

# Soudage par friction-malaxage et problématique de contrôle

Pascal PAILLARD

**Journée technique sur les CND  
pour les assemblages collés & soudés  
jeudi 4 février 2016**

# Le procédé de soudage

---

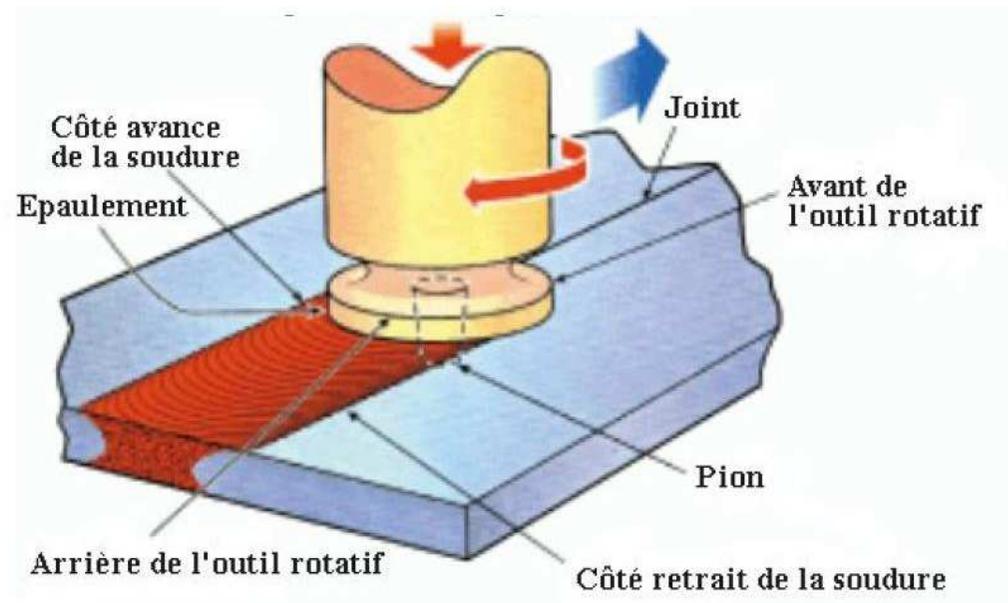
- ❖ **Le procédé de soudage Stir welding a été mis au point et breveté en 1991 par le TWI.**
- ❖ **Il est développé pour des applications de soudage très spécifiques :**

**Alliages légers, raboutage de tôles**

❖ **Le principe consiste à fournir de la chaleur au métal de base par friction du métal par un outil qui tourne dans le plan de joint des pièces à assembler.**

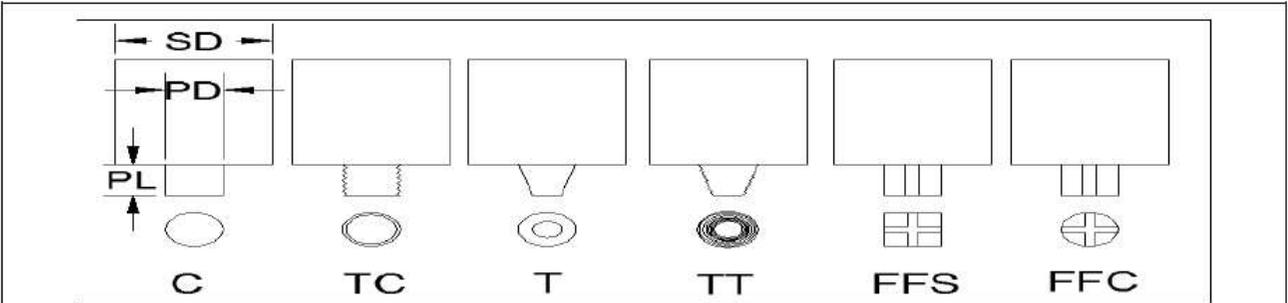
❖ **Une couche de métal sous forme plastique est formée sous l'embase par le pion**

❖ **Ce procédé réalise l'assemblage à une température inférieure à la température de fusion du métal.**

