

Dipl.-Ing. Stefan Zimmermann, Reinbek

**Hochgeschwindigkeits-
Flammspritzen von
Molybdän –
Charakterisierung des
Spritzprozesses und der
Schichteigenschaften**

Reihe **5**: Grund- und Werkstoffe

Nr. **488**

Inhaltsverzeichnis	<u>Seite</u>
Symbolverzeichnis	VIII
1. Einleitung	1
2. Grundlagen und Kenntnisstand	4
2.1 Thermischer Spritzprozeß	4
2.2 Verfahren des thermischen Spritzens	7
2.3 Hochgeschwindigkeits-Flammspritzen	11
2.3.1 Spritzsysteme	11
2.3.2 Brenngase	15
2.4 Molybdän als Spritzwerkstoff	17
2.4.1 Oxidation und Sauerstofflöslichkeit von Molybdän	17
2.4.2 Technologische Eigenschaften von Molybdänschichten	18
3. Ziel der Arbeit und experimentelle Vorgehensweise	21
4. Experimentelle Methoden	23
4.1 Durchführung der Spritzversuche	23
4.1.1 Spritzsysteme und Brenngase	23
4.1.2 Spritzwerkstoffe und Substrate	23
4.1.3 Einstellen der Spritzparameter und Bestimmung von Auftragsraten	25
4.1.4 Herstellen der Schichten und Auffangen von Spritzpartikeln	25
4.2 Untersuchungen der Mikrostruktur und der chemischen Zusammensetzung von Pulvern und Schichten	26
4.2.1 Gefügeuntersuchungen im Licht- und im Rasterelektronenmikroskop	27
4.2.2 Röntgenfeinstrukturuntersuchung zur Identifizierung der Phasen und zur Bestimmung von Gitterkonstanten	29
4.2.3 Wärmebehandlung von Molybdänschichten	30

4.2.4	Bestimmung des Sauerstoff- und des Kohlenstoffgehaltes	31
4.3	Untersuchung der mechanischen und tribologischen Eigenschaften	32
4.3.1	Bestimmung der Härte und der Haftzugfestigkeit	32
4.3.2	Duktilitätsprüfung an beschichteten Kolbenringen	32
4.3.3	Tribologische Prüfverfahren	33
5.	Versuchsergebnisse	35
5.1	Mikrostruktur von Pulvern und Spritzpartikeln	35
5.1.1	Reine und voroxidierte Molybdänpulver	35
5.1.2	Mo ₂ C-haltige Pulver	38
5.2	Auftragsleistungen bei verschiedenen Spritzparametern	38
5.3	Mikrostruktur und chemische Zusammensetzung der Schichten	41
5.3.1	Schichten aus reinen und voroxidierten Molybdänpulvern und -drähten	41
5.3.2	Schichten aus Mo ₂ C-haltigen Molybdänpulvern	44
5.3.3	Schichten aus Molybdänpulvern mit Zusatz einer selbstfließenden NiCrBSi-Legierung	46
5.3.4	Wärmebehandlung der Spritzschichten	47
5.4	Mechanische Eigenschaften von Molybdänschichten	48
5.4.1	Härte	48
5.4.2	Haftzugfestigkeit und Duktilität	49
5.5	Tribologisches Verhalten der Schichten	50
5.5.1	Verschleiß unter abrasiver Beanspruchung	50
5.5.2	Reibungsverhalten der Schichten	52
6.	Diskussion	54
6.1	Metallkundliche Vorgänge im Spritzprozeß	54
6.1.1	Schmelzen und Oxidieren von Molybdänpartikeln in der Flamme	54
6.1.2	Oxidation der Molybdänpartikel nach dem Aufprall auf dem Substrat	56

6.2	Charakterisierung der Hochgeschwindigkeits-Flammspritzsysteme und der Brenngase	57
6.2.1	Systeme	57
6.2.2	Brenngase	60
6.3	Gefüge und Eigenschaften der Schichten	62
6.4	Vergleich der Schichten mit Drahtflam- und Plasmaspritzschichten	64
6.5	Empfehlungen für das Hochgeschwindigkeits-Flammspritzen hochschmelzender Werkstoffe	65
7.	Zusammenfassung	68
8.	Tabellen	71
9.	Bilder	77
10.	Schrifttum	118