

Neben den Maßnahmen zur Vermeidung der Strahleneinwirkung auf den Körper kann das Tragen von Augenschutzvorrichtungen erforderlich sein. Dabei sind Rosé-Gläser und Heliosal-Gläser (Absorption im sichtbaren Bereich beachten) geeignet.

Die hohe Oberflächentemperatur, vor allem durch die Hochdruckstrahler verursacht, bedeutet bei Kontakt mit der ungeschützten Haut eine Verbrennungsgefahr. Beim Betrieb soll daher durch Beschränkung des Lichtspalts zwischen Strahler und Objekt ein Hineingreifen ausgeschlossen werden. Lampenwechsel darf nur in ausgeschaltetem und abgekühltem Zustand erfolgen. Durch vorbildliche Ordnung und Sauberkeit am Arbeitsplatz ist zu vermeiden, daß leicht brennbare Materialien (Papier, Pappe) im Strahlungsbereich liegen. Damit werden mögliche Brände vermieden. Während des Betriebs der Strahler ist aus Gründen von Explosionsgefahren die Verwendung leicht siedender brennbarer Reinigungsmittel (z. B. Aceton) verboten.

Aus der Verwendung des Photoinitiators RO ergeben sich keinerlei zusätzliche Forderungen. Beachtenswert ist jedoch, daß durch katalytische Effekte oder ungünstige Lagerbedingungen eine Eigenpolymerisation vorge-mischter Reaktionsharzmassen ausgelöst werden kann. Dabei tritt eine Polymerisationswärme von 250 kJ/K auf. Normalerweise beträgt die Lagerstabilität nach [6] für

- Reaktionsharzmasse + RO-Komponente A 3 Monate
- Reaktionsharzmasse + RO-Komponente B 120 h

- Reaktionsharzmasse + RO-Komponenten A + B 100 h.

Die angegebenen Zeiten sind dabei Mindestwerte. Weitere arbeitsschutztechnische Besonderheiten ergeben sich aus dem Vorhandensein von Styren als Lösungsmittel im ungesättigten Polyesterharz. Davon verdampfen bei Raumtemperatur bei konventioneller Härtung mit Peroxiden etwa 160 bis 180 g/h · m<sup>2</sup> Styren. Das bedeutet ohne Absaugung eine brandschutztechnische Gefährdung, da die untere Explosionsgrenze für Styren-Luft-Gemische überschritten werden kann (Explosionsbereich 1,1 bis 8,0% Volumenanteil bzw. 51 bis 434 g/m<sup>3</sup>). Aus diesem Grund sind Be- und Entlüftungsanlagen erforderlich, die einen 10- bis 20fachen Luftwechsel garantieren.

Bei der schnellen Polymerisation durch die photochemische Härtung (Reaktionszeit 5 bis 7 min) sind derartige Styrenkonzentrationen nicht möglich. Bei dieser Technologie verdampfen nur noch etwa 10 bis 20 g/h · m<sup>2</sup> Styren [6].

Bei einer Annahme von 1 m<sup>3</sup> Luftvolumen je Bestrahlungseinheit und einfachem Luftwechsel je Stunde (stellt sich durch Luftströmung aufgrund der Temperaturunterschiede selbständig ein) wird schon die untere Explosionsgrenze von Styrendampf von 51 g/m<sup>3</sup> Luft um über 50% unterschritten. Damit kann aus brandschutztechnischer Sicht die normale Arbeitsraumbelüftung und -entlüftung als ausreichend angesehen werden.

#### 4. Zusammenfassung

Mit der Entwicklung neuer Typen und Verarbeitungsverfahren bei Epoxidharzen, Polyurethanen und ungesättigten Polyesterharzen wurde langjährigen Forderungen, vor allem des Instandsetzungswesens, entsprochen. Es werden bessere mechanische Festigkeitswerte der Endprodukte erreicht. Gleichzeitig kann der Zeitaufwand bei der Verarbeitung gesenkt werden. Erhebliche Verkürzungen der Reaktionszeit sind möglich. Die Einsparungen an Kosten und Material sind bedeutend. Gleichzeitig verbessern sich die Arbeitsbedingungen der Werk tätigen in den KGL-Werkstätten.