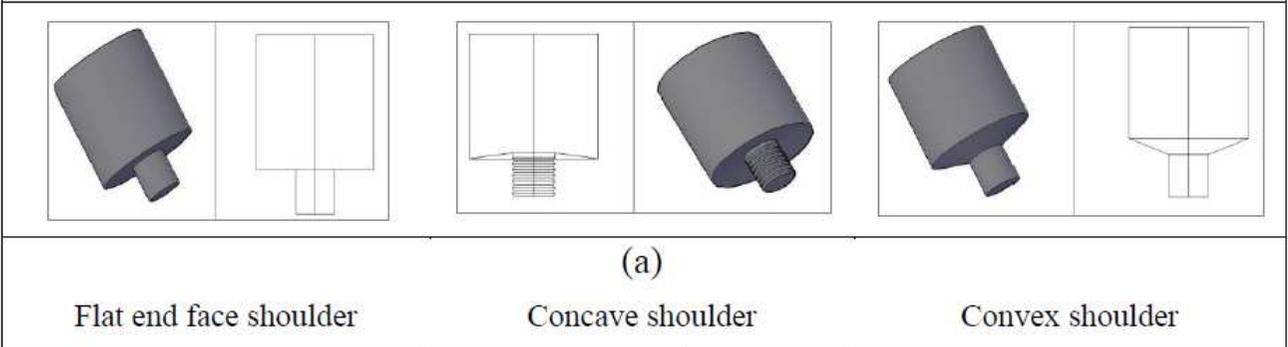


# Les outils de malaxage

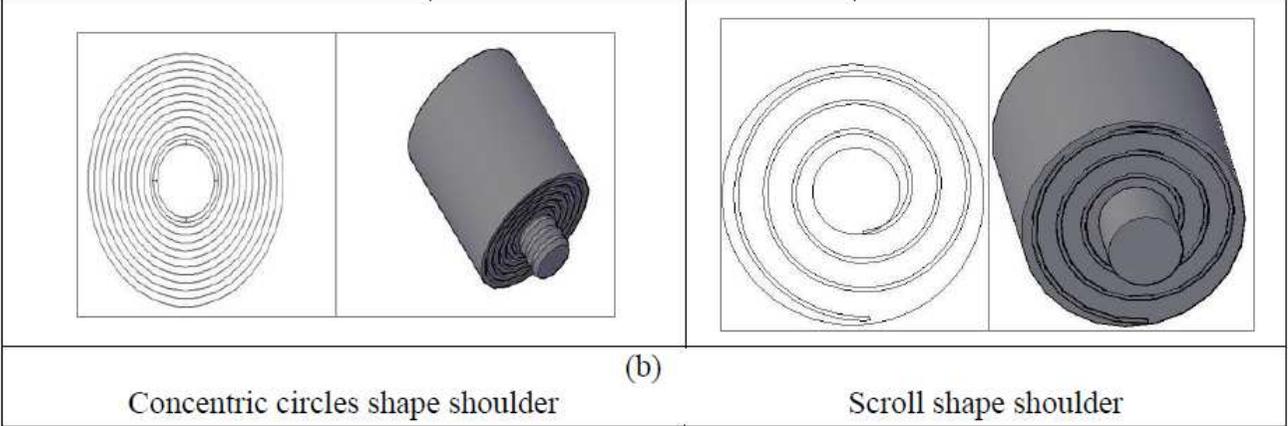
Forme du pion



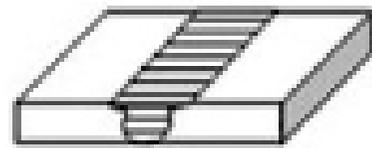
Forme de l'épaulement



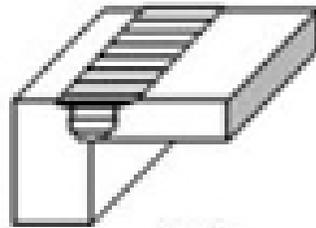
Structuration de l'épaulement



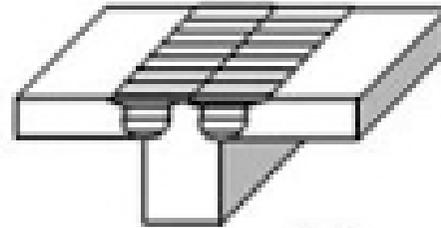
# Type de joints



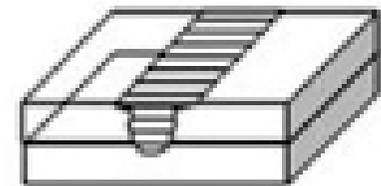
(a)



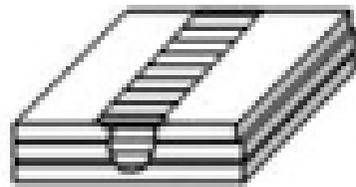
(b)



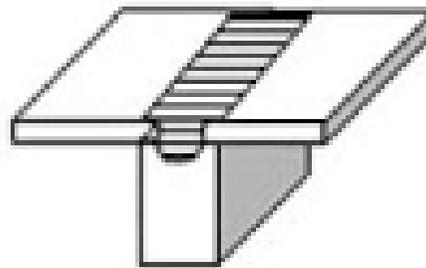
(c)



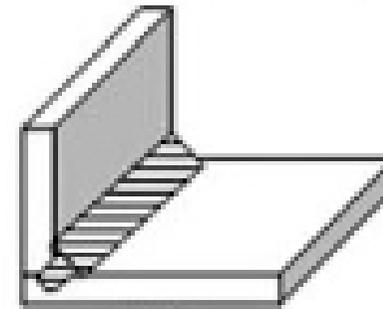
(d)



(e)



