

Cours GPA 725
Conception Assistée par Ordinateur de
Composants Aéronautiques

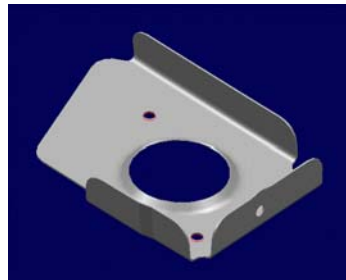
Conception de pièces de métal en feuille

*Par Louis Rivest, ing., Ph.D.
Génie de la production automatisée
École de technologie supérieure*

Hiver 2013

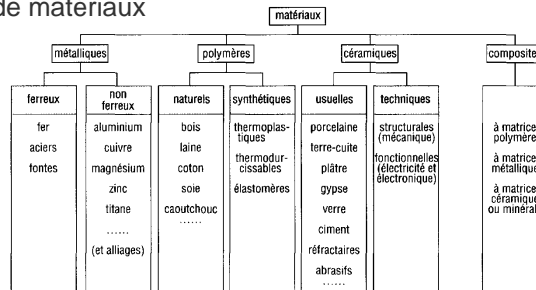
Sommaire

- Matériaux
- Introduction aux pièces Métal en feuille
- Règles de base en conception
- Mise à plat
- Dessin de pièces de métal en feuille



Matériaux

- Principales familles de matériaux

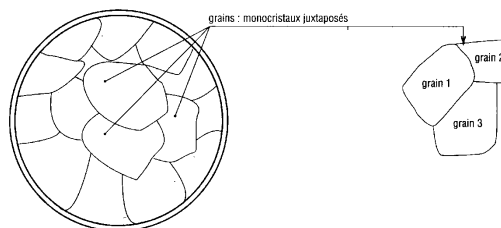


- Aciers et alliages à base de fer: 90% production des matériaux métalliques
- Production d'aluminium environ 2% de celle des aciers, mais 2^e position
- Utilisation : 82% des pièces structurales d'un Boeing 747 sont à base d'aluminium; 787: 20% (50% Composites...)

Matériaux

- Structure cristalline des métaux

- Façon dont les atomes sont empilés
- Les métaux sont formés de monocristaux, ou **grains**, juxtaposés
- Cette structure cristalline est à l'origine des propriétés mécaniques

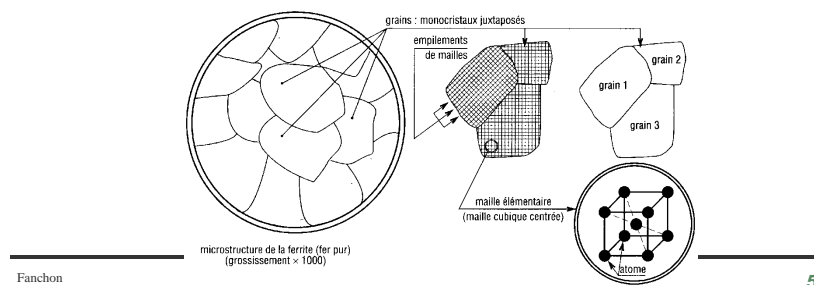


microstructure de la ferrite (fer pur)
(grossissement x 1000)

Matériaux

- Mailles

- À l'intérieur des grains, les atomes sont disposés régulièrement et forment des **mailles** élémentaires
- Les empilements de mailles élémentaires forment des réseaux cristallins
- Mailles: Cubique centrée, Cubique à face centrées, ...



Matériaux

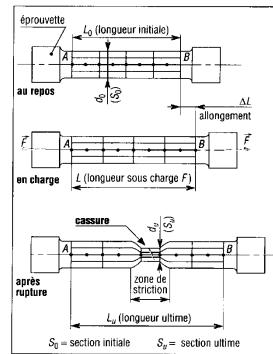
- Structure cristalline de l'aluminium
 - Maille cubique à face centrée
 - Grande ductilité
- Ductilité
 - Aptitude à se déformer plastiquement sans se rompre

Structures cristallines des métaux : principales mailles			
type	maille cubique centrée	maille cubique à face centrée	maille hexagonale compacte
exemples	fer α , Mn, Cr, W, Mo, V, Nb, Li, Zr, Ta, Ba, Ti ($> 882^\circ\text{C}$)...	fer γ , Al, Cu, Ag, Co, Pb, Ni, Au, Pt, Sr...	Mg, Zn, Cd, Be, Co ($< 419^\circ\text{C}$), Ti ($< 882^\circ\text{C}$)...
propriétés	haute résistance peu ductile	résiste au cisaillement très ductile	fragile peu ductile

4. Structures cristallines des métaux : principales mailles.

Matériaux

- On caractérise un matériau par des essais de traction
- On exerce sur une éprouvette deux forces égales et opposées qui vont la déformer progressivement puis la rompre



Fanchon

Conception Métal e 2. Eprouvette en cours d'essai.

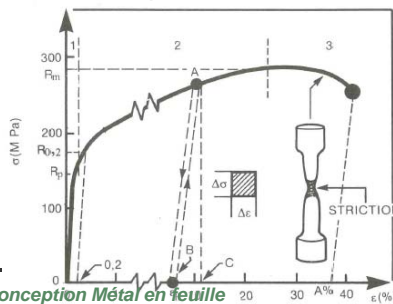
7

Matériaux

- Courbe contrainte-déformation obtenue pour matériau ductile
- Zone élastique
 - Allongement proportionnel à la contrainte
- Limite élastique, $R_{0.2}$
 - Fin du comportement élastique

Figure 3.3 — Courbe de traction d'un matériau ductile.

Zone 1 = domaine élastique
 Zone 2 = domaine de déformation plastique homogène
 Zone 3 = domaine de déformation plastique ou inhomogène (phénomène de striction).



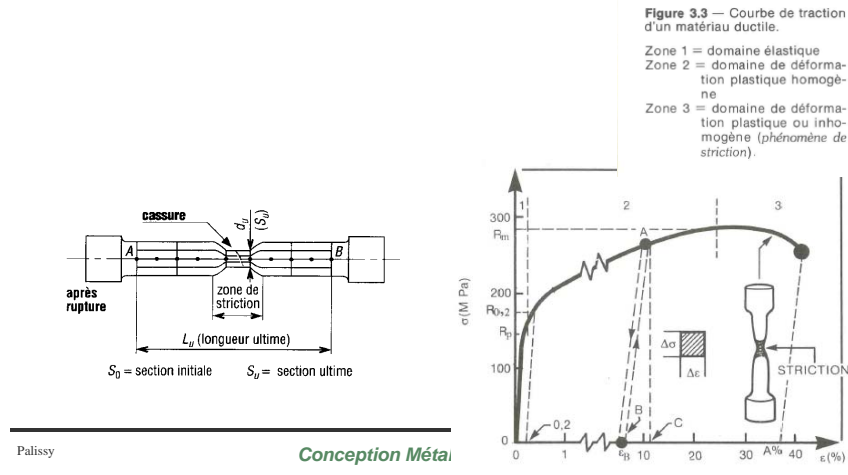
Palissy

Conception Métal en feuille 20 30 40 A% 40 ε(%)

8

Matériaux

- Résistance à la rupture, R_m
 - Contrainte maximale applicable, *Ultimate Strength*



Matériaux

- Modification des propriétés mécaniques de l'aluminium
 - Durcissement par écrouissage (déformation plastique)
 - Durcissement structural (alliages et traitement thermiques)
 - Recuit (restauration des propriétés)

	Limite élastique $R_{e0.2}$ (MPa)	Résistance à la rupture R_r (MPa)	Allongement à la rupture A (%)
Al 99.99% Recuit	20	45	50
Al 99.99% Écroui	110	120	7
Al-7075 Recuit	100	225	16
Al-7075 Trempé & vieilli	500	570	11

Matériaux

- Durcissement par écrouissage
 - Peut augmenter la limite élastique sans modifier R_m
 - Matériau déformé plastiquement (point A)
 - Déchargement selon droite AB
 - Remise en charge: courbe caractéristique est celle de droite avec R_{el} comme nouvelle limite élastique

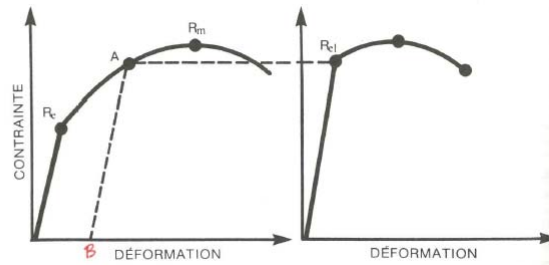


Figure 5.1 — Courbe de traction et durcissement par écrouissage.