#### Literatur

- [1] Bongardt, J.; Schröder, K.; Kunkel, U.: Regenerierung verschlissener Maschinenteile durch Plastauftragung. Maschinenbautechnik, Berlin 34 (1985) 1, S. 23-25.
- [2] Puttscher, R.; Stibbe, J.; Kanzler, S.: Stand und Perspektiven der Anwendung von Plastwerkstoffen bei der Einzelteilinstandsetzung. agrartechnik, Berlin 31 (1981) 5, S. 224-226.
- [3] Ruhsland, K.: Härtungsbeschleuniger für Epasol FV/ZIS939. Schweißtechnik, Berlin 33 (1983) 4, S. 168-170.
- [4] Anordnung über den Einsatz von Polyurethanen - Staatliche Einsatzbestimmung vom 27. März 1985, GBl. der DDR Teil I, Nr. 11, vom 30. April 1985.
- [5] Koch, K.; Möckel, P.: Photohärtende Klebstoffe und Spachtelmassen. Plaste und Kautschuk, Leipzig 30 (1983) 1, S. 30-31.
- [6] Autorenkollektiv: Grunddokumentation zum „strahlenchemischen Härtungsverfahren“. Kombinat VEB Chemische Werke Buna, 1983. A 4526

## Metallpulver-Flammspritzen - Reparaturtechnologie für kleine Werkstätten

Dr.-Ing. E. Kretzschmar, KDT/Dipl.-Ing. W. Satke, Zentralinstitut für Schweißtechnik der DDR (ZIS) Halle (Saale)

### 1. Stand der Technik

Durch Verfahren des thermischen Spritzens besteht die Möglichkeit, verschlissene Teile wieder aufzuarbeiten und Neuteile mit verschleißbeständigeren Schichten zu versehen. Der Vergleich der Spritzverfahren in Tafel 1 zeigt, daß das Pulver-Flammspritzen ein geeignetes Verfahren für die Aufarbeitung von Teilen in kleinen Reparaturwerkstätten darstellt. Die Betriebs- und Anlagenkosten sind gering, und durch Variieren der Zusatzwerkstoffe können die wesentlichen Anwendungsfälle des Verschleißschutzes bearbeitet werden. Es besteht bereits die Möglichkeit, mit Pulver-Flammspritzpistolen Metallpulver aufzuspritzen [1]. Nachteile dieser Pistolen sind der komplizierte Aufbau für die zentrische Pulverzuführung und die damit verbundenen relativ hohen Kosten. Die Pulver-Flammspritzpistolen ermöglichen die Einstellung verschiedener Pulvermengen. Aus Leistungsgründen wird oft eine größere Pulvermenge eingestellt, als die Flamme aufschmelzen kann. Dies wiederum bedingt eine lockere Spritzschicht mit nur geringer Verschleißbeständigkeit.

Für das Aufspritzen von Schichten auf verschlissene Drehteile mit Gleitlagerstellen,

Simmerringlaufflächen und Festsitzen mit und ohne Reiboxydation werden im Ausland hoch nickelhaltige und damit teure sowie umweltbelastende Legierungen verwendet.

### 2. Aufgabenstellung

Für die relativ einfache und schnelle Reparatur von verschlissenen rotationssymmetrischen Maschinenteilen in kleinen Werkstätten waren die Voraussetzungen zu schaffen. Dazu sollte ein einfacher Pulver-Flammspritzbrenner entwickelt werden, der auf serienmäßig hergestellten Teilen eines Gasbrenners basiert und dem nur die Menge an Spritzpulver konstant zugeführt wird, die in der Flamme tatsächlich aufgeschmolzen werden kann.

Für die vorliegenden Oberflächenbeanspruchungsfälle waren jeweils günstige Legierungen auszuwählen, die Herstellung der Pulver und die damit aufgetragenen Spritzschichten waren zu untersuchen.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1. Pulver-Flammspritzbrenner ZIS 13-01

Das Bild 1 zeigt den Pulver-Flammspritzbrenner ZIS 13-01 beim Aufspritzen einer Welle

an einer einfachen, im ZIS Halle mit Baueinheiten des Montagebaukastens ZIS 10-10 aufgebauten Spritz-Drehvorrichtung.

Der Spritzbrenner wird durch folgende Merkmale charakterisiert:

- Gewährleistung des Pulver-Flammspritzens mit rieselfähigen, metallischen Pulvern bis zu einer Korngröße von 0,125 mm
- einfacher Aufbau (Verzicht auf Injektoreinrichtungen für die Pulverzufuhr) und Verwendung des Schweißbrennergriffstücks ZIS MWW 520 für Azetylen und Sauerstoff
- während des Spritzens nur Ein- und Ausstellen des Pulverstroms möglich und damit einfache Handhabung
- Gewährleistung einer einfachen Herstellbarkeit
- Verwendung einer zusätzlichen Druckluftdüse, um dichtere Spritzschichten durch Bilden einer Druckluftpülle um den Spritzstrahl sowie eine Kühlung des Werkstücks zu erreichen.

