Kontaktwerkstoffe für Schaltkontakte in der Niederspannungs-Energietechnik

Autor(en): **Behrens, Volker / Späth, Dietmar**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin.ch : Fachzeitschrift und Verbandsinformationen von Electrosuisse, VSE = revue spécialisée et informations des associations Electrosuisse, AES**

Band (Jahr): **96 (2005)**

Heft 17

PDF erstellt am: **28.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-857831

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Kontaktwerkstoffe für Schaltkontakte in der Niederspannungs-Energietechnik

Verwendete Materialien für den Spannungsbereich von weniger als 1 kV

Steigende Anforderungen an die Kontakte in Schaltgeräten, der sparsame Einsatz von Edelmetallen sowie die Forderung nach umweltfreundlichen Werkstoffen prägten in den letzten Jahren massgebend die Entwicklung von Werkstoffen für elektrische Kontakte. Der vorliegende Artikel gibt einen Überblick über das Schaltverhalten, über typische Anwendungen, über Herstellungsverfahren, mechanische Eigenschaften und Lieferformen von Kontaktwerkstoffen in der Niederspannungs-Energietechnik.

Das Schalten von elektrischen Lasten in der Niederspannungs-Energietechnik ist durch die folgenden drei Eigenschaften gekennzeichnet:

- Jeder Schaltvorgang ist mit dem Auftreten eines Schaltlichtbogens verbunden.
- Es wird praktisch immer in Luft geschaltet.
- Der Kontaktwerkstoff übernimmt sowohl die Schaltfunktion als auch das Führen des Dauerstromes.

Durch Reaktion zwischen beispielsweise Luftsauerstoff und dem Kontaktwerkstoff können auf der Schaltfläche Fremdschichten entstehen, die zu einer unzulässigen Erhöhung des Kontaktwiderstandes führen. Aus diesem Grunde werden in der Niederspannungs-Energietechnik Kontaktstücke auf Silberbasis eingesetzt: Silber bildet als Edelmetall keine stabilen Oxide.

Volker Behrens, Dietmar Späth

Typische Einsatzgebiete von Kontaktwerkstoffen in der Niederspannungs-Energietechnik sind in Tabelle I dargestellt.

Silber (Ag)

Feinsilber weist die höchste elektrische und thermische Leitfähigkeit aller Metalle auf. Nachteilig wirken sich allerdings die geringe Verschleissfestigkeit, die hohe Materialwanderung bei Gleichstrombetrieb, die niedrige Entfestigungstemperatur und die hohe Affinität des Silbers zu Schwefel und Schwefelverbindungen aus. Durch Einwirkung schwefelhaltiger Verbindungen bilden sich bräunliche bis schwarze Deckschichten aus Silbersulfid (Ag_2S), die zu einer Erhöhung des Kontaktwiderstandes und u. U. zur vollständigen Isolation zwischen den Kontakten führen können. Bei einer ausreichend hohen Kontaktkraft – oder idealerweise bei einer Relativbewegung der Kontakte – kann die relativ weiche Sulfidschicht mechanisch zerstört werden. Da Silbersulfid an Luft bei 300 °C zerfällt, wird durch einen Schaltlichtbogen die Sulfidschicht thermisch zerstört und ein niedriger Übergangswiderstand wird erreicht. Liegen ausreichend hohe elektrische Spannungen über den Kontakten, so findet ein elektrischer Durchschlag der Sulfidschicht statt.

Silber-Legierungen

In den meisten Anwendungen reichen die mechanischen und kontaktspezifischen Eigenschaften von reinem Silber nicht aus. So wird für Schaltströme von mehreren Ampere durch eine oder mehrere metallische Zusatzkomponenten sowohl die mechanische Festigkeit als auch die Abbrandfestigkeit und Verschweissresistenz des Silbers erhöht (Tabelle II). Ist die Zusatzkomponente auch im festen Zustand vollständig im Silber löslich, so spricht man von einer Legierung.

Unter *Feinkornsilber* versteht man eine Silberlegierung mit einem Nickelzusatz von 0,15 Gewichtsprozent[1]. Dieser Nickelgehalt entspricht dem in Silber im festen Zustand maximal löslichen Nickelanteil. Durch den Nickelzusatz gelingt es, das ausgeprägte Kornwachstum von

Werkstoff*	Strombereich	Schaltgerät
Ag, AgNi 0,15 AgCu, AgCu2Ni	0,1 A – 10 A	Hilfsstromschalter, Hausgeräteschalter Lichtschalter, Relais
Ag/Ni	0,1 A – 100 A	Hilfsstromschalter, Hausgeräteschalter, Lichtschalter, Lastschalter (<100A), Motorschalter (<20A), Leistungsschalter in Verbindung mit Ag/C, Schalter in KFZ
Ag/SnO_2, Ag/CdO	10 A – 1000 A	Relais, Hausgeräteschalter, Lichtschalter, Motorschalter / Schütze, KFZ (Ag/SnO_2)
Ag/ZnO	10 A – 1000 A	Relais, Hausgeräteschalter, Lichtschalter, Schütze,
Ag/C	100 A – 50 kA	Leitungsschutzschalter in Verbindung mit Cu, Ag/Ni, Ag/SnO_2 Fehlerstromschutzschalter in Verbindung mit Ag/Ni, Ag/WC, Ag/SnO_2
Ag/W, Ag/WC, Ag/WC-C	100 A – 50 kA	Leistungsschutzschalter in Verbindung mit Ag/C Festkontakt Fehlerstromschutzschalter in Verbindung mit Ag/C Festkontakt Abbrennkontakte bei großen Schützen