Palissy

Conception Métal en feuille

11

Matériaux

- Durcissement par écrouissage
 - Si contraintes complexes (cas du laminage), augmentation simultanée de R_e et R_m

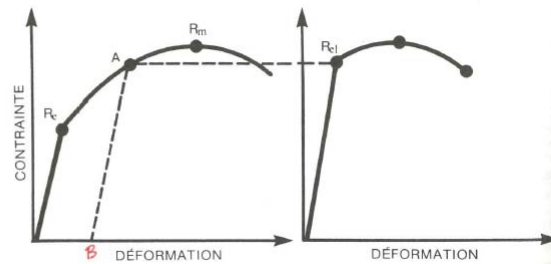


Figure 5.1 — Courbe de traction et durcissement par écrouissage.

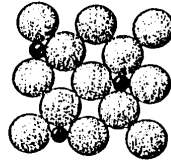
Palissy

Conception Métal en feuille

12

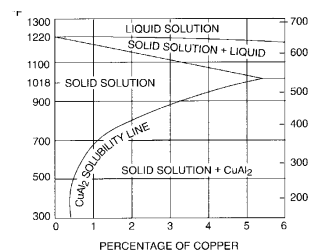
Matériaux

- Alliage
 - Ajout d'atomes d'un autre métal
 - Modification de la structure cristalline
 - Les atomes en solution solide créent des distorsions qui engendrent un champ de contraintes du à la différence entre les tailles des atomes
 - Impact sur les caractéristiques mécaniques
 - Les atomes du soluté s'oppose au déplacement des dislocations



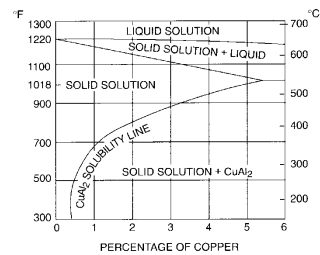
Matériaux

- Durcissement structural
 - Les propriétés mécanique des alliages dépendent de la répartition des précipités et de leur taille
 - Les diagrammes de phases expriment des états d'équilibre
 - L'état d'équilibre est atteint par refroidissement lent
 - Le durcissement structural est obtenu par traitement thermique pour obtenir une répartition optimale des précipités dans la matrice



Matériaux

- Durcissement structural
 - Solvus: limite de solubilité du Cu dans Al
 - À gauche, solution solide du cuivre dans l'alu
 - À droite, solution solide + seconde phase: CuAl_2
 - Pour un alliage qui contient 3% de cuivre
 - À 20C, 0.5% solution solide, le reste en composé CuAl_2
 - À 477C pour suffisamment longtemps, 3% solution solide
 - Mise en solution
 - Refroidissement lent?
 - Refroidissement rapide: trempe
 - Pas de précipité CuAl_2 , solution sursaturée en cuivre
 - Propriétés mécanique?



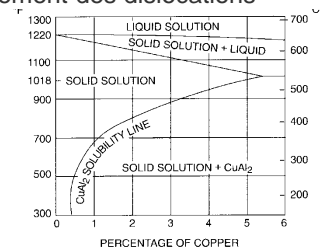
Kroes

Conception Métal en feuille

FIGURE 9-9 Aluminum-copper alloy chart.

Matériaux

- Durcissement structural
 - Tendance à retourner à l'équilibre par précipitation en CuAl_2
 - Très lent à T ambiante, vieillissement
 - Plus rapide à T élevée, vieillissement artificiel
 - Propriétés mécaniques médiocres à vieillissement nul
 - Durcissement au cours du vieillissement: formation de précipités CuAl_2 qui gênent le déplacement des dislocations



Kroes

Conception Métal en feuille

FIGURE 9-9 Aluminum-copper alloy chart.

Matériaux

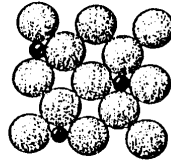
- Recuit
 - Permet de restaurer les propriétés du matériau
 - Une tôle obtenue par laminage est plus résistante et moins ductile
 - Vise à éliminer ou atténuer les conséquences indésirables d'un écrouissage préalable

Matériaux

- Aluminium « pur »
 - Ratio Résistance / Poids élevé
 - Ductile, donc facile à former
 - Propriétés mécaniques faibles à l'état recuit
 - Résistance peut être doublée par le travail à froid
 - T° inférieure à celle de recristallisation
 - Déformation à T° ambiante (Al: en pratique, moins de 150°C)
 - Excellente résistance à la corrosion (couche Al_2O_3)
 - L'anodisation peut rendre cette couche plus épaisse
 - Les éléments d'addition affectent cette résistance
 - Utilisé pour les pièces recevant peu de charges

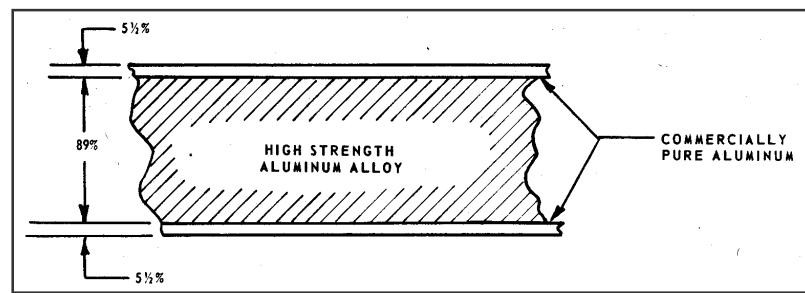
Matériaux

- Alliages d'aluminium
 - L'ajout d'autres métaux améliore les propriétés mécaniques
 - Peuvent être modifiées par le travail à froid
 - Peuvent être modifiées par le traitement thermique
 - Résistance à la corrosion inférieure



Matériaux

- *CLAD Alloy*
 - Un revêtement d'aluminium « pur » est appliqué sur un alliage d'aluminium pour améliorer la résistance à la corrosion



Matériaux

- Alliages d'aluminium corroyés (*Wrought aluminium*)
 - Cette famille comprends tous les produits laminés d'usage courant (barres, profilés, tôles)

- Système d'identification à quatre chiffres
 - 1000: 99% pur
 - 2000: Alliage de Cuivre (Cu)
 - 3000: Alliage de Manganèse (Mn)
 - 4000: Alliage de Silicium (Si)
 - 5000: Alliage de Magnésium (Mg)
 - 6000: Alliage Silicium et magnésium
 - 7000: Alliage de Zinc (Zn)

Matériaux

- États métallurgiques des alliages d'alu (*Condition*)
 - F – Brut: aucun traitement (*As fabricated*)
 - O – Recuit et recristallisé (*Annealed*)
 - H – Écroui (Travaillé à froid) (1000, 3000, 5000)
 - T – Durci par trempé et vieillissement (2000, 6000, 7000)

Matériaux

- Traitements thermiques de l'aluminium et alliages
 - La structure et les propriétés mécaniques (Rr, Re, ...) peuvent être modifiées par un chauffage suivi d'un refroidissement contrôlé
 - Modifie les micro-structures et conséquemment les propriétés mécaniques
 - Après trempe, le durcissement est obtenu par vieillissement naturel, ou maturation, à température ambiante ou par revenu à température élevée
 - Vieillessement: la structure du matériau continue de changer à T° ambiante
 - Vieillessement artificiel: chauffe pour accélérer le vieillissement

