

Métallographie des soudures

Application Notes

Jusqu'à la fin du 19^{ème} siècle, des sections de métal étaient jointes par un processus de chauffage et de martelage appelé le soudage à forge. Aujourd'hui, toute une variété de processus de soudage différents est disponible, de sorte que le soudage est utilisé intensivement comme processus de fabrication servant à joindre des matériaux de nombreuses compositions, formes et tailles.

De nombreux types d'industries de production emploient une grande variété de processus de soudage:

- Les industries aéronautique et aérospatiale, pour les ailes et les fuselages, par exemple.
- Les industries navale et maritime, pour les panneaux des ponts et les superstructures, par exemple.
- Les industries de transport terrestre / automobile.
- Les industries du pétrole et pétrochimique pour les plateformes de forage et les pipelines, par exemple.
- Domestique, par exemples les produits électroménagers et les meubles métalliques.



Soudage à l'arc avec électrode enrobée



Section polie et attaquée à travers un soudage en plusieurs passes d'un acier inoxydable austénitique. Après une attaque colorante selon Lichtenberger et Bloech. Fond clair, 6,5x.

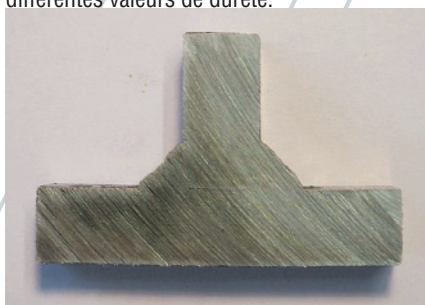
Pour le contrôle des processus, la recherche et l'analyse des défauts, la métallographie est utilisée pour une vérification des nombreux aspects différents dans une soudure, par exemple le nombre et la taille des passes, la profondeur de pénétration, l'étendue de la zone affectée thermiquement (ZAT), et tout autre défaut tel que les porosités et fissures sur les pièces représentatives. Comme les

soudures sont réalisées dans une grande variété de matériaux différents, il est essentiel de choisir une méthode de préparation métallographique appropriée.

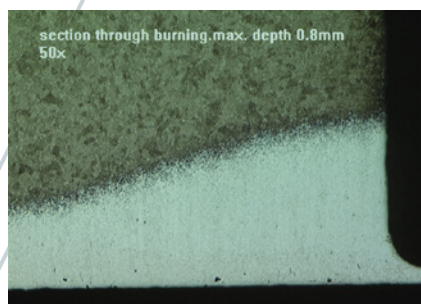
Difficultés rencontrées lors de la préparation métallographique

L'introduction de tout dommage thermique au cours du processus de tronçonnage doit être évitée, car elle pourra altérer la microstructure et les propriétés dans le joint soudé.

Une compréhension approfondie du processus de préparation est nécessaire pour faire face aux difficultés que représentent les variations des propriétés d'un matériau au cœur et au travers du joint soudé, si l'on veut obtenir une bonne planéité entre les éléments microstructuraux ayant différentes valeurs de dureté.



Dommages thermiques sur une soudure en acier.



Section transversale polie et attaquée montrant la profondeur à laquelle un dommage thermique peut pénétrer. Fond clair, 50x.

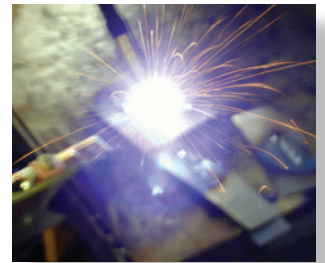
Solution

Il est important de choisir la meule de tronçonnage correcte ainsi que les paramètres de tronçonnage adéquats afin d'éviter de causer tout dommage thermique à l'échantillon.

Il faudra choisir sa méthode de préparation selon les types de matériaux composant la soudure et l'optimiser pour minimiser le risque de relief entre les phases dures et tendres de la soudure, la zone affectée thermiquement et le matériau de base.

Procédés d'assemblage nécessitant de la chaleur

Procédé de soudage



Les procédés disponibles pour la jointure des métaux et alliages sont les suivants

- Le brasage tendre*
- Le brasage fort**
- Le soudage

Ce qui fait la distinction entre le soudage le brasage tendre et le brasage fort sont les points suivants:

- Le brasage tendre (Fig.1) et brasage fort (Fig. 2) impliquent la fusion d'un matériau à une température de fusion plus basse entre les pièces pour former un lien entre elles, sans pour autant faire fondre les pièces.
- Les matériaux à souder sont élevés au-dessus de leur point de fusion à proximité du joint, afin qu'il y ait fusion.
- En conséquence de cela, des changements chimiques et métallurgiques complexes ont lieu dans les matériaux autour du joint soudé.
- Ces changements microstructuraux peuvent avoir une influence profonde sur les propriétés du joint et sur son aptitude à l'emploi.

* Le brasage tendre: il s'agit du procédé par le biais duquel deux métaux sont joints par l'intermédiaire d'un troisième métal ou alliage avec un point de fusion relativement bas. Le brasage tendre se caractérise par la valeur du point de fusion du troisième métal ou alliage, qui est inférieur à 450°C. .

** Le brasage fort: a lieu à la température de fusion du métal d'apport pour brasage (par exemple, de 870°C à 980°C pour les alliages de bronze) ce qui est souvent considérablement plus bas que le point de fusion du matériau de base (par exemple, 1600°C pour l'acier doux).

