

Préparation métallographique des aciers à outils hautement alliés

Les aciers peuvent, dans une large mesure, être classés en trois catégories, basées sur leur composition chimique:

- Aciers au carbone
- Aciers faiblement alliés contenant des petites quantités d'éléments d'alliage
- Aciers hautement alliés avec >6% d'éléments d'alliage

En plus du carbone, les aciers hautement alliés contiennent de grandes quantités d'éléments d'alliage tels que le chrome, le nickel, le vanadium, le tungstène et le molybdène. La résistance à l'usure, la robustesse, la force et la dureté sont les caractéristiques les plus importantes de l'acier à outils, et les éléments d'alliage mentionnés améliorent et optimisent ces propriétés mécaniques, et si ajoutés en quantités suffisantes, ils exhibent des propriétés spécifiques telles que la corrosion et la résistance à la chaleur, la conservation de la dureté à hautes températures, et la conservation de la force à faibles températures, etc.

Les demandes croissantes de technologies de production sophistiquées et les pressions économiques touchant tous les domaines de l'industrie, exigent des fabricants d'acier qu'ils améliorent constamment la qualité des alliages de l'acier à outils de haute performance pour les applications spéciales et exigeantes. Par exemple, les aciers servant à la fabrication des outils d'emboutissage, des poinçons ou outils tranchants doivent être dotés de propriétés très spécifiques telles qu'une grande résistance, dureté et robustesse. De plus, ces aciers exigent un standard

élevé de propreté. De telles propriétés ne peuvent être obtenues que par un contrôle sévère de toutes les étapes de la fabrication de l'acier, et des processus subséquents de forgeage/roulage et de traitement thermique.

Les demandes principales adressées aux services de métallographie des fabricants d'aciers à outils alliés de haute qualité sont les suivantes:

- la manipulation efficace des grands volumes d'échantillons,
- l'emploi, si possible, d'une procédure standard pour toutes les qualités d'acier,
- la production de surfaces bien polies avec carbures et inclusions non-endommagées.

Ceci est particulièrement important pour évaluer les structures avec carbures et inclusions de l'acier ultra-propre.

L'évaluation métallographique des échantillons comprend la répartition et la taille des carbures, la détection de la décarburation des aciers durcis et trempés, la détection des micro-ségrégations et des taux d'inclusion.



Acier à outils pour travail à froid. Outil d'estampage



Acier pour moulage du plastique, attaqué au Picral 5%, révélant des aiguilles et plaques étranges à grossissement élevé dans une martensite qui habituellement est amorphe

1000x, DIC

Difficultés en cours de préparation métallographique

Tronçonnage:

Tronçonnage efficace sans surchauffe.



Fig. 1: Dommages thermiques dus à des conditions de tronçonnage erronées

Prépolissage et polissage:

Manipulation des grands volumes d'échantillons. Les carbures et inclusions très fines peuvent être arrachées de la matrice tendre; les gros carbures peuvent se fissurer lors du prépolissage plan.



Fig. 2: Carbures primaires fracturés

200x

Solution:

- Choisir la meule de tronçonnage correcte
- Utiliser un équipement automatique de prépolissage et polissage
- Procéder à un polissage diamanté suffisant pour polir au-delà du dommage mécanique du prépolissage

Production et application

Le processus de production des aciers hautement alliés est un processus sophistiqué de fonte et de refonte. Un mélange de fer et de ferraille bien triée est tout d'abord fondu dans un four à arc électrique, puis coulé dans un moule à lingot, ou bien coulé en continu en bloc ou barre. Pour de nombreuses applications, ces produits primaires peuvent ensuite être usinés en barre, tige ou plaque. Pour les aciers à demande de qualité plus élevée, le produit primaire peut être utilisé comme barres pour un second processus de fabrication d'acier. Ce processus secondaire peut être une fonte double ou même triple par fonte par induction sous vide plus refonte à l'arc sous vide, ou refonte par électroslag, ce qui peut aussi être accompli sous pression et gaz inertes.

