

Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik
Band: 96 (2005)
Heft: 17

Artikel: Kontaktwerkstoffe für Schaltkontakte in der Niederspannungs-Energietechnik
Autor: Behrens, Volker / Späth, Dietmar
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-857831>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 30.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://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-Energie-

strombetrieb, 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 Gewichtsprozent¹⁾. Dieser Nickelgehalt entspricht dem in Silber im festen Zustand maximal löslichen Nickelanteil. Durch den Nickelzusatz gelingt es, das ausgeprägte Kornwachstum von

Volker Behrens, Dietmar Späth

technik Kontaktstücke auf Silberbasis eingesetzt: Silber bildet als Edelmetall keine stabilen Oxide.

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 Gleich-

| 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 Abbrechkontakte bei großen Schützen |

* Die nachstehende Dezimalzahl gibt die Anzahl Gewichtsprozent an

Tabelle I Typische Einsatzgebiete von Kontaktwerkstoffen in der Niederspannungs-Energietechnik

| Werkstoff* | Dichte [g/cm ³] | Elektrische Leitfähigkeit [m/Ω·mm ²] | 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 ternäre²⁾ Ag-CuNi-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 Trägereile 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 unterschiedli-

chem 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 100A eingesetzt. Weiterhin weisen sie bei Nickelanteilen mit weniger 20 Gewichtsprozent niedrige Kontaktwiderstände und gute Lichtbogenlaufesigenschaften auf.

Bei Schaltströmen über 100 A sind die Abbrandesigenschaften 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 vor-

| Werkstoff* | Dichte [g/cm ³] | Elektrische Leitfähigkeit [m/Ω·mm ²] | 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 WO₃ oder MoO₃ Zusatz hergestellt, alternativ hergestellt auf Basis dotierter SnO₂-Pulver mit CuO- und Bi₂O₃ oder Ag₂MoO₄ Zusätzen.

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

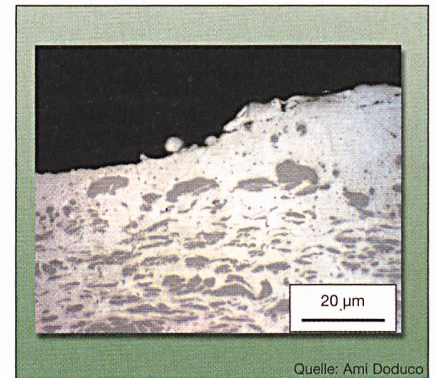


Bild 1 Ag/Ni-20³⁾-Gefüge nach Lichtbogenbeanspruchung

Abbildung im Massstab 1200:1

liegenden 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.

Zu diesem günstigen Abbrandverhalten tragen die Viskositätssteigerung 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 10³⁾

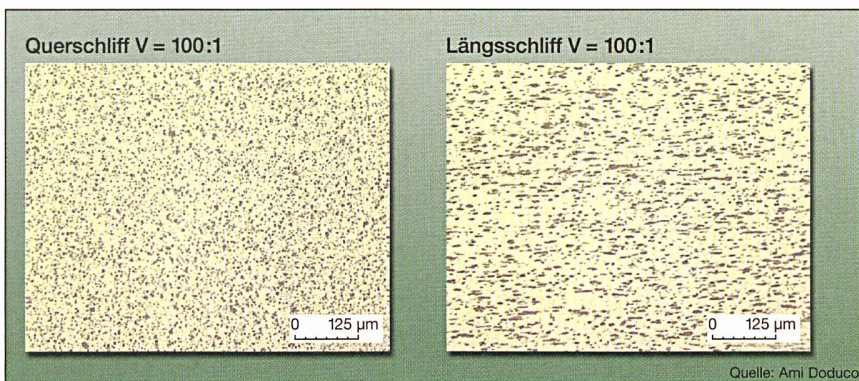


Bild 2 Gefüge von Ag/Ni 10³

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

und Ag/Ni 20³), 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, SnO₂ 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 SnO₂ erst bei Temperaturen über 1700 °C. Die unterschiedliche thermische Stabilität von CdO bzw. SnO₂ 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 schweisbar.

Silber-Kadmiumoxid-Werkstoffe (Ag/CdO)

Ag/CdO-Werkstoffe waren über viele Jahre hinweg ein Standardwerkstoff für Schaltgeräte der Niederspannungs-Energetechnik. 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/SnO₂)

Ag/SnO₂ 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/SnO₂-Werkstoffe ersetzt. Dieser Trend wurde noch dadurch begünstigt, dass z. B. beim Einsatz in Schützen, insbesondere bei Schwerlast, mit Ag/SnO₂ deutlich höhere Lebensdauerwerte erreicht wurden als mit Ag/CdO [3]. Auch hinsichtlich Verschweissresistenz bieten Ag/SnO₂-Werkstoffe vielfach Vorteile.

