

Metallografische Präparation hochlegierter Werkzeugstähle

Stähle können aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung grob in drei Kategorien eingeteilt werden:

- Kohlenstoffstähle
- Niedrig legierte Stähle mit geringen Zusätzen von Legierungselementen und
- Hochlegierte Stähle mit mehr als 6% Legierungselementen.

Zusätzlich zu Kohlenstoff enthalten hochlegierte Stähle große Mengen von Legierungselementen wie Chrom, Nickel, Vanadium, Wolfram und Molybdän. Verschleißbeständigkeit, Zähigkeit, Festigkeit und Härte sind die wichtigsten Eigenschaften von Werkzeugstahl, und die genannten Legierungselemente verbessern und optimieren diese mechanischen Eigenschaften und ergeben bei Zugabe entsprechender Mengen ganz spezifische Eigenschaften wie z.B. Korrosions- und Hitzebeständigkeit, Härtebeständigkeit, Festigkeit usw.

Die steigenden Anforderungen von modernen Produktionstechnologien und der wirtschaftliche Druck in allen Industriebereichen fordert von den Stahlherstellern eine ständige Qualitätsverbesserung von hoch leistungsfähigen Stahlegierungen für spezielle und anspruchsvolle Anwendungen. Zum Beispiel erfordert ein Stahl für Stanz- und Schneidwerkzeuge oder Matrizen eine hohe Festigkeit und Härte aber gleichzeitig auch eine bestimmte Zähigkeit. Außerdem müssen hochlegierte Werk-

zeugstähle einen sehr hohen Reinheitsgrad haben. Alle diese Eigenschaften können nur erzielt werden indem jeder Schritt der Stahlerzeugung und die anschließende mechanische Umformung und Wärmebehandlung einer genauen Kontrolle unterliegen.

Die Hauptanforderungen

an das metallografische Labor bei der Produktion von hochlegierten Qualitätswerkzeugstählen sind folgende:

- Effiziente Bearbeitung einer hohen Probenanzahl
- Verwendung einer Standardmethode zur Präparation aller Stahlgüten
- Gut polierte Schriffe herzustellen ohne Karbide und Einschlüsse zu beschädigen.

Das ist besonders wichtig zur Beurteilung von hochreinen Stählen.

Die metallografische

Beurteilung schließt die Verteilung und Größenbestimmung von Karbiden ein, Bestimmung von Randentkohlung bei gehärteten und vergüteten Stählen, Beurteilung von Mikroseigerungen und Bestimmung des Reinheitsgrades.



Kaltarbeitsstahl
Stanzwerkzeug



Kunststoffformenstahl geätzt mit 5% Pikrinsäure; in einem sonst strukturlosen Martensit sind bei hoher Vergrößerung einzelne Nadeln und Platten zu sehen.

1000x DIC

Schwierigkeiten während der metallografischen Präparation

Trennen: Effizientes Trennen ohne Überhitzung



Abb. 1: Thermische Schäden erzeugt durch falsche Trennbedingungen

Schleifen und Polieren: Durchlauf von großen Probenmengen. Sehr feine Karbide und Einschlüsse können aus einer weichen Matrix gerissen werden, große Karbide können während des Planschleifens zerbrochen werden.



Abb. 2: Zerbrochene Primärkarbide

Lösung:

- Auswahl und Verwendung der richtigen Trennscheibe
- Verwendung von automatischen Schleif- und Poliergeräten
- Ausreichendes Diamantpolieren um die Verformungen die durch das Schleifen entstehen zu entfernen

