

Lichtbogenspritzen verstärkter selbstfließender Legierungen zum kombinierten Korrosions- und Erosionsschutz

Johannes Wilden¹⁾, Andreas Wank¹⁾, Frank Schreiber²⁾

¹⁾ Dozentur für metallische Leichtbauwerkstoffe, Technische Universität Chemnitz

²⁾ DURUM Verschleißschutz GmbH, Krefeld

1 Einleitung

Unter den thermischen Spritzverfahren zeichnet sich das Lichtbogenspritzen durch die höchste Prozeßeffizienz und die höchsten Auftragraten aus. Während in der Vergangenheit bei der Weiterentwicklung der Prozeßtechnik im wesentlichen das Hochgeschwindigkeitsflammspritzen (HVOF) im Zentrum der Entwicklungen stand, findet das Lichtbogenspritzen in letzter Zeit aufgrund des großen Potentials zum Senken der Beschichtungskosten durch Substitution anderer Verfahren erhöhtes Interesse. Bei der Weiterentwicklung der Prozeßtechnik werden derzeit zwei Richtungen verfolgt. Zum einen wird eine kontrollierte Spritzatmosphäre (Vakuum oder Schutzgas) eingestellt und zum anderen die Partikelgeschwindigkeit durch den Einsatz von Überschallströmungen zum Zerstäuben gesteigert [1,2].

Mit dem Einsatz von Fülldrähten wird das Spektrum der verarbeitbaren Werkstoffe wesentlich erweitert. Elektrisch nicht leitfähige Hartstoffe können zum Verbessern der Verschleißbeständigkeit eines metallischen Matrixwerkstoffs (Hülle) eingesetzt werden. Zudem können die Eigenschaften der Matrix durch Legierungsbildung mit Füllstoffen im Beschichtungsprozeß modifiziert werden, ohne daß die Verarbeitungseigenschaften des Hüllwerkstoffs beim Herstellen der Drähte beeinflußt werden. Durch geeignete Kombinationen der metallischen Hülle und der Füllstoffe lassen sich Schichten für ein breites Anwendungsgebiet entwickeln [3-5]. Dabei sind insbesondere kostengünstige Werkstoffe von besonderer Relevanz, um das Potential der Kostensenkung beim Beschichten voll auszuschöpfen.

2 Versuchsdurchführung

Die Beschichtungen werden mit einer Lichtbogenspritzanlage G30/2 mit dem offenen Düsensystem LD/U2 der Firma OSU Maschinenbau bei manueller Brennerführung vorgenommen. Die eingesetzten Parameter sind in **Tabelle 1** aufgeführt. Als Substrate kommen Rundproben (Durchmesser: 40 mm; Dicke: 10 mm) und Flachproben (Kantenlänge: 100 mm; Dicke: 4 mm) aus dem Werkstoff C45N zum Einsatz. Vor dem Beschichten werden die Substrate mit Korund gestrahlt (Auftrittswinkel ca. 75°; Strahldruck: 6.000 hPa) und ultraschallgestützt in Äthanol gereinigt.

Spannung [V]	23 – 30
Drahtvorschub [m/s]	7,5 - 9
Zerstäuberdruck [hPa]	1.750 – 3.000
Spritzabstand [mm]	100 - 200

Tabelle 1: Spritzparameter

Neben 2 Typen von mit Wolframschmelzkarbid (WSC) verstärkten Drähten DURMAT AS-751 (**Abbildung 1**) wird zum Bestimmen der Verstärkungswirkung durch das WSC

auch der unverstärkte Nickelbasisdraht DURMAT AS-753 (Drahtdurchmesser: 1,6 mm) der Firma DURUM Verschleißschutz GmbH verspritzt. Weiterhin werden mittels HVOF (Sulzer Metco Diamond Jet) Vergleichsproben aus WC/Co 88/12 (Diamalloy 2004) nach Standardparametern hergestellt. Die Zusammensetzung der Drähte ist in **Tabelle 2** dargestellt.

