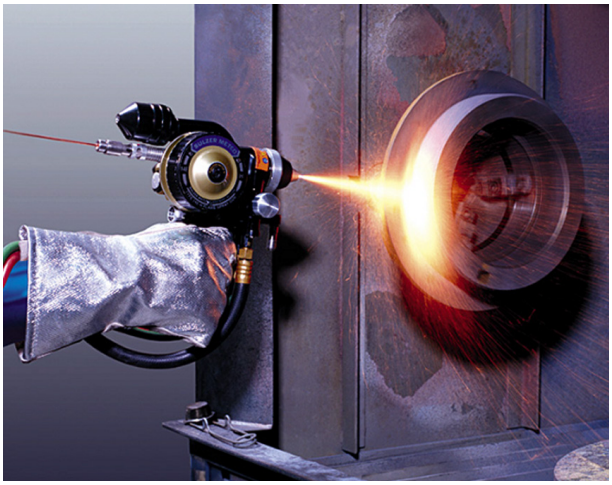
Metallographische Präparation von thermischen Spritzschichten

Struers
Ensuring Certainty

Application Notes

Thermische Spritzverfahren wurden Anfang des 20. Jahrhunderts erfunden, um Zink zum „Metallisieren“ von Substraten als Korrosionsschutz aufzubringen. Die Entwicklung der Spritzpistole für das Plasmaspritzen in den späten 1950er und 1960er Jahren ermöglichte die wirtschaftlich rentable Verwendung von Hochtemperatur-Werkstoffen, wie Keramik und Refraktärmetallen, als Spritzzusatzwerkstoffe. Neben dem Flamm- und Plasmaspritzen werden heute u. a. auch das Hochgeschwindigkeits-Flammspritzen und das Detonationsspritzen unter Verwendung zahlreicher Spritzzusätze für die verschiedensten und anspruchsvollsten Applikationen verwendet.

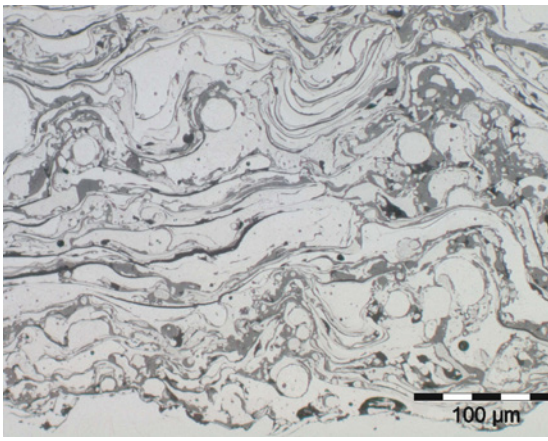


Thermische Spritzschichten werden auf einem Substrat aufgebracht, um diesem bestimmte Oberflächenqualitäten zu verleihen, die der Werkstoff normalerweise nicht hat. Mit anderen Worten wird die Festigkeit eines Teils durch den Substratwerkstoff bestimmt, die Beschichtung wiederum verleiht der Oberfläche besondere Qualitäten, wie Beständigkeit gegenüber Korrosion, Verschleiß oder Wärme. Das ist auch der Grund, weswegen thermische Spritzschichten gerade in der Raum- und Luftfahrtindustrie und bei der Stromerzeugung für sowohl neue als auch gebrauchte Teile von Düsentriebwerken und Gasturbinen, Kompressoren und Pumpen eingesetzt werden. Die Eigenschaften einiger Beschichtungen lassen sich nur mithilfe von thermischen Spritzverfahren unter Verwendung von in erster Linie Metallen, Keramikwerkstoffen, Karbiden und Verbundwerkstoffen sowie Mischungen dieser Werkstoffe erzielen.

Die metallographische Untersuchung von thermischen Spritzschichten kann aus mehreren Gründen durchgeführt werden:

- Festlegen, Überwachen und Steuern der Spritzbedingungen für die Qualitätskontrolle
- Fehleranalyse
- Entwicklung neuer Produkte

Das Verfahren umfasst normalerweise das Beschichten eines Testcoupons, um das Verfahren für das zu behandelnde Teil festzulegen und zu optimieren. Dann werden Schliffe dieses Testcoupons metallographisch präpariert und auf Schichtdicke, Größe und Verteilung der Poren, Oxide und Risse, Haftfestigkeit am Substrat, Verunreinigungen der Grenzfläche und Vorhandensein von nicht geschmolzenen Partikeln untersucht.



Lichtbogenspritzen mit metallischem Spritzzusatz, zu erkennen sind graue Oxide und runde, nicht geschmolzene Partikel

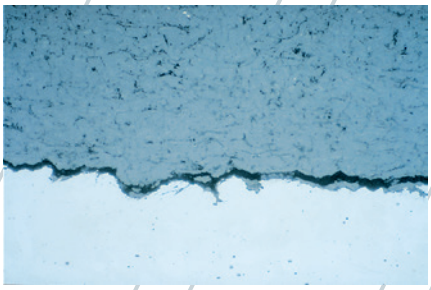
Schwierigkeiten bei der metallographischen Präparation

Trennen: Risse in der Beschichtung, die durch Einspannen der Probe und die Verwendung einer grobkörnigen Trennscheibe verursacht werden
Ablösen vom Substrat

Einbetten: Unzureichendes Eindringen des Einbettmittels in die Schicht
Schleifen und Polieren: Verschmierungen weicher Werkstoffe und Ausbrüche aus spröden Werkstoffen erschweren die Feststellung und Beurteilung der wahren Porosität

Lösung:

- Präzisionstrennen
- Vakuumimprägnierung mit Epoxid-Einbettmittel
- Standardisierte, reproduzierbare Präparationsverfahren für thermische Spritzschichten



Riss zwischen Plasmaspritzschicht und Trägermaterial. Der Riss wurde beim Trennen verursacht 500x

