

**Beitrag zum Elektronenstrahl-Randschicht-
härten in Kombination mit einer
PVD-Hartstoffbeschichtung**

Gundis Elisabeth Grumbt

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	1
2	STAND DER WISSENSCHAFT UND TECHNIK	3
2.1	Verfahren und Ziele der Randschichtbehandlung	3
2.2	Beschichtung mittels physikalischer Gasphasenabscheidung (PVD) – Prozessparameter und resultierende Struktur-/Gefüge- und Eigenschaftsbeziehungen	5
2.2.1	Verfahrensvarianten und Vergleich	5
2.2.2	Chemische Zusammensetzung von $Ti_{1-x}Al_xN$ und deren Auswirkungen	8
2.2.3	Prozessbedingte Einflussgrößen auf Mikrostruktur und Eigenschaften der PVD- Hartstoffschichten	9
2.2.4	Schichtaufbau von $Ti_{1-x}Al_xN$ -Schichten	13
2.2.5	PVD-Schichten auf „weichen“ Substratwerkstoffen	15
2.3	Randschichthärten mittels energiereicher Strahlung	17
2.3.1	Verfahrensdefinition und Einteilung	17
2.3.2	Strahlführungstechniken zum Elektronenstrahlhärten	19
2.3.3	Wechselwirkungen Elektronenstrahl/Substrat	21
2.3.4	Einfluss des Elektronenstrahlhärrens auf Struktur, Gefüge und Härte	29
2.4	Kombinierte Randschichtbehandlung	34
2.4.1	Definition und Zielstellung von Kombinationsverfahren	34
2.4.2	Kombinationsverfahren mit PVD-Hartstoffschichten	36
2.4.3	Spezielle Aspekte der Kombination PVD + EBH	40
3	SCHLUSSFOLGERUNGEN AUS DEM STAND DER TECHNIK UND ABLEITUNG DER AUFGABENSTELLUNG	46
4	EXPERIMENTELLE VORGEHENSWEISE	48
4.1	Werkstoffe und Probenvorbereitung	48
4.2	Elektronenstrahlhärten	48
4.3	Hartstoffbeschichtung (PVD)	52
4.4	Untersuchungsmethoden	53
4.4.1	Visuelle Bewertung und Rissdetektion	53
4.4.2	Messung der Oberflächendeformation und Rauheit	53
4.4.3	Gefügecharakterisierung	55
4.4.4	Bestimmung der chemischen Zusammensetzung	56
4.4.5	Röntgenfeinstrukturanalyse	57
4.4.6	Härtemessung	58
4.4.7	Bewertung der Schichthaftung	60
4.4.8	Verschleißmessungen	61
4.4.9	Dilatometrische Messungen	64
5	DEFINITION DER RANDBEDINGUNGEN	65
5.1	Auswahl eines geeigneten PVD-Schichtsystems	65
5.2	Ergebnisse zum Elektronenstrahlhärten	69
5.2.1	Aufbau der EBH-Randschicht	69
5.2.2	Einfluss der EB-Parameter beim Härten mit oberflächenisothermer Energieübertragung auf die Leistungsdichte	71

6	ERGEBNISSE UND DISKUSSION ZUR VERFAHRENSKOMBINATION PVD + EBH	76
6.1	Wirkung der PVD-Schichten auf den Energieeintrag beim EBH und auf das Gefüge und die Eigenschaften der Härteschicht	76
6.1.1	Modell zur Energieabsorption beim EBH unter Berücksichtigung inhomogener Absorptionsschichten	76
6.1.2	Wirkung der chemischen Zusammensetzung der PVD-Schicht auf die Ergebnisse des EBH	80
6.1.3	Wirkung der Schichtdicke der PVD-Schicht auf die Ergebnisse des EBH	83
6.2	Auswirkungen des nachfolgenden Randschichthärtens auf Struktur, Gefüge und Eigenschaften der PVD-Schichten	85
6.2.1	Oberflächentopografie	85
6.2.2	Chemische Zusammensetzung	94
6.2.3	Struktur und Gefüge der PVD-Schichten	102
6.2.4	Eigenspannungen	107
6.2.5	Schichthärte	109
6.2.6	Schädigungsmechanismen und deren Vermeidung	111
6.2.7	Haftfestigkeit und Stützwirkung des Substrates	118
6.2.8	Reibungs- und Verschleißverhalten	125
7	ZUSAMMENFASSUNG	133
8	AUSBLICK	137
	LITERATURVERZEICHNIS	138