

Metallografische Präparation von thermischen Spritzschichten

Die Anfänge der Spritzschichten liegen im frühen 20sten Jahrhundert als mit Zink für den Korrosionsschutz „metallisiert“ wurde. Die Entwicklung der Plasmaspritzpistole in den späten 50er und 60er Jahren ermöglichte das wirtschaftliche Spritzen von Schichten mit Hochtemperatur-Werkstoffen wie Keramiken, Wolfram und Molybdän. Neben Flamm- und Plasmaspritzen, schließen die heutigen Spritzmethoden auch Hochgeschwindigkeits- und Detonationsspritzen mit ein und es werden eine große Anzahl unterschiedlicher Werkstoffe für Spritzschichten verwendet, die in den verschiedensten Bereichen eingesetzt werden.

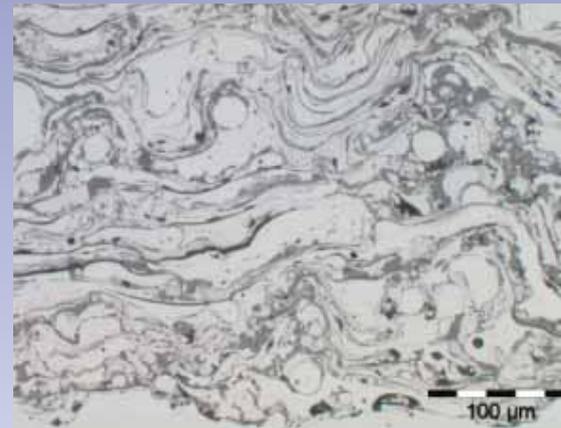
Thermische Spritzschichten werden auf einen Grundwerkstoff aufgebracht um diesem eine spezifische Oberflächenqualität zu geben die er normalerweise nicht aufweist. Dadurch gibt der Grundwerkstoff dem Werkstück die Hauptfestigkeit und die Spritzschicht verleiht der Oberfläche eine zusätzliche Qualität wie Korrosions-, Verschleiß- oder Hitzebeständigkeit. Thermische Spritzschichten werden besonders in der Luft- und Raumfahrt und in der Stromerzeugung sowohl für neue als auch gebrauchte Teile von Düsentriebwerken und Gasturbinen, Kompressoren und Pumpen eingesetzt. Die Eigenschaften einiger Schichten können nur durch thermisches Spritzen hergestellt werden, hauptsächlich unter Verwendung von Metallen, Keramiken, Karbiden und Verbundwerkstoffen sowie Mischungen verschiedener Materialien.



Die Metallografie von thermischen Spritzschichten verfolgt mehrere Ziele:

- Für die Qualitätskontrolle die Spritzverhältnisse zu definieren, zu überwachen und zu kontrollieren
- Zur Fehleranalyse und
- Für die Entwicklung neuer Produkte

Der Arbeitsablauf beinhaltet normalerweise die Beschichtung eines Testcoupons um die Spritzbedingungen für den Teil der beschichtet werden soll zu definieren und zu optimieren. Von diesem Testcoupon werden metallografische Schläffe angefertigt um Schichtdicke, Größe und Verteilung der Poren, Oxide und Risse, Haftung zum Grundmaterial, Verunreinigungen in der Zwischenschicht und ungeschmolzene Pulverteilchen zu bestimmen.



Metallische Lichtbogenspritzschicht mit grauen Oxiden und runden, ungeschmolzenen Partikeln.

Schwierigkeiten während der metallografischen Präparation

Trennen: Verursachen von mechanischen Schäden in der Schicht durch das Einspannen der Probe und die Verwendung grober Trennscheiben;
Ablösen der Schicht vom Grundmaterial.



Während des Trennens entstandener Riss zwischen Plasmaspritzschicht und Grundmaterial

500x

Einbetten: Unzureichendes Eindringen des Einbettharzes in die Schicht.

Schleifen und Polieren: Durch Verschmieren von weichen Werkstoffen und Ausbrüchen bei spröden Materialien ist es schwierig die richtige Porosität darzustellen und zu bestimmen.