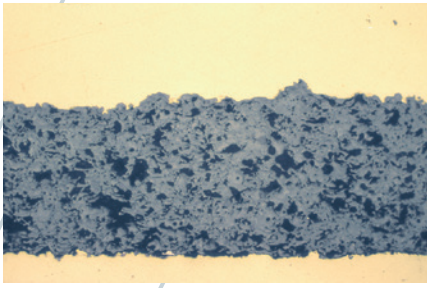


Abb. 1: Keramische Spritzschicht, unzureichend poliert 200x

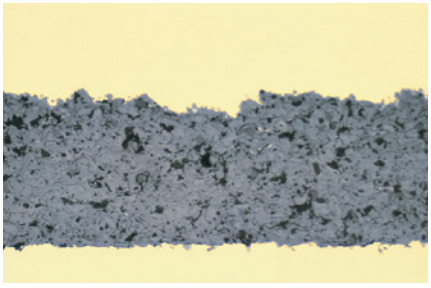
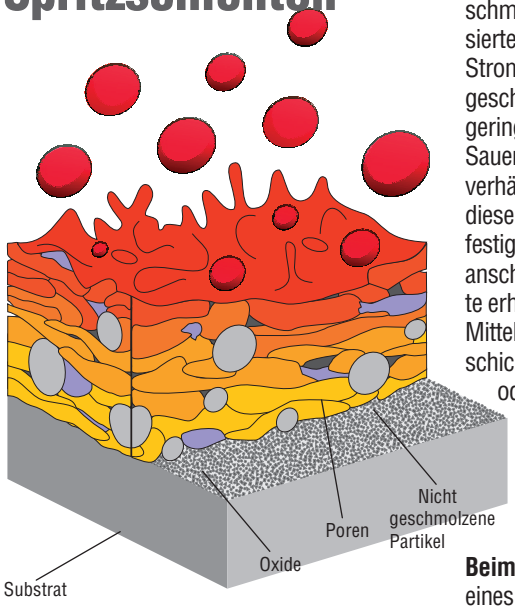


Abb. 2: Selbe Beschichtung wie Abb. 1, korrekt poliert 200x

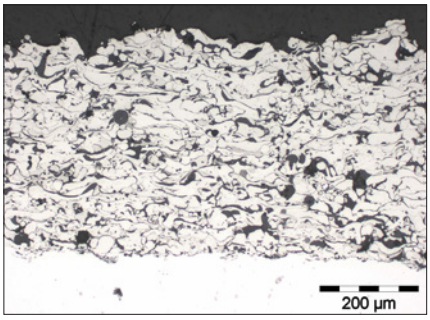
Spritzverfahren und Verwendungen von thermischen Spritzschichten



Beim thermischen Spritzen wird der draht- oder pulverförmige Schichtwerkstoff von einer Hochtemperatur-Wärmequelle in einer Spritzpistole geschmolzen, mittels Brenngas-Sauerstoff-Flamme oder Plasmastrahl beschleunigt und mit hoher Geschwindigkeit auf das Grundmaterial aufgetragen. Ein Strahl geschmolzener und halb geschmolzener Partikel trifft auf das Substrat auf und bildet eine Schicht. Beim Auftreffen auf das Werkstück haften die Partikel mechanisch an der Oberfläche, verformen und kühlen sehr schnell ab. Die Verbindung der einzelnen Teilchen untereinander geschieht durch mechanische Verzahnung und in manchen Fällen durch metallurgische Bindungen oder durch Diffusion. Eine höhere Geschwindigkeit der Teilchen bedeutet auch eine bessere Bindung und dadurch eine dichtere Schicht. Ausschlaggebend für eine gute Anhaftung am Substrat ist ein Aufrauen der Oberfläche durch Sandstrahlen sowie eine gründliche Entfettung und Reinigung vor dem Spritzen. Die verschiedenen Spritzverfahren erzeugen unterschiedliche Temperaturen beim Schmelzen in der Spritzpistole und unterschiedliche Teilchengeschwindigkeiten. Dies muss zusammen mit dem wirtschaftlichen Aspekt in Betracht gezogen werden wenn eine Beschichtung für eine bestimmte Anwendung erwogen wird. Nachfolgend sind die wichtigsten Spritztechniken und einige der bekanntesten Applikationen der entsprechenden Schichten kurz beschrieben:

Das Flammspritzen ist das älteste Verfahren zum Aufbringen von thermischen Spritzschichten. Der draht- oder pulverförmige Spritzzusatzwerkstoff wird in einer Sauerstoff-Brenngas-Flamme kontinuierlich aufgeschmolzen. Die geschmolzenen und atomisierten Partikel werden in einem gerichteten Strom durch die Düse der Spritzpistole geschleudert. Aufgrund der verhältnismäßig geringen Partikelgeschwindigkeit ist die Sauerstoffexposition erhöht, was zu einem verhältnismäßig hohen Anteil an Oxiden in diesen Beschichtungen führt (Abb. 3); Haftfestigkeit und Dichte sind moderat (durch anschließendes Anschmelzen kann die Dichte erhöht werden).
Mittels Flammspritzen aufgebrachte Beschichtungen dienen als Korrosions- und/oder Verschleißschutz von Bauteilen und Komponenten, zum Erstellen von Oberflächen und zur Reparatur abgenutzter Wellen sowie zum Beschichteten von Kleinteilen und Kleinstflächen.

Abb. 3: Flammgespritzte Beschichtung; Ni5Al



Synchronringe aus Messing mit Molybdän-Spritzschicht, aufgebracht mittels Flammspritzen

Beim Lichtbogenspritzen wird die Hitze eines elektrischen Lichtbogens zwischen zwei Drahtelektroden aus Beschichtungsmaterial zum Schmelzen genutzt. Die Elektroden treffen vor einem Druckluftstrahl aufeinander. Der Lichtbogen schmilzt die Drähte und die Druckluft zerstäubt die geschmolzenen Tröpfchen des Spritzzusatzwerkstoffs und schleudert diese auf das Substrat. Die hohe Temperatur des Lichtbogens und die Partikelgeschwindigkeit führen zu einer Beschichtung mit hoher Haftfestigkeit und Dichte, die der einer flammgespritzten Beschichtung überlegen ist. Allerdings ist der Anteil an Oxiden in der Beschichtung aufgrund der Verwendung von Druckluft sehr hoch (Abb. 4).
Der Vorteil des Lichtbogenspritzens ist die hohe Auftragsrate, was das Verfahren besonders geeignet für großflächige Beschichtungen oder die Fertigung mit hohem Durchsatz macht. Zu den Beispielen zählen das Beschichten großer Bauwerke, wie Brücken und Offshore-Plattformen mit korrosionsbeständigen Zink- oder Aluminiumbeschichtungen, die Instandsetzung von Industrieanlagen und das Beschichten von Elektronikgehäusen mit leitfähigen Kupfer- oder Aluminiumbeschichtungen.

