

# HERSTELLUNG UND CHARAKTERISIERUNG VON VERSCHLEISSCHUTZSCHICHTEN MIT HARTSTOFFPARTIKELN AUF MSG-BASIS

S. Barwart <sup>1</sup>, M. Leitner <sup>1</sup>, K. Chladil <sup>2</sup>, C. OBERWINKLER <sup>3</sup>

## 1 EINLEITUNG

Die Wiederverwertung anfallender recyclierbarer Stoffe stellt in der heutigen Zeit eine wichtige Ressource an Rohstoffen dar. Eine zunehmende Bedeutung erlangt die Wiederverwertung von Bioabfällen, Grünschnitt und den Abfällen der Forstwirtschaft. Einerseits werden diese Abfallstoffe aufbereitet, um hochqualitativen Kompost zu erhalten, andererseits, um Biomasse zur thermischen Nutzung bereitzustellen. Durch die hohen Ansprüche an die Biomasse für die thermische Energiegewinnung sind Aufbereitungsmaßnahmen erforderlich. Der erste Schritt dabei ist die mechanische Zerkleinerung der Abfallstoffe. Durch die inhomogene Zusammensetzung des Abfalls, der teilweise Fremdkörper beinhaltet, ist der Einsatz von Sondermaschinen hoher Leistung, wie z.B. ein Zweiwellenzerkleinerer (Bild 1) mit sich gegenläufig drehenden und mit Schneide- bzw. Sichelzähnen (Bild. 2) bestückten Walzen, erforderlich. Auf diese Sichelzähne treten im Betrieb enorme Beanspruchungen in Form von abrasiven Verschleiß und schlagartiger dynamischer Beanspruchung auf.



Bild 1: Blick in den Zerkleinerungsraum  
eines Zweiwellenzerkleinerers [1]



Bild 2: Sichelzahn eines  
Zweiwellenzerkleinerers

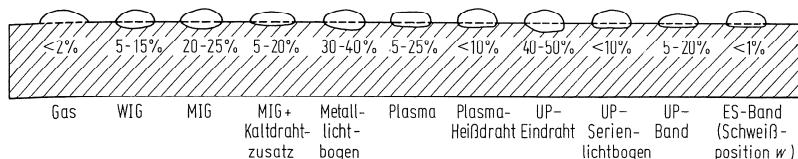
<sup>1</sup> Lehrstuhl für Allgemeinen Maschinenbau, Montanuniversität Leoben,  
8700 Leoben, A

<sup>2</sup> Materials Center Leoben Forschung GmbH,  
8700 Leoben, A

<sup>3</sup> Komptech Umwelttechnik GmbH,  
8130 Fohnleiten, A

## 2 SCHWEIßPROZESS UND PROBENHERSTELLUNG

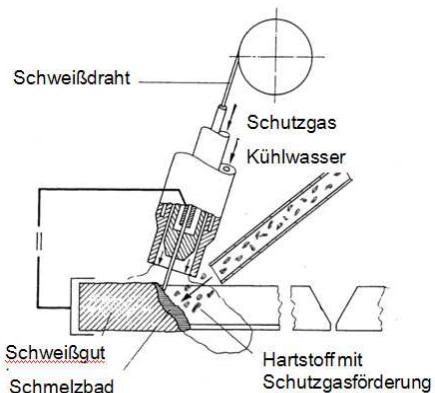
Unter Auftragschweißen versteht man das Beschichten eines Werkstücks durch Schweißen. Erfolgt die Auftragschweißung mit gegenüber dem Grundwerkstoff vorzugsweise verschleißbeständigem Auftragwerkstoff, so spricht man von Panzerungen bzw. vom Schweißpanzern. Das zu wählende Schweißverfahren richtet sich nach wirtschaftlichen, wie auch nach technischen Gesichtspunkten. Zum Auftragschweißen von Hartschichten eignen sich im Allgemeinen alle Schmelzschweiß- und Metallspritzverfahren. Um mit einer oder wenigen Lagen einen ausreichenden Schutz gegen Verschleiß zu erreichen, ist die Vermischung von Auftrags- und Grundwerkstoff (Aufschmelzgrad) klein zu halten. In Bild 3 sind Werte für den Aufschmelzgrad verschiedener Schweißverfahren dargestellt [2].



