

Wolfram-Schmelzcarbid im Verschleißschutz: Besonderheiten bei der schweißtechnischen Verarbeitung und Qualitätssicherung

Dr. Frank Schreiber, DURUM Verschleiss-Schutz GmbH, Krefeld

1. Einleitung

Zum Schutz von Funktionsoberflächen gegen Verschleiß an u.a. Maschinen und Bauteilkomponenten des Anlagenbaus, im Bergbau oder bei Straßenbau- und Erdbewegungsmaschinen kommt dem Auftragschweißen von Schutzschichten in zunehmendem Maße besondere Bedeutung zu. Aufgrund der Forderung nach Erhöhung der Produktivität und der Durchsatzmengen sowie des damit verbundenen Einsatzes von leistungstärkeren Maschinen werden an die derzeit eingesetzten Werkstoffe ständig wachsende Anforderungen gestellt. Hinzu kommt, daß die auftretenden Verschleißmechanismen der einzelnen Anwendungsfälle häufig aus Kombinationen wie z.B. Abrasion, Erosion oder Korrosion bestehen, wodurch abgesicherte Kenntnisse über die Auswahl des richtigen Verschleißschutzwerkstoffs als auch über die schweißtechnische Verarbeitung besonders wichtig sind, da diese die Qualität der erzeugten Schutzschicht maßgeblich mitbestimmen. Je nach Beanspruchung und Verfügbarkeit kommen zur Herstellung von Verschleißschutzschichten gemäß EN DIN 8555 mehrphasige Beschichtungswerkstoffe zum Einsatz, wobei vor allem Hartlegierungen auf Eisen-, Nickel- und Kobaltbasis zu nennen sind. Bei hochabrasiver Beanspruchung stoßen diese konventionellen Legierungen aber an ihre Leistungsgrenzen. Hier stellt der Einsatz sogenannter Pseudo-Legierung eine wirkungsvolle Verschleißschutzmaßnahme dar. Derartige Legierungen bestehen aus mechanischen Mischungen von Fe-, Ni- oder Co-Hartlegierungenkomponenten und Hartstoffen. Nach der schweißtechnischen Verarbeitung entstehen hiermit Werkstoffgefüge mit einer relativ zähen Matrix, in der Hartstoffpartikel metallurgisch fest eingebunden sind. Unter der Vielzahl von carbidischen Hartstoffen haben sich seit Jahren zur Verstärkung konventioneller Hartlegierungen Partikel des Typs Wolfram-Schmelzcarbid WC-W₆C (WSC) industriell durchgesetzt und bewährt. Zu den wesentlichen Vorteilen sind vor allem die hohe Härte und ihre Beständigkeit gegenüber extremen abrasiven Beanspruchungen zu nennen.

Verarbeitet werden diese Schweißzusätze manuell und mechanisiert mit nahezu allen Schweißverfahren: Autogen-Auftragschweißen, Elektro-Handschweißen,

Metall-Schutzgas-(MSG)- und Plasma-Auftragschweißen [1-3]. WSC-Pseudolegierungen unterliegen bei der schweißtechnischen Verarbeitung komplizierten metallurgischen Vorgängen, wodurch die erreichbare Verschleißbeständigkeit und damit die Qualität dieser Auftragschweißungen extrem beeinflusst werden können. In Korrelation mit dem durch die unterschiedlichen Herstellverfahren bedingten Ausgangszustand und der jeweilig eingesetzten Korngröße des Wolfram-Schmelzcarbids entstehen unterschiedliche physikalische Eigenschaften, die bei der schweißtechnischen Verarbeitung und Einsatz derartiger hartstoffverstärkter Verschleißschutzschichten berücksichtigt werden müssen. Im Rahmen des Beitrages soll auf die Zusammenhänge zwischen den Wechselwirkungen verschiedener Schweißprozeße und Verschleißigenschaften bzw. Gefügestruktur unter anwendungsorientierten Gesichtspunkten eingegangen werden. Es wird berichtet über die Eigenschaften von den verschiedenen Wolfram-Schmelzcarbidentarten, wobei insbesondere gebrochene und sphärische Hartstoffpartikel zu nennen sind. Mit dem Beitrag soll der industriellen Praxis eine Hilfestellung bei der Herstellung von WSC-verstärkten Auftragschweißungen gegeben werden. Ausgewählte Anwendungsbeispiele aus der industriellen Praxis und deren Eigenschaften sollen vorgestellt und diskutiert werden.

