



L'extrusion de l'aluminium

Sofiène Amira et Maurice Duval

17 juillet 2019

L'extrusion de l'aluminium

Introduction

L'extrusion est un procédé par lequel le métal, sous forme de billette à l'origine, est poussé sous forte pression par l'action d'un piston à travers une filière, pour en sortir sous la forme d'un profilé.

L'extrusion des alliages d'aluminium peut se faire à froid dans le cas des alliages à faible résistance mécanique et à grande ductilité (séries 1000 et 3000), et à chaud essentiellement dans le cas des alliages à plus haute résistance mécanique comme les séries 2000 et 7000, mais également les séries 5000 et 6000. Les alliages d'aluminium sont considérés comme les matériaux qui conviennent le plus à l'extrusion et se distinguent par une variété de profilés inégalée par rapport aux autres matériaux. La figure 1 donne un exemple de la variété de ces profilés.

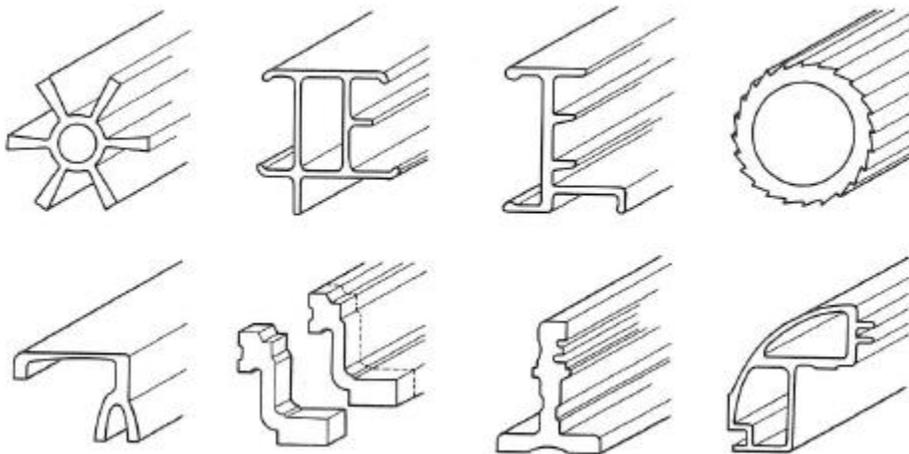


Figure 1. Exemples de profilés d'aluminium

Étant donné que l'obtention de longs profilés aux formes complexes avec une bonne résistance mécanique qui sont très en demande par le marché, se fait essentiellement par extrusion à chaud, ce procédé sera traité exclusivement dans ce qui suit.

Types de profilés

Il existe divers types de profilés extrudés. Selon l'allure de la section transversale, trois catégories de profil sont définies : profilés creux, profilés semi-creux et profilés pleins. Tel qu'illustré sur la figure 1, le profilé creux correspond à une section ayant une géométrie fermée. Le centre de cette géométrie est vide. Le profilé semi-creux est similaire au profil creux. Il est vide en son centre, toutefois la géométrie de section n'est pas fermée. Pour sa part, la géométrie de section du profil plein n'occasionne aucun vide particulier.

Méthodes d'extrusion

Il existe deux méthodes d'extrusion à chaud :

Extrusion directe (vers l'avant) : le piston se déplace dans la même direction que la section extrudée, ce qui entraîne le déplacement de la billette par rapport au conteneur (Figure 2.a).

Extrusion indirecte (vers l'arrière) : le piston est poussé contre la billette dans le sens opposé à celui de la sortie du profilé. La billette reste immobile dans le conteneur (Figure 2.b).

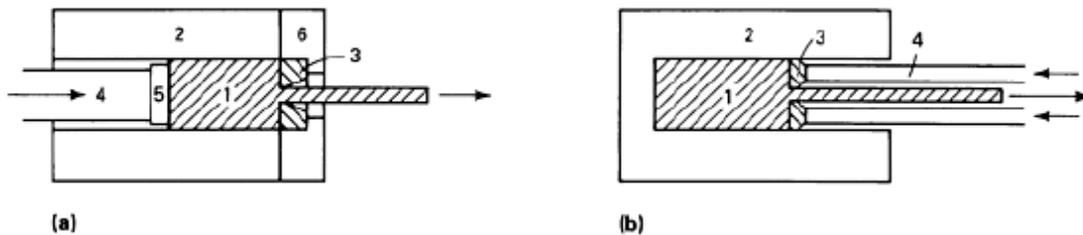


Figure 2. Principe des méthodes d'extrusion : (a) Extrusion directe, et (b) Extrusion indirecte