* Die nachstehende Dezimalzahl gibt die Anzahl Gewichtsprozent an

Tabelle I Typische Einsatzgebiete von Kontaktwerkstoffen in der Niederspannungs-Energietechnik

Werkstoff*	Dichte [g/cm³]	Elektrische Leitfähigkeit [m/Ω·mm²]	Härte [HV10]
Ag	10,5	61	30–70
AgNi 0,15	10,5	58	45–100
AgCu 3	10,4	52	55–120
AgCu2Ni	10,4	52	55–100

* Die nachstehende Dezimalzahl gibt die Anzahl Gewichtsprozent an

Tabelle II Physikalische Eigenschaften gebräuchlicher Silberlegierungen

Feinsilber bei längerer Wärmeeinwirkung zu unterbinden. Dies führt zu einer besseren Temperaturbeständigkeit der mechanischen Eigenschaften des kaltverfestigten Materials.

Neben den binären Silber-Kupfer-Legierungen kommen auch ternäre[2)] AgCuNi-Legierungen zum Einsatz. Von dieser Werkstoffgruppe hat die Legierung mit 98 Gewichtsprozent Silber die grösste praktische Bedeutung erlangt. Dieser Werkstoff zeichnet sich durch hohe Oxidationsbeständigkeit und geringe Neigung zur Rekristallisation unter der Einwirkung hoher Temperaturen aus. Neben einer hohen mechanischen Verschleissfestigkeit weist die AgCuNi-Legierung auch eine erhöhte Abbrandfestigkeit auf.

In Bezug auf die elektrische Leitfähigkeit und den Übergangswiderstand führt das Zulegieren von Cu und/oder Ni zu einer geringfügigen Erhöhung.

Die in Tabelle II aufgeführten Silberlegierungen weisen sowohl eine sehr gute Verformbarkeit als auch eine sehr gute Löt- und Schweissbarkeit auf. Somit können sie, in der Regel ohne Zusatzwerkstoffe wie Lote, direkt auf die Trägerteile widerstandsgeschweisst und nachgeprägt werden.

Lieferformen sind Massivdrähte, Massivnieten, Bi- und Trimetallnieten, Massivprofile, Mehrschichtprofile, massive und mehrschichtige Plättchen.

Silber-Verbundwerkstoffe

Liegen die Einschaltströme im 10-A-Bereich oder darüber, so sind heterogene Kontaktwerkstoffe gegenüber den Silberlegierungen besser geeignet.

Wegen der meist völligen Unlöslichkeit der Komponenten im festen wie im flüssigen Zustand kommen zur Herstellung der Silber-Verbundwerkstoffe pulvermetallurgische Verfahren in Betracht.

Entsprechend der grossen Vielfalt von Schaltgerätetypen steht eine Reihe von Verbund-Werkstoffen mit unterschiedlichem Eigenschaftsspektrum für Kontaktzwecke zur Verfügung (Tabelle III).

Silber-Nickel-Werkstoffe (Ag/Ni)

Ag/Ni-Werkstoffe sind deutlich abbrandfester als Silber oder Silberlegierungen. Sie werden typisch für Schaltströme kleiner 100 A eingesetzt. Weiterhin weisen sie bei Nickelanteilen mit weniger 20 Gewichtsprozent niedrige Kontaktwiderstände und gute Lichtbogenlaufeigenschaften auf.

Bei Schaltströmen über 100 A sind die Abbrandeigenschaften ungünstiger als bei den Silber-Metalloxiden, und es besteht eine Neigung zum Verschweissen beim Einschalten.

Bei Gleichstrombetrieb zeichnen sich die Ag/Ni-Werkstoffe durch eine verhältnismässig geringe flächenhafte Materialwanderung aus.

Das Schaltverhalten der Ag/Ni-Kontaktwerkstoffe wird hauptsächlich durch Gefügeänderungen bei wiederholter Einwirkung von Schaltlichtbögen bestimmt [1, 2]. Die ursprünglich in Faserform vorliegenden Nickelpartikel werden bei Nickelgehalten von etwa 10 Gewichtsprozent während des Aufschmelzens durch die sehr heisse Silberschmelze vollständig gelöst. Beim Erstarren der Schmelze unmittelbar nach der Lichtbogeneinwirkung wird das Nickel in Form feiner Partikel in der Silbermatrix ausgeschieden. Das so entstandene Schaltgefüge zeichnet sich durch eine relativ hohe Abbrandfestigkeit aus.

Werkstoff*	Dichte [g/cm³]	Elektrische Leitfähigkeit [m/Ω·mm²]	Härte [HV10]
Ag/Ni 10	10,3	53	50–100
Ag/Ni 20	10,1	49	60–110
Ag/Ni 30	9,8	42	80–115
Ag/Ni 40	9,75	37	90–120
Ag/CdO 10 i.O	10,2	48	50–90
Ag/CdO 15 i.O.	10,1	42	80–125
Ag/SnO_2 2**	10,1	58	50–80
Ag/SnO_2 8**	10,0	51	60–90
Ag/SnO_2 12**	10,0	46	70–110
Ag/SnO_2 14**	10,0	42	70–110
Ag/ZnO 8	9,7	49	60–90
Ag/C 3	9,1	51	42–44
Ag/C 4	8,7	48	41–43
Ag/C 5	8,5	46	40–42
Ag/W 50	13,2	36	115
Ag/W 65	14,5	30	170
Ag/WC 40	11,8	34	135
Ag/WC27/C3	9,8	29	50

* Die nachstehende Dezimalzahl gibt die Anzahl Gewichtsprozent an

** nach klassischem pulvermetallurgischem Verfahren mit WO_3- oder MoO_3-Zusatz hergestellt, alternativ hergestellt auf Basis dotierter SnO_2-Pulver mit CuO- und Bi_2O_3- oder Ag_2MoO_4-Zusätzen.

