

LE SOUDAGE
du cuivre
et
de ses alliages



TABLE DES MATIÈRES

	Page		Page
Chap. 1		Généralités sur le cuivre et ses alliages	7
1.1	7	Introduction	7
1.2	7	Définitions et Propriétés Générales	7
1.2.1	7	Cuivre commercialement pur	7
1.2.1.1	7	Cuivres raffinés contenant de l'oxygène	7
1.2.1.2	7	Cuivre raffiné désoxydé au phosphore	7
1.2.1.3	7	Cuivres raffinés exempts d'oxygène et de phosphore	7
1.2.2	7	Cuivres faiblement alliés	7
1.2.2.1	7	Cuivre à l'argent	7
1.2.2.2	7	Cuivre au tellure	7
1.2.2.3	7	Cuivre au chrome	7
1.2.2.4	8	Cuivre au cobalt-béryllium	8
1.2.2.5	8	Cuivre au béryllium	8
1.2.3	8	Laitons	8
1.2.3.1	8	Laitons simples	8
1.2.3.2	8	Laitons au plomb	8
1.2.3.3	8	Laitons spéciaux	8
1.2.4	8	Bronzes	8
1.2.5	9	Cupro-Aluminiums	9
1.2.6	9	Cupro-Nickels	9
1.2.7	9	Maillechorts	9
1.2.8	9	Cupro-Siliciums	9
1.2.9	9	Cupro-Plombs	9
1.3	10	Propriétés physiques et mécaniques des alliages cuivreux	10
1.3.1	10	Masse volumique	10
1.3.2	10	Chaleur massique	10
1.3.3	10	Coefficient de dilatation linéaire	10
1.3.4	10	Module d'élasticité	10
1.4	10	Propriétés particulières des alliages cuivreux en relation avec le soudage	10
1.4.1	10	Conductivité thermique	10
1.4.2	10	Conductivité électrique	10
1.4.3	10	Dilatation thermique	10
1.4.4	10	Fragilité à chaud	10
1.4.5	10	Cuivres non désoxydés	10
1.4.6	11	Alliages contenant des éléments volatils	11
1.4.7	11	Alliages à traitements thermiques	11
1.4.7.1	11	Cupro-Aluminiums	11
1.4.7.2	11	Alliages à durcissement structural	11
	12-13-14	Tableau des propriétés physiques et caractéristiques mécaniques	
Chap. 2	15	Les procédés de soudage	15
2.1	15	Généralités sur le soudage	15
2.2	15	Soudage au chalumeau	15
2.3	16	Soudage manuel à l'arc électrique	16
2.3.1	16	Soudage à l'arc avec électrode de carbone	16
2.3.2	16	Soudage à l'arc avec électrode enrobée	16
2.4	17	Soudage à l'arc sous gaz inerte avec électrode de Tungstène	17
2.5	18	Soudage sous gaz inerte avec fil-électrode fusible	18
2.6	18	Soudage par résistance	18
2.7	19	Procédés de soudage à l'arc au plasma	19
2.7.1	19	Définitions	19
2.7.2	19	Matériel utilisé	19
2.7.2.1	19	Matériel pour soudage automatique au plasma	19
2.7.2.2	20	Matériel pour soudage manuel	20
2.7.3	20	Coupage au jet de plasma	20
2.7.3.1	20	Matériel utilisé pour le coupage à l'arc au plasma	20
2.7.3.2	21	Gaz employés dans les torches à plasma	21
2.7.4	21	Procédé MIG-plasma	21
2.8	21	Soudage sous flux	21
2.9	22	Soudage par pression	22
2.9.1	22	Soudage par pression à chaud	22
2.9.2	22	Soudage par pression à froid	22
2.9.2.1	22	Soudage en bout par pression à froid	22
2.9.2.2	23	Soudage par recouvrement	23
2.10	23	Soudage par friction	23
2.11	24	Soudage par bombardement électronique	24
2.12	24	Soudage par ultrasons	24
2.13	24	Soudage par rayons laser	24
2.14	25	Soudage par diffusion	25
Chap. 3	27	Soudage et coupage du cuivre	27
3.1	27	Soudage au chalumeau du cuivre non allié	27
3.1.1	27	Métaux d'apport et flux	27
3.1.2	27	Choix et réglage de la flamme	27
3.1.3	27	Préparation des bords	27
3.1.4	29	Mode opératoire	29
3.1.4.1	29	Soudage à la goutte	29
3.1.4.2	29	Soudage à gauche	29
3.1.4.3	30	Soudage en montant	30
3.1.4.4	30	Soudage au plafond	30
3.1.4.5	30	Assemblage des tubes de cuivre	30
3.1.4.6	30	Préchauffage et martelage	30
3.1.4.7	31	Résistance des joints	31
3.2	31	Essais et contrôles	31
3.2	31	Soudage du cuivre contenant de l'oxygène	31
3.3	31	Soudage du cuivre à l'arc électrique	31
3.3.1	31	Soudage avec électrode enrobée	31
3.3.1.1	31	Préparation des pièces	31
3.3.1.2	32	Mode opératoire	32
3.3.1.3	32	Electrodes	32
3.3.1.4	32	Caractéristiques de l'arc	32
3.3.1.5	33	Chauffage et préchauffage	33
3.3.2	33	Soudage à l'arc du cuivre avec électrode de carbone	33
3.4	33	Soudage TIG du cuivre	33
3.4.1	33	Intérêt et domaine d'application du procédé	33
3.4.2	34	Source de courant, électrode, métal d'apport	34
3.4.3	34	Préparation des bords	34
3.4.4	34	Choix du gaz	34
3.4.5	35	Mode opératoire	35
3.4.6	36	Soudage du cuivre par le procédé TIG à courant pulsé	36
3.5	36	Soudage MIG du cuivre	36
3.5.2	36	Gaz de protection	36
3.5.3	36	Préparation des pièces	36
3.5.4	36	Préchauffage et flux	36