2. Wolfram-Schmelzcarbid – Herstellung, Metallurgie und Eigenschaften

Bei den konventionellen Hartlegierungen auf Eisen-, Nickel- und Kobaltbasis bestimmen arteigene Hartphasen wie Carbide, Nitride, Boride und/oder Silizide in einer vergleichsweise zähen Matrix durch ihre Größe, Verteilung und Ausbildung primär den Verschleißwiderstand gegenüber abrasiven, adhäsiven und/oder erosiven Beanspruchungen. Da der Anteil dieser primär ausgeschiedenen arteigenen Hartphasen metallurgisch begrenzt ist, stoßen diese Legierungen bei erhöhten Anforderungen an ihre Leistungsgrenze. Zur Erhöhung der arteigenen Hartphasenanteile kann durch Zugabe von artfremden Hartstoffen das Verschleißverhalten positiv beeinflusst werden. In diesem Zusammenhang haben sich in den letzten Jahren Carbide des Systems W-C bei

hohem Verschleiß bewährt und gewinnen zunehmend an Bedeutung [1-5].

Unter den unterschiedlichen Typen des Wolfram-Carbids ist insbesondere das Wolfram-Schmelzcarbid technisch interessant. Im Gegensatz zum einphasigem Wolfram-Monocarbide weisen Wolfram-Schmelzcarbide einen zweiphasigen Aufbau bestehend aus dem eutektischen Gemenge WC und W_2C auf, daß nur in einem Kohlenstoffbereich zwischen 3,9 bis 4,2 Gew.-% entsteht. Nur in diesem engen C-Bereich weist das Wolfram-Schmelzcarbid Phasenanteile von 73-80 Gew.-% WC und 20-27 Gew.-% gegenüber W_2C duktilere WC auf, wodurch die positiven Eigenschaften beider Carbide genutzt und eine Stützwirkung erzielt wird. Verschiebung des Kohlenstoffgehaltes zu höheren WC oder W_2C Anteilen, führen zu einer Abnahme der Verschleißbeständigkeit.

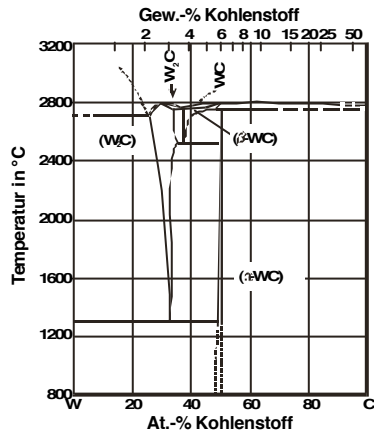


Abb. 1: System Wolfram-Kohlenstoff [2]

Die Betrachtung des Systems W-C zeigt, daß das bei 2795°C schmelzende W_2C mit Wolfram bei 2710°C und 25At.-% ein Eutektikum bildet [2, 6-7, 9], [Abb.1](#). Der bei hohen Temperaturen breite Homogenitätsbereich von W_2C reicht bei der eutektischen Temperatur von 24 bis 33,4 At.-% C. Mit sinkender Temperatur wird dieser schmaler und verschwindet bei 1300°C, wo dann die peritektische Zersetzung von W_2C zu Wolfram und WC erfolgt. WC weist einen konstanten Homogenitätsbereich auf und ist bis 2750°C beständig. Im Hinblick auf eine schweißtechnische Verarbeitung von WSC ist zu beachten, daß bei der Herstellung dieser Carbide die einzelnen Phasen, aufgrund der hohen Abkühlgeschwindigkeit, eingefroren sind und sich damit nicht in

einem thermodynamischen Gleichgewicht befinden. Dies bedeutet, daß bei einer Erwärmung der Partikel auf mehr als 1200°C das Wolfram-Schmelzcarbid sich zersetzt. Das durch die Herstellung bedingte Mikrogefüge entscheidet über die Härte und das Auflösungsverhalten bei der schweißtechnischen Verarbeitung. Bei Einhaltung des richtigen Kohlenstoffgehaltes und Vermeidung von metallischen Verunreinigungen, wie z.B. Eisen, sollte durch eine schnelle und möglichst gleiche Abkühlung des WSC-Rohstoffs eine feinfiedrige Mikrostruktur erzielt werden [4, 6-7], [Abb.2](#). Bei einer derartigen Mikrostruktur können Härtewerte >2000HV ermittelt werden, wobei Prüflasten und Zeiten sowie besonders die Präparation der Proben beachtet werden müssen. Neben der hohen Härte weist das WSC-Partikel eine gewisse Zähigkeit auf. Bei nicht sachgemäßer Fertigung entstehen grobe WC- und W_2C -Strukturen, die dann, Extremfall siehe [Abb.3](#), zu einem spröden WSC-Hartstoff führen. Eine schweißtechnische Verarbeitung und damit erneuten Wärmebeeinflussung kann dann zu einer leichteren Carbidauflösung führen. Dynamische Beanspruchungen z.B. im Betrieb des gepanzerten Bauteils können zu unkontrollierten Reißen und Ausbrechen der Schicht führen.