Matériaux

- Deux des subdivisions de l'état T
 - T3 – Mise en solution + trempe + écrouissage + vieillissement naturel
 - T6 – Mise en solution + trempe + vieillissement accéléré

Matériaux

- Alliages courants
 - 2024-0 (*annealed*), 2024-T3, 7075-0, 7075-T6
 - CLAD 2024, CLAD 7075
- 2024
 - Le plus utilisé en aéronautique
 - 2xxx : le cuivre est le élément majeur de l'alliage
 - Pour applications de structure et mécanique générale
 - Bonne Résistance (*High Strength*), bonne résistance à la corrosion, bonne formabilité (*workability*)
 - Vieillessement rapide (4 jours à T ambiante)
 - Condition T3 est la plus répandue
 - En condition T3, formage modéré possible

Matériaux

- Alliages courants
 - 7075
 - 7xxx : le zinc est l'élément majeur de l'alliage
 - Utilisé lorsqu'une très bonne Résistance (*Strength*) et une bonne résistance à la corrosion sont requises
 - Peut être formé à la condition 0 et traité thermiquement ensuite
 - Formabilité modérée en condition T6
 - Les pièces tendent à se déformer lors du traitement thermique, ce qui requiert une étape de redressement

Matériaux

- Propriétés mécaniques

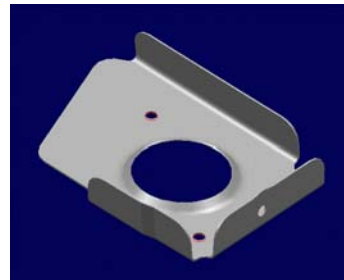
Tableau 11.4 Propriétés mécaniques moyennes de quelques alliages d'aluminium à durcissement structural et exemples d'utilisations

Alliage Composition moyenne (%)	État	R_{e2} (MPa)	R_m (MPa)	δ %	Résistance à la fatigue* (MPa à 5×10^6 cycles)	Principaux domaines d'utilisation
2014 4,4 Cu-0,5 Mg- 0,8 Mn-0,8 Si	O	100	200	20	90	Structures d'avions ; châssis de camions
	T4	290	420	18	140	
	T6	430	480	12	125	
2024 4,4 Cu-1,5 Mg- 0,6 Mn	O	100	200	20	90	Aéronautique ; charpentes ; visserie ; articles de sport
	T4	320	460	18	140	
	T6	390	475	10	125	
7075 5,6 Zn-2,5 Mg- 1,6 Cu-0,3 Cr	O	105	230	17	—	Aéronautique ; armement ; boulonnerie ; bâtons de ski
	T6	500	570	11	160	

* Essais en flexion rotative.

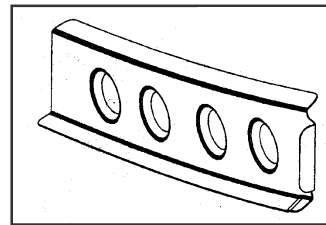
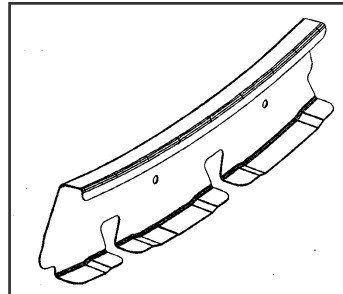
Sommaire

- Matériaux
- **Introduction aux pièces Métal en feuille**
- Règles de base en conception
- Mise à plat
- Dessin de pièces de métal en feuille



Introduction aux pièces Métal en feuille

- Caractéristiques de conception
 - Épaisseur (*Thickness*)
 - Âme (*Web*)
 - Mur (*Flange*)
 - Pli (*Bend*)
 - Soyage (*Joggle*)
 - *Stringer Cutout*
 - *Corner Relief* et *Bend Relief*
 - Trous d'allègement (*Light. holes*)
 - *Tooling Holes*

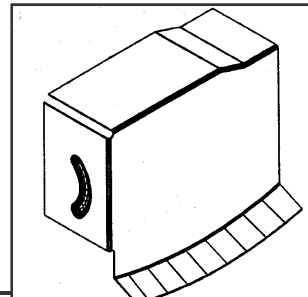


Métal en feuille par caractéristiques

29

Introduction aux pièces Métal en feuille

- Caractéristiques de conception (suite)
 - *Beads* (Raidisseurs)
 - Pli droit
 - Pli obtenu lorsque le mur et l'âme sont plans
 - L'intersection du mur et de l'âme forme donc une droite
 - Pli courbe (*Curved flange*)

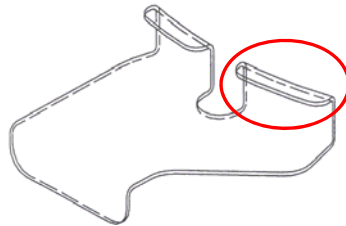


Métal en feuille par caractéristiques

30

Introduction aux pièces Métal en feuille

- Caractéristiques de conception (suite)
 - Mur Raidisseur (*Stiffening Flange* ou *Return flange*)
 - Inclus par souci de rigidité
 - Généralement non riveté

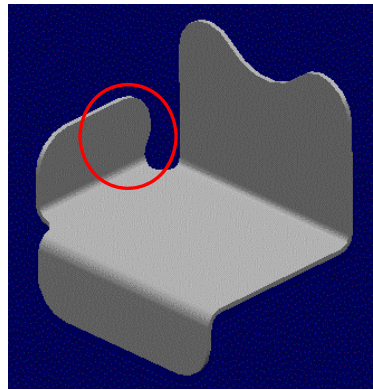


Métal en feuille par caractéristiques

31

Introduction aux pièces Métal en feuille

- Caractéristiques de conception (suite)
 - *Extended flange*
 - Mur sur lequel du métal supplémentaire est prévu pour accommoder des rivets



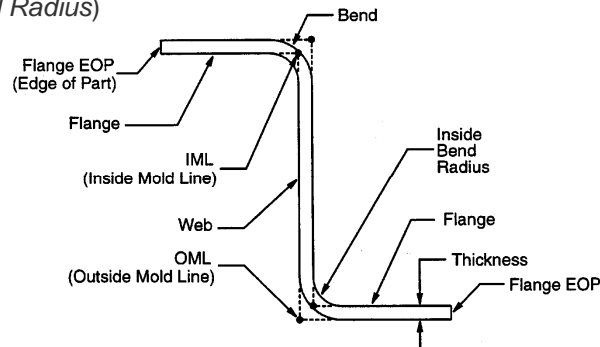
Métal en feuille par caractéristiques

32

Introduction aux pièces Métal en feuille

- Anatomie d'un pli

- Flange Length
- Edge of Part, EOP
- Rayon de pliage (*Inside Bend Radius*)
- *Outside Mold Line, OML*
- *Inside Mold Line, IML*



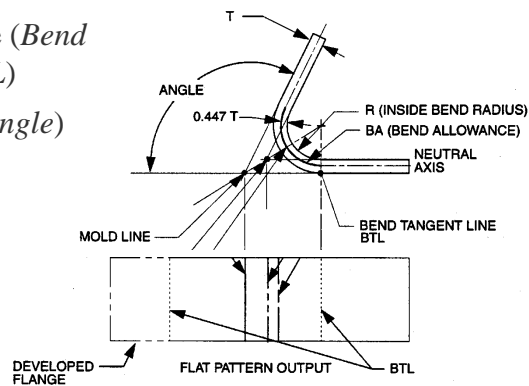
Métal en feuille par caractéristiques

33

Introduction aux pièces Métal en feuille

- Anatomie d'un pli

- Flange Sides
- Flange Width
- Ligne de tangence (*Bend Tangent Line, BTL*)
- Angle (*Working Angle*)

