

# LE SOUDAGE PAR FRICTION, UN PROCÉDE DE SOUDAGE MULTIPLE ET INNOVATEUR

## PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT, CLASSEMENT, APPLICATIONS & AVANTAGES

Cet article passe en revue le principe de fonctionnement du soudage par friction, le classement des procédés et des applications basés sur la friction. En outre, ces procédés de soudage offrent d'importants avantages en matière écologique. Il en ressortira que le soudage par friction est un procédé multiple et innovateur, qui a de nombreuses applications dans différentes branches de l'industrie.

Par dr. ir. Koen Faes, IBS (Traduction: M.C. Ritzen - IBS-BIL)

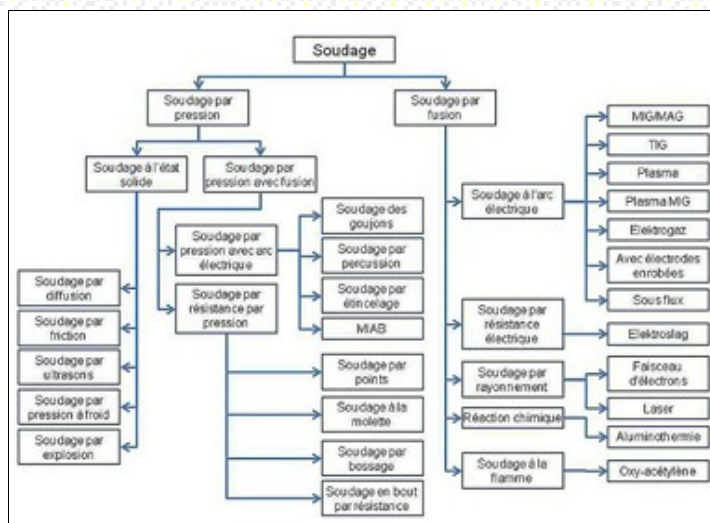


Fig. 1: Classement des procédés de soudage sur base de la source d'énergie

### CLASSEMENT DES PROCÉDES DE SOUDAGE

On estime qu'il y a une quarantaine ou une cinquantaine de procédés de soudage au total. La figure 1 présente un classement des procédés de soudage en fonction de la source d'énergie utilisée pour réaliser une soudure. Les procédés de soudage se subdivisent en deux grands groupes, en l'occurrence les procédés de soudage par fusion et les procédés de soudage par pression. Dans le cas des procédés de soudage par fusion, les matériaux à assembler sont portés à fusion, avec ou non un métal d'apport ou une atmosphère protectrice (p.ex. un gaz ou un vide). Les impuretés et les couches d'oxydes doivent être éliminées du bain de fusion. L'inconvénient du soudage par fusion est qu'à la température de fusion, la plupart des matériaux sont très réactifs de sorte que la contamination par des éléments indésirables est très difficile à éviter. De plus, de nombreux matériaux subissent, à ces températures très élevées, des modifications métallurgiques indésirables telles que la dissolution des carbures ou autres précipités ou la formation de phases inter-métalliques fragiles lors du soudage de matériaux dissemblables. Le procédé le plus courant est le soudage à l'arc électrique tels que le soudage TIG, MIG/MAG et avec électrodes enrobées. D'autres procédés de soudage où les matériaux sont amenés à fusion sont p.ex. le soudage au laser, le soudage aluminothermique, le soudage oxyacétylénique, etc. Le deuxième grand groupe de procédés de soudage sont les procédés de soudage par pression.

Dans ces procédés, les matériaux à assembler sont pressés l'un contre l'autre, avec ou sans chauffage additionnel des surfaces à souder. Les procédés de soudage par pression peuvent à leur tour être subdivisés en deux sous-groupes: les procédés de soudage en phase solide et les procédés de soudage par pression où les matériaux sont amenés à la fusion. Dans ce dernier groupe, le chauffage peut se faire via un arc électrique tel que le soudage des goujons et le soudage par percussion, ou via une résistance électrique comme le soudage par point et le soudage par bossage. Avec les procédés de soudage en phase solide, les matériaux ne sont pas portés à fusion. L'avantage le plus important du soudage à l'état solide est que les matériaux conservent leurs propriétés originelles. Ces procédés offrent la possibilité de réaliser des assemblages hétérogènes entre des métaux et des alliages très différents non soudables avec d'autres procédés. La zone affectée thermiquement est généralement réduite suite aux brefs temps de soudage et aux températures maximales relativement faibles. Le procédé de soudage par friction est un des procédés de soudage à l'état solide.

### PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU SOUDAGE PAR FRICTION

#### Soudage par friction

Le soudage par friction est un procédé de soudage dans lequel l'assemblage est réalisé en frottant l'une contre l'autre les surfaces à assembler et ce, sous une pression contrôlée. Le frottement entre les pièces à assembler crée de la

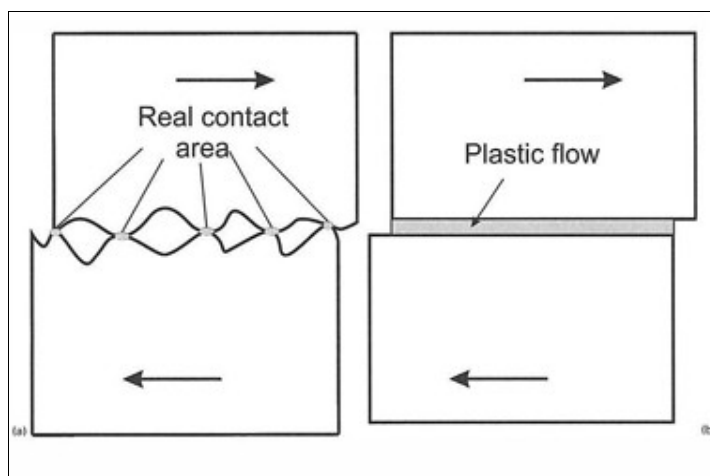
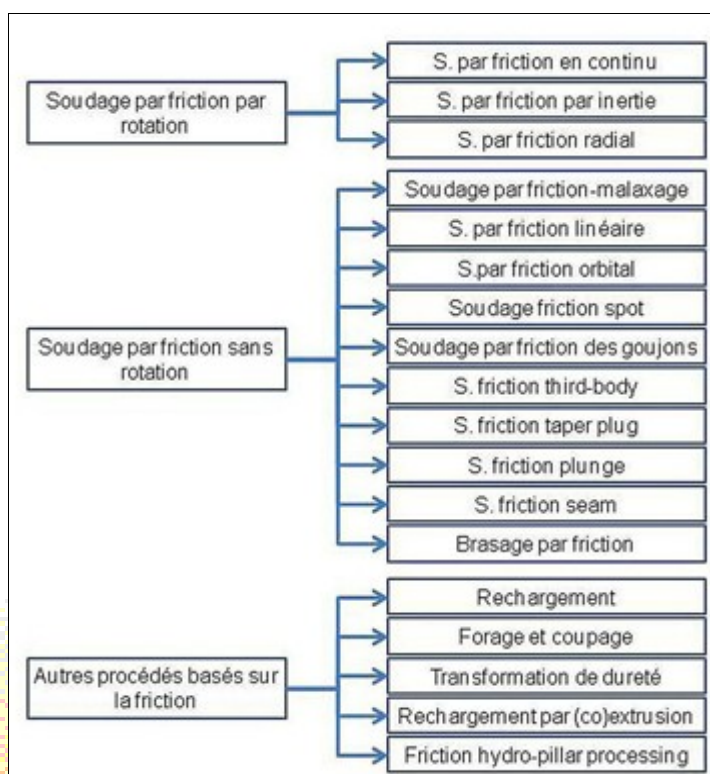


Figure 2: Principe du soudage par friction

Figure 3: Classement des procédés par friction



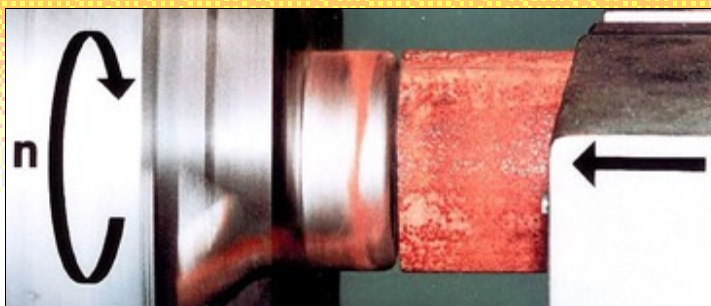


Figure 4: Les deux pièces sont clamées et une des pièces est mise en rotation (source: Kuka)