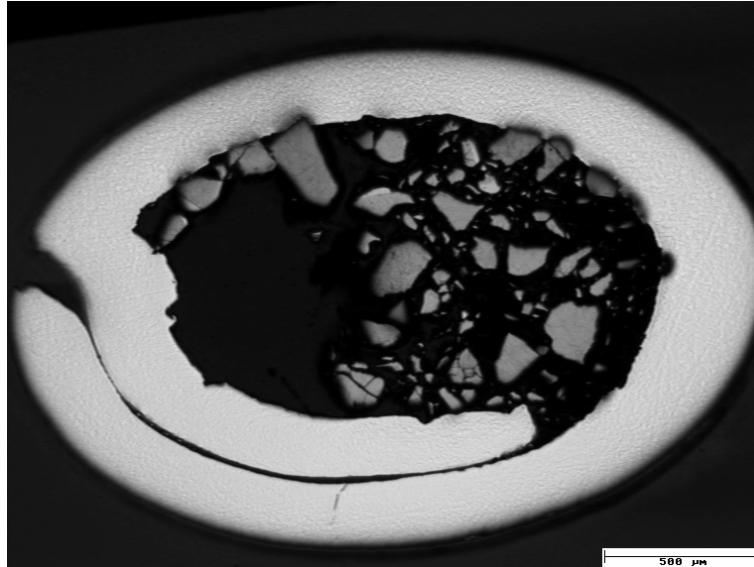


Abbildung 1: Schrägschliff durch einen mit WSC gefüllten Nickelfülldraht

Draht	Ni [Gew.-%]	Cr [Gew.-%]	Si [Gew.-%]	B [Gew.-%]	C [Gew.-%]	Verstärk.	Füllanteil [Gew.-%]
AS-751	Rest	-	< 3	1,7 – 2,0	0,4	WSC grob	55
AS-751 s	Rest	-	<3	1,7 – 2,0	0,4	WSC fein	55
AS-753	Rest	22 -25	5 – 5,5	1,7 – 2,0	0,4	-	-

Tabelle 2: Zusammensetzung der Fülldrähte

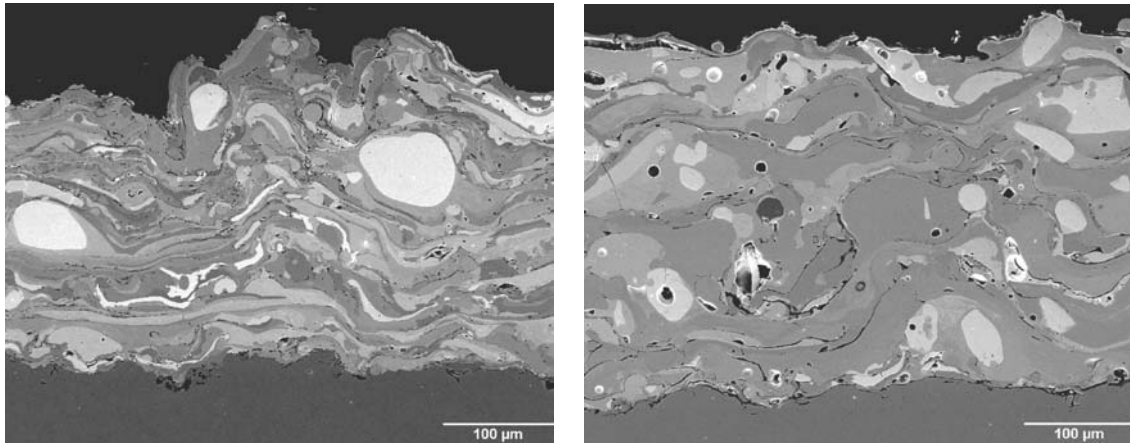
Nach dem Bestimmen des Auftragwirkungsgrads werden die Schichten einer metallografischen Charakterisierung mittels Lichtmikroskopie und REM, sowie EDX-Analysen unterzogen. Die Mikrohärtigkeit (HV0,05) der Matrix und der Hartstoffe sowie die Rauheit der Schichten werden ermittelt. Die Bewertung des Verschleißwiderstands der Schichten erfolgt im Taber-Abraser- und dem Schwingverschleiß-Versuch.

Bei der Taber-Abraser-Verschleißprüfung beträgt die Anpreßkraft 10 N pro Rolle. Die Rotationsgeschwindigkeit der Probe unter den exzentrisch aufliegenden Rollen (Calibrade H-10) beträgt 60 min^{-1} . Während des Tests wird der Abrieb abgesaugt und die Bewertung des Verschleißwiderstands erfolgt über den Masseverlust.