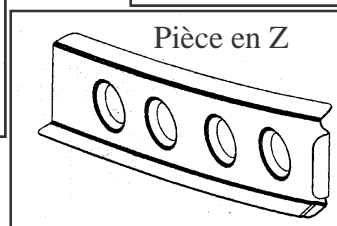
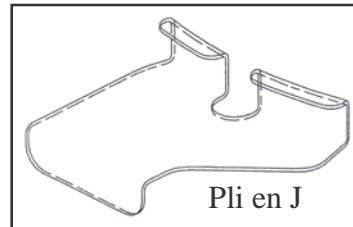
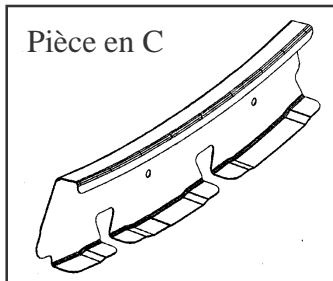


Métal en feuille par caractéristiques

34

Introduction aux pièces Métal en feuille

- Quelques géométries typiques du métal en feuille

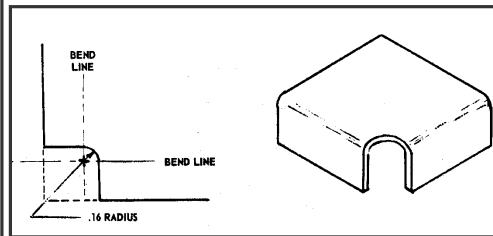
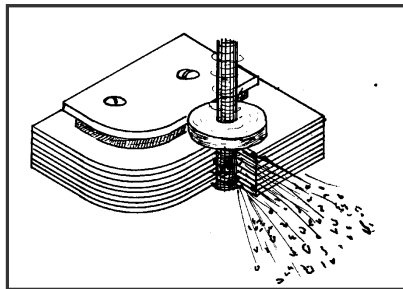


Introduction aux pièces Métal en feuille

- Procédé de fabrication
 - Deux étapes
 - Découpe de la pièce à plat
 - Formage de la pièce pliée
 - Il est possible de réaliser un traitement thermique afin d'améliorer les propriétés mécaniques de la pièce

Introduction aux pièces Métal en feuille

- Procédé de fabrication (suite)
 - Découpe
 - Contrainte liée à la découpe
 - L'outil de découpe: rayon minimum de 0.16 pouce
 - Dégagements: rayon minimum de 0.16 pouce...



Métal en feuille par caractéristiques

37

Introduction aux pièces Métal en feuille

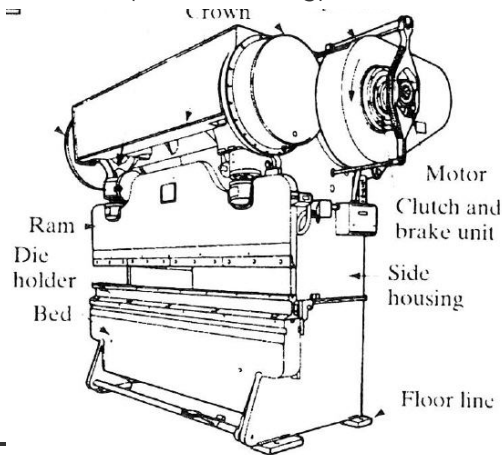
- Procédé de fabrication (suite)
 - Deux principales méthodes de formage
 - Poinçon et matrice (*Brake forming*)
 - Hydro-formage (*Hydro Press*)

Métal en feuille par caractéristiques

38

Introduction aux pièces Métal en feuille

- Procédé de fabrication (suite)
 - Poinçon et matrice (*Brake forming*)



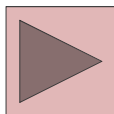
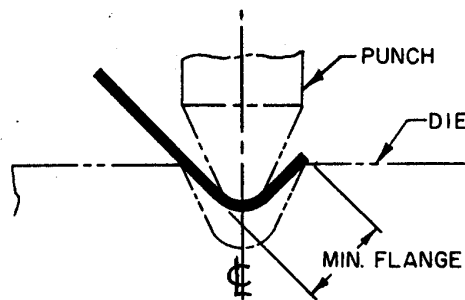
Kalpajan

Métal en feuille par caractéristiques

39

Introduction aux pièces Métal en feuille

- Procédé de fabrication (suite)
 - Poinçon et matrice (*Brake forming*)
 - Ne réalise que des plis droits
 - Des tables de longueur de mur standards donnent les minimum requis pour permettre la fabrication



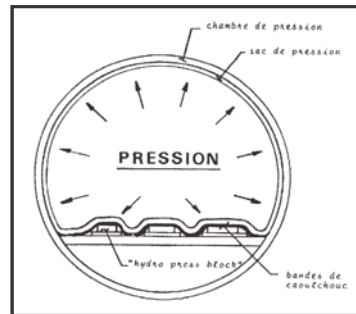
Youtube film sur brake forming

Métal en feuille par caractéristiques

40

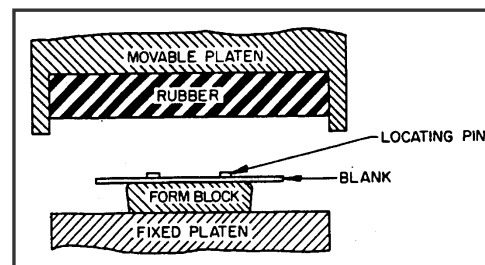
Introduction aux pièces Métal en feuille

- Procédé de fabrication (suite)
 - Hydro-formage (*Hydro Press*)
 - La partie femelle est un diaphragme de caoutchouc
 - La partie mâle du 'Die' est un *Form-block* sur lequel la pièce à plat est pressée
 - Permet de réaliser des plis droits et des plis courbes
 - Pression max: 15000 psi



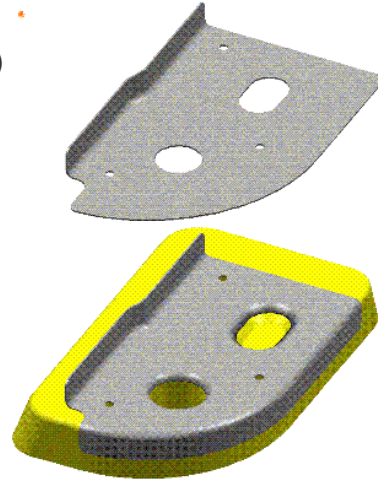
Introduction aux pièces Métal en feuille

- Procédé de fabrication (suite)
 - *Rubber Forming*
 - La partie femelle du 'Die' est remplacée par un bloc de caoutchouc
 - Polyuréthanes sont utilisés pour leur résistance à l'abrasion et leur longue vie en fatigue
 - La partie mâle du 'Die' est un *Form-block* sur lequel la pièce à plat est pressée
 - Pression: 1500psi



Introduction aux pièces Métal en feuille

- Procédé de fabrication (suite)
 - Hydro-formage (*Hydro Press*)
 - Exemple de *Form-block*
 - Orientation des lèvres...



Introduction aux pièces Métal en feuille

- Procédé de fabrication (suite)
 - Exemple où le formage se fait en deux étapes
 - Hydro-formage
 - Pliage

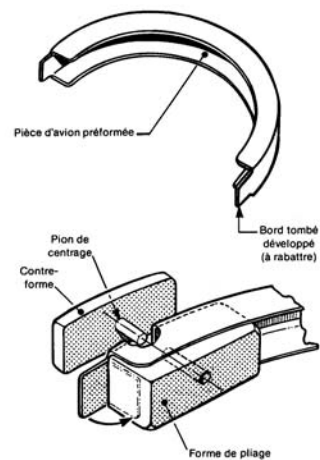
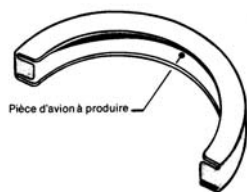
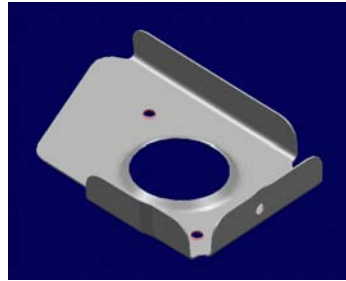