	Page		Page		
3.5.5	Mode opératoire	36	7.3.1	Rechargement	54
3.6	Soudage du cuivre par résistance	39	7.4	Soudage des cupro-aluminium à l'arc avec électrode enrobée	54
3.6.1	Soudage en bout	39	7.5	Soudage TIG des cupro-aluminiums	54
3.6.2	Soudage par points et à la molette	40	7.5.1	Choix du courant	54
3.7	Soudage du cuivre au plasma	40	7.5.2	Choix du gaz	55
3.7.1	Soudage manuel	40	7.5.3	Préparation des bords et du métal d'apport	55
3.7.2	Soudage automatique	41	7.5.4	Mode opératoire	55
3.8	Soudage du cuivre par divers procédés	41	7.5.5	Paramètres de soudage	55
3.8.1	Soudage par friction	41	7.6	Soudage MIG des cupro-aluminiums	55
3.8.2	Soudage par pression à froid	41	7.7	Soudage par résistance des cupro-aluminiums	55
3.8.3.	Soudage du cuivre par pression à chaud	41			
3.8.4	Soudage du cuivre par aluminothermie	42	Chap. 8	Soudage des cupro-siliciums	57
3.8.5	Soudage du cuivre par diffusion	42	8.1	Soudabilité des cupro-siliciums	57
3.8.6	Soudage du cuivre par ultrasons	42	8.2	Soudage des cupro-siliciums au chalumeau	57
3.8.7	Soudage du cuivre par bombardement électronique	42	8.3	Soudage à l'arc des cupro-siliciums	57
3.8.8	Soudage des goujons à l'arc	42	8.3.1	Soudage à l'arc avec électrodes enrobées	57
3.9	Coupage thermique du cuivre	43	8.3.2	Soudage à l'arc avec électrode de carbone	57
3.9.1	Coupage du cuivre par le procédé Oxyarc	43	8.4	Soudage TIG des cupro-siliciums	57
3.9.2	Coupage du cuivre au plasma	43	8.4.1	Préparation des bords	57
3.10	Métallisation au moyen du cuivre et de ses alliages	43	8.4.2	Mode opératoire	58
			8.5	Soudage MIG des cupro-siliciums	58
Chap. 4	Soudage des cuivres faiblement alliés	45	8.6	Soudage par résistance des cupro-siliciums	58
4.1	Cuivre à l'argent	45	Chap. 9	Soudage des cupro-nickels	59
4.2	Cuivre au cadmium	45	9.1	Soudabilité des cupro-nickels	59
4.3	Cuivre au tellure	45	9.2	Soudage des cupro-nickels au chalumeau	59
4.4	Cuivre au chrome	45	9.3	Soudage des cupro-nickels à l'arc avec électrodes enrobées	59
4.5	Cuivre au béryllium	46	9.3.1	Soudage des Cu-Ni contenant du fer	60
			9.4	Soudage des cupro-nickels par le procédé TIG	60
Chap. 5	Soudage des laitons et des maillechorts	47	9.5	Soudage MIG des cupro-nickels	60
5.1	Soudabilité des laitons	47	9.6	Soudage par résistance des cupro-nickels	60
5.2	Soudage des laitons au chalumeau	47	Chap. 10	Soudage de métaux différents	61
5.2.1	Préparation des joints	47	10.1	Soudage par fusion	61
5.2.2	Métal d'apport et flux	47	10.1.1	Soudage manuel à l'arc	61
5.2.3	Réglage de la flamme	47	10.1.2	Soudage sous gaz inerte	61
5.2.4	Mode opératoire	47	10.1.3	Soudage par bombardement électronique	62
5.3	Soudage des laitons à l'arc électrique avec électrode enrobée	48	10.1.4	Soudage de métaux différents par résistance	62
5.4	Soudage TIG des laitons	48	10.2	Soudage de métaux différents par procédés divers	62
5.5	Soudage MIG des laitons	48	10.2.1	Soudage de métaux différents par ultrasons	62
5.6	Soudage des laitons et des maillechorts par résistance	48	10.2.2	Soudage par pression à froid	62
5.6.1	Soudage en bout	48	10.2.3	Soudage de métaux différents par friction	63
5.6.2	Soudage par points	48	10.2.4	Soudage par explosion	63
5.6.3	Soudage des maillechorts	49	10.3	Soudage de métaux différents avec sous-couche	63
5.7	Soudage des laitons par procédés spéciaux	49	10.3.1	Soudage de cuivre sur acier	63
Chap. 6	Soudage des bronzes à l'étain	51	10.3.2	Soudage d'un laiton sur acier au carbone	64
6.1	Soudage des bronzes au chalumeau	51	10.3.3	Soudage d'un bronze à l'étain sur acier	64
6.2	Soudage à l'arc des bronzes	51	10.3.4	Soudage d'un cupro-silicium sur acier	64
6.2.1	Soudage à l'arc avec électrode enrobée	51	10.4	Soudage de métaux différents au moyen de pièces intermédiaires	64
6.2.2	Soudage TIG des bronzes	52			
6.2.3	Soudage MIG des bronzes	52			
6.3	Soudage par résistance des bronzes	52			
Chap. 7	Soudage des cupro-aluminiums	53			
7.1	Soudabilité des cupro-aluminiums	53			
7.2	Soudage des cupro-aluminiums au chalumeau	53			
7.3	Soudage des cupro-aluminiums à l'arc avec électrode de carbone	54			