OTTO-VON-GUERICKE-UNIVERSITÄT MAGDEBURG
Fakultät für Maschinenbau
Institut für Werkstoff- und Fügetechnik / Lehrstuhl Fügetechnik

Statusbericht zur FA 2-Sitzung am 05.03.2009 zum AiF-Forschungsprojekt:

Untersuchung des Einflusses der Morphologie der Wolframcarbide auf die Eigenschaften von Verschleißschichten am Beispiel des Plasmapulverauftragschweißens

AiF-Vorhaben-Nr.: 15.232 B
DVS-Nr.: 2.043
Laufzeit: 01.06.2007 - 31.05.2009
Berichtszeitraum: 01.10.2008 - 31.01.2009

1 Forschungsergebnisse

Im oben genannten Berichtszeitraum wurden folgende Arbeitsschwerpunkte ausgeführt:

- Auswertung der hergestellten wolframcarbidhaltigen Beschichtungen durch licht- und elektronenmikroskopische Untersuchungen
- Mikro- und Makrohärtemessungen an den hergestellten PPA-Beschichtungen
- Vorbereitung und Ausarbeitung der Proben für die Verschleißuntersuchungen (Miller-Test, Reibrad-Test, RWE Verschleißtopf-Test)

Gemäß dem Arbeitsplan sind licht- und elektronenmikroskopische Untersuchungen der hergestellten wolframcarbidhaltigen Beschichtungen erfolgt. Die erste lichtmikroskopische Beurteilung der Schweißnahtqualität wurde mittels Bildanalysesoftware ImageJ an den Makroschliffen der Beschichtungen durchgeführt, um den Hohlraumanteil, die Grundwerkstoffaufschmelzung, die Schichtanbindung an den Grundwerkstoff, Rissbildung, Carbidgehalt und Carbidverteilung in der PPA-Schicht zu erfassen. Die Nahtgeometrie der Beschichtungen wurde durch die Messung der Nahthöhe, Nahtbreite und den Nahtanstiegswinkel dokumentiert. Das Carbidabsink- und Carbidanlösungsverhalten (prozessbedingte Diffusionszonen in den W-Carbiden) infolge des PPA-Prozesses ist für alle Schweißproben an charakteristischen Bereichen im Querschliff untersucht worden (Bild 1).

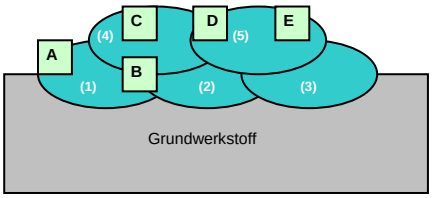

Bild 1: Skizze des Makroschliffes mit den untersuchten Bereichen A bis E

Die Carbidanlösung wurde nur an den WSC-haltigen Beschichtungen bewertet, da das thermisch stabile δ-WC keine Phasenumwandlung während des PPA-Prozesses erfährt. Zusätzlich erfolgten Saumdickenmessungen an den Rändern der angelösten WSC-Teilchen. Nachfolgend werden ausgewählte Resultate in den für die Verschleißbeanspruchung wichtigen Bereichen C, D und E dargestellt. Der durch die zweimalige Wirkung des Plasmabogens am längsten thermisch beanspruchte Bereich D ist für ausgewählte Proben im Bild 2 dargestellt.

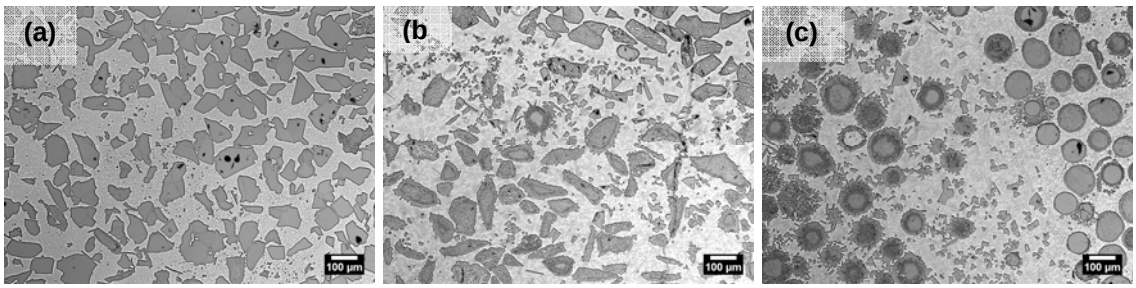

Bild 2: Lichtmikroskopische Aufnahmen aus dem Bereich D der wolframcarbidverstärkten Beschichtungen: (a) WC-blockig, (b) WSC-blockig, (c) WSC-kugelig