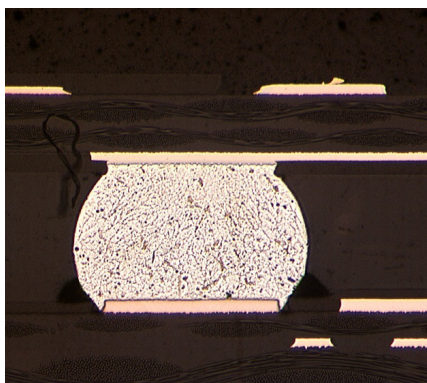
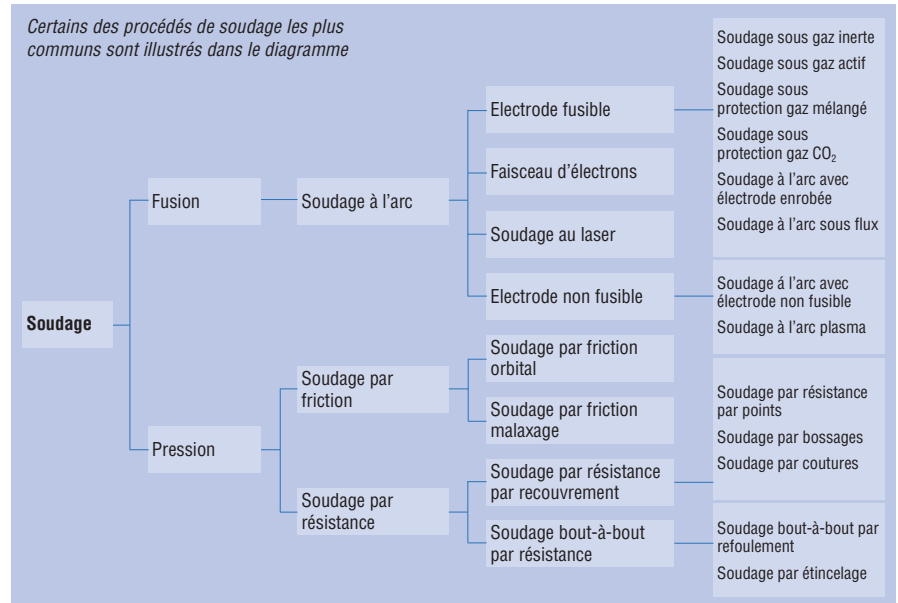


Fig. 1: Section polie d'une brasure tendre entre des connections conductrices de cuivre dans un circuit imprimé. Fond clair, 100x.

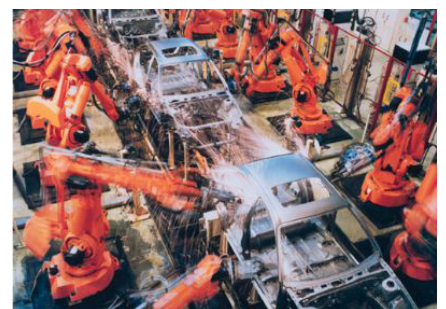


En général, une soudure est considérée comme une jonction entre deux pièces de métal ou plus dans lesquelles les surfaces doivent être élevées à un état plastique (par exemple, le soudage par friction linéaire Fig. 3) ou à un état liquide par l'application de chaleur avec ou sans métal ajouté et avec ou sans application de pression.

Chacun de ces processus possède ses caractéristiques propres et uniques, par exemple, la pénétration, la vitesse de soudage, la génération de laitier, le débit de chaleur, les propriétés d'une soudure, etc. et ceci peut, en revanche, avoir une influence considérable sur le détail microstructural qui est résulte.

En conséquence, toute étude sur les effets d'un processus de soudage particulier demandera un examen métallurgique minutieux d'échantillons

de soudure représentatifs, que l'objectif soit l'examen de l'intégrité d'ensemble de la soudure ou bien la relation microstructure/propriété, ou encore l'identification de la nature et l'origine des défauts. L'exactitude de l'analyse et l'interprétation microstructurelles vont alors dépendre de la production des échantillons préparés, exempts de tout artefacts pouvant avoir été introduits à n'importe quelle étape du processus de préparation.



Soudage robotisé

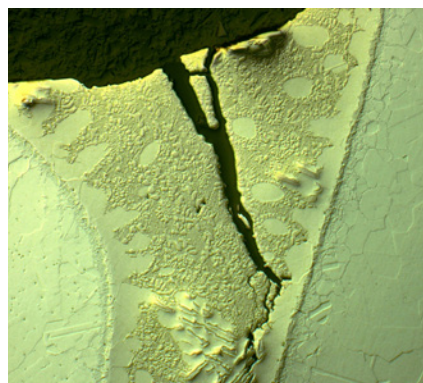


Fig. 2: Section polie à travers une brasure forte fissurée dans un acier inoxydable austénitique. Contraste interférentiel différentiel, 100x.



Fig. 3: Interface de fusion sur un alliage d'acier faiblement allié soudé par friction linéaire sous pression, montrant une zone affectée thermiquement et une déformation plastique associée. Fond clair, 25x.



Section transversale d'un alliage à base de nickel soudé par faisceau d'électrons, montrant une microstructure basaltique soudée avec quelques bulles diffusées. Fond clair, 50x.



Soudure de tuyaux

Prélever des sections test de soudures

Les principes et pratiques métallographiques peuvent être appliqués à l'examen de sections soudées pour atteindre un certain nombre d'objectifs; les plus communs sont indiqués ci-dessous:

• Essai d'homologation du soudeur

Dans ce type de test, un soudeur individuel soude une pièce de test appropriée, sous des conditions bien spécifiques.

Cette pièce de test est alors examinée par mesure, inspection visuelle et examen de la section préparée à travers la soudure. Si la soudure atteint le standard convenu, le soudeur sera approuvé pour souder des soudures du même type que la soudure testée.

