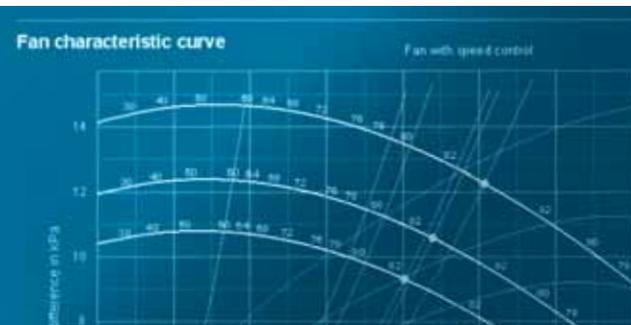


Innovationen von Venti Oelde

Auftragschweißung hochfester Stähle zum Leichtbau verschleißgeschützter Strukturen



Auftragschweißung hochfester Stähle zum Leichtbau verschleißgeschützter Strukturen

Prof. Dr.-Ing. Volker Wesling, ISAF, Technische Universität Clausthal, Clausthal-Zellerfeld; **Dr.-Ing. Rolf Reiter**, ISAF, Technische Universität Clausthal, Clausthal-Zellerfeld; **Dipl.-Ing. Lukas Lau**, ISAF, Technische Universität Clausthal, Clausthal-Zellerfeld; **Marvin Hecht, M. Sc.**, ISAF, Technische Universität Clausthal, Clausthal-Zellerfeld; **Dr.-Ing. Frank Schreiber**, DURUM Verschleißschutz GmbH, Willich; **Dipl.-Ing., Dipl.-Wirtsch.-Ing. Ivo Kupka**, Ventilatorenfabrik Oelde GmbH, Oelde; **Dipl.-Ing. Thomas Gandt**, Ventilatorenfabrik Oelde GmbH, Oelde

Bild 1
Aufbringung von separaten Verschleißplatten auf Strukturwerkstoff an einem verschlissenen Industrieventilator [2]



Verschleißerscheinungen an Maschinen und Anlagen führen zu jährlichen Milliarden Schäden. Oftmals werden mechanisch hoch belastete Bauteile nicht direkt gepanzert, sondern durch schweißtechnische Beschichtungsverfahren vorgefertigte Verschleißschutzbleche hergestellt, an die Strukturen angepasst und auf den zu schützenden Strukturen schweißtechnisch oder über Verschraubungen montiert.

Diese Vorgehensweise führt zu einem hohen Gewicht entsprechend geschützter Bauteile, was insbesondere bei schnelllaufenden, verschleißbeanspruchten Ventilatoren nicht vorteilhaft ist. Die direkte Panzerung hochfester Strukturen ist aber bei Verwendung konventioneller MSG-Prozesse, für die hohe Aufmischungen, eine hohe Energieeinbringung und ausgedehnte WEZ typisch sind, nicht sinnvoll, da die benötigten mechanischen Eigenschaften hochfester Stähle irreversibel verloren gehen.

Durch den Einsatz moderner geregelter Kurzlichtbogen-(GKLB)-Verfahren besteht die Möglichkeit, die Energieeinbringung in den Grundwerkstoff erheblich zu senken. Ein neues Anwendungsgebiet ist die Auftragschweißung hochfester Stähle mit dem Ziel, sowohl einen effektiven Verschleißschutz sicherzustellen als auch die mechanischen Eigenschaften der gepanzerten Stähle erhalten zu können. Ziel ist es, durch dieses Konzept Leichtbauziele zu unterstützen, die zu einem Kostenvorteil in einer Gesamtanlage führen.

Im Rahmen dieses Beitrags wird über die Möglichkeit berichtet, hochfeste Stähle der Güte S960 mit dem GKLB-Prozess schweißtechnisch zu panzern. Die mechanischen Eigenschaften der beschichteten Stähle werden genauso untersucht wie das Verhalten der aufgetragenen Verschleißschutzschichten. Anwendung findet die Gesamttechnologie bei Strukturbauteilen für schnelllaufende, verschleißbeanspruchte Ventilatoren.

1 Einleitung

Verschleiß und Korrosion sind wesentliche Faktoren für das Versagen und den Ausfall von Bauteilen im Maschinenbau. Durch Ausfallzeiten und Reparaturarbeiten entstehen in der Bundesrepublik Deutschland Schäden in Höhe von 2-4% des BIP, welches einem mittleren Betrag von ca. 85 Mrd. Euro entspricht [1]. Angesichts dieser enormen Kosten ist die Forschung auf der Suche nach immer neuen Werkstoffen, die den Belastungen besser und länger standhalten und damit die Kosten reduzieren.

Von diesem Verschleiß sind auch Industrieventilatoren während ihres Einsatzes betroffen, sodass eine regelmäßige Wartung und Instandsetzung notwendig ist. Eine Möglichkeit zur Reduzierung des auftretenden Verschleißes ist der Einsatz vorgefertigter Verschleißplatten, die von spezialisierten Zulieferunternehmen bereitgestellt werden. Sie bestehen aus einem Substratwerkstoff, auf den durch verschiedene schweißtechnische Beschichtungsverfahren insbesondere Eisen- oder Nickelbasis-Hartlegierungen aufgetragen werden. Die so erzeugten Platten werden den Konturen des zu panzernden Ventilators angepasst und

punktuell – beispielsweise durch Schraub- oder Schweißverbindungen – auf den Strukturbauteilen der Ventilatoren aufgebracht, **Bild 1**. Die Werkstoffpalette ist allerdings begrenzt. So werden beispielsweise keine (hoch-)borhaltigen Legierungen in diesem Bereich auf Verbundblechen aufgebracht, weil diese Schichten bei einem anschließenden Umformen leicht abplatzen. Außerdem ist die Hartphasenmorphologie (insbesondere Hartphasenabstand und -größe sowie Gleichmäßigkeit der Gefügeausbildung) durch die konventionellen OA/MSG-Verfahren nicht so realisierbar, wie sie beim Erosionsverschleiß durch feine Partikel benötigt wird. Weitere Nachteile sind, dass die Strukturwerkstoffe in der Erstpanzerung oftmals nicht direkt beschichtet werden, da diese durch die verfügbaren konventionellen Beschichtungsverfahren wie Plasmapulverauftragschweißen (PTA), Open-Arc-Verfahren (OA) und Metallschutzgas-Prozesse (MSG) thermisch so stark beansprucht werden, dass ihre ursprünglichen mechanisch-technologischen Eigenschaften irreversibel verloren gehen und daher nicht als tragender Querschnitt in der rechnerischen Auslegung des

