

Mathesius · Krömmer

Praxis des thermischen Spritzens

Anleitung für das Fachpersonal

2., aktualisierte Auflage

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar.

**Die Schweißtechnische Praxis
Band 37**

ISBN 978-3-945023-00-6

Alle Rechte vorbehalten.

© DVS Media GmbH, Düsseldorf · 2014

Herstellung: rewi Druckhaus, Reiner Winters GmbH, Wissen/Sieg

Vorwort zur 2. Auflage

Der Inhalt dieses Buches ist aus einer Sammlung von Erfahrungen entstanden, die über zahlreiche Jahre bei der Ausbildung von thermischen Spritzern zum European Thermal Sprayer (ETS) und bei vielen Jahren eigener Praxis in Beschichtungsbetrieben entstanden sind.

Die Praxis des thermischen Spritzens in allen Aspekten darzustellen und zu erläutern, ist ein schwieriges Unterfangen. Auf dem Weg zur Formulierung haben die jeweiligen Beschreibungen fast den Charakter eines Nachschlagewerkes angenommen. So sind im Text der einzelnen Kapitel Wörter mit * gekennzeichnet, deren Erklärungen im Glossar zu finden sind. Vielleicht spürt auch der Leser, dass vieles doch schwerer auszudrücken ist, als es sich augenscheinlich darstellt.

Unser Dank gilt allen, die uns bei diesem Buch durch Rat und Tat geholfen haben. Dieser Dank gilt vor allem Frau A. Ohliger-Volmer und Herrn R. Huber, die unermüdlich Material und Berichte zur Verfügung gestellt haben. Weitere Informationen, Fotos und Hinweise sind nachfolgenden Firmen und Institutionen zu verdanken:

ElektroPhysik Dr. Steingoever GmbH & Co. KG, Köln
Gemeinschaft Thermisches Spritzen e. V. (GTS), Unterschleißheim
GTV Verschleißschutz GmbH, Luckenbach
Ibeda Sicherheitsgeräte & Gastechnik GmbH & Co. KG, Neustadt/Wied
Linde AG, Unterschleißheim
Munk + Schmitz Oberflächentechnik GmbH & Co. KG, Köln
Oerlikon Metco Europe GmbH, Hattersheim
Praxair Surface Technologies GmbH, Ratingen
Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt SLV München, Niederlassung der GSI mbH, München
H. C. Starck GmbH, Goslar
Struers GmbH, Willich
Thermico GmbH & Co. KG, Dortmund
Wheelabrator Group GmbH, Metelen
Zierhut Messtechnik GmbH, München

Des Weiteren danken wir dem Lektor von DVS Media, Herrn Lothar Knittel, und Herrn Dr.-Ing. Hellmuth Behnisch, die mit ihren Erfahrungen keinen geringen Anteil an der Endfassung des Buches haben.

Wir freuen uns über die Verwirklichung dieses Buches. So helfen wir mit, ein wichtiges Ziel zu erreichen: *Das Beschichten von Bauteilen mit thermischen Spritzverfahren sollte nur durch Fachpersonal ausgeführt werden!*

Der große Erfolg der 1. Auflage, den dieses Buch in der Fachwelt erfahren hat, macht nun eine 2., aktualisierte Auflage notwendig. Zusätzlich gibt es auch noch eine englische Ausgabe bei DVS Media, die international Anerkennung finden möge.

Wolfenbüttel und Landshut, im August 2014

Hans Mathesius und Werner Krömmer

Geleitwort

Der Mut, in der heutigen und schnelllebigen Zeit, ein Fachbuch zu schreiben, wurde mit der sehr positiven Resonanz auf die erste Auflage dieses vorliegenden Buches belohnt. Den beiden Autoren ist es hervorragend gelungen, Praxis, Theorie und Stand der Technik des thermischen Spritzens kompakt und übersichtlich zu Papier zu bringen.

Das Buch hat sich mit seinem klaren roten Faden durch die gesamte Technik des thermischen Spritzens als das Nachschlagewerk bei sowohl langjährigen Experten als auch bei Einsteigern unentbehrlich gemacht.

Die Stärke dieser Arbeit ist die umfassende Informationsvielfalt, die mit großem Detailwissen untermauert wird. Ebenso verleiht die sehr gut dargestellte Praxisnähe gepaart mit dem theoretischen Hintergrund der Technik des thermischen Spritzens den verdient hohen Stellenwert in der großen Familie der unterschiedlichen Oberflächenbehandlungsmethoden.

