

Préparation métallographique de l'acier inoxydable

Les aciers résistants à la corrosion contiennent au moins 11% de chrome et sont collectivement connus comme «Aciers inoxydables». Au cœur de ce groupe d'aciers fortement alliés, quatre catégories peuvent être identifiées: les aciers inoxydables ferritique, martensitique, austénitique, et austénitique-ferritique (duplex). Ces catégories décrivent la microstructure de l'alliage à température ambiante, ce qui est grandement influencé par la composition de l'alliage.

La caractéristique principale des aciers inoxydables est leur résistance à la corrosion. Cette particularité peut être intensifiée par l'ajout d'éléments d'alliage spécifiques, qui ont également un effet bénéfique sur d'autres caractéristiques, tels que la robustesse et la résistance à l'oxydation. Par exemple, le niobium et le titane augmentent la résistance à la corrosion intergranulaire, car ils absorbent le carbone pour former des carbures; le nitrogène augmente la résistance et le sulfure permet d'accroître l'usinabilité, car il forme des petits sulfures de manganèse, créant des copeaux courts.

En raison de leur résistance à la corrosion et de leurs finis de surface de tout premier rang, les aciers inoxydables jouent un rôle prépondérant dans l'industrie aéronautique, chimique, pharmaceutique et agroalimentaire, dans les cuisines professionnelles, l'architecture et même la bijouterie.

La métallographie des aciers inoxydables est

Difficultés au cours de la préparation métallographique

Prépolissage et polissage: Rayures et déformation dans les aciers inoxydables ferritiques et austénitiques. Préservation des carbures



Surface d'un acier inoxydable après polissage 3 µm, montrant une déformation de prépolissage

DIC 25x



Acier inoxydable insuffisamment poli après attaque colorante (Beraha II), montrant des déformations

100x



Pièces en acier inoxydable de haute performance pour l'industrie aéronautique

une partie importante du contrôle qualité général du processus de production. Les tests métallographiques principaux sont la mesure de la taille de grain, l'identification du ferrite delta et de la phase sigma, l'évaluation et la répartition des carbures. De plus, la métallographie est utilisée dans l'analyse des défauts pour l'examen des mécanismes de corrosion/oxydation.



Fig. 1: Acier duplex, attaqué avec une solution aqueuse 40% d'hydroxyde de sodium, montrant une austénite bleue et un ferrite jaune

Solution

Polissage diamanté et polissage final soigneux à la silice colloïdale ou à l'alumine



Production et application de l'acier inoxydable

Le processus de production des aciers fortement alliés est un processus sophistiqué de fusion et de refusion. Un mélange de fer et de ferraille tout spécialement sélectionnée est tout d'abord fondu dans un four à arc électrique, et moulé en lingots, ou moulé en continu en blooms ou billettes. Pour de nombreuses applications, ces produits primaires peuvent alors être usinés sous forme de barres, tiges ou plaques. Pour des aciers de qualité plus élevée, le produit primaire peut être utilisé comme matière première en usinage pour un processus de fabrication d'acier secondaire. Ce processus secondaire peut être une refusion double ou même triple par induction sous vide plus fusion à l'arc sous vide, ou refusion par électroslag, ce qui peut également être réalisé sous pression et gaz inertes. L'objectif principal de ce processus secondaire est de réduire les impuretés telles que les oxydes, les sulfures et les silicates pour que, par fusions successives, le degré de pureté augmente et que des barres homogènes avec des caractéristiques mécaniques et physiques excellentes soient produites.

Application

La résistance à la corrosion des aciers inoxydables est basée sur un alliage du chrome au fer, et dépend de la formation d'une couche de surface aux oxydes passive, qui se reconstruit spontanément lorsque endommagée mécaniquement. Une variété de différents types de corrosion peut apparaître, tels que les piqûres, la contrainte, la corrosion intergranulaire ou vibrationnelle. Une résistance améliorée à toute forme d'attaque spécifique peut être prodiguée en ajoutant des éléments d'alliage autres que le chrome, par exemple le molybdène, qui améliore la résistance contre la corrosion par piqûres. Les principaux alliages, caractéristiques et exemples d'applications des quatre types d'aciers inoxydables sont brièvement décrits:

Aciers inoxydables ferritiques: de 11 à 17% de chrome et faible contenu de carbone, non traitable thermiquement.