#### 3.2. Spritzpulver und Spritzschichteigenschaften

In Tafel 2 sind die Zusammensetzung der

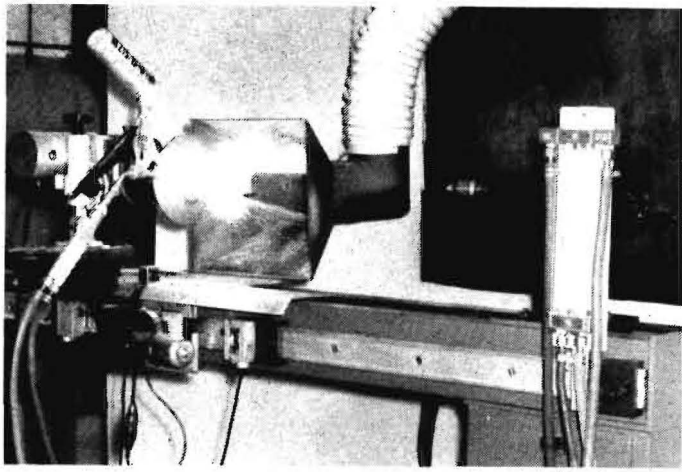


Bild 1. Pulver-Flammspritzbrenner ZIS 13-01 (Entwicklungsmuster 03/85) beim Aufspritzen einer Welle mit Chromstahlpulver, eingespannt in ZIS-Spritz-Drehvorrichtung

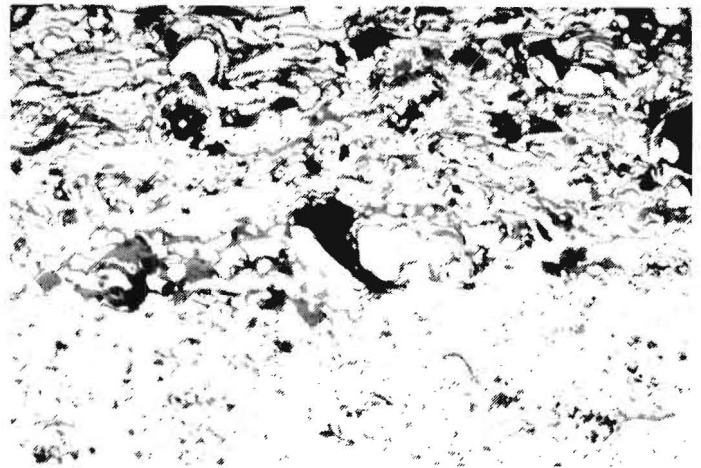


Bild 2. Ungeätzter Querschliff (Vergrößerung 100:1) eines Spritzschichtgefüges bei der Beschichtung einer Welle mit dem UL-Pulver ZIS 13-38 (oben: ohne Druckluft gespritzt, unten: mit Drucklufthülle gespritzt, Druck 0,2 MPa, Durchsatz etwa 10 m<sup>3</sup>/h); helle Bestandteile Metallteilchen, graue Bestandteile Oxidfilme und -einschlüsse, dunkle Bestandteile Mikroporen und -hohlräume

entwickelten und bisher untersuchten Metallspritzpulver und der jeweilig vorgesehene Verwendungszweck angegeben.

Versuche mit Metall (AlSn20): Spritzschicht-Mangelschmier-Gleit-Verschleiß zeigten, daß die Chromstahlschicht einen etwa 15% geringeren Gesamtverschleißbetrag gegenüber C 35 ungehärtet aufweist [2]. Mit anderen Gegenmaterialien (z. B. Bleibronze) werden höhere Verschleißbeständigkeiten erzielt.

Ein Strahlen der Stahloberfläche und eine Haftgrundspritzung mit Cu84Al10Fe4Mn2-Pulver ergaben Haftscherfestigkeiten von 35 N/mm<sup>2</sup>.