Herstellung und Verwendung von hochlegierten Werkzeugstählen

Die Produktion von hochlegierten Stählen ist ein komplexer Ablauf von wiederholten Schmelzprozessen. Eine Mischung von Eisen und gut sortiertem Stahlschrott wird zunächst im Lichtbogenofen geschmolzen und in Rohblöcke oder im Stranggussverfahren in Barren oder Knüppel gegossen. Für viele Anwendungen können diese Produkte zu Halbzeugen wie Stangen, Stäben oder Platten weiterverarbeitet werden. Für Stähle mit hoher Qualität werden die Roherzeugnisse einem zweiten Schmelzverfahren unterzogen. Dieser zweite Schmelzprozess kann eine zwei- oder sogar dreifache Erschmelzung im Vakuuminduktionsofen und eine zusätzliche Schmelzung im Vakuum-Lichtbogenofen sein oder ein Elektro-Schlacke-Umschmelzverfahren das auch unter Druck und Schutzgas durchgeführt werden kann. Der Hauptgrund für diesen zweiten Schmelzvorgang ist die Reduzierung von Verunreinigungen wie Oxiden, Sulfiden und Silikaten, so dass mit wiederholtem Schmelzen der Reinheitsgrad verbessert wird und homogene Blöcke mit ausgezeichneten mechanischen und physikalischen Eigenschaften gegossen werden können. Die hohen Energiekosten dieser Umschmelzverfahren spiegeln sich in den Preisen von martensitischen wärme- und korrosionsbeständigen Stählen und Warmarbeitsstählen für spezielle Anwendungen wieder.

Der Bereich der hochlegierten Werkzeugstähle ist sehr groß und manche Produkte werden nur für besondere Anforderungen hergestellt. Im Folgenden werden nur einige der typischen hochlegierten Werkzeugstähle und deren Anwendungsgebiete und die ungefähre chemische Zusammensetzung aufgeführt:

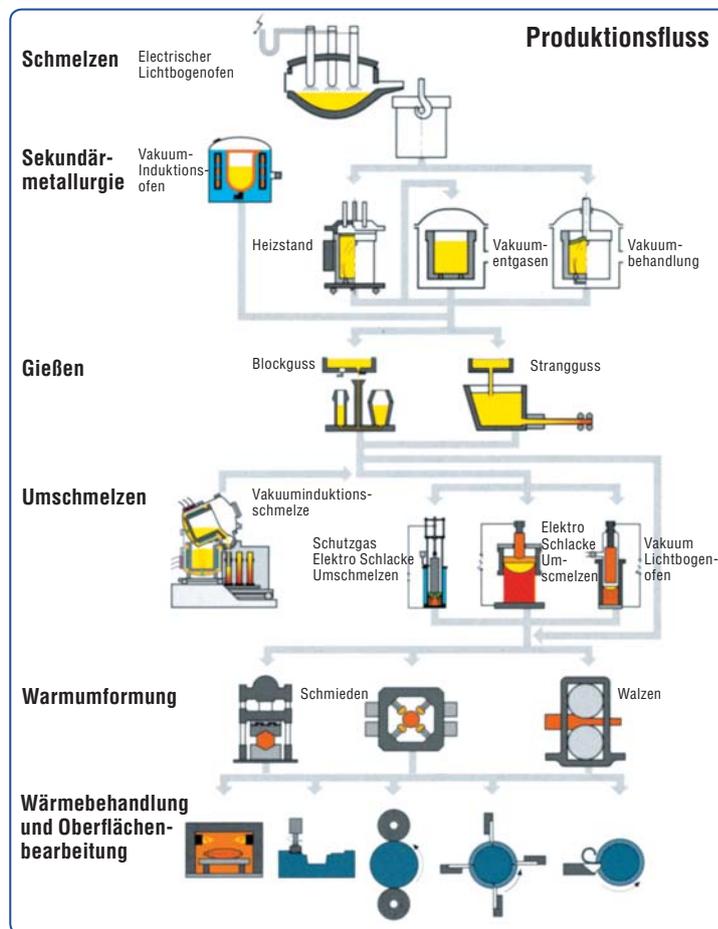


Abb. 3: Produktionsablauf für hochlegierte Werkzeugstähle

Kaltarbeitsstahl: 1,6-2% Kohlenstoff, 5-12% Chrom, zum Stanzen, Prägen, Tiefziehen, für Gewindewalzen, Schermesser. Eigenschaften: hohe Zähigkeit, Druckfestigkeit und Verschleißbeständigkeit, gute Nitrierbarkeit.

Warmarbeitsstahl: 0,38% Kohlenstoff, 5% Chrom, 1,5-3% Molybdän und 0,5% Vanadium, für Druckgusswerkzeuge. Eigenschaften: hohe Warmfestigkeit, Zähigkeit und Verschleißbeständigkeit, hohe Beständigkeit gegen Wärmeshock und Ermüdung.