*Bild 3: Vermischung von Grund- und Auftragwerkstoff in Abhängigkeit vom angewendeten Schweißverfahren [2]*

Für die Herstellung der Verschleißschutzschicht auf den Sichelzähnen wurde das Metallschutzgasschweißen (MSG) als Schweißverfahren angewendet. Es zeichnet sich durch ein breites Anwendungsgebiet und geringen Investitionskosten aus.

### 2.1 Schweißverfahren auf MSG Basis



*Bild 4:  
Schematische Darstellung des Schweißprozesses mit Karbideinstreuung auf Basis des MSG-Schweißens [2].*

Beim sogenannten „Einstreuselverfahren“ (Bild 4) werden zusätzlich Hartstoffe dem Metallschutzgasschweißprozess zugeführt. Um dieses Verfahren prozesssicher anwenden zu können, wird sowohl eine sichere und zielgenaue Zuführung der Karbide in das Schmelzbad, als auch eine genaue Dosierung der Hartstoffkörner benötigt. Der Transport von der Dosiereinheit zur Karbidzuführung kann sowohl mittels Schwerkraftförderung (durch Einrieseln), als auch mittels einer pneumatischen Förderung (im Schutzgasstrom) erfolgen.

## 2.2 Verwendete Materialien und Schweißzusatzstoffe

Als Grundmaterial für die Schweißung wird ein Vergütungsstahl mit einem geringen Prozentsatz Bor herangezogen. Dieser Vergütungsstahl zeichnet sich durch eine gute Schweißeignung ohne Vorwärmung aus.

Als Schweißzusatzwerkstoffe werden ein Massivdraht mit  $\varnothing 1,2 \text{ mm}$  und ein äquivalenter Fülldraht mit  $\varnothing 1,6 \text{ mm}$  verwendet. Diese Schweißzusätze sind C, Cr, Mn, Mo, W legiert und zeichnen sich durch gute Schweißbarkeit, hohe Härte und Zähigkeit aus.

Als Hartstoff wird gebrochenes Wolfram-Sinterkarbid in der Körnung von  $0,7 \text{ mm}$  bis  $1,2 \text{ mm}$  verwendet. Das verwendete Wolfram-Sinterkarbid besitzt einen optimalen Gehalt von Kobalt-Bindemittel (Tabelle 1). Dadurch ist es möglich eine genau definierte Abstimmung von Härte, Form und Zähigkeit zu erhalten, die einen hohen Verschleißwiderstand garantiert.

C	Co	Ta	Ti	W
5,3-5,8	6,0-10,0	<0,5	<0,5	Rest

*Tabelle 1: DURMAT WC-IV chemische Zusammensetzung in Gew.- % [3]*

## 2.3 Durchgeführte Versuchsschweißungen

Der Einfluss ausgewählter Prozessparameter auf die Schweißung der Sichelzähne ist durch 80 Schweißmuster auf Probeplatten vorab durchgeführt worden. Eine Auflistung der signifikanten Einflussgrößen ist in Tabelle 2 ersichtlich.

Schweißgeschwindigkeit v	m/min	Lichtbogenkorrektur	%
Schweißstrom I	A	Schweißprogramm	-
Schweißspannung U	V	Pulsprogramm	-
Drahtvorschub	m/min	Karbid-Einstreuung	g/s
Pulskorrektur	-		

*Tabelle 2: Signifikante Parameter der Auftragschweißung*

Für eine Beurteilung und einen Vergleich der Schweißparameter werden der Aufmischungsgrad und die geometrischen Abmessungen der Schweißnähte herangezogen. Der Aufmischungsgrad ist größtenteils verfahrensabhängig und kann durch eine Variation der Schweißparameter beeinflusst werden. Für eine Gegenüberstellung der verwendeten Parameter wird für jeden Versuch die eingebrachte Streckenenergie berechnet. Die Streckenergie ist jene Energie, welche der Schweißraupe je Längeneinheit zugeführt wird. Im Allgemeinen ist feststellbar, dass sich mit steigender Streckenenergie der Aufmischungsgrad erhöht (Bild 5).