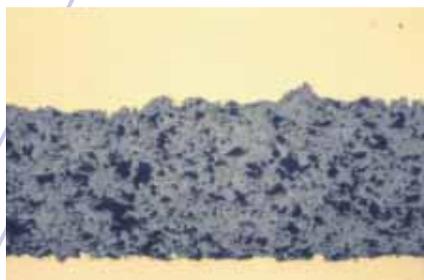


Abb. 1: Keramische Spritzschicht, ungenügend poliert

200x

Lösungen

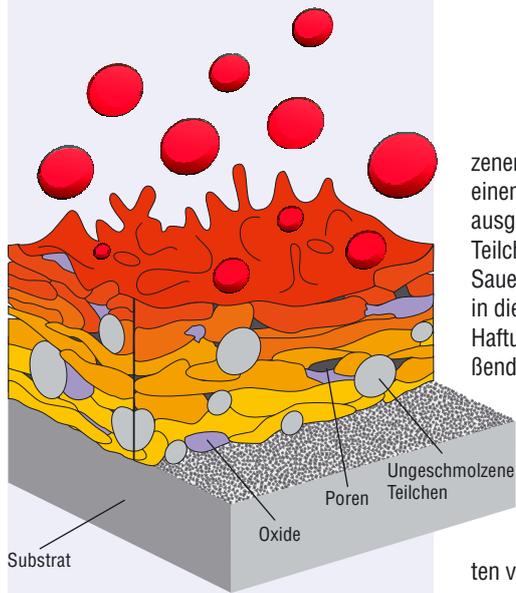
- Präzisionstrennen
- Vakuumimprägnieren mit Epoxydharz
- Anwendung reproduzierbarer Standardpräparationsmethoden für thermische Spritzschichten



Abb. 2: Gleiche Schicht wie in Abb. 1, richtig poliert

200x

Spritzmethoden und Verwendungen von thermischen Spritzschichten



Während des Spritzvorgangs wird das Schichtmaterial, entweder Pulver oder Draht, bei hohen Temperaturen direkt in der Spritzpistole geschmolzen und durch die Flamme oder den Plasmastrahl mit hoher Geschwindigkeit auf das Grundmaterial aufgebracht. Ein Strahl von geschmolzenen und halbgeschmolzenen Teilchen trifft auf das Substrat und bildet eine Schicht. Beim Auftreffen der Teilchen auf das Werkstück haften sie mechanisch an der Oberfläche, verformen und kühlen 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. Für eine gute Haftung am Grundmaterial ist es unbedingt notwendig, dass die Oberfläche vor dem Spritzen durch Sandstrahlen aufgeraut, entfettet und gut gereinigt wird.

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. Im Folgenden werden die Hauptspritzverfahren kurz beschrieben und die entsprechenden Schichten und ihre Anwendungen erwähnt:

Das Flammgespritzen ist die älteste Methode zum Auftragen von thermischen Spritzschichten. Das Schichtmaterial ist entweder Pulver oder Draht die in die Sauerstoff-Brenngasflamme eingeleitet werden. Die geschmol-

zenen und atomisierten Teilchen werden in einem gerichteten Strahl durch die Düse ausgestoßen. Auf Grund der relativ geringen Teilchengeschwindigkeit erhöht sich die Sauerstoffaufnahme wodurch der Oxidanteil in diesen Schichten relativ hoch ist (Abb. 3); Haftung und Dichte sind mäßig (anschließendes Anschmelzen zur Verdichtung ist möglich).

Flammgespritzte Schichten werden als Korrosion- und/oder Verschleißschutz von Konstruktionsteilen verwendet, zu Oberflächenaufbau und Reparatur von gebrauchten Wellen und zum Beschichten von Kleinteilen und kleinen Stellen.

Beim Lichtbogenspritzen wird die Hitze eines elektrischen Lichtbogens zwischen zwei Drahtelektroden aus Beschichtungsmaterial zum Schmelzen desselben genutzt. Die Elektroden treffen vor einem Druckluftstrahl aufeinander und während die Hitze des Lichtbogens die Drähte schmilzt, bläst die Druckluft die geschmolzenen Teilchen des Beschichtungsmaterials auf das Substrat. Die hohe Temperatur des Lichtbogens und große Geschwindigkeit der Teilchen ergibt eine bessere Haftung und Dichte dieser Schichten als bei Flammgespritzen. Durch die Verwendung von Druckluft haben Lichtbogen-Spritzschichten jedoch einen höheren Anteil an Oxiden (Abb. 4).

Der Vorteil der mit Lichtbogen gespritzten Schichten liegt in ihrem hohen Auftragsgrad und sie sind deshalb besonders geeignet für Anwendungen auf großen Flächen und bei großen Produktionsmengen, z.B. Beschichten von großen Konstruktionen in der Erdölindustrie oder Brücken mit korrosionsbeständigem Zink oder Aluminium, Instandsetzung von Industrieanlagen, leitende Beschichtungen aus Kupfer oder Aluminium für Gehäuse von elektronischen Bauteilen.