Caractéristiques: magnétique, résistant à la corrosion atmosphérique, résistance et robustesse modérées.

Applications: soupapes magnétiques, lames de rasoir, intérieur de voitures.

Aciers inoxydables martensitiques: de 12 à 18% de chrome, les éléments d'alliage principaux sont le carbone (contenu moyen) et le nickel (2-4%), alliages traitables thermiquement.

Caractéristiques: résistance élevée à la corrosion, et résistance à la température élevée et au fluage. Applications: scalpels, couteaux, crochets et

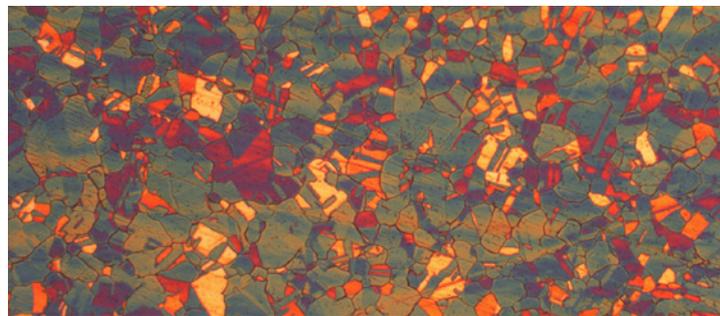
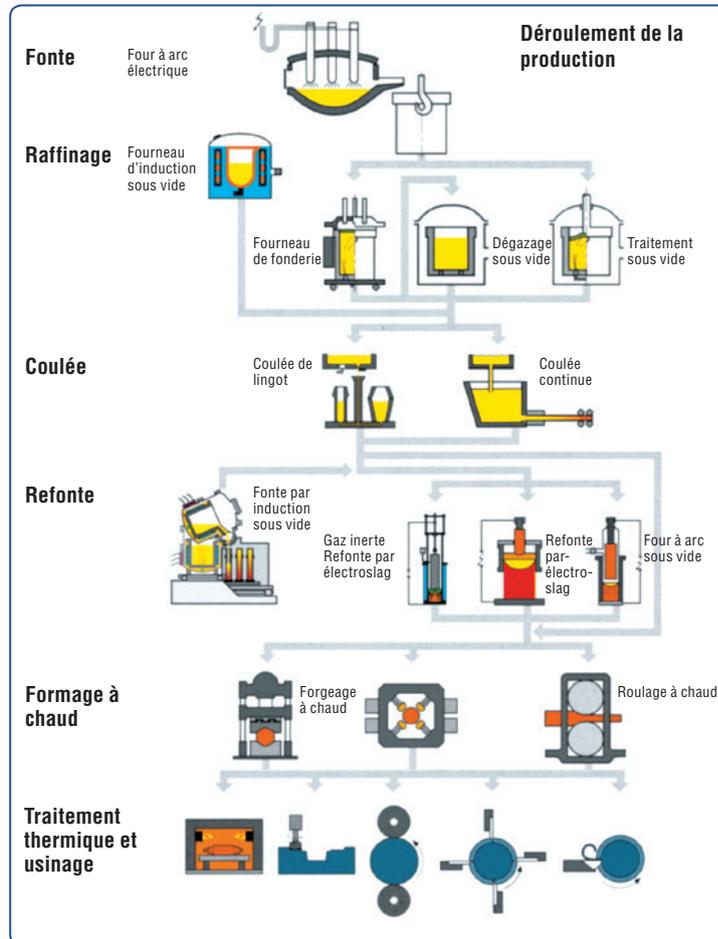


Fig. 2: Acier austénitique, après attaque colorante (Beraha II)

100x



pinces pour les applications chirurgicales, systèmes de transmission et pièces de haute performance dans l'industrie aéronautique.