Tabelle III Physikalische Eigenschaften der gebräuchlichen Kontaktwerkstoffe für die Niederspannungs-Energietechnik

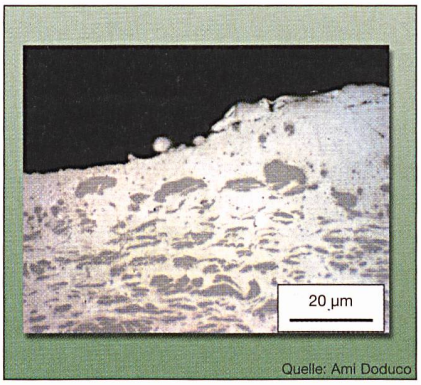

Bild 1 Ag/Ni-20[3)]-Gefüge nach Lichtbogenbeanspruchung
Abbildung im Massstab 1200:1

Zu diesem günstigen Abbrandverhalten tragen die Viskositätserhöhung der Silberschmelze durch die eingelagerten Nickelpartikel, die Vergrösserung der Oberflächenspannung und der niedrige Dampfdruck der Ag/Ni-Schmelze bei. Bei Nickelgehalten von über 10 Gewichtsprozent ist die Auflösung der Nickelpartikel in der Silberschmelze nur unvollständig, es verbleiben grössere Reinnickelbereiche im Schaltgefüge (Bild 1). Die Höhe des Abbrandes hängt in diesem Fall unter anderem von der Orientierung der Nickelpartikel im Ausgangsgefüge ab.

Abbrand-Rückstände, die sich auf den Isolierstoffen niederschlagen, bieten eine höhere Spannungsfestigkeit im Vergleich zu anderen Kontaktwerkstoffen.

Durch das Strangpressen und die nachfolgenden Verarbeitungsschritte wie z.B. Walzen oder Ziehen, werden die Nickelpartikel in Verformungsrichtung so ausgerichtet, dass im Gefügebild eine deutliche Faserstruktur zu erkennen ist (Bild 2).

Die auf Grund der hohen Umformung beim Strangpressen erzeugte hohe Dichte von Ag/Ni-Werkstoffen wirkt sich vorteilhaft auf die Abbrandfestigkeit aus. Durch die gegenüber Silber oder Silberlegierungen höhere Härte ist der mechanische Verschleiss verringert.

Ag/Ni-Werkstoffe werden üblicherweise mit Nickelgehalten von 10 bis 40 Gewichtsprozent hergestellt. Ag/Ni 10[3)]

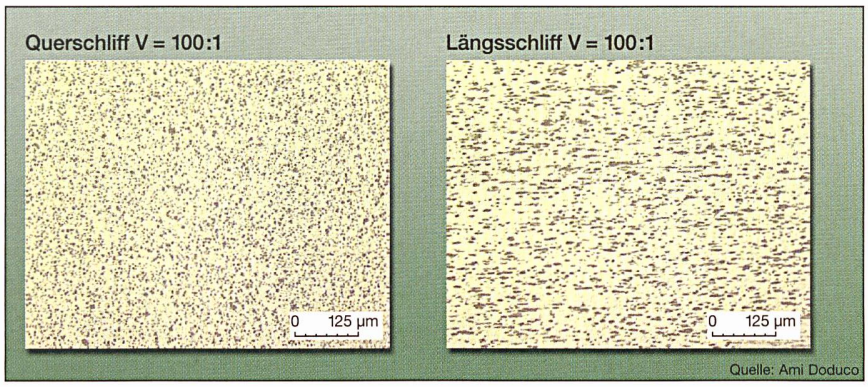

Bild 2 Gefüge von Ag/Ni 10[3)]

Graue Bereiche: Nickelkörner; Bild 2a: Schnitt senkrecht zur Strangpressrichtung; Bild 2b: Schnitt parallel zur Strangpressrichtung.

und Ag/Ni 20[3)], die am häufigsten eingesetzten Werkstoffe, weisen eine sehr gute Verform- und Plattierbarkeit auf. Sie können ohne zusätzliche Schweisshilfe sehr wirtschaftlich auf geeignete Trägerwerkstoffe geschweisst oder gelötet werden. Die Verformbarkeit wird bei Nickelgehalten von 30 und 40 % schlechter, wobei die Verschleissfestigkeit zunimmt.

Lieferformen sind Massivdrähte, Massivnieten, Bi- und Trimetallnieten, Massivprofile, Mehrschichtprofile, massive und mehrschichtige Plättchen.

Silber-Metalloxid-Werkstoffe

Wird eine noch höhere Verschweissresistenz gefordert, so ist der Einsatz von Silber-Metalloxid-Werkstoffen erforderlich.