L'objectif principal de ce processus secondaire est de réduire les impuretés telles que les oxydes, les sulfures et silicates de façon à ce que par refontes successives, le degré de propreté augmente et que des lingots homogènes avec des propriétés mécaniques et physiques excellentes soient produits. Le coût élevé de ces techniques de refonte à énergie intensive se reflète dans les prix de la martensite résistante à la température élevée et à la corrosion et des aciers à outils pour travail à chaud pour applications spéciales.

La variété des aciers hautement alliés est très vaste et certains produits sont même faits sur mesure pour les applications particulièrement exigeantes. Ce qui suit sont des exemples typiques d'aciers hautement alliés et leurs applications, avec leur contenu approximatif en éléments d'alliage principaux:



Outil à coupe rapide

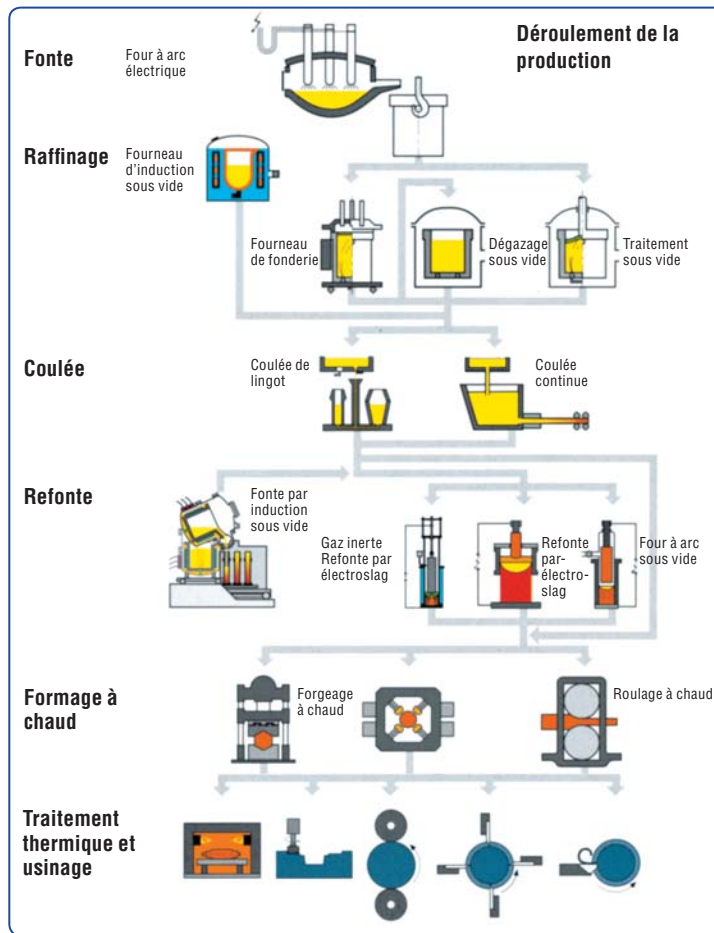


Fig. 3: Déroulement de la production des aciers à outils hautement alliés

Acier à outils pour travail à froid: 1,6-2% de carbone, 5-12% de chrome, pour estampage, frappe, étirage profond, outils de roulage des filetages, lames de cisaillement.

Propriétés: grande robustesse, tension de compression élevée et résistance à l'usure, bonne nitrurabilité.

Acier à outils pour travail à chaud: 0,38% de carbone, 5% de chrome, 1,5-3% de molybdène et 0,5% de vanadium, pour les outils de moulage sous pression. Propriétés: résistance élevée à la chaleur, robustesse et résistance à l'usure, fatigue thermique élevée et résistance aux chocs.

