

Reine und angewandte Metallkunde in Einzeldarstellungen

Herausgegeben von W. Köster

Band 20

# Pulvermetallurgie elektrischer Kontakte

Von

**Horst Schreiner**

Dipl.-Ing Dr. techn habil.

Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Siemens-Schuckertwerke AG, Erlangen  
(Laboratorium der Zentral-Werksverwaltung, Erlangen-Nürnberg)

Dozent für physikalische Chemie an der Technischen Hochschule Graz

Mit 197 Abbildungen



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

1964

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten  
Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es auch nicht gestattet,  
dieses Buch oder Teile daraus auf photomechanischem Wege  
(Photokopie, Mikrokopie) oder auf andere Art zu vervielfältigen

© by Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1964

Ursprünglich erschienen bei Springer-Verlag O.H.G., Berlin/Göttingen/Heidelberg 1964  
Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1964

Library of Congress Catalog Card Number 64-15602

ISBN 978-3-642-49079-8      ISBN 978-3-642-94905-0 (eBook)  
DOI 10.1007/978-3-642-94905-0

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw.  
in diesem Buche berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der An-  
nahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetz-  
gebung als frei zu betrachten waren und daher von jedermann benutzt werden durften

Titel Nr 6278

## Vorwort

Bei der Anwendung der elektrischen Kontakte ist man in den vergangenen 10 Jahren speziell in der Starkstromtechnik immer mehr von Reinmetallen und Schmelzlegierungen auf Sintermetalle übergegangen. Diese Tendenz wurde durch zwei Gesichtspunkte maßgeblich beeinflusst: Bei den immer größeren Anforderungen an die Schaltgerate sowohl kleiner, mittlerer als auch größerer Leistungen war mit den Kontakten aus Reinmetallen und Schmelzlegierungen eine Grenze erreicht, die auch bei Ausnutzung der konstruktiven Möglichkeiten nicht mehr überschritten werden konnte. Zum anderen sollte die Forderung erfüllt werden, die derzeit angewandten Schaltgerate mit festgelegter Schaltleistung in kleinerem Volumen unterzubringen. Diese Ziele können nur durch Einsatz leistungsfähiger Kontaktstoffe erreicht werden. In dieser Richtung bietet gerade die Methode der Pulvermetallurgie Möglichkeiten, heterogene Legierungen zu realisieren, die Kontakteigenschaften besitzen, mit denen einige der geschilderten Forderungen erfüllt werden können.

In den zusammenfassenden Darstellungen der Pulvermetallurgie von F. SKAUPY „Metallkeramik“, von R. KIEFFER und W. HOTOP „Pulvermetallurgie und Sinterwerkstoffe“, von C. G. GOETZEL „Treatise on Powdermetallurgy“ können die elektrischen Kontakte bei der großen Zahl der Sinterwerkstoffe nur in einem Kapitel behandelt werden. Die mir von Herrn Prof. Dr. W. KOSTER gebotene Möglichkeit, eine Monographie über die Pulvermetallurgie der elektrischen Kontakte im Rahmen der Sammlung „Reine und angewandte Metallkunde in Einzeldarstellungen“ erscheinen zu lassen, habe ich daher gern aufgegriffen.

Die Zahl der speziell in der Patentliteratur für elektrische Kontakte vorgeschlagenen Sinterwerkstoffe ist sehr groß; die für elektrische Kontakte in Frage kommenden Stoffe sind in einer Systematik zusammengefaßt. Um den Rahmen des vorliegenden Buches nicht zu sprengen, konnten von den Hauptgruppen nur die wichtigsten und in der Praxis bewährten Kontaktstoffe ausgewählt werden. Neben den Herstellungsbedingungen sind auch die Eigenschaften und Anwendungen dieser Kontakte beschrieben. Die getroffene Auswahl soll einem Bedürfnis der elektrotechnischen Industrie nachkommen, um dem Konstrukteur von Schaltgeräten die pulvermetallurgische Herstellung und die möglichen Eigenschaftskombinationen dieser Sinterwerkstoffe aufzuzeigen. Zum

