

Chapitre 5

LA MISE EN FORME

1. La réception et le stockage des demi-produits	74
1.1 La réception des colis	75
1.2 Le stockage	75
2. Le découpage	76
2.1 Cisaille à levier ou à guillotine	76
2.2 Scie à ruban	76
2.3 Scie circulaire	77
2.4 Le plasma	77
2.5 La découpe au jet fluide	79
3. La mise en forme	79
3.1 Influence de l'état métallurgique	79
3.2 Le pliage des tôles	79
3.3 Les surfaces non développables	80
3.4 Le cintrage des tubes et des profilés	80

5. LA MISE

LA MISE EN FORME des demi-produits en alliage d'aluminium destinés à la construction navale et aux applications marines comprend toutes les opérations préalables à l'assemblage par soudage, par rivetage et par collage.

Ce sont :

- le traçage éventuel avant découpe,
- le découpage aux contours et aux dimensions avant assemblage,
- la mise en forme.

Le développement des logiciels d'architecture navale, de conception, a rendu possible l'automatisation du découpage. Il peut être fait par le chantier ou par un sous-traitant spécialisé dans cette activité.

Cette phase préparatoire de mise en forme doit être l'objet de beaucoup de soins, en particulier au niveau de la découpe. Celle-ci doit être aussi précise que possible pour avoir un très bon accostage des éléments à souder et aussi régulière que possible pour ne pas constituer des amorces de fissures. La qualité de la découpe est un des paramètres de la tenue en fatigue des assemblages soudés.

Par rapport aux aciers, l'aluminium présente une plus faible dureté superficielle. Pour ne pas rayer ou blesser le métal, il faut donc en tenir compte lors de la maintenance des demi-produits, lors du serrage dans les mors des machines, lors de certaines opérations de mise en forme. Il faut éviter de laisser des tôles traîner à terre, sur le passage des engins de maintenance ou... de marcher dessus.

Il faut éviter que les demi-produits en alliage d'aluminium reçoivent des particules métalliques venant du façonnage (meulage, usinage, etc.) d'autres métaux : aciers ou alliages cuivreux. Si celles-ci s'incrusteront à la surface de l'aluminium, elles peuvent provoquer la formation de micro-piqûres superficielles en présence d'humidité.

Les outils et les techniques de mise en forme des alliages d'aluminium ne diffèrent pas sensiblement de ceux utilisés pour l'acier ordinaire ou pour l'acier inoxydable. Seuls certains réglages (ou dispositions) d'outil sont différents, par exemple les angles des dents de scie ou les rayons de pliage.

1.

LA RÉCEPTION ET LE STOCKAGE DES DEMI-PRODUITS

Les emballages, à la dimension du produit fini, sont constitués de palettes en bois ou en acier sur lesquelles sont empilées les tôles. Celles-ci peuvent être séparées l'une de l'autre par un intercalaire en papier spécial, capable d'absorber l'humidité.

Les paquets de tôles sont emballés dans une feuille de polyéthylène et du papier kraft, et cerclés sur la palette (figure 53).

GARDE CÔTE CP 280



EN FORME

1.1 | La réception des colis

Du fait du risque de déchirure des feuilles de polymère et du papier kraft, ces emballages ne sont pas étanches à l'eau. Le déballage des colis doit donc être fait quand ils ont été mis sous abri.

La manutention des tôles doit être l'objet de précautions pour conserver un bon état de surface, favorable à la bonne qualité des soudures et à l'esthétique générale des structures en alliage d'aluminium.

1.2 | Le stockage

Il n'est pas indispensable de sortir les demi-produits de leur emballage d'origine avant utilisation. Il suffit de s'assurer qu'ils ne « prendront pas l'eau » (ou l'humidité), là où ils sont déposés.

Si les tôles ou les profilés sont sortis de leur emballage d'origine et entreposés à plat, ils seront posés sur des cales en bois, de plusieurs centimètres d'épaisseur, pour éviter tout contact direct avec le sol, même cimenté.

Quand des tôles ou des profilés sont stockés à plat, sans intercalaire (papier ou carton, voire cale en bois), il est courant d'observer après un certain temps des taches blanches ou mordorées sur les faces en regard (1). Ces taches sont dues à l'action de l'humidité qui s'infiltré, par capillarité, entre les tôles (ou entre les profilés).

Un stockage prolongé en plein air des demi-produits déballés peut se traduire par des altérations superficielles de la surface du métal qui pourront être, en général, des micro-piqûres très superficielles (de quelques micromètres), des taches, voire un ternissement généralisé (2).