• Essai d'homologation d'un procédé

Dans ce type de test, c'est le procédé de soudage dans un matériau particulier, avec une configuration de joint particulière, qui va être approuvé. La soudure est examinée dans son intégralité par différents moyens, l'un d'entre eux inclut une section préparée dans le joint soudé. Une mesure de dureté sur une coupe transversale du matériau de base, de la zone thermiquement affectée et du métal soudé est normalement réalisée.

• Contrôle qualité en Production

Dans ce type de test, un nombre repré-

sentatif de soudures sont sectionnées, puis examinées comme une étape du processus de production.

• Analyse des défauts

• Recherche et Développement

Deux niveaux d'inspection métallographique

L'examen des sections métallographiques dans les cordons de soudure est habituellement accompli à deux niveaux d'inspection:

Macro: Où des grossissements jusqu'à 50x sont utilisés sur des microscopes stéréoscopiques.

Micro: Où l'examen a lieu à des grossissements plus élevés (jusqu'à 1000x) sur microscope optique.

L'examen macroscopique est généralement réalisé sur des sections transversales de joints soudés, non-enrobés et ne nécessite que des techniques de tronçonnage et prépolissage grossier/fin. La finition alors obtenue est adéquate pour l'attaque, suivie de l'examen des particularités macrographiques du joint soudé.

Pour les techniques d'examen micrographique et de mesure de dureté sur une coupe transversale à la soudure, l'obtention d'une surface polie et optiquement plane est nécessaire. Ceci implique un tronçonnage, enrobage, suivis d'un prépolissage et polissage. Il faut s'attendre à ce que des artefacts puissent être introduits à tout niveau du processus de préparation. Ceci est particulièrement le cas pour les sections soudées, car non seulement les variations microstructurales apparaissent sur des distances relativement courtes, mais certaines soudures peuvent aussi joindre des métaux dissemblables avec des propriétés complètement différentes.

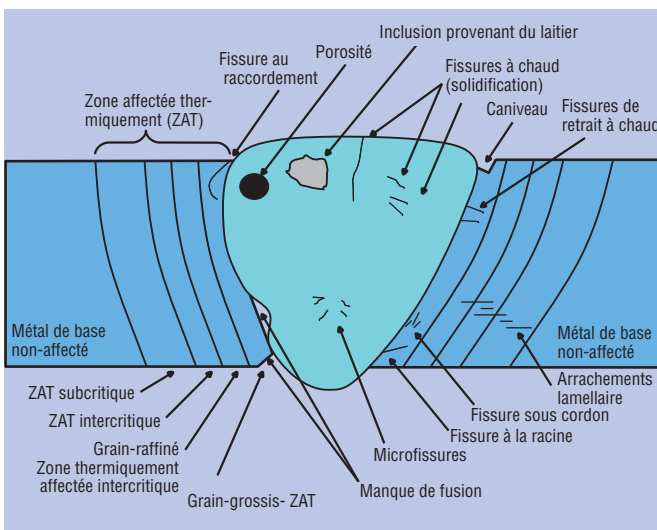


Schéma illustrant les différentes régions de la zone affectée thermiquement (ZAT) dans une soudure à passe unique et les défauts éventuels.

Recommandations pour la préparation des microsections de soudure

TRONÇONNAGE

Pour la plupart des essais d'homologation du soudeur, il est suggéré de tronçonner des sections macrographiques transversales à travers les positions d'arrêt/départ de la soudure. C'est à ces emplacements qu'un manque d'habileté du soudeur résultera d'une formation de défauts dans la soudure.

En ce qui concerne la soudabilité et autres études, la section doit être parfaitement représentative. Souvent, une découpe au chalumeau est utilisée comme technique primaire, par exemple pour prélever une section soudée plus facile à manier à partir d'un produit plus grand. Il est important, dans ces cas-là, que la section macro/micrographique soit tronçonnée par un processus de tronçonnage abrasif sous eau, et que la section soit réalisée à distance de tout dommage thermique généré par une opération de tronçonnage thermique préalable.

Pour que la déformation créée par le tronçonnage soit réduite au minimum et que tout risque de dommage thermique sur la surface tronçonnée soit évité, il est important que:

- Le type correct de meule de tronçonnage abrasive soit choisi.
- La vitesse d'avance adéquate soit utilisée.
- Le niveau de liquide de refroidissement soit adéquat tout au long du tronçonnage.

ENROBAGE

Normalement, les sections macrographiques pour le test procédural sont préparées non-enrobées en raison des contraintes temporelles que cela impliquerait, et aussi parce que la finition après le prépolissage fin est généralement suffisant pour l'examen macrographique. Si la préparation semi-automatique est une option, il existe alors un certain nombre de porte-échantillons qui pourront être utilisés pour les sections transversales non-enrobées des joints soudés. Si un enrobage est requis, deux options sont disponibles: l'enrobage à chaud sous pression ou l'enrobage à froid. Il n'est pas inhabituel, cependant, dans l'examen des soudures, d'avoir des sections transversales relativement grandes.



Dans ce cas, des tailles de section jusqu'à 120 x 60 x 45 mm pourront être enrobées dans UnoForm de Struers, des moules rectangulaires pour l'enrobage à froid.