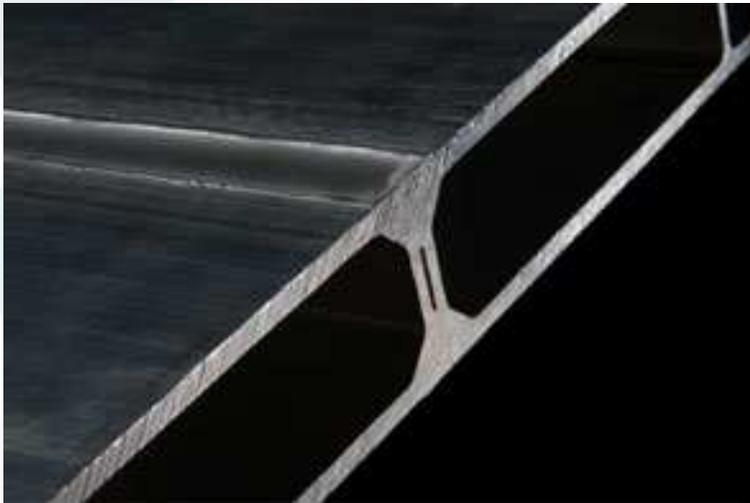
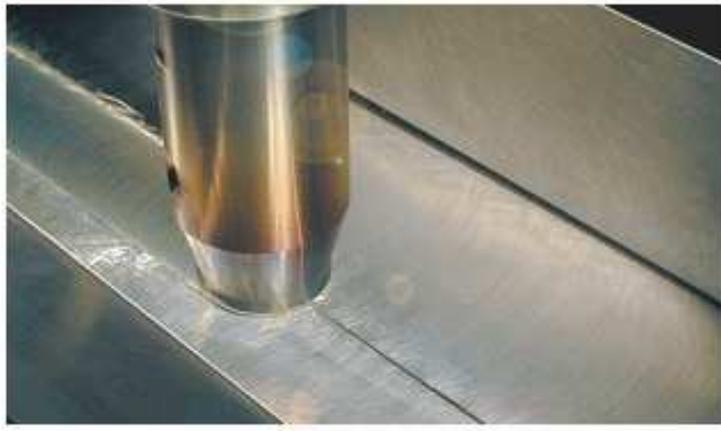
(f)



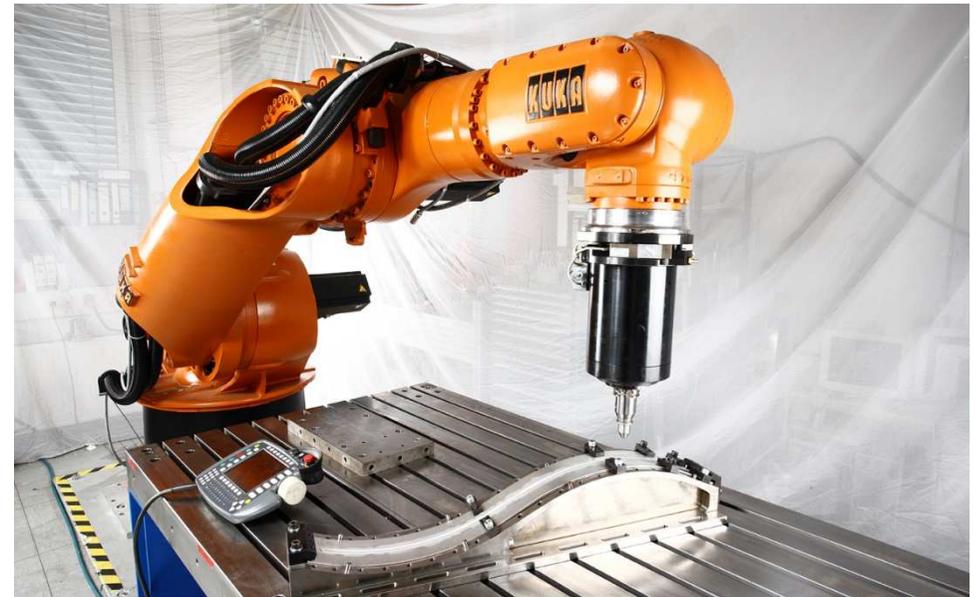
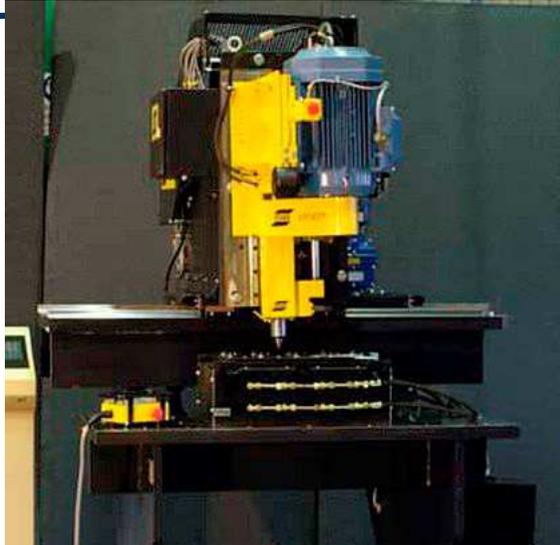
(g)

# Des exemples de réalisation

---



# Les équipements



# Les possibilités du procédé

---

- ❖ **Soudage de très grande longueurs : 20 m**
- ❖ **Epaisseurs de 1,6 mm à 30 mm en une seule passe**
- ❖ **Possibilités de soudage par points ou en tirets**
- ❖ **Possibilité de soudage par transparence**
- ❖ **Pas de consommables, ni gaz de protection, ni métal d'apport.**
- ❖ **Pas de porosités,**
- ❖ **Peu de risque de fissuration à chaud**
- ❖ **Procédé totalement automatisé (reproductibilité et suivi de paramètres)**
- ❖ **Aspect des soudures régulier et de bonnes qualité (pas d'opération post soudage)**

# Les avantages du procédé

---

- ❖ **Faibles déformations, tolérance par rapport aux dimensions des pièces,**
- ❖ **Propriétés mécaniques généralement supérieures à celle obtenues avec des procédés conventionnels par fusion,**
- ❖ **Propreté,**
- ❖ **Pas de consommables,**
- ❖ **Soudage des aluminium difficilement soudables (2xxx, 6xxx et 7xxx) par des procédés classiques,**
- ❖ **Possibilités d'assemblages hétérogènes.**