anderen erhält auch der Anwender von Schaltgeräten die Möglichkeit, sich ein Bild von den Herstellungsverfahren und der Leistungsfähigkeit der verwendeten Kontaktstoffe zu machen. Darüber hinaus wendet sich das Buch auch an den Studierenden der Elektrotechnik, den Metallkundler und den Werkstoffachmann. Im Sinne einer geschlossenen Darstellung konnte auf die Behandlung der Metallpulverherstellung, der Pulveraufbereitung, der Vorgänge beim Pressen und Sintern und die Sintertheorien nicht verzichtet werden. Die Pulveraufbereitung, besonders die Granulation nicht fließfähiger Metallpulver ist für die wirtschaftliche Herstellung von Fertigformteilen von entscheidender Bedeutung. Für das Verständnis der Eigenschaften und des Gefüges der Kontakte ist die Behandlung des gesamten Herstellungsprozesses erforderlich, wobei auch auf die theoretische Seite der Sintervorgänge einzugehen ist. Von der umfassenden Literatur wurden in der Darstellung nur die wichtigsten Literaturstellen zitiert. Darüber hinaus sind auch eigene noch nicht veröffentlichte Meßergebnisse verwendet worden. Bezüglich weiterer Literatur wird auf die zusammenfassenden Literaturdarstellungen auf dem Gebiet der elektrischen Kontakte in *Bibliography and Abstracts on Electrical Contacts*, C. G. GOETZEL „*Treatise on Powdermetallurgy*“, Band III sowie auf die mehr die technische Physik der elektrischen Kontakte und die Schaltvorgänge behandelnden Bücher von R. HOLM, W. BURSTYN, F. LL. JONES und G. WINDRED hingewiesen.

Herrn Dir. Dr. A. SIEMENS möchte ich für die Förderung meiner Arbeiten und für die freundliche Genehmigung, das Buch zu veröffentlichen, meinen herzlichen Dank sagen.

Für die kritische Durchsicht des Manuskriptes und wertvolle Ratschläge gilt den Herren Prof. Dr. R. KIEFFER, Dir. Dr. F. BENESOVSKY und Baurat Dipl.-Ing. H. OHMANN mein ganz besonderer Dank. Schließlich gilt mein Dank all meinen Mitarbeitern für die umfangreichen experimentellen Arbeiten.

Den Herren des Springer-Verlages danke ich für ihr freundliches Entgegenkommen bei allen Wünschen und die exakte Durchführung bei der Drucklegung ganz besonders.

Nürnberg, im Februar 1964

**Horst Schreiner**

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Geschichtliche Entwicklung</b> .....	1
Literatur zu 1 .....	4
<b>2. Elektrische Kontakte</b> .....	4
2.1 Kontakteigenschaften und Eigenschaftsforderungen ....	5
2.2 Eigenschaftsspektren der Stoffe .....	8
2.3 Systematik der Kontaktstoffe .....	9
2.31 Elemente .....	9
2.32 Legierungen .....	11
2.33 Heterogene Legierungen (Verbundstoffe) .....	13
2.4 Gefugesystematik .....	14
2.41 Gefuge der Einstoffsysteme .....	16
2.42 Gefuge der Mehrstoffsysteme .....	16
Literatur zu 2 .....	17
<b>3. Die Metallpulver</b> .....	17
3.1 Herstellung der Metallpulver .....	18
3.11 Physikalische Verfahren .....	18
3.111 Zerkleinern im festen Aggregatzustand .....	18
3.112 Zerkleinern im flüssigen Aggregatzustand .....	20
3.113 Verdampfen und Kondensation .....	21
3.12 Chemische und physikalisch-chemische Verfahren .....	22
3.121 Chemische Umsetzung .....	22
3.121.1 Thermische Zersetzung einer Metallverbindung ..	22
3.121.2 Fällung des Metalls aus der Metallsalzlösung ....	23
3.121.3 Reduktion einer Metallverbindung .....	23
3.122 Elektrolyse .....	24
3.122.1 Elektrolyse wässriger Lösungen .....	24
3.122.2 Elektrolyse aus der Salzschmelze .....	25
3.2 Eigenschaften der Metallpulver .....	25
3.21 Chemische Zusammensetzung .....	26
3.22 Teilchenform und Teilchengefuge .....	27
3.23 Teilchengröße und Teilchengrößenverteilung .....	29
3.24 Fullvolumen, Fülldichte, Fullraumerfüllungsgrad und Fullraum- erfüllung .....	33
3.25 Fullfaktor .....	36
3.26 Klopfvolumen, Klopfdichte, Klopfraumerfüllungsgrad und Klopfraumerfüllung .....	36
3.27 Fließigenschaften der Pulver, Fließzeit .....	38