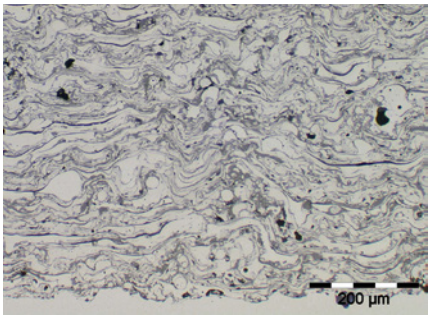
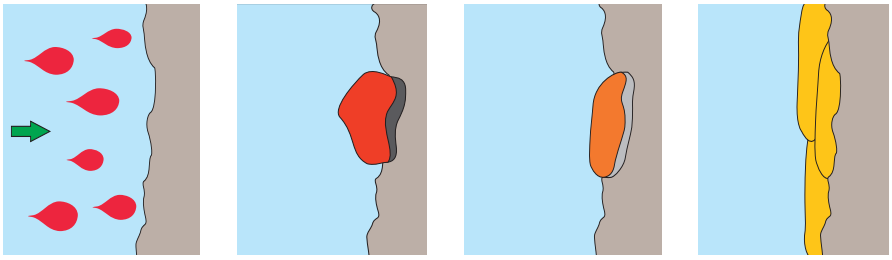


Abb. 4: Metallschicht aus FeCrSiNi und Mn, aufgebracht mittels Lichtbogenspritzen

Beim **Detonationsspritzen** werden geringe Mengen Karbidpulver, Brennglas und Sauerstoff in eine sogenannte Detonationskanone eingetragen und zur Detonation gebracht. Die im Rohr entstehende Schockwelle beschleunigt das Pulver auf mehrfache Schallgeschwindigkeit und schleudert es mit sehr hoher kinetischer Energie auf die Werkstückoberfläche. Diese Beschichtungen zeichnen sich durch eine hervorragende Dichte, herausragenden Zusammenhalt und exzellente Haftfestigkeit auf dem Substrat aus. Aufgrund der Verfahrensbedingungen ist dieses Verfahren auf Applikationen mit Karbidbeschichtungen, in erster Linie in der Raum- und Luftfahrtindustrie, für verschleißfeste Beschichtungen beschränkt.

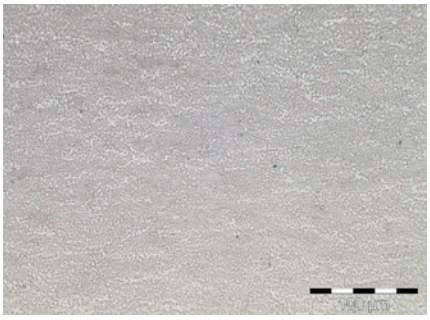
Beim **Hochgeschwindigkeits-Flammspritzen (HVOF)** entsteht in einer Verbrennungskammer durch Sauerstoff und Brenngas eine

Prinzip der Schichtbildung



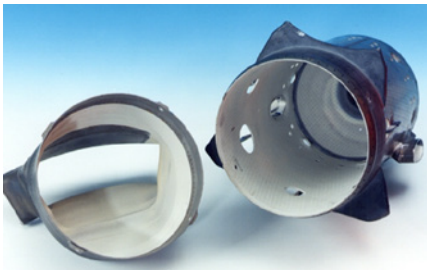
Herausgeschleuderte Tropfen des Spritzzusatzwerkstoffs — *Auftreffen auf das Substrat* — *Wärmeableitung in das Substrat* — *Verfestigung und Schrumpfung des Spritzzusatzwerkstoffs*

Abb. 5:
HVOF-Beschichtung aus
WC/12Co



Flamme mit Überschallgeschwindigkeit, die mit dem Ausstoß durch die Verengung der Düse noch beschleunigt wird. Dem Gasstrom wird der pulverförmige Spritzzusatz zugeführt. Die extrem hohe Geschwindigkeit der Partikel beim Auftreffen auf das Substrat führt zu einer Beschichtung mit hoher Dichte und Festigkeit (Abb. 5). Die hohe kinetische Energie der Partikel beim Auftreffen auf das Substrat gewährleistet eine gute mechanische Haftfestigkeit, selbst wenn die Partikel nicht alle komplett aufgeschmolzen sind. Aus diesem Grund ist dieses Spritzverfahren insbesondere zum Auftragen von Karbid-Spritzschichten geeignet.
Zu typischen Applikationen gehören Wolfram-Karbid-Beschichtungen auf Turbinenteilen und Ventilen für Flugzeugmotoren und Nickel-Chrom-Beschichtungen mit hoher Oxidationsbeständigkeit.