Silber und Metalloxide wie CdO, SnO_2 und ZnO sind weder im festen noch im flüssigen Zustand ineinander löslich. Das Schaltverhalten der Silber-Metalloxid-Werkstoffe wird durch ein Wechselspiel zwischen Zersetzungsreaktion bzw. Sublimation der oxidischen Komponente und einer Beeinflussung der Viskosität der durch Lichtbogeneinwirkung entstehenden Silberschmelze bestimmt. Dabei spielt die thermische Stabilität der Metalloxid-Komponente eine entscheidende Rolle. Während bei Kadmium die Zersetzung bereits bei Temperaturen nahe dem Schmelzpunkt des Silbers einsetzt, beginnt diese bei SnO_2 erst bei Temperaturen über 1700 °C. Die unterschiedliche thermische Stabilität von CdO bzw. SnO_2 hat unterschiedliche Abbrandmechanismen zur Folge.

- Die Verformbarkeit verschlechtert sich mit zunehmendem Metalloxid-Gehalt.
- Silber-Metalloxid-Werkstoffe sind nur mit Hilfe einer zusätzlichen Silberschicht auf die Trägerwerkstoffe löt- und schweissbar.

Silber-Kadmiumoxid-Werkstoffe (Ag/CdO)

Ag/CdO-Werkstoffe waren über viele Jahre hinweg ein Standardwerkstoff für Schaltgeräte der Niederspannungs-Energietechnik. Bis in die 90er-Jahre hatten Ag/CdO-Werkstoffe von allen Silber-Metalloxid-Werkstoffen die grösste Bedeutung. Auf Grund gestiegener Anforderungen hinsichtlich Umweltverträglichkeit, Verschweissresistenz und Abbrandfestigkeit wurden diese in den letzten Jahren in vielen Anwendungsfällen ersetzt. Durch die toxische und krebserregende Wirkung ist oder wird Kadmium in einigen Anwendungsfällen in der Europäischen Union verboten.

Die Verformbarkeit ist besser als bei den anderen Silber-Metalloxiden, aber schlechter als bei Ag/Ni.

Silber-Zinnoxid-Werkstoffe (Ag/SnO_2)

Ag/SnO_2 findet in einem breiten Bereich – von 10 A bei Relais bis hin zu 1000 A bei Schützen – seine Anwendung. Auf Grund der Toxizität des Kadmiums wurden in den letzten Jahren in vielen Anwendungsfällen die Ag/CdO-Werkstoffe durch Ag/SnO_2-Werkstoffe ersetzt. Dieser Trend wurde noch dadurch begünstigt, dass z. B. beim Einsatz in Schützen, insbesondere bei Schwerlast, mit Ag/SnO_2 deutlich höhere Lebensdauerwerte erreicht wurden als mit Ag/CdO [3]. Auch hinsichtlich Verschweissresistenz bieten Ag/SnO_2-Werkstoffe vielfach Vorteile.

Durch die geringere Materialwanderung ist Ag/SnO_2 zudem bei Gleichstrom-Lasten dem Ag/CdO überlegen.

Zunächst wurde der Einsatz von Ag/SnO_2 – hergestellt durch innere Oxidation – in Schützen forciert. Während jedoch im System Silber-Kadmium die innere Oxidation problemlos abläuft, bilden sich im System Silber-Zinn bei Zinn-

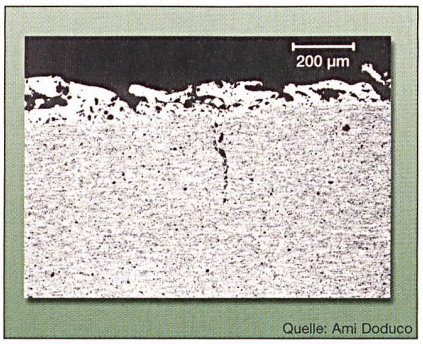

Bild 3 Zerklüftete und SnO_2-verarmte Kontaktoberfläche von Ag/SnO_2 (gesintert und stranggepresst, mit MoO_3-Zusatz) nach Beanspruchung durch Einschaltlichtbögen

Gehalten über 5 Gewichtsprozent bei der Wärmebehandlung SnO_2-Deckschichten, die den Oxidationsvorgang von der Oberfläche in das Innere des Werkstoffs verhindern. Die Herstellung von Werkstoffen mit höheren Oxidgehalten ist daher nur durch Zusätze von Indium (In) oder Wismut (Bi) möglich. So hergestellte Werkstoffe weisen bei Dauerstrombelastung jedoch höhere Übertemperaturen auf, so dass sie für den Einsatz in Schützen weniger gut geeignet sind. In Europa wurde die Herstellung von Ag/SnO_2 auf pulvermetallurgischem Wege favorisiert, wobei weitere Metalloxide wie WO_3, MoO_3, CuO, Bi_2O_3 oder Ag_2MoO_4 als Zusätze beigegeben werden. Diese Zusätze sind vor allem an der Grenzfläche zwischen Silberschmelze und Oxidpartikel wirksam. Sie fördern die Benetzung und halten die Oxidpartikel in der Silberschmelze in Suspension. Dadurch wird das Schaltgerät bei Dauerstromführung wegen des geringeren Kontaktwiderstandes thermisch weniger beansprucht. Mit anderen Worten: das Übertemperaturverhalten wird günstiger.

Als Nachteil der Ag/SnO_2-Kontaktwerkstoffe galt lange Zeit die im Vergleich zu Ag/CdO geringere Lebensdauer bei Normalbetrieb in Motorschaltern (AC3-Betrieb), insbesondere bei Bemessungsströmen unter etwa 100 A. Bei AC3-Betrieb bestimmen vor allem in Schaltgeräten mit starker Prellneigung die Materialverluste beim Einschalten das Abbrandverhalten entscheidend [4, 5]. Untersuchungen an Kontaktstücken, die überwiegend beim Einschalten beansprucht wurden, zeigten, dass ein beträchtlicher Teil des auftretenden Materialverlustes dem mechanischen Einschaltimpuls zuzuschreiben ist [6].