Die Schwingverschleißprüfung wird mit einer Al_2O_3 -Kugel (Durchmesser: 9 mm), die mit einer Anpreßkraft von 20 N bei einer Frequenz von 20 Hz und einer Amplitude von 1 mm auf der geschliffenen Oberfläche der Schichten oszilliert, durchgeführt. Die natürliche Rauheit der Spritzschichten führt zu Beginn der Versuche zu einer relativ hohen Verschleißrate.

3 Versuchsergebnisse

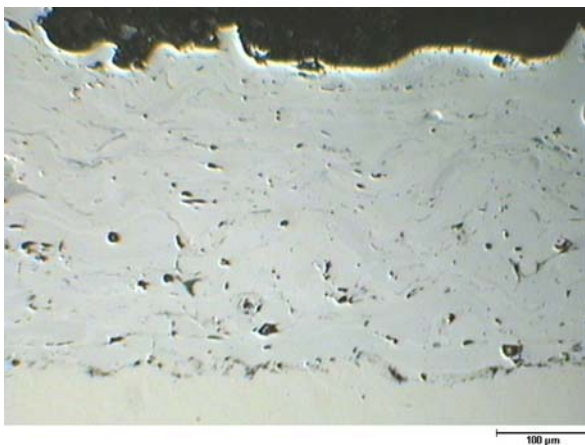
Bei Abschmelzleistungen von bis zu 18 kg/h und einem Auftragwirkungsgrad von 45,5 % werden Auftragleistungen von 8,2 kg/h erzielt. Nach einer Optimierung der Prozeßparameter sind noch deutliche Steigerungen des Auftragwirkungsgrads zu erwarten.



Spannung: 30 V
Stromstärke: 225 A
Spritzabstand: 200 mm
Zerstäubedruck: 3.400 hPa
Drahtvorschub: 9,0 m/min

Spannung: 27 V
Stromstärke: 260 A
Spritzabstand: 100 mm
Zerstäubedruck: 1.75 hPa
Drahtvorschub: 8,0 m/min

Abbildung 2: REM-Bilder von Querschliffen der Schichten aus dem Fülldraht AS-751 mit groben (links) und feinen (rechts) WSC-Partikeln



Spannung: 27 V
Stromstärke: 240 A
Spritzabstand: 100 mm
Zerstäubedruck: 3.000 hPa
Drahtvorschub: 8,0 m/min

Abbildung 3: Lichtmikroskopisches Bild des Querschliffs einer Schicht aus dem Fülldraht AS-753

Die Schichten aus den hartstoffgefüllten Drähten AS-751 sind aus einer Vielzahl von Phasen zusammengesetzt und weisen eine lückenlose Anbindung an das Substrat sowie eine gute Einbindung der Karbide in die metallische Matrix auf (**Abbildung 2**). Teilweise enthalten die Schichten vertikale Risse, deren Ausdehnung in der Regel deutlich geringer als 100 µm ist. Die Verteilung der Karbide in der Schicht ist beim Einsatz des feineren WSC homogener und der Hartstoffanteil ist mit ca. 30 Vol.-% höher als beim Einsatz grober WSC-Partikel (ca. 20 Vol.-%). Auch aus dem

hartstofffreien Fülldraht AS-753 können Schichten mit guter Anbindung an das Substrat und geringer Porosität (2 - 3 Vol.-%) hergestellt werden (**Abbildung 3**).

Der Zerstäubendruck hat einen wesentlichen Einfluß auf die Rauheit der Schichten im gespritzten Zustand, da mit zunehmendem Zerstäubendruck die Größe der schmelzflüssigen, von der Drahtspitze abgelösten Partikel abnimmt. Durch das Erhöhen des Zerstäubendrucks von 1.750 hPa auf 3.000 hPa kann die arithmetische Mittenrauheit R_a der Schichten aus dem WSC-gefüllten Draht AS-751 nahezu halbiert werden (für grobe Karbide von 37,4 auf 25,5 μm – für feine Karbide von 45,7 auf 25,2 μm). Gleichzeitig wird ein feineres Gefüge erhalten. Der Einfluß des Zerstäubendrucks ist bei der Verarbeitung des Drahtes AS-753 weitaus geringer. R_a sinkt von 24,4 μm bei 1.750 hPa auf 20,2 μm bei 3.000 hPa. Allerdings werden bei hohen Zerstäubendrücken auch geringere Porositäten erzielt.