Das Plasmaspritzen ist die meistverbreitete Methode zum Spritzen von thermischen Schichten, und kann entweder unter Luft (APS, Air Plasma Spraying) oder unter Schutzgas durchgeführt werden. Zwischen einer Katode und der konzentrischen Düse der Spritzpistole wird ein Lichtbogen erzeugt. Dabei wird eine Mischung aus mit hoher Geschwindigkeit durchströmenden Gasen ionisiert, sodass ein Plasmastrahl entsteht. Dieser Plasmastrahl wird aus der Düse gedrückt, wobei das Spritzzusatzpulver in den Plasmastrahl injiziert, durch die Wärme und Geschwindigkeit des Plasmastrahls schnell geschmolzen und mit hoher Geschwindigkeit auf die Oberfläche des Substrats geschleudert wird. Mit dem Plasmaspritzenverfahren hergestellte Beschichtungen zeigen ein dichteres Gefüge als solche, die mit dem Flammspritzverfahren hergestellt wurden (siehe Abb. 3 verglichen mit Abb. 6).
Das Plasmaspritzen hat außerdem den Vorteil, dass damit Spritzzusätze mit hohem Schmelzpunkt, wie Keramikwerkstoffe



Brennkammer mit APS-Wärmedämmschicht, Haftschicht NiCrAlY, Deckschicht $ZrO_2 + Y_2O_3$

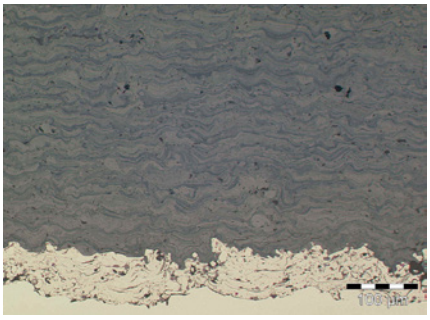
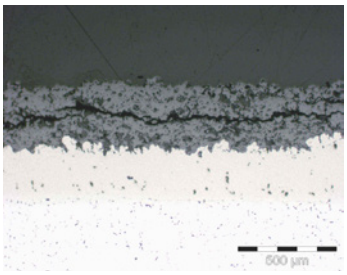


Abb. 6: APS-Schicht aus NiCr-Haftschicht und TiO-Deckschicht

oder Refraktärmetalle, aufgebracht werden können. Es ist ein vielfältig einsetzbares Spritzverfahren für qualitativ hochwertige Beschichtungen, das bei einer Vielfalt von Applikationen Anwendung findet, beispielsweise Beschichtungen von Reibungsflächen, thermischen Isolierschichten, Turbinenbrennkammern, Schaufeln und Lamellen, biologisch verträglichen Hxdroxylapatit-Schichten für Implantate und Keramikbeschichtungen auf Druckwalzen.

Probleme bei der Präparation von thermischen Spritzschichten

Trennen: Beim Einspannen von spritzbeschichteten Werkstücken können Risse in spröden Beschichtungen entstehen oder sehr weiche Beschichtungen komprimiert werden.



Beim Trennen verursachte Risse

Einbetten: Kalteinbettmittel mit hohen Aushärtetemperaturen und hoher Schrumpfung können Schichten mit geringer Haftung vom Grundmaterial ablösen. Schrumpfspalte können auch zur Ablösung der Schicht führen wenn diese während des Schleifens und Polierens nicht durch das Einbettmittel gestützt wird.

Schleifen und Polieren: Kantenabrundung kann zu einer ungleichmäßigen Politur führen woraus sich eine falsche Interpretation der Porosität ergeben kann (Abb. 7). Reliefs zwischen Beschichtung und Substrat verursachen einen Schatten, der zu falschen Interpretationen führen kann (Abb. 8).

Es ist nach wie vor umstritten, wie die wahre Porosität einer metallografisch präparierten Spritzschicht zu beurteilen ist, da unsachgemäßes Schleifen und Polieren Artefakte erzeugt, die nicht Teil des Gefüges sind. So

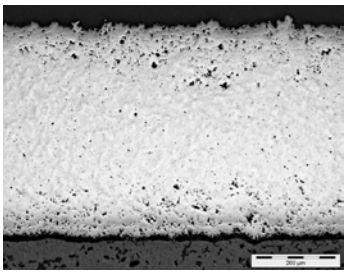


Abb. 7: Ungenügendes Polieren täuscht weniger Porosität in der Mitte der Schicht vor

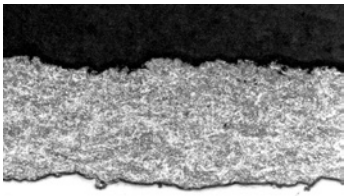
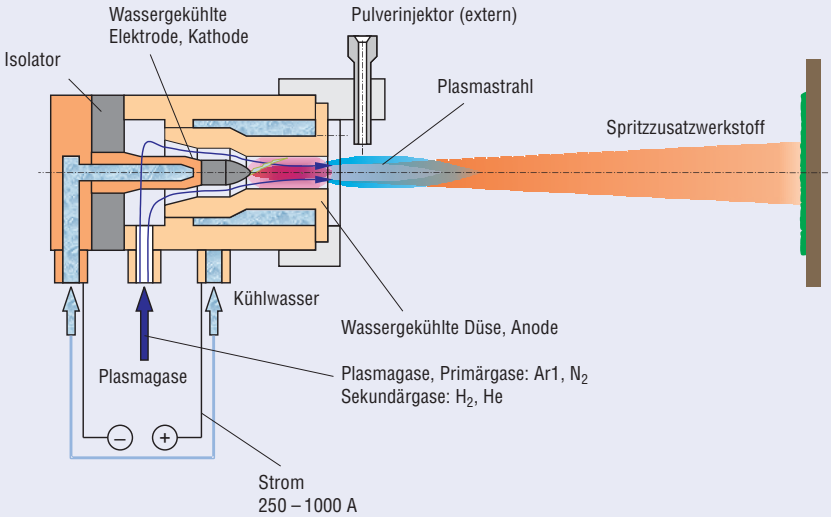
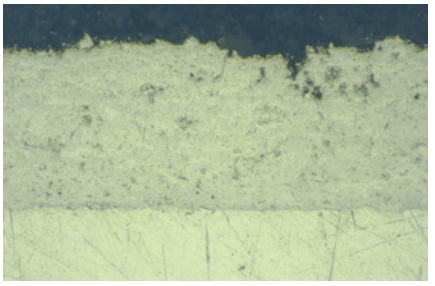


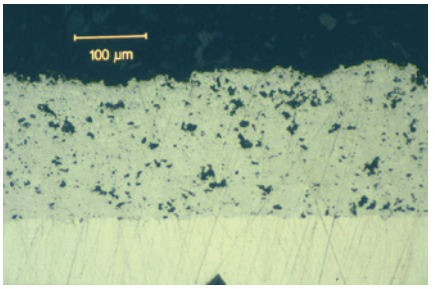
Abb. 8: WC/Co-Spritzschicht mit Polierrelief, das eine dunkle Linie an der Grenzfläche Einbettmittel/Spritzschicht zeigt; kann zu Fehlinterpretationen führen