Schichtbildung

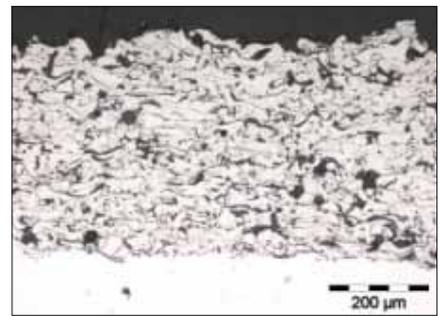
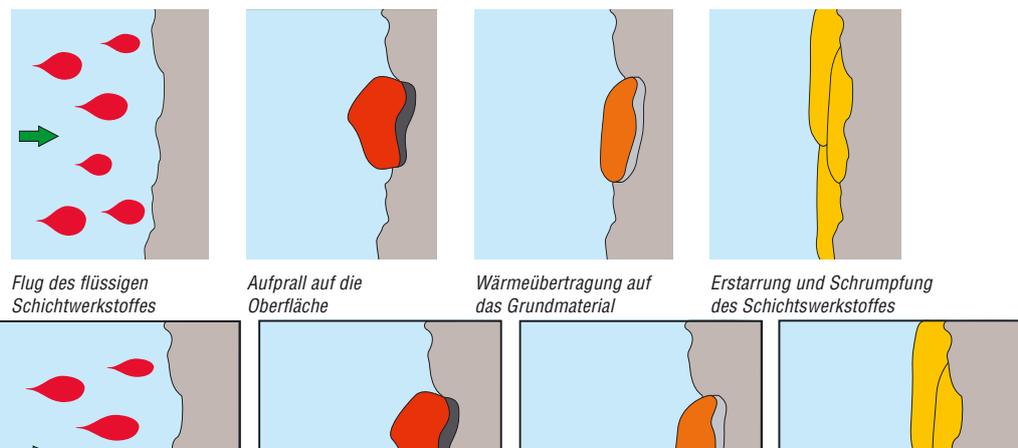


Abb. 3: Pulverflammgespritzschicht Ni5Al



Synchronringe aus Sondermessing flammgespritzt mit Molybdänbeschichtung gegen Verschleiß



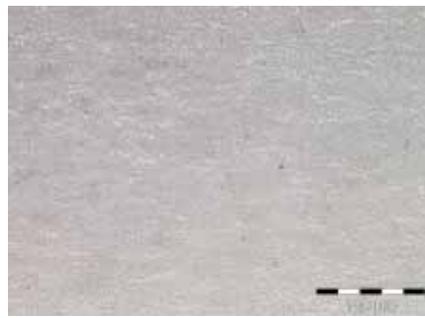
Abb. 4: Lichtbogenspritzschicht aus FeCrSiNi und Mn

Für das Detonationsspritzen wird eine kleine Menge Karbidpulver mit Brenngas und Sauerstoff in einem geschlossenen Rohr gezündet. Die Zündexplosion stößt das Pulver mit mehrfacher Schallgeschwindigkeit aus und schießt es mit extrem hoher kinetischer Energie auf das Werkstück. Diese Schichten haben eine ausgezeichnete Dichte, inneren Zusammenhalt und Haftung am Grundwerkstoff. Auf Grund der Verfahrensbedingungen ist diese Methode begrenzt auf Beschichtungen mit Karbiden, hauptsächlich für verschleißfeste Schichten in der Luft- und Raumfahrt.

Bei dem HVOF-Spritzverfahren (High Velocity Oxy-Fuel Combustion) entsteht in einer Verbrennungskammer durch Sauerstoff und Brenngas eine Flamme mit Überschallgeschwindigkeit die mit dem Ausstoß durch die Verengung der Düse noch beschleunigt

Schwierigkeiten bei der Präparation von thermischen Spritzschichten

Abb. 5:
HVOF Schicht aus
WC/12Co



wird. Das Beschichtungspulver wird in diesen Düsenstrom eingeleitet und die extrem hohe Geschwindigkeit der Teilchen beim Aufprall auf das Werkstück ergeben sehr dichte und feste Schichten (Abb. 5). Die hohe kinetische Energie der Teilchen beim Aufprall auf das Werkstück gewährleistet eine gute mechanische Haftung selbst wenn nicht alle Teilchen ganz geschmolzen sind. Deshalb ist dieses Verfahren besonders gut zum Spritzen von Schichten mit Karbiden geeignet. Typische Anwendungen sind Wolframkarbid-Schichten für Turbinenteile und Ventile von Flugzeugmotoren und oxidationsbeständige Nickel-Chrom-Schichten.

Plasmaspritzen ist die meistverbreitete Methode zum Spritzen von thermischen Schichten, und kann entweder unter Luft (APS, Air Plasma Spraying) oder unter Schutzgas durchgeführt werden. Dabei wird zwischen einer Kathode und der konzentrischen Düse der Spritzpistole ein elektrischer Lichtbogen erzeugt. Ein schnell fließendes Gasgemisch entlang der Elektrode wird durch den Lichtbogen ionisiert und bildet ein Plasma. Dieses Plasma wird durch die Düse ausgestoßen und an diesem Punkt wird dann das Pulver in den Plasmastrahl eingeleitet. Durch die Hitze und Geschwindigkeit des Plasmastrahls geschmolzen und beschleunigt treffen die Pulverteilchen auf das Werkstück und bilden eine Schicht. Im Vergleich zu flammgespritzten Schichten ist das Gefüge von Plasmaspritzschichten dichter (vergleiche Abb. 3 und 6).