Bild 2
Verschleiß an Industrieventilatoren nach Einsatz [2]
a) Auswaschung am Bodenblech



Ventilators mitberücksichtigt werden können.

Somit müssen notwendigerweise Verschleißplatten eingesetzt werden, wodurch ein zusätzliches Gewicht durch den Substratwerkstoff der Verschleißplatten hervorgerufen wird und erheblichen Mehraufwand und -kosten bei Transport, Energiebedarf, Bau von Fundamenten etc. verursacht.

Ein möglicher Lösungsansatz ist die Entwicklung beanspruchungs- und beschichtungsprozessgerechter Verschleißschutzsysteme zum Auftragschweißen von hochbelasteten Strukturbauteilen aus hoch- und ultra-hochfesten Feinkornbaustahlwerkstoffen durch moderne geregelte (energiearme) schweißtechnische Beschichtungsverfahren für Leichtbauventilatoren.

Tabelle 1
Mittlere Korngrößen typischer Abrasiva in der Lüfterindustrie [2]

Abrasivgut	Mittlere Korngröße in μm
Rohmehlstaub	~ 8
Sinterstaub	5-15
Stäube aus Stahlherstellung	< 20
Zementrohmehl	8-15
Zementstaub	10-20



2 Erosionsverschleiß im Ventilatorenbau

2.1 Typische Abrasiva und Verschleißbilder

Der im Ventilatorenbau auftretende Verschleiß ist auf die im Luftförderstrom mitgeführten Partikel zurückzuführen, weil Industrieventilatoren beispielsweise in Zement-, Stahl-, Spanholz- und Kunststoffwerken sowie in Chemie- und Raffinerieanlagen in der Grundstoffindustriellen Entstaubungstechnik zum Einsatz kommen und die Förderluft mit feinen, hochabrasiven Stäuben partikelbeaufschlagt ist, **Tabelle 1**.

Die angesaugten Partikel rufen durch das Auftreffen auf die Strukturwerkstoffe des Ventilators, also Beschau felung, Deck- und Bodenplatte, einen zum Teil erheblichen Verschleißangriff hervor, **Bild 2**.

2.2 Konventioneller Verschleißschutz

Als Verschleißschutzlösungen werden im Ventilatorenbau wegen der geforderten Verschleißreserve beziehungsweise Schichtdicke und der dynamischen Verschleißbeanspruchung der Beschichtung schweißtechnisch aufgebrachte Schutzschichten bevorzugt. Die Verschleißschutzwerkstoffe bestehen aus einer relativ zäharten Mischkristallmatrix, in der die verschleißschützenden spröden Hartstoffe eingelagert sind. Als Verschleißschutzlegierungen kommen hochlegierte Eisen- und Nickelbasislegierungen zum Einsatz, **Tabelle 2**.

Diese werden in der Regel über drahtgebundene Lichtbogen- oder pulvergebundene Plasmaverfahren auf Substratmaterialien vom Typ S235, S355 und in Ausnahmefällen auch auf S690 sowie S960 aufgebracht. Auf diese Weise werden Verschleißschutzplatten unterschiedlicher Dicken hergestellt. Diese erzeugten Schichten weisen ein mehrphasiges Gefüge bestehend aus in situ gebildeten oder artfremden eingebrachten Metallkarbiden und -boriden oder Kombinationen dieser Hartstoffe auf. Allen Legierungen

gen ist gemeinsam, dass sie durch Schweißverfahren mit hoher Energieeinbringung (PTA, OA und MSG) verarbeitet werden. Während mit den kostenintensiven PTA-Prozessen hochpreisige pulverförmige hartphasenverstärkte Nickellegierungen bei Aufmischungen von in der Regel unter 10% verarbeitet werden, liegt der Hauptanwendungsbereich der kostengünstigeren MSG- und OA-Verfahren bei der Verarbeitung von Eisenbasiswerkstoffen. Mit dem MSG-/OA-Verfahren werden üblicherweise Aufmischungen zwischen 20-40% erreicht, **Tabelle 3**. Das Qualitätsmerkmal Aufmischung beschreibt das Verhältnis zwischen der Vermischungzone aus Grundwerkstoff und Zusatzmaterial zur Gesamtfläche des Schweißnahtquerschnitts. Mit abnehmendem Aufmischungsgrad steigt die Schichtqualität, wobei ein Mindestmaß von ca. 3% aber erforderlich ist, um eine Schichthftung auch bei dynamischer Beanspruchung zu gewährleisten.