Figure 5: Les pièces sont mises en contact l'une de l'autre avec la force de friction  $F_1$ : la température augmente dans la surface de contact (source: Kuka)

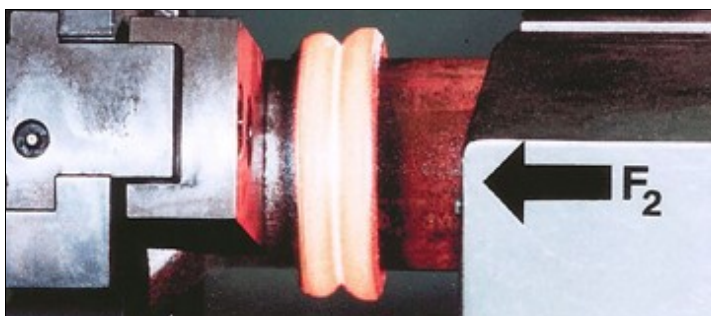


Figure 6: La partie en rotation est freinée et la force de forgeage  $F_2$  est exercée (source: Kuka)

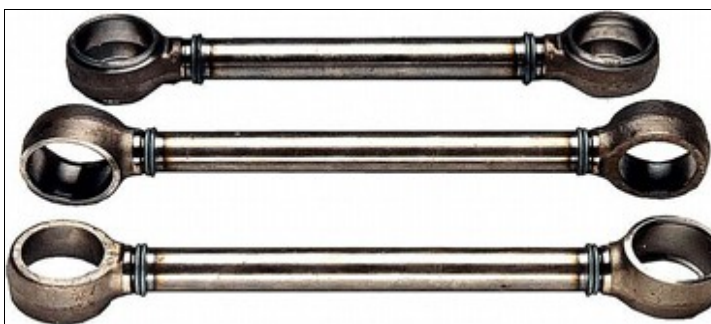


Figure 7: Arbres de transmission soudés par friction (source: Kuka)

Figure 8: Engrenage soudé par friction (source: Kuka)



chaleur (figure 2). La température dans la surface de contact augmente sans atteindre la température de fusion. Quand la température désirée est atteinte, le frottement est arrêté et les pièces devenues plastiques sont pressées l'une contre l'autre pour former l'assemblage. La friction fournit un chauffage de façon relativement simple et assure également que les surfaces de la soudure soient suffisamment nettoyées. Par le mouvement relatif, les impuretés ou les oxydes sont éliminés de la zone de la soudure. Les paramètres à contrôler pour tous les procédés basés sur le frottement sont la force de contact, la vitesse relative et la durée du frottement.

### CLASSEMENT DES PROCÉDES DE SOUDAGE PAR FRICTION

La figure 3 donne la répartition des principaux procédés de soudage basés sur la friction. La variante la plus utilisée du procédé est le soudage par friction avec rotation. Il peut être utilisé pour l'assemblage de pièces symétriques par rapport à l'axe de rotation. Les exécutions possibles sont le soudage par friction en continu, le soudage par friction via l'énergie emmagasinée dans un volant et le soudage par friction radiale. Dans le soudage par friction sans rotation, des pièces non symétriques par rapport à l'axe de rotation peuvent être assemblées l'une à l'autre. Les techniques les plus importantes sont: le soudage par friction-malaxage (friction stir), le soudage par friction linéaire et le soudage par friction orbital. Dans ce groupe, il existe également certaines variantes moins connues, mais néanmoins intéressantes comme le soudage par friction par points (friction spot) ou le soudage de goujons. Il existe encore d'autres procédés basés sur la friction. Ainsi, il est possible, via la friction, de recharger, couper ou forer.