Figure 3.4 Pliage des deux extrémités d'une pièce préformée

Sommaire

- Matériaux
- Introduction aux pièces Métal en feuille
- **Règles de base en conception**
- Mise à plat
- Dessin de pièces de métal en feuille



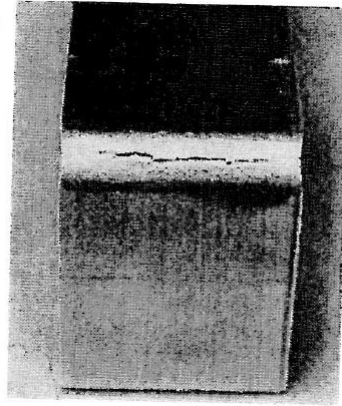
Règles de base en conception

- Sommaire
 - Rayon de pliage minimum
 - Tolérances
 - Longueur de mur minimale
 - Espacement des rivets
 - Soyages (*Joggles*)
 - *Tooling Holes*
 - Géométrie de la pièce à plat
 - Orientation des plis
 - Trous d'allégement
 - *Beads*
 - *Corner Reliefs*

Règles de base en conception

- Rayon de pliage minimum (*Min. Bend Radius*)
 - Un pli trop vif induit des fissures

(c)



Règles de base en conception

- Rayon de pliage minimum (*Min. Bend Radius*)
 - Le rayon de pliage minimum varie en fonction de:
 - l'alliage et sa condition
 - l'épaisseur de la feuille
 - Traitement thermique
 - On peut utiliser un alliage permettant un petit rayon de pliage et appliquer un traitement thermique après formage (augmente les coûts)
 - Il est souvent préférable de former le matériau déjà traité thermiquement, même si le rayon de pliage est plus grand

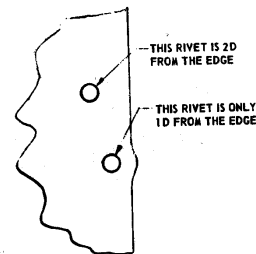
Règles de base en conception

- Table de rayons de pliage minimaux

Épaisseur (Pouce)	Alliages d'aluminium			
	2024		7075	
	-0	-T3	-0	-T6
Rayons de pliage minimaux (Pouce)				
0.032	0.09	0.12	0.09	0.16
0.040	0.09	0.16	0.09	0.19
0.050	0.09	0.19	0.12	0.25
0.063	0.12	0.22	0.12	0.31
0.071	0.12	0.28	0.16	0.38

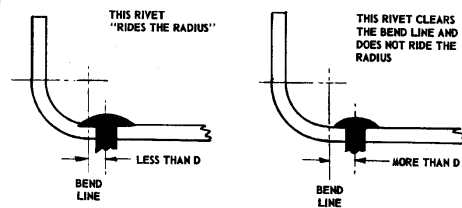
Règles de base en conception

- Longueur de mur minimale (*Min. flange length*)
 - Distance du rivet à l'EOP
 - La distance mesurée du centre du rivet jusqu'à l'EOP doit au minimum être de $2D + Tol$
 - D est le diamètre du rivet
 - Tol est la tolérance, typiquement 0.030 pouce
 - Tol varie légèrement selon les entreprises
 - Une distance inférieure peut faire « gonfler » (*bulge*) le mur



Règles de base en conception

- Longueur de mur minimale (suite)
 - Distance du pli au rivet
 - La distance entre le rivet et le pli doit être suffisante pour dégager la BTL
 - Typiquement, le diamètre de la tête du rivet est le double du diamètre au corps ($2D$)
 - Un rivet qui empiète sur le pli peut créer une amorce de fissure
 - Ainsi, la distance du rivet à la BTL est de $D+Tol$

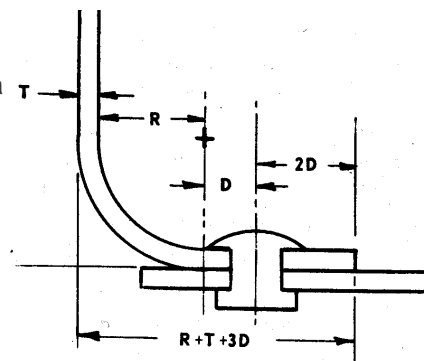


Conception Métal en feuille

51

Règles de base en conception

- Longueur de mur minimale (suite)
 - Ainsi, sur un pli à 90° , la longueur de flange minimum est de $R+T+3D+2Tol$
 - Tolérances non illustrées sur la figure



Conception Métal en feuille

52

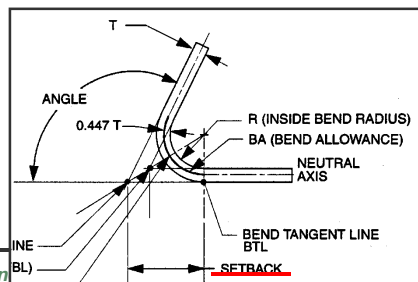
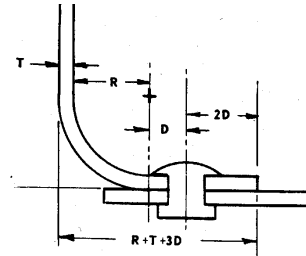
Règles de base en conception

- Longueur de mur minimale (suite)

- Ainsi, sur un pli à 90°, la longueur de flange minimum est de $R+T+3D+2Tol$

- Que faire si le pli n'est pas à 90°?

- Set Back...
- Plus loin...



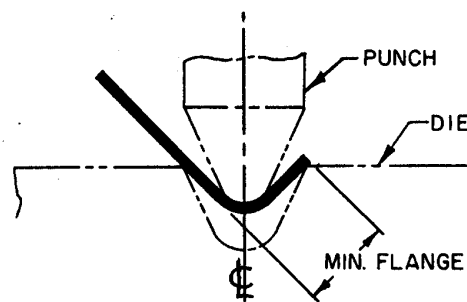
Con

53

Règles de base en conception

- Longueur de mur minimale (*Brake forming*)

- La fabrication impose aussi ses contraintes: un mur doit être assez long pour être formé



Conception Métal en feuille

54

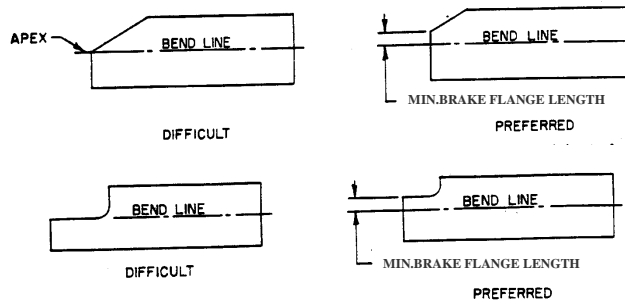
Règles de base en conception

- Longueurs de mur minimales (Brake Forming)
 - Dépend de: matériau, épaisseur, rayon de pliage

Alliages d'aluminium - Condition O				
Épaisseur (Pouce)	Rayon de pliage (Pouce)			
	0.09	0.12	0.16	0.19
0.032	0.25	0.25	0.31	0.38
0.040	0.25	0.25	0.31	0.38
0.050	0.25	0.31	0.31	0.38
0.063	0.31	0.31	0.38	0.38

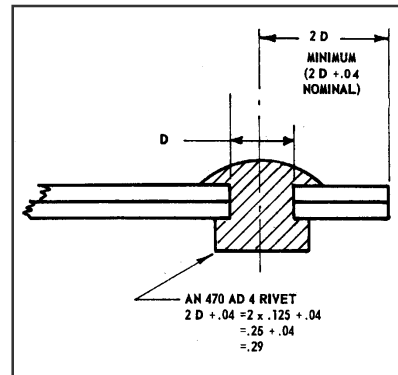
Règles de base en conception

- Longueur de mur minimale (*Brake forming*)
 - La géométrie du mur doit faciliter le formage



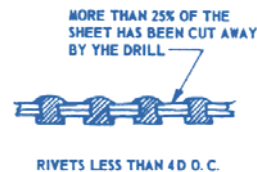
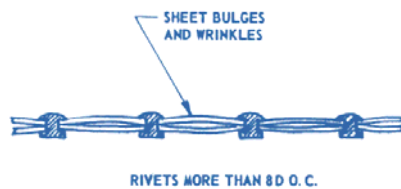
Règles de base en conception