# Les inconvénients du procédé

---

- ❖ **Applications limitée aux métaux, mais utilisable de préférence sur des métaux ductiles.**
- ❖ **Usure des outils suivant les matériaux à assembler,**
- ❖ **Utilisable seulement sur certains types de préparations, nécessite de revoir la préparation des pièces**
- ❖ **Investissement initial important.**

# Soudage FSW des aciers HLE

---

- ❖ **Soudage d'un acier**

**S690QL**

- ❖ **Outil : Nitrure de**

**Bore Massif**

- ❖ **Étude de la qualité**

**des soudures**

- ❖ **Étude de l'usure de**

**l'outil**

- ❖ **2 campagnes d'essai :**

**Soudure « chaude »**

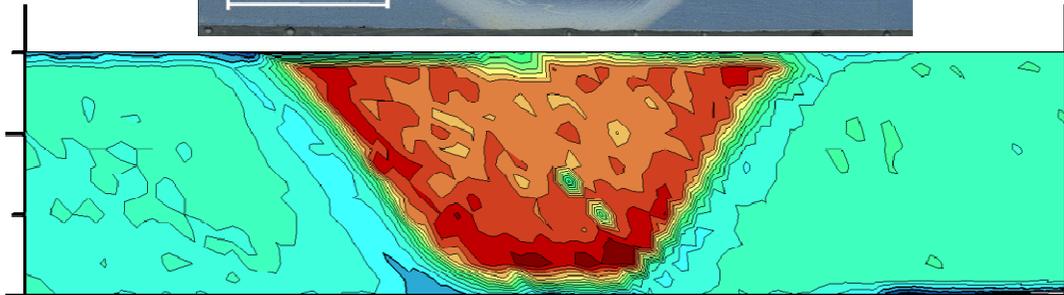
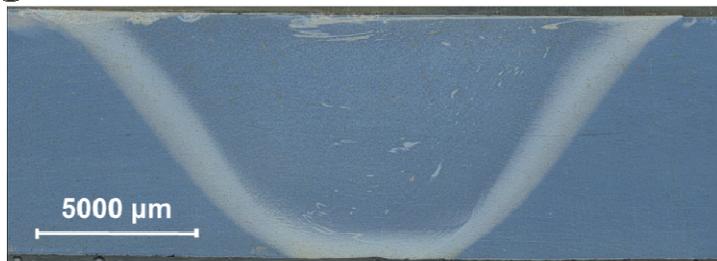
**Soudure « froide »**



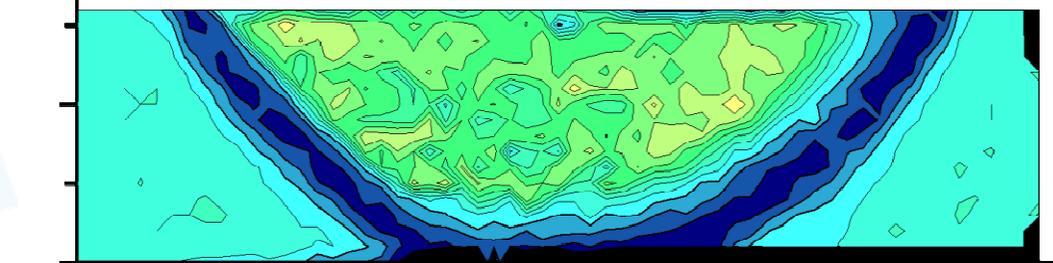
Advancing

Retreating

Campagne 1  
Campagne 2



Soudure  
« Chaude »



Soudure  
« Froide »



# FSW et Normalisation

---

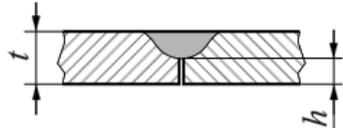
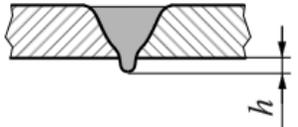
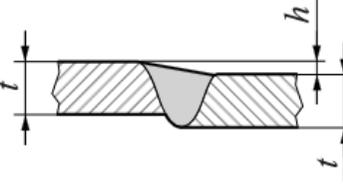
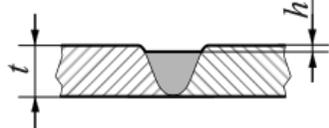
- ✦ **NF EN ISO 25239-1 Février 2012**, Soudage par friction-malaxage - **Aluminium**  
- Partie 1 : vocabulaire
- ✦ **NF EN ISO 25239-2 Février 2012**, Soudage par friction-malaxage - **Aluminium**  
- Partie 2 : conception des assemblages soudés
- ✦ **NF EN ISO 25239-3 Février 2012**, Soudage par friction-malaxage - **Aluminium**  
- Partie 3 : qualification des opérateurs soudeurs
- ✦ **NF EN ISO 25239-4 Février 2012**, Soudage par friction-malaxage - **Aluminium**  
- Partie 4 : descriptif et qualification des modes opératoires de soudage
- ✦ **NF EN ISO 25239-5 Février 2012**, Soudage par friction-malaxage - **Aluminium**  
- Partie 5 : exigences de qualité et de contrôle