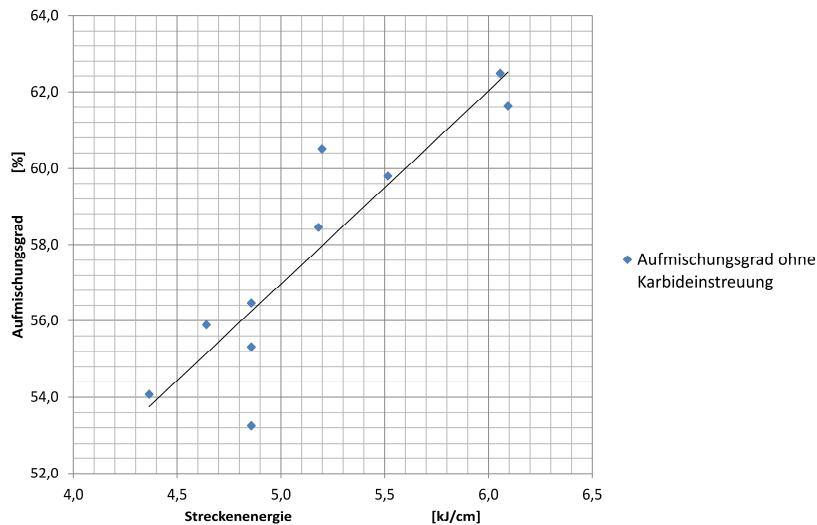


Bild 5: Einfluss der Streckenenergie auf den Aufmischungsgrad

Durch das Einbringen von Wolfram-Sinterkarbid in den MSG-Schweißprozess sinkt effektiv die Aufschmelzleistung im Vergleich mit einer Schweißung ohne Hartstoffeinbringung. Diese Reduktion ist mit einer lokalen Aufschmelzung der Hartstoffpartikel im Lichtbogen zu begründen und kann durch einen veränderten Aufschmelzgrad beschrieben werden. Eine Gegenüberstellung der Querschliffe zeigt, dass ohne Karbideinstreuung (Bild 6a), verglichen mit Einstreuung (Bild 6b), ein vergrößerter Einbrand, trotz geringerer Streckenenergie ( $5,5 \text{ kJ/cm}$ ), auftritt. Grund dafür ist die Aufschmelzung der eingestreuten Karbide für die eine höhere Streckenenergie ( $5,8 \text{ kJ/cm}$ ) bereitgestellt werden muss. Die Verbreiterung der Schweißnaht bei Karbideinstreuung lässt sich durch den höheren Drahtvorschub und durch das zusätzlich eingebrachte Volumen der Wolframkarbide erklären. Der Aufmischungsgrad in Bild 6b weist einen Wert von 39,2 %, der in Bild 6a von 59,8 % auf.

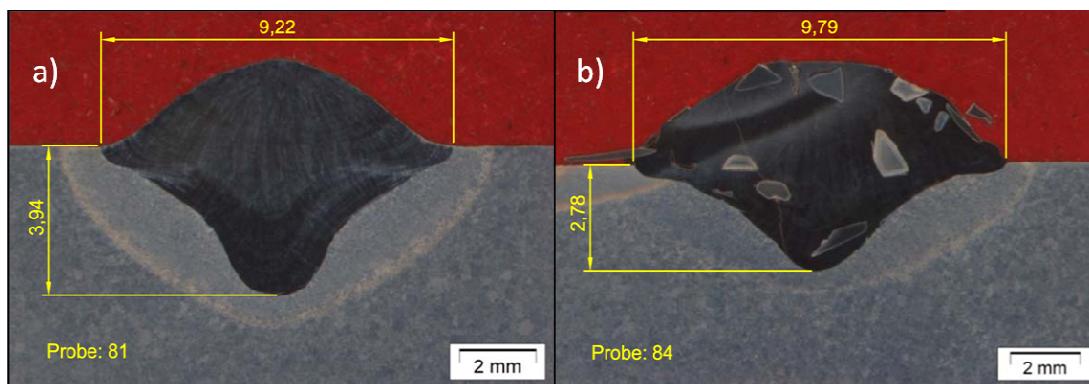


Bild 6: Vergleich der geometrischen Abmessungen mit (a) und ohne (b) Karbideinstreuung im geschliffenen Querschnitt einer aufgepanzerten Probe

### 3 CHARAKTERISIERUNG DER VERSCHLEIßSCHICHTEN

In erster Linie dienen die Gefügeuntersuchungen der Schweißungen zur Charakterisierung der Panzerungen und zur Bestimmung der Schweißnahtgeometrie, sowie der chemischen Analyse von Schweißgut und Grundwerkstoff. Durch den Vergleich der Schweißnahtgefuge können Rückschlüsse auf den Schweißprozess und die Schweißparameter gezogen werden. Im Rahmen der metallographischen Untersuchungen wurden zusätzlich Härteprüfungen an den Schweißproben durchgeführt. Da die Härte eines Werkstoffes im engen Zusammenhang mit dem Verschleißwiderstand steht, stellt die Härtemessung ein wichtiges Instrument zur Charakterisierung von Verschleißschutzschichten dar.