- Tolérances
 - Tolérance généralement admise sur les pièces de métal en feuille: 0.030 po
 - Cette tolérance doit être prise en compte lors du calcul des dimensions min.
 - Exemple: Distance minimale du centre du rivet à l'EOP est de $2D + Tol$
 - Sur la figure, $Tol = 0.040$ po



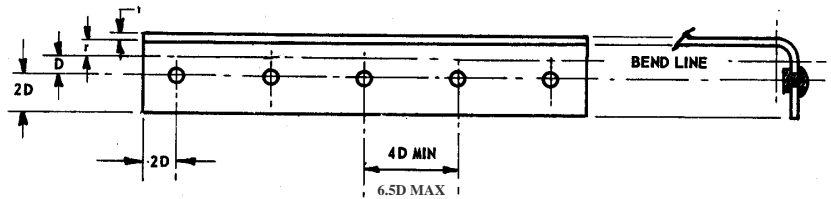
Règles de base en conception

- Espacement des rivets
 - Espacement minimum: $4D$
 - Un espacement trop petit enlève trop de matière
 - Espacement maximum: $6.5D$ à $8D$, selon l'entreprise
 - Un espacement trop grand laisse un jour
 - Les règles diffèrent pour un joint étanche



Règles de base en conception

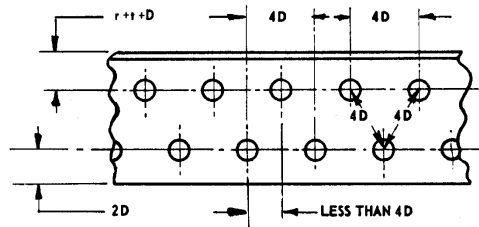
- Espacement des rivets: exemple
 - Concevoir un mur à 90° pour une pièce de 2024-T3, 0.050 pouce d'épaisseur, attachée avec 5 rivets numéros 5



- Solution
 - longueur: 0.77 pouce
 - largeur: entre 3.19 et 4.74 pouce

Règles de base en conception

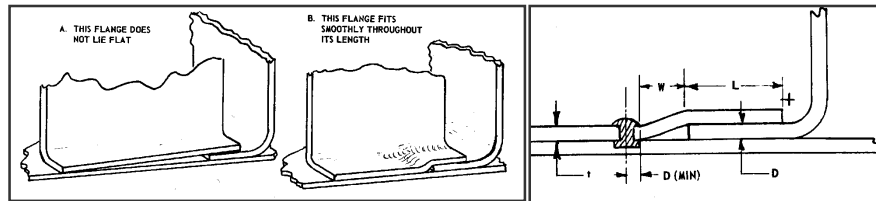
- Espacement des rivets: exemple (Suite)
 - Si la largeur du mur doit être inférieure à 3.19 pouce en raison de contraintes d'espace, l'on devra répartir les rivets sur deux rangées



- Si cela est impossible, il faut changer le nombre et la taille des rivets

Règles de base en conception

- Soyage (*Joggles*)
 - Un soyage est un déplacement de matière imposé afin d'accommoder un assemblage de pièces
 - Le « *runout* » (W) constitue le raccordement entre la portion du mur laissée intacte et la portion enfoncée par le soyage
 - La longueur du *runout* est typiquement de 5 fois la profondeur (D) du soyage

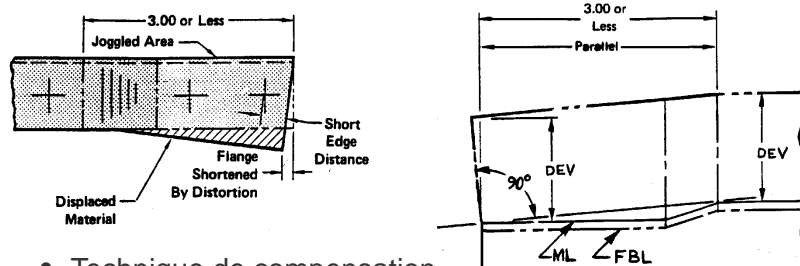


Conception Métal en feuille

61

Règles de base en conception

- Compensation de soyage
 - Le formage du soyage à moins de 3 pouces du côté du mur produit un déplacement de matière qui résulte en une distance insuffisante entre le rivet et ce côté
 - Pour éviter ce problème, on compense ce déplacement en modifiant la géométrie à plat du soyage



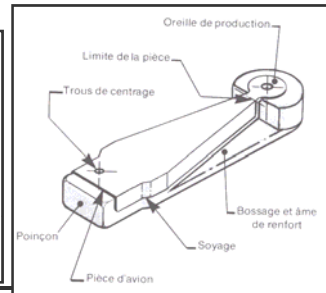
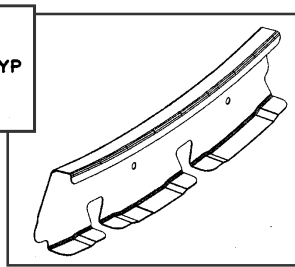
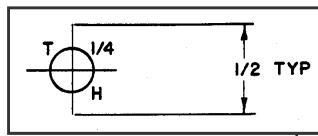
- Technique de compensation

Conception Métal en feuille

62

Règles de base en conception

- Tooling Holes
 - Taille typique est de 1/4 pouce de diamètre
 - Au moins deux T/H sont requis; ce nombre augmente avec la taille de la pièce
 - Les T/H peuvent être localisé à l'extérieur de la pièce si vraiment nécessaire au moyen de Tab



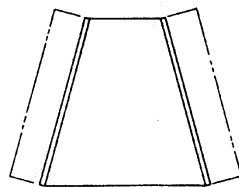
Soors, Fig 3.33

Conception Métal en feuille

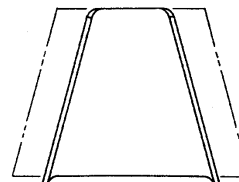
63

Règles de base en conception

- Géométrie de la pièce à plat
 - La dessin de la pièce à plat est une information essentielle à sa découpe
 - Cette information est fournie par l'ingénierie
 - Préférer des côtés lisses (straight) faciles à découper



INCORRECT



CORRECT

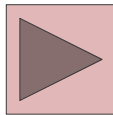
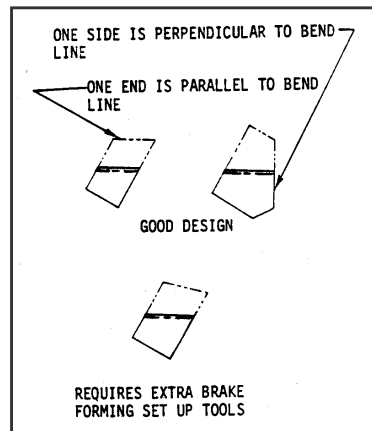
Conception Métal en feuille

64

Règles de base en conception

- Orientation des plis (*Brake forming*)

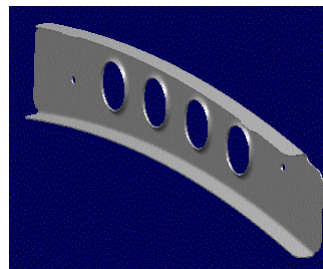
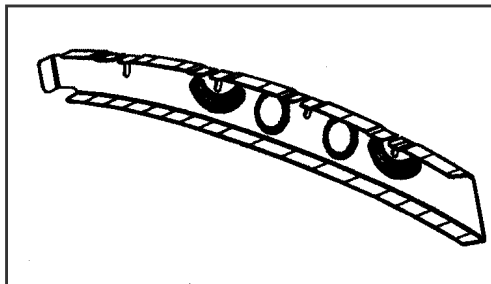
- Il est préférable de définir une pièce de façon à ce qu'au moins un côté soit parallèle ou perpendiculaire au pli