Si ces altérations sont sans effet sur la tenue à la corrosion ultérieure, sur le navire en service, elles constituent des « pièges » à humidité qui doivent être soigneusement éliminés avant le soudage éventuel. Par contre, l'aspect général des demi-produits est affecté, ce qui est sans importance quand ces demi-produits se retrouvent dans des endroits cachés au regard ou peints.



Figure 53

Remarque : Le stockage idéal est fait dans un local couvert à l'abri des intempéries, les demi-produits en position verticale, les tôles ou les profilés séparés les uns des autres pour éviter la pénétration d'humidité entre eux. En position horizontale, les demi-produits sont séparés par des cales en bois.

(1) Ces taches ont le même contour sur les deux faces en regard. Elles sont symétriques par rapport à l'axe parallèle aux côtés des tôles (ou des profilés).

(2) Il va de soi que l'intensité de ces altérations risque d'augmenter avec l'agressivité de l'atmosphère si celle-ci est très polluée par des rejets industriels, des fumées, etc.

FLYINGCAT 3



2. | LE DÉCOUPAGE

Les outils habituels de découpe des alliages d'aluminium sont les mêmes que pour l'acier. Ce sont :

- la cisaille à levier ou à guillotine,
- la scie à ruban,
- la scie circulaire,
- le plasma,
- le jet fluide.

Les trois premiers outils (et le plasma) sont utilisés pour des découpages manuels, alors que le plasma et le jet fluide sont les moyens privilégiés des débitages automatisés à partir de programmes délivrés par les logiciels de construction navale.

Quand le découpage est manuel, les pièces à découper sont préalablement délimitées par un traçage. Pour ne pas laisser d'empreintes gravées dans la tôle, qui pourraient devenir des amorces de criques sous l'effet de contraintes en service, il faut éviter les pointes métalliques à tracer.

Il est préférable d'utiliser un crayon de dureté moyenne, par exemple le 5H (3) dont le trait présente l'avantage d'être très visible et aussi facilement effacé, si une correction s'avère nécessaire.

2.1 | Cisaille à levier ou à guillotine

Ces outils sont utilisés pour des coupes droites. Pour découper les alliages d'aluminium, on utilise des machines de même puissance que pour l'acier non allié E24.

L'état de surface de l'arête de la lame de découpe doit être aussi soigné que possible. Une rugosité R_a inférieure à 0,1 micromètre, sur un acier de type Z160CDV12, réduit les risques de grippage éventuels.

Pour éviter que les tôles ne subissent une déformation, il faut ménager une « fente de coupe » appropriée entre la lame et le bâti. Le réglage optimal croît avec la résistance au cisaillement du métal. Le jeu est plus faible pour les tôles à l'état recuit que pour celles aux états écrouis.

En pratique, il n'est pas recommandé de découper des tôles de plus de 10 mm d'épaisseur avec ces outils. Si tel est le cas, la découpe introduit des contraintes sur les tranches qui peuvent se traduire ultérieurement par de fortes corrosions par piqûres sur les bords de coupe et induire aussi des fissurations.

2.2 | Scie à ruban

Elle s'impose pour les tôles d'épaisseur supérieure à 10 mm et pour le découpage des profilés.

Les lames de sciage de l'aluminium sont spéciales. Pour faciliter la fragmentation et l'évacuation des copeaux, elles se différencient des lames pour l'acier par un pas plus grand (un espace plus important entre deux dents) et un fond de denture plus large (figure 54).

Le pas des dents doit être tel qu'il y ait toujours deux dents engagées dans l'épaisseur du métal en cours de découpe. *A contrario*, ce critère a pour conséquence de définir une épaisseur minimale apte à être découpée avec cet outil.

La vitesse de sciage de l'aluminium est supérieure à celle de l'acier, elle peut atteindre 1 000 mm.min⁻¹. La lubrification, à l'huile soluble ou à l'huile de coupe, est obligatoire pour les grandes longueurs et les grandes vitesses de coupe.

Si la lame de scie est bien adaptée à l'aluminium et si les paramètres de coupe sont bien réglés, le sciage donne des coupes nettes, franches et sans bavures.

Remarque : Sur des tôles de faibles épaisseurs, de moins de 6 mm, il est possible d'utiliser des scies sauteuses. Elles ont l'avantage d'être très faciles à manier et de permettre des coupes non rectilignes.