Aciers inoxydables austénitiques: avec entre 0,03 et 0,05% de carbone, les éléments d'alliage principaux sont le chrome (17-24%), le nickel (8-25%) et le molybdène (2-4%), le titane et le niobium pour la formation de carbures, non traitables thermiquement.

Caractéristiques: ductilité élevée, résistance élevée à la corrosion, résistants aux acides oxydants, l'alcali, très bonnes propriétés de formage à froid, facilement fabriqués/usinés.

Applications: vis, boulons et implants, ustensiles de cuisine, applications à basse température, dans l'industrie chimique, pharmaceutique et agroalimentaire.

Aciers austénitiques-ferritiques, (Duplex): contenu faible en carbone, généralement contenu plus élevé en chrome (de 21 à 24%) et contenu plus faible en nickel (de 4 à 6%) que dans les aciers austénitiques, molybdène 2 à 3%.

Caractéristiques: résistance à la fatigue dans les médias corrosifs, bonne résistance contre la corrosion sous contrainte.

Applications: équipement pour l'industrie chimique, environnementale et off-shore, l'architecture.



Difficultés de préparation des aciers inoxydables

Les aciers inoxydables ferritiques sont tendres, les aciers austénitiques sont ductiles, et ils ont tous deux tendance à la déformation mécanique. Le polissage final laisse habituellement ces aciers très réfléchissants. Cependant, s'ils ne sont pas soigneusement prépolis, les déformations peuvent resurgir après l'attaque (Fig. 3). En raison de leur dureté, les aciers martensitiques sont relativement faciles à polir. En général, il faudra prendre soin de préserver les carbures.

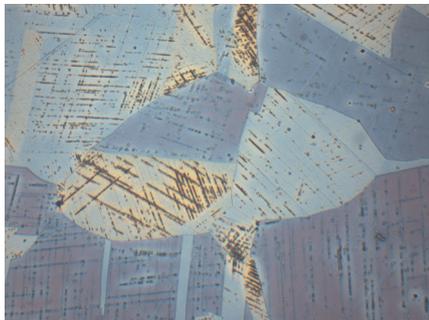


Fig. 3: Acier austénitique, insuffisamment poli, 500x montrant des déformations après l'attaque (Beraha II)

Recommandations pour la préparation des aciers inoxydables

Il est fortement recommandé, pour les aciers inoxydables tendres et ductiles, d'éviter l'usage des papiers de prépolissage à grains très grossiers et de pressions élevées, car cela pourrait avoir pour conséquence une profonde déformation. En règle générale, la granulométrie la plus fine possible, en concordance avec la région de l'échantillon et la rugosité de la surface, devra être utilisée pour le prépolissage plan. Le prépolissage fin est accompli aux diamants sur disque rigide (Largo), ou, en alternative sur certains types d'aciers inoxydables, sur un drap MD. Le prépolissage fin est suivi d'un polissage diamanté soigneux sur un drap moyennement doux, et le polissage final à la silice colloïdale (OP-S), ou à l'alumine colloïdale (OP-AA) élimine les rayures fines. Cette étape devra être exécutée très scrupuleusement et pourra prendre plusieurs minutes. Un bon polissage final accroît les chances d'obtenir un meilleur contraste (voir «Attaque»). Il faut noter que toute déformation survenue à la première étape de prépolissage, et qui n'a pas été éliminée par le prépolissage fin, laissera des traces qui ne pourront pas être effacées par le polissage final. Tableau 1 montre une méthode de préparation pour des échantillons en acier inoxydable, de 30 mm et enrobés, sur le TegraSystem

semi-automatique pour échantillons individuels. Tableau 2 montre une méthode de préparation pour 6 échantillons d'acier inoxydable, 65x30 mm, enrobés à froid ou non-enrobés en utilisant MAPS ou AbraPlan/AbraPol de Struers.