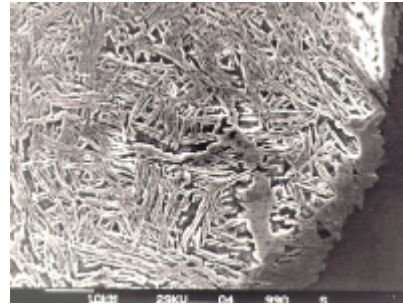


Abb. 2: REM-Aufnahme eines Wolfram-Schmelzcarbids: feinfiedrige Mikrostruktur

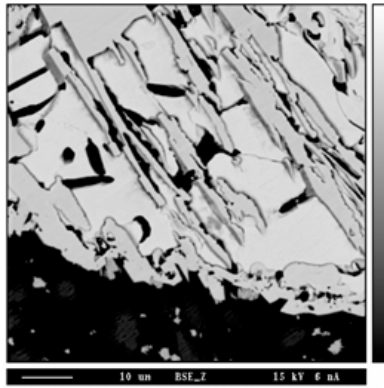


Abb. 3: REM-Aufnahme eines Wolfram-Schmelzcarbids: grobe Struktur

Grundsätzlich wird zwischen blockigen und kugeligen WSC-Hartstoffen unterschieden. Die Herstellung des gebrochenen WSC, [Abb. 4a](#), erfolgt durch Erschmelzen von Rohlingen, die anschließend gebrochen und auf die jeweilige Körnung fraktioniert werden. Kugeliges WSC, [Abb. 4b](#), wird durch Abschmelzen drehender WSC-Stangen mittels eines Lichtbogens hergestellt. Bei der letzteren Herstellungsart entscheidet die Drehgeschwindigkeit und das verwendete Ausgangsmaterial über die Form und Homogenität und damit über die Qualität der WSC-Hartstoffe. Die Qualität der Fertigung zeigt sich direkt in den Härtewerten und der Homogenität der Partikel sowie indirekt durch den späteren Einsatz und Standzeit des beschichteten Bauteils. Wolfram-Schmelzcarbidkugeln weisen bei vorausgesetzter ordnungsgemäßer Herstellung und richtiger Prüfung sowie feiner Mikrostruktur Härtewerte $>3000\text{HV}$. Neben der höheren Härte weist kugeliges Verschleißverhalten sowie Gleitverhalten auf. Ebenso ist bei der schweißtechnischen Verarbeitung die Zersetzung aufgrund der kugeligen Oberfläche ohne herausstehenden Spitzen oder Kanten geringer.

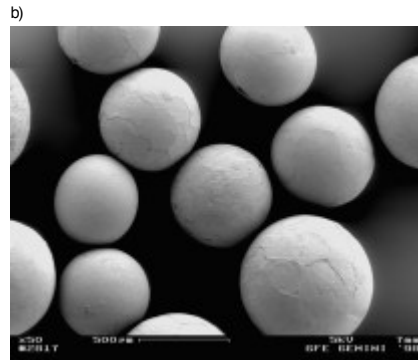
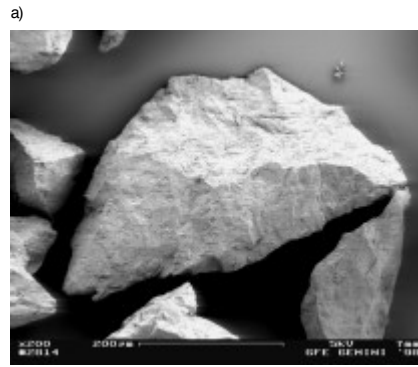


Abb. 4: Wolfram-Schmelzcarbid:

- a) geschmolzen und gebrochen
- b) kugelig geschmolzen

3. Schweißtechnische Verarbeitung von Wolfram-Schmelzcarbid

3.1 Allgemeine Randbedingungen

Die Verschleißfestigkeit einer Auftragschweißung wird im wesentlichen durch Art, Menge, Kornform und Korngrößenverteilung der in der Grundmasse eingelagerten harten Kristalle und durch die Zusammensetzung der verbleibenden Matrix bestimmt. Zusätzlich haben mechanische Vorbehandlungen oder gleichzeitig ablaufende chemische Reaktionen mit den umgebenden Medien, Verformungen und Diffusionsvorgängen einen großen Einfluß auf das Verschleißverhalten des Bauteils. Die hohe Schutzwirkung der Pseudolegierungen gegenüber Verschleiß beruht darauf, daß unter Einwirkung eines abrasiv wirkenden Gegenkörpers die zähe Matrix langsam abgetragen wird, bis die Spitzen der eingelagerten Hartstoffpartikel aus der Schicht herausragen, wodurch dem Fortschreiten des Verschleißes entgegengewirkt wird.

