

**Bernd Langer**

**Beitrag zum Verschleißschutz an  
medizinischen Instrumenten  
mit geringem Materialquerschnitt**



Schriftenreihe Fügetechnik / Schweißtechnik  
Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. habil. K.-J. Matthes

**Band 3/99**

**Shaker Verlag**

# **Beitrag zum Verschleißschutz an medizinischen Instrumenten mit geringem Materialquerschnitt**

Von der Fakultät für Maschinenbau und Verfahrenstechnik  
der Technischen Universität Chemnitz  
zu Erlangung des akademischen Grades  
Doktoringenieur (Dr.-Ing.)  
genehmigte Dissertation

von  
Bernd Langer  
aus Illertissen

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. K.-J. Matthes  
Prof. Dr.-Ing. Dr. med. habil. M. Ungethüm  
Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. E.h. H. Herold

Tag der mündlichen Prüfung: 31. Mai 1999  
Tag der Verteidigung: 18. Juni 1999

Schriftenreihe Füge-technik / Schweiß-technik

Band 1/99

**Bernd Langer**

**Beitrag zum Verschleißschutz an medizinischen  
Instrumenten mit geringem Materialquerschnitt**

Shaker Verlag  
Aachen 1999

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

*Langer, Bernd:*

Beitrag zum Verschleisschutz an medizinischen Instrumenten mit  
geringem Materialquerschnitt/Bernd Langer.

- Als Ms. gedr. - Aachen : Shaker, 1999

(Schriftenreihe Fügetechnik/Schweisstechnik; Bd. 99,1)

Zugl.: Chemnitz, Techn. Univ., Diss., 1999

ISBN 3-8265-6466-9

Copyright Shaker Verlag 1999

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen  
oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungs-  
anlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Als Manuskript gedruckt. Printed in Germany.

ISBN 3-8265-6466-9

ISSN 1434-7393

Shaker Verlag GmbH • Postfach 1290 • 52013 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • eMail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

## Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als freier Mitarbeiter bei der Firma AESCULAP AG & CO. KG in Tuttlingen in der Abteilung Werkstoffentwicklung EWS.

Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus-Jürgen Matthes, Prorektor für Forschung der Technischen Universität Chemnitz und Leiter des Instituts für Fertigungstechnik / Schweißtechnik danke ich besonders für die Betreuung und sein stets förderndes Interesse am Fortgang der Arbeit.

Insbesondere möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Dr. med. habil. Michael Ungethüm, Sprecher der Geschäftsleitung der Fa. AESCULAP AG & CO. KG, für die Ermöglichung der Arbeit im Hause AESCULAP bedanken.

Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. E.h. H. Herold danke ich herzlichst für die Begutachtung der Dissertation.

Ganz besonders möchte ich mich bei Herrn Dr.-Ing. Ulrich Fink für die Betreuung dieser Dissertation bei der Fa. AESCULAP AG & CO. KG bedanken. Für die kameradschaftliche Unterstützung dieser Arbeit möchte ich mich bei meinen Kollegen Patrick Hölzel, Thorsten Barthelmes und allen anderen Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen der Abteilung Werkstoffprüfstelle, insbesondere Herrn Oskar Stumpp bedanken. Frau Mady Geisler danke ich für die unermüdliche Unterstützung bei der Durchführung der zahlreichen Korrosionstests.

Ein Dank gilt auch allen anderen Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen der Fa. AESCULAP, die mich bei meiner Arbeit wohlwollend unterstützt haben. Hier möchte ich mich besonders bei Herrn Georg Müller (Härterei), Herrn Siegfried Fürst (Werkzeugbau) und Herrn Anton Rees (Scherenfertigung) bedanken.

Für die besonderen Hilfestellungen bei meinen PC- und insbesondere Virenproblemen möchte ich mich bei Herrn Uwe Bader bedanken, Frau Isabel Keller danke ich für die Korrekturlesungen.

Für die interessanten Diskussionen, Hilfestellungen bzw. Versuchsdurchführungen möchte ich mich an dieser Stelle bei folgenden Damen und Herren recht herzlich bedanken:

Herrn Letsch und Herrn Müller, TU Chemnitz

Herrn Baumgärtner, Fa. Everwand und Fell Löttechnik, Solingen

Herrn Zenk und Herrn Gleißner, Fa. Degussa AG, Hanau

Herrn Käppner, Fa. Werner Flühmann AG, Dübendorf (CH)

Herrn Dr. Rother, Institut für Edelmetalle u. Metallchemie, Schwäbisch Gmünd

Herrn Hurkmans, Hauzer Techo Coating, Venlo (NL)