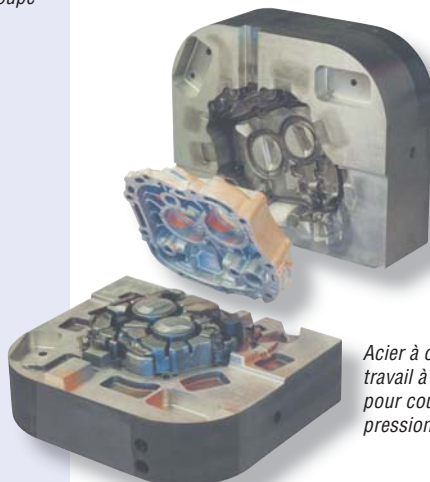
Acier à outils rapide: 0,75-1,3% de carbone, 4,5% de chrome, 2% de vanadium, 6-18% de tungstène, 4-9% de molybdène, pour les tourillons, outils de tour et de fraisage.

Propriétés: maintien de la dureté et de la robustesse à température élevée.

Acier pour moulage du plastique: 0,3% de carbone, 12-17% de chrome, pour le moulage des pièces en plastique pour l'industrie automobile, médicale et des biens de consommation.

Propriétés: peut être poli à un fini de surface élevé, robustesse et dureté exceptionnelles, bonne résistance à la corrosion.

Pour la fabrication des outils, l'acier est utilisé à l'état revenu. Une fois usinée, la surface de l'outil est durcie par nitruration ou induction. Les conditions dans lesquelles les outils devront servir sont variées et parfois extrêmes. Donc, les variations dans les alliages pour les aciers à outils sont très vastes afin d'aller au devant de la meilleure sélection possible pour les applications d'outils particulièrement difficiles et exigeantes.



Acier à outils pour travail à chaud. Outil pour coulée sous pression



Outil pour le moulage du plastique

Difficultés de préparation des aciers à outils hautement alliés

Comme la traitabilité thermique des aciers à outils est un critère de qualité, l'influence thermique lors du tronçonnage doit être évitée afin d'offrir une vraie représentation de la structure réelle. Particulièrement, pour le tronçonnage des coupes plus grandes et des échantillons pour l'analyse des défauts, cette étape de préparation devra être accomplie avec précaution.

La principale difficulté rencontrée lors du prépolissage et polissage des grands volumes d'échantillons d'acier à outils hautement alliés est la maintenance des carbures et des inclusions non-métalliques. Dans les aciers à outils pour travail à froid, les carbures primaires sont très gros et se fracturent facilement lors du prépolissage. A l'état de recuit total, les carbures secondaires sont très fins et peuvent facilement être arrachés de la matrice. (Voir Fig. 2, première page, micrographie avec carbures fissurés).

La préparation de grands volumes d'échantillons de différents aciers à outils hautement alliés, à différentes étapes de la production, peut représenter un véritable défi, nécessitant une organisation très efficace du déroulement du processus, des équipements automatiques et des procédures standard.



Recommandations pour la préparation des aciers hautement alliés

Tronçonnage

La majorité des échantillons sont généralement tronçonnés par le biais de moyens mécaniques grossiers à partir de plaques et matériel de laminage à lingots dans des dimensions standard. Les coupes critiques d'échantillons en vue d'un traitement thermique ou d'une analyse des défauts sont toujours effectuées sur une machine de tronçonnage métallographique.

Les aciers à outils hautement alliés sont extrêmement sensibles au dommage thermique. Il faudra donc choisir avec soin les meules de tronçonnage appropriées et assurer un refroidissement suffisant pour le tronçonnage.

Les meules de tronçonnage tendres en oxyde d'aluminium ou celles en nitrure de bore cubique à liant de résine sont recommandées.

Enrobage

Selon la taille et le volume des échantillons, et selon les informations qu'ils devront vous fournir, les échantillons peuvent soit ne pas être enrobés, soit enrobés à froid ou à chaud. Les échantillons dont la surface est traitée et devant montrer une bonne netteté des bords, devront être enrobés à chaud dans des résines renforcées en fibres (IsoFast, DuroFast). Les échantillons ne nécessitant pas une bonne netteté des bords peuvent très bien ne pas être enrobés si leurs dimensions permettent de les loger dans un porte-échantillons. Pour une standardisation des tailles d'échantillons, ce qui peut représenter un avantage pour la manipulation des grands volumes, l'enrobage à froid dans des moules rectangulaires en silicone ou en polypropylène (UnoForm) est recommandé. Il est important que la résine d'enrobage à froid ait peu de retrait pour éviter une contamination due aux fentes entre l'échantillon et la résine.