Die WC-verstärkte Beschichtung der Probe 3.A-1 zeigt einen durch homogene Carbidverteilung gekennzeichneten Übergang zwischen der 4. und 5. Auftragraupe, während es bei den WSC-haltigen Beschichtungen infolge der Phasenumwandlung insbesondere in diesem Bereich zu Carbidanlösungen und Carbidzerfallserscheinungen kam. Das erneute Aufschmelzen der NiBSi-Matrix hatte in diesem Bereich verglichen mit dem Auftragraupeninneren eine leichte Verminderung der Carbidgehalte zur Folge. Aus den Bereichen C, D und E wurden je 3 lichtmikroskopische Aufnahmen bildanalytisch hinsichtlich ihres Carbidflächen-anteiles, ihrer Carbidkreisformfaktoren und ihrer Carbidflächen untersucht. Tabelle 1 zeigt beispielhaft die Ergebnisse der Bestimmung der Carbidflächenanteile.

Tabelle 1: Mittlere Carbidflächenanteile in den Bereichen C, D und E der hergestellten Beschichtungen

Bereich	**Prozentualer Carbidflächenanteil bzw. Carbidgehalt von Probe**					
	***3.A-1**	**3.BI-1**	**3.BI-2**	**3.BI-3**	**3.BII**	**3.BII+BI-2**
C	46,4	42,6	45,9	39,2	57,2	53,4
D	49,5	43,8	40,0	45,4	45,2	37,9
E	46,3	42,1	43,6	48,8	61,4	52,0
Mittelwert	**47,4**	**42,8**	**43,2**	**44,4**	**54,6**	**47,8**
Standardabweichung	**1,8**	**0,8**	**3,0**	**4,8**	**8,4**	**8,6**

***3.**... - Bezeichnung für Hauptschweißprobe

Der erhöhte Carbidgehalt von Probe 3.BII (WSC-kugelig) ist auf eine höhere Anzahl kleinerer W-Carbidpartikel neben den W-Carbiden zurückzuführen.
Elektronenmikroskopische Untersuchungen der Beschichtungen erfolgten zunächst mittels REM. Bild 3 zeigt charakteristische Bereiche in der PPA-Schicht der Probe 3.BI-1 (WSC-blockig) anhand von REM-SE Aufnahmen.

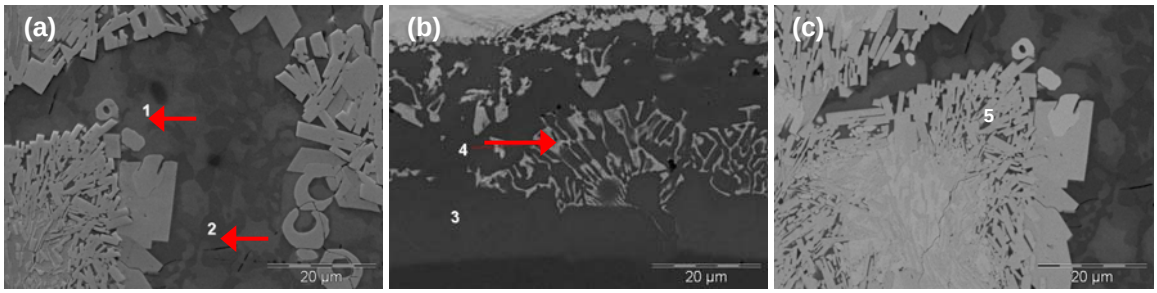

Bild 3: REM-SE-Aufnahmen charakteristischer Bereiche in der PPA-Schicht der Probe 3.BI-1
(a) helle (Pos. 1) und dunkle Phasen (Pos. 2) in der NiBSi-Matrix
(b) Phasen mit chinesenschriftartiger Struktur (Pos. 4) am Übergang PPA-Schicht / Phasengrenzschicht (Pos. 3)
(c) mit NiBSi-Matrix infiltrierter Rand eines blockigen WSC (Pos. 5)