2.3 Hochleistungsverschleißschutzsysteme

Die verschleißschützende Wirkung von Hartlegierungen beruht darauf, dass die spröden Hartphasen ein Ein-

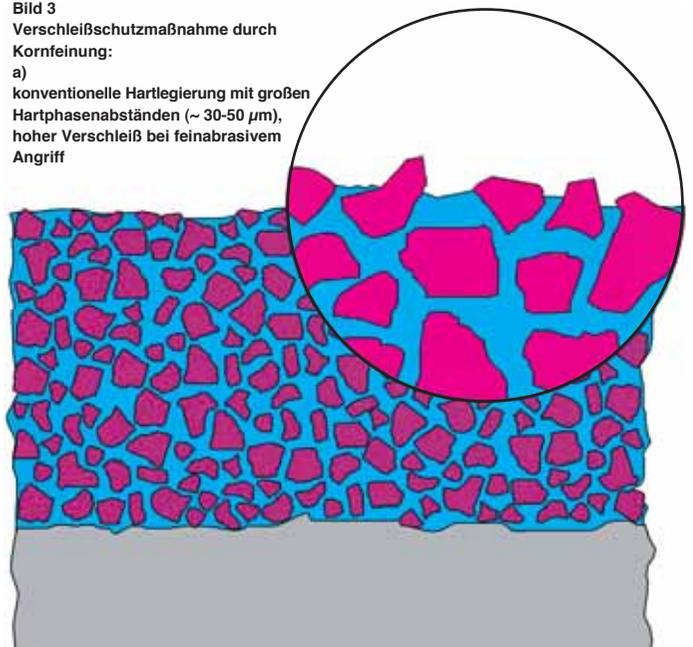
dringen des angreifenden harten Abrasivgutes in die Matrix verhindern. Ist der Hartphasenabstand jedoch größer als die mittlere Korngröße des Abrasivgutes, wird die Metallmatrix ausgewaschen, und es kommt zu erheblichen Verschleißerscheinungen, **Bild 3**.

Die hier betrachteten Abrasivgüter, vgl. Tabelle 1, weisen im Vergleich zu anderen im Verschleißschutz üblichen Anwendungen – wie beispielsweise im Bergbau – extrem

geringe Korngrößen in einer Größenordnung von etwa 10 µm auf. Daher ist hier unabhängig von der Basislegierung eine feindisperse Verteilung der Hartphasen (≤ 12 µm) unbedingt notwendig, um eine Verbesserung der Verschleißbeständigkeit zu erreichen.

Neben den hochwertigen Ni-Basislegierungen gibt es auch alternative kostengünstigere Werkstoffe auf Eisenbasis. Die im Ventilatorenbau einge-

Bild 3
Verschleißschutzmaßnahme durch Kornfeinung:
a) konventionelle Hartlegierung mit großen Hartphasenabständen (~ 30-50 µm), hoher Verschleiß bei feinabrasivem Angriff



b) maßgeschneiderte Hartlegierung mit sehr geringen Hartphasenabständen zum Schutz vor feinabrasiver Verschleißbeanspruchung [4]

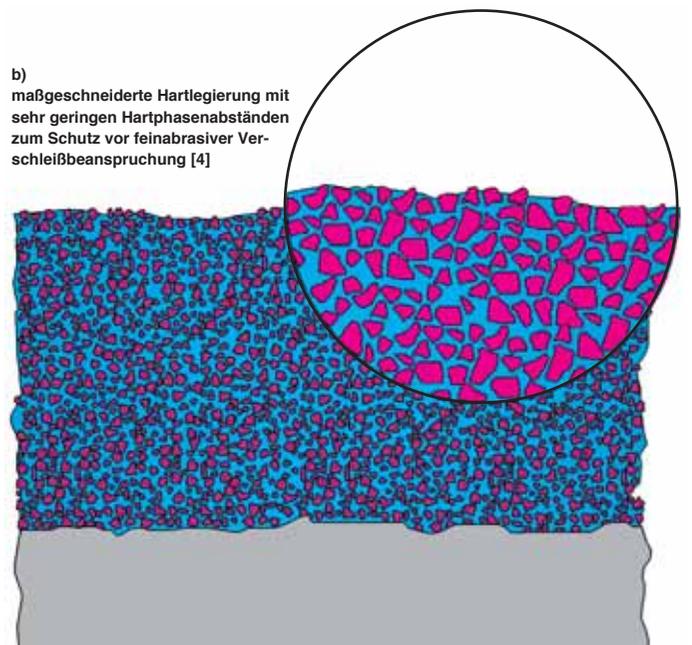


Tabelle 2
Standardverschleißschutzwerkstoffe im Ventilatorenbau

Matrix	Hartphasenbildner	Schweißverfahren
Fe	Cr, (Nb, V, Mo, W), (C, B)	OA/MSG
Fe	C, Cr, WSC	OA/MSG
Ni	Cr, Mo, WSC	PTA, MSG

Tabelle 3
Standardverfahren zur Herstellung von Panzerungen für den Ventilatorenbau [3]

Schweißverfahren	Abschmelzleistung in kg/h	Aufmischung in %	Schichtdicke in mm
MSG/OA	8-9	20-40	4-8
PTA	≤ 15	5-10	2-7

setzen hoch- und ultrahochfesten Feinkornbaustähle der Klassen S690+ beziehungsweise S960+ sollen durch moderne, energiearme (drahtgebundene) GKLB-Schweißprozesse gepanzert werden, ohne dass die ursprünglichen Werkstoffeigenschaften der Grundwerkstoffe unzulässig geschädigt werden. Hierdurch können die gepanzerten Grundwerkstoffe als hochbelastete Strukturwerkstoffe eingesetzt, also sowohl Leichtbauziele (Erhalt der Grundwerkstoffeigenschaften) realisiert als auch erhebliche Standzeitverlängerungen (Eigenschaften der Beschichtung) erreicht werden.

3 Kurzlichtbogentechnik

GKLB-Prozesse belasten die beteiligten Werkstoffe thermisch nur gering, weil insgesamt mit geringer Energieeinkbringung (Kurzlichtbogentechnik) gearbeitet wird und dabei die hohen Kurzschlussströme vermieden werden. GKLB-Verfahren wurden entwickelt, um dünne Bleche schweißtechnisch zu verbinden. Um den Energieeintrag und die unkontrollierte Spritzerbildung während des Aufbrechens des Kurzschlussstroms zu vermeiden, wird das Leistungsmaximum beim Wiederzünden des Lichtbogens erheblich herab-

gesenkt. Dies führt zu einer deutlich geringeren thermischen Beeinflussung der Werkstoffe während der Aufschmelzphase [5].