Prépolissage et polissage

Les exigences principales à la préparation des aciers hautement alliés sont une représentation

vraie de la forme, quantité et taille des carbures, et de la netteté des inclusions non-métalliques dans une matrice non-déformée. Les grands volumes d'échantillons d'aciers hautement alliés seront le mieux préparés sur des machines de prépolissage et polissage entièrement automatiques, garantissant un rythme de travail rapide et efficace ainsi que des résultats reproductibles. Comme les aciers à outils sont durs, un prépolissage fin diamanté sera bien plus efficace et économique qu'un prépolissage sur papier SiC. Parfois, un polissage final aux oxydes, après l'étape de polissage diamanté peut se révéler utile pour accentuer le contraste et faciliter l'identification des carbures.

Dans ce qui suit, vous trouverez des suggestions de méthodes de préparation sur respectivement des équipements de prépolissage et polissage entièrement automatiques, et des équipements semi-automatiques.

Ces méthodes sont basées sur notre expérience et elles donnent d'excellents résultats reproductibles. De petits changements pourront être nécessaires pour répondre à certains besoins spécifiques ou à des préférences personnelles.



Prépolissage			
Etape	PG	FG	
Support	Meule 150#	MD-Allegro	
Suspension		9 µm	
Lubrifiant	Eau	Bleu	
t/m	1450	150	
Force [N]	300	300	
Temps	A besoin	9 min.	
Polissage			
Etape	DP 1	DP 2	
Support	MD-Dac	MD-Nap	
Suspension	6 µm	1 µm	
Lubrifiant	Bleu	Bleu	
t/m	150	150	
Force [N]	300	150	
Temps	6 min.	4 min.	

Tableau 1: Méthode de préparation de l'acier à outils hautement allié sur un grand équipement automatique

Les données de préparation au Tableau 1 sont pour 6 échantillons, 65 x 30mm, non-enrobés ou enrobés à froid, avec l'utilisation de MAPS ou Abraplan/Abrapol de Struers.

Pour les échantillons de taille plus petite ou moins nombreux, un équipement de prépolissage et polissage semi-automatique donnera aussi de bons résultats reproductibles.

Les données au Tableau 2 sont pour 6 échantillons, 30 mm et enrobés, serrés dans un porte-échantillons en utilisant TegraPol 31/TegraForce-3 avec TegraDoser-5 de Struers.

Prépolissage				
Etape	PG	FG		
Support	MD-Piano 220	MD-Allegro		
Suspension		DiaPro Allegro/Largo		
Lubrifiant	Eau			
t/m	300	150		
Force [N]	210	210		
Temps	A besoin	9 min.		
Polissage				
Etape	DP 1	DP 2	OP 1*	
Support	MD-Dac	MD-Nap	MD-Chem	
Lubrifiant	DiaPro Dac	DiaPro Nap B	OP-AA	
t/m	150	150	150	
Force [N]	210	150	90	
Temps	6 min.	1 min.	1 min.	