Schnellarbeitsstahl: 0,75-1,3% Kohlenstoff, 4,5% Chrom, 2% Vanadium, 6-18% Wolfram, 4-9% Molybdän, für Gewindefräser, Dreh- und Fräswerkzeuge. Eigenschaften: härte- und zähigkeitsbeständig bei hohen Temperaturen.

Kunststoffformenstahl: 0,3% Kohlenstoff, 12-17% Chrom. Zum Formen von Kunststoffteilen für die Automobil-, Medizin-, und Konsumgüterindustrie. Eigenschaften: gut polierbar für Hochglanzoberflächen, außergewöhnliche Zähigkeit und Härte, gute Korrosionsbeständigkeit.

Werkzeuge werden aus geglühten Stählen hergestellt, die anschließend nitriert oder induktionsgehärtet werden. Die Bedingungen unter denen Werkzeuge zum Einsatz kommen sind sehr unterschiedlich und manchmal extrem. Deswegen gibt es eine große Bandbreite von Legierungen für Werkzeugstähle um die bestmögliche Auswahl für sehr schwierige und anspruchsvolle Werkzeuganwendungen zu gewährleisten.



Schneidwerkzeug aus Schnellarbeitsstahl



Warmarbeitsstahl Werkzeug für Druckguss



Werkzeug für Kunststoffform

Kaltarbeitsstahl Werkzeug

Schwierigkeiten bei der Präparation von hochlegierten Werkzeugstählen

Da die Härtebarkeit von Werkzeugstahl ein Qualitätsmerkmal ist müssen thermische Schäden beim Trennen vermieden werden damit das wahre Gefüge gezeigt wird. Das muss besonders beachtet werden wenn Proben aus sehr großen Teilen oder für Schadensanalysen entnommen werden.

Das Hauptproblem beim Schleifen und Polieren hochlegierter Werkzeugstähle liegt in der Erhaltung von Karbiden und nichtmetallischen Einschlüssen. Die Primärkarbide in Kaltarbeitsstahl sind sehr groß und zerbrechen sehr leicht während des Schleifens. Im geglühten Zustand sind die Sekundärkarbide sehr fein und können leicht aus der weichen Matrix gerissen werden (Siehe Abb. 2 erste Seite, Zerbrochene Primärkarbide).

Die Vorbereitung großer Probenmengen von verschiedenen hochlegierten Werkzeugstählen während der Produktion kann eine Herausforderung sein die einen effizienten Arbeitsablauf, automatische Geräte und Standardverfahren erfordert.



Empfehlungen für die Präparation von hochlegierten Werkzeugstählen

Trennen

Die meisten Proben werden grob aus Knüppeln oder Brammen in Standardgrößen mechanisch herausgetrennt und müssen entsprechend weit abgeschliffen werden um die Möglichkeit von thermischen Schäden auszuschließen. Proben von Halbzeugen, Wärmebehandlungen und Schadensanalysen werden immer mit einer metallografischen Nasstrennmaschine entnommen. Hochlegierte Werkzeugstähle sind äußerst empfindlich für thermische Schäden, weshalb die Auswahl der richtigen Trennscheibe besonders wichtig ist. Weiche Aluminiumoxidscheiben oder kunstharzgebundene Bornitridscheiben werden zum Trennen empfohlen.



Einbetten

Abhängig von der Größe und Menge der Proben, der geforderten Beurteilung und der Zeit die zur Verfügung steht, können die Proben entweder uneingebettet, kalt- oder warmeingebettet präpariert werden. Oberflächenbehandeltes Material bei dem gute Randschärfe erforderlich ist sollte mit faserverstärktem Kunstharz (IsoFast, DuroFast) warmeingebettet werden. Proben bei denen Randschärfe nicht erforderlich ist können uneingebettet präpariert werden. Standardisierte Probengrößen können für die Präparation von großen Probenmengen ein Vorteil sein, wozu Kalteinbetten in rechteckigen Silikon- oder Propylenformen (UnoForm) empfohlen wird. Es ist darauf zu achten, dass durch das Kalteinbettmittel kein Schrumpfspalt zwischen Probe und Einbettmittel entsteht da sonst das Reinigen und Ätzen sehr erschwert wird.