Polissage électrolytique

Pour la recherche, une alternative au polissage mécanique de l'acier inoxydable peut être le polissage et l'attaque électrolytiques, car ils ne laissent aucune déformation mécanique sur la surface. Le polissage électrolytique donne d'excellents résultats pour vérifier la microstructure (Fig.4); cependant, il ne peut pas servir à l'identification des carbures. Ceux-ci sont érodés ou apparaissent grossis. Avant le polissage électrolytique, les échantillons doivent être prépolis manuellement sur papier SiC de 1000#. Plus la surface initiale est fine, meilleurs sont les résultats du polissage électrolytique (voir la méthode de préparation plus bas).

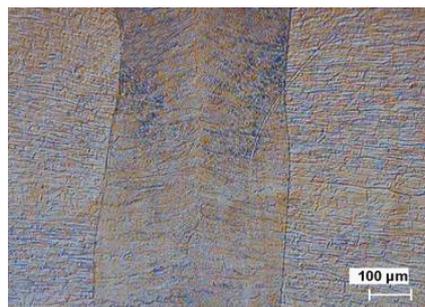


Fig. 4: Soudure d'acier inoxydable, après polissage et attaque électrolytiques, DIC

Electrolyte: A3
Zone: 1 cm²
Courant: 35 V
Débit du courant: 13
Temps: 25 sec

Attaque externe avec cuvette d'attaque en acier inoxydable:

Acide oxalique aqueux 10%
Courant: 15V
Temps: 60 sec

Méthode de préparation pour le polissage et l'attaque électrolytiques de l'acier inoxydable. Prépolissage manuel sur papier SiC 320#, 500# et 1000#, une minute sur chaque

| Suspension Lubrifiant | | Eau | |
|-----------------------|-----------------------|--------------------|----------------------|
| Prépolissage | | | |
| Etape | | PG | FG |
| | Support | Papier-SiC 220# | MD-Largo |
| | Abrasive | Type | SiC |
| | | Size | #220 |
| | Suspension Lubrifiant | Eau | DiaPro Allegro/Largo |
| | t/m | 300 | 150 |
| | Force [N] | 25 par échantillon | 40 par échantillon |
| | Temps | A besoin | 5 min. |

| Polissage | | | |
|-----------|------------|--------------------|--------------------|
| Etape | | DP 1 | OP |
| | Support | MD-Dac | MD-Chem |
| | Abrasive | Type | Diamond |
| | | Size | 3 µm |
| | Suspension | DiaPro Dac | OP-S/OP-AA |
| | t/m | 150 | 150 |
| | Force [N] | 20 par échantillon | 15 par échantillon |
| | Temps | 4 min. | 2-3 min. |

Noter: la suspension diamantée DiaPro peut être remplacée par la suspension DP diamantée P, 9µm et 3µm appliquée avec du lubrifiant bleue.

Tableau 1: Méthode de préparation pour échantillons en acier inoxydable, 30 mm et enrobés, sur TegraSystem semi-automatique pour échantillons individuels

Attaque

L'attaque des aciers inoxydables requiert une certaine expérience et de la patience. La liste des ouvrages consacrés aux réactifs d'attaque est longue, et il est recommandé d'en essayer toute une variété afin de pouvoir établir un stock individuel de solutions appropriées pour un matériau en particulier, régulièrement préparé au laboratoire.

Les aciers inoxydables étant extrêmement résistants à la corrosion, des acides très puissants sont nécessaires pour révéler leur structure. Les précautions de sécurité standards doivent être appliquées lors de la manipulation de ces réactifs d'attaque. Dans un grand nombre de laboratoires, les réactifs d'attaque mentionnés dans les ouvrages seront modifiés selon le matériau à attaquer ou même en accord avec une préférence personnelle. Pour de bons résultats d'attaque, un polissage aux oxydes final suffisant est essentiel. Dans ce qui suit, se trouve une liste des réac-

Prépolissage

| FG | Etape | PG | |
|----|------------------------------|----------------|------------------------|
| | Support | Stone 3A36 | MD-Largo |
| | Abrasive | Type Al_2O_3 | Diamond |
| | | Size #150 | 9 μm |
| | Suspension Lubrifiant | Eau | DiaPro Allegro/Largo 9 |
| | t/m | 1450 | 150 |
| | Force [N] | 50 | 50 |
| | Temps | A besoin | 9 min. |