### SOUDAGE PAR FRICTION AVEC ROTATION

#### Description

Le principe du soudage par friction est présenté à la figure 4 et suivantes. Supposons que deux axes ou deux tubes doivent être soudés bout à bout. Une des pièces est bloquée, tandis que l'autre est mise en rotation contre l'autre à une vitesse constante à l'aide d'un moteur (soudage par friction en continu). Quand les deux pièces sont mises en contact l'une de l'autre, les forces de friction provoquent un couple de résistance. L'énergie qui en résulte, est transformée en chaleur dans la surface de contact. La chaleur générée augmente la température en un court laps de temps jusqu'à la température de soudage

(température de forgeage). La pièce en rotation est ensuite détachée du mandrin, freinée jusqu'à l'arrêt total. Une force de forgeage axiale est exercée afin de réaliser une soudure entre les deux pièces. Durant la phase d'échauffement et la phase de soudage, une quantité de métal plastique est refoulée, sous l'action de la force de pression axiale de telle sorte que l'ébarbure caractéristique du soudage par friction se forme (voir figure 6).

#### Avantages

Les avantages du soudage par friction sont:

- Assemblages de haute qualité, avec une bonne structure métallurgique, car le matériau n'est pas porté à fusion.
- Procédé de soudage 'one-shot'.
- Pas de préparation spéciale des pièces.
- Procédé de soudage beaucoup plus rapide que les procédés de soudage conventionnels.
- Peu de déformations après soudage en raison du bref temps de soudage et de la faible température maximale.
- Possibilité de souder des pièces de sections très différentes à condition de prendre certaines mesures de précaution.
- Economique: le soudage par friction permet de réaliser des économies sur le coût des pièces soudées (économie en temps, en matériau et en salaire).
- Les matériaux dissemblables ne pouvant être soudés avec d'autres procédés, peuvent être soudés avec le procédé par friction, comme l'aluminium ou le cuivre sur l'acier.
- Très bonne reproductibilité et possibilités d'automatisation.
- Pas de nécessité de métaux d'apport.
- Ecologique: pas de gaz de protection, fumées ou rayonnements.
- Pas de nécessité de soudeurs agréés.

#### Limites

- L'alignement des pièces à souder est critique pour la réalisation d'une friction et d'un chauffage uniformes.
- Les ébarbures doivent être éliminées mécaniquement.
- Coût d'investissement de l'appareillage.
- Les techniques de contrôle non destructif ne sont pas encore appliquées sur les soudures par friction. Le risque existe donc que ces techniques ne puissent pas détecter tous les défauts de soudage. La surveillance des paramètres du processus est probablement la meilleure méthode pour le contrôle de qualité.
- Le soudage par friction ne peut pas être appliqué sur des matériaux ayant un très faible

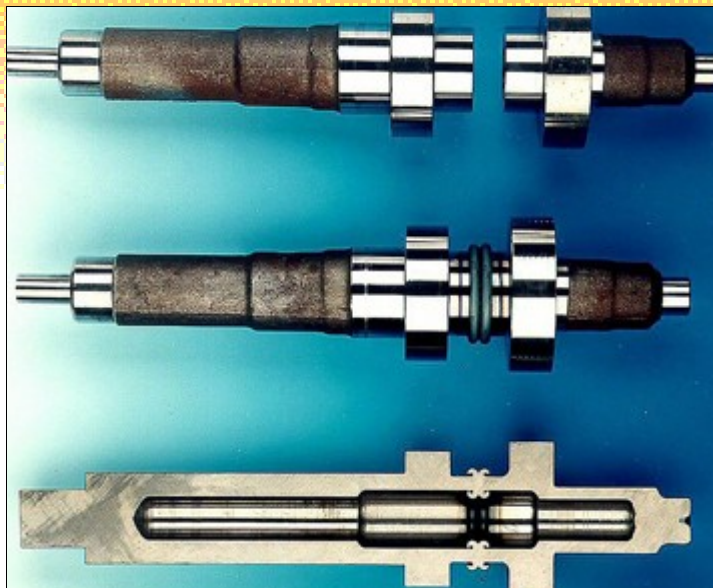


Figure 9: Soudage de tiges de piston (source: Kuka)

coefficient de friction comme la fonte grise, le bronze et le laiton à forte teneur en plomb (les particules de graphite agissent comme des lubrifiants et contrecarrent l'échauffement).