Zur Ermittlung der chemischen Zusammensetzung der im Bild 3 veranschaulichten Bereiche wurden die EDX-Analyse und die Augerelektronenspektroskopie eingesetzt. Die Ergebnisse der EDX-Analysen an den im Bild 3 dargestellten Positionen 1 - 4 sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2: Chemische Zusammensetzung an Positionen 1 - 4 nach Bild 3

Position	Zusammensetzung [Gew.-%]			
	Ni	Si	W	Fe
1	68,0	-	30,7	1,3
2	87,9	10,9	-	1,2
3	30,6	1,2	13,6	54,6
4	7,6	-	71,2	21,2

Zur Untersuchung prozessbedingter Veränderungen der Mikrohärte der W-Carbide und des NiBSi-Pulvers infolge des PPA-Schweißens erfolgten Mikrohärtemessungen. Die Randbedingungen entsprachen denen der Messungen am unbeeinflussten Ausgangspulver. In Tabelle 3 ist an ausgewählten Beispielen die Veränderung der Mikrohärte der W-Carbide im Ausgangszustand (vor dem Schweißen) gegenüber deren Härte in der PPA-Schicht dargestellt.

Tabelle 3: Verringerung der Mikrohärte HV0,1 der W-Carbide in der PPA-Schicht gegenüber der Mikrohärte im Ausgangszustand des W-Carbidpulvers (vor dem Schweißen)

Gefüge		Messposition	Mikrohärteverringerung der W-Carbidpulver [HV0,1]			
			A-1	BI-1	BI-2	BII
einphasig	—	δ-WC	64	-	-	-
mehrphasig	sehr fein	Phasengemisch δ-WC + β''-W_2C	-	-	16	38
	fein		-	20	23	-
	mittel		-	46	-	-
	grob	δ-WC	-	32	-	-
		β''-W_2C	-	40	27	-

Für das blockige WC-Pulver A-1 konnte keine signifikante Veränderung der mittleren Mikrohärte in der PPA-Schicht im Vergleich zum Ausgangszustand festgestellt werden. Das blockige WSC-Pulver BI-1 mit feiner und mittlerer Ausbildung des eutektoiden Phasengemisches β''-W_2C und δ-WC zeigte Mikrohärten von 2731 HV0,1 bzw. 2493 HV0,1 im Ausgangszustand. Diese Mikrostrukturen zeigten in der PPA-Schicht nur eine sehr geringe Härteverminderung. Auch an den anderen Schweißproben bestätigte sich, dass, trotz Auflösungserscheinungen am Carbidrand, der Mikrohärtewert im Zentrum des Carbides durch den Wärmeeinfluss beim Schweißen nicht beeinflusst worden ist.
Um die Verschleißuntersuchungen nicht durch mögliche Schwerkraftseigerungen (carbidverarmte Zonen) zu beeinflussen, erfolgte gemäß Absprache mit dem PBA ein Planschleifen der Nahtoberflächen mittels SiC-Schleifscheiben. Auf den geschliffenen Nahtoberflächen erfolgten anschließend für jede Beschichtung 10 Härtemessungen nach Rockwell (HRC), deren Mittelwerte sowie Standardabweichungen in Tabelle 4 aufgeführt sind. Der höchste Härtewert im Schweißgut mit kugeligem WSC steht im Einklang mit der lichtmikroskopisch festgestellten höchsten Carbidbesetzungsdichte.