PRÉPARATION MÉCANIQUE

Sections macrographiques

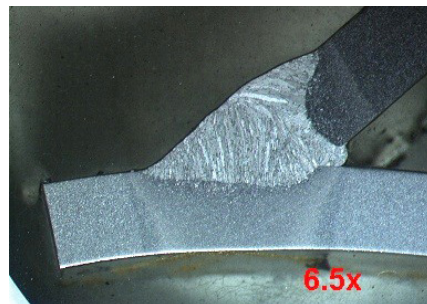
Traditionnellement, les sections soudées, destinées à l'examen macrographique, sont préparées manuellement sur des feuilles de papier SiC de granulométrie de plus en plus fine, jusqu'à une taille de grain de 1200. Cela est habituellement suffisant pour la mesure de dureté sur une coupe transversale du matériau de base, de la zone affectée thermiquement et du métal d'apport, tout en étant adéquat pour l'attaque macrographique qui facilitera l'examen macrographique de la soudure. Le papier de carbure de silicium a ses limites pour ce qui est de son efficacité abrasive (de 1 à 1½ min.), ce qui empire encore plus la dimension de la section augmente. Alternativement, les supports de prépolissage/prépolissage fin pour la préparation manuelle, les disques MD-Piano de Struers offrent un certain nombre d'avantages:

- Une plus grande durée des capacités abrasives.
- Un temps d'enlèvement constant sur une période de temps plus longue.
- Adéquats pour une grande palette de dureté de matériaux (HV150-2000).
- Moins de déchets.

Les disques MD-Piano sont des disques diamantés à liant de résine qui ont été développés pour le prépolissage grossier et fin des matériaux dans une plage de dureté de HV150 à 2000, et ils sont disponibles en tailles de grain comparables à celles du papier SiC: 80, 120, 220, 600 et 1200.



Enrobages rectangulaires de soudures variées.



Section macrographique après prépolissage et attaque dans une soudure au MIG (soudage sous gaz inerte) à l'acier au carbone, attaqué au Nital 4%. Fond clair, 6,5x.

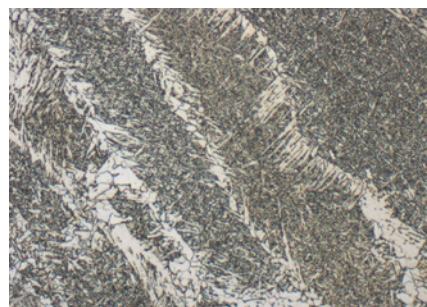
Sections micrographiques

Les matériaux des échantillons de soudures peuvent avoir une dureté très variable de part et d'autre de l'échantillon, soit en raison des changements pouvant avoir lieu dans une phase durant le soudage, soit parce que le joint peut être composé de métaux qui ne sont pas similaires. Le métal d'apport peut contenir des précipités durs ou des défauts de soudure. En conséquence, il est important que la méthode de préparation garantisse un relief de polissage minimal, entre les caractéristiques microstruc-

Soudures au carbone et acier faiblement allié

Etape	PG	FG	DP 1	DP 2
Support	MD-Piano 220	MD-Allegro	MD-Plus	MD-Nap
Abrasif	Type			
	Taille			
Suspension / Lubrifiant	Water	DiaPro Allegro/Largo 9	DiaPro Plus 3	DiaPro NapB 1
/m Rrpm	300	150	150	150
Force (N)	150	210	180	150
Temps	1 mn.	4 mn.	4 mn.	1 mn.

Valable pour 6 échantillons enrobés, 30 mm de diam., fixés dans un porte-échantillons. A la place de DiaPro, il est possible d'utiliser DP-Suspension P, 9 µm, 3 µm et 1 µm avec du DP-Lubrifiant bleu.

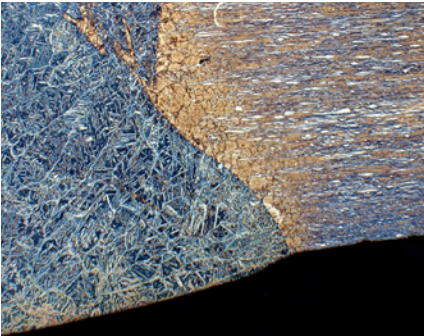


Section micrographique après polissage et attaque dans une soudure en acier au carbone, soudée au gaz actif. La microstructure est constituée de ferrite aciculaire et primaire. Attaqué au Nital 2%. Fond clair, 200x.

Stainless steel welds				
Etape	PG	FG	DP 1	DP 2
Support	SiC #220	MD-Largo	MD-Dac	MD-Chem
Abrasiif	Type			
	Taille			
Suspension / Lubrifiant	Eau	DiaPro Allegro/Largo 9	DiaPro Dac 3	OP-A
t/m	300	150	150	150
Force (N)	150	180	150	120
Temps	1 mn.	5 mn.	4 mn.	2 mn.

Valable pour 6 échantillons enrobés, 30 mm de diam., fixés dans un porte-échantillons. MD-Largo peut être remplacé par MD-Plan.

A la place de DiaPro, il est possible d'utiliser DP-Suspension P, 9 µm et 3 µm avec du DP-Lubrifiant bleu. MD-Chem avec OP-AA peut être remplacé par MD-Nap avec DiaPro Nap B.



Interface soudure-métal de base en acier inoxydable Duplex. Après préparation mécanique; attaquée électrolytiquement dans une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium à 40%. Fond clair, 25x.

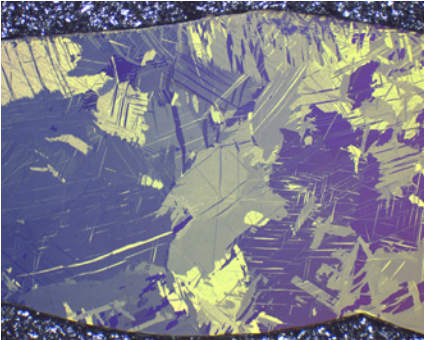


Même matériau. La microstructure de la soudure consiste principalement de ferrite delta et d'austénite. Fond clair, 200x.