3.3 Aufarbeitung der Metallpulver .....	39
3.31 Sieben .....	39
3.32 Wärmebehandlung .....	39
3.33 Granulation .....	39
3.331 Granulation durch Granulierzusätze .....	39
3.332 Mechanische Granulation .....	41
3.333 Thermische Granulation .....	42
Literatur zu 3 .....	46
<b>4. Das Pressen .....</b>	<b>48</b>
4.1 Vorgänge beim Pressen .....	48
4.2 Vorgänge im Innern des Preßkörpers .....	49
4.3 Eigenschaften der Preßkörper .....	51
4.31 Raumerfüllungsgrad des Preßkörpers und dessen Bestimmung	51
4.32 Elektrische Leitfähigkeit der Preßkörper .....	56
4.33 Härte und Festigkeit der Preßkörper .....	57
4.4 Einrichtungen zum Pressen .....	58
4.41 Kennzeichnung der Pressen .....	58
4.42 Preßwerkzeuge .....	59
4.43 Fullvorrichtung .....	60
4.5 Strangpressen .....	61
4.6 Isostatisches Pressen .....	61
Literatur zu 4 .....	61
<b>5. Das Sintern .....</b>	<b>62</b>
5.1 Allgemeines .....	62
5.2 Veränderung des Raumerfüllungsgrades .....	63
5.3 Veränderungen der Festigkeit .....	64
5.4 Veränderung der elektrischen Leitfähigkeit .....	65
5.5 Mehrstoffsysteme .....	66
5.51 Sinterung mit flüssiger Phase .....	68
5.52 Gefüge der Zweistoffsysteme .....	69
Literatur zu 5 .....	70
<b>6. Drucksintern oder Heißpressen .....</b>	<b>71</b>
Literatur zu 6 .....	72
<b>7. Mehrfach-Pressen-Sintern .....</b>	<b>72</b>
Literatur zu 7 .....	73
<b>8. Sintertheorien .....</b>	<b>73</b>
Literatur zu 8 .....	85
<b>9. Gesinterte Kontaktwerkstoffe .....</b>	<b>87</b>
9.1 Übersicht .....	87
9.2 Reinformetalle .....	88
9.21 Wolfram .....	88
9.22 Molybdän .....	92
9.23 Rhenium .....	92
Literatur zu 9.1 und 9.2 .....	93