L'extrusion directe est le mode de production le plus simple et peut être réalisée sans lubrification. De même, l'extrusion directe permet de confiner les oxydes présents initialement à la surface de la billette au bout du profilé (à cause de la friction avec le contenant) et de produire un produit avec un beau fini de surface. Cependant, l'extrusion indirecte a l'avantage de nécessiter une charge maximale de 25 à 30% de celle de l'extrusion directe (voir Figure 3), de produire une chaleur et une friction minimale, ce qui minimise les défauts de surface (comme les déchirures à chaud) et augmente la durée de vie de l'outillage. Cependant, la faible friction lors de l'extrusion ne permet pas de retenir les oxydes présents initialement à la surface de la billette au bout du profilé. Ces oxydes se retrouvent donc à surface du produit fini, ce qui impose l'utilisation de billettes usinées dans ce cas.

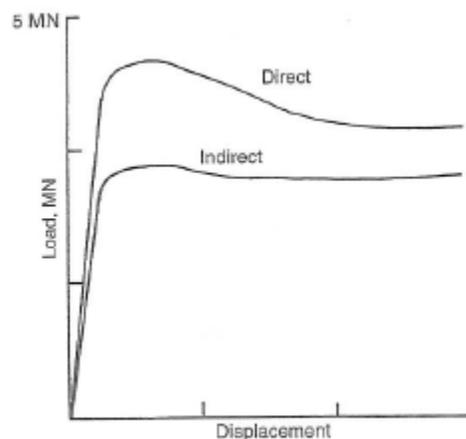


Figure 3. Variation de la charge en fonction du déplacement du piston dans le cas de l'extrusion directe et indirecte

Paramètres affectant le procédé

Vitesses d'extrusion et température

La température développée durant l'extrusion a une grande influence sur la vitesse du procédé, notamment dans le cas des alliages d'aluminium à haute résistance mécanique (séries 2000 et 7000). Les billettes d'alliages d'aluminium sont généralement chauffées entre 350 et 500°C à l'entrée de la presse. Lors de l'extrusion, la température du matériau est affectée par plusieurs facteurs comme la chaleur générée par la déformation plastique et le cisaillement et la friction entre le matériau et l'outillage, ainsi que le transfert de chaleur dans la billette, et entre la billette et l'outillage. Ces phénomènes se produisent simultanément ce qui explique la relation complexe qui existe entre le matériau à extruder et les paramètres du procédé, comme la température des billettes, la friction, la température et le matériau de l'outil, la vitesse d'extrusion, la forme à extruder et le rapport d'extrusion R (rapport entre l'aire de la section transversale de la billette et celui de la pièce à extruder).

La figure 4 montre la relation entre la contrainte d'écoulement et la vitesse d'extrusion de certains alliages d'aluminium. On note que la vitesse d'extrusion est très affectée par la contrainte d'écoulement du matériau qui dépend elle-même de la température d'extrusion comme le montre la figure 5. Ainsi, les vitesses d'extrusion sont particulièrement élevées pour les alliages 'mous' comme le 1050 et le 3003, mais très basses pour les alliages 'durs' comme le 7075 et le 2024.

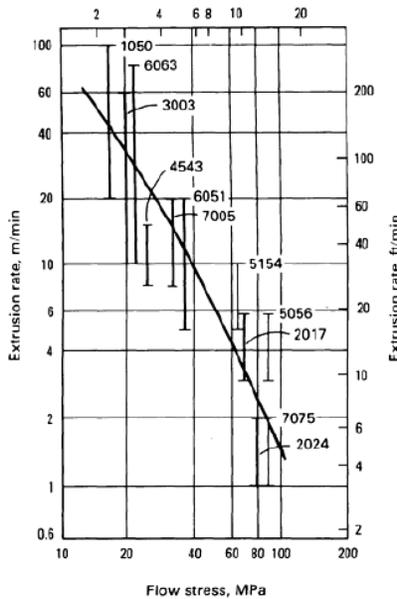


Figure 4. Relation entre la contrainte d'écoulement et la vitesse d'extrusion des alliages d'aluminium