Remarque: Les suspensions diamantées DiaPro peuvent être remplacées par la suspension diamantée DP, P comme suit: Pour le FG avec 9µm, DP 1 avec 3 µm, DP 2 avec 1µm

*Optionnel

Tableau 2: Méthode de préparation pour l'acier à outils hautement allié sur des équipements de table semi-automatiques

Attaque et interprétation de la structure

Attaque

Généralement, les échantillons d'acier à outils sont tout d'abord examinés non-attaqués pour identifier les tailles et la formation des inclusions et carbures. Pour révéler la structure, l'on utilise soit du Nital, soit de l'acide picrique en différentes concentrations. Par exemple, pour montrer la répartition des carbures dans un acier pour travail à froid, un Nital à 10%



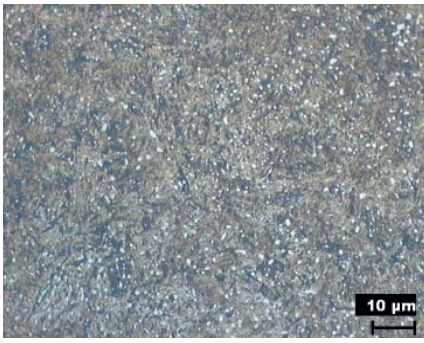
Fig.4: Acier à outils pour travail à froid, attaqué au Nital 10%, les carbures primaires apparaissent en blanc 100x

fait fonder la matrice et fait ressortir les carbures primaires blancs. Pour la perlite globulaire fine, un bref trempage dans de l'acide picrique, suivi de Nital à 2% offre un bon contraste et permet d'éviter les auréoles.

Pour le mélange et le travail avec les solutions d'attaque, les précautions de sécurité standard devront être respectées.



Fig.5: Acier à outils pour travail à chaud, attaqué au Picral et Nital, perlite globulaire 500x



Acier à outils rapide après traitement thermique final, martensite structurée très fine avec carbures de chrome

Nital:

100 ml d'éthanol

2-10 ml d'acide nitrique

(ne doit pas dépasser 10% de la solution, danger d'explosion!)

Solution d'attaque à l'acide picrique:

100 ml d'éthanol

1-5 ml d'acide chlorhydrique

1-4 g d'acide picrique

Interprétation de la structure

Généralement, les aciers hautement alliés ont les mêmes phases structurales que les alliages fer-carbone normaux: ferrite, perlite, martensite et austénite, mais la solution solide peut absorber une certaine quantité d'éléments d'alliage. Le carbone forme des carbures complexes avec certains éléments d'alliage tels que le chrome, le tungstène et le vanadium.

De plus, la solubilité du carbone dans le fer change et le rajout d'éléments d'alliage tels que la silicone, le chrome, le tungstène, le molybdène et le vanadium, fait augmenter la région alpha du diagramme fer-fer carbone, alors qu'un ajout de nickel et de manganèse fera s'agrandir la région gamma. Ces caractéristiques influencent la transformation temps-température ce qui est particulièrement important pour le traitement thermique des aciers à outils. La structure primaire d'un acier à outils pour travail à froid est une lédéburite. Sa structure grossière est transformée par un roulage ou forgeage à chaud dans une matrice ferritique-perlitique avec de grands carbures primaires (Fig. 6). Un recuit total subséquent va former les fines carbures secondaires (Fig. 7).

Les aciers à outils pour travail à chaud après traitement thermique total, doivent idéalement montrer une matrice martensitique revenue contenant une perlite globulaire très fine (Fig. 5). Dans ce cas, il est important que les ségrégations provenant de la structure primaire soient atténuées autant que possible par le biais d'un traitement thermique, car une composition chimique irrégulière peut aboutir à des problèmes de corrosion (Fig. 8).

L'acier pour moulage du plastique est un acier à outils résistant à la corrosion qui,

avant le traitement thermique, montre une martensite «amorphe» avec des fils de carbures (Fig. 9). Après le recuit, il montre des carbures finement dispersés (Fig. 10).

La répartition uniforme des carbures dans l'acier à outils peut être améliorée par un processus métallurgique de poudre. Par le biais d'un processus de fabrication de poudre et d'une compression isostatique à chaud subséquente, un acier homogène, sans ségrégation sera produit, ce qui est tout particulièrement approprié pour les outils de géométrie non-conventionnelle ce qui serait très onéreux à réaliser par moyens mécaniques (Fig. 11 et 12).