9.3 Sinter- und Tränklegerungen .....	94
Literatur zu 9.3 .....	100
9.4 Heterogene Legierungen (Verbundstoffe) als Sinter- und Tränkwerkstoffe .....	100
9.41 Übersicht .....	100
9.42 Eigenschaften der heterogenen Legierungen .....	101
9.43 Aus Metallen aufgebaute heterogene Legierungen (Verbund- metalle) .....	103
Literatur zu 9.42 und 9.43 .....	104
9.431 Silber-Nickel .....	105
9.431.1 Ausgangspulver .....	106
9.431.2 Das Pressen .....	108
9.431.3 Das Sintern .....	108
9.431.4 Eigenschaften von Silber-Nickel-Kontakten.....	122
9.431.5 Herstellungsverfahren für Kontakte aus Silber- Nickel-Verbundmetallen .....	138
9.431.6 Anwendungen von Ag-Ni-Kontakten .....	138
Literatur zu 9.431 .....	140
9.432 Kupfer-Blei .....	141
9.432.1 Allgemeines .....	141
9.432.2 Herstellungsverfahren .....	141
9.432.3 Eigenschaften gesinterter Kupfer-Blei-Verbund- metalle.....	141
9.432.4 Galvanische Versilberung gesinterter Kupfer-Blei- kontakte .....	142
9.432.5 Hartlotung gesinterter Kupfer-Blei-Kontakte ...	143
9.432.6 Anwendung gesinterter Kupfer-Blei-Kontakte ..	144
9.432.7 Dreikomponentige Kupfer-Blei-X-Kontakte, X = Wolfram, Molybdän, Nickel oder Silber .....	145
Literatur zu 9.432 .....	145
9.433 Wolfram-Kupfer, Wolfram-Silber, Molybdän-Kupfer, Molybdän-Silber .....	146
9.433.1 Herstellung der Wolfram- und Molybdän-Verbund- metalle mit Kupfer oder Silber .....	146
9.433.2 Eigenschaften der Wolfram-Kupfer-, Wolfram- Silber-, Molybdän-Kupfer- und Molybdän-Silber- Verbundmetalle .....	149
9.433.3 Schalteigenschaften .....	154
9.433.4 Anwendungen.....	155
Literatur zu 9.433 .....	157
9.434 Dreikomponentige Verbundmetalle $M_1$ - $M_2$ - $M_3$ (Schwermetalle) .....	158
Literatur zu 9.434 .....	163
9.44 Heterogene Legierungen der Systeme Metall-Metallverbindung	163
9.441 Metall-Metalloxyd: Silber-Kadmumoxyd und Silber-Zinn- oxyd .....	164
9.441.1 Übersicht .....	164
9.441.2 Herstellung .....	166
9.441.3 Eigenschaften der Silber-Kadmumoxyd-Verbund- stoffe.....	171

9.441.4	Schalteigenschaften .....	182
9.441.5	Anwendungen .....	185
	Literatur zu 9.441 .....	185
9.442	Metall-Metallkarbid · Wolframkarbid-Silber, Wolframkarbid-Kupfer, Molybdankarbid-Silber und Molybdankarbid-Kupfer .....	186
9.442.1	Übersicht .....	186
9.442.2	Herstellung .....	186
9.442.3	Eigenschaften .....	186
9.442.4	Schalteigenschaften .....	189
9.442.5	Anwendungen .....	190
	Literatur zu 9.442 .....	190
9.45	Heterogene Legierungen der Systeme Metall-Metalloid .....	191
9.451	Übersicht .....	191
9.452	Kupfer-Graphit (Metallkohlen) .....	191
9.453	Silber-Graphit .....	194
	Literatur zu 9.45 .....	203
<b>10.</b>	<b>Gesinterte Fertigform-Kontakte .....</b>	<b>204</b>
10.1	Herstellungsubersicht .....	204
10.2	Verfahrensschritte bei der Herstellung .....	205
10.3	Vorteile der Fertigformkontakte .....	205
10.4	Silber-Nickel-Fertigformkontakte .....	206
	Literatur zu 10 .....	209
<b>11.</b>	<b>Gesinterte Mehrschichtenkontakte .....</b>	<b>209</b>
11.1	Übersicht .....	209
11.2	Verfahrenstechnik .....	211
11.3	Besondere Anwendungsgebiete .....	214
11.31	Verbundstoffe der Systeme Metall-Metalloxyd und Metall-Metalloid .....	214
11.32	Sinterlegierungen .....	214
11.33	Verbundmetalle .....	215
	Literatur zu 11 .....	215
<b>12.</b>	<b>Aufbringen elektrischer Kontakte .....</b>	<b>216</b>
12.1	Übersicht .....	216
12.2	Mechanische Befestigung der Kontaktmetalle .....	218
12.3	Loten .....	219
12.4	Kaltpreßschweißen .....	222
12.5	Schweißen .....	224
	Literatur zu 12 .....	228
	<b>Schlußwort ... ..</b>	<b>228</b>
	Literatur zum Schlußwort .....	229
	<b>Namenverzeichnis .....</b>	<b>230</b>
	<b>Sachverzeichnis .....</b>	<b>233</b>