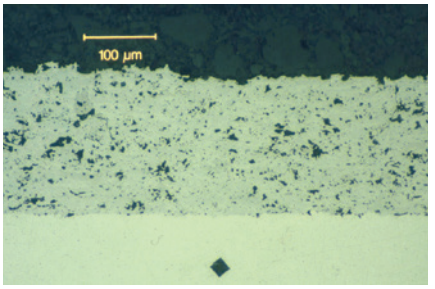
Schematische Zeichnung einer Plasmaspritzpistole



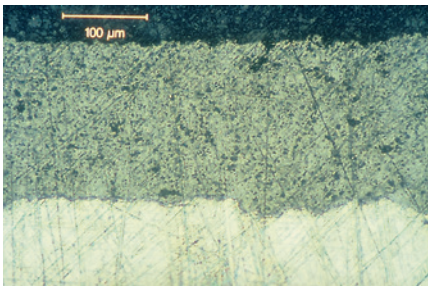
a) Metallspritzschicht nach Feinschleifen



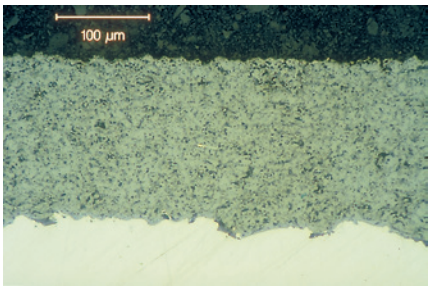
b) Dieselbe Spritzschicht wie in a), mit Korngröße 3 µm poliert



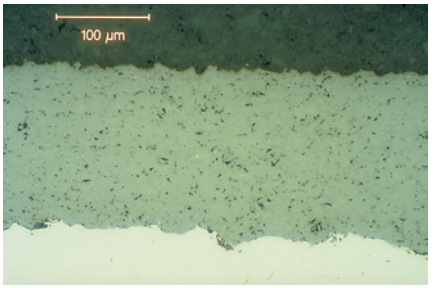
c) Dieselbe Spritzschicht wie in b) nach Endpolieren



d) Keramikspritzschicht nach Feinschleifen



e) Dieselbe Spritzschicht wie in d), mit Korngröße 3 µm poliert



f) Dieselbe Spritzschicht wie in e) nach Endpolieren

kann bei einer Beschichtung aus Metall oder Metall/Keramik das weichere Metall beim Schleifen in die Poren gedrückt werden und dadurch bei unsachgemäßen Polieren die wahre Porosität verschleiern (siehe Abb. a-c). Keramische Beschichtungen wiederum sind so spröde, dass Partikel beim Schleifen aus der Oberfläche brechen können. Wird kein sorgfältiges Polieren durchgeführt, können Ausbrüche den Eindruck hoher Porosität vortäuschen (siehe Abb. d-f).

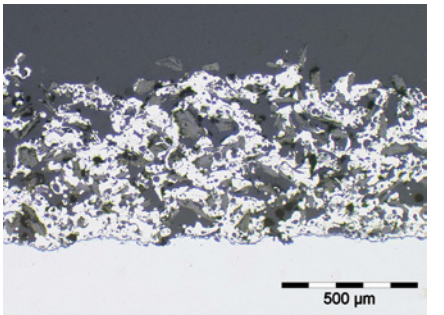
Empfehlungen für die Präparation von thermischen Spritzschichten

Da es viele verschiedene Beschichtungsmaterialien und manchmal ungewöhnliche Materialkombinationen gibt, ist es wichtig, die genauen Materialangaben der Beschichtung und des Grundwerkstoffs zu kennen. Es ist auch hilfreich abzuschätzen, wie sich diese Werkstoffe unter dem Einfluss eines mechanischen Abtrags verhalten. Da unterschiedliche Spritzverfahren Beschichtungen mit unterschiedlichen Dichten und Gefügen ergeben, sollte auch das für eine bestimmte Probe verwendete Spritzverfahren bekannt sein, um die zu erwartende Porosität und den Oxidgehalt einordnen zu können.

Trennen: Die Wahl der Trennscheibe wird durch das Substrat, in der Regel ein Metall, bestimmt. Eine Scheibe mit eher lockerer Bindung (weich) ist besser als eine mit dichterer Bindung (hart), damit keine spröden Partikel aus der Beschichtung herausgebrochen werden. Dies gilt insbesondere beim Trennen von Teilen mit keramischer Beschichtung. Die keramische Beschichtung hat aber nur einen geringen Anteil an der gesamten Querschnittsfläche und muss deswegen nicht zwangsläufig mit einer Diamanttrennscheibe getrennt werden. In der Regel ist Trennen mit einer weichen Aluminiumoxidscheibe möglich. Im Falle einer Keramikbeschichtung mit hoher Schichtdicke und Dichte bietet eine Diamanttrennscheibe mit Kunstharzbindung eine gute Alternative.

Ein dünnes Stück Styropor zwischen Spannsystem und Probe kann spröde und sehr weiche Beschichtungen vor Beschädigungen schützen.
Beim Trennen von anderen Proben als Testcoupons, z. B. Proben für die Fehleranalyse, ist unbedingt darauf zu achten, dass das Werkstück so in die Trennscheibe eingespannt wird, dass die Trennscheibe erst die Beschichtung und dann das Substrat trennt und nicht umgekehrt. Da die Bin-

Nickelschicht, mittels Flammspritzen aufgebracht, mit 15 % Grafit



dung zwischen Beschichtung und Substrat hauptsächlich mechanisch ist, kann sich die Beschichtung sonst aufgrund der von der Trennscheibe ausgeübten Zugkraft abgelöst werden.

Besonders empfindliche oder dünne Beschichtungen können erst mit einem Epoxid-Einbettmittel zum Kalteinbetten unter Vakuum imprägniert werden, ehe Mikroschliffe abgetrennt und zum Schleifen und Polieren erneut eingebettet werden. Dadurch wird die Beschichtung beim Trennen bestmöglich geschützt.