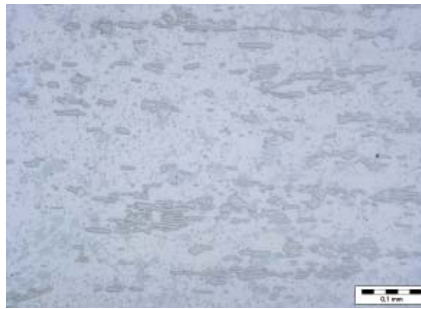


Fig. 6: Acier à outils pour travail à froid après formage à chaud initial, légèrement contrasté par un bref polissage final aux oxydes, et montrant de gros carbures dans une matrice ferritique-perlitique

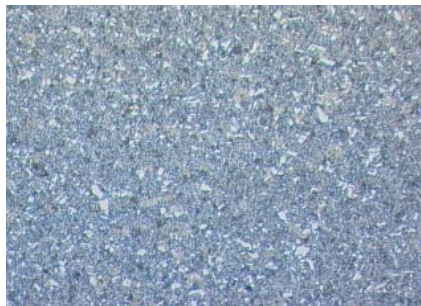


Fig. 7: Acier à outils pour travail à froid après traitement thermique avec carbures secondaires finement dispersés et des carbures d'acier primaires blancs



Fig. 8: Acier à outils pour travail à chaud montrant des ségrégations

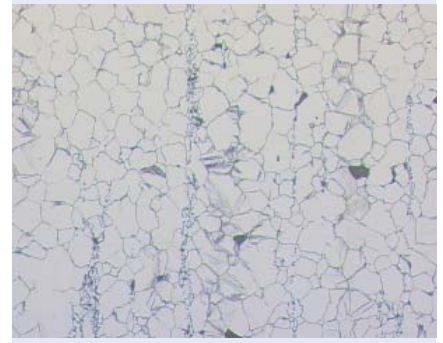


Fig. 9: Acier pour moulage du plastique, attaqué au Picral 5%, martensite amorphe avec des fils de carbures primaires



Fig.10: Acier pour moulage du plastique après recuit, montrant des carbures très fins



Fig.11: Répartition des carbures dans de l'acier produits traditionnellement



Fig.12: Répartition des carbures dans de l'acier produit par métallurgie des poudres

Struers A/S
 Pederstrupvej 84
 DK-2750 Ballerup, Denmark
 Phone +45 44 600 800
 Fax +45 44 600 801
 struers@struers.dk



Résumé

Une part encore plus importante des aciers hautement alliés de nos jours, sont conçus pour s'adapter aux applications particulières des clients. Ceci nécessite la production d'un matériau très propre avec des propriétés mécaniques, physiques et métallurgiques très spécifiques. L'examen métallographique à partir de la pièce initiale et des premières étapes de formage, au produit final semi-fini, traité thermiquement, est un outil essentiel pour un contrôle des processus de fabrication et de traitement thermique.

Les principaux défis imposés par la préparation métallographique sont la gérance d'un grand volume d'échantillons et la production d'excellents finis de surface à chaque fois. Comme la taille, la forme et la répartition des carbures et des inclusions sont les principaux indicateurs de qualité de l'acier à outils, il est essentiel que ceux-ci soient préservés lors de la préparation. Un prépolissage et polissage automatiques, en utilisant du diamant pour le prépolissage fin et le polissage, donnent de bons résultats reproductibles. L'utilisation d'une méthode de préparation applicable pour tous les différents types d'aciers à outils rend la manipulation facile et efficace.

Application

Notes
 Préparation métallographique des aciers à outils hautement alliés

Elisabeth Weidmann, Anne Guesnier, Struers A/S, Copenhagen
 Judy Arner, Struers Inc, Westlake, Ohio, Etats-Unis
 Bill Taylor, Struers, Ltd., Glasgow, Royaume Uni

Bibliographie

Schumann, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1968
 Dohmke 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
 Metallographic etching, G. Petzow, ASM, Metals Park, Ohio, 44073, 1978

Remerciements

Nous tenons à remercier Böhler Edelstahl GmbH, Kapfenberg, Autriche, pour nous avoir généreusement fourni ces informations, le matériau échantillon, ainsi que la permission de reproduire le dessin et les photos aux pages 2 et 3, les figs. 6, 11 et 12 à la page 5 et la photo de l'outil d'estampage à la page 6. Un remerciement tout particulier à J. Hofstätter et A. Dreindl pour leur coopération.