#### 3.1 Metallographische Analyse

Der Zusatzwerkstoff aus Massivdraht wird für Anwendungen mit hohen Schlag- und Abrasionsbeanspruchungen empfohlen [3]. Diese Kombination der Belastung stellt hohe Ansprüche an den Schweißzusatzwerkstoff und im Speziellen an das Gefüge der Schweißnaht. Die in Bild 7 rechts dargestellte Gefügeaufnahme zeigt eine bainitisch-martensitische Struktur mit Restaustenit. Diese Gefügeeinstellung ist für den Einsatzbereich in Zerkleinerungsanlagen geeignet und wird nach [4] in die Gruppe der niedriglegierten Vergütungsstähle bis 1 % Kohlenstoff mit angelassenem Martensit oder feinem Perlit abrasionsbeständiger Eisenwerkstoffe eingeteilt. Die auftretende bainitisch-martensitische Phase dieses Werkstoffs ist maßgeblich für die Härte der Schweißnaht verantwortlich, welche den Verschleißwiderstand wiedergibt. Der Fülldraht weist ein, hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung, ähnliches Gefüge mit Restaustenit auf, wie der zuvor beschriebene Massivdraht.

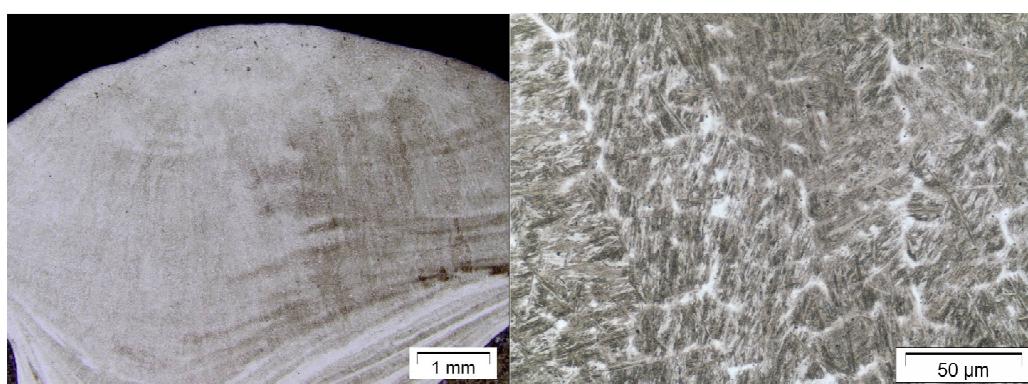
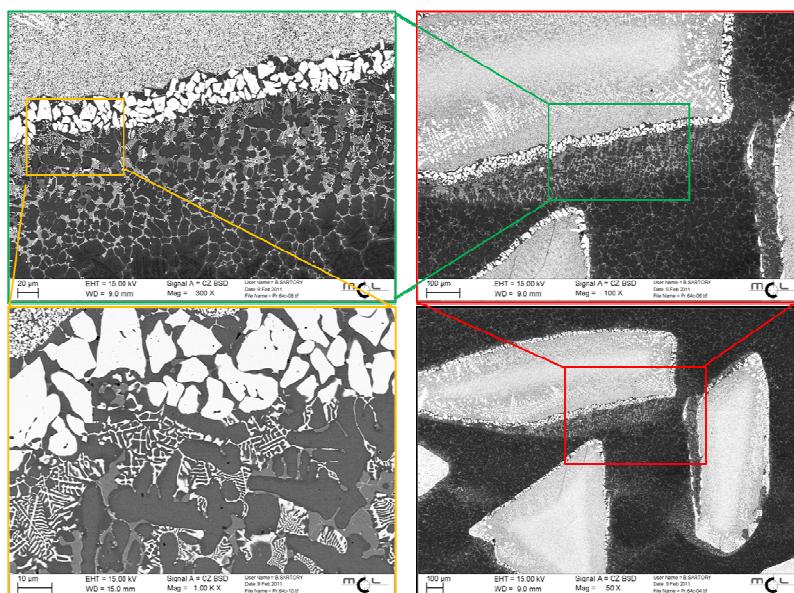