Neben der Verbindungstechnik ist diese Technologie auch zum schweißtechnischen Panzern vorteilhaft [6-8]. So werden beispielsweise korrosionsbeständige Plattierungen mit GKLB-Technik im technischen Maßstab hergestellt [9]. Durch den konventionellen Kurzlichtbogenprozess lässt sich der in den Substratwerkstoff eingebrachte Energieeintrag im Regelfall nur bei einer unzureichenden Schweißraupenbildung reduzieren. Bei der GKLB-Technik werden der Kurzschlussstrom und der Stromanstieg beim Wiederzünden des Lichtbogens nach dem Werkstoffübergang im Kurzschlussregelungstechnisch begrenzt. Die Tropfenablösung kann zusätzlich durch die mechanische Unterstützung des reversierenden Drahtvorschubs unterstützt werden. **Tabelle 4** gibt eine Übersicht ausgewählter derzeit verfügbarer Prozesstechniken in Verbindung mit der eingesetzten Regelgröße. Derzeitige Entwicklungen stehen im Fokus einer werkstoffseitigen Anpassung des Zusatzmaterials sowie die Nutzung dieser Prozesse zum

Tabelle 4
Ausgewählte GKLB-Prozesse nach Herstellern [10]

GKLB-Prozess	Hersteller
Elektronische Regelung	
AC-MIG	OTC Daihen Europe
coldArc®	EWM Hightec Welding
CP (Cold Process)	CLOOS
RMD™ (Regulated Metal Deposition)	Miller Electric
SST (Surface Tension Transfer)	Lincoln Electric
Elektronische und mechanische Regelung	
CMT (Cold Metal Transfer)	Fronius International
CSC (Controlled Short Circuit)	Miller Electric

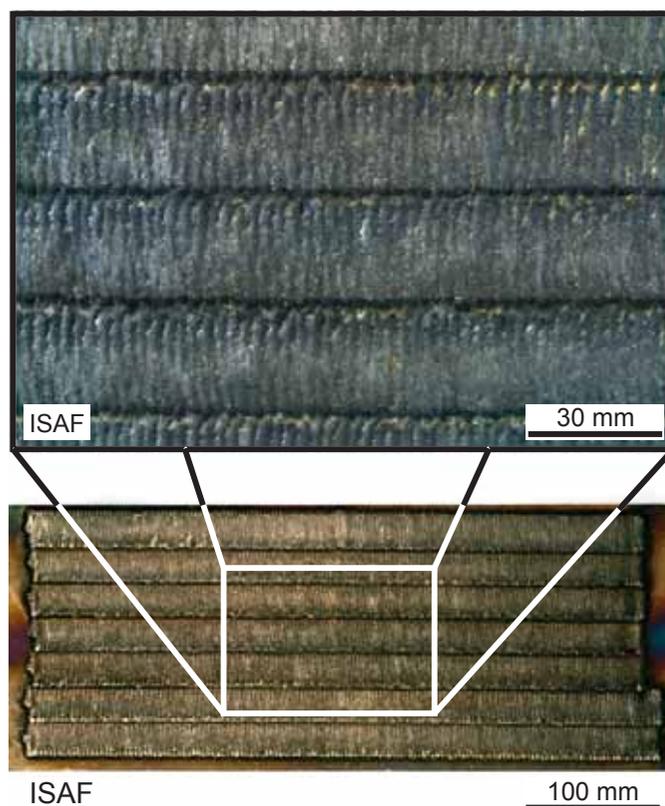


Bild 4
GKLB-Strukturbauteilbeschichtung:
Fe-Basis + Cr-Boride + VC, Bauteil Ventilatorenfabrik Oelde GmbH (Foto ISAF)

schweißtechnischen Panzern thermisch sensibler Werkstoffe. Untersuchungen von [6, 8, 10] haben bereits gezeigt, dass eine Feinerung der Hartphasen gegenüber konventioneller Prozesstechnik möglich ist. Es wird daher in diesem Zusammenhang auch eine Leistungssteigerung der Beschichtungen gegenüber feinabrasiver bzw. -erosiver Beanspruchung im Praxiseinsatz erwartet [11].

4 Experimentelles

Mit dem GKLB-Prozess wurden Auftragschweißungen auf Feinkornbaustahl der Güte S960QL durchgeführt. Als Zusatzwerkstoffe wurden fülldrahtbasierte Fe-Basislegierungen (\varnothing 1,6 mm) mit arteigenen Hartphasen verarbeitet. Dabei kamen eine hochchrom-hochborhaltige Hartlegierung, eine ebenfalls Cr-Borid-bildende Fe-Basislegierung mit zusätzlichen

Legierungsanteilen an VC und NbC sowie als Referenzverschleißschutzwerkstoff eine herkömmliche hochchrom-hochkohlenstoffhaltige Fe-Basis vom Typ FeCrC zum Einsatz. Die erzeugten Schichten wurden sowohl metallografisch als auch verschleißtechnisch qualifiziert.

4.1 Auftragschweißungen

Mit den ausgewählten Fülldrahtwerkstoffen wurden flächenhafte Verschleißschutzschichten in Pendelraupentechnik mit einer Pendelbreite von 20 mm auf den Strukturwerkstoff aufgetragen, **Bild 4**. Dabei wurden Schichtdicken zwischen 2 und 2,5 mm generiert. Als Schutzgas wurde ein Argon-Kohlenstoffdioxid-Gemisch verwendet.

Aus den schweißtechnisch aufgetragenen Schichten wurden reine Schweißgut-

proben mittels Funkerosion herausgetrennt und die Werkstoffdichten pyknometrisch bestimmt, **Tabelle 5**.