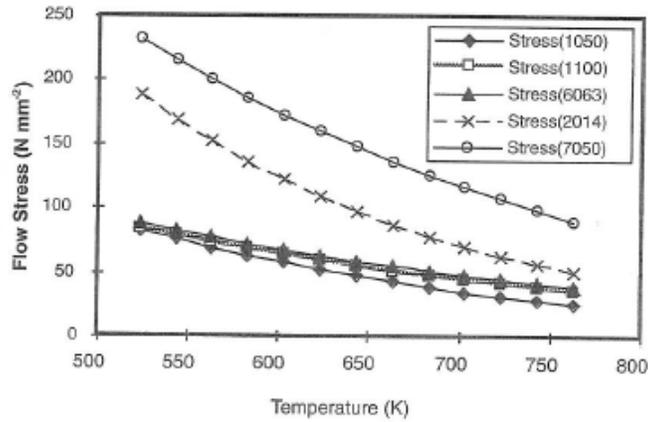


Figure 5. Variation de la contrainte d'écoulement d'alliages Al en fonction de la température

D'un autre côté, la vitesse et la longueur d'extrusion entraînent affectent de la température dans le matériau extrudé pendant le procédé, notamment à cause de la friction entre le matériau et l'outil. La température du matériau extrudé est un facteur très important pour l'obtention de profilés exempts de défauts de surface et de déchirures à chaud. La figure 6 montre l'effet de la vitesse et de la longueur d'extrusion sur l'augmentation de température d'un alliage 1100.

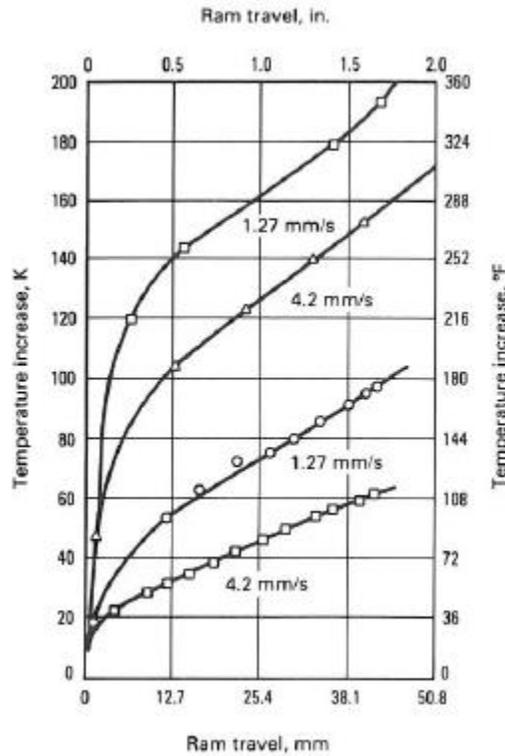


Figure 6. Effet de la vitesse et de la longueur d'extrusion sur l'augmentation de température de billette d'un alliage 1100

La composition et la température de solidus de l'alliage

Un alliage dilué possède une température de solidus élevée, ce qui minimise les risques de la fusion locale lors de l'extrusion et les risques associés (déchirures et les stries longitudinales (pick up)). Par contre, une billette d'un alliage avec une température de solidus basse peut voir sa température augmenter lors de l'extrusion pour dépasser la température du solidus, ce qui entraîne une fusion locale donnant naissance au phénomène de fragilité à chaud ainsi qu'à la formation de défauts comme les déchirures et les stries longitudinales (pick up).

Épaisseur du profilé à extruder

L'augmentation de l'épaisseur du profilé à extruder entraîne l'augmentation de la vitesse d'extrusion et de la température de la billette.

Outils

La plupart des outils utilisés pour l'extrusion à chaud des alliages d'aluminium comme la filière, l'anneau de filière, la pièce d'appui (backer), la pièce de soutien (bolster), la chemise (carrier) sont généralement fabriqués à partir des aciers à outils H11, H12 et H13. La figure 7 donne les détails d'un assemblage d'outils destinés à l'extrusion d'une forme rectangulaire, ainsi que leur emplacement dans la chemise.

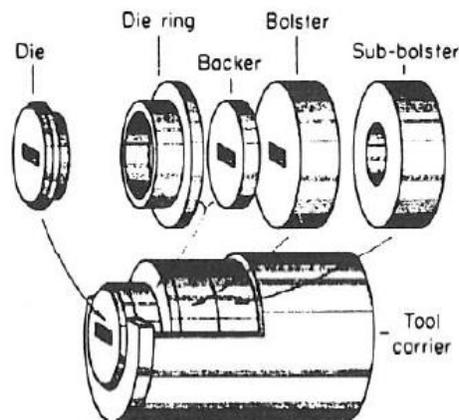


Figure 7. Détails d'un assemblage d'outils destinés à l'extrusion d'une forme rectangulaire

Paramètres opératoires

Préparation des billettes

La plupart des matériaux métalliques destinés à l'extrusion sont coulés sous forme de cylindres longs de 3,7 à 6 m (12 à 20 pieds) ou plus. Ces cylindres sont ensuite coupés en billettes de longueurs différentes dépendamment de la longueur du profilé à extruder.