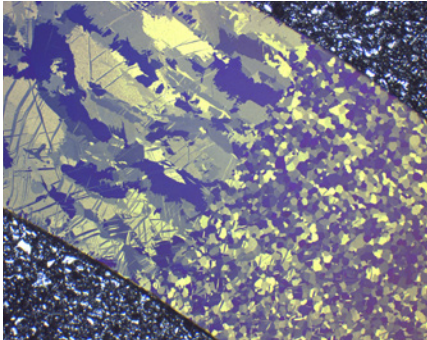
Titanium welds			
Etape	PG	FG	OP
Support	SiC #220	MD-Largo	MD-Chem
Abrasiif	Type		
	Taille		
Suspension / Lubrifiant	Eau	DiaPro Allegro/Largo 9	OP-S*
t/m	300	150	150
Force (N)	150	180	120
Temps	1 mn.	5 mn.	5-10 mn.

Valable pour 6 échantillons enrobés, 30 mm de diam., fixés dans un porte-échantillons. A la place de DiaPro, il est possible d'utiliser DP-Suspension P, 9 µm avec du DP-Lubrifiant bleu.

* Noter: OP-S avec un ajout de 10-30% par volume de peroxyde d'hydrogène (30%).



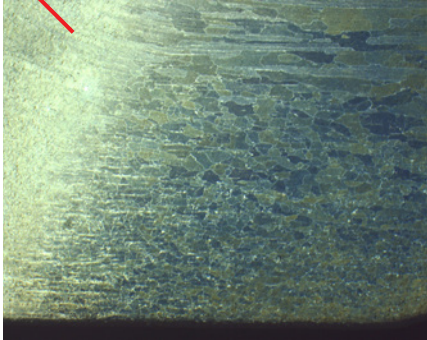
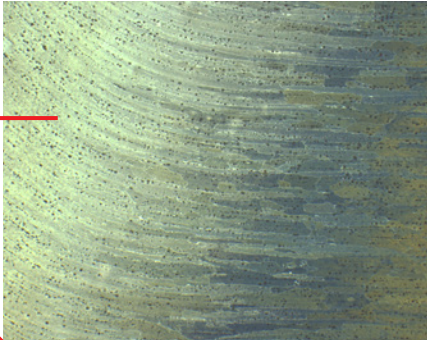
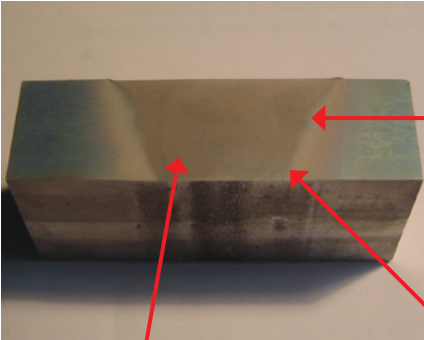
Zone soudée. Section d'une soudure en titane de qualité 1 après polissage mécanique. La microstructure de la soudure est constituée d'une phase α Widmanstätten. En lumière polarisée avec une lame teinte sensible (plaque λ1/4), 50x.



Même matériau. Interface base-zone affectée thermiquement. En lumière polarisée avec une lame teinte sensible (plaque λ1/4), 50x.

Aluminium Welds (Friction stir welding)				
Etape	PG	FG	DP	OP
Support	SiC #220	MD-Largo	MD-Mol	MD-Chem
Abrasiif	Type			
	Taille			
Suspension / Lubrifiant	Eau	DiaPro Allegro/Largo 9	DiaPro Mol R 3	OP-S NonDry
t/m	300	150	150	150
Force (N)	120	150	120	100
Temps	1 mn.	5 mn.	4 mn.	1-2 mn.

Valable pour 6 échantillons enrobés, 30 mm de diam., fixés dans un porte-échantillons. A la place de DiaPro, il est possible d'utiliser DP-Suspension P, 9 µm et 3 µm avec du DP-Lubrifiant bleu et rose.



Aluminium soudé par friction malaxage, après attaque externe selon Barker, utilisant 15V pendant 3 mn. En lumière polarisée avec une lame teinte sensible (plaque λ1/4), 25x



Attaque

POLISSAGE/ATTAQUE ÉLECTROLYTIQUES

Il n'est pas inhabituel, pour les applications de contrôle de la production, de voir le polissage/ l'attaque électrolytiques être utilisés comme méthode pour obtenir des sections transversales de soudure prêtes pour l'examen macrographique. Dans ces cas-là, les sections sont prélevées en utilisant un processus de tronçonnage sous eau, puis après une unique étape de prépolissage, les échantillons sont polis et attaqués électrolytiquement pour offrir une section adéquate pour l'examen macrographique. Les avantages de cette technique sont:

- Sa rapidité.
- Sa facilité d'opération.
- Le fait qu'elle minimise le contact de l'utilisateur avec les réactifs d'attaque acidiques.
- Une option plus adéquate pour une grande variété de types d'acier inoxydable et autres métaux qui sont difficiles à attaquer par une simple attaque chimique.

Pour les applications où une analyse microstructurale détaillée est requise, les échantillons

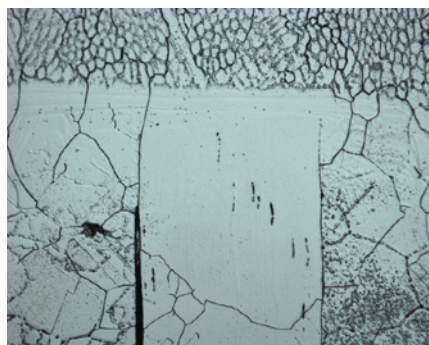
Certains des réactifs d'attaque chimique et électrolytique les plus communs pour les joints soudés dans une variété de matériaux sont indiqués ci-dessous.