Die erzeugten Schichtverbunde wurden metallografisch untersucht und neben der Bestimmung der Schicht härten (Härteprüfung nach Rockwell, Skala C) Kleinlast-Härtemessungen im Bereich der WEZ durchgeführt.

4.2 Metallografische Auswertung

Das Gefüge der Panzerung vom Typ FeCrB weist nach Verarbeitung mit dem GKLB-Prozess eine regellose Hartstoffverteilung der harten Chromboride mit sehr geringen Hartphasenabständen auf, **Bild 5**.

Der neu entwickelte Verschleißschutzwerkstoff vom Typ FeCrNbVBC weist daneben zusätzliche Hartphasen aus Vanadiumcarbiden auf, die sich in der Matrix zwischen den boridischen Hartphasen ausscheiden und damit die Hartphasenabstände noch weiter reduzieren, **Bild 6**. Die Herstellung entsprechender schweißtechnischer Panzerungen lässt eine weitere Verbesserung der Schichteigenschaften erwarten.

4.3 Verschleißtechnische Untersuchungen

Zur Qualifizierung der Erosionsverschleißbeständigkeit der erzeugten Beschichtungen wurden Strahlverschleißuntersuchungen gemäß DIN 50332 durchgeführt.

Bild 7
Prinzipskizze des Strahlverschleißprüfstands

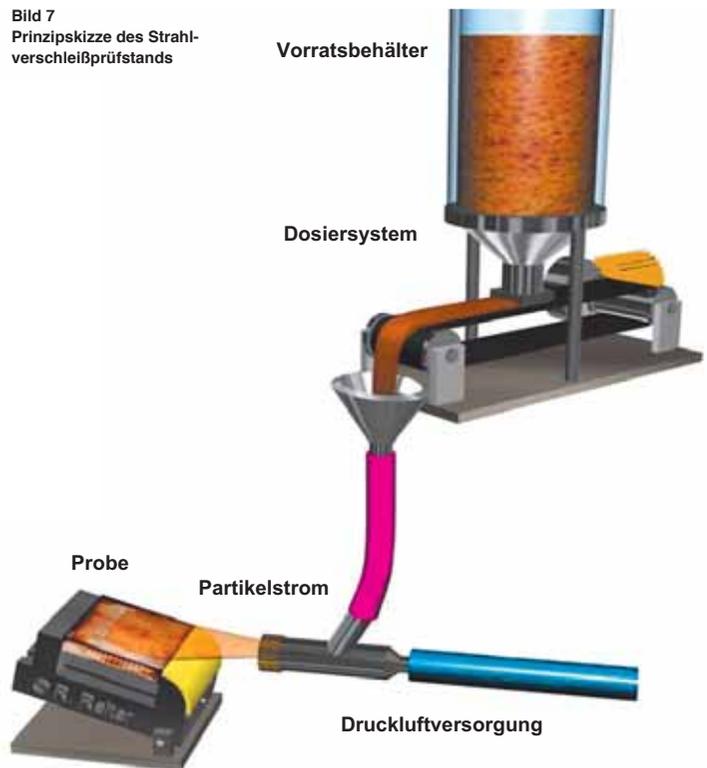


Tabelle 5
Eigenschaften der Auftragsschichten

Typ	Werkstoffdichte in g/cm ³	Schichthärt in HR _C
FeCrB	7,2	56,6
FeCrNbVBC	7,1	65
FeCrC	7,6	63-66

Tabelle 6
Prüfparameter

Verschleißprüfung	Strahlverschleißprüfung (DIN 50332)
Abrasivgut	Zementstaub
Beanspruchungswinkel	10° (Schrägstrahlverschleiß)
Vordruck	7,5 bar
Probenabstand	20 mm
Abrasivgutmassenstrom	140 g/min
Prüfzeit	2 h

Bild 5
GKLB-Schweißung: FeCrB

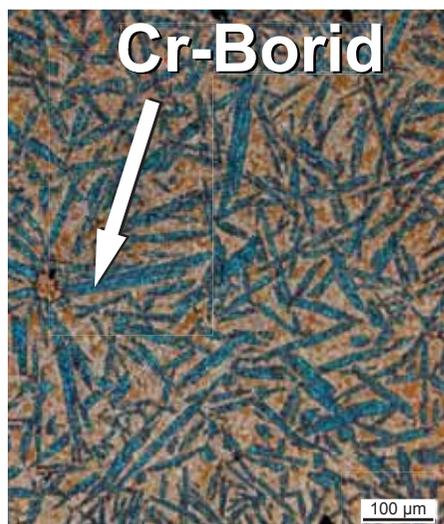
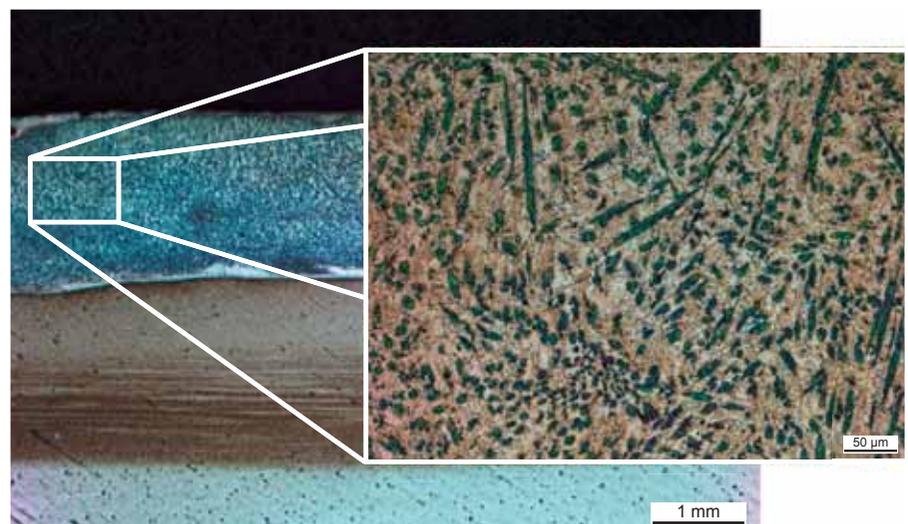