Pour de plus amples détails sur les équipements, accessoires et consommables mentionnés, veuillez vous reporter à www.struers.com ou contacter votre représentant Struers local.

USA

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

CANADA

Struers Ltd.
 7275 West Credit Avenue
 Mississauga, Ontario L5M 5M9
 Phone +1 905-814-8855
 Fax +1 905-814-1440
 info@struers.com

SWEDEN

Struers A/S
 Smältvägen 1
 P.O. Box 11085
 SE-161 11 Bromma
 Telefon +46 (0)8 447 53 90
 Telefax +46 (0)8 447 53 99
 info@struers.dk

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

NEDERLAND/BELGIE

Struers GmbH Nederland
 Electraweg 5
 NL-3144 CB Maassluis
 Tel. +31 (0) 10 599 72 09
 Fax +31 (0) 10 599 72 01
 glen.van.vugt@struers.de

BELGIQUE (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

UNITED KINGDOM

Struers Ltd.
 Unit 25a
 Monkspath Business Park
 Solihull
 B90 4NZ
 Phone +44 0121 745 8200
 Fax +44 0121 733 6450
 info@struers.co.uk

IRELAND

Struers Ltd.
 Unit 25a
 Monkspath Business Park
 Solihull
 B90 4NZ
 Phone +44 (0)121 745 8200
 Fax +44 (0)121 733 6450
 info@struers.co.uk

JAPAN

Marumoto Struers K.K.
 Takara 3rd Building
 18-6, Higashi Ueno 1-chome
 Taito-ku, Tokyo 110-0015
 Phone +81 3 5688 2914
 Fax +81 3 5688 2927
 struers@struers.co.jp

CHINA

Struers Ltd.
 Office 702 Hi-Shanghai
 No. 970 Dalian Road
 Shanghai 200092, P.R. China
 Phone +86 (21) 5228 8811
 Fax +86 (21) 5228 8821
 struers.cn@struers.dk

DEUTSCHLAND

Struers GmbH
 Karl-Arnold-Strasse 13 B
 D-47877 Willich
 Telefon +49(02154) 486-0
 Telefax +49(02154) 486-222
 verkauf.struers@struers.de

ÖSTERREICH

Struers GmbH
 Zweigniederlassung Österreich
 Ginzkeyplatz 10
 A-5020 Salzburg
 Telefon +43 662 625 711
 Telefax +43 662 625 711 78
 stefan.lintschinger@struers.de

SCHWEIZ

Struers GmbH
 Zweigniederlassung Schweiz
 Weissenbrunnstrasse 41
 CH-8903 Birmenstorf
 Telefon +41 44 777 63 07
 Telefax +41 44 777 63 09
 rudolf.weber@struers.de

CZECH REPUBLIC

Struers GmbH
 Organizační složka
 Havlíčkova 361
 CZ-252 63 Roztoky u Prahy
 Tel: +420 233 312 625
 Fax: +420 233 312 640
 david.cernicky@struers.de

POLAND

Struers Sp. z o.o.
 Oddział w Polsce
 ul. Lirowa 27
 PL-02-387 Warszawa
 Tel. +48 22 824 52 80
 Fax +48 22 882 06 43
 grzegorz.uszynski@struers.de

HUNGARY

Struers GmbH
 Magyarországi fióktelep
 Puskás Tivadar u. 4
 H-2040 Budaörs
 Phone +36 (23) 428-742
 Fax +36 (23) 428-741
 zoltan.kiss@struers.de

SINGAPORE

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



www.struers.com