- Lors du soudage de très grandes sections, la capacité de la machine peut constituer une limite.

### Applications

En raison de ses larges possibilités d'applications, il n'est pas étonnant que le soudage par friction soit souvent utilisé dans des secteurs divergents. Les domaines d'application sont entre autres l'industrie aéronautique et la pétrochimie (soudage de brides ou de tubes de forage). Le soudage par friction est fortement utilisé lors de la production de pièces pour camions et engins agricoles (p.ex. des tiges à des yeux de tige - **figure 7**). Une nette économie peut être réalisée en remplaçant des pièces complètement forgées par de plus petites pièces forgées soudées à des produits standard comme des barres ou des tubes.

Le soudage par friction est également utilisé pour la production de pièces dans l'industrie automobile comme des stabilisateurs, des engrenages (**figure 8**), des soupapes, des arbres de trans-

mission, ... Le grand avantage de cette technique de soudage réside dans le fait que certaines combinaisons de matériaux peuvent être soudées, alors qu'elles ne le sont pas avec des techniques de soudage traditionnelles. Exemples: assemblage aluminium-acier (**figure 10**) ou titane-cuivre. Cette possibilité permet de faire des économies en ayant une conception judicieuse de telles pièces. Un exemple est la conception d'une soupape de moteur à combustion. La tête en matériau réfractaire est soudée à la tige en matériau résistant à l'usure.

### SOUDAGE PAR FRICTION SANS ROTATION

#### Soudage par friction linéaire

Lors du soudage par friction linéaire, la chaleur nécessaire est créée par un mouvement de va-et-vient des pièces à souder. Ce procédé permet de souder des pièces symétriques non rotatives. L'application la plus importante du soudage par friction linéaire est la production d'aubes de turbine de moteurs d'avions et de turbines (**figure 11**).

#### Soudage par friction orbital

Le soudage par friction orbital peut

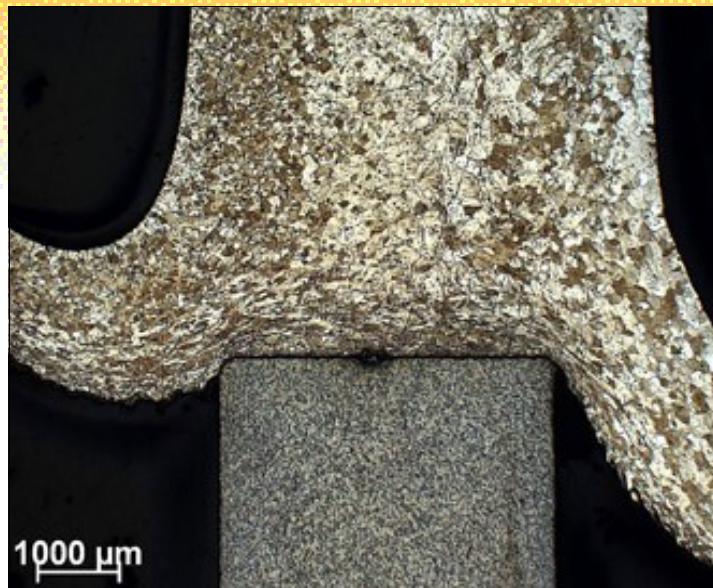


Figure 10: Assemblage aluminium-acier (source: IBS)

être utilisé pour le soudage de pièces ayant une section symétrique non rotative (voir **figure 3**). Les deux pièces sont serrées l'une contre l'autre et une partie exécute un petit mouvement circulaire par rapport à l'autre. Ceci donne une vitesse tangentielle uniforme sur toute la surface. Quand le mouvement s'arrête, les deux parties sont rapidement alignées l'une par rapport à l'autre et la force de forgeage est appliquée afin de former la soudure (**voir figures 12 et 13**).