Durch die geringere Materialwanderung ist Ag/SnO₂ zudem bei Gleichstrom-Lasten dem Ag/CdO überlegen.

Zunächst wurde der Einsatz von Ag/SnO₂ - 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-

Kabelver- schraubungen PG und metrisch ab Lager



Sicherheit-
und Brand-
verhalten
nach
UL94 V0
und
EN 50262

intelc
Halle 1.1
Stand A64



HUMMEL

SafetyMarking

SignSystems

BRADY

deutronic

SEDLBAUER

Schärer + Kunz AG
Hermetschloosstr.73
Postfach 757
CH-8010 Zürich

SK

Tel. 044 434 80 80
Fax 044 434 80 90
sales@suk.ch

Schärer + Kunz
www.suk.ch

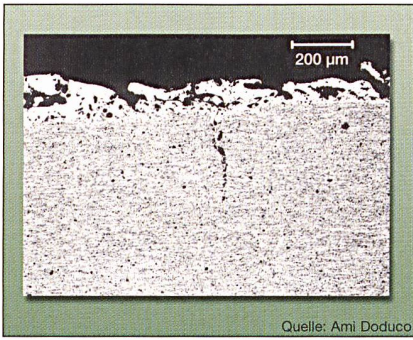


Bild 3 Zerklüftete und SnO₂-verarmte Kontakt-oberfläche von Ag/SnO₂ (gesintert und stranggepresst, mit MoO₃-Zusatz) nach Beanspruchung durch Einschaltlichtbögen

Gehalten über 5 Gewichtsprozent bei der Wärmebehandlung SnO₂-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/SnO₂ auf pulvermetallurgischem Wege favorisiert, wobei weitere Metalloxide wie WO₃, MoO₃, CuO, Bi₂O₃ oder Ag₂MoO₄ 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/SnO₂-Kontaktwerkstoffe galt lange Zeit die im Vergleich zu Ag/CdO geringere Lebensdauer

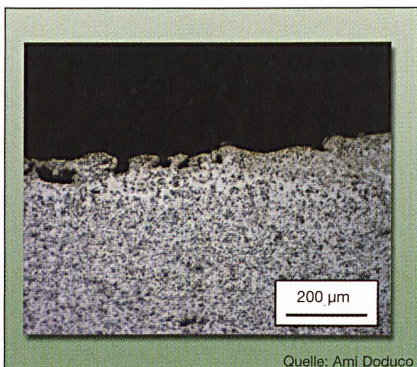


Bild 4 Gefüge von Ag/SnO₂ 12³), hergestellt nach dem Reaktionsprüfverfahren mit den Zusätzen Bi₂O₃ und CuO, im oberen Bereich durch Schaltlichtbögen beeinflusst

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/SnO₂-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 Reaktionsprüfverfahrens, bei dem gezielt (dotiert) geringe CuO- und Bi₂O₃-Zusätze in das SnO₂-Pulver eingebracht werden (Bild 4) [7]. Die Mischung aus Silberpulver und dotiertem SnO₂-Pulver wird dann auf üblichem pulvermetallurgischem Wege weiterverarbeitet (Bild 5).

Auch das Verfahren, die SnO₂-Partikel auf der Oberfläche mit Ag₂MoO₄ 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/SnO₂ 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

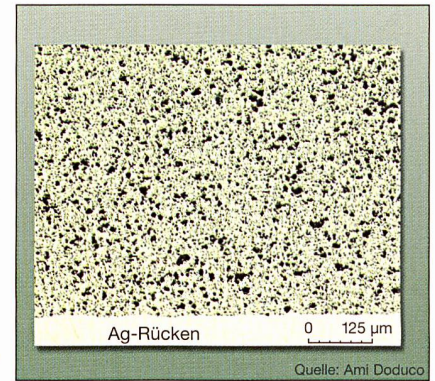


Bild 5 Gefüge von Ag/SnO₂ 12³), hergestellt nach dem Reaktionsprüfverfahren mit Schliff senkrecht zur Strangpressrichtung

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 SnO₂-Pulver [8, 9].

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 8³), dotiert mit 0,25 Gewichtsprozent Ag₂WO₄ im Wechselstromkreis insbesondere bei induktiver Last eine gute Alternative zu Ag/CdO darstellt [10]. Auch für den Einsatz in Lichtschaltern hat sich Ag/ZnO 8³) 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/SnO₂ dar. Die Zusätze fördern wie beim Ag/SnO₂ die Benetzung der ZnO-Partikel durch die Silberschmelze.