Polissage

| OP | Etape | DP 1 | DP 2 | |
|----|------------------------------|----------------|----------------|------------------|
| | Support | MD-Mol | MD-Nap | MD-Chem |
| | Abrasive | Type Diamond | Diamond | Silica/Alumina |
| | | Size 3 μm | 1 μm | 0.04 μm / - |
| | Suspension Lubrifiant | DiaPro Mol B 3 | DiaPro Nap B 1 | OP-S NonDry OP-A |
| | t/m | 150 | 150 | 150 |
| | Force [N] | 50 | 25 | 25 |
| | Temps | 6 min. | 4 min. | 2-3 min. |

Tableau 2: Méthode de préparation pour 6 échantillons en acier inoxydable, 65x30 mm, enrobés à froid ou non-enrobés, avec l'utilisation de MAPS ou AbraPlan/Pol de Struers

tifs d'attaque qui se sont révélés très performants pour les applications quotidiennes de routine:

Attaque chimique:

Attention: Toujours suivre les précautions de sécurité recommandées lors du travail avec un réactif d'attaque.

Pour les aciers martensitiques

- 925 ml d'éthanol
- 25 g d'acide picrique (saturé)
- 50 ml d'acide hydrochlorique

Pour les aciers austénitiques

- 1) Attaque par tamponnage:
 - 500 ml d'eau distillée
 - 300 ml d'acide hydrochlorique
 - 200 ml d'acide nitrique
 - 50 ml d'une solution de fer-III-chlorure saturée
 - 2,5 g de cuivre- II-chlorure
- 2) 100 ml d'eau
- 300 ml d'acide hydrochlorique
- 15 ml de peroxyde hydrogène (30%)

- 3) Réactif d'attaque V2A:
 - 100 ml d'eau
 - 100 ml d'acide hydrochlorique
 - 10 ml d'acide nitrique
 Attaque à température ambiante ou jusqu'à 50°C

Réactif d'attaque colorant Beraha II:

- Solution mère
 - 800 ml d'eau distillée
 - 400 ml d'acide hydrochlorique
 - 48 g de bifluorure d'ammonium
- Aux 100 ml de cette solution mère, ajouter de 1 à 2 g de métabisulfite de potassium pour l'attaque

Attaque électrolytique

- Pour les aciers austénitiques-ferritiques (Duplex)
- 40% de solution aqueuse d'hydroxyde de sodium

- Tous les aciers inoxydables:
- 10% d'acide oxalique aqueux



Interprétation de la structure

Les aciers inoxydables ferritiques ne répondent pas au traitement thermique. Leurs propriétés peuvent, cependant, être influencées par le travail à froid. Ils sont magnétiques à température ambiante. La microstructure à l'état recuit est constituée de grains de ferrite dans lesquels de fins carbures sont incrustés. Les aciers ferritiques employés pour l'usinage contiennent une grande quantité de sulfides de manganèse pour faciliter le décolletage (Fig. 5)

Les aciers inoxydables martensitiques répondent au traitement thermique. La martensite est formée par un refroidissement rapide et ses propriétés peuvent alors être optimisées par un traitement de revenu subséquent. Les alliages sont magnétiques. Selon le traitement thermique, la microstructure peut s'étendre d'une structure martensitique pure à une fine martensite revenue. Les différents alliages et dimensions variées des produits semi-finis exigent des températures et temps de traitement thermique complexes. La delta ferrite (Fig. 6) est habituellement une phase non-désirée, car des temps de recuit prolongés des aciers à contenu élevé en chrome, à des températures entre 700 et 950°C, peut transformer la delta ferrite en phase dure et friable intermétallique sigma de fer-chrome.

Un chauffage à 1050°C et une trempe subséquente éliminent la phase sigma et, avec elle, la couche friable.