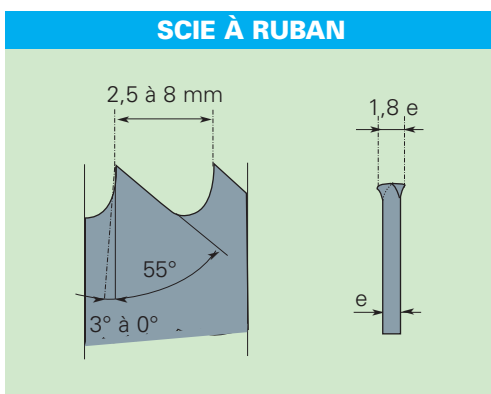


Figure 54

(3) Pour les surfaces appelées à être en contact avec de l'eau ou de l'humidité, il faut éviter d'utiliser des marqueurs chargés en graphite.

2.3 | Scie circulaire

Encore appelée scie fraise, son mode de fonctionnement s'apparente effectivement au fraisage.

Les caractéristiques des lames de scie fraise adaptée à l'aluminium sont indiquées sur la figure 55.

Sur les demi-produits des familles 5000 et 6000, les vitesses de coupe peuvent atteindre 600 à $1\,000$ $\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$ avec des lames en acier rapide et 800 à $1\,500$ $\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$ avec des lames à carbures métalliques.

Comme pour la scie à ruban, il est indispensable de lubrifier la lame pour les coupes longues et les fortes vitesses.

Les valeurs de p et de h dépendent du diamètre de la scie.

Remarque: L'usage de la scie fraise portable est possible sur des produits dont l'épaisseur ne dépasse pas 20 mm.

2.4 | Le plasma

L'utilisation industrielle de la découpe au plasma des métaux remonte aux années 1950.

La découpe du métal est due à la combinaison des effets thermiques et cinétiques d'un arc plasma, généré par une torche spéciale dont la trajectoire est celle des contours de la pièce à découper.

L'arc plasma est créé par le passage d'un courant électrique dans un flux gazeux, encore appelé gaz plasmagène, porté à sa température d'ionisation.

Pour obtenir les caractéristiques requises pour la découpe, l'arc plasma traverse un diaphragme de faible diamètre énergiquement refroidi, encore appelé tuyère, provoquant, par confinement, une très forte élévation de la température et de la vitesse d'écoulement du jet d'arc plasma ainsi formé.

À titre indicatif, l'intensité du courant débité dans la colonne d'arc plasma peut être comprise entre 10 et $1\,000$ A, le diamètre du jet issu de la tuyère va de quelques dixièmes de millimètres à quelques millimètres, la tempé-

ture au cœur du jet de $15\,000$ à $30\,000$ K et la vitesse d'éjection à la sortie de la tuyère de Mach 1 à Mach 2.

Le procédé de découpe plasma des matériaux métalliques s'opère à arc transféré, c'est-à-dire qu'il est établi entre une électrode réfractaire (pôle -) et la pièce à couper (pôle +) (figure 56).

Ce flux de plasma très rigide et à très haute température fond le métal dans toute son épaisseur et l'éjecte hors de la saignée grâce à l'énergie cinétique due à la très forte vitesse du plasma.

Le choix du gaz est fonction des épaisseurs à couper mais aussi de critères tels que la qualité de coupe, la productivité et le coût d'exploitation (tableau 45, p. 78).

La découpe au plasma peut être manuelle avec les procédés à air comprimé et les mélanges argon-hydrogène, ou automatique (sur machines).

Le plasma manuel sert principalement sur chantier pour les reprises de coupes non prévues, par exemple des passages de tuyauteries dans des cloisons. La découpe est précise quand on utilise un gabarit. En manuel et