Das Plasmaspritzen hat den Vorteil, dass Materialien mit hohem Schmelzpunkt wie



Verbrennungskammer mit APS Wäremedämmschicht, Haftschicht aus NiCrAlY, Deckschicht aus $ZrO_2 + Y_2O_3$

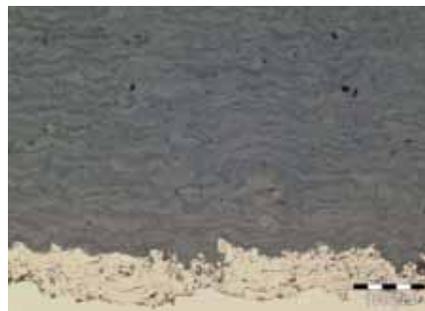
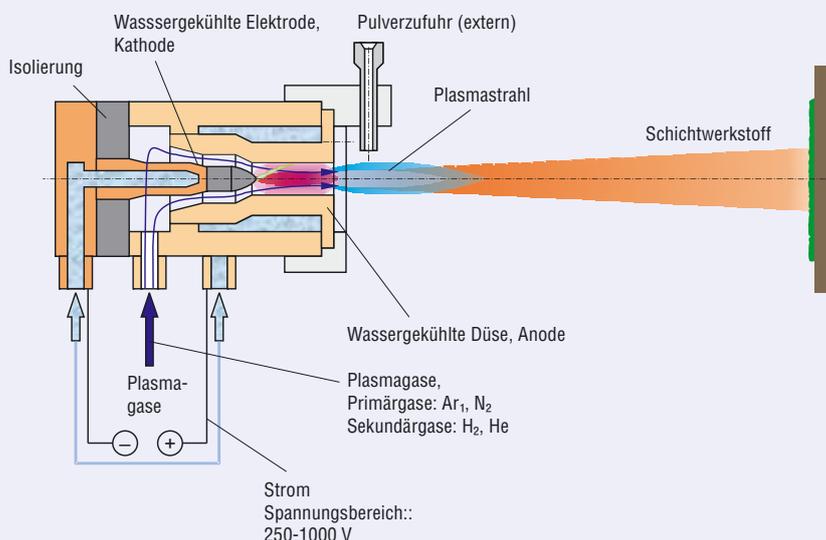


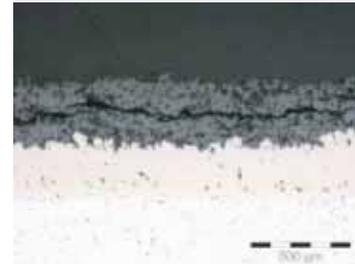
Abb. 6: APS Schicht mit Haftschicht aus NiCr und Deckschicht aus Titanoxid

Keramiken oder Wolfram und Molybdän zum Spritzen verwendet werden können. Es ist ein sehr vielseitig verwendbares Verfahren für Qualitätsspritzschichten und wird für eine Reihe von Anwendungen eingesetzt, einschließlich Schichten für Reibungsflächen, thermischen Isolierschichten, Turbinenbrennkammern, Schaufeln und Lamellen, biologisch verträglichen Hydroxylapatit-Schichten für Implantate und Keramikbeschichtungen auf Druckwalzen.



Schematische Zeichnung einer Plasmaspritzpistole

Trennen: Das Festspannen von Werkstücken mit einer Spritzschicht zur Probennahme kann bei spröden Schichten zu Rissen führen, oder sehr weiche Schichten quetschen. Zu grobe Trennscheiben können mechanische Schäden in der Schicht erzeugen.



Durch Trennen verursachte Risse in der Spritzschicht

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). Relief zwischen Schicht und Grundwerkstoff erzeugt bei kleineren Vergrößerungen einen Schatten der zu falschen Interpretationen führen kann (Abb. 8).

Es ist nach wie vor umstritten wie die wahre Porosität einer metallografisch präparierten

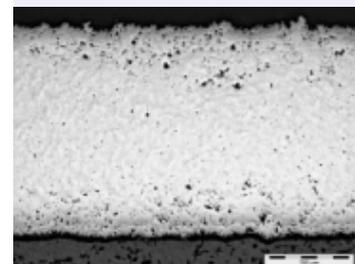


Abb. 7: Ungenügende Politur täuscht weniger Porosität in der Mitte der Schicht vor

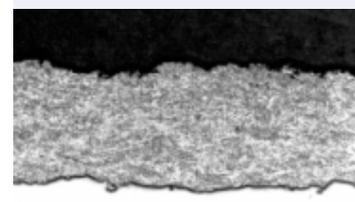
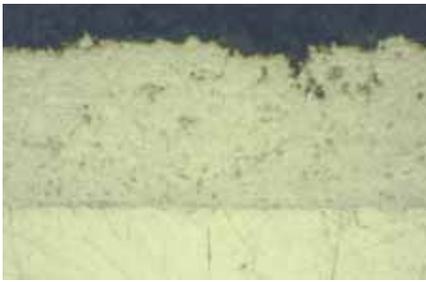
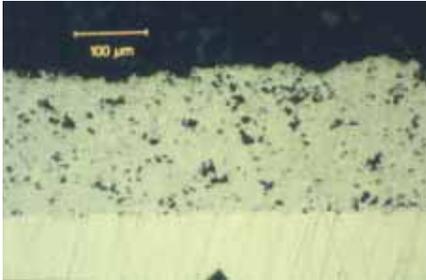