Hieraus ergeben sich die Anforderungen an den Aufbau dieser Panzerungen und damit verbunden an das einzusetzende Schweißverfahren. Grundvoraussetzung für eine gute Beständigkeit ist eine homogene Verteilung der Hartstoffe und eine gute Anbindung der Schicht an den Grundwerkstoff. Des weiteren muß eine gute metallurgische Bindung durch eine Diffusionszone zwischen Hartstoffen und Matrixlegierung gewährleistet sein, damit die Hartstoffpartikel nicht aus dem Werkstoffverbund herausgerissen werden und hierdurch das Bauteil zusätzlich schaden. Bei einer zu hohen Zersetzung der Hartstoffe nimmt allerdings die Zähigkeit des Matrix-Werkstoffs ab, da die Elemente Wolfram und Kohlenstoff die Matrix aufhärten. Diese Wechselwirkungen werden beeinflusst einerseits durch die Eigenschaften der Matrixlegierung, wie chem. Zusammensetzung, Schmelzpunkt und Zähigkeit, und andererseits durch weitere äußere Faktoren wie eingesetztes Schweißverfahren mit den jeweiligen spezifischen Verfahrenskennwerten. In Abhängigkeit der Partikelgröße bestimmen dann die genannten Faktoren im wesentlichen den Zersetzungsvorgang der WSC-Hartstoffe im Schweißbad [2, 6-10]. In vielen Anwendungen sind oftmals die Zähigkeitsanforderungen an die Schicht gering, da hier die Kräfte durch das Trägermaterial aufgenommen werden [1-2, 4]. Allerdings steigen die Qualitätsanforderungen an die Schicht, wenn dynamische Beanspruchungen oder Schlagbeanspruchungen auf die Schicht wirken.

3.2 Schweißzusätze mit Wolfram-Schmelzcarbid

Zur Herstellung WSC-verstärkter Schweißpanzerungen stehen dem Anwender Mischpulver, gefalzte Röhrenstabelektroden (Durchmesser bis 8mm) und Röhren-Drahtelektroden (Durchmesser bis 3,2mm) zur Verfügung. Als letzteres sind Stäbe und Drähte zu nennen, bei denen das Gemenge aus Matrixlegierung, WSC-Körnern und Binder auf einen metallischen Kerndraht extrudiert wird (Durchmesser bis 10mm). Die Hartstoffgröße und die Matrixlegierung sind entsprechend den jeweilig vorliegenden Verschleißbedingungen auszuwählen. Allerdings ist die verfügbare Hartstoffpartikelgröße und -menge sowie Durchmesser der genannten Schweißzusatzformen abhängig vom einzusetzenden Schweißverfahren. In [Tab. 1](#) sind typische Schweißzusatzformen mit ihren spezifischen Kenndaten und Einsatzmöglichkeiten gegenübergestellt.

Schweiß-Verfahren	Schweiß-zusatzform	Matrix-Legierung	Hartstoff-größe
Autogen	Stäbe, Mischpulver	Fe- + Ni-Basis	0,05-3mm
Elektrode	Röhren-Elektrode bis 8mm	Fe- + Ni-Basis	0,05-2mm
Metall-Schutzgas	Röhren-elektrode bis 3,2mm	Fe- + Ni-Basis	0,05-1mm
Plasma	Mischpulver, Zweipulver	Fe- + Ni-Basis	0,05 bis 0,3mm

Tab. 1: Typische WSC-haltige Schweißzusätze

Grundsätzlich bedeutend bei der Auswahl der einzusetzenden Hartstoffgröße ist die exakte Prüfung der jeweilig vorliegenden Verschleißmechanismen. Maßgebend hierbei ist das beanspruchende lose Abrasivkorn in der Praxis vor Ort. Grundsätzlich sollte die Möglichkeit verhindert werden, daß die Carbidzwischenräume in der Schicht ausgewaschen werden, so daß das Carbid herausfallen kann. Feine Carbidfraktionen haben sich bewährt bei allgemeinem Verschleiß. Bei Schneid- und Bohrwerkzeugen mit hohem mineralischem Verschleiß, z.B. in der Erdölindustrie, werden bevorzugt grobe Körnungen in Bereichen >0,7mm eingesetzt. Hierdurch wird der resultierende Selbstschärfteffekt der rauhen Panzerung und die bessere Zerkleinerungsmöglichkeit des Gesteins genutzt. Als Matrixlegierung kommen meist Eisen- oder selbstfließende Nickelmatrix-Legierungen zum Einsatz. Durch Zugabe von Begleitelementen, wie z.B. Chrom zur Erhöhung der Korrosionsbeständigkeit, kann die Schutzschicht entsprechend den jeweils vorliegenden Betriebsbedingungen angepaßt werden. Grundsätzlich ist an dieser Stelle zunächst darauf hinzuweisen, daß Wolfram-Schmelzcarbide in einer Eisenmatrix bei hohen Schweißtemperaturen in Abhängigkeit des ausgewählten Verfahrens sich leichter zersetzen als in einer Nickelmatrix. Dieses ist begründet in dem höheren Schmelzpunkt der Eisenmatrix (höhere thermische Beanspruchung der Carbide) gegenüber den sog. selbstfließenden NiBSi-(Cr)-Legierungen (Schmelzpunkt ~1040°C) und vor allem der leichteren Diffusion des Kohlenstoffs in Fe. Hierdurch bedingt weisen z.B. Lichtbogendrahtschweißungen auf Fe-Basis nur noch wenig an unzersetzten WSC-Hartstoffe auf. Das Wolfram-Schmelzcarbid zersetzt sich in das Monocarbid WC. Zudem wird FeW in der Matrix gebildet. Durch die Anreicherung der Matrix an C und W steigt die Härte auf über 56HRC an. Die Rißanfälligkeit der Schicht steigt. Hinsichtlich den Verschleißigenschaften ist hierbei anzumerken, daß derartige Gefüge mit einer feinen