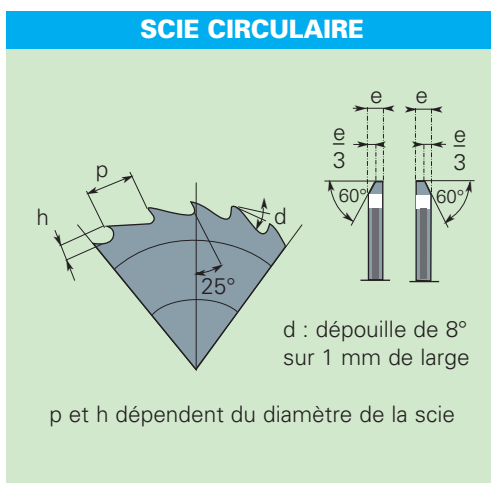


Figure 55

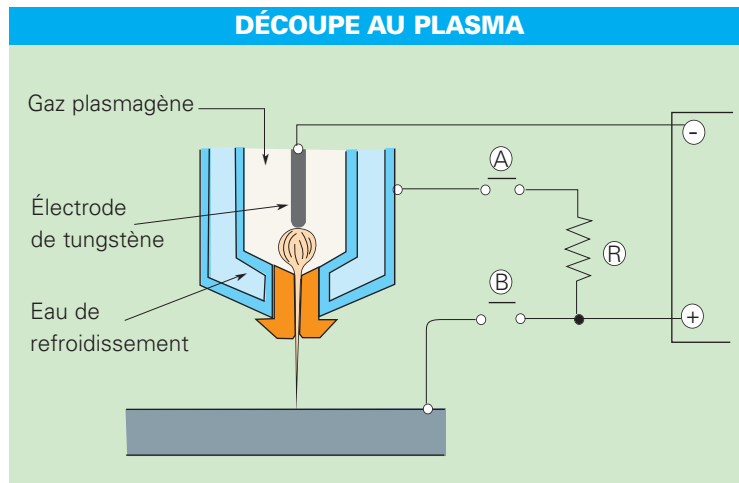


Figure 56

moyennant un peu d'habileté, il est possible de découper jusqu'à 50 mm d'épaisseur.

Le plasma automatique se pratique sur des bancs de découpe linéaires ou de contournement (tels que les machines X-Y à commande numérique ou les robots polyarticulés). Le trajet de la torche est piloté par des logiciels de gestion des axes machine associés à des logiciels de définition géométrique et d'imbrication des pièces à découper, qui optimisent la disposition des pièces dans le format de tôle et les trajectoires de découpe pour réduire au mieux les chutes.

Il existe deux techniques de découpage au plasma (figure 57) :

- le plasma « sec » sur banc, à l'air libre. La dépouille peut atteindre 5° avec un mélange de gaz plasmagène argon-hydrogène,

- le plasma à vortex d'eau : la tôle à découper est placée dans un bac rempli d'eau. La torche est partiellement immergée. La dépouille est plus faible, de l'ordre de 2 à 3° (4).

Par rapport au plasma argon-hydrogène, fonctionnant à l'air libre, le plasma à vortex d'eau permet des vitesses de coupe plus élevées. Mais, par contre, il nécessite plus de puissance électrique, à épaisseur égale. Sous argon-hydrogène, on peut découper de fortes épaisseurs,

jusqu'à 150 mm. La précision géométrique des pièces coupées est de l'ordre du millimètre.

Du fait de l'apport d'énergie lors de la fusion localisée du métal, il y a diffusion de la chaleur de part et d'autre de la saignée de coupe et donc échauffement sur une largeur de l'ordre du millimètre, quel que soit l'alliage et quelle que soit l'épaisseur. Comme lors du soudage à l'arc (5), cette « zone affectée thermiquement » subit un recuit (au sens métallurgique).

Une reprise par usinage sur une largeur de 2 mm l'élimine, opération bien évidemment inutile quand le format découpé est destiné à un assemblage par soudage à l'arc.

Remarque : Le procédé d'oxycoupage au *chalumeau oxy-acétylénique*, très répandu pour la découpe de l'acier doux, n'est pas du tout utilisable pour l'aluminium.

(4) Lors de la découpe au plasma sous vortex d'eau, les fines particules d'aluminium peuvent réagir avec l'eau et dégager de l'hydrogène. Il faut donc veiller à éviter toute accumulation de ce gaz qui peut provoquer des explosions locales.

(5) Cf. chapitre 6.