Nach üblichen pulvermetallurgischen Verfahren hergestellte Ag/SnO_2-Werkstoffe (Mischung von Silberpulver und Metalloxidpulvern) weisen nach Lichtbogeneinwirkung eine zerklüftete, rissige Oberflächenstruktur auf, die mechanisch wenig stabil ist, so dass durch den mechanischen Impuls beim Schliessen der Kontaktstücke lose haftende Materialpartikel von der Oberfläche abgetragen werden (Bild 3) [7].

Ein Weg, diesen Einschaltabbrand zu verringern, wurde darin gesehen, durch Änderung des Herstellungsverfahrens und/oder durch Verwendung geeigneter Zusätze ein Schaltgefüge zu erreichen, bei dem die aus dem Schmelzsee herausgeschleuderten Tropfen die Materialoberfläche gut benetzen und somit fest haften. Auch sollen sich die Oxidpartikel im Schmelzsee des Lichtbogenfusspunktes nicht zu Agglomeraten verbinden, sondern möglichst fein verteilt bleiben. Dies gelang beispielsweise durch Anwendung des Reaktionsprühverfahrens, bei dem gezielt (dotiert) geringe CuO- und Bi_2O_3-Zusätze in das SnO_2-Pulver eingebracht werden (Bild 4) [7]. Die Mischung aus Silberpulver und dotiertem SnO_2-Pulver wird dann auf üblichem pulvermetallurgischem Wege weiterverarbeitet (Bild 5).

Auch das Verfahren, die SnO_2-Partikel auf der Oberfläche mit Ag_2MoO_4 zu dotieren und anschliessend mit dem Silberpulver zu mischen, hat sich in dieser Hinsicht bewährt.

In Relais sind je nach Lastfall Materialwanderung und Verschweissen wesentliche Kriterien, die die erreichte Schaltspielzahl bestimmen. Neben diesen Anforderungen wird zusätzlich meist eine ausreichend gute Verformbarkeit für die Herstellung von Kontaktnieten und -profilen verlangt. Ein Universalwerkstoff aus Ag/SnO_2 für diesen Einsatz existiert bis jetzt nicht. Entsprechend der Vielfalt der Anwendungen gibt es Werkstoffe, die jeweils definierten Lastanforderungen optimal genügen. Es steht eine breite Palette von Werkstoffvarianten zur Verfügung, die sich nach dem Herstellungsverfahren, der Art und Menge von Zusätzen, dem Oxidanteil usw. unterscheiden. Neben dem klassischen pulvermetallurgischen Herstellungsverfahren kommt auch die innere Oxidation zum Einsatz. Besonders gross ist auch die Vielfalt der Verfahren für die Herstellung der SnO_2-Pulver [8, 9].

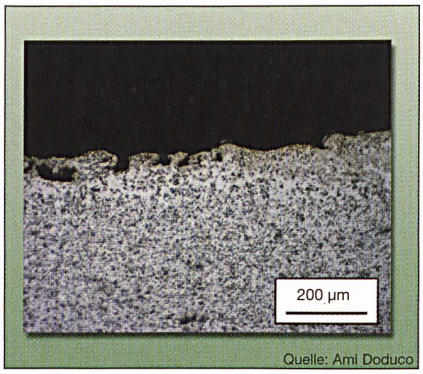

Bild 4 Gefüge von Ag/SnO_2 12[3)], hergestellt nach dem Reaktionssprühverfahren mit den Zusätzen Bi_2O_3 und CuO, im oberen Bereich durch Schaltlichtbögen beeinflusst

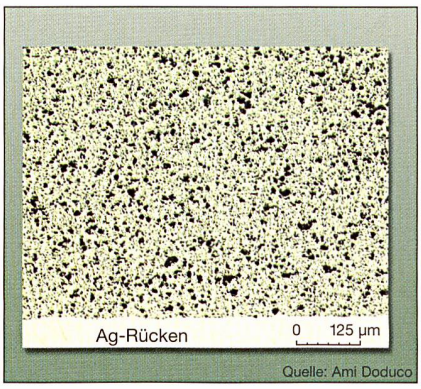

Bild 5 Gefüge von Ag/SnO_2 12[3)], hergestellt nach dem Reaktionssprühverfahren mit Schliff senkrecht zur Strangpressrichtung

Lieferformen sind Massivdrähte, Massivnieten, Bimetallnieten, Mehrschichtprofile, mehrschichtige Plättchen.

Silber-Zinkoxid-Werkstoffe (Ag/ZnO)

Hauptanwendungsgebiete dieser Werkstoffe sind wegen ihrer hohen Verschweissresistenz und hohen Abbrandfestigkeit vor allem kleinere Strom begrenzende Leistungsschalter und Motorschutzschalter, bei denen im Kurzschlussfall eine extrem schnelle Kontaktöffnung durch elektrodynamische Abhebekräfte auftritt, sowie Nockenschalter. Neuere Untersuchungen haben gezeigt, dass Ag/ZnO 8[3)], dotiert mit 0,25 Gewichtsprozent Ag_2WO_4 im Wechselstromkreis insbesondere bei induktiver Last eine gute Alternative zu Ag/CdO darstellt [10]. Auch für den Einsatz in Lichtschaltern hat sich Ag/ZnO 8[3)] mit Zusätzen bereits bewährt [11].