Die Bindung der Metallteilchen am Haftgrund (Oberfläche der Stahlwelle) erfolgt durch physikalisch-mechanisch wirkende Kräfte (Adhäsion, Kohäsion, mechanische Verankerung und Schrumpfkkräfte) [1]. Die Verbindung der Teilchen untereinander beruht im wesentlichen auf teilweisem Verschweißen bzw. Versintern (Kohäsion), mechanischem Verankern und Verklammern, Bindung durch dünne Oxidschichten (evtl. Lötung) und Schrumpfkkräfte [1].

Das Spritzgefüge enthält Oxidfilme und -einschlüsse. Die Oxide entstehen durch das Spritzen in der normalen Atmosphäre bzw. bereits bei der Pulverherstellung. Außerdem weisen die Schichten Mikroporen und -einschlüsse auf, die durch Gaseinschlüsse bzw. durch nicht vollständige Raumauffüllung bei der Schichtbildung entstehen. Flammgespritzte Schichten sind spröde und mit Gußmaterial vergleichbar, dies gilt auch für die zu erreichende Zugfestigkeit und Dehnung.

Die Entwicklung der Pulver, deren Herstellung durch Druckwasserzerstäuben im VEB Eisenhüttenwerk Thale erfolgen wird, ist noch nicht abgeschlossen.

Für die Anwendung des Pulver-Flammspritzens sind für das Jahr 1986 folgende Materialien vorgesehen:

- HT für Haftgrundspritzungen und für Festsitze mit Tribokorrosion (Mehrstoffaluminiumbronze)
- FO für Festsitze ohne Tribokorrosion (niedriglegierter bzw. unlegierter Stahl mit mittlerem C-Gehalt)
- GS für Gleitlagerstellen und Simmerringlauflächen (Chromstahl)

Tafel 1. Übersicht über Spritzverfahren für den Verschleißschutz

Spritzverfahren	Spritzleistung kg/h	Schichtdicke mm	Anlagenkosten	Bemerkungen/Besonderheiten
Draht-Flammspritzen	rd. 2 <sup>1)</sup>	1...2 (5)	niedrig	Haftgrundspritzen nur mit Mo- bzw. Al-Ni-Verbunddraht möglich, viel Druckluft erforderlich
Pulver-Flammspritzen	rd. 2 <sup>1)</sup>	0,3...2	niedrig	einfaches Verfahren, kein oder kein großer Verdichter erforderlich
Draht-Lichtbogenspritzen	5...20 <sup>1)</sup>	0,1...10 (20)	mittel bis hoch	Haftgrundspritzen schnell und einfach möglich, hohe Haftzug- und Haftscherfestigkeiten erreichbar
Pulver-Plasma-spritzen	rd. 2 <sup>2)</sup>	...0,5	hoch bis sehr hoch	Haftgrundspritzen möglich
Detonations-spritzen	rd. 2 <sup>2)</sup>	...0,5	sehr hoch	Spritzschichtdichte 98%, Haftfestigkeit über 200 N/mm <sup>2</sup> , für Hartstoffspritzen sehr gut geeignet, Fernsteuerung ist Bedingung

1) für Stahl, 2) für Hartmetall

- UL für universellen Einsatz an Festsitzen, Gleitlagerstellen, Simmerringlauflächen (Mehrstofflegierung auf Ni-Basis).

### 3.3. Spritztechnologie

Die Technologie sieht folgende Arbeitsgänge vor [3]:

- Reinigen des zu behandelnden Teils von Schmutz und Öl
- Ermitteln der Oberflächenbeanspruchung und Festlegen des Spritzpulvers
- Egalisieren des Verschleißes, Vordrehen oder Abschleifen auf Untermaß; Abdecken von nicht zu spritzenden Nachbarbereichen mit Blechhülsen, Gummi, Lehm- oder Ölböhrungen mit Gummistopfen
- Strahlen mit sauberem Strahlkorund mit

einer Korngröße von 0,5 bis 1 mm (Hersteller: VEB Elektroschmelze Zschornowitz, Bezirk Leipzig) mit Freistrahlbläse oder mit Injektorstrahlpistole (Hersteller: VEB Pentacon, Abt. VD.G, 8021 Dresden, Schandauer Str. 76)

- anstelle des Strahlens kann auch ein Rauh-drehen oder -schleifen erfolgen; Rauhgewinde [3] ist anwendbar, wenn das Bauteil nicht dynamisch belastet wird
- Haftgrundspritzen mit HT-Pulver unmittelbar nach dem Strahlen oder der mechanischen Haftgrundvorbereitung, mindestens aber noch innerhalb von 4 Stunden
- Vorwärmen der Teile auf eine Temperatur von etwa 100°C mit der Flamme, beim Spritzen Spritzabstand von rd. 80 mm und Schichtdicke von etwa 0,1 mm einhalten