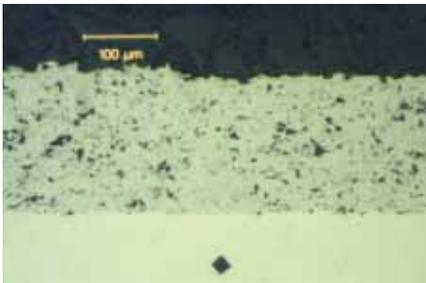
Abb. 8: WC/Co Spritzschicht mit Relief zeigt dunkle Linie am Übergang Einbettmittel/Schicht. Kann zu Fehlinterpretation führen.



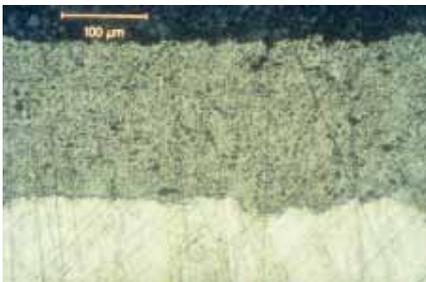
a) Metallspritzschicht nach dem Feinschleifen



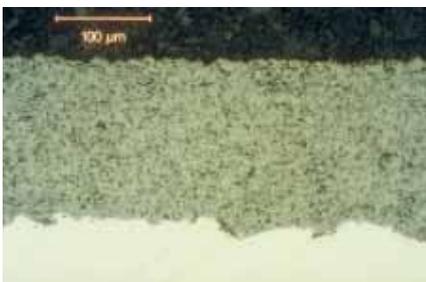
b) Gleiche Schicht wie in a) poliert mit 3 µm



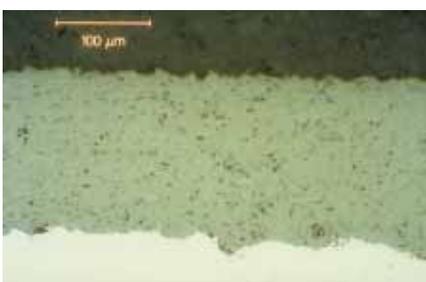
c) Gleiche Schicht wie in b) nach der Endpolitur



d) Keramische Spritzschicht nach dem Feinschleifen

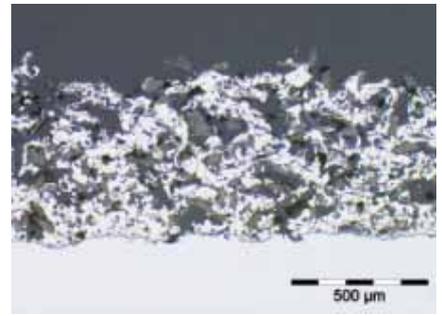


e) Gleiche Schicht wie in d) poliert mit 3 µm



f) Gleiche Schicht wie e) nach der Endpolitur

Nickel Pulverflammspritzschicht mit 15% Graphit



Spritzschicht zu beurteilen ist, da unsachgemäßes Schleifen und Polieren Artefakte erzeugt die nicht Teil des Gefüges sind. Zum Beispiel wird beim Schleifen von Metall- oder Metall/Keramik-Schichten das weichere Metall in die Poren gedrückt. Wenn Metallreste durch ungenügendes Polieren in den Poren verbleiben ergeben sie den Eindruck einer geringen Porosität (Abb. a-c). Im Gegensatz dazu sind keramische Schichten spröde und grobes Schleifen kann zu Ausbrüchen führen die bei ungenügendem Polieren eine zu hohe Porosität vortäuschen (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. Daraus kann man ungefähr abschätzen wie sich das Material während des mechanischen Abtrags verhält. Zusätzlich ergeben die verschiedenen Spritzverfahren unterschiedlich dichte Schichten und Gefüge, weshalb es hilfreich ist wenn das Spritzverfahren bekannt ist damit die zu erwartende Porosität und der Oxidgehalt besser geschätzt werden können.

Trennen: Die Auswahl der Trennscheibe richtet sich nach dem Grundmaterial welches normalerweise ein Metall ist. Generell ist eine Trennscheibe mit weicher Bindung einer fester gebunden vorzuziehen, da harte Trennscheiben die spröden Teile einer Schicht herausreißen. Das ist besonders beim Trennen von Teilen mit keramischer Beschichtung zu beachten. Da eine Keramikschrift nur einen geringen Teil der gesamten Probenfläche bildet ist das Trennen mit Diamantscheiben nicht unbedingt notwendig. Eine weiche Aluminiumoxid-Trennscheibe ist zum Trennen dieser Teile meistens geeignet. Falls jedoch die Keramikschrift sehr dick und dicht ist kann alternativ eine kunstharzgebundene Diamantscheibe verwendet werden. Beim Einspannen in die Trennmaschine können sehr spröde oder weiche Schichten zum Schutz mit Styropor abgedeckt werden.