Matériau	Réactif d'attaque	Commentaires
Aciers au carbone et faiblement alliés	100 ml d'éthanol (95%) ou méthanol (95%) 1 à 5 ml d'acide nitrique (Nital)	Bon réactif pour usage général; peut être augmenté à 15% d'acide nitrique pour l'attaque macrographique.
	100 ml d'eau distillée 10 g de persulfate d'ammoniaque	Bonne attaque macrographique
Aciers inoxydables	480 ml d'eau distillée 120 ml d'acide hydrochlorique (32%) 50 g de chlorure ferrique (III),	Attaque macrographique
	100 ml d'eau distillée 10 g d'acide oxalique	Attaque électrolytique de 4 à 6 volts pendant quelques s.
	100 ml d'eau distillée 5 % d'acide sulfurique (95-97%)	Attaque électrolytique de 2 à 4 volts pendant quelques s.
Alliages de nickel	100 ml d'eau distillée 5 % d'acide sulfurique (95-97%)	Attaque électrolytique de 3 à 6volts pendant quelques s.
Alliages de cuivre	10 ml d'hydroxyde d'ammonium (25%) avec quelques gouttes de peroxyde d'hydrogène aqueux 3% dans de l'eau distillée	Utiliser fraîchement mélangé
Alliages d'aluminium	100 ml d'eau distillée 15 g d'hydroxyde de sodium	Attaque macrographique

Il est important de suivre les précautions de sécurité recommandées lors de la manipulation des réactifs chimiques et lors de l'utilisation des réactifs d'attaque chimique.



Section polie mécaniquement et attaquée électrolytiquement dans une soudure par gaz inerte de tungstène par micropulsion dans de l'alliage Inconel 625. Après attaque à l'acide oxalique 10%; 10 Volts pendant 10 s. Fond clair, 2,5x.



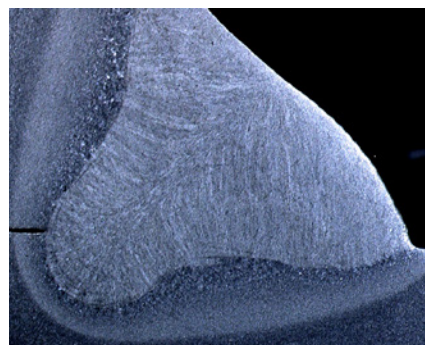
Même matériau. La microstructure dans la soudure consiste d'une solution solide primaire et de phases secondaires fines irrésolvables. La section montre un grossissement des grains prononcé dans le matériau de base à proximité de la face fusionnée. Fond clair, 10x.

pour le polissage et l'attaque électrolytiques devront être prépolis jusqu'à une granulométrie de 1000.

MÉTALLOGRAPHIE

Sections macrographiques

Les sections macrographiques attaquées permettent l'identification des limites du métal de soudure, de la zone affectée thermiquement, de la limite de fusion, de la croissance des grains et des passes individuelles dans les soudures en plusieurs passes. De plus, les défauts de soudure tels que fissures, porosités/vides, manque de fusion, et manque de pénétration peuvent être identifiés.

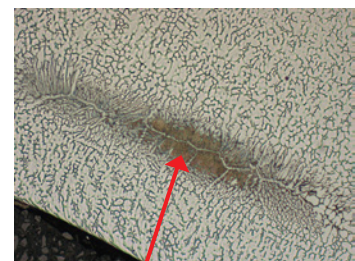


Section macrographique d'un cordon de soudure à forte pénétration dans de l'acier au carbone. La section a été attaquée au Nital 5%. Fond clair, 2,5x.

Sections micrographiques

Certains tests métallographiques les plus communs réalisés sur les joints soudés sont détaillés ci-dessous:

Proportions de phases - identification des phases individuelles et détermination de la proportions de phases, par exemple la ferrite delta dans les soudures en acier inoxydable

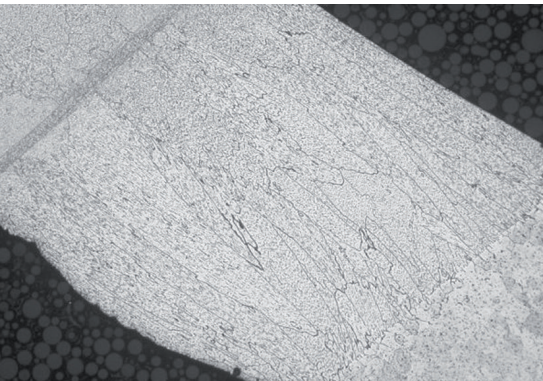


Fond clair, 100x



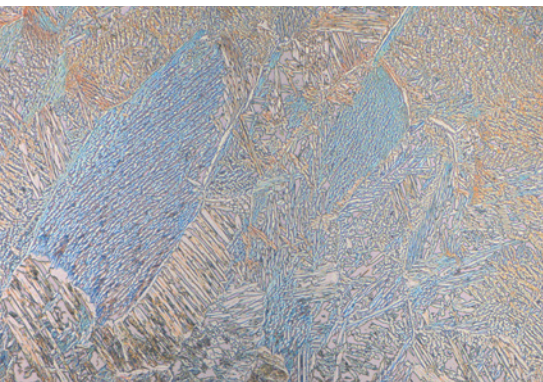
Fond clair, 500x

Section polie et attaquée d'une soudure en acier inoxydable austénitique, le métal montre des llots de ferrite delta et des petites zones de perlite.



