?

- Le diamètre de la gorge du galet presseur doit correspondre au diamètre du fil**
 - Aucune précaution particulière à prendre
 - Le tube contact a toujours le même diamètre
 - Le tube contact doit être réalésé
-

112 - Une bouteille qui contient un mélange argon-CO2 se distingue par :

- Une ogive grise à bandes jaunes
 - Une ogive jaune à bandes grises**
 - Un ogive grise à anneaux jaunes
 - Une ogive jaune à anneaux gris
-

113 - Dans les gaz ci-dessous, celui qui présente un caractère inerte est :

- Mélange oxygène-acétylène
 - Mélange argon-CO2
 - Anhydride carbonique
 - Mélange argon-hélium**
-

114 - Les gaz actifs permettent les modes de transfert sous forme de :

- Court-circuit, grosses gouttes et pulvérisation axiale**
 - Grosses gouttes et pulvérisation axiale
 - Pulvérisation axiale et court-circuit
 - Pulvérisation axiale uniquement
-

115 - En ne considérant que les deux paramètres tension et diamètre des fils utilisés, on peut dire:

- Plus le diamètre du fil est important, plus les tensions doivent être élevées**
- Plus le diamètre du fil est important, plus les tensions diminuent
- Plus le diamètre diminue, plus les tensions augmentent
- La tension reste constante, quel que soit le diamètre du fil

116 - Certains gaz ou mélanges gazeux présentent des modes de fusion particuliers.

Ainsi, les gaz inertes argon ou hélium permettent :

- La fusion en court - circuit
 - La fusion par capillarité
 - La fusion par effet Joule
 - La fusion en grosses gouttes et en pulvérisation axiale**
-

117 - Quel gaz de protection peut être utilisé pour le soudage MAG ?

- CO₂**
 - Hélium
 - Argon
 - Oxygène
-

118 - Quelles précautions faut-il prendre avec le métal d'apport utilisé en soudage MIG/MAG?

- Le stocker dans un local propre et humide
 - Pas de précautions spéciales
 - Le protéger de la graisse et des impuretés**
 - Huiler le fil pour éviter son oxydation
-

119 - Le débit de gaz conseillé en soudage MIG, fil plein est de :

- 1 à 10 l/min
 - 15 à 25 l/min**
 - 35 à 45 l/min
 - 15 à 25 l/h
-

120 - Comment peut-on éviter la formation de soufflures dans les soudures MIG/MAG ?

- En soudant dans un courant d'air
- En soudant avec un courant d'intensité élevée
- En tenant la torche dans une position très inclinée
- En réglant convenablement le courant et le gaz**

121 - En soudage avec le procédé MIG, les morsures qui apparaissent à coté de la soudure sont dues à :

- Un courant d'air
 - Un courant de soudage trop faible
 - Un courant de soudage trop élevé**
 - Une buse d'arrivée de gaz obstruée
-

122 - Pratiquement, en soudage MIG, on peut travailler en court-circuit avec les fils de diamètres suivants :

- De 06 à 1,2 mm**
 - De 1,2 à 1,6 mm
 - De 1,6 à 2,4 mm
 - De 1,2 à 2,4 mm
-

123 - En soudage MIG, on peut conseiller le mode de transfert en pulvérisation axiale pour :

- Souder en position, méthode descendante
 - Effectuer les passes de pénétration sur acier faiblement allié
 - Souder de la tôle de 15/10 en acier doux
 - Effectuer les passes de remplissage à plat sur aluminium**
-

124 - Les couleurs des ogives des bouteilles de gaz sont :

- Purement décoratives
 - Destinées à identifier le gaz contenu**
 - Destinées à identifier le propriétaire des bouteilles
 - Destinées à éviter la formation de rouille
-

125 - Dans des bouteilles d'oxygène vides on peut emmagasiner :

- Uniquement de l'air comprimé
- De l'hydrogène
- De l'argon
- Il est strictement interdit d'emmagasiner un autre gaz**

126 - Une ogive entièrement jaune moyen indique une bouteille contenant :

- De l'hélium
 - De l'argon**
 - Du CO2
 - De l'oxygène
-

127 - En soudage MIG, l'absence de gaz de protection occasionne :

- Des caniveaux
 - Des soufflures**
 - Des inclusions de laitier
 - Des caniveaux et des inclusions de laitier
-

128 - Quelle proposition suivante n'a pas d'incidence sur la qualité de la soudure :

- Traces d'huile sur le fil de soudure
 - Fil de soudure rouillé
 - Cuivrage du fil**
 - Humidité sur le fil
-

129 - Selon la norme EN 287, le procédé de soudage à l'arc semi-automatique avec protection de gaz actif et fil plein est symbolisé par :

- 131
 - 135**
 - 311
 - 111
-

130 - La tension de soudage a une influence sur la manière dont le fil d'apport va fondre ; la valeur habituelle des réglages des tensions de soudage en procédé MIG/MAG est :

- De 2 à 10 V
- De 15 à 45 V**
- De 50 à 70 V
- De 70 à 90 V

131 - Le sens du cordon (soudage en poussant ou en tirant) a une influence sur la pénétration, sur la grosseur du cordon, sur la facilité d'exécution du dépôt. Ainsi, pour un droitier qui utilise le procédé MIG/MAG, en soudant vers la droite, donc en tirant :