Verteilung der WC-Hartphasen bei einer guten Beständigkeit gegen Abrasion ein gutes Reibverhalten gegenüber Schichten mit nicht zersetzten WSC-Hartstoffen aufweisen kann.

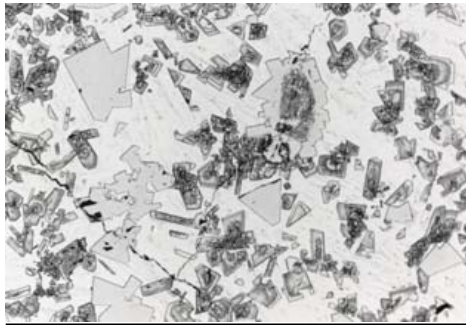


Abb. 5: Mikrogefüge einer WSC-verstärkten Auftragschweißung auf Fe-Basis (Vergrößerung 200:1)

WSC-verstärkte selbstfließende Nickelbasislegierungen weisen gegenüber Eisenbasislegierungen neben den geringeren Schmelzpunkt eine sehr gute Benetzung und damit sehr gute schweißtechnische Verarbeitung auf. Die thermische Beanspruchung der Carbide ist gering, wodurch die Zersetzung der Carbide reduziert wird. Während Eisenbasislegierungen vor allem beim Autogen-Schweißen eingesetzt werden, haben sich WSC-verstärkte Ni-Basislegierungen beim Lichtbogen-Auftragschweißen industriell durchgesetzt.

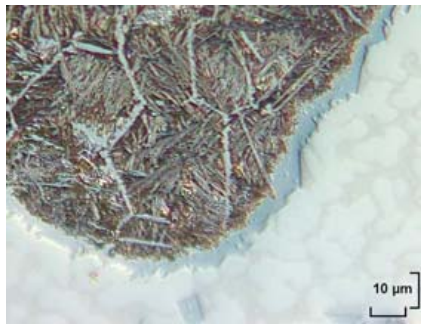


Abb. 6: Mikrogefüge einer WSC-verstärkten Fülldraht-Auftragschweißung auf NiBSi-Basis

In [Abb. 6](#) ist ein ca. $5\mu\text{m}$ breiter Anlösungsraum um das Carbid zu erkennen. In diesem Bereich finden Wechselwirkungen zwischen den Elementen des WSC und der Umgebungsmatrix statt, die aber im Vergleich zu einer Fe-Basis als Matrix deutlich geringer sind. Es entstehen weitere Phasen, wobei vor allem das blockige

(meist drei- oder viereckige) Wolfram-Monocarbide WC zu nennen ist. Die Bedeutung dieser Hartphasen für die Auftragschicht ist geteilt. Einerseits erreichen diese Phasen nicht die Verschleißbeständigkeit des WSC, andererseits werden hierdurch die Zwischenräume der WSC-Partikel verstärkt, wodurch die mit ca. 400HV relativ weiche Matrix vor Auswaschungen geschützt wird [5]. Für bestimmte Anwendungen werden bewußt die WSC-Hartstoffe zersetzt, so daß nur feinverteilte WC-Hartphasen vorliegen.

3.3 Schweißverfahren und Besonderheiten

Je nach Fertigungsbedingungen und Verfügbarkeit haben zur Herstellung hartstoffverstärkter Schweißpanzerungen vor allem das Gasschweißen, das Elektroden-Hand- sowie das MSG-, das Open-Arc- und das PTA-Auftragschweißen technische Bedeutung. Diese Verfahren werden sowohl manuell als auch mechanisiert oder zum Teil vollautomatisiert eingesetzt.