Herrn Kaluscha, Hettiger Sonderschweißtechnik, Erlenbach

Herrn Gebert und Herrn Heinze, IPMT Chemnitz

Herrn Dreisbach, Fa. Intec GmbH, Dettingen

Herrn Toberer, Ing.-Büro Toberer, Illingen

Herrn Geerkens, Institut für Lasertechnologien in der Medizin und Meßtechnik, Ulm

Herrn Prof. Dr. Holleck und Herrn Dr. Leiste, Forschungszentrum Karlsruhe

Herrn Dr. Greitmann und Herrn Deutschmann, MPA Stuttgart

Frau Dr. Rück, Steinbeis Transferzentrum, Esslingen

Herrn Prof. Dr. Münz, Sheffield Hallam University, Sheffield (GB)

Frau Dr. Nestler und Herrn Erning, Sulzer Metco Deutschland GmbH, Hattersheim

Herrn Tremmer, Fa. Vautid-Verschleiß-Technik GmbH, Ostfildern bei Stuttgart

Herrn Boegel, Verschleiß-Schutz-Technik Keller GmbH, Schopfheim

Herrn Schraven, Widia GmbH, Essen

Mein besonderer Dank gilt meiner Frau Margit Buschle. Mit ihren vielen aufmunternden Worten, ihrer Geduld, dem entgegengebrachten Verständnis, der Motivation und ihrer tatkräftigen Unterstützung war sie mir bei der Durchführung der Arbeit eine große Hilfe.

---

<b>1. <u>Einleitung</u></b> .....	<b>1</b>
<b>2. <u>Möglichkeiten des Verschleiß- und Korrosionsschutzes</u></b> .....	<b>5</b>
<b>2.1 Tribologie</b> .....	<b>6</b>
<b>2.2 Werkstoffe für den Verschleiß- und Korrosionsschutz</b> .....	<b>9</b>
2.2.1 Substratwerkstoffe für den Verschleiß- und Korrosionsschutz.....	9
2.2.2 Beschichtungswerkstoffe und Einflußgrößen für den Verschleiß- und Korrosionsschutz .....	11
2.2.2.1 Dünnschichten .....	11
2.2.2.2 Dickschichten und Bulkmaterialien .....	16
<b>2.3 Oberflächenbearbeitung und die Auswirkungen auf den Verschleiß-         und Korrosionsschutz</b> .....	<b>19</b>
<b>2.4 Methoden zum Verschleißschutz</b> .....	<b>21</b>
<b>3. <u>Systemanalyse von Scheren in der Medizintechnik</u></b> .....	<b>23</b>
<b>3.1 Begriffsbestimmungen</b> .....	<b>24</b>
<b>3.2 Herstellungsgrundlagen</b> .....	<b>25</b>
<b>3.3 Winkelverhältnisse</b> .....	<b>26</b>
<b>3.4 Schneidverhalten</b> .....	<b>27</b>
<b>3.5 Theorie der Tribologie von Scheren</b> .....	<b>29</b>
<b>3.6 Verschleißprüfung und Untersuchungsmethoden</b> .....	<b>32</b>
3.6.1 Untersuchungsmethoden zur Bestimmung der Verschleißgrößen .....	32
3.6.2 Scherenverschleißtest .....	33
<b>3.7 Reale Beanspruchung und Verschleißverhalten von Scheren</b> .....	<b>35</b>
<b>3.8 Einschätzung des Verschleißverhaltens und Verbesserungsansätze</b> .....	<b>38</b>
<b>4. <u>Beschichtungstechnologien für den Verschleiß- und Korrosions- schutz an Scheren mit geringem Materialquerschnitt</u></b> .....	<b>40</b>
<b>4.1 Eingesetzte Grundwerkstoffe</b> .....	<b>40</b>
<b>4.2 Prüfmethoden</b> .....	<b>41</b>
4.2.1 Korrosionsversuche .....	41
4.2.1.1 Korrosions-Tauchversuche .....	41
4.2.1.2 Porennachweistest für Dünnschichten.....	41
4.2.2 Mechanisch-technologische Tests .....	42
4.2.2.1 Härte und Härteverläufe.....	42
4.2.2.2 Kerbschlagbiegeversuche.....	43
<b>4.3 Grundlagenversuche</b> .....	<b>43</b>
4.3.1 Elektronenstrahlbandbeschichten .....	45
4.3.2 Plasmapulverauftragsschweißen.....	47
4.3.3 Laserstrahlpanzern (Nd:YAG) .....	50
<b>4.4 Technologieauswahl</b> .....	<b>54</b>
4.4.1 Hochgeschwindigkeits-Niedertemperatur-Flammspritzen .....	54
4.4.1.1 Werkstoffauswahl.....	57
4.4.1.1.1 Ausgangszustand.....	57
4.4.1.1.2 Wärmebehandlungszustand.....	58
4.4.1.2 Verzug von Bauteilen mit Thermischen Spritzschichten nach Wärmebehandlungen.....	63
4.4.1.3 Scherenbeschichtung und Verschleißverhalten.....	69