Tafel 2. Untersuchte Metallspritzpulver

Spritzwerkstoff	Vickershärte der Spritzschicht HV30	vorgesehener Verwendungszweck
Cu84Al10Fe4Mn2 (ZIS 12-92)	120	für die Haftgrundspritzung und zur Verminderung von Tribokorrosion
25CrMnTi9.8 (ZIS 463)	390	universell
X35CrMnSiV16.3.1 (ZIS 13-05)	350	für Gleitlager und Simmerringlauflächen
Ni73Cr18Fe8Si1 (ZIS 13-38)	425	universell



Bild 3. Pulver-Flammspritzung einer Welle mit Chromstahlpulver ZIS 13-05 (GS); links: gedreht, Mitte: gespritzt, rechts: gestrahlt

(Foto: B. Birnbaum)

- Deckschichtspritzen mit dem für den Oberflächenbeanspruchungsfall erforderlichen Pulver unter den Bedingungen
  - Sauerstoffdruck 0,25 MPa
  - Azetylendruck 0,05 MPa
  - Flammen-einstellung neutral (nur bei HT-Pulver mit O<sub>2</sub>-Überschuß!)
- Werkstückum-fangsgeschwin-digkeit 20 m/min
- Brennvor-schubgeschwin-digkeit 4 mm/U
- Spritzabstand 175 bis 200 mm
- Bearbeiten der Spritzschicht gemäß Abschn. 3.4. oder [3]
- erforderliche Feinstbearbeitung kann durch MHK-Polierwerkzeug erfolgen (Hinweise: VEB Prüf- und Versuchsbetrieb Charlottenthal, Bezirk Schwerin)
- Tränken der mikroporösen Spritzschicht mit Öl, bei angewärmtem Teil 1 Stunde, sonst mindestens 6 Stunden.

### 3.3.1. Untersuchte Spritzbedingungen

Die Drehzahl des Werkstücks und die Vorschubgeschwindigkeit des Spritzbrenners haben den größten Einfluß auf die Schichtqualität (zu gering: Überhitzung und Abplatzen der Schicht; zu groß: erhöhter Spritzverlust).

Der Brenner ermöglicht eine Verarbeitung von etwa 2 kg Spritzpulver je Stunde.

Bei Verwendung der zusätzlichen Druckluftdüse wird die starke Bauteilaufheizung vermieden und eine dichtere Schicht erzielt. Die Gegenüberstellung von Spritzschichtgefüge mit und ohne zusätzliche Druckluftbeschleunigung zeigt Bild 2.

### 3.3.2. Erforderliches Zubehör zum Spritzen

Spritz-Drehvorrichtung  
Dazu sind ältere, nicht staubempfindliche Drehmaschinen oder die teilautomatische Metallspritzmaschine für rotationssymmetri-

sche Teile des VEB Prüf- und Versuchsbetrieb Charlottenthal verwendbar.

Auf der Basis des Montagebaukastens ZIS 10-10 soll nach 1986 die einfache Spritz-Drehvorrichtung im ZIS weiterentwickelt werden.

#### Absaugvorrichtung

Exhaustor mit einem Luftdurchsatz von etwa 3000 m<sup>3</sup>/h. Die Rohrleitung und der mitfahrende Trichter befinden sich hinter dem zu spritzenden Werkstück.

Nachtrocknung feucht gewordener Pulver  
Zur Nachtrocknung wird das Pulver 3 Stunden bei einer Temperatur von 120°C in einem Elektrodentrockenschrank gelagert.

#### Druckluft

Zur Kühlung und zusätzlichen Teilchenbeschleunigung wird ein Verdichter mit einem Durchsatz von mindestens 5 m<sup>3</sup>/h bei einem Druck von mehr als 0,2 MPa benutzt.

### 3.4. Bearbeitung

Die Spritzschichten wurden auf ihre Bearbeitbarkeit untersucht. Die Bearbeitungsparameter enthält Tafel 3. Der Radius der Drehmeißelspitze betrug in allen Fällen etwa 0,5 mm, die Spantiefe beim Schruppen 0,5 mm und beim Schlichten 0,1 mm. Bild 3 zeigt eine Welle mit der Bearbeitungsfolge.