- Rappel: film sur BF

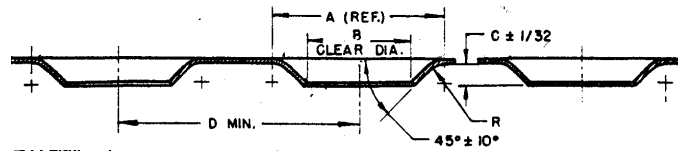
Règles de base en conception

- Trous d'allégement (*Flanged holes*) et *beads*
 - Doivent être conçus, si possible, de façon à être formés dans la même direction que les autres murs de la pièce



Règles de base en conception

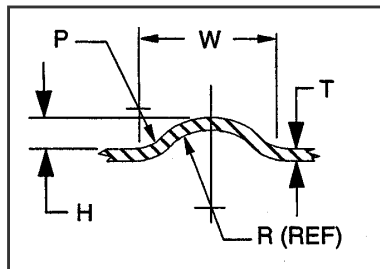
- Paramètres des trous d'allègement (Flg'd holes)



Dash Nb	Dimensions (pouces)					Matériaux							
	A (Réf.)	B	C	D	R	2024 0 Up to 0.050	2024 0 0.063 - 0.100	2024 T3 Up to 0.050	2024 T3 0.063 - 0.100	7075 0 0.050	7075 0 0.063 - 0.100	7075 T6 Up to 0.050	7075 T6 0.063 - 0.100
-17-7	1 5/16	13/16	1/8	2 1/8	7/32	x							
-2-7	1 9/16				7/32	x							
-2-11	1 55/64	1 1/16	1/8	2 3/8	11/32		x						
-3-7	1 13/16				7/32	x		x					
-3-11	2 7/64	1 5/16	1/8	2 5/8	11/32		x		x				
-4-7	2				7/32	x		x		x		x	
-4-11	2 19/64	1 1/2	1/8	2 7/8	11/32		x		x		x	x	x

Règles de base en conception

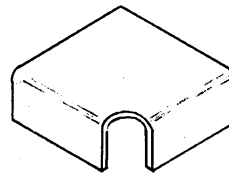
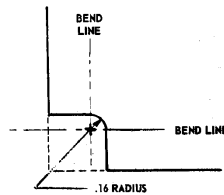
- Paramètres de Beads standards



Dash Nb	W	H	P	R (Réf.)
1	5/8	1/8	3/16	1/4
1T	5/8	3/32	3/16	1/4
2	7/8	5/32	15/64	7/16
2T	7/8	1/8	15/64	7/16

Règles de base en conception

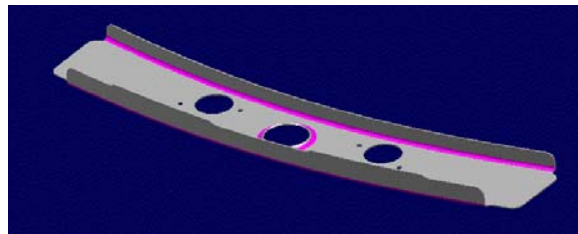
- *Corner Reliefs (Bend Relief)*
 - Technique simplifiée
 - Créer un rayon de 0.16 po à l'intersection des BTL
 - Tracer des lignes tangentes à cet arc et perpendiculaires à l'EOP



- Technique alternative

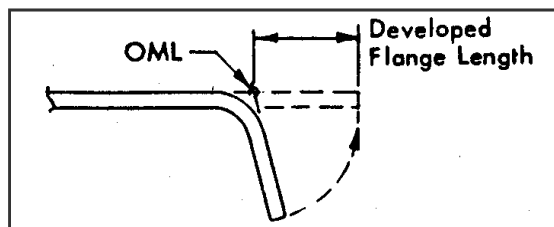
Sommaire

- Matériaux
- Règles de base en conception
- **Mise à plat**
 - **Éléments caractéristiques**
 - **Calcul de mise à plat**
- Dessin de pièces de métal en feuille



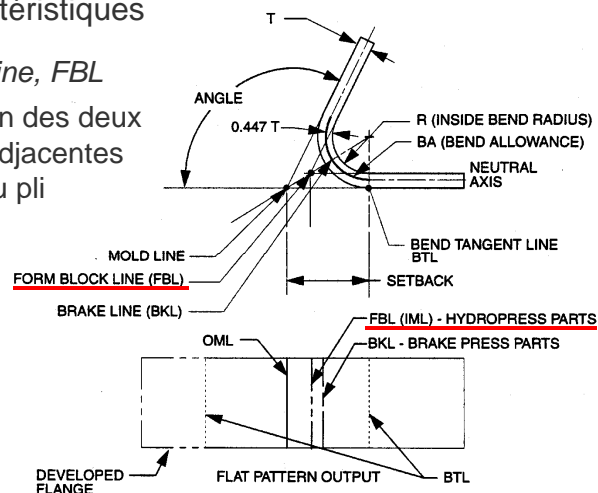
Mise à plat

- Éléments caractéristiques
 - Mise à plat (*Flat Pattern, FP*)
 - *Developed Flange*
 - *Outside Mold Line, OML*
 - Intersection des deux surfaces adjacentes externes au pli



Mise à plat

- Éléments caractéristiques
 - *Form Block Line, FBL*
 - Intersection des deux surfaces adjacentes internes au pli



Mise à plat

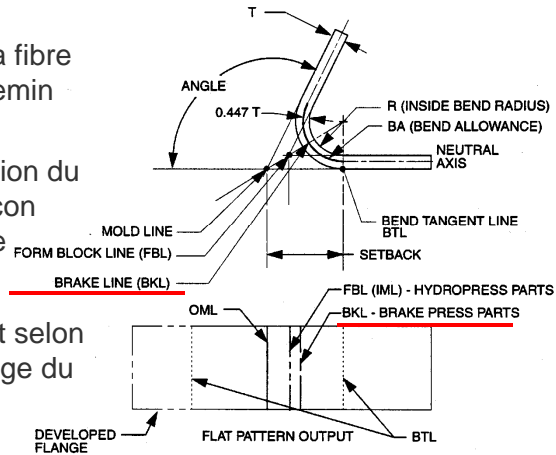
- **Éléments caractéristiques**

- *Brake Line, BKL*

- Localisée sur la fibre neutre à mi-chemin entre les BTL

- Indique la position du centre du poinçon lors du formage

- Dessin différent selon mode de formage du pli



Mise à plat

- **Calcul de mise à plat**

- Fibre Neutre (K Factor)
 - Set Back:

$$SB = tg\left(\frac{Angle}{2}\right) \times (T + R)$$

- Bend Allowance:

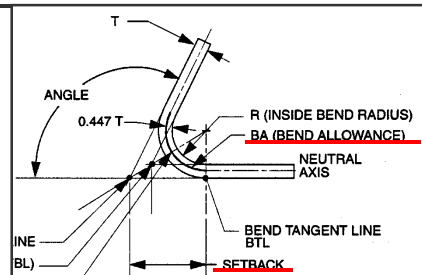
$$BA = (R + KT) \frac{\pi}{180} \times Angle$$

$$BA = (0.01743 \times R + 0.0078 \times T) \times Angle$$

- Bend Deduction:

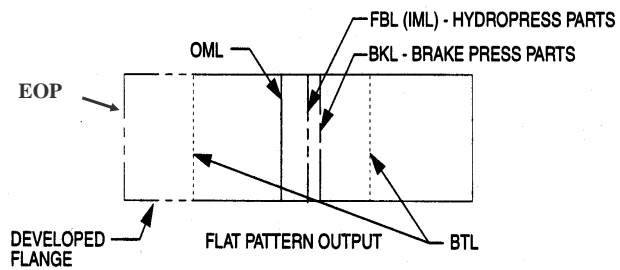
$$BD = (2 \times SB - BA)$$

- Facteur K: 0.447 pour aluminium
 - Explication géométrique du SB...