Zur Herstellung werden das ZnO und der Ag₂WO₄-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 schweisbarem Silberücken hergestellt werden, so wird der Block nach dem Sintern in ein Silberrohr eingebracht und Verbund-Stranggepresst. Es ergibt sich ein Profil mit Silberücken, 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 Umgebungsumgebung, 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 Grafitpartikel

keln 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 Stranggepresst. 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 schweisseitigem Silberücken und eventuell einer zusätzlichen Hartlottsicht.

Silber-Wolfram-Werkstoffe (Ag/W)

Ag/W-Werkstoffe werden vor allem als Abrennkontakte in grossen Leis-

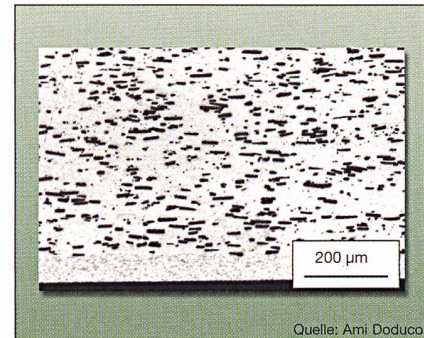


Bild 7 Längsschliff-Gefüge von Ag/C mit Anteil an Grafitfasern, an der Unterseite Schweissrücken aus Ag/Ni 10³

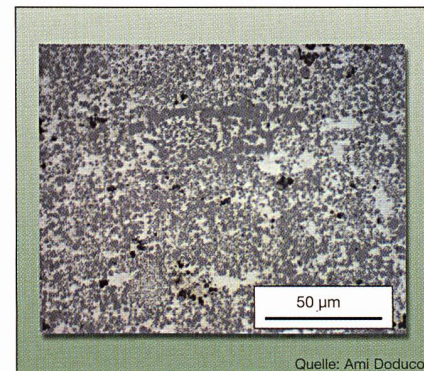


Bild 8 Gefüge von Ag/W 50³

tungsschaltern 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-Kontaktfläche 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 schweisseitigem Silberücken und/oder einer Hartlottsicht.

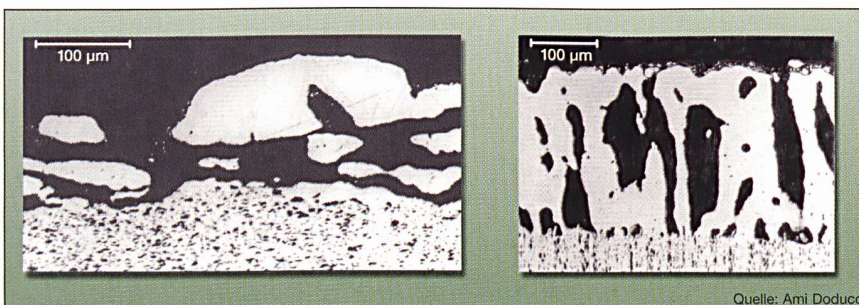


Bild 6 Schaltgefüge von Ag/C 3³ nach Lichtbogeneinwirkung

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

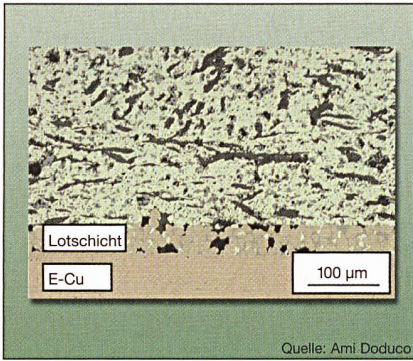


Bild 9 Gefüge eines Kontaktes aus Ag/WC-C (70% Ag, 27% WC, 3% C) widerstandsgelötet auf E-Cu

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 schweisssseitigem Silberrücken und/oder einer Hartlotschicht.

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-Energetechnik. 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 Kontaktwiderstandsverhal-

ten 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/SnO₂ 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 AgSnO₂-Kontaktwerkstoffen. VDE-Fachbericht 44, (1993), S. 99-114.
 [8] V. Behrens, Th. Honig, A. Kraus, R. Michal: Schalteigenschaften von verschiedenen 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.

fachbeiträge

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 |

Twiline[®]
Der 2-Draht-Bus

W. Wahli AG, Freiburgstrasse 341, 3018 Bern
Telefon 031 996 13 33, Telefax 031 996 13 34

www.wahli.com