Schleifen und Polieren

Die Hauptanforderung an die Präparation von hochlegierten Werkzeugstählen ist die Erhaltung

und Wiedergabe der wahren Form und Größe von Karbiden und nichtmetallischen Einschlüssen in einer unverformten Matrix. Dazu werden große Probenmengen am besten auf automatischen Schleif- und Poliermaschinen bearbeitet, da sie einen schnellen und effizienten Probendurchsatz mit reproduzierbaren Ergebnissen garantieren. Da Werkzeugstähle hart sind ist das Feinschleifen mit Diamant effizienter und wirtschaftlicher als mit Siliziumkarbidpapier. Manchmal kann ein Oxidpolieren nach der Diamantpolitur von Vorteil sein um die Karbide zur besseren Identifizierung stärker zu kontrastieren.

Im Folgenden werden Präparationsmethoden für vollautomatische sowie halbautomatische Geräte beschrieben. Diese Methoden beruhen auf Erfahrung und ergeben ausgezeichnete, reproduzierbare Ergebnisse. Geringe Änderungen können gemacht werden um spezifischen Anforderungen oder persönlichen Präferenzen zu entsprechen.



Schleifen			
Stufe		PG 	FG 
	Unterlage	Stein 150#	MD-Allegro
	Suspension		9 µm
	Lubrikant	Wasser	Blau
	UpM	1450	150
	Kraft [N]	300	300
	Zeit	Bis plan	9 min.

Polieren			
Stufe		DP 1 	DP 2 
	Unterlage	MD-Dac	MD-Nap
	Suspension	6 µm	1 µm
	Lubrikant	Blau	Blau
	UpM	150	150
	Kraft [N]	300	150
	Zeit	6 min	4 min.

Tabelle 1: Präparationsmethode für hochlegierten Werkzeugstahl mit großen automatischen Geräten

Schleifen			
Stufe		PG 	FG 
	Unterlage	MD-Piano 220	MD-Allegro
	Suspension		DiaPro Allegro/Largo
	Lubrikant	Wasser	
	UpM	300	150
	Kraft [N]	210	210
	Zeit	Bis plan	9 Min.

Polieren				
Stufe		DP 1 	DP 2 	OP 1* 
	Unterlage	MD-Dac	MD-Nap	MD-Chem
	Suspension	DiaPro Dac	DiaPro Nap B	OP-AA
	UpM	150	150	150
	Kraft [N]	210	150	90
	Zeit	6 min	1 Min.	1 Min.

Hinweis: DiaPro Diamantsuspension kann durch Diamantsuspension P und Lubrikant Blau wie folgt ersetzt werden: für FG mit 9µm, für DP1 mit 3µm und DP 2 mit 1µm.

*Wahlweise

Tabelle 2: Präparationsmethode für hochlegierten Werkzeugstahl mit halb-automatischen Tischgeräten

Die Präparationsangaben in Tabelle 1 gelten für 6 Proben, 65 x 30 mm, uneingebettet oder kalteingebettet, für Struers MAPS oder Abraplan/Abrapol.

Für geringere Mengen und Größen von Proben werden mit halbautomatischen Geräten ebenfalls gute und reproduzierbare Ergebnisse erzielt. Die Angaben in Tabelle 2 gelten für die Präparation von 6 eingebetteten Proben, 30 mm Durchm., in einem Halter eingespannt, für Struers TegraPol 31/TegraForce-3 mit TegraDoser-5.

Ätzen und Gefügeinterpretation

Ätzen

Normalerweise werden die Schlitze zuerst ungeätzt angesehen um Größe, Form und Verteilung von Einschlüssen und Karbiden zu beurteilen. Um das Gefüge zu entwickeln werden entweder Nital- oder Pikrinsäureätzungen in verschiedenen Konzentrationen verwendet. Zum Beispiel färbt eine 10%ige Nitalätzung die Matrix eines Kaltarbeitsstahls dunkel wodurch die

weißen Karbide gut sichtbar werden. Für feinen, globularen Perlit ergibt ein kurzes Tauchen in Pikrinsäure gefolgt von einer 2%igen Nitalätzung einen guten Kontrast und vermeidet Flecken.