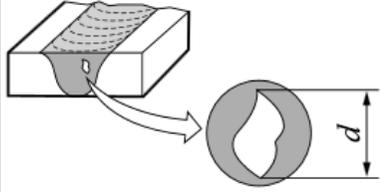
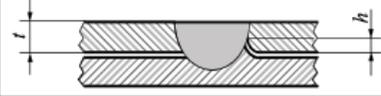
➤ **contrôle visuel**

➤ **essais non destructifs : ressuage, radiographie, US**

➤ **essais destructifs : traction, pliage, dureté, texture**

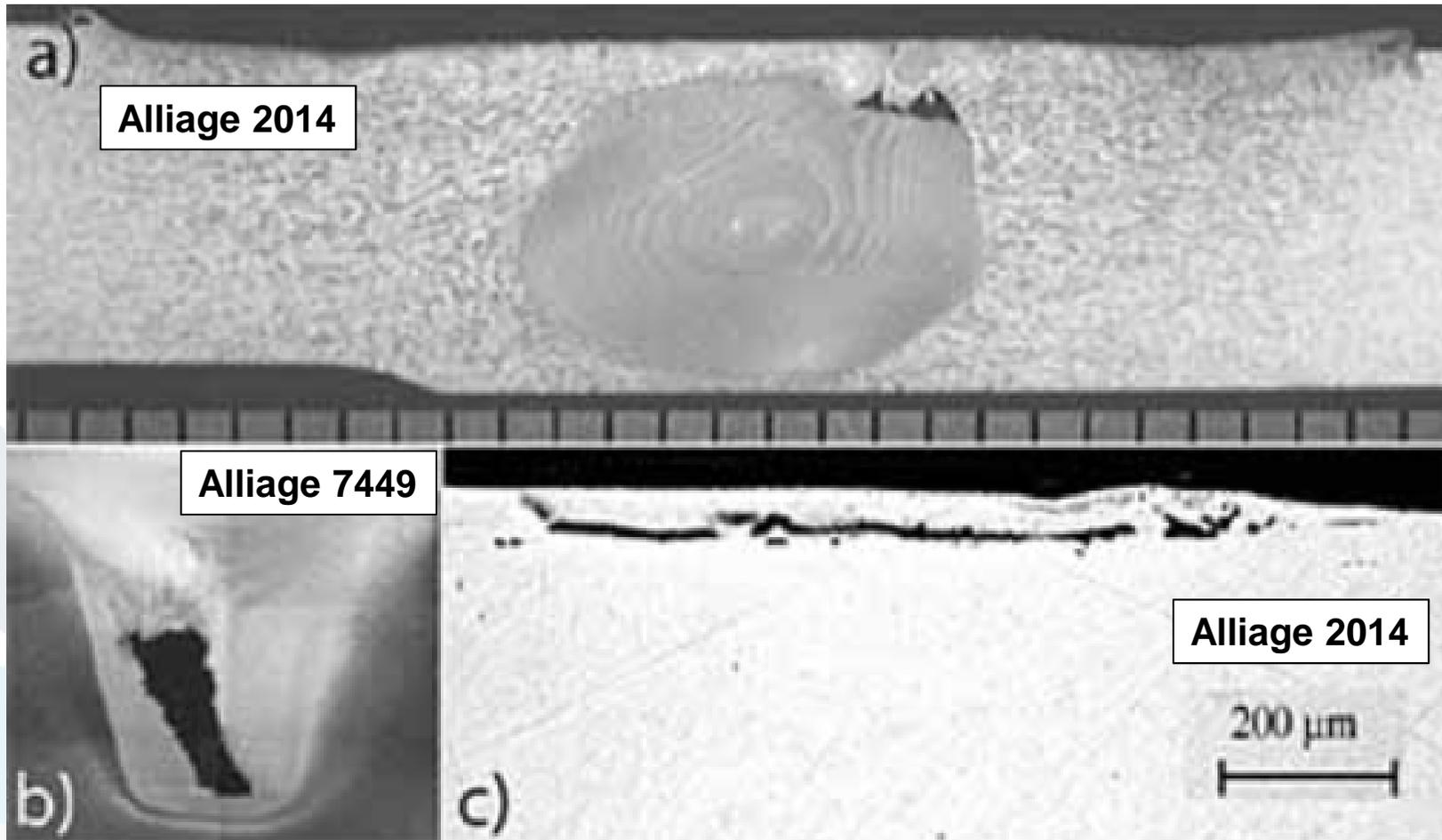
## Mention pour les défauts de la norme NF EN ISO 6520-1 : classification des défauts soudage par fusion

Désignation du défaut	Remarques	Essais et contrôles dans l'ISO 25239-4 <sup>a</sup>	Niveaux d'acceptation <sup>a</sup>	Numéro de référence dans l'ISO 6520-1 <sup>[3]</sup>
<b>Imperfections de surface</b>				
Pénétration incomplète		CM	Non autorisée	— <sup>c</sup>
Excès de pénétration		CV, CM	$h \leq 3 \text{ mm}$	504
Bavure au niveau du bord de la soudure		CV, CM	— <sup>b</sup>	— <sup>c</sup>
Défaut d'alignement		CV, CM	$h \leq 0,2t$ ou 2 mm, la plus grande des deux valeurs étant retenue	507
Manque de métal		CV, CM	$h \leq 0,2 \text{ mm} + 0,1t$ pour $t \geq 2 \text{ mm}$ : $h \leq 0,15t$ pour $t < 2 \text{ mm}$	— <sup>c</sup>
Largeur irrégulière	Variation excessive de la largeur de la soudure	CV	— <sup>b</sup>	513
Surface irrégulière	Rugosité de surface excessive	CV	— <sup>b</sup>	514