Une préparation additionnelle des billettes peut être nécessaire comme l'usinage de la peau afin d'éliminer les oxydes et impuretés dans le cas de l'extrusion indirecte. Avant l'extrusion, les billettes subissent généralement un traitement thermique d'homogénéisation. Ce traitement facilite l'extrusion et améliore le fini de surface du produit final.

La température des billettes est un paramètre déterminant dans la réussite de l'extrusion. En effet, une billette portée à très haute température peut causer des cloques (blisters) ou se fissurer lors de l'extrusion. À l'opposé, une billette froide augmente la pression exigée et réduit la durée de vie de l'outillage.

Pressions exigées

La pression d'extrusion est un paramètre déterminant pour la sélection des presses. La pression d'extrusion dépend de plusieurs paramètres comme la forme du profilé, la friction, le matériau à extruder, la température de la billette, le rapport ainsi que la vitesse d'extrusion. Les pressions fournies par les presses d'extrusion de l'aluminium sont comprises généralement entre 450 et 750 MPa (65 à 110 ksi) avec un maximum d'environ 1035 MPa (150 ksi). Le tableau 1 donne un aperçu sur les capacités typiques des presses d'extrusion (à chaud) des alliages d'aluminium.

Tableau 1. Capacités typiques des presses d'extrusion (à chaud) des alliages d'aluminium

Max Press Force		Max Billet Length		Max Billet Diam		Max Billet Weight		Max Unit Pressure on Metal	
tons	MN	in.	mm	in.	mm	lb	kg	ksi	MPa
500	4.45	12	305	3 1/2	89	11.5	5.2	91	627.4
				4	102	15	6.8	70.5	486.1
900	8.0	18	457	4 1/2	113	28.5	12.9	101.5	699.8
				5	127	35	15.9	79.5	548.1
1400	12.5	24	610	5	127	47	21.3	123	848.1
				6	152	67.5	30.6	88	606.7
1650	14.7	32	813	6	152	90	40.8	103	710.2
				7	178	123	55.8	77	530.9
				8	203	160	72.6	60	413.7
1675	14.9	26	660	6	152	73	33.1	104.5	720.5
				7	178	100	45.4	78	537.8
				8	203	130	59.0	61	420.6
1800	16.0	34	864	7	178	130	59.0	84	579.2
				8	203	170	77.1	65.5	451.6
2000	17.8	34	864	7	178	130	59.0	93.5	644.7
				8	203	170	77.1	73	503.3

2200	19.6	36	914	7	178	138	62.6	103	710.2
				8	203	180	81.6	80	551.6
				9	229	228	103.4	65.5	451.6
2500	22.2	36	914	7	178	138	62.6	117	806.7
				8	203	180	81.6	91	627.4
				9	229	228	103.4	74.5	513.7
2750	24.5	36	914	8	203	180	81.6	100	689.5
				9	229	228	103.4	82	565.4
				10	254	282	127.9	66.5	458.5
3000	26.7	38	965	8	203	190	86.2	109	751.5
				9	229	241	109.3	89	613.6
				10	254	298	135.2	72.5	499.9
3500	31.1	38	965	9	229	241	109.3	104	717.1
				10	254	298	135.2	85	586.1
				12	305	429	194.6	59	406.8
3750	33.4	38	965	9	229	241	109.3	111.5	768.8
				10	254	298	135.2	91	627.4
				12	305	429	194.6	63.5	437.8
4000	35.6	40	1016	10	254	314	142.4	97	668.8
				12	305	452	205.0	68	468.8
				13	330	530	240.4	57.5	396.4
4500	40.0	42	1067	10	254	330	149.7	109	751.5
				12	305	475	215.5	76	524.0
				14	356	647	293.5	56	386.1
5000	44.5	45	1143	12	305	508	230.4	85	586.1
				14	356	698	316.6	62	427.5
				16	406	904	410.1	47.5	327.5
5500	48.9	45	1143	12	305	508	230.4	93.5	644.7
				14	356	698	316.6	68	468.8
				16	406	904	410.1	52.5	362.0
6000	53.4	54	1372	12	305	610	276.7	102	703.3
				14	356	831	376.9	74.5	513.7
				16	406	1085	492.2	57	393.0
				18	457	1374	623.2	45	310.3
8000	71.2	64	1626	13	330	851	386.0	115	792.9
				16	406	1286	583.3	76	524.0
				18	457	1628	738.5	60	413.7
				20	508	2010	911.7	49	337.8