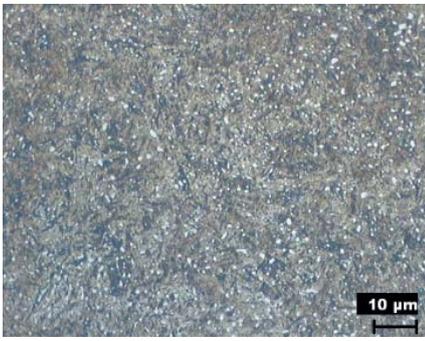
Beim Mischen von und Arbeiten mit Ätzmitteln müssen die entsprechenden Sicherheitsvorschriften beachtet werden.



Abb. 4: Kaltarbeitsstahl geätzt mit 10% Nital, Primärkarbide werden weiß hervorgehoben



Abb. 5: Warmarbeitsstahl geätzt mit Pikrinsäure und Nital, Gefüge besteht aus globularem Perlit



Hochlegierter Werkzeugstahl nach abschließender Wärmebehandlung. Gefüge besteht aus sehr fein ausgebildetem Martensit mit Chromkarbiden

Nital:

100 ml Ethanol

2-10 ml Salpetersäure (Vorsicht, 10% nicht übersteigen, Explosionsgefahr!)

Pikrinsäure:

100 ml Ethanol

1-5 ml Salzsäure

1-4 g Pikrinsäure

Gefügeinterpretation

Generell haben hochlegierte Stähle die gleichen Phasen wie normale Eisen-Kohlenstoff-Legierungen: Ferrit, Perlit, Martensit und Austenit. Jedoch kann der Mischkristall eine gewisse Menge der Legierungselemente aufnehmen. Kohlenstoff bildet mit einigen Elementen wie Chrom, Wolfram und Vanadium komplexe Karbide. Zusätzlich verändert sich die Löslichkeit von Kohlenstoff in Eisen durch die Legierungselemente. Silizium, Chrom, Wolfram, Molybdän und Vanadium vergrößern das Alpha-Gebiet des Eisen-Kohlenstoff Diagramms, während Nickel und Mangan das Gamma-Gebiet vergrößern. Dadurch verändert sich die Zeit-Temperatur Umwandlung was besonders wichtig für die Wärmebehandlung der Werkzeugstähle ist.

Das Primärgefüge von Kaltarbeitsstahl besteht aus Ledeburit dessen grobe Struktur durch die erste Warmumformung in eine ferritisch-perlitische Matrix mit großen Primärkarbiden umgewandelt wird (Abb. 6). Durch eine weitere Umformung und Wärmebehandlung bilden sich dann kleine Sekundärkarbide (Abb.7).

Warmarbeitsstahl im wärmebehandelten Zustand hat idealerweise martensitisches Grundgefüge mit feinem, globularem Perlit (Abb. 5).

Hier ist es wichtig, dass die Entmischungen der Primärstruktur durch eine Wärmebehandlung ausgeglichen werden, da eine ungleichmäßige chemische Zusammensetzung zu Korrosionsproblemen führen kann (Abb. 8).

Kunststoffformenstahl ist ein korrosionsbeständiger Werkzeugstahl der vor der Wärmebehandlung einen strukturlosen Martensit mit Karbidzeilen aufweist (Abb. 9). Nach der Wärmebehandlung sind die Karbide fein verteilt (Abb.10).

Die gleichmäßige Verteilung der Karbide in Werkzeugstählen kann durch pulvermetallurgische Verfahren verbessert werden. Das Stahlpulver wird isostatisch heissgepresst wodurch ein homogener Stahl ohne Entmischungen entsteht. Hochlegierter pulvermetallurgischer Stahl eignet sich besonders für komplizierte Werkzeugformen für die eine spanabhebende Herstellung sehr teuer wäre (Abb.11 und 12).