## 4. Zusammenfassung und

### Schlußfolgerungen für die Einführung des Metallpulver-Flammspritzens

Für das einfache und kostengünstige Aufbereitungsverfahren Metallpulver-Flammspritzen wurden der Pulver-Flammspritzbrenner ZIS 13-01 und die dazugehörigen Pulver entwickelt. Damit ist es möglich, rotationssymmetrische Teile in kleinen Werkstätten in der Nähe des Ausfallortes zu regenerieren. Für die Hauptanwendungsfälle des Verschleißschutzes von Gleitlagerstellen, Simmerringaufläufen und Festsitzen stehen Metallspritzpulver zur Verfügung. Der Pulver-Flammspritzbrenner ZIS 13-01 zeichnet sich

durch eine leichte Handhabung aus. Er wird ab 1986 im VEB Mechanische Werkstätten Stadtroda, Bezirk Gera, hergestellt. Das komplette System, bestehend aus Pulver-Flammspritzbrenner ZIS 13-01 und den Spritzpulvern, verpackt in einem Werkzeugkoffer, kann ab Mitte 1986 vom Zentralinstitut für Schweißtechnik der DDR Halle, 4030 Halle (Saale), Köthener Str. 33a, bezogen werden.

Bis zu diesem Zeitpunkt führt der VEB Prüf- und Versuchsbetrieb Charlottenthal zusammen mit landwirtschaftlichen Betrieben Erprobungsversuche an verschlissenen Bauteilen durch. Die Erfahrungen werden dem ZIS Halle mitgeteilt, so daß evtl. erforderliche Änderungen berücksichtigt werden können.

Die notwendig werdende Ausbildung am neuen Pulver-Flammspritzbrenner wird vom ZIS Halle in Zusammenarbeit mit dem VEB Prüf- und Versuchsbetrieb Charlottenthal organisiert. Entsprechend dem Standard TGL 2847/28 [4] und den Richtlinien der KDT und des ZIS Halle R3.28 ist für Werk tätige ohne Gasschweißerprüfung oder Brennschneider-nachweis eine fünftägige Ausbildung erforderlich. Liegt die Gasschweißer- oder Brennschneiderausbildung vor, ist zur Ablegung des Prüfungsnachweises für das Pulver-Flammspritzen eine dreitägige Ausbildung notwendig [5].

Tafel 3. Richtwerte für die Bearbeitung flammgespritzter Schichten

Spritzwerkstoff	Bearbeitungsparameter der Drehmeißel Werkzeug- qualität	Realwerte								
		Sollwerte			Schichten					
		Frei- winkel	Span- winkel	Spitzen- winkel	n	v <sub>0</sub>	v <sub>s</sub>	n	v <sub>0</sub>	v <sub>s</sub>
°	°	°	U/min	m/min	mm/U	U/min	m/min	mm/U		
25CrMnTi9.8	HG 20	5	6	80	140	20	0,13	140	20	0,08
X35CrMnSiV16.3.1	HG 10	5	6	80	140	20	0,13	140	20	0,08
Cu84Al10Fe4Mn2	HG 20	8	10	80	560	60	0,2	560	60	0,08
Ni73Cr18Fe8Si1	HG 10	5	6	80	140	20	0,1	140	20	0,05

n Werkstückdrehzahl, v<sub>0</sub> Schnittgeschwindigkeit, v<sub>s</sub> Vorschubgeschwindigkeit

## Literatur

- [1] Kretzschmar, E.: Metall-, Keramik- und Plast-spritzen. Berlin: VEB Verlag Technik 1970.
- [2] Schädlich, J.: Eigenschaften flammgespritzter Schichten aus pulverförmigen Legierungen. Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List“ Dresden, Ingenieurbeleg Nr. 316, 1985 (unveröffentlicht).
- [3] ZIS/KDT-Schweißtechnische Richtlinien „Thermisches Spritzen“. Berlin: VEB Verlag Technik 1983.
- [4] ZIS/KDT-Schweißtechnische Richtlinie R3.28 für die Vorbereitung und Durchführung der Pulver-Flammspritzprüfung nach TGL 2847/28. (Entwurf 4.85, unveröffentlicht).
- [5] TGL 2847/28 Prüfungen für das Thermische Spritzen. (Entwurf, unveröffentlicht).
- [6] Schulz, W.-D., u. a.: Bezugsquellennachweis Thermisches Spritzen im Heft 38/39 „Korrosions- und Verschleißschutz durch Thermisches Spritzen von Metallen, Metalloxiden und Hartstoffen“. Zentralstelle für Korrosionsschutz Dresden 1982. A 4511