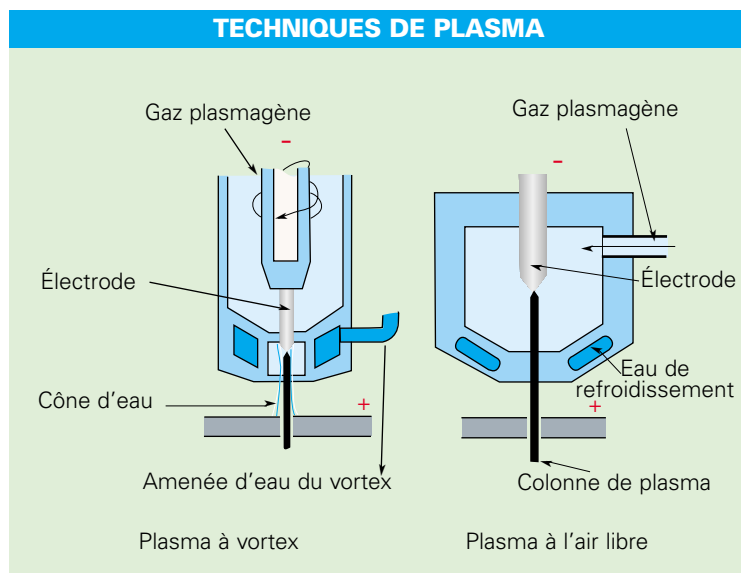


Figure 57

GAZ PLASMAGÈNES		
Épaisseur (mm)	Gaz	Remarques
0,4 - 15	Oxygène	Grandes vitesses de coupe
0,4 - 30	Air comprimé	Faibles coûts d'exploitation
8 - 150	Mélange Argon (80 à 65 %)-Hydrogène (20 à 35 %)	Meilleure qualité de coupe
1 - 70	Azote + Post-injection d'eau	Si la pièce à découper est immergée dans l'eau, réduit les nuisances (bruit, fumées et rayonnement)

Tableau 45

2.5 | La découpe au jet fluide

Le découpe au jet fluide est faite par un jet d'eau calibré chargé de particules abrasives (des grains de grenat, de corindon ou d'autres minéraux très durs). L'eau est propulsée dans une buse à très haute pression, 3000 bars et plus, sur le produit à découper disposé sur un banc rempli d'eau (figure 58).

La découpe au jet d'eau produit une découpe nette, sans dépouille, avec une grande précision.

Sur l'aluminium, le découpage est possible pour des épaisseurs comprises entre 1 et 100 mm avec des vitesses respectives de 3500 à 30 mm.mn⁻¹.

Contrairement aux plasmas, il n'y a pas de zone affectée thermiquement de part et d'autre du sillon de découpe puisqu'il n'y a pas apport de chaleur.

(6) Pour la signification des états métallurgiques, consulter le paragraphe 4.3 du chapitre 3.

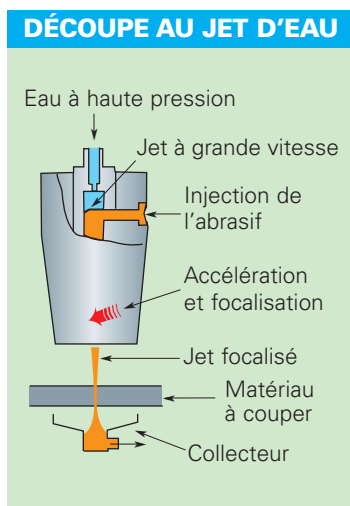


Figure 58

3. | LA MISE EN FORME

En construction navale, il s'agit essentiellement de pliage et de formage éventuel des tôles, et du cintrage des profilés.

La mise en forme exigeant une plasticité suffisante du métal, il va de soi que l'état métallurgique des demi-produits est un paramètre important à prendre en compte pour la livraison et pendant la mise en forme si celle-ci provoque un écrouissage important.

3.1 | Influence de l'état métallurgique

La plupart des alliages d'aluminium utilisés en construction navale et dans les équipements du littoral appartiennent à :

- la famille 5000 (alliages aluminium-magnésium); principalement sous forme de tôles, les alliages les plus courants sont: 5754, 5086, 5083, 5383. Ils présentent tous une très bonne aptitude à la déformation, surtout aux états recuits O et recuits planés H111. Ce sont ces états qu'il faut choisir en priorité pour avoir la meilleure aptitude à la déformation. Celle-ci décroît pour l'état H116 et plus encore pour l'état H321.

- la famille 6000 (alliages aluminium-silicium-magnésium); principalement sous forme de profilés, les alliages les plus courants sont: 6005A, 6082 et 6061. Comme tous les 6000, ce sont des alliages à durcissement structural. Les demi-produits sont livrés à l'état T6 ou T5, plus rarement aux états T4 ou T1 (6). Bien que l'aptitude au formage de ces alliages aux états revenu (T6 ou T5) soit réduite, la mise en forme doit être faite à froid et non à chaud. Le chauffage aurait un effet de recuit entraînant une chute importante des caractéristiques mécaniques.

3.2 | Le pliage des tôles

Les plieuses à tablier et les presses à plier classiques conviennent parfaitement, à condition que les outils ne présentent pas d'irrégularités inacceptables.