Diese zweite Auflage wurde auf den neuesten Stand gebracht und wie erhofft auch in die englische Sprache übersetzt. Sie ist somit auch weiterhin das aktuelle Nachschlagewerk für die thermischen Spritzer.

Den beiden Autoren Dr. Hans A. Mathesius und Werner Krömmer und der DVS Media GmbH als Verlag herzliche Gratulation zu dieser gelungenen Arbeit.

Unterschleißheim, im August 2014

Peter Heinrich
Mitglied des Vorstandes der
Gemeinschaft Thermisches Spritzen e.V.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

Geleitwort

1	Einführung in das thermische Spritzen	1
1.1	Beanspruchung von gespritzten Bauteilen	1
1.2	Übersicht der verschiedenen Oberflächenbeschichtungen	2
1.3	Verfahrensprinzip des thermischen Spritzens	2
1.4	Anwendungen des thermischen Spritzens	6
2	Vorbereitung zum thermischen Spritzen	7
2.1	Entfetten (chemische Reinigung)	7
2.2	Maskieren (Abdecken) zum Strahlen	8
2.3	Aufräumen zum Beschichten	9
2.3.1	Raudrehen	9
2.3.2	Rauschleifen	10
2.3.3	Strahlen	10
	Allgemeine Grundlagen	10
	Praktische Beispiele	10
	Strahlparameter	10
	Art der Strahlmittel	11
	Pflege der Strahlmittel	12
	Größe und Form der Strahlmittel	12
	Strahlprinzip	13
	Strahlmittel-Rückgewinnung	15
	Strahlendruck, Strahlwinkel und Strahlabstand	16
2.4	Maskierung (Abdeckung) vom Strahlen entfernen	18
2.5	Maskieren zum Beschichten	18
2.6	Nachreinigung	18
3	Grundsätzliches zum thermischen Spritzen	19
3.1	Schichtaufbau und Schichtstruktur	19
3.2	Spritzgerechtes Gestalten von Bauteilen	21
3.3	Relative Spritzgeschwindigkeit	22
3.4	Kühlung	24
3.5	Schutzgasmantel (engl. Shroud)	26
3.6	Fehlerverhütung und Fehler erkennen	26
4	Verfahren des thermischen Spritzens	28
4.1	Drahtflammspritzen	28
	Brennertypen	28
	Spritzzusatzwerkstoffe	29
	Variationen im Brennerzusammenbau	30
	Pflege der Anlagen	30
4.2	Lichtbogenspritzen	33
	Brennertypen	34
	Spritzzusatzwerkstoffe und Schichteigenschaften	37
	Allgemeine Pflege der Brenner	37
	Fehlersuche	39

4.3	Pulverflammspritzen	40
	Kunststoff-Flammspritzen	40
	Brennertypen	42
	Allgemeine Pflege	42
	Spritzzusatzwerkstoffe	43
4.4	Hochgeschwindigkeits-Flammspritzen (HVOF)	43
	Brenngase/Brennstoffe	44
	HVOF-Brennertypen	45
	Spritzzusatzwerkstoffe und Schichteigenschaften	50
4.5	Plasmaspritzen	51
	Plasmagase	52
	Technische Plasmen	53
	Plasmabrennertypen	56
	Komponenten einer Plasmaspritzanlage	59
4.6	Vakuumplasmaspritzen	63
4.7	Detonationsspritzen oder Flammschockspritzen	67
4.8	Kaltgasspritzen	68
5	Nachbehandlung von Spritzschichten	73
5.1	Übersicht der verschiedenen Möglichkeiten	73
5.2	Thermische Nachbehandlung	73
5.2.1	Einschmelzen mit der Flamme	75
5.2.2	Ofensintern	77
5.2.3	Induktionssintern	77
5.3	Mechanische Nachbehandlung	78
5.3.1	Glätten	78
5.3.2	Drehen	78
5.3.3	Schleifen und Honen	79
5.3.4	Polieren und Läppen	79
5.3.5	Verdichtungsstrahlen	80
5.4	Chemische Nachbehandlung	80
5.4.1	Versiegeln	80
5.4.2	Anstriche	81
5.4.3	Beizen	81
5.5	Entschichten (Strippen)	82
6	Werkstoffe und Gase	83
6.1	Grundwerkstoffe	83
6.2	Spritzzusatzwerkstoffe	84
6.2.1	Draht	84
6.2.2	Pulver	85
6.2.3	Übersicht der wichtigsten Spritzzusatzwerkstoffe	89
6.3	Technische Gase	92
6.3.1	Brenngase	93
6.3.2	Plasmagase	96
6.3.3	Kühlgase	96
6.3.4	Trärgase	96
6.3.5	Shroud-gase	96
6.3.6	Bereitstellung, Lagerung und Rohrleitungssysteme	97