#### Soudage par friction-malaxage

Le soudage par friction-malaxage (Friction stir welding – FSW) a été inventé et breveté par The Welding Institute (UK) au début des années 90. Lors du soudage par friction-malaxage, un outil rotatif constitué d'un pion profilé et d'un épaulement est enfoncé dans la matière jusqu'à ce que l'épaulement touche la surface du matériau à souder (Figure 14). La matière est ainsi chauffée par friction à des températures où elle est facilement malléable sans entrer en fusion. Lorsque l'outil avance entre les tôles, la matière s'écoule de l'avant vers l'arrière du pion pour former le joint soudé. Ce procédé permet de souder des alliages d'aluminium non

soudables avec les procédés TIG et MIG, ainsi que les alliages sensibles à la fissuration à chaud (alliages AlCu ou AlZnMgCu). Les principaux avantages technologiques de ce procédé appliqué sur les alliages d'aluminium sont:

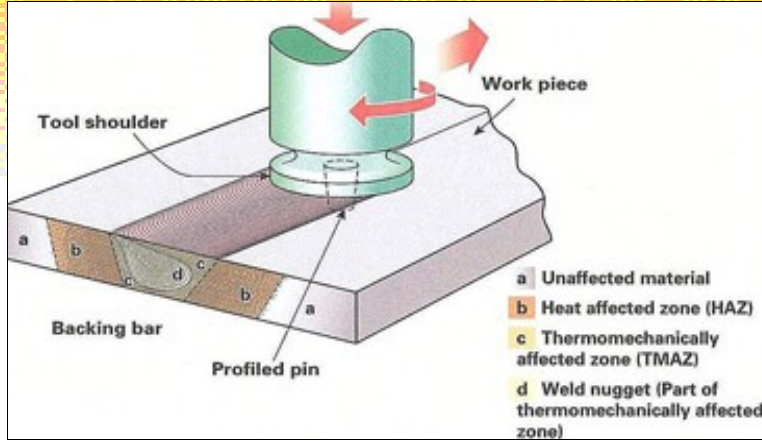
- pas de fissures à chaud ou de porosités
  - pas de gaz de protection ou de métaux d'apport,
  - préparation des joints limitée (uniquement dégraissage)
  - peu d'adoucissement ou de déformation
  - procédé complètement automatisé
  - qualité de soudure constante
  - productivité élevée
  - grande plage d'épaisseurs à souder en une seule passe (0,3 mm à 75 mm)
  - pas de surépaisseur de la soudure
- Le soudage par friction-malaxage est parfaitement approprié pour le soudage d'alliages d'aluminium (voir **figure 15**). Cette méthode connaît déjà de nombreuses applications à l'étranger et est appliquée dans des domaines parfois très critiques comme le transport aérien et spatial, le transport de masse, le secteur nucléaire et l'industrie automobile. Cette technique d'assemblage très prometteuse fait l'objet de recherches, à grande échelle, au niveau mondial.

Figure 11: Aubes de turbine soudées par friction (source: TWI)



Figure 12: Soudage par friction orbital de plaquettes d'aluminium (source: Dyconn)





**Figure 13 (en haut à gauche):** Soudage par friction orbital de profilés creux (source: Dyconn)  
**Figure 14 (au milieu):** Soudage friction stir  
**Figure 15 (en bas):** Soudure friction stir  
**Figure 16 (en haut à droite):** Friction stud welding

**AUTRES PROCÉDES BASES SUR LA FRICTION**

Un aperçu des autres procédés de soudage par friction est donné à la **figure 3**.

**Soudage par friction par points**  
 Lors du soudage friction spot, on utilise, comme pour le soudage par friction-malaxage, un pion profilé pour l'assemblage de tôles en

configuration à recouvrement. L'outil est pressé dans la tôle supérieure, tandis que la tôle inférieure est soutenue. Le matériau chauffé sous l'outil se déforme plastiquement si bien que les couches d'oxydes sont éliminées. Le soudage friction spot fait l'objet de recherches comme alternative au soudage électrique par points. Un grand intérêt existe dans l'industrie automobile pour le soudage des alliages d'aluminium.

**Soudage par friction des goujons**

Le soudage par friction des goujons est un soudage à l'état solide où une barre ou un goujon est mis en rotation à vitesse élevée et est pressé contre une autre surface. Le matériau devient plastique par friction et les impuretés sont éliminées. La température reste toujours inférieure à la température de fusion des matériaux.