---

4.4.2 Physical Vapour Deposition .....	72
4.4.2.1 Dünnschichtenauswahl .....	76
4.4.2.2 Schichtabscheidung .....	78
4.4.2.2.1 Abscheideprozeß .....	78
4.4.2.2.2 Einfluß der Substratposition und Rotation auf die Schichteigenschaften Verschleiß und Korrosion .....	78
4.4.2.3 Korrosionsbeständige Schichtsysteme .....	81
4.4.2.4 Verschleißbeständige Schichtsysteme .....	81
4.4.2.4.1 Einfluß der Schneidkeilausbildung .....	81
4.4.2.4.2 Einfluß der Winkelgeometrie .....	82
4.4.2.4.3 Einfluß der Schichtwerkstoffe .....	85
4.4.2.4.3.1 Pin-on-Disc-Versuche .....	85
4.4.2.4.3.2 Real-Scheren-Verschleißversuche .....	87
<b>5. Systemanalyse von Nadelhaltern .....</b>	<b>92</b>
5.1 Begriffsbestimmungen .....	93
5.2 Herstellungsgrundlagen .....	93
5.2.1 Substrate .....	93
5.2.2 Hartmetalle (vgl. Kapitel 2.2.2.2) .....	95
5.2.3 Lötverfahren .....	95
5.2.4 Lote, Flußmittel und Benetzung .....	97
5.2.5 Abkühlspannungen und Verzug .....	98
5.3 Beanspruchung und Verschleißverhalten von Nadelhaltern .....	101
<b>6. Fügeverfahren für die Bestückung von Nadelhaltern mit verschleiß- und korrosionsbeständigen Hartmetallen .....</b>	<b>104</b>
6.1 Prüfmethode n .....	104
6.1.1 Potentiodynamische Polarisationsstest .....	104
6.1.2 Weißlichtinterferometrie .....	104
6.1.3 Röntgenprüfung .....	104
6.1.4 Ultraschallprüfung .....	107
6.1.5 ESPI-Analyse (holographische Verformungsanalyse) .....	107
6.1.6 Nadelhalterverschleißtest .....	107
6.1.7 Thermographieanalyse .....	109
6.2 Bemerkungen zur Technologieauswahl .....	109
6.2.1 Unlösbare, stoffschlüssige, unmittelbare Fügeverbindungen .....	111
6.2.1.1 Widerstandspreßschweißen .....	111
6.2.1.2 Laserstrahlschweißen .....	112
6.2.2 Unlösbare, stoffschlüssige, mittelbare Fügeverbindungen .....	113
6.2.2.1 Laserstrahlöten .....	114
6.2.2.2 Strukturelles Kleben .....	114

---

<b>6.3 Weichlöten als Fügetechnik zum Verbinden von Hartmetallen auf Stahl</b>	<b>115</b>
6.3.1 Vor- und Nachteile des Weichlötens .....	116
6.3.2 Weichlötbarkeit .....	117
6.3.3 Theoretisches Schädigungsverhalten von Weichlötverbindungen .....	120
6.3.4 Bewertung von Lötverbindungen .....	121
<b>6.4 Versuchsdurchführung</b> .....	<b>121</b>
6.4.1 Werkstoffauswahl .....	123
6.4.2 Applizierung und Eigenschaften der Vorbeschichtungen .....	124
6.4.3 Aufbau des Verbundes .....	125
<b>6.5 Korrosionsverhalten von Weichlötverbindungen</b> .....	<b>128</b>
<b>6.6 Belastungsverhalten von Weichlötverbindungen</b> .....	<b>134</b>
6.6.1 Mathematische Simulation über Finite Elemente Methode .....	134
6.6.2 Experimentelle Verformungsanalyse bei mechanischer und thermischer Belastung mittels ESPI .....	136
6.6.3 Reales Schädigungsverhalten .....	140
<b>6.7 Einflußgrößen auf den Füllgrad von Weichlötverbindungen</b> .....	<b>145</b>
6.7.1 Mechanische Vorbehandlung .....	146
6.7.2 Vorbereitung zum Löten .....	147
6.7.3 Löttemperatur und Lötzeit .....	147
6.7.4 Positionierung der Bauteile und Energieeinleitung durch die Flammenposition .....	148
<b>6.8 Thermische Beeinflussung der zu lötenden Komponenten</b> .....	<b>149</b>
<b><u>7. Zusammenfassung</u></b> .....	<b>153</b>
<b><u>8. Literaturverzeichnis</u></b> .....	<b>157</b>
<b>Anhang</b> .....	<b>166</b>