



Février 2014

Bonjour à toutes et à tous,

Pour cette newsletter N°4, nous avons décidé de mettre en lumière ce mois-ci, non pas un secteur d'activité, mais plutôt un procédé de fabrication : **LE CISAILLAGE**. Il s'agit d'une des opérations de découpe la plus économique que l'on retrouve dans le processus de mise en forme de barres ou de tôles.

Fidèle à son crédo, **METALLO CORNER** qui s'attache à promouvoir la métallurgie en mécanique, détaillera dans ce document l'importance de la métallurgie du semi-produit dans l'exécution de cette opération. Comme pour chaque procédé de fabrication, nous montrerons qu'il existe systématiquement une corrélation étroite entre le pilotage du procédé, la géométrie produit et la matière utilisée (approche **PUMP** : Produit / Utilisation / Métallurgie / Procédé). Ces observations seront également valables pour les opérations de poinçonnage, de grignotage ou de cochage.

LA BASE DU CISAILLAGE

Dans un premier temps, pour comprendre le rôle des paramètres métallurgiques sur ce procédé, il est important de bien cerner les 3 étapes que l'on retrouve dans le cisailage :

- ⇒ la déformation plastique : les lames pénètrent dans le semi-produit.
- ⇒ le cisaillement : amorçage de fissures de part et d'autre du semi-produit.
- ⇒ la rupture : propagation des fissures l'une vers l'autre et réunification.

L'analyse du faciès du semi-produit cisailé nous permet d'observer 3 zones (zone de flexion, zone de cisaillement, zone de rupture) correspondantes aux 3 phases précédemment décrites. On s'aperçoit que l'étendue de ces zones varie en fonction de la matière à cisailier.

L'effort de cisaillement (F) est proportionnel à la limite d'écoulement plastique de la nuance ($\sim Re$) et à la section à découpe (S) :

$$F \sim Re * S / \sqrt{3}.$$

Cette valeur, qui va également dépendre de la vitesse, de la température et de la qualité des lames, sera maximale au début de la déformation plastique et s'annulera au moment de la rupture.

Durant la 1^{ère} étape, les lames pénètrent dans le semi-produit, la pression appliquée a donc dépassé la contrainte d'écoulement du matériau ($\sim Re = f$ [structure métallurgique ; composition chimique]). La déformation plastique qui en résulte est d'autant plus grande que l'écart entre la limite d'élasticité et la résistance mécanique est élevé. De plus, suivant le type de serrage (avec ou sans contre lame de maintien sur la partie mobile), la zone déformée sera plus ou moins importante, pour une même nuance matière. Il est important d'ajouter que l'état des lames influe également le résultat de la découpe.



La rupture est le résultat associé à la propagation des 2 fissures qui se sont amorcées à partir du front de pénétration des lames. Le chemin parcouru par les fissures conditionnera la qualité de la face découpée. Nous considérerons qu'une surface optimisée est associée à des chemins de propagation les plus courts possibles. La convergence des deux fissures est directement impactée par la nature du matériau, les dimensions du semi-produit et les paramètres procédé (exemple : le « gap » inter-lames).

DEFAUTS & « CISAILABILITE »

Au cours de l'opération de cisailage, il est possible de rencontrer des défauts géométriques (bavures, ovalisation, écrasement, perpendicularité ...) ou d'aspect (fissures, écailles, cornes, ...).

Si l'on prend comme exemple le cas d'un défaut géométrique de perpendicularité, pour illustrer la convergence entre le procédé et la matière, il est très souvent nécessaire d'incliner légèrement la barre bridée au niveau des lames fixes pour les matériaux ductiles. Cette inclinaison sera d'autant plus accentuée que la limite d'élasticité du semi-produit sera basse. Des duretés trop basses sont souvent à l'origine de faciès dégradés et de géométrie lopin inacceptable.

Dans le cas de nuance à résistance mécanique plus élevée, le problème ne sera pas localisé au niveau de la surface de coupe mais plutôt au niveau de l'aptitude du matériau à se cisailer à froid, qui diminue avec l'augmentation de la résistance mécanique. Il est donc important de surveiller la teneur en carbone et des éléments d'addition. Même si les limites admissibles ne sont pas bien définies, il est possible de rencontrer les problèmes de fissuration ou d'éclatement dès 800MPa pour des opérations de cisailage conventionnel. Ces problèmes sont d'autant plus sérieux qu'ils peuvent être différés.

Il est donc primordial de réaliser cette opération de découpe sur des phases à l'équilibre (ferrite, perlite), réparties de façon homogène. L'utilisation de lopins ayant subi un recuit peut être fortement conseillé dans le cas où l'on observe des phases hors équilibre associées soit un refroidissement trop rapide de lopins mise en forme à chaud ou soit lors d'une opération de meulage réalisée dans de mauvaises conditions. Il est également conseillé d'éviter de travailler sur des structures brutes de coulées mais davantage à partir de lopins corroyés faiblement ségrégés.

BILAN & EVOLUTIONS

Comme l'a souligné Daniel Forest : « la fiabilité de l'opération de cisailage nécessite :

- une matière homogène, géométriquement stable et « métallurgiquement » adaptée,
- un procédé bien réglé avec des outils correctement dimensionnés et en bonne état. »



Cette adaptation réciproque entre la matière, la section du lopin et le procédé est indispensable si l'on veut travailler dans de bonnes conditions. C'est à partir de ce constat que des évolutions ont vu le jour aussi bien au niveau de la métallurgie des aciers avec les nuances dites sécables qu'au niveau du procédé de fabrication avec :

- le cisailage tiède où l'on réalise l'opération dans une gamme de températures pour laquelle la résilience de l'acier diminue,
- ou le cisailage grande vitesse (ou adiabatique)

Ces évolutions permettent de travailler avec des nuances dont la $R_m \sim 330HB$ (100Cr6 ou C70).

D'autres études (ex : thèse de M. Dalloz) se sont intéressées à la « cisailabilité » de tôles à très hautes résistances mécaniques (THR) dont la structure métallurgique est composée de ferrite et de martensite. Ces aciers sont à l'image des structures céramiques à matrice métallique où la martensite est l'élément dur et la ferrite « le liant ». Ils ont observé des décohésions à proximité de la zone cisillée au niveau de l'interface ferrite/martensite qui ne suivent, bien entendu pas, les mêmes lois de déformation. La réduction de la dureté de martensite par traitement thermique a permis d'améliorer l'aptitude au cisailage de ces nuances.

Pour la prochaine newsletter, nous nous intéresserons au monde du transport routier, vaste sujet !