Ein signifikanter Einfluß der gewählten Prozeßparameter auf die Mikrohärtigkeit der Hartstoffe und der Matrix konnte nicht nachgewiesen werden. Die mittlere Härte der WSC-Partikel beträgt zwischen 1.943 und 2.013 HV_{0,05} und die der Matrix zwischen 499 und 726 HV_{0,05}.

Im Taber-Abraser-Verschleißtest unterliegen die im gespritzten Zustand eingesetzten Schichten zunächst einem relativ starken Einlaufverschleiß, bevor nach dem Abtragen der Rauheitsspitzen eine lineare Verschleißrate gemessen wird. Die linearen Verschleißraten sind in der **Abbildung 4** aufgetragen. Die lichtbogengespritzten unverstärkten Schichten unterliegen einem geringeren Materialabtrag als bspw. eine im Vakuum eingeschmolzene Nickelhartlegierung (Härte: HR_C 60). WSC-verstärkte Schichten weisen gegenüber dem Grundwerkstoff eine um den Faktor 14, gegenüber der eingeschmolzenen flammgespritzten Legierung um den Faktor 6 und gegenüber der unverstärkten Schicht (AS-753) um den Faktor 3,5 höhere Verschleißbeständigkeit auf. Die mit hohen Zerstäubendrücken aus AS-751 hergestellten Schichten weisen geringere Verschleißraten auf. Die Gewichtsreduktion von HVOF-gespritzten WC/Co-Schichten beträgt nach 10.000 Umdrehungen 13 mg, was einer um den Faktor 3,5 höheren Verschleißbeständigkeit gegenüber den WSC-verstärkten Schichten entspricht.

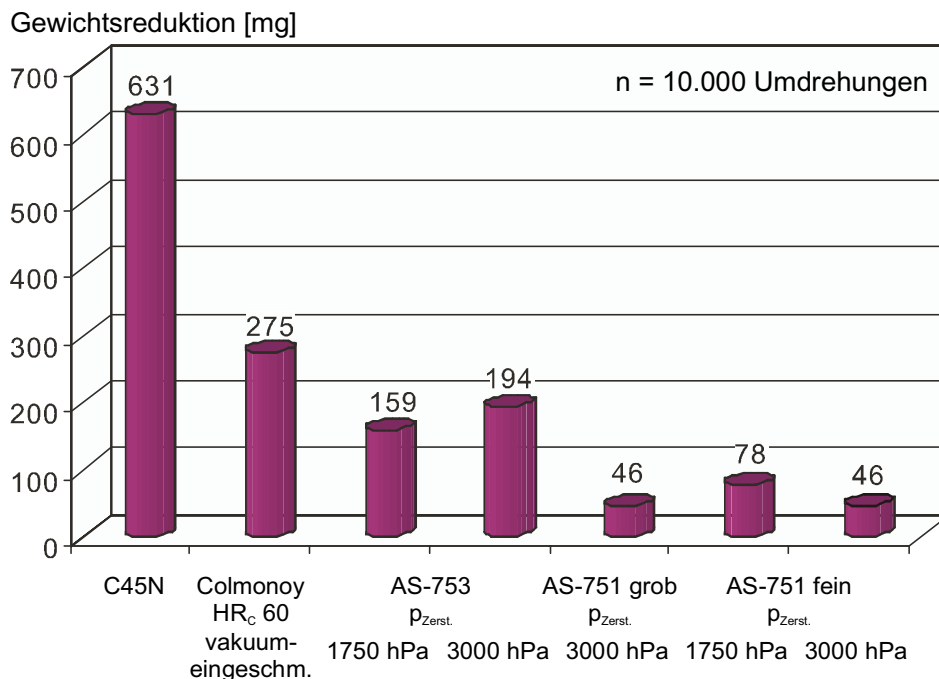


Abbildung 4: Lineare Verschleißraten beim Taber-Abraser-Verschleißtest

Auch im Schwingverschleiß-Versuch wird das Potential der WSC-verstärkten Schichten zum Verschleißschutz deutlich. Gegenüber dem Grundwerkstoff wird eine Verbesserung der Verschleißbeständigkeit um mehr als den Faktor 10 erreicht (**Abbildung 5**). APS-gespritzte Al_2O_3 - TiO_2 -Schichten erweisen sich als vollkommen ungeeignet für diesen Verschleißmodus. Eine 200 μm dicke Schicht wird in 5 Minuten bis auf den Grundwerkstoff zerrüttet. Die HVOF-gespritzten WC/Co-Schichten weisen auch unter oszillierender Beanspruchung eine um den Faktor 3 höhere Verschleißbeständigkeit auf.