7	Qualitätssicherung von Spritzschichten	98
7.1	Wartung, Kalibrieren und Eichen (Justieren) der Anlagen	98
7.2	Prüfen und Messen der Parameter	99
7.3	Prüfen und Messen von Spritzschichten vor, während und nach der Beschichtung	103
	Temperaturmessung	104
	Schichtdickenmessung (Einzelheiten, siehe DIN EN ISO 2064)	104
	Schichtdickenwachstum	106
	Sichtprüfung auf Unregelmäßigkeiten	106
	Rissprüfung (Eindringverfahren, Einzelheiten, siehe DIN EN ISO 3452-1 oder ASTM E 165)	106
	Härtemessung	107
	Biegeprüfung	108
	Metallographischer Schliff (Einzelheiten, siehe Merkblatt DVS 2310)	109
	Bestimmung der Haftfestigkeit	113
	Gitterschnittprüfung (Einzelheiten, siehe DIN EN ISO 2063)	113
	Haftzugfestigkeit (Einzelheiten, siehe DIN EN 582 und ISO 14916)	113
	Haftscherfestigkeit (Einzelheiten, siehe DIN EN 15340)	114
	Prüfung von bestimmten Eigenschaften	114
8	Ausbildung im thermischen Spritzen	116
8.1	Ausbildung und Qualitätssicherung beim thermischen Spritzen	116
8.2	Bedeutung der EWF-Ausbildungsrichtlinien	117
8.3	GTS – Gemeinschaft Thermisches Spritzen	118
8.4	Qualitätsanforderungen an thermisch gespritzte Schichten (DIN EN ISO 14922)	119
8.5	Aufsicht für das thermische Spritzen nach DIN EN ISO 12690	120
8.6	Prüfung von thermischen Spritzern nach DIN EN ISO 14918	121
8.7	ETSS-Ausbildung (European Thermal Spraying Specialist) nach EWF- Richtlinie 459	121
8.8	ETSP-Ausbildung (European Thermal Spraying Practitioner) nach EWF- Richtlinie 592	122
8.9	ETS-Ausbildung (European Thermal Sprayer) nach EWF-Richtlinie 507	122
8.10	Umsetzung und Erfahrungen der Praxis der spritztechnischen Ausbildung	123
9	Mechanisierung und Automatisierung des Spritzprozesses	125
	Teach-In-Verfahren	126
	Playback-Verfahren	126
	Kombination von Portal und Industrieroboter	127
10	Arbeitsschutz und Umweltschutz	129
10.1	Bedeutung des Arbeitsschutzes	129
10.2	Gefahren beim thermischen Spritzen	129
10.2.1	Gefährdungsanalyse	129
10.2.2	Gefährdung durch elektrischen Strom	131
10.2.3	Gefährdung durch Strahlung	133
10.2.4	Gefährdung durch Lärm	134
10.2.5	Gefährdung durch Schadstoffe wie Gase, Rauch oder Stäube	136
10.2.5.1	Definition, Wirkung sowie Grenz- und Richtwerte	136
10.2.5.2	Gefährdung durch Gase	136
10.2.5.3	Gefährdung durch Rauch und Feinstäube	138

10.3	Schutzmaßnahmen zur Gefahrenabwehr	141
10.3.1	Schutzmaßnahmen beim Umgang mit Strom	141
10.3.2	Schutzmaßnahmen beim Umgang mit Strahlen	141
10.3.3	Schutzmaßnahmen beim Umgang mit Lärm	142
10.3.4	Schutzmaßnahmen beim Umgang mit Schadstoffen wie Gase, Rauch oder Stäube	143
10.3.4.1	Schutzmaßnahmen bei Gasen	143
10.3.4.2	Schutzmaßnahmen gegen Rauch und Stäube	147
10.3.4.3	Schutzmaßnahmen beim Umgang mit Robotern	149
10.3.4.4	Schutzmaßnahmen bei den Tätigkeiten vor und nach dem thermischen Spritzen	149
11	Normen, Merkblätter und Richtlinien sowie weitere Regelwerke zum thermischen Spritzen	152
11.1	Normen	152
11.2	Merkblätter und Richtlinien	155
11.3	Weitere Regelwerke	157
Glossar	158