Bild 7: Schweißnahtgefuge des verwendeten Massivdrahts

Für die mechanischen Eigenschaften der Panzerung spielt die Anbindung der Hartstoffe in der Matrix eine wichtige Rolle. Um ein Herausbrechen der Hartstoffkörner aus der Matrix zu verhindern, muss eine hohe Festigkeit der Bindung vorhanden sein. Durch das gleichzeitige Aufschmelzen von Wolframkarbid und Schweißzusatzwerkstoff im Lichtbogen, kommt es zu

hochlegierten Phasen am Übergang von der Matrix zum WC-Korn in der Schweißnaht, welche den Übergangsbereich bilden. In Bild 8 ist der Übergangsbereich vom Matrixwerkstoff auf das Karbidkorn mit Hilfe einer Massenkontrastaufnahme zu erkennen. Die dunklen Bereiche stellen banitisch-martensitische Phasen geringerer Masse dar (Fe-basierend) und die hellen Bereiche Phasen mit hoher Masse (hoher Anteil an W). Diese Phasen können sich in der Zusammensetzung in Form von  $M_3C$ ,  $M_6C$ ,  $M_7C_3$  oder  $M_{23}C_6$  ausbilden. Diese Phasen sind hochwolframhaltige Eisenlegierungen, die eine Ähnlichkeit mit dem Gefüge eines Schnellarbeitsstahls aufweisen.



*Bild 8: REM-BSD-Aufnahme im Bereich der Anbindung der Matrix mit dem Karbidkorn*

### 3.2 Härtemessungen

Für das reine Schweißgut des Massivdraht-Zusatzwerkstoffs wird eine Härte von 610 bis 710 HV<sub>1</sub> vom Hersteller angegeben. Durch die einlagigen Probeschweißungen auf den Probeplatten und aufgrund des Aufmischungsgrads wird dieser Wert nicht erzielt (ca. 510 HV<sub>1</sub>). Mit der Zugabe von Hartstoffpartikeln in den Schweißprozess kann ein Härteanstieg der Matrix durch das teilweise Aufschmelzen der Wolfram-Sinterkarbide und durch die veränderten thermischen Bedingungen beobachtet werden. Im Härteverlauf wurde dadurch eine Steigerung der Matrixhärte auf ca. 650 bis 680 HV<sub>1</sub> festgestellt, siehe Bild 9. Die Härtesprünge von 1200 HV<sub>1</sub> und 1500 HV<sub>1</sub> sind den Hartstoffen zuzuordnen, welche in der Matrix eingelagert sind. Da das in Verwendung befindliche Wolframkarbid eine Kobaltbindung aufweist, sind tendenziell die reinen Härtewerte von Wolframkarbid von ca. 2080 HV<sub>0,05</sub> nicht erreicht worden.

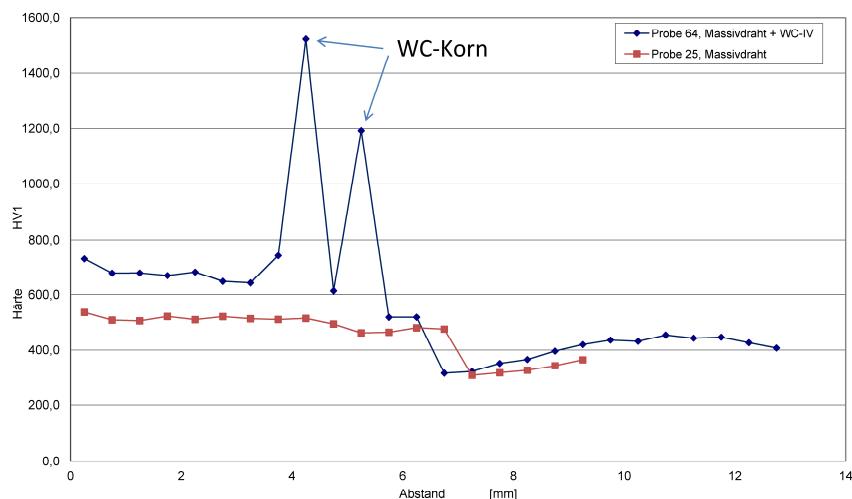


Bild 9: Vergleich der Härteverläufe mit und ohne Karbideinstreuung,  
Zusatzzwerkstoff: Massivdraht