Das Autogene Auftragschweißen mit Pulver und/oder Röhrenstab oder umhüllten Kernstab stellt nach wie vor ein weltweit bedeutendes Verfahren dar. Aufgrund der einfachen Handhabung und des einfachen Aufbaus wird das Verfahren auch unter schwierigen Fertigungsbedingungen weltweit eingesetzt. Es sind hiermit geringste Vermischungen mit dem Grundwerkstoff möglich. Ebenso können hiermit auch sehr grobe WSC-Körnungen bis 3mm verarbeitet werden, wodurch gegenüber anderen Verfahren erhebliche Vorteile bestehen. In der Regel wird mit neutraler Flamme gearbeitet. Die Abschmelzleistung ($<1,5\text{kg/h}$) ist zwar gering, allerdings ist das Verfahren besonders geeignet, örtliche Panzerungen gezielt auf den Beanspruchungsflächen, wie z.B. bei Bohrkronen oder Meißeln, ohne besondere Carbid-Zersetzung aufzubringen. Allerdings wird der Einsatz bei großen Bauteilen aufgrund der hohen Kosten für Vorwärmung immer mehr eingeschränkt und durch MSG-Schweißen verdrängt. Als weitere Anwendungsgebiete für das manuelle Auftragschweißen ist das Ausbessern von kleineren Fehl- oder Reparaturstellen sowie das Nachbeschichten der Fugestellen von auftraggeschweißten Halbzeugen, zu nennen.

Das Elektroden-Handschweißen mit WSC-gefüllten Röhrenelektroden ist aufgrund seiner einfachen Handhabung sehr verbreitet. Durch die Entwicklung von Hochleistungs-Röhrenstabelektroden mit Durchmessern bis 8mm kann die Abschmelzleistung auf über 3kg/h gesteigert werden. Zur Erzeugung des Gasschutzes

sind die Elektroden mit einem Graphitmantel versehen. Die WSC-Korngrößen können bis 2mm betragen. Wie beim später beschriebenen MSG-Schweißen sollte zur Vermeidung einer zu hohen Carbidezersetzung die Lichtbogenlänge möglichst kurz sein, damit die Carbide nicht lange im Lichtbogen verweilen.

Für das großflächige Auftragschweißen mit WSC-haltigen Schweißzusätzen von z.B. Schleißplatten oder Walzen, wird das MSG- bzw. Open-Arc- und das PTA-Auftragschweißen eingesetzt. Beim MSG- bzw. Open-Arc-Auftragschweißen ist die thermische Beanspruchung der Hartstoffpartikel aufgrund des Abschmelzens des Fülldrahtes durch den Lichtbogen höher, wodurch auch der Zersetzungsanteil des Carbids ansteigt. Die Vermischung zwischen Grundwerkstoff und Beschichtung liegt je nach Legierung und Betriebsbedingungen zwischen 10-20% in der ersten Lage, während sich die Schichtdicke im Bereich zwischen 3-5mm bewegt. Durch Zusatz von Lichtbogenbildnern in der Drahtfüllung kann der Fülldraht open-arc, also ohne Schutzgas, verschweißt werden. Um den Einbrand und die Wärmeeinbringung beim MSG- bzw. Open-arc-Schweißen zu reduzieren, kann dem Prozeß zusätzlich Kaltdraht zugeführt werden. Der Mischungsgrad mit dem Grundwerkstoff wird so auf 5-15% gesenkt. Der Hartstoffanteil ist durch den Füllgrad der Fülldrahtelektrode in Abhängigkeit des eingesetzten Durchmessers (Durchmesser 1,6mm bis 3,2mm) auf ca. 55-65% begrenzt. Allerdings kann durch Einsatz von Verfahrensvarianten mit integrierter Pulverzufuhr der Hartstoffanteil in der Auftragschicht deutlich angehoben werden. Diese Technik hat sich u.a. zur Panzerung in der Tiefbohrtechnik bewährt [12]. Ebenso kann durch die heute oftmals eingesetzte Variante des MSG-Schweißens, dem Impulslichtbogenschweißen (MSG-Pulsed-Arc), das Schweißverhalten verbessert sowie die Vermischung und die thermische Beanspruchung der Hartstoffpartikel verringert werden [13].

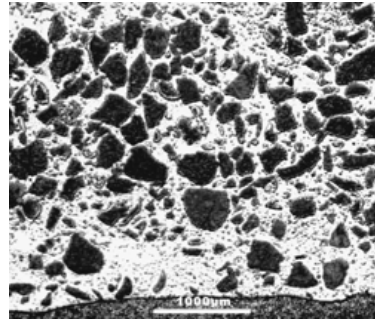


Abb. 7: Mikrogefüge einer WSC-verstärkten Auftragschweißung auf NiBSi-Basis, gepulst (Drahtdurchmesser 2,4mm)

Das PTA-Auftragschweißen hat in den letzten Jahren im Zeichen der wachsenden Automatisierung vieler Fertigungsprozesse sowie der Qualitätssicherung zunehmend an Bedeutung gewonnen. Hiermit können durch die verfahrensspezifischen Vorteile qualitativ hochwertige Schutzschichten mit Mischungswerten unter 10% (je nach Abschmelzleistung und Schweißzusatz) erzielt werden [3-4, 11]. Die Abschmelzleistungen betragen bei WSC-haltigen Schweißzusätzen auf Ni-Basis mittlerweile über 20kg/h. Im Hochleistungsbereich kommen vor allem NiBSi-Legierungen (zum Teil mit Cr) mit 60%WSC zum Einsatz. Das Verfahren ist im Vergleich zum Fülldrahtschweißen sehr aufwendig und kostenintensiv. Schlecht zugängliche Bereiche sind nur bedingt zu beschichten. Hier ergänzen sich oftmals das PTA und das Fülldrahtschweißen. Während die einfacheren Werkstückflächen mittels PTA gepanzert werden, werden die Ecken und Kanten mittels WSC-Fülldrähten geschützt.