Ce procédé est une alternative au soudage électrique des goujons et a surtout des avantages lors du soudage dans des conditions difficiles (comme sous eau).

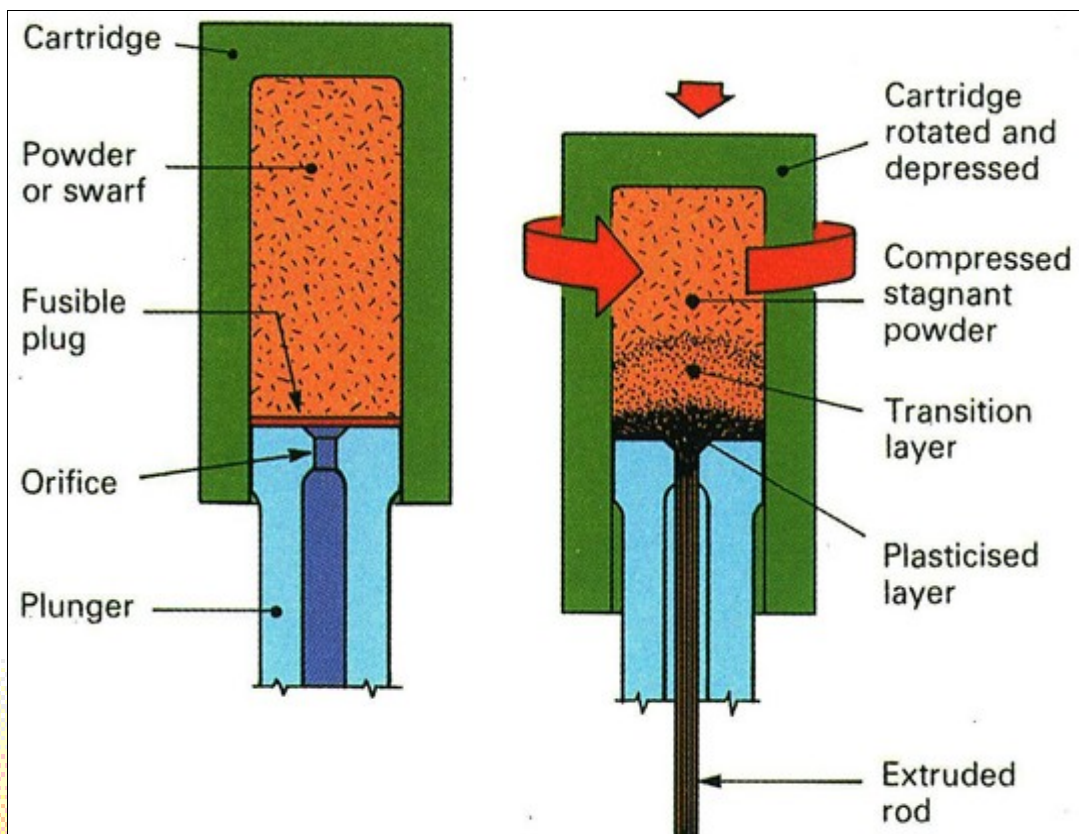
**Rechargement**

Le procédé par friction peut aussi être utilisé pour déposer des couches de rechargement (cladding).

**Friction extrusion**

La friction peut aussi être utilisée pour recycler les déchets d'aluminium. Le principe du procédé est montré à la **figure 17**. Un cylindre avec des déchets est mis en rotation contre une matrice interne. A la matrice, le matériau devient plastique et est ainsi extrudé sous forme de barre.

**Figure 17:** Friction extrusion



**CONCLUSIONS**

Le soudage par friction est un procédé de soudage multiple et innovateur qui a de nombreuses applications dans différentes branches de l'industrie. Les avantages de ce procédé sont que des assemblages de très haute qualité peuvent être réalisés, que ce procédé est beaucoup plus rapide que les procédés conventionnels et qu'il peut être complètement automatisé de sorte qu'une qualité constante est garantie. De plus, ce procédé de soudage présente d'importants avantages en matière écologique: il n'y a aucune émission de fumées, UV ou rayonnements électromagnétiques. Aucun métal d'apport ou gaz de protection ne sont utilisés. □