Bild 6
GKLB-Schweißung: FeCrNbVBC



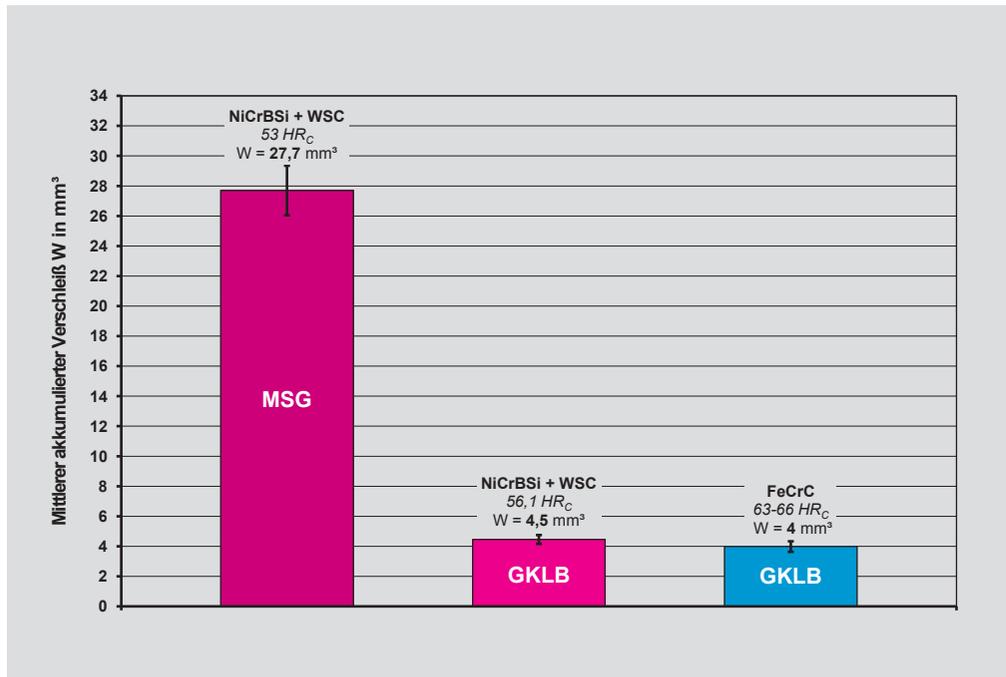
Dieser Prüfstand besteht im Wesentlichen aus der Strahlkammer selbst, einem Vorratsbehälter und dem Dosiersystem zur Steuerung des Abrasivgutmassenstroms, einer Druckluftversorgung, einem Injektor und der Probenaufnahme, vgl. **Bild 7**. Über das Dosiersystem wird aus dem

Vorratsbehälter die für eine Versuchsreihe konstant einzustellende Abrasivgutmenge dem Injektor zugeführt. Die frei fliegenden Partikel des gasgeführten Strahls verursachen – je nach Beanspruchungswinkel – stoßende und/oder furchende Werkstoffschädigungen.

Für die Untersuchungen wurde ein Strahlwinkel von 10° (Schrägstrahlverschleißbeanspruchung) am Nahtübergang festgelegt, weil Praxiserfahrungen hier eine besondere Schwachstelle zeigten. Die Prüfung erfolgte in Schweißnahtichtung mit Zement als Abrasivgut. Eine

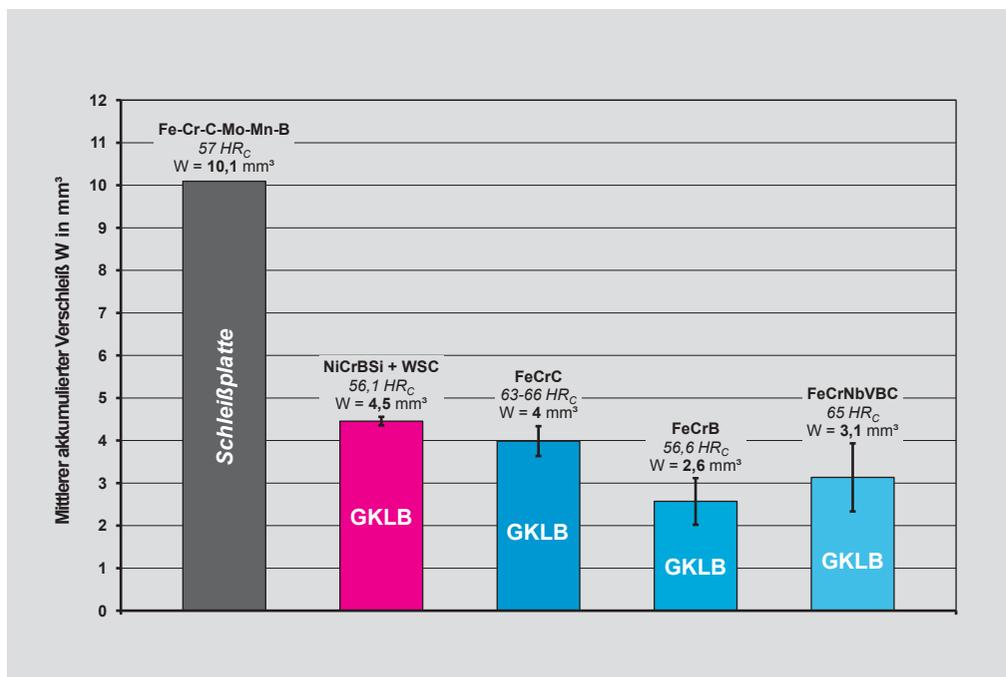
Partikelgrößenanalyse für das eingesetzte Abrasivgut ergab einen mittleren Korndurchmesser von $d_{50} \approx 16 \mu\text{m}$. Die variablen Prüfparameter sind sowohl der Vordruck und der Abrasivgutmassenstrom als auch der Abstand zwischen Werkstoffprobe und Injektorausgang, **Tabelle 6**.