Das Auftreten von Rissen in einer Beschichtung nach dem Endpolieren kann, muss aber nicht vom Trennen herrühren. In diesem Fall ist es empfehlenswert, die Probe erneut zu schleifen und zu polieren. Wurde der Riss während des Trennens erzeugt, verschwindet er in der Regel wieder, weist die Beschichtung Risse auf, treten diese erneut auf oder werden an anderen Stellen der Beschichtung sichtbar.

Einbetten: Kalteinbetten mit Epoxid-Einbettmitteln (ProntoFix , EpoFix, CaldoFix-2) wird empfohlen, da diese beim Warmeinbetten leicht beschädigt werden (Abb. 9 und 10). Im Allgemeinen wird für alle Beschichtungen eine Vakuumimprägnierung empfohlen. Die Imprägnierungstiefe hängt von der Porosität und den Verbindungen zwischen den Poren ab. Sehr poröse Beschichtungen lassen sich leichter imprägnieren als dichtere Beschichtungen; liegt die Porosität unter 10 %, ist ein erfolgreiches Imprägnieren nicht möglich. Da es schwierig sein kann, Gefügebestandteile von Hohlräumen zu unterscheiden, die mit transparentem Einbettmittel ausgefüllt sind, ist es hilfreich einen fluoreszierenden Farbstoff (EpoDye) in das Kalteinbettmittel zu mischen. Durch einen Blaufilter und einen Orangefilter unter dem Mikroskop betrachtet färbt der Fluoreszenzfarbstoff die während der Imprägnierung mit Einbettmittel gefüllten Hohlräume gelb (Abb. 11 und 12). Dieses Verfahren eignet sich leider nicht immer für keramische Beschichtungen, da keramische Werkstoffe selbst durchscheinend sind und dadurch die gesamte Beschichtung zu fluoreszieren scheint.

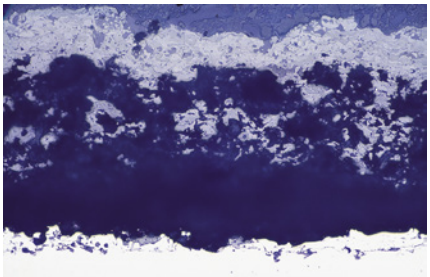


Abb. 9: Beschädigung einer keramischen Spritzschicht durch Heißeinbetten *200x*

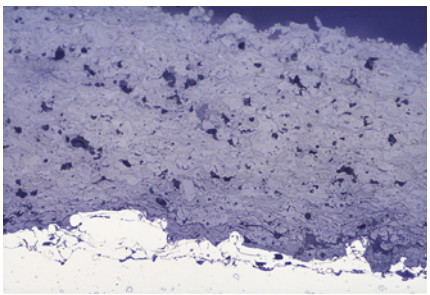


Abb. 10: Dieselbe Beschichtung wie in Abb. 9, in Kalteinbettung *200x*

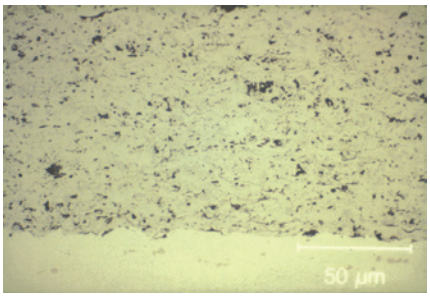


Abb. 11: WC/Co-Spritzschicht, aufgebracht mittels Plasmaspritzen, im Hellfeld

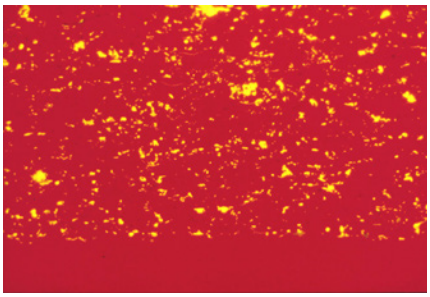


Abb. 12: Selbe Beschichtung wie Abb.11 unter fluoreszierendem Licht

Schleifen und Polieren: Generell sollte das Planschleifen mit einer möglichst feinen Siliziumkarbidfolie/-papier beginnen, um eine künstliche Porosität durch Herausbrechen spröder Partikel zu vermeiden. Bei Keramikbeschichtungen mit hoher Dichte oder Schichtdicke kann jedoch ein Planschleifen mit einer Diamantscheibe (z. B. MD-Piano 220) eine bessere Wirkung erzielen. Bei hohen Probendurchsätzen oder großen Teilen, die in ihrer Gesamtheit untersucht werden müssen, kann aufgrund der höheren Geschwindigkeit ein Planschleifen mit einem Schleifstein bevorzugt sein.
Gleichgültig, welches Verfahren gewählt wird, ist immer zu beachten, dass der erste Präparationsschritt darauf abzielen sollte, beim Trennen entstandene Risse zu entfernen, ohne die Probe bei durch zu grobes Schleifen weiter zu beschädigen.

Um die Planheit zu erhalten und eine gute Abtragsrate zu gewährleisten, erfolgt das Feinschleifen vorzugsweise mit Diamanten in einer Verbundmatrix-Feinschleifscheibe. Für keramische Beschichtungen wird die Feinschleifscheibe MD-Allegro empfohlen, für Metallbeschichtungen MD-Largo. Ein gründliches Polieren mit einem Seidentuch (MD-Dur oder MD-Dac) erhält die Planheit der Probe und gewährleistet das Entfernen von verschmierten Metallen.

Zum Feinpolieren von Metallbeschichtungen eignen sich insbesondere Diamanten mit einer Korngröße von 1 µm oder kolloidales Siliziumdioxid (OP-U NonDry) auf einem weichen Tuch. Die Verwendung einer kolloidalen Siliziumdioxidsuspension (OP-S NonDry) zum Polieren von metallischen Spritzschichten ist nicht empfehlenswert, da dadurch zu viel Relief verursacht wird. OP-S NonDry eignet sich jedoch zum Endpolieren von keramischen Beschichtungen, da dadurch ein guter Kontrast des Gefüges erreicht wird.