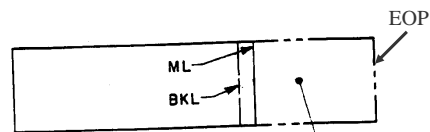
Mise à plat

- Calcul de mise à plat
 - Distance OML-FBL = $T \times \text{tg}(\text{Angle}/2)$
 - Distance OML-BKL = $BD/2$
 - Distance OML-EOP = Flange Length - BD

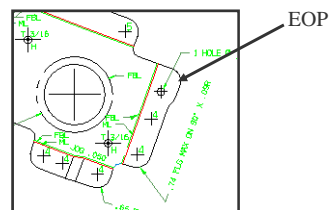


Mise à plat

- Information à fournir sur le dessin pour chaque mur
 - Si le mur est *Brake-pressed*:
 - OML
 - BKL
 - EOP



- Si le mur est Hydro-formé:
 - OML
 - FBL
 - EOP

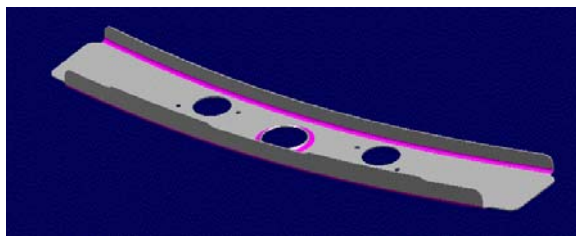


Mise à plat

- Exemple de calcul de mise à plat
 - On a pour variables:
 - Épaisseur, $T = 0.050$ pouce
 - Rayon de pliage, $R = 0.09$ pouce
 - Angle de pliage, $A = 80^\circ$
 - Longueur de mur, $FL = 1.00$ pouce
 - Calculer
 - Distance OML à FBL (si le pli est hydro-formé)
 - Set back
 - Bend Allowance
 - Bend Deduction
 - Distance entre OML et BKL
 - Distance entre OML et EOP

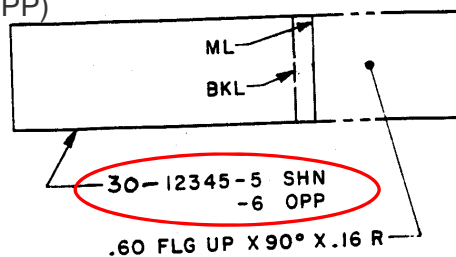
Sommaire

- Matériaux
- Règles de base en conception
- Mise à plat
- **Dessin de pièces de métal en feuille**



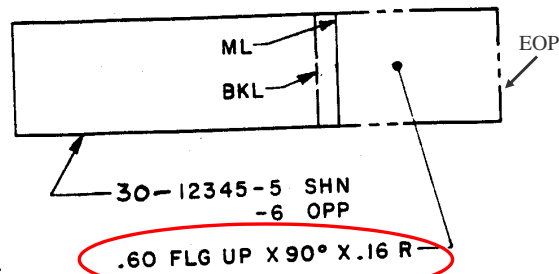
Dessin de pièces de métal en feuille

- Standards de représentation généraux
 - Le dessin montre la pièce à plat et une vue isométrique de la pièce formée
 - Le dessin n'est pas dimensionné (NDD)
 - Indiquer le numéro de pièce sur la vue à plat
 - Pièce gauche dessinée (SHN)
 - Pièce droite notée (OPP)



Dessin de pièces de métal en feuille

- Standards de représentation des murs



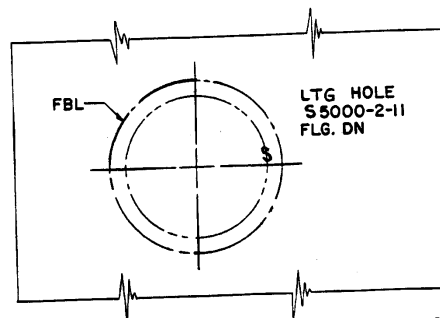
- L'OML
- L'EOP
- La FBL ou la BKL
- Longueur du mur plié
- Côté du pliage (*UP* ou *DN*)
- L'angle de pliage
- Le rayon de pliage

Dessin de pièces de métal en feuille

- Standards de représentation des éléments caractéristiques
 - OML: Trait continue (ligne pleine), rouge, identifiée OML
 - FBL: Trait mixte à 2 tirets (ligne fantôme), magenta, identifiée FBL
 - BKL: Trait mixte (Ligne de centre), verte, identifiée BKL
 - EOP: Ligne fantôme, bleue
 - Web: Ligne pleine, bleue
 - BTL: Ligne fantôme, bleue, montrée pour les beads seulement

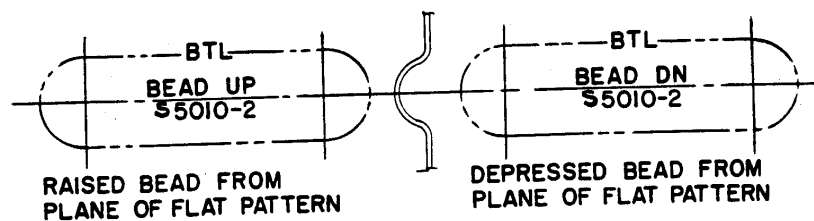
Dessin de pièces de métal en feuille

- Standards de représentation des trous d'allégement
 - Type et taille
 - Direction du flange
 - up ou down
 - Lignes de centre
 - FBL et Shear Line
 - avec identification



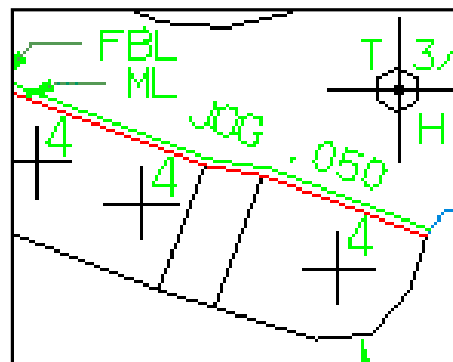
Dessin de pièces de métal en feuille

- Standards de représentation des Beads
 - Type et taille
 - Direction du flange (up ou down)
 - Lignes de centre de la BTL
 - BTL en ligne fantôme (avec identification)



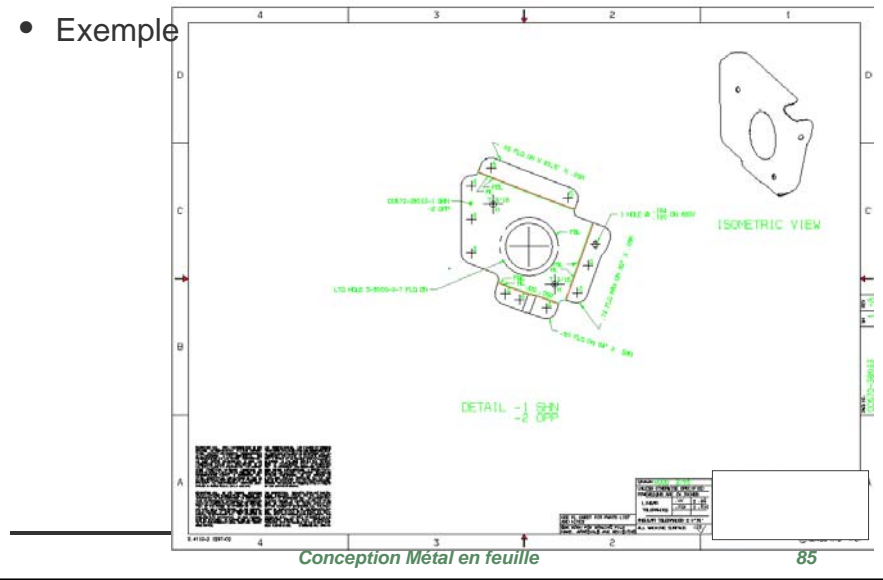
Dessin de pièces de métal en feuille

- Standards de représentation des soyages
 - Géométrie compensée
 - Le mot « JOGGLE » ou JOG
 - Profondeur
 - Lignes de *runout*
 - OML
 - FBL



Dessin de pièces de métal en feuille

- Exemple



Dessin de pièces de métal en feuille

- Vue à plat