Die Silber-Zinkoxid-Kontaktwerkstoffe werden wie die Silber-Zinnoxid-Kontaktwerkstoffe auf pulvermetallurgischem Wege hergestellt; hauptsächlich mit 8 Gewichtsprozent ZnO. Sie stellen eine wirtschaftlich günstige Alternative zu Ag/SnO_2 dar. Die Zusätze fördern wie beim Ag/SnO_2 die Benetzung der ZnO-Partikel durch die Silberschmelze.

Zur Herstellung werden das ZnO und der Ag_2WO_4-Zusatz in Pulverform gemischt. Die Mischung wird über den Schmelzpunkt des Zusatzes erwärmt, so dass der Zusatz die Oberfläche des ZnO benetzt.

Die weiteren Herstellungsschritte sind das Mischen des «gecoateten» ZnO-Pulvers mit Silberpulver, das Sintern zu

einem Block, Strangpressen und schliesslich das Ziehen zu dem gewünschten Drahtdurchmesser mit Zwischenglühungen.

Soll ein Profilband mit schweissbarem Silberrücken hergestellt werden, so wird der Block nach dem Sintern in ein Silberrohr eingebracht und Verbund-Strang-gepresst. Es ergibt sich ein Profil mit Silberrücken, das durch Walzen und Zwischenglühen bis zur Endabmessung umgeformt wird.

Lieferformen sind Massivdrähte, Massivnieten, Bimetallnieten, Mehrschichtprofile, mehrschichtige Plättchen.

Silber-Grafit-Werkstoffe (Ag/C)

Haupteinsatzgebiete von Ag/C-Werkstoffen sind Schutzschalter, wie Leistungs-, Leitungsschutz- und Fehlerstromschutzschalter, in denen im Kurzschlussfall höchste Anforderungen an die Verschweissresistenz der Kontaktstücke gestellt werden. Die hohe Verschweissresistenz der Ag/C-Kontaktwerkstoffe beruht auf ihrem aussergewöhnlichen Schaltverhalten [12].

Bei Lichtbogeneinwirkung reagiert die Wirkkomponente Grafit mit der Umgebungsatmosphäre, wobei sich beim Schalten in Luft gasförmige CO- und CN-Verbindungen bilden, die unter starker Blaswirkung aus dem Ag/C-Werkstoff austreten und schmelzflüssiges Silber mitreissen. Dadurch entstehen Hohlräume, die das nadelförmige, aus Silber bestehende Gefüge bei senkrechter bzw. das schollenförmige bei paralleler Ausrichtung der Grafitpartikel zur Schaltfläche ergeben (Bild 6). Dieses für Ag/C-Werkstoffe typische Schaltgefüge verringert die mechanische Festigkeit der Schweissverbindung, so dass verschweisste Bereiche durch die im Schaltgerät zur Verfügung stehenden Trennkräfte leicht aufgerissen werden können. Ein Schwachpunkt von Ag/C-Kontaktwerkstoffen ist die geringe Abbrandfestigkeit. Bei Ag/C-Kontaktmaterial mit parallel zur Schaltfläche orientierten Grafitpartikeln kann eine deutliche Verbesserung im Abbrandverhalten erreicht werden, wenn ein Teil des Grafits in Form von Fasern in den Werkstoff eingebracht wird (Bild 7) [13].

Ag/C-Kontaktwerkstoffe werden üblicherweise mit Grafitgehalten von 2 bis 5 Gewichtsprozent auf pulvermetallurgischem Wege hergestellt, wobei das Strangpressen gesinterter Ag/C-Blöcke das dominierende Fertigungsverfahren darstellt. Der Vorteil des Strangpressens liegt in der hohen Verdichtung und der faserartigen Ausrichtung der Grafitpartikel in Pressrichtung. Je nach Art des Strangpressens (als Band oder in Stangenform) sind die Grafitpartikel im fertigen Kontaktstück senkrecht oder parallel zur Schaltfläche ausgerichtet. Die senkrechte Ausrichtung der Grafitpartikel ergibt sich, indem die Kontaktstücke durch Sägen aus der Stangenform hergestellt werden.

Da sich Kontaktauflagen aus Silber-Grafit wegen der in der Ag-Matrix eingelagerten Grafitpartikel direkt weder schweissen noch löten lassen, ist für das Aufbringen der Auflagen auf Kontaktträger eine grafitfreie Unterschicht erforderlich. Diese wird durch einseitiges Ausbrennen des Grafits, bei paralleler Ausrichtung der Grafitpartikel auch durch Verbundstrangpressen erzeugt. Beim Verbundstrangpressen wird der gesinterte Block aus Ag/C in einem Silberrohr Strang-gepresst. Es ergibt sich somit ein Profil mit umlaufender Silberschicht. Diese wird auf der Kontaktseite mechanisch entfernt.

Ag/C-Werkstoffe haben eine hohe Sprödigkeit und sind nur begrenzt verformbar.

Lieferformen sind Profile und Plättchen mit schweissseitigem Silberrücken und eventuell einer zusätzlichen Hartlotschicht.

Silber-Wolfram-Werkstoffe (Ag/W)

Ag/W-Werkstoffe werden vor allem als Abbrennkontakte in grossen Leistungsschaltern sowie als Hauptkontakte in kleineren und mittleren Leistungsschaltern und in Schutzschaltern eingesetzt.