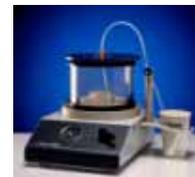


Beim Trennen von beschichteten Teilen, z.B. Schadensfällen, ist darauf zu achten, dass das Werkstück so eingespannt wird, dass die Trennscheibe von vorne in die Spritzschicht in Richtung Grundmaterial fährt. Andernfalls kann die Schicht, da sie nur mechanisch am Grundmaterial haftet, beim Austritt der Trennscheibe vom Grundmaterial weggezogen und abgelöst werden. Dies trifft für Testcoupons nicht zu da sie beim Trennen flach aufliegen.

Besonders brüchige und dünne Schichten können zunächst mit Epoxydharz vakuumimprägniert werden. Nach dem Aushärten können sie dann zur Probenentnahme getrennt und zum Schleifen und Polieren wieder eingebettet werden. Dadurch wird ein optimaler Schutz der Schichten während des Trennens gewährleistet.

Sind nach der Endpolitur Risse in einer präparierten Schicht zu sehen, können diese sowohl durch das Trennen verursacht worden sein oder auch ursprünglich vorliegen. Es wird empfohlen die Probe nochmals zu schleifen und zu polieren. Danach verschwinden normalerweise die durch das Trennen verursachten Risse, wogegen ursprüngliche Risse wieder zu sehen sind oder an anderen Stellen der Schicht auftauchen.

Einbetten: Kalteinbetten mit Epoxydharz (EpoFix, CaldoFix) wird empfohlen, da Spritzschichten durch Warmeinbetten sehr leicht zerstört werden (Abb. 9 und 10). Generell ist das Vakuumimprägnieren mit Kalteinbettmittel für alle Schichten zu empfehlen. Die Imprägnierungstiefe richtet sich



jedoch nach dem Grad der offenen Porosität und den Verbindungen zwischen den Poren. Sehr poröse Schichten lassen sich leichter imprägnieren als dichte, und Schichten mit

weniger als 10% Porosität lassen sich nicht gut imprägnieren. 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. Mit einem Blaufilter im Mikroskop erscheinen die durch die Imprägnierung mit Einbettmittel ausgefüllten Poren gelb (Abb.11 und 12).

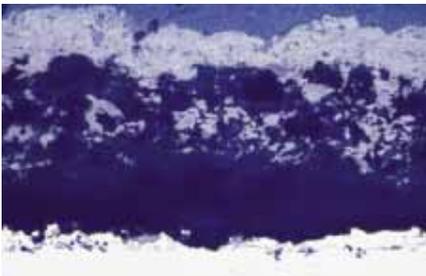


Abb. 9: Durch Warmeinbetten beschädigte keramische Spritzschicht 200x



Abb. 10: Gleiche Schicht wie in Abb. 9, kalt eingebettet 200x

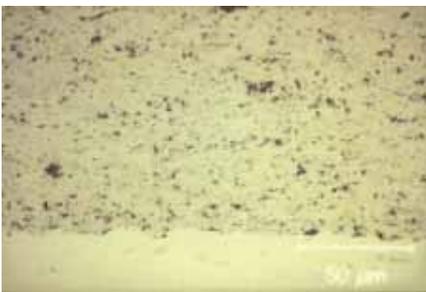


Abb. 11: WC/Co Plasmaspritzschicht im Hellfeld

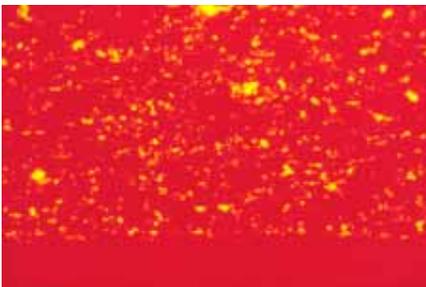


Abb. 12: Gleiche Schicht wie in Abb. 11 mit Blaufilter, Poren gefüllt mit Einbettmittel+EpoDye scheinen gelb auf.

Leider ist diese Methode bei Keramikschichten nicht immer anzuwenden, da Keramiken durchscheinend sind und dadurch die ganze Schicht gelb fluoreszierend erscheint.