4 Anwendungen aus der Praxis

Das Anwendungsfeld von Wolfram-Carbid ist weltweit sehr groß. Hierzu ist der Verschleißschutz von kleinen Bauteilen in der Landwirtschaft (z.B. Pflugschare) bis zu Auftragschweißungen durch Roboter (z.B. komplexe Schneidzähne) zu nennen. Überall dort, wo u.a. beim Brechen, Schneiden, Zerkleinern, Mischen, Laden und Transportieren von trockenen und nassen Feststoffen extremer Verschleiß durch Abrasion oder Erosion entsteht, sind gegenüber konventionellen Hartlegierungen der Legierungsgruppe 10 erhebliche Standzeitverlängerungen der Bauteile erreichbar. Insbesondere in Bereichen bei denen Ausfallzeiten zu drastischen Kosten führen, können zunehmend Reduzierungen der

Betriebskosten erreicht werden. Nachfolgend sind einige Beispiele exemplarisch erläutert.

So wurden im **Braunkohle-Tagebau** durch Einsatz von Plasma-Auftragschweißungen aus NiBSi+60%WSC die Standzeiten z.B. von Schalenschneiden gegenüber Fülldraht-Auftragschweißungen aus Eisenhartlegierungen bei gleichen Abraumbedingungen verdoppelt [3], **Abb. 8**.



Abb. 8: Schalenschneiden für den Braunkohle-Tagebau

In **Abb. 8** ist eine derartige Schalenschneide dargestellt. Die Flächen werden mittels Hochleistungs-Plasma-Pulverschweißen mittels Robotertechnik gepanzert. Der gesamte Prozeßablauf ist vollautomatisiert, sämtliche Prozeßabläufe sind abgespeichert und somit nachvollziehbar. Die höchstbeanspruchten Bereiche der Spitzen werden in Open-arc-Technik mittels einer WSC-haltigen Ni-Basis-Fülldrahtelektrode geschützt. Durch den einfachen Aufbau und die leichte Bedienbarkeit von MSG-Schweißgeräten sowie durch die Möglichkeit, o.g. Fülldrahtelektroden open-arc verschweißen zu können, weist das Fülldrahtschweißen gegenüber dem PTA-Schweißen Vorteile auf, die das Verfahren für den Einsatz vor Ort auf der Baustelle, auch bei eingebautem Bauteil, prädestiniert. Als weitere Anwendungen für WSC-verstärkte Auftragwerkstoffe in diesem Industriebereich, ist das Auftragschweißen von Schleifschienen und Übergabestellen sowie Förderband-Treibertrommeln zu nennen.

Höhere Standzeiten gegenüber Panzerungen mit gebrochenem WSC konnte durch Einsatz von kugeligem WSC im Bereich der Gewinnung von u.a. Rutil-haltigen Sanden erzielt werden, **Abb. 9**. Hierbei werden zum Schutz vor den meist sehr feinen und scharfen Abrasivstoffen die Schneidenzähne mit Ni-Fülldrähten mit 60-Gew.-%-WSC durch Roboter gepanzert. Feldversuche ergaben, daß Zähne gepanzert mit kugeligem WSC eine etwa 30% höhere Standzeit aufweisen.



Abb. 9: Rohstoffgewinnung im Tagebau

In der **Erdöl- und Bohrindustrie** wird Wolfram-Schmelzcarbid seit Jahren eingesetzt. Als Beispiel ist der Schutz von Stabilisatoren, neben dem Meißel eines der höchstbeanspruchten Bauteile beim Bohren, zu nennen. Diese Bauteile sitzen direkt über dem Meißel und haben die Aufgabe, Meißel und Schwerstangen zu zentrieren und damit das auf den Meißel wirkende Drehmoment durch Herabsetzen der Reibung der Schwerstangen zu erhöhen. Hierdurch bedingt, kommt es im Bereich der Rippen zu hohem Verschleiß. Konventionell werden die Rippen vor allem durch autogenes Panzern mit WSC-gefüllten Ni-Stäben und den WSC-ummantelten Kerndrähten geschützt. Nachteilig sind allerdings die hohen Kosten für die Vorwärmung und die niedrige Auftragsrate. Zur Kostenersparnis wird heute vermehrt dieser Bereich mit einem NiCrBSi-Fülldraht mit einem Carbidgehalt von ca. 60-Gew.-% durch MSG-Schweißen gepanzert, **Abb. 10**, wodurch sich bei Standzeitverlängerungen eine deutliche Kostenersparnis ergab.