Bei häufigem betriebsmässigem Schalten oder beim Führen von höheren Dauerströmen bilden sich auf der Ag/W-Kontaktoberfläche Wolframoxide sowie Mischoxide (Silber-Wolframate) und damit schlecht leitende Oberflächenschichten, die eine deutliche Erhöhung des Kontaktwiderstandes zur Folge haben. Aus diesem Grunde wird Ag/W beispielsweise in Fehlerstrom-Schutzschaltern nur gepaart mit Ag/C-Kontaktstücken eingesetzt. Ag/W-Kontaktwerkstoffe vereinigen in sich die hohe elektrische und thermische Leitfähigkeit des Silbers mit der hohen Abbrandfestigkeit des hochschmelzenden Wolframs. Die Herstellung der Ag/W-Kontaktwerkstoffe mit üblicherweise 50 bis 80 Gewichtsprozent Wolfram erfolgt entweder durch Sintern mit flüssiger Phase oder über das Tränkverfahren. Kornform und Grösse der Ausgangspulver bestimmen entscheidend das Gefüge sowie die mechanischen und kontaktspezifischen Eigenschaften dieser Stoffgruppe (Bild 8).

Lieferformen sind Plättchen mit schweissseitigem Silberrücken und/oder einer Hartlotschicht.

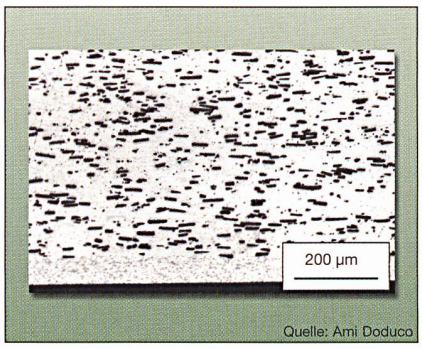

Bild 7 Längsschliff-Gefüge von Ag/C mit Anteil an Grafitfasern, an der Unterseite Schweissrücken aus Ag/Ni 10[3)]

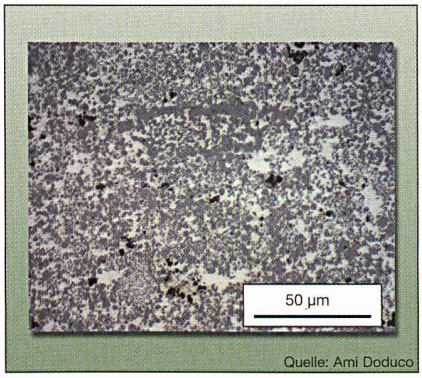

Bild 8 Gefüge von Ag/W 50[3)]

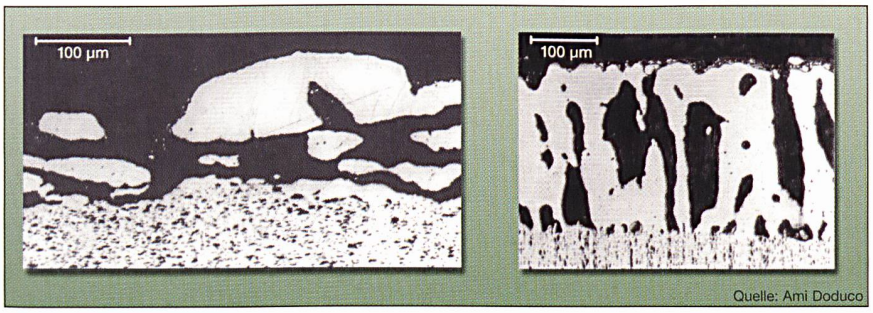

Bild 6 Schaltgefüge von Ag/C 3[3)] nach Lichtbogeneinwirkung

Bild 6a: parallele Orientierung der Grafitpartikel; Bild 6b: senkrechte Orientierung der Grafitpartikel

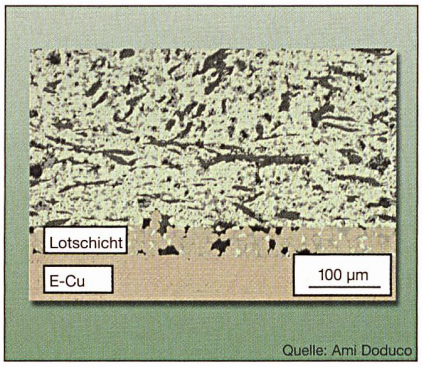

Bild 9 Gefüge eines Kontaktes aus Ag/WC-C (70% Ag, 27% WC, 3% C) widerstandsgelötet auf E-Cu

Silber-Wolframkarbid-Werkstoffe (Ag/WC)

Ag/WC-Kontaktwerkstoffe zeichnen sich gegenüber Ag/W durch eine höhere Verschweissresistenz aus. Der Anstieg des Kontaktwiderstandes beim betriebsmässigen Schalten ist bei Ag/WC-Verbundwerkstoffen weniger ausgeprägt als bei Ag/W, da der durch Zerfall des Wolframkarbids im Schaltlichtbogen frei werdende Kohlenstoff reduzierend wirkt und so den Fremdschichtaufbau auf der Kontaktoberfläche behindert [14]. Diese Gruppe von Kontaktwerkstoffen mit üblicherweise 40 bis 65 Gewichtsprozent Wolframkarbid besteht aus dem besonders harten und verschleissfesten Wolframkarbid und dem gut leitenden Silber. Hohe Ansprüche an das Erwärmungsverhalten können durch Zusatz eines geringen Anteils (z.B. 3 Gewichtsprozent) Grafit erfüllt werden, wodurch allerdings das Abbrandverhalten verschlechtert wird. Die Silber-Wolframkarbid-Grafit-Werkstoffe werden beispielsweise mit 27 Gewichtsprozent WC und 3 Gewichtsprozent Grafit (Bild 9), neuerdings auch mit 16 Gewichtsprozent WC und 2 Gewichtsprozent Grafit in Einzelpresstechnik nach dem Sinter-Press-Nachpress-Verfahren hergestellt [15].