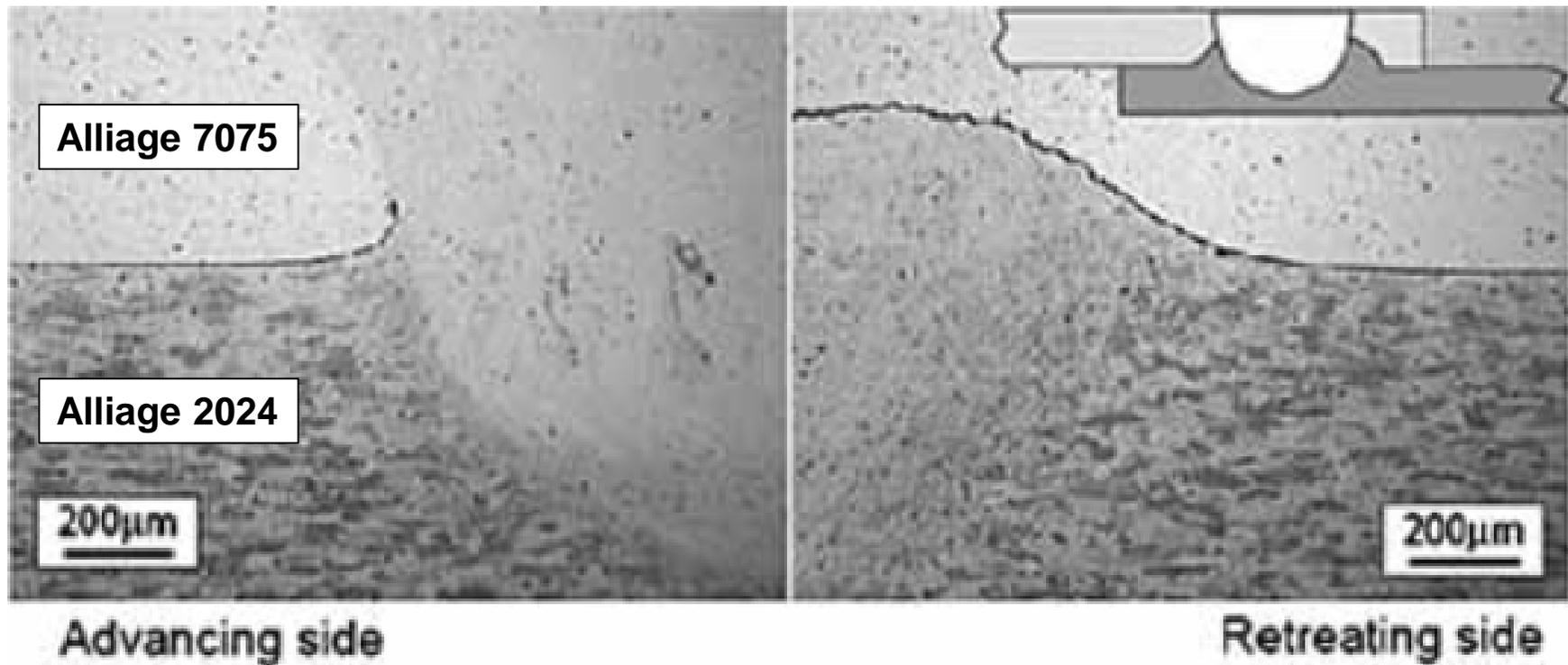
Désignation du défaut	Remarques	Essais et contrôles dans l'ISO 25239-4 <sup>a</sup>	Niveaux d'acceptation <sup>a</sup>	Numéro de référence dans l'ISO 6520-1 <sup>[3]</sup>
<b>Défauts internes</b>				
Cavité allongée		CM	$d \leq 0,2s$ ou 4 mm, la plus grande des deux valeurs étant retenue	200
Remontée d'interface		CM	— <sup>b</sup>	— <sup>c</sup>
<p><b>Symboles et termes abrégés</b></p> <p><i>d</i> dimension maximale de la section transversale de la cavité (mm)</p> <p><i>h</i> hauteur d'un défaut (mm)</p> <p><i>s</i> épaisseur (pénétration) nominale d'une soudure bout à bout (mm)</p> <p><i>t</i> épaisseur nominale du métal de base (mm)</p> <p>CV contrôle visuel</p> <p>CM contrôle macroscopique</p> <p><sup>a</sup> Si requis, il convient que les contrôles non destructifs soient effectués conformément à l'ISO 3452-1 (contrôle par ressuage), l'ISO 17636 (contrôle par radiographie) et l'ISO 17640 (contrôle par ultrasons). Les essais et contrôles relatifs à d'autres défauts et leurs niveaux d'acceptation doivent être conformes aux exigences pertinentes ou à la spécification de conception.</p> <p><sup>b</sup> Les niveaux d'acceptation doivent se situer dans les limites spécifiées dans les exigences pertinentes ou dans la spécification de conception.</p> <p><sup>c</sup> Voir l'ISO 25239-1.</p>				