Si, pour des raisons d'esthétique, on ne souhaite pas avoir de traces des mors de serrage des tôles, il faut protéger la surface en contact avec une feuille de papier kraft ou de plastique.

Pour éviter la formation de criques lors du pliage, quand des plis se croisent, un trou doit être percé à leur intersection (figure 59). Le diamètre du trou croît avec l'épaisseur de la tôle. Ainsi, il est de 4 mm sur une tôle de 1 mm d'épaisseur et de 6 mm pour une tôle de 2 mm d'épaisseur.

Les alliages d'aluminium ne sont jamais pliés à angle vif. Le rayon intérieur de pliage dépend de l'épaisseur de la tôle à plier (tableau 46).

Remarque: Il ne faut jamais mettre en forme des tôles (ou des profilés) en alliage d'aluminium à l'intérieur desquelles des formes ont été prédécoupées. Les évidements doivent toujours être faits après la mise en forme, à la scie sauteuse, par exemple.

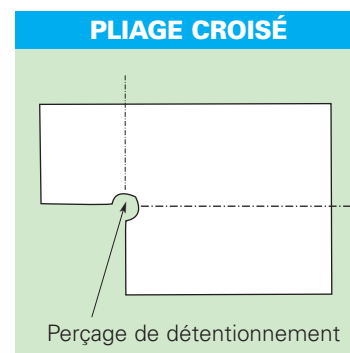


Figure 59

RAYONS INTÉRIEURS DE PLIAGE À FROID, À 90 ° - VALEURS TYPIQUES (*)

Alliage	Épaisseur (mm)			
	État métallurgique	1,5 - 3,0	3,0 - 6,0	6,0 - 12,5
5454	O et H111	1,0 e	1,5 e	2,5 e
	H24 et H34	2,5 e	3,0 e	4,0 e
5754	O et H111	1,0 e	1,0 e	2,0 e
	H24 et H34	2,0 e	2,5 e	3,0 e
5083	O et H111	1,0 e	1,5 e	2,5 e
	H116	2,0 e	2,5 e	4,0 e
	H24 et H34	2,5 e	3,5 e	4,5 e
5383	O et H111	1,0 e	1,5 e	2,5 e
	H116	2,0 e	2,5 e	4,0 e
	H24 et H34	2,5 e	3,5 e	4,5 e
5086	O et H111	1,0 e	1,5 e	2,5 e
	H116	2,0 e	2,5 e	3,5 e
	H24 et H34	2,5 e	3,5 e	4,5 e
6061	O	1,0 e	1,0 e	2,0 e
	T6 (**)	3,5 e	4,0 e	5,0 e
6082	O	1,0 e	1,5 e	2,5 e
	T6 (**)	3,5 e	4,5 e	6,0 e

(*) Extraits de la norme EN 485-2, décembre 2001.

Tableau 46

(**) Sur « trempe fraîche », il est possible de plier les tôles de ces alliages sur des rayons nettement plus courts.

3.3 | Les surfaces non développables

Pour éviter la formation de criques aux endroits de déformation profonde, il faut affranchir les bords des tôles des rayures ou griffures formées lors du découpage.

Si l'écrouissage devient trop important au point de rendre difficile la mise en forme, il faut alors pratiquer un recuit intermédiaire, soit au four, soit au chalumeau oxy-acétylénique.

Dans ce dernier cas, il faut suivre la montée en température. On peut soit utiliser du suif comme indicateur de température (il vire au brun vers 340 °C), soit utiliser des crayons thermochromes qui ont la propriété de changer de couleur en fonction de la température.

3.4 | Le cintrage des tubes et des profilés

Le cintrage peut être fait manuellement sur des formes en bois pour les profils minces ou en acier pour les profils plus épais. Si cela est nécessaire, les tubes sont remplis de sable et les profilés renforcés intérieurement pour éviter leur affaissement ou leur déformation.

Le cintrage peut être fait avec des presses adaptées (cintreuse à trois galets, etc.). Le cintrage des alliages de la famille 6000 à l'état T6 doit être fait de préférence à froid pour ne pas abaisser les caractéristiques mécaniques de l'état de livraison. Si cela s'avère impossible, il faut alors cintrer sur état trempé T1 ou T4 et faire ensuite un revenu aux conditions habituelles de température et de durée.



POUTRE RECONSTITUÉE PAR SOUDAGE DE TÔLES



PATROUILLEURS