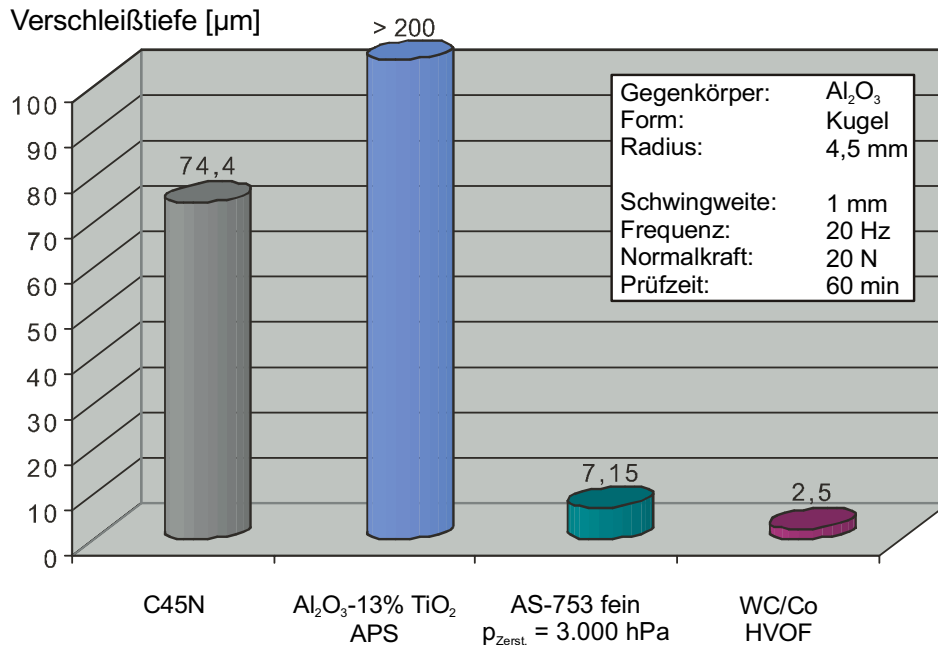


Abbildung 5: Verschleißtiefen bei der Schwingverschleißprüfung

4 Diskussion und Ausblick

Aufgrund des hohen Wirkungsgrads des Lichtbogenspritzens und der relativ kostengünstigen Ausgangsstoffe weisen lichtbogengespritzte Schichten WSC-verstärkter selbstfließender Legierungen ein hohes Potential zum Reduzieren der Beschichtungskosten zum Verschleißschutz auf. Sowohl im Taber-Abraser- als auch im Schwingverschleiß-Versuch werden erhebliche Verbesserungen gegenüber unverstärkten selbstfließenden Legierungen erreicht. Die Schichten lassen sich mittels CBN-Schleifscheiben problemlos nachbearbeiten, wobei die Oberfläche keine sichtbaren Poren aufweist.

Im folgenden werden Optimierungen des Auftragwirkungsgrads und eine Charakterisierung des Korrosionsverhaltens der Schichten vorgenommen. Dabei soll der Einfluß der Substitution der Hülle aus reinem Nickel durch NiCr 80/20 untersucht werden. Durch den Einsatz von Fülldrähten größerer Durchmesser werden Schichten mit höheren Karbidgehalten hergestellt und der Einfluß auf die Eigenschaften untersucht.

5 Literatur

- [1] M.P. Zwetsloot, *Welding and Metal Fabrication*, **62** (1994) 2, 63-64
- [2] M. Wewel, *Mod. Beschichtungsverfahren*, DGM Informationsges.-Verl., 71-85
- [3] E. Sampson, *Welding Journal*, **74** (1995) 10, 35-36
- [4] H.D. Steffens, *DVS-Berichte*, Band 136 (1991) DVS-Verl., 92-95
- [5] R.C. McCune, *Proc. of 7th NTSC*, 1994, Boston, Materials Park: ASM Int., 25-31