## NF EN ISO 6520-2 : classification des défauts soudage par pression Soudage par friction

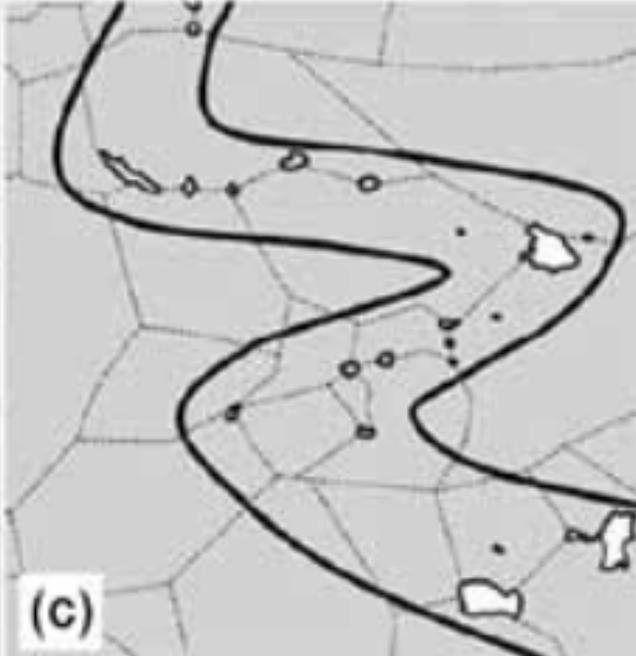
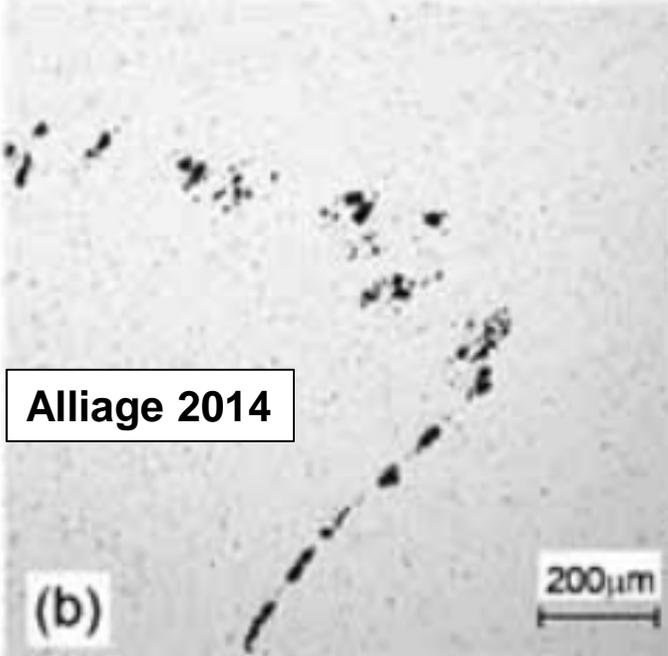
## « Porosités » ou manque de cohésion dans l'assemblage homogène



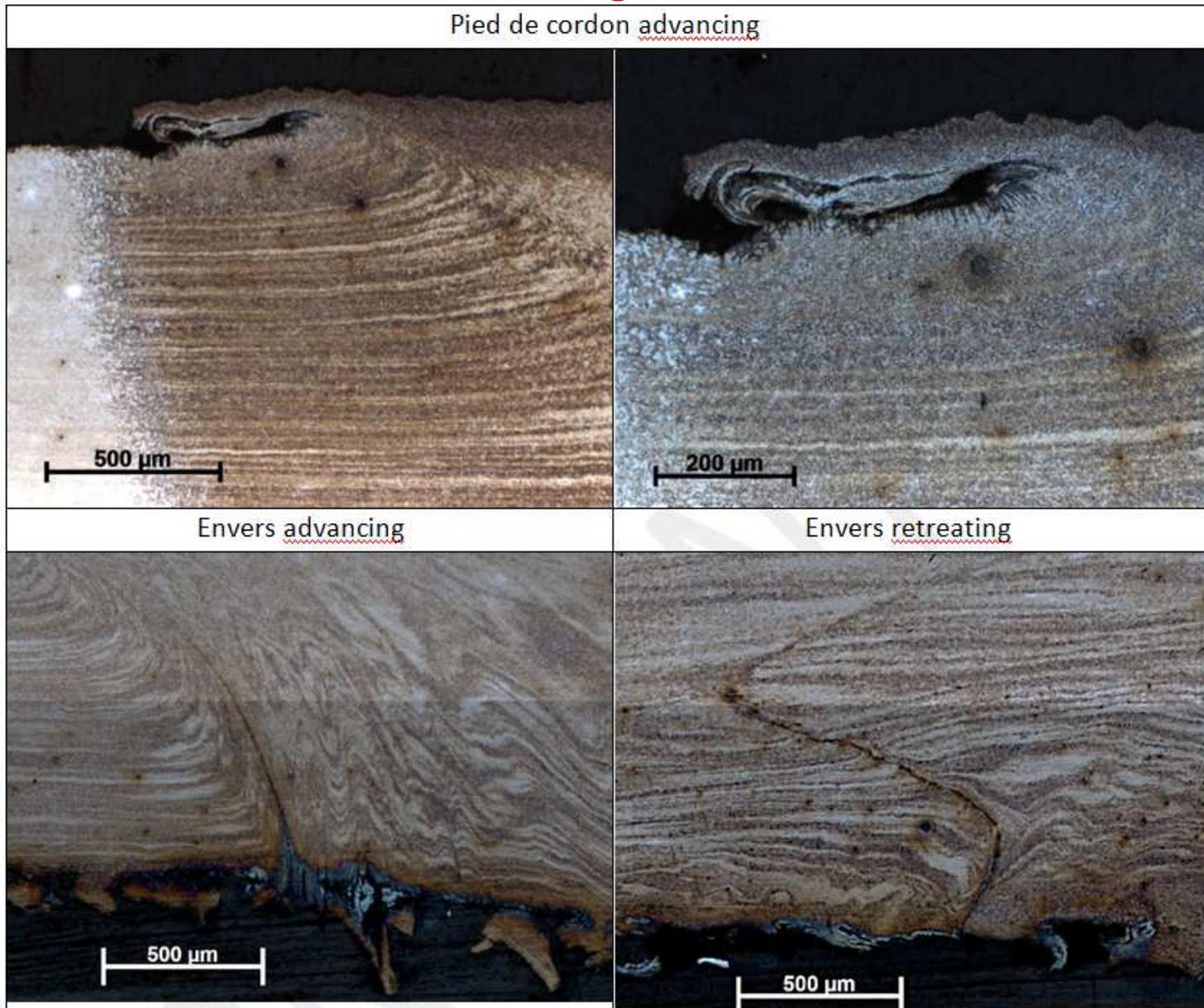
## Manque de cohésion dans l'assemblage hétérogène