Bild 8
Mittlere akkumulierte Verschleißabträge unter 10°-Schrägstrahlverschleißbeanspruchung
a) MSG- vs. GKLB-Panzerungen



Bei der Prüfung konnte bei mit dem GKLB-Prozess verarbeiteten Drähten eine deutlich verbesserte Verschleißperformance im Vergleich zu den MSG-verschweißten Fülldrahtwerkstoffen (hier am Beispiel von NiCrBSi + WSC) nachgewiesen werden, **Bild 8**. Der erhöhte Verschleißwiderstand lässt sich durch die prozessspezifische Gefügeausbildung erklären: Bei der GKLB-verarbeiteten Legierung NiCrBSi + WSC konnte durch den prozessbedingten geringeren Energieeintrag eine Reduzierung des auftretenden Karbidzerfalls beziehungsweise der Bildung von WC und damit eine erhöhte Verschleißbeständigkeit unter feinerosiver Beanspruchung erreicht werden.

b) Neuartige Hochleistungsverschleißschutzsysteme



Die Panzerungen aus neuartigen Verschleißschutzwerkstoffen mit fest in der Werkstoffmatrix verankerten Hartstoffen bei zugleich sehr geringen Hartphasenabständen in Verbindung mit der wärmearmen GKLB-Beschichtungsprozess-technik (Aufmischungen < 10%) lieferten gegenüber herkömmlichen Verschleißschutzlösungen (Fe-Cr-C-Mo-B-Schleißplatten) eine Steigerung der Standzeit von 325 bis knapp 400%, gegenüber konventionellen Beschichtungswerkstoffen ebenfalls GKLB-verarbeitet von 150-175%. Die durch eine weitere Reduzierung der Hartphasenabstände zu erwartende Steigerung der Verschleißbeständigkeit der

FeCrNbVBC-Beschichtungen konnte nicht bestätigt werden.

5 Leichtbaupotenzial

Zur Erreichung des Leichtbauziels wurden Schichtdicken zwischen 2 und 2,5 mm angestrebt. Die WEZ-Ausdehnungen betragen bei allen Schweißungen ca. 3 mm und wiesen damit im Vergleich zu herkömmlichen Schichtverbunden prozesssicher eine Breite von wesentlich < 5 mm auf, womit der tragende Restquerschnitt deutlich vergrößert wurde. In Verbindung mit einer Aufmischungszone von < 1,5 mm lässt sich daher bei allen Beschichtungen von einem weitestgehend möglichen Erhalt der Grundwerkstoffeigenschaften ausgehen. Ergänzend hierzu wurden Kleinlast-Härtemessungen (HV 1) im Bereich der WEZ durchgeführt, vgl. **Bild 9**. Durch den energiearmen GKLB-Prozess konnte die Aufhärtung in der WEZ sowie im temperaturempfindlichen Grundwerkstoff gegenüber der MSG-Variante (hier am Beispiel von FeCrC) deutlich reduziert werden. Sowohl bei der herkömmlich eingesetzten FeCrC-Legierung als auch bei der neu entwickelten Hochleistungsverschleißschutzlegierung konnte im Schweißgut eine wesentliche Härtesteigerung festgestellt werden. Eine Reduzierung der WEZ-Ausdehnung durch den GKLB ließ sich durch die gemessenen Härtereihen ebenso bestätigen.