Abb. 6: Kaltarbeitsstahl nach der ersten Warmumformung, leicht kontrastiert mit kurzer Siliziumoxid-Endpolitur, zeigt große Primärkarbide, in einer ferritisch-perlitischen Matrix

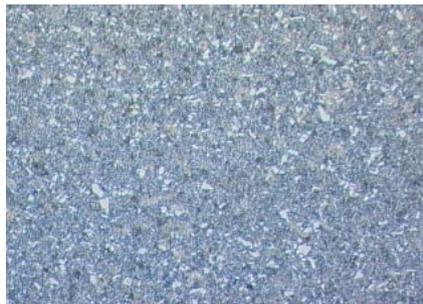


Abb. 7: Kaltarbeitsstahl nach weitere Verformung und Wärmebehandlung zeigt sehr fein verteilte Sekundärkarbide und zertrümmerte kleine Primärkarbide



Fig. 8: Warmarbeitsstahl mit Entmischungen

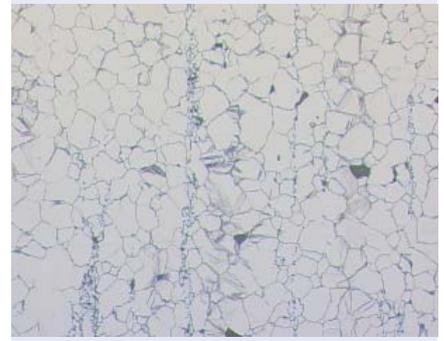


Abb. 9: Kunststoffformenstahl geätzt mit 5% Pikrinsäure, strukturloser Martensit mit Zeilen von Primärkarbiden



Abb.10: Kunststoffformenstahl nach dem Glühen zeigt fein verteilte Karbide



Abb.11: Karbidverteilung bei konventionell hergestelltem Stahl



Abb.12: Karbidverteilung bei pulvermetallurgisch hergestelltem Stahl



Zusammenfassung

Heute werden immer mehr hochlegierte Stähle den Anforderungen der Kunden und Anwendungsgebieten angepasst. Das resultiert in der Herstellung sehr reiner Stähle mit spezifischen mechanischen, physikalischen und metallurgischen Eigenschaften. Die metallografische Untersuchung, angefangen vom Guss und der ersten Umformung bis zum wärmebehandelten Halbzeug, ist unabdingbar zur Überwachung der Produktionsprozesse und Wärmebehandlungen.

Die Herausforderung der metallografischen Bearbeitung liegt in der Handhabung eines großen Probendurchsatzes mit der Anforderung eine gleichbleibend gute und reproduzierbare Schliifqualität herzustellen. Da Form, Größe und Verteilung von Karbiden und Einschlüssen die Hauptqualitätsmerkmale eines Werkzeugstahls sind müssen sie während der Präparation vollständig erhalten bleiben. Automatisches Schleifen und Polieren mit Diamantsuspensionen ergibt gute, reproduzierbare Ergebnisse. Die Verwendung der gleichen Präparationsmethode für verschiedene Arten von hochlegierten Werkzeugstählen vereinfacht und beschleunigt den Arbeitsablauf.

Elisabeth Weidmann, Anne Guesnier,
 Struers A/S, Kopenhagen
 Judy Arner, Struers Inc, Westlake, Ohio, USA
 Bill Taylor, Struers, Ltd., Glasgow, UK

Bibliografie

Schumann, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1968
 DohmkeVerlag 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
 Metallographisches Ätzen, G. Petzow, Gebrüder Borntträger Berlin-Stuttgart, 1976

Danksagung

Wir bedanken uns bei der Fa. Böhler Edelstahl GmbH, Kapfenberg, Österreich, für die großzügige Unterstützung mit Probenmaterial und Information, und für die Erlaubnis der Wiedergabe der Zeichnung und Photos auf den Seiten 2 und 3, Abb. 6, 11 und 12 auf Seite 5, die Aufnahme des Stanzwerkzeugs auf Seite 1 und des Druckstempels auf Seite 6.
 Unser besonderer Dank gilt J. Hofstätter und A.Dreindl für ihre Unterstützung.

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

NETHERLAND/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(0)2154) 486-0
 Telefax +49(0)2154) 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