Abb. 10: Stabilisator aus der Erdöl-Industrie

Als letztes Beispiel ist die Beschichtung sogenannter Knetbauteile für die Aluminiumindustrie genannt. Hiermit werden die Massen zur Anodenherstellung aufbereitet. Die Bauteile unterliegen höchster Abrasion

bei hohen Knetdrücken. Konventionell werden hier WSC-ummantelte Kerndrähte mittels dem Autogenschweißen aufgebracht, wobei neue Entwicklungstendenzen ein hohes Potential für den Einsatz von WSC-haltigen Fülldrähten dokumentieren.



Abb. 11: Einsatzgebiet Aluminium-Industrie

5 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen des Beitrags wurde über die metallurgischen Eigenschaften und Besonderheiten bei der schweißtechnischen Verarbeitung von Wolfram-Schmelzcarbid aus anwendungsorientierter Sicht berichtet. Durch Einsatz von Wolfram-Schmelzcarbid können heute in Bereichen mit extremen abrasiven Beanspruchungen Funktionsflächen wirkungsvoll geschützt werden und hierdurch die Produktivität und Wirtschaftlichkeit moderner Fertigungsprozesse gesteigert werden. Dabei ist in Abhängigkeit der jeweiligen Einsatz- und Betriebsbedingungen und des verfügbaren Schweißverfahrens Form und Größe des einzusetzenden WSC-Partikels sowie die Matrixlegierung auszuwählen. Hierdurch lassen sich gezielt der Hartstoffanteil und die Eigenschaften des Verbundwerkstoffes hinsichtlich Verschleißwiderstand, Korrosionseigenschaften und Duktilität beeinflussen.

6 Schrifttum

- [1] H. Uetz:
Abrasion und Erosion.
Carl Hanser Verlag München (1986)
- [2] O. Knotek, E. Lugscheider und H. Eschnauer:
Hartlegierungen zum Verschleißschutz.
Verlag Stahleisen m.b.H., Düsseldorf (1975)
- [3] I. Aydin, H. Dören u. H. Küpper:
Plasma-Auftragschweißen mit Wolframschmelzcarbid-haltigen Metallpulvern und ihre Einsatzgebiete.
DVS-Berichte, Band Nr. 175 (1996), S. 137-142

- [4] U. Draugelates, B. Bouaifi, S. Gießler
u. F. Schreiber:
Verschleißschutz gegen komplexe -Beanspruchungen durch Plasma-Pulver-Auftragschweißungen mit Hartstoffeinlagerungen.
DVS-Berichte, Band Nr. 175 (1996), S. 137-142
- [5] E. Lugscheider, U. Morkramer, H. Hallen
u. C. Vännman:
Gefügeausbildung beim Auftragen von hartstoff-verstärkten Nickelbasislegierungen durch Plasma-Pulver-Auftragschweißen.
DVS-Berichte, Band Nr. 175 (1996), S. 430-432
- [6] W. Schedler:
Hartmetall für den Praktiker.
VDI-Verlag Düsseldorf (1988)
- [7] R. Kieffer:
Hartstoffe.
Springer Verlag Wien (1963)
- [8] K. Kirner:
Zur Metallurgie der Wolframcarbid beim thermischen Spritzen.
Schweißen u. Schneiden 41 (1989) 13, S. 583-586
- [9] B. Bouaifi, J. Günster u. F. Schreiber:
Mikrostrukturelle Untersuchungen wolframcarbid-verstärkter Nickel- und Eisenbasis-Legierungen.
Schweißen u. Schneiden 49 (1997) 11, S. 858-866
- [10] E. Lugscheider, P. Jokiel, P. Karduck u.
H. Reimann:
Verarbeitung wolframcarbidverstärkter Nickelhartlegierungen durch Flammsspritzen.
Schweißen u. Schneiden 45 (1993) 11, S. 601-604
- [11] B. Bouaifi und B. Reichmann:
Neue Anwendungsfelder durch die Entwicklung des Hochleistungs-PTA-Auftragschweißens.
Schweißen u. Schneiden 49 (1997) 9, S. 734-736
- [12] E. Kretzschmar:
Draht-Pulver-MAG-Auftragschweißen.
ZIS-Mitteilungen (1983) 3, S. 226-229
- [13] U. Heubner:
Nickellegierungen und hochlegierte Werkstoffe.
Expert Verlag, Renningen (1993), S. 38-73
- [14] C. Marx, H.J. Retelsdorf, P. Knauf:
Evaluation of New Tool Joint Hardfacing Material for Extended Connection Life and Minimum Casing Wear. Proceedings of the SPE/IADC Drilling Conference (1991), pp. 871-876