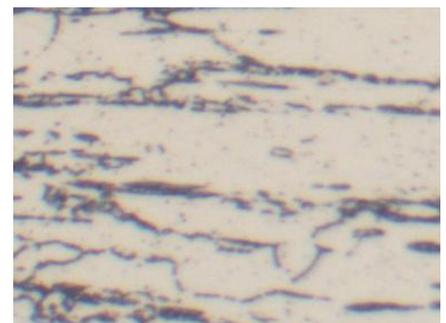


Fig. 5: Acier inoxydable ferritique avec sulfides 200x de manganèse et fils de petits carbures, après attaque électrolytique à l'acide oxalique 10%



Fig. 6: Acier inoxydable martensitique revenu avec ferrite delta, après attaque à l'acide picrique

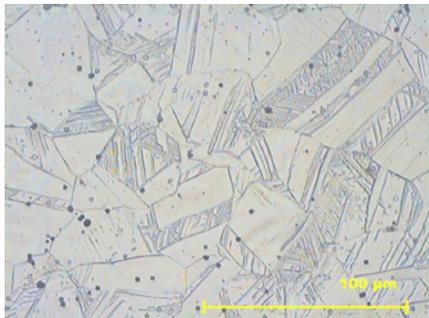
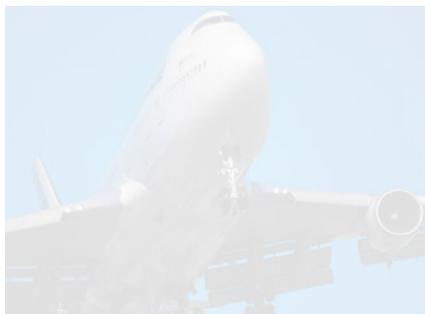


Fig. 7: Acier austénitique travaillé à froid, montrant des macles, après attaque avec réactif d'attaque V2A

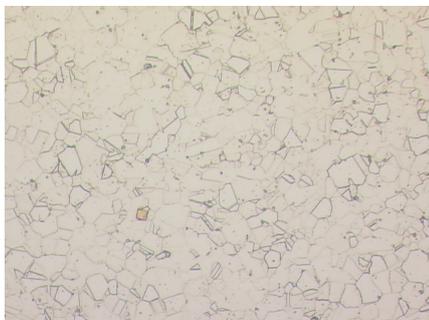


Fig. 8: Austénite avec carbures et quelques carbonitrides de titane 200x

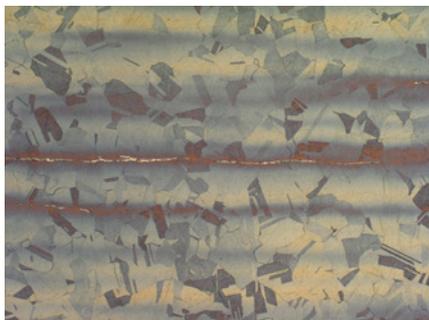


Fig. 9: Acier austénitique avec fils de ferrite delta, montrant des microségrégations. Zones bleues: réduction des éléments d'alliage.

Les aciers inoxydables austénitiques ne répondent pas au traitement thermique. A la place, un refroidissement rapide résulte dans la production de leur condition la plus tendre. Dans cet état, ils perdent leur magnétisme. Leurs propriétés sont, toutefois, influencées par le travail à froid. La microstructure de ces aciers consiste en des grains austénitiques qui peuvent montrer des macles (Fig. 7). L'exposition de ces aciers à des températures élevées dans la région de 600 à 700°C peut avoir pour conséquence la formation de carbures complexes à l'intérieur des grains austénitiques. Ceci amène à un appauvrissement du chrome dans la solution solide austénitique, qui accroît la tendance à la corrosion ou à l'oxydation intergranu-

laire. En réduisant le carbone en dessous de 0,015% et en ajoutant de petites quantités de titane ou de niobium, le risque de corrosion intergranulaire est réduit, car ces éléments forment des carbures plutôt que du chrome (Fig. 8).

La delta ferrite peut apparaître en raison de conditions de traitement thermique critiques dans les aciers martensitiques ou lors du travail à froid des aciers austénitiques.