Taille de grain / mesures de la taille de grain dans les régions de grains grossis / affinés dans le métal d'apport et la zone affectée thermiquement.

Soudure d'aluminium montrant diverses microstructures dans le métal d'apport, de base et la zone affectée thermiquement. Après attaque avec 2 ml d'acide hydrofluorique dans l'eau distillée. Fond clair, 100x.



Type de microstructure / morphologie / identification des produits de transformation microstructuraux dans le métal d'apport et dans la zone affectée thermiquement.

Zone affectée thermiquement dans une soudure d'acier inoxydable duplex. Attaquée électrolytiquement par une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium 40%. Fond clair, 200x.

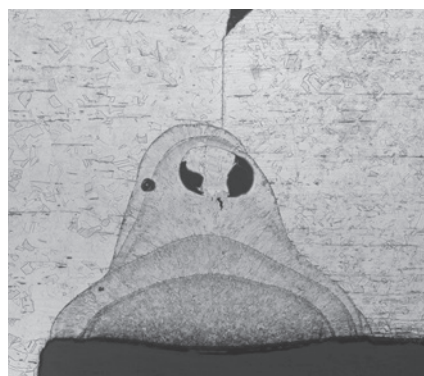


Analyse des défauts / identification et caractérisation des défauts de soudures.

Porosité gazeuse interne dans des composants d'acier soudés automatiquement sous gaz actif. Prépoli et attaqué au Nital 10%. Fond clair, 2x.

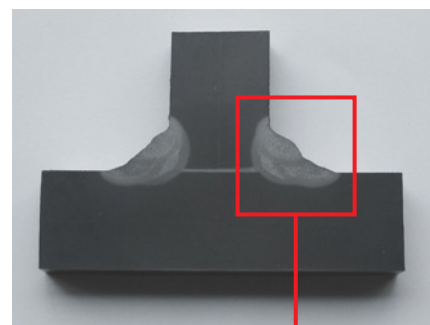


Zone affectée thermiquement au-dessous du cordon de soudure dans une acier faiblement allié. Fond clair, 5x.

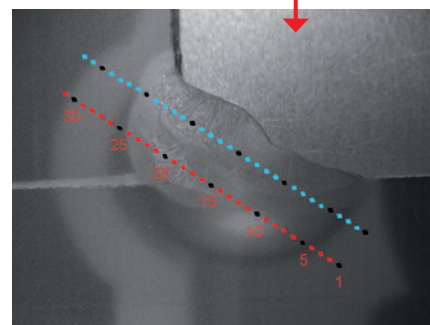


Porosités dans une soudure en acier inoxydable austénitique. Fond clair, 100x.

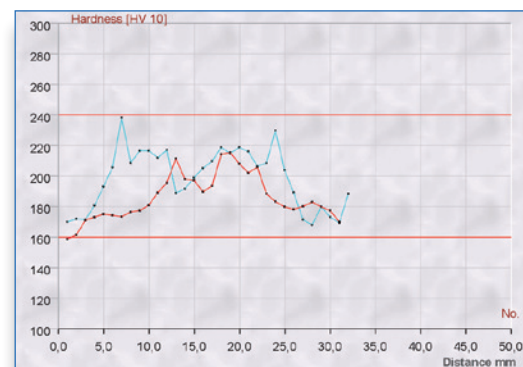
Estimation de la dureté - normalement une mesure de la dureté / microdureté sur une coupe transversale de la zone thermiquement affectée et du métal soudé dans le matériau de base est réalisée pour garantir que les propriétés de la soudure et de la zone affectée thermiquement sont satisfaisantes.



Soudures d'acier.



Soudure avec empreintes de dureté (selon le standard DIN EN 1043).



Courbes montrant les différences de duretés mesurées sur Duramin-A300.

L'application de bonnes pratiques métallographiques appliquées aux joints soudés a été décrite. Une méthode de préparation adéquate devra être choisie selon les propriétés physiques du/des matériau(x) soudé(s). Il est important de prendre toutes les précautions nécessaires à chaque étape du processus de préparation afin d'aboutir à une analyse correcte de la microstructure et des propriétés de la région de la soudure.

Application Notes

Métallographie des soudures

Bill Taylor, Anne Guesnier, Struers A/S
 Copenhagen, Danemark

Remerciements

Nous désirons remercier Mme Erika Weck et Mme Elisabeth Leistner pour la permission de reproduire la quatrième photographie de la première page, "Section polie et attaquée à travers un soudage en plusieurs passes d'un acier inoxydable austénitique. Après une attaque colorante selon Lichtenberger et Bloech. Fond clair, 6,5x".

Nous remercions Mme Brigitte Duclos, Struers S.A.S. pour les trois micrographies de la page 7:

Soudure d'aluminium montrant diverses microstructures dans le métal d'apport, de base et la zone affectée thermiquement.

Zone affectée thermiquement dans une soudure d'acier inoxydable duplex.

Porosités dans une soudure en acier inoxydable austénitique.

Bibliographie

Metallographic instructions for colour etching by immersion, Part 2: Behera colour etchants and their different variants, Erika Weck and Elisabeth Leistner.

Process and Physical Metallurgy; J. E. Garside
 2nd Edition 1967.

Metallographic and Materiallographic Specimen Preparation, K. Geels, ASTM, 2007.

Metallographic etching. 2nd Edition, G. Petzow, ASM, Metals Park Ohio, 1999.