Im Versuchsstadium zum Finden geeigneter Präparationsmethoden kann das Schleifen mit Siliziumkarbid und Diamanten getestet werden, um festzustellen, welches das geeignetste Planschleifverfahren ist. Dasselbe gilt für das Endpolieren, bei dem Diamanten mit einer Korngröße von 1 µm in einigen Fällen kolloidalem Siliziumdioxid überlegen sein können.

Im Allgemeinen ist es empfehlenswert, soweit möglich ein Standardverfahren zu finden, dass immer für alle Beschichtungen verwendet wird. Mit den richtigen Geräten für die automatische Präparation lassen sich die Präparationsparameter genau steuern, was gleichbleibende Ergebnisse und eine hervorragende Reproduzierbarkeit gewährleistet. So kann bei unveränderten Präparationsbedingungen angenommen werden, dass plötzliche Unterschiede des Mikrogefüges in den meisten Fällen auf einen anderen Ablauf des Spritzverfahrens und nicht des Präparationsverfahrens zurückzuführen sind.

Das Präparationsverfahren in der Tabelle wurde erfolgreich für die häufigsten Beschichtungen verwendet. Die Daten gelten für 6 eingebettete Proben, Durchmesser 30 mm, die in einen Halter eingespannt sind. Die DiaPro Diamantsuspension kann durch DP-Suspension 9 µm, 3 µm bzw. 1 µm ersetzt werden, die mit blauem Schmiermittel zusammen verwendet wird.

Standardpräparationsverfahren für thermische Spritzschichten

Schleifen

Schritt		PG	FG
Unterlage		Folie/Papier	MD-Largo
Schleifmittel	Typ	SiC	Diamant
	Größe	#220	9 µm
Suspension/ Schmiermittel		Wasser	DiaPro Allegro/ Largo 9*
U/min		300	150
Andruckkraft [N]/Probe		30	30
Zeit (min)		Bis plan	5

Polieren

Schritt		DP 1	DP 2 **
Unterlage		MD-Dac	MD-Nap
Schleifmittel	Typ	Diamant	Diamant
	Größe	3 µm	1 µm
Suspension/ Schmiermittel		DiaPro Dac 3*	DiaPro Nap B 1*
U/min		150	150
Andruckkraft [N]/Probe		30	20
Zeit (min)		5	1

Für 6 eingebettete Proben, Durchmesser 30 mm, die in einen Halter eingespannt waren.

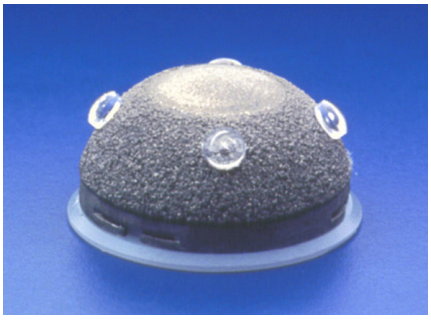
Anmerkungen:

**Als Alternative kann die DiaPro Diamantsuspension durch DP-Suspension P, 9 µm, 3 µm bzw. 1 µm ersetzt werden, die zusammen mit blauem Schmiermittel verwendet wird.*

***Als Alternative kann dieses Diamantpolieren durch ein 30–60 s langes Polieren mit kolloidalem Siliziumdioxid (OP-U NonDry für Metalle, OP-S NonDry für keramische Spritzzusätze) ersetzt werden.*

Ätzen: Im Allgemeinen können Ätzmittel, die für einen bestimmten Werkstoff empfohlen sind, auch für Spritzschichten aus diesem Werkstoff verwendet werden. Dabei ist zu erwarten, dass das Ätzen umso gleichmäßiger wird, je größer die Ähnlichkeit zwischen Substratwerkstoff und Spritzzusatz ist. Schichten, die unter Schutzgas gespritzt wurden, haben nur wenig oder gar keine Oxide, wodurch das Gefüge schwer zu erkennen ist. Diese Schichten müssen durch chemisches Ätzen kontrastiert werden.

Unter Vakuum aufgebrachte Beschichtungen aus Nickelbasis- und Kobaldbasis-Superlegierung lassen sich mit denselben Lösungen



Hülle einer Hüftgelenkpfanne mit thermischer Spritzschicht

ätzen, die auch für das Substrat verwendet werden, oder elektrolytisch mit 10 %iger wässriger Oxalsäure.
Das Gefüge von Molybdän enthaltenden Beschichtungen kann mit dem folgenden Ätzmittel dargestellt werden:

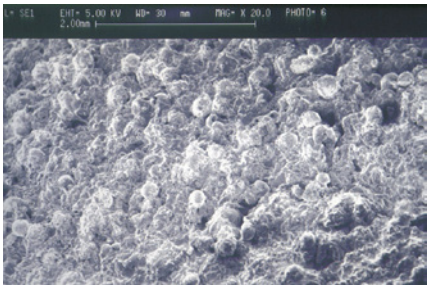
50 ml Wasser
50 ml Wasserstoffperoxid (3 %)
50 ml Ammoniak

Vorsicht: Bei der Arbeit mit Chemikalien sind immer alle empfohlenen Sicherheitsmaßnahmen zu beachten.

Zusammenfassung

Thermische Spritzschichten sind weit verbreitet, um eine bestimmte Oberflächenqualität oder -funktion eines Werkstücks zu erreichen oder zu verbessern. Die verschiedenen Spritzverfahren verleihen den Beschichtungen unterschiedliche Eigenschaften und werden in erster Linie als Korrosionsschutz, Wärmeschutz und Verschleißschutz aufgebracht. Zur metallographischen Untersuchung von thermischen Spritzschichten gehört die Beurteilung der Porosität, der Oxide und nicht geschmolzener Partikel sowie der Haftung am Trägermaterial. Da falsches Schleifen und Polieren die Beurteilung der Porosität beeinträchtigt, ist es besonders wichtig, eine systematische und reproduzierbare Präparation durchzuführen. Zur Vermeidung von Rissen in der Beschichtung wird das Präzisionstrennen mit der korrekten Trennscheibe empfohlen. An das Trennen sollte sich die Einbettung mit Epoxid-Einbettmittel anschließen. Die größten Beschädigungen der Beschichtung werden beim Planschleifen verursacht, weswegen hier eine so feine Körnung wie möglich verwendet werden sollte. Um Reliefs zu vermeiden, wird das Feinschleifen mit Diamanten auf einer starren Scheibe gefolgt von einem gründlichen Polieren mit Diamanten und Seidentuch empfohlen.