## 4 EXPERIMENTELLE VERSCHLEISSUNTERSUCHUNGEN

### 4.1 Aufbau des Verschleißprüfstands

Beim Zerkleinern von holzartigen Altstoffen können Fremdstoffe wie z.B. Gestein oder metallische Verunreinigungen in Kontakt mit den Sichelzähnen treten. Um die Werkzeugstandzeit zu erhöhen, sind die Schneidwerkzeuge auf solche Störstoffe auszulegen und daher wurde als Verschleißmaterial Quarzit mit einer Korngröße von 20 bis 60 mm in den Untersuchungen verwendet. Der Prüfstand ist als Rührwerk ausgeführt, bei dem die Sichelzähne auf einer Kreisbahn im Verschleißmaterial mit einer Dauer von acht Stunden rotieren (Bild 10). Die Probenstücke werden auf einer Aufspansscheibe angeschraubt, die eine Drehzahl von 44 U/min (entspricht der Tangentengeschwindigkeit der realen Anlage) und ein Moment von bis zu 1560 Nm aufweist.



Bild 10: Blick in den Trog des  
Prüfstands, gefüllt mit  
Quarzitgestein und  
eingesetztem Sichelzahn

### 4.2 Ergebnis der vergleichenden Verschleißuntersuchung

In Bild 11 ist der Massenverschleiß  $\Delta m$  von zwei Versuchsserien über die Anzahl der Schotterwechsel aufgetragen. Der durchschnittliche Verschleiß eines nicht aufgeschweißten Zahns mit Quarzit als Verschleißmittel beläuft sich auf 4 g pro

Schotterwechsel. Bei den aufgeschweißten Zähnen ist ein Verschleiß von durchschnittlich 2 g pro Schotterwechsel gemessen worden. Dies entspricht einer Reduktion des Massenverschleißes um 50%.

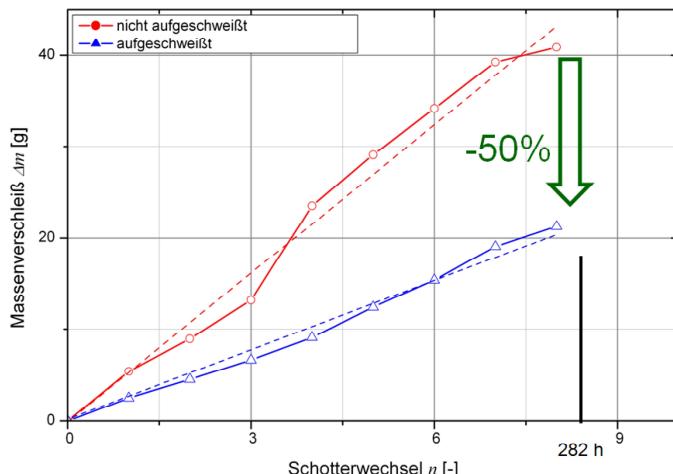


Bild 11: Ergebnisse der Verschleißuntersuchungen

## 5 ZUSAMMENFASSUNG

Mit dem Einstreuselverfahren lassen sich hochabrasionsbeständige Panzerungen aufbringen, welche den schlagenden und abrasiven Beanspruchungen von Schneidwerkzeugen in Holz- und Müllaufbereitungsanlagen hohen Widerstand leisten. In diesem Beitrag wurden auf MSG-Basis aufgeschweißte Panzerungen mit Karbideinstreuung untersucht. Es ist feststellbar, dass durch eine bainitsche-martensitische Panzerung mit eingelagerten Hartstoffpartikeln eine deutliche Reduzierung des abrasiven Verschleißes gegenüber ungepanzerten Zähnen erzielt werden kann. Weiteres Entwicklungspotential liegt in der Auswahl alternativer Grund- und Schweißzusatzwerkstoffe, welche sich durchaus auch in den Gusswerkstoffen wiederfinden lassen.

## 6 LITERATUR

- [1] Komptech, Crambo Universalzerkleinerer für Grünschnitt und Holz, Komptech GmbH A-8130 Frohnleiten, [www.komptech.com](http://www.komptech.com), 2011.
- [2] J. Ruge: Handbuch der Schweißtechnik, Band II: Verfahren und Fertigung, Dritte, neubearbeitete Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1993
- [3] DURUM, Auftragschweißwerkstoffe, Durmat Werkstoffe für den Verschleißschutz, DURUM Verschleiß-Schutz GmbH, D-47877 Willich-Schiefbahn, [www.durmat.com](http://www.durmat.com), 2011.
- [4] H. Uetz: Abrasion und Erosion, 1. Auflage, Carl Hanser Verlag, München Wien, 1983.