AUSTRALIA & NEW ZEALAND

Struers Australia
 27 Mayneview Street
 Milton QLD 4064
 Australia
 Phone +61 7 3512 9600
 Fax +61 7 3369 8200
 info.au@struers.dk

BELGIUM (Wallonie)
Struers S.A.S.
 370, rue du Marché Rollay
 F-94507 Champigny
 sur Marne Cedex
 Téléphone +33 1 5509 1430
 Télécopie +33 1 5509 1449
 struers@struers.fr

BELGIUM (Flanders)
Struers GmbH Nederland
 Zomerdijk 34 A
 3143 CT Maassluis
 Telefoon +31 (10) 599 7209
 Fax +31 (10) 599 7201
 netherlands@struers.de

CANADA
Struers Ltd.
 7275 West Credit Avenue
 Mississauga, Ontario L5N 5M9
 Phone +1 905-814-8855
 Fax +1 905-814-1440
 info@struers.com

CHINA
Struers Ltd.
 No. 1696 Zhang Heng Road
 Zhang Jiang Hi-Tech Park
 Shanghai 201203, P.R. China
 Phone +86 (21) 6035 3900
 Fax +86 (21) 6035 3999
 struers@struers.cn

CZECH REPUBLIC & SLOVAKIA
 Struers GmbH Organizační složka
 vědeckotechnický park
 Pílepská 1920,
 CZ-252 63 Roztoky u Prahy
 Phone +420 233 312 625
 Fax +420 233 312 640
 czechrepublic@struers.de
 slovakia@struers.de

GERMANY
Struers GmbH
 Carl-Friedrich-Benz-Straße 5
 D- 47877 Willich
 Telefon +49 (0) 2154 486-0
 Fax +49 (0) 2154 486-222
 verkauf@struers.de

FRANCE
Struers S.A.S.
 370, rue du Marché Rollay
 F-94507 Champigny
 sur Marne Cedex
 Téléphone +33 1 5509 1430
 Télécopie +33 1 5509 1449
 struers@struers.fr

HUNGARY
Struers GmbH
 Magyarországi Fióktelepe
 2040 Budaörs
 Szabadság utca 117
 Phone +36 2380 6090
 Fax +36 2380 6091
 Email: hungary@struers.de

IRELAND
Struers Ltd.
 Unit 11 Evolution @ AMP
 Whittle Way, Catcliffe
 Rotherham S60 5BL
 Tel. +44 0845 604 6664
 Fax +44 0845 604 6651
 info@struers.co.uk

ITALY
Struers Italia
 Via Monte Grappa 80/4
 20020 Arese (MI)
 Tel. +39-02/38236281
 Fax +39-02/38236274
 struers.it@struers.it

JAPAN
Marumoto Struers K.K.
 Takanawa Muse Bldg. 1F
 3-14-13 Higashi-Gotanda,
 Shinagawa
 Tokyo
 141-0022 Japan
 Phone +81 3 5488 6207
 Fax +81 3 5488 6237
 struers@struers.co.jp

Struers ApS

Pederstrupvej 84
 DK-2750 Ballerup, Denmark
 Phone +45 44 600 800
 Fax +45 44 600 801
 struers@struers.dk
 www.struers.com

NETHERLANDS

Struers GmbH Nederland
 Zomerdijk 34 A
 3143 CT Maassluis
 Telefoon +31 (10) 599 7209
 Fax +31 (10) 599 7201
 netherlands@struers.de

NORWAY

Struers ApS, Norge
 Sjøskogenveien 44C
 1407 Vinterbro
 Telefon +47 970 94 285
 info@struers.no

AUSTRIA

Struers GmbH
 Zweigniederlassung Österreich
 Betriebsgebiet Puch Nord 8
 5412 Puch
 Telefon +43 6245 70567
 Fax +43 6245 70567-78
 austria@struers.de

POLAND

Struers Sp. z o.o.
 Oddział w Polsce
 ul. Jasnogórska 44
 31-358 Kraków
 Phone +48 12 661 20 60
 Fax +48 12 626 01 46
 poland@struers.de

ROMANIA

Struers GmbH, Sucursala Bucuresti
 Str. Preciziei nr. 6R
 062203 sector 6, Bucuresti
 Phone +40 (31) 101 9548
 Fax +40 (31) 101 9549
 romania@struers.de

SWITZERLAND

Struers GmbH
 Zweigniederlassung Schweiz
 Weissenbrunnenstraße 41
 CH-8903 Birmensdorf
 Telefon +41 44 777 63 07
 Fax +41 44 777 63 09
 switzerland@struers.de

SINGAPORE

Struers Singapore
 627A Aljunied Road,
 #07-08 BizTech Centre
 Singapore 389842
 Phone +65 6299 2268
 Fax +65 6299 2661
 struers.sg@struers.dk

SPAIN

Struers España
 Camino Cerro de los Gamos 1
 Building 1 - Pozuelo de Alarcón
 CP 28224 Madrid
 Teléfono +34 917 901 204
 Fax +34 917 901 112
 struers.es@struers.es

FINLAND

Struers ApS, Suomi
 Hietalahdenranta 13
 00180 Helsinki
 Puhelin +358 (0)207 919 430
 Faksi +358 (0)207 919 431
 finland@struers.fi

SWEDEN

Struers Sverige
 Box 20038
 161 02 Bromma
 Telefon +46 (0)8 447 53 90
 Telefax +46 (0)8 447 53 99
 info@struers.se

UNITED KINGDOM

Struers Ltd.
 Unit 11 Evolution @ AMP
 Whittle Way, Catcliffe
 Rotherham S60 5BL
 Tel. +44 0845 604 6664
 Fax +44 0845 604 6651
 info@struers.co.uk

USA

Struers Inc.
 24766 Detroit Road
 Westlake, OH 44145-1598
 Phone +1 440 871 0071
 Fax +1 440 871 8188
 info@struers.com