Les aciers inoxydables austénitiques-ferritiques (Duplex) sont constitués de ferrite et d'austénite. Une attaque dans une solution de 40% de soude caustique révèle la structure et le pourcentage correct pour chaque phase peut être estimé (voir Fig.1 et Fig.10 ci dessous). Ces aciers sont ductiles et sont plus particulièrement utilisés dans l'industrie agroalimentaire, du papier et oléicole.

Résumé

Les aciers inoxydables sont des aciers résistants à la corrosion avec des contenus élevés de chrome et de nickel. Les aciers inoxydables et ferritiques sont tendres, respectivement ductiles, et ont tendance à se déformer mécaniquement et à former des rayures lors de la préparation métallographique. De plus, les carbures ne peuvent pas toujours être préservés.



Pour un polissage mécanique réussi, il est recommandé

- D'éviter les abrasifs grossiers pour le prépolissage plan
- Les abrasifs diamantés pour le prépolissage fin et le polissage doivent être efficaces et garantir l'enlèvement de toute la déformation provenant du prépolissage plan
- Un polissage final aux oxydes avec de la silice colloïdale ou de l'alumine devra donner une surface exempte de déformation.

Une procédure en quatre étapes, accomplie sur un équipement de préparation automatique, donne de bons résultats reproductibles. Les aciers inoxydables sont difficiles à attaquer chimiquement et les réactifs d'attaque recommandés sont très corrosifs et nécessitent une manipulation très précautionneuse.

Alternativement, le polissage et l'attaque électrolytiques sont recommandés, donnant une surface sans déformation, mais ne préservant pas les carbures.

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) 5997201
 netherlands@struers.de

NORWAY

Struers ApS, Norge
 Sjoskogenveien 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 Birmsdorf
 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

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) 5997201
 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 Pilepská 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.
 Takawawa 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

Application Notes

Préparation métallographique de l'acier inoxydable

Elisabeth Weidmann, Struers A/S, Copenhagen
 Anne Guesnier, Struers A/S, Copenhagen
 Bill Taylor, Struers, Ltd., Glasgow, Grande-Bretagne

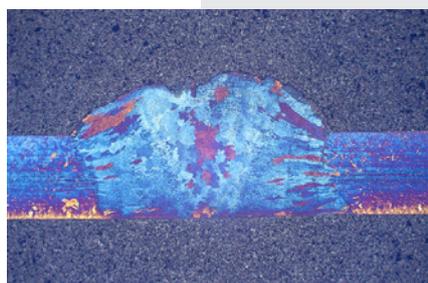
Remerciements

Nous désirons remercier Böhler Edelstahl GmbH, Kapfenberg, Autriche, pour les informations, matériau échantillon qu'ils nous ont fourni avec générosité, ainsi que la permission de reproduire la photo des pièces de la page 1 ainsi que le diagramme "Déroulement de la production", page 2. Un remerciement tout particulier à J. Hofstätter pour sa coopération et à A. Dreindl pour les micrographies qu'il nous a offertes Figs. 1, 2, 6, 9, et 10.

Nous tenons à remercier Dr. H. Schnarr, Struers GmbH, Allemagne, pour le micrographies Fig. 4 et 7.

Bibliographie

Schumann, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1968
 Werkstoffkunde und Werkstoffprüfung, W. Domke, Verlag W. Giradet, Essen, 1977
 Metals Handbook, Desk Edition, ASM, Metals Park, Ohio, 44073, 1985
 Color Metallography, E. Beraha, B. Shpigler, ASM, Metals Park, Ohio, 44073, 1977
 Handbuch der metallographischen Ätzverfahren, M. Beckert, H. Klemm, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1976
 Metallography, Principles and Practice, George F. Vander Voort, McGraw-Hill Book Company, 1984
 Merkblatt 821, Edelstahl Rostfrei-Eigenschaften Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, Düsseldorf, BRD
 Metallographic instructions for color etching by immersion, E. Weck, E. Leistner, Deutscher Verlag für Schweisstechnik (DVS), Düsseldorf, 1983



Soudure d'acier inoxydable après attaque selon Beraha II.

20x