Lieferformen sind Plättchen mit schweissseitigem Silberrücken und/oder einer Hartlotschicht.

Glossar

Ag	Silber
Bi	Wismut
C	Kohlenstoff
Cd	Kadmium
Cu	Kupfer
In	Indium
Mo	Molybdän
N	Stickstoff
Ni	Nickel
O	Sauerstoff
S	Schwefel
Sn	Zinn
W	Wolfram
Zn	Zink

Angaben zu den Autoren

Dr. **Volker Behrens** ist bei AMI DODUCO GmbH verantwortlich für den Bereich Forschung und Entwicklung Kontaktwerkstoffe sowie die technische Kundenberatung.
VBehrens@amidoduco.com

Dietmar Späth, Dipl. Ing. Elektrotechnik (BA), ist bei AMI DODUCO GmbH verantwortlich für die technische Kundenberatung im Bereich der Niederspannungs-Energietechnik. Zugleich leitet er das Applikationslabor, in dem die elektrischen Tests von Schaltgeräten durchgeführt werden.
DSpaeth@amidoduco.com

Referenzen

[1] *V. Behrens, R. Michal, J. N. Minkenberg, K.-E. Saeger, B. Liang, W. Zhang:* Erosion Mechanisms of Different Types of AgNi 10 Materials. Proc. 14th Int. Conf. on Electr. Contact Phenom., Paris 1988, pp. 361–366.

[2] *V. Behrens, R. Michal, J. N. Minkenberg, K.-E. Saeger:* Abbrand und Kontaktwiderstandsverhalten von Kontaktwerkstoffen auf Basis von Silber-Nickel. e & i, 107, (1990), H. 2, S. 72–77.

[3] *R. Michal, K.-E. Saeger:* Metallurgical Aspects of Silver based Contact Materials for Air-Break Switching Devices for Power Engineering. IEEE Trans. Comp. Hybrids Manuf. Technol. Vol. CHMT-12, 1, (1989), pp. 71–81.

[4] *P. Braumann, I. Lang:* Kontaktverhalten von Ag-Metalloxiden für den Bereich höherer Ströme. VDE-Fachbericht 42, (1991), S. 89–94.

[5] *P. Braumann, T. Warwas:* Analyse des Einschaltvorganges von Motorschaltern für die Entwicklung von Kontaktwerkstoffen. VDE-Fachbericht 42, (1991), S. 47–57.

[6] *W. Rieder, V. Weichsler:* Make Erosion Mechanism of Ag/CdO and Ag/SnO_2 Contacts. Proc. 37th Holm Conf. on Electr. Contacts, (1991), pp. 102–108.

[7] *V. Behrens, Th. Honig, A. Kraus, R. Michal, K.-E. Saeger, R. Schmidberger, Th. Staneff:* Eine neue Generation von AgSnO_2-Kontaktwerkstoffen. VDE-Fachbericht 44, (1993), S. 99–114.

[8] *V. Behrens, Th. Honig, A. Kraus, R. Michal:* Schalteigenschaften von verschiednen Silber-Zinnoxid-Werkstoffen in Kfz-Relais. VDE-Fachbericht 51, (1997), S. 51–57.

[9] *Th. Schöpf:* Silber/Zinnoxid und andere Silber-Metalloxid-Werkstoffe in Netzrelais. VDE-Fachbericht 51, (1997), S. 41–50.

[10] *Th. Schöpf, V. Behrens, Th. Honig, A. Kraus:* Development of Silver Zinc Oxide for General-Purpose Relays. Proc. 20th Int. Conf. On Electr. Contacts, Stockholm, 2000, pp. 187–192.

[11] *O. Lutz, V. Behrens, Th. Honig, D. Späth:* Ag/CdO – Ersatz in Lichtschaltern. 18. Fachtagung Albert-Keil-Kontaktseminar vom 5.–7.10.2005, in Druck.

[12] *E. Vinaricky:* Grundsätzliche Untersuchungen zum Abbrand- und Schweissverhalten von Ag/C-Kontaktwerkstoffen. VDE-Fachbericht 47, (1995), S. 159–169.

[13] *V. Behrens et al.:* Ein neues Silber/Grafit-Kontaktmaterial auf Basis von Grafitfasern. METALL 47, (1993), S. 639–643.

[14] *C.-H. Leung, H. J. Kim:* A Comparison of Ag/W, Ag/WC and Ag/Mo Electrical Contacts. IEEE Trans. Components, Hybrids, Manuf. Technol., Vol. CHMT-7, 1 (1984), pp. 69–75.

[15] *S. E. Allen, E. Streicher, C.-H. Leung:* Electrical Performance of Ag-W-C and Ag-WC-C Contacts in Switching Tests. Proc. 20th Int. Conf. on Electr. Contact Phenom., Stockholm 2000, pp. 109–114.

[1] Gewichtsprozent: gibt an, wie viel Gramm eines Stoffs in 100 Gramm eines Gemischs enthalten sind.
[2] Ternär: aus drei Stoffen bestehend
[3] Die Dezimalzahl gibt die Anzahl Gewichtsprozent an.