- On pénétrera plus et on 'chargera' davantage**
- On pénétrera plus et on ne 'chargera' pas
- On ne pénétrera pas mais on 'chargera' davantage
- On ne doit jamais souder vers la droite

132 - En procédé MIG/MAG, les diamètres les plus courants de fils normalisés sont en mm :

- 0,01 - 0,012 - 0,03 - 0,04 - 0,05
- 0,6 - 0,8 - 1 - 1,2 - 1,6 - 2,4**
- 2,5 - 3,15 - 4,5 - 6,3
- 8,1 - 9,2 - 10,3

133 - Dans quel cas le soudage MAG provoquera-t-il des projections ?

- Sous mélange argon - CO2 avec des fils moyens en grosses gouttes**
- Sous argon avec des fils de petits diamètres en pulvérisation axiale
- Sous CO2 avec de gros fils utilisés en court-circuit
- Dans tous les cas on obtient ces défauts

134 - Dans le cas du soudage des aciers, on peut éviter la formation de caniveaux avec l'emploi de certains gaz comme :

- CO2
- Argon
- Argon + oxygène**
- Aucune influence des gaz sur l'aspect du cordon

135 - Dans le procédé MAG, le défaut qui est le plus à craindre est :

- Le collage**
- L'inclusion de laitier
- Le caniveau
- La morsure

136 - En soudage TIG, le type de générateur utilisé pour obtenir du courant continu est :

- Un appareil à tension constante
- Un convertisseur de fréquence
- Un transformateur
- Un transformateur – redresseur**

137 - En soudage TIG, le défaut spécifique au procédé qu'il faut le plus combattre, en particulier pour les aciers inoxydables est :

- La largeur de la soudure
- L'oxydation**
- La surépaisseur exagérée
- L'irrégularité des vagues de solidification

138 - Selon la norme EN 287, la symbolisation du procédé TIG est :

- 111
- 131
- 135
- 141**

139 - En soudage TIG sur métaux lourds (courant continu), pour que la pénétration soit maximale, il faut que l'électrode soit affûtée :

- A moins de 30°
- A moins de 90°**
- A plus de 90°
- A 90°

140 - Pour le soudage TIG d'acier inoxydable d'épaisseur 6 mm, la préparation conseillée est :

- Bords droits
- Bords chanfreinés en V à 80°
- Bords chanfreinés en X
- Bords chanfreinés de 60 à 70° avec méplat et écartement**

141 - En soudage TIG, une électrode en tungstène thorié employée généralement pour le soudage des métaux lourds peut supporter des intensités de l'ordre de :

- 10 à 20 A par mm de diamètre
 - 30 à 80 A par mm de diamètre**
 - 100 A par mm de diamètre
 - + De 100 A par mm de diamètre
-

142 - Pour qu'une soudure réalisée en TIG manuel ait le maximum de chances de ne pas être oxydée, la position de la torche par rapport à la pièce doit avoir une inclinaison de :

- 10°
 - 30°
 - 80°**
 - Plus de 80°
-

143 - En soudage TIG, pour que l'arc soit le plus stable possible, il faut travailler :

- Au minimum de l'intensité supportée par l'électrode de tungstène
 - A la valeur moyenne supportée par l'électrode de tungstène
 - Au maximum de l'intensité supportée par l'électrode de tungstène**
 - Sans importance
-

144 - Pour le soudage TIG des aciers inoxydables d'épaisseur 2 mm, on adopte généralement la préparation à bords :

- Chanfreinés en V à 60°
- Croqués à 50% de l'épaisseur
- Droits**
- Relevés

145 - Lors du soudage TIG de 2 pièces en aluminium d'épaisseur 2 mm, l'intensité recommandée est :

- 10 à 15 A
 - 30 à 40 A
 - 60 à 80 A**
 - + de 100 A
-

146 - Pour souder deux éprouvettes de cuivre de 3 mm d'épaisseur par le procédé TIG, il est préférable de choisir :

- Le courant continu, polarité + à l'électrode
 - Le courant continu, polarité - à l'électrode**
 - Le courant alternatif
 - Le courant pulsé
-

147 - En soudage TIG, la valeur moyenne de la tension à l'arc est :

- 5 à 10 V
 - 13 à 20 V**
 - 25 à 30 V
 - + de 30 V
-

148 - Le brasage est une application de :

- La loi des mélanges
- La loi d'Ohm
- La loi de Jurin**
- L'effet Joule

149 - Du point de vue thermique, les matériaux céramiques sont :

- Tous isolants
 - Principalement des isolants**
 - Tous conducteurs
-

150 - Parmi ces séries classant les procédés de soudage par ordre croissant de taux de dépôt, quelle est la bonne réponse ?

- TIG - sous flux - EE - MIG fil fourré sans gaz
 - EE - TIG - MIG fil fourré sans gaz - sous flux
 - EE - TIG - sous flux - MIG fil fourré sans gaz
 - TIG - EE - MIG fil fourré sans gaz - sous flux**
 - EE - sous flux - TIG - MIG fil fourré sans gaz
-