Schleifen und Polieren: In der Regel sollte Planschleifen mit einem möglichst feinen Siliziumkarbidpapier beginnen, um nicht durch Ausbrüche von spröden Teilchen eine künstliche Porosität zu erzeugen. Ausnahmen können sehr harte und dicke Keramikschichten sein, da ein Schleifen mit Diamant (z.B. MD-Piano 220) hier effizienter ist. Auch bei hohem Probendurchsatz oder großen Teilen die in ihrer Gesamtheit begutachtet werden müssen, ist das Planschleifen mit einem Stein schneller als Schleifen mit Papier. Es ist auf

jeden Fall zu beachten, dass bei diesem ersten Präparationsschritt mögliche Trennrisse entfernt werden müssen, aber gleichzeitig keine neuen Schäden durch zu grobes Schleifen verursacht werden.

Um Planheit und eine gute Abtragsrate zu gewährleisten wird das Feinschleifen mit Diamant auf Feinschleifscheiben durchgeführt.



Für keramische Spritzschichten wird die härtere Feinschleifscheibe MD-Allegro empfohlen und für Metallschichten eine MD-Largo. Eine gute Diamantpolitur auf einem Seidentuch (MD-Dur oder MD-Dac) stellt sicher, dass kein Relief entsteht und verschmiertes Metall aus den Poren entfernt wird.

Metallische Spritzschichten können entweder mit 1 µm Diamant oder Siliziumoxid (OP-U) auf einem weichen Tuch feingepoliert werden. Es wird nicht empfohlen OP-S Suspension für metallische Spritzschichten zu verwenden da sie ein zu starkes Relief verursacht. Dagegen ist OP-S Suspension für keramische Spritzschichten als Endpoliermittel geeignet, da sie einen guten Kontrast des Gefüges bewirkt. Bei der Erarbeitung von Präparationsmethoden sollten sowohl das Schleifen mit Siliziumkarbidpapier als auch Diamant ausprobiert werden um die beste Planschleifmethode zu ermitteln. Das Gleiche gilt für die Endpolitur bei der manchmal 1 µm Diamant der Siliziumoxidsuspension vorzuziehen ist.

Generell wird empfohlen, soweit möglich immer eine Standardpräparationsmethode für alle Spritzschichten zu verwenden. Mit automatischen Geräten können die Präparationsparameter kontrolliert werden, wodurch gleichbleibend gute Ergebnisse gewährleistet sind. Bei konstanten Präparationsbedingungen kann man bei plötzlich auftretenden Unterschieden im Gefüge der Schicht in den meisten Fällen davon ausgehen, dass diese durch einen veränderten Spritzprozess verursacht wurden und nicht durch die Präparation.

Die angegebene Präparationsmethode hat sich für die meisten herkömmlichen Spritzschichten bewährt. Die Angaben sind für 6 eingebettete Proben, 30 mm Durchmesser, in einen Halter eingespannt. Die DiaPro Suspen-

Standardpräparationsmethode für thermische Spritzschichten

Schleifen

Stufe	PG	FG
Stufe		
Unterlage	SiC-Papier 220#	MD-Largo
Suspension		DiaPro Allegro/Largo*
Lubrikant	Wasser	
UpM	300	150
Kraft [N]	180	180
Zeit	Bis plan	5 Min.

Polieren

Stufe	DP 1	DP 2**
Stufe		
Unterlage	MD-Dac	MD-Nap
Suspension	DiaPro Dac*	DiaPro Nap B*
UpM	150	150
Kraft [N]	180	120
Zeit	5 Min.	1 Min.

Gilt für 6 eingebettete Proben, 30 mm Durchm., in einen Pobenhalter eingespannt.

Anmerkung:

*Als Alternative zu DiaPro kann polykristalline Diamantsuspension P, 9 µm, 3 µm und 1 µm zusammen mit blauem Schmiermittel verwendet werden.

**Alternativ kann diese Polierstufe durch Polieren mit Siliziumoxid ersetzt werden (mit OP-U für Metallschichten, mit OP-S für Keramikschichten).

sion kann mit polykristalliner Diamantsuspension P, 9 µm, 3 µm und 1 µm zusammen mit blauem Schmiermittel ersetzt werden.

Ätzen: Generell können Ätzmittel die für einen bestimmten Werkstoff empfohlen werden auch für Spritzschichten aus diesem Werkstoff verwendet werden. Dabei kann man davon ausgehen, dass die Ätzung umso gleichmäßiger angreift, je ähnlicher Substrat und Schicht sind.

Schichten die unter Schutzgas gespritzt wurden haben nur wenig oder gar keine Oxide wodurch das Gefüge schwer zu erkennen ist. Diese Schichten müssen durch Ätzen kontrastiert werden.



Acetabulare Gelenkpfannenkapitel,
thermisch gespritzt

Vakuumspritzschichten auf Nickel- und Kobalt-Basislegierungen können mit den gleichen Lösungen geätzt werden die für das Substrat empfohlen werden, oder auch elektrolytisch mit 10%iger Oxalsäure. Das Gefüge von molybdänhaltigen Schichten kann mit dem folgenden Ätzmittel besser sichtbar gemacht werden:

50 ml Wasser
50 ml Wasserstoffsuperoxyd (3%)
50 ml Ammoniakwasser

Vorsicht: Beim Umgang mit Chemikalien müssen immer die empfohlenen Sicherheitsbestimmungen eingehalten werden.