Vitesses d'extrusion

Une vitesse d'extrusion optimale est un autre paramètre déterminant en extrusion à chaud des alliages d'aluminium. Une vitesse excessive peut causer une surchauffe de la billette et des déchirures ainsi que d'autres défauts. D'un autre côté, une vitesse trop lente entraîne une réduction de la productivité et une augmentation de la pression d'extrusion à cause du refroidissement de la billette, en plus de diminuer la durée de vie de l'outillage à cause du contact prolongé avec la billette. Les vitesses d'extrusion typiques des alliages d'aluminium varient entre 13 et 25 mm/s (0,5 à 1,0 po./s).

Problèmes et dépannage

Fissures superficielles (Figure 8)

Causes possibles : Une vitesse d'extrusion trop élevée, un frottement trop important ou une température trop élevée. À des températures très basses, le phénomène de stick-slip (marche par saccade) peut provoquer des fissures.

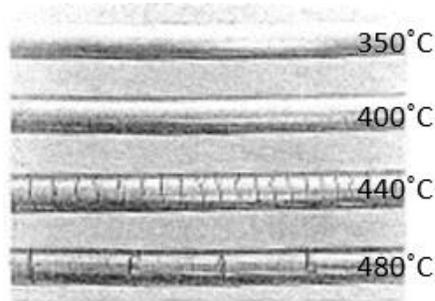


Figure 8. Relation entre la température des billettes sur la formation de fissures superficielles.

Fissures intérieures

Causes : Ces défauts se produisent dans des conditions de faible frottement et un faible taux d'extrusion. Un angle de filière grand ainsi qu'un rapport élevé de la hauteur et la longueur de la zone de déformation (h / L), peuvent favoriser ces défauts.

Bandes d'oxydes intérieures

Causes : Inhomogénéité de la déformation provoquant l'entraînement des oxydes présent à la surface de la billette vers le centre. Solutions suggérées : réduire la friction et la différence de température entre le centre et la périphérie de la billette.

Formation de stries longitudinale (pick up, Figure 9)

Causes : augmentation de la température de la billette au-delà de la température du solidus, à cause d'une vitesse d'extrusion élevée combinée à une température élevée de la billette et d'une basse température du solidus (un alliage concentré). Solutions suggérées : baisser la vitesse d'extrusion, la température de la billette et/ou choisir un alliage dilué.

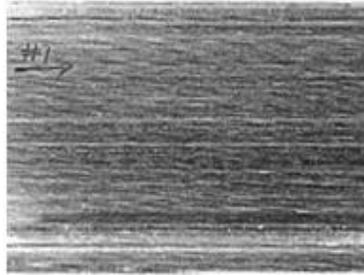


Figure 9. Vue générale de stries longitudinales formées sur un profilé d'extrusion

Présence de grosses particules de $MgSi_2$ (cas des alliages de la série 6000, Figure 10)

Causes : la température de la billette et la vitesse d'extrusion sont insuffisantes pour dissoudre les particules $MgSi_2$, ce qui peut ultérieurement compromettre la réponse aux traitements thermiques et l'obtention de propriétés mécaniques optimales. Solutions suggérées : augmenter la température de la billette et la vitesse d'extrusion pour dépasser la température du solvus et dissoudre les particules $MgSi_2$.



Figure 10. Exemple de particules $MgSi_2$ (en blanc) formées à la surface d'un profilé en alliage de la série 6000

Auteurs : Sofiene Amira et Maurice Duval

Références

- Illinois, The Aluminum Extruders Council, Extrusion Alloys Spotlight, 1998, http://www.aec.org/assets/pdfs/spotlight_alloys.pdf
- Suède, Uddeholm, Die steels and components for extrusion, 2000, <http://www.uddeholm.com/files/extrusiontooling-english.pdf>

- Bruxelles, European Aluminium Association, Groupement des Lamineurs et Fileurs d'Aluminium, TALAT Training in Aluminium Application Technologies (Cours sur les applications de l'aluminium) version 2.0, 2000. <http://www.compes.it/eng/dies.html#>