Beim mechanischen Abtrag ist insbesondere zu berücksichtigen, dass sich Spritzschichten aus Metall anders verhalten als solche aus Keramikwerkstoffen und dass das Diamantpolieren über einen längeren Zeitraum erforderlich ist, um die wahre Porosität zu erkennen.



REM-Mikroaufnahme einer thermisch beschichteten Oberfläche der Hülle einer Hüftgelenkpfanne

Das empfohlene Präparationsverfahren basiert auf unseren Erfahrungen und führt bei den meisten üblicherweise verwendeten thermischen Spritzschichten zu hervorragenden Ergebnissen. Es sei jedoch bemerkt, dass die Polierzeit bei bestimmten patentierten Beschichtungen möglicherweise angepasst werden muss.

Application Notes
Metallographische Präparation von thermischen Spritzschichten

Elisabeth Weidmann, Anne Guesnier, Struers A/S, Kopenhagen, Dänemark
Brigitte Duclos, Struers S.A.S., Champigny, Frankreich

Danksagungen
Wir möchten uns bei Sulzer Metco AG, Wohlen, Schweiz, für die Zusammenarbeit und die Bereitstellung von Informationsmaterial bedanken. Unser besonderer Dank gilt J. Hochstrasser und P. Ambühl, die uns mit ihrem umfassenden Wissen unterstützt und die die folgenden Fotografien für diese Broschüre bereitgestellt haben: Foto eines Spritzverfahren und Gefügebild auf Seite 1; Zeichnung des Prinzips der Partikelbewegung, Foto von Synchronringen und Gefügebilder auf Seite 2; Zeichnung, Foto einer Brennkammer und alle Gefügebilder auf Seite 3 sowie Gefügebild der flammgespritzten Nickelschicht auf Seite 4. Wir bedanken uns bei Richard Compton, Zimmer, Inc. USA, für das Foto der Hülle einer Hüftgelenkpfanne und die REM-Mikroaufnahme auf Seite 6.

Literatur
Metallographic preparation of thermally sprayed orthopaedic devices, Richard C. Compton, Zimmer, Inc., USA, Structure 28, 1995
Summary Report of the Plasma Spray Coatings Symposium at Struers, Copenhagen, 25.-28. Mai 1988
Universal metallographic procedure for thermal spray coatings, S. D. Glancy, Structure 29, 1996
Materialographic characterization of modern multilayer coating systems used for hot-gas components in large gas turbines for static power generation, A. Neidel, S. Riesenbeck, T. Ulrich, J. Völker, Chunming Yao, Siemens Power Generation, Berlin, Structure 2/2004

Struers
Ensuring Certainty

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

AUSTRALIA & NEW ZEALAND
Struers Australia
27 Mayneview Street
Milton QLD 4064
Australia
Tel.: +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
Tel.: +33 1 5509 1430
Fax: +33 1 5509 1449
struers@struers.fr

BELGIUM (Flanders)
Struers GmbH Nederland
Zomerdijk 34 A
3143 CT Maassluis
Tel.: +31 (10) 599 7209
Fax: +31 (10) 5997201
netherlands@struers.de

CANADA
Struers Ltd.
7275 West Credit Avenue
Mississauga, Ontario L5N 5M9
Tel.: +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
Tel.: +86 (21) 6035 3900
Fax: +86 (21) 6035 3999
struers@struers.cn

CZECH REPUBLIC & SLOVAKIA
Struers GmbH Organizační složka
vědeckotechnický park
Přílepská 1920,
CZ-252 63 Roztoky u Prahy
Tel.: +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
Tel.: +49 (0) 2154 486-0
Fax: +49 (0) 2154 486-222
infoservice@struers.de

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

HUNGARY
Struers GmbH
Magyarországi Fióktelep
2040 Budaörs
Szabadság utca 117
Phone +36 (23) 80 60 90
Fax +36 (23) 80 90 91
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
Struers K.K
Takanawa Muse Bldg. 1F
3-14-13 Higashi-Gotanda,
Shinagawa
Tokyo
141-0022 Japan
Tel.: +81 3 5488 6207
Fax: +81 3 5488 6237
struers@struers.co.jp

NETHERLANDS
Struers GmbH Nederland
Zomerdijk 34 A
3143 CT Maassluis
Tel.: +31 (10) 599 7209
Fax: +31 (10) 5997201
netherlands@struers.de

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

AUSTRIA
Struers GmbH
Zweigniederlassung Österreich
Betriebsgebiet Puch Nord 7
5412 Puch
Tel.: +43 6245 70567
austria@struers.de

POLAND
Struers Sp. z o.o.
Oddział w Polsce
ul. Jasnogórska 44
31-358 Kraków
Tel.: +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
Tel.: +40 (31) 101 9548
Fax: +40 (31) 101 9549
romania@struers.de

SWITZERLAND
Struers GmbH
Zweigniederlassung Schweiz
Weissenbrunnenstraße 41
CH-8903 Birmensdorf
Tel.: +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
Tel.: +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
Tel.: +34 917 901 204
Fax: +34 917 901 112
struers.es@struers.es

FINLAND
Struers ApS Suomi
Sahaajankatu 20-22 A6
00880 Helsinki
Tel.: +358 (0)207 919 430
finland@struers.fi

SWEDEN
Struers Sverige
Box 20038
161 02 Bromma
Tel.: +46 (0)8 447 53 90
Fax: +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
Tel.: +1 440 871 0071
Fax: +1 440 871 8188
info@struers.com

30.01.2020 R02 / 62242005