Zusammenfassung

Thermische Spritzschichten werden verwendet um die Oberflächenqualität oder -funktion eines Werkstücks zu verbessern. Die unterschiedlichen Spritzverfahren ergeben verschiedene Eigenschaften der Schichten die hauptsächlich zum Schutz gegen Korrosion, Hitze und Verschleiß verwendet werden.

Die metallografische Untersuchung von Spritzschichten schließt die Beurteilung der Porosität, der Oxide, von ungeschmolzenen Teilchen und die Haftung am Grundwerkstoff ein. Da falsches Schleifen und Polieren die Beurteilung der Porosität beeinträchtigt ist es besonders wichtig eine systematische und reproduzierbare Präparation durchzuführen. Um Risse durch die Probenahme zu verhindern wird Präzisionstrennen mit einer für den Grundwerkstoff geeigneten Scheibe empfohlen. Für das anschließende Einbetten eignet sich am besten langsam aushärtendes Epoxydharz. Planschleifen verursacht die größten mechanischen Schäden in den Spritzschichten und sollte daher mit einer möglichst feinen Körnung beginnen. Um Relief zu vermeiden wird Feinschleifen mit Diamant auf einer Feinschleifscheibe empfohlen und danach sorgfältiges Diamantpolieren auf einem Seidentuch.

Es wird besonders darauf hingewiesen, dass sich das Schleifen bei Metall- und Keramikspritzschichten unterschiedlich auswirkt, und dass in beiden Fällen das Diamantpolieren ausreichend lange durchgeführt werden muss um die richtige Porosität zu zeigen. Die empfohlene Präparationsmethode beruht auf Erfahrungswerten und ergibt für die



REM-Aufnahme der thermisch gespritzten acetabularen Gelenkpfannenkapitel

Mehrheit von thermischen Spritzschichten ausgezeichnete Resultate. Es sollte jedoch beachtet werden, dass für spezielle Schichten die Polierzeiten vielleicht angepasst werden müssen.

Application Notes

Metallografische Präparation von thermischen Spritzschichten

Elisabeth Weidmann, Anne Guesnier, Struers A/S, Copenhagen, Denmark
Brigitte Duclos, Struers S.A.S., Champigny, France

Danksagung

Wir bedanken uns bei der Fa. Sulzer Metco AG, Wohlen, Schweiz, für die Zusammenarbeit und die Erlaubnis zur Verwendung von Informationsmaterial. Unser besonderer Dank gilt J. Hochstrasser und P. Ambühl die ihr Fachwissen so großzügig mit uns geteilt haben und uns folgendes Bildmaterial zur Verfügung gestellt haben: Foto des Spritzvorgangs und großes Gefügebild auf Seite 1; Zeichnung: Schichtbildung, Foto Synchronringe und Gefügebilder auf Seite 2; Zeichnung, Foto Verbrennungskammer und alle Gefügebildaufnahmen auf Seite 3 und Gefügebildaufnahme Nickel Pulverflammspritzschicht auf Seite 4. Wir danken Richard Compton, Zimmer, USA, für die Aufnahme der Gelenkpfannenkapitel und die REM Aufnahme auf Seite 6.

Bibliography

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, May 25th to 27th, 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 A/S
Pederstrupvej 84
DK-2750 Ballerup, Denmark
Phone +45 44 600 800
Fax +45 44 600 801
struers@struers.dk

USA and CANADA
Struers Inc.
24766 Detroit Road
Westlake, OH 44145-1598
Phone +1 440 871 0071
Fax +1 440 871 8188
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

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

UNITED KINGDOM
Struers Ltd.
Erskine Ferry Road,
Old Kilpatrick
Glasgow, G66 5EU
Phone +44 1389 877 222
Fax +44 1389 877 600
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 (Shanghai) Ltd.
Room 2705, Nanzheng Bldg.
580 Nanjing Road (W)
CN - Shanghai 200041
Phone +86 (21) 5228 8811
Fax +86 (21) 5228 8821
struers.cn@struers.dk

SINGAPORE
Struers A/S
10 Eunos Road 8,
#12-06 North Lobby
Singapore Post Centre
Singapore 408600
Phone +65 6299 2268
Fax +65 6299 2661
struers.sg@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 Birrnsdorf
Telefon +41 44 777 63 07
Telefax +41 44 777 63 09
rudolf.weber@struers.de

THE NETHERLANDS
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

CZECH REPUBLIC
Struers GmbH
Ocelářská 799
CZ-190 00 Praha 9
Tel. +420 2 84 818 227
Fax +420 2 660 32 278
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 Budapest
Phone +36 (23) 428-742
Fax +36 (23) 428-741
zoltan.kiss@struers.de