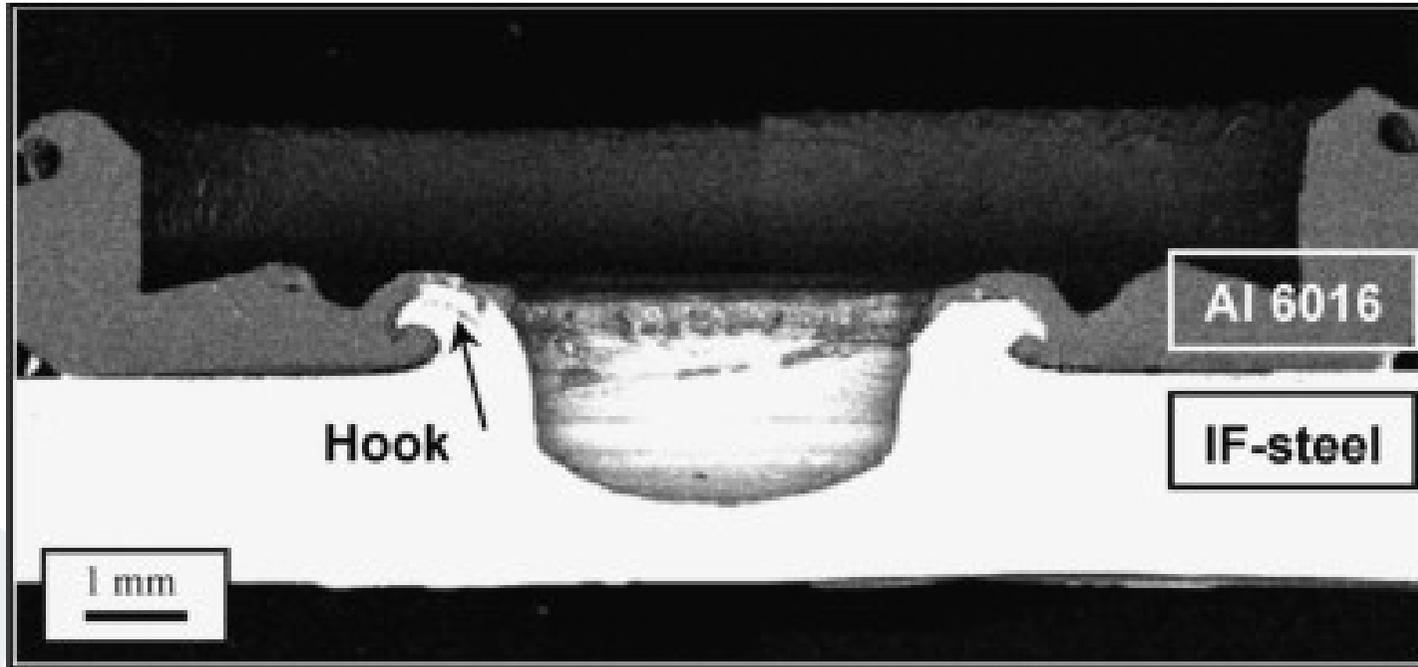
# Effet des oxydes : défaut kissing bond



## Quid des assemblages d'aciers HLE ?



## Assemblage par FSWP entre acier et aluminium : comment contrôler ?



# Conclusions

---

- ❖ **Présence de défauts dans les assemblages**
- ❖ **Nocivité de ces défauts ?**
- ❖ **Comment les contrôler ?**
  - **Assemblages hétérogènes**
  - **Matériaux fortement contraints**
- ❖ **Les critères d'acceptabilité**
  - **On nous demande d'utiliser des normes pour assemblage par fusion !**
  - **Il n'y a rien pour les assemblages acier sur acier et encore moins sur assemblage hétérogène (acier – aluminium)**
  - **Frein à l'industrialisation**

# Soudage par friction-malaxage et problématique de contrôle

**MERCI DE VOTRE ATTENTION**

Pascal PAILLARD

**Journée technique sur les CND  
pour les assemblages collés & soudés  
jeudi 4 février 2016**