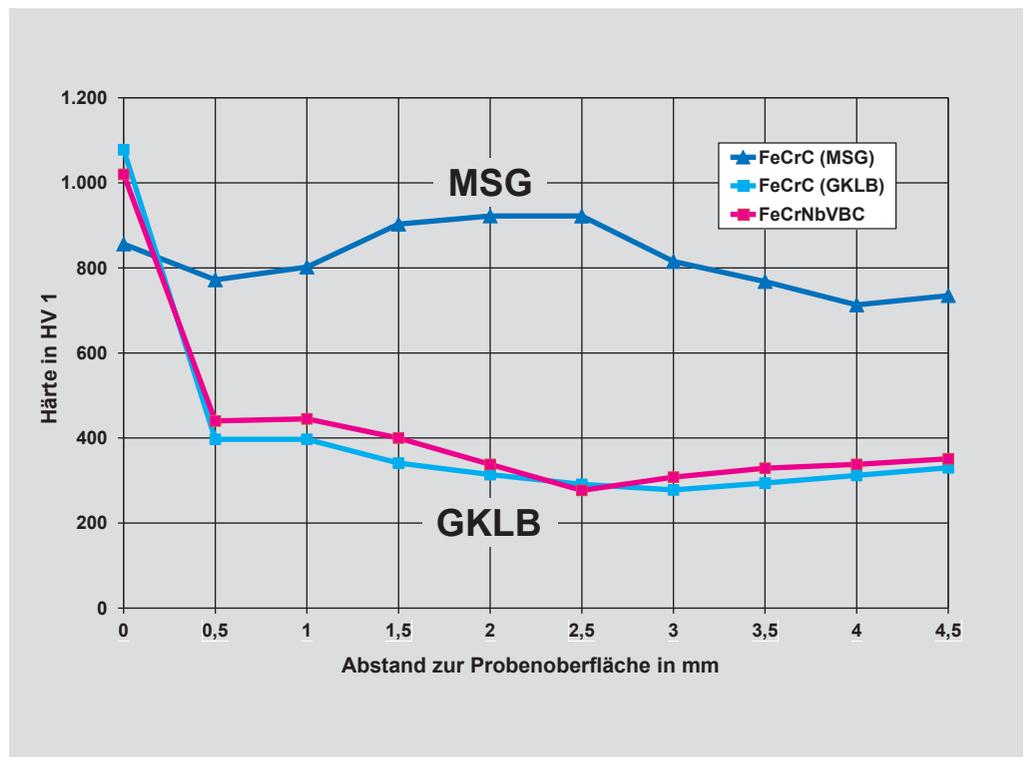


Bild 9
WEZ-Härtevergleich: MSG vs. GKLB

6 Zusammenfassung

Es wurden typische sowie neuartige drahtgebundene Hochleistungsverschleißschutzlegierungen mit einem GKLB-Prozess verarbeitet und teilweise vergleichend mit einem im konventionellen MSG-Verfahren hergestellten Schichten gegenübergestellt. Es konnte festgestellt werden, dass bei Einsatz der GKLB-Technik bei Hartlegierungen mit arteigenen Hartphasen eine Hartphasenfeinung auftritt und bei Verarbeitung von WSC-haltigen Nickellegierungen der auftretende Hartphasenzerfall deutlich reduziert werden konnte. Hierdurch konnte wiederum die Schichtqualität bedeutend erhöht und im Vergleich zu den konventionellen Schichten eine deutliche Steigerung des Verschleißwiderstands im Strahlverschleißtest gemäß DIN 50332 ermittelt werden. Der Einsatz maßgeschneiderter Hochleistungsverschleißschutzsysteme auf Fe-Basis

bestehend aus GKLB-Prozesstechnik und neu entwickelten Verschleißschutzlegierungen bietet durch die Ausscheidung fest verankerter Chromboride mit sehr geringen Hartphasenabständen einen optimalen Schutz vor feinerosiver Verschleißbeanspruchung und schafft gegenüber den teuren Ni-Basislegierungen eine technisch-wirtschaftliche Alternative. Durch den energiereduzierten GKLB-Schweißprozess können zudem Strukturleichtbauziele in der Ventilatorentechnik deutlich unterstützt werden, da zum einen die WEZ eine geringe Ausdehnung besitzt und der tragende Restquerschnitt entsprechend groß ist. Zum anderen können somit die Strukturbauteile direkt gepanzert werden. Die Nutzung von Verbundblechen entfällt.

7 Danksagung

Die durchgeführten Arbeiten wurden durch das BMWi im Rahmen eines ZIM-Kooperationsvorhabens gefördert. Die Autoren danken herzlich für diese Unterstützung.



8 Schrifttum

- [1] Theisen, W.: „Metal Matrix Composites“ widerstehen dem Verschleiß: Walzen aus Pulver. In: Klein, S. (Hrsg.), RUBIN (2004), Bochum, Sonderheft, S. 90-95.
- [2] Fa. Ventilatorenfabrik Oelde GmbH
- [3] Schnick, T.; Schreiber, F.; Wenz, T.: Verschleißschutz durch Fülldraht- und Plasma-Pulver-Auftragschweißen. In: Wielage, B. (Hrsg.), Schriftenreihe Werkstoffe und Werkstofftechnische Anwendungen (2005), Chemnitz, Band 22.
- [4] Fa. DURUM Verschleißschutz GmbH
- [5] N. N.; EWM Hightec Welding GmbH (Hrsg.): EWM-coldArc® – Wärmereduziertes Fügen dünnster Bleche. WM.0455.00 (2008), Mündersbach.
- [6] Echtermeyer, P.: Plattieren und Panzern von Korrosions- und Verschleißschutzschichten mittels geregelter Kurzlichtbogen-schweißprozess (2013). Dissertation, TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld.
- [7] Bergmann, J. P.; Frisch, W.; Günter, K.: Aufmischungsarmes, endkonturnahes Auftragschweißen hartstoffverstärkter Fe-Hartpanzerungen mittels geregelter, energiereduzierter MSG-Kurzlichtbogentechnik. In: Kösters, B., Schweißen und Schneiden – DVS-Berichte (2013), Düsseldorf, Band 296, S. 602-607.
- [8] Wesling, V.; Reiter, R.; Lau, L.; Schreiber, F.: Gerichtete Hartphasen zum Schutz vor abrasiv-erosiver Beanspruchung. In: Wielage, B. (Hrsg.), Schriftenreihe Werkstoffe und Werkstofftechnische Anwendungen (2011), Chemnitz, Tagungsband.
- [9] Egerland, S.: Bedeutung und Anwendung moderner Lichtbogenprozesse für das Schweißplattieren. In: Middeldorf, K., DIE VERBINUNGS SPEZIALISTEN – DVS-Berichte (2009), Düsseldorf, Band 258, S. 301-308.
- [10] Wesling, V.; Reiter, R.; Lau, L.; Hecht, M.; Schreiber, F.; Schreuders, C.: Auftragschweißen fülldrahtbasierter Hartlegierungen mit geregeltem Kurzlichtbogenverfahren zur Herstellung hochwertiger Panzerungen. In: Wielage, B. (Hrsg.), Schriftenreihe Werkstoffe und Werkstofftechnische Anwendungen (2014), Chemnitz, Tagungsband.
- [11] Oligmüller, J.: Untersuchungen zum Strahlverschleiß an mehrphasigen Verschleißschutzwerkstoffen (2008). Dissertation, TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld.



Ventilatorenfabrik Oelde GmbH
Postfach 37 09
D-59286 Oelde
Telefon: 02522/75-0
Telefax: 02522/75-250
info@venti-oelde.de
www.venti-oelde.de

- Industrieventilatoren
- Entstaubungs- und Prozessgasreinigungsanlagen
- Abluftbehandlungsanlagen
- Be- und Entlüftungs-, Heizungs- und Klimatisierungsanlagen
- Recycling- und Abfallaufbereitungsanlagen
- Oberflächentechnik