Tabelle 4: Ergebnisse der Rockwellhärtemessungen auf den geschliffenen Nahtoberflächen der Beschichtungen

Probe	**3.A-1**	**3.BI-1**	**3.BI-2**	**3.BI-3**	**3.BII-1**	**3.BII+BI-2**
Rockwellhärte (HRC)	57,4 $\pm$ 0,4	59,4 $\pm$ 1,7	61,1 $\pm$ 1,1	60,9 $\pm$ 1,0	62,9 $\pm$ 2,7	58,4 $\pm$ 1,8

Zur Ausarbeitung der Verschleißproben wurde das Drahterodieren eingesetzt, um eine zusätzliche thermische Beeinflussung auszuschließen. Die Entnahmepositionen der Verschleißproben sind im Bild 4 verdeutlicht. Zusätzlich wurden für jede Verschleißuntersuchung als Referenzproben Grundwerkstoffproben gleicher Abmessung gefertigt.

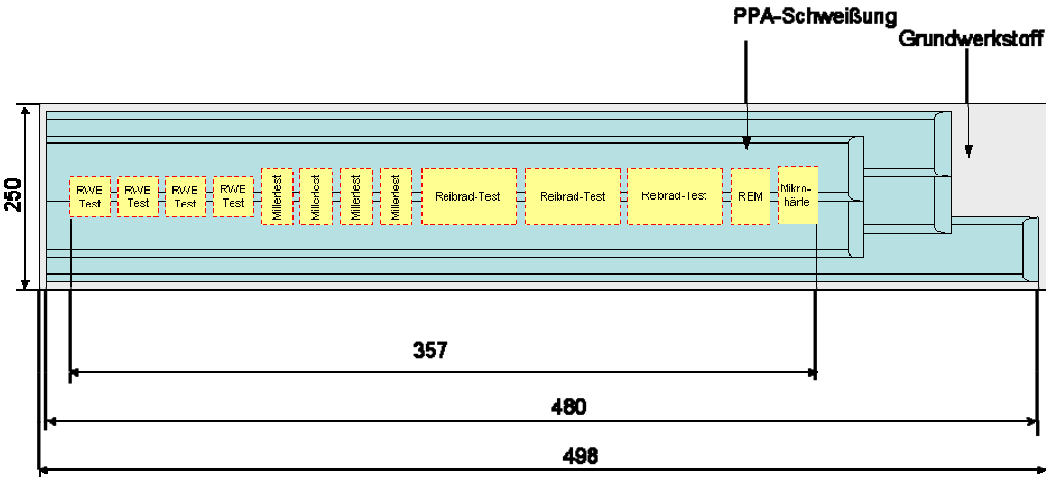

Bild 4: Ausarbeitungsplan für die Entnahme der zu untersuchenden Proben

2 Ausblick auf die geplanten Arbeiten

Folgende Arbeitsschritte sind zu realisieren:

- Durchführung und Auswertung der Verschleißuntersuchungen
- Korrelation der Verschleißergebnisse mit den Ergebnissen der lichtmikroskopischen Voruntersuchungen der Beschichtungen
- Diskussion der Versuchsergebnisse und Erstellung des Abschlussberichtes.

3 Sitzungen des Projektbegleitenden Ausschusses

Die bereits erfolgten und geplanten Sitzungen des PBA sind in der Tabelle 5 zusammengestellt.

Tabelle 5: Angaben zu den Sitzungen des PBA

Sitzung	Ort	Datum
1. Sitzung	Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg	18.06.2007
2. Sitzung	SLV Duisburg	30.10.2007
3. Sitzung	TU Chemnitz	05.03.2008
4. Sitzung	DVS Düsseldorf	29.10.2008
5. Sitzung	Ort und Datum werden nach Rücksprache mit den PBA-Mitgliedern abgestimmt	

4 Durchführende Forschungsstelle

Institut für Werkstoff- und Fügetechnik / Lehrstuhl Fügetechnik (IWF/FT)
Universitätsplatz 2
39106 Magdeburg
Tel.: 0391 / 67-18613
Fax: 0391 / 67-12037
E-Mail: iwf@uni-magdeburg.de

Leiterin der Forschungsstelle:

Frau Prof. Dr.-Ing. I. Martinek

Projektleiterin:

Frau Dr.-Ing. A. Hübner

Projektbearbeiter:
Herr Dipl.-Ing. A. Böbe
Herr Dipl.-Ing. E. Schirinow