

Dr.-Ing. Robert Zauter, Dr. rer. nat. Frank Sperka, Peter Stahl

Umformverhalten von Feuerverzinnungsschichten

Erschienen im Tagungsband der GMM-Fachtagung



Umformverhalten von Feuerverzinnungsschichten

Dr.-Ing. Robert Zauter, Peter Stahl, Dr. rer. nat. Frank Sperka

Wieland-Werke AG

Graf-Arco-Str. 36, 89079 Ulm, Germany

Keywords: Band, Kupfer, Kupferlegierungen, Steckverbinder, Zinn, Verzinnung, Feuerverzinnung, Zinnschicht, Umformung, Dehnung, Schichthaftung

1. Einleitung

Um einen möglichst guten elektrischen Kontakt in einer Steckverbindung zu gewährleisten, müssen die stromleitenden Kupferwerkstoffe mit einer metallischen Beschichtung überzogen werden. Bei der Übertragung von Signalen und mittel-hohen Strömen wird Zinn als Beschichtungswerkstoff verwendet. Dabei finden wirtschaftlich attraktive Feuerverzinnungen Anwendung. Bei der Herstellung des Steckverbinders durch Stanz-Biege-Prozesse erfahren sowohl der Kupfer-Grundwerkstoff als auch die Verzinnung erhebliche Umformungen, wie z.B. Biegungen, Dehnungen, Prägungen. Während das Umformverhalten der Kupfer-Grundwerkstoffe hinlänglich bekannt ist und mittels FEM berechnet werden kann, sind die mikrostrukturellen Vorgänge in einer Feuerverzinnungsschicht bislang kaum untersucht.

2. Mikrostruktur von Feuerverzinnungsschichten

Während des Feuerverzinnens, auch Schmelztauchverzinnung genannt, wird der Kupferwerkstoff in Form breiter Bänder durch ein Bad aus schmelzflüssigem Zinn geführt, siehe schematische Darstellung in Abb. 1. Die Dicke der Zinnschicht ist über die ganze Breite und Länge des Bandes konstant. Sie wird über eine Heißluft-Abblas-Vorrichtung und eine kontinuierliche Schichtdickenmessung geregelt. So können Zinnschichten in Dickenintervalle von 1-2 μm bis zu 10-20 μm erzeugt werden. Miniaturisierte Steckverbinder bestehen üblicherweise aus dünnem Band mit Banddicken von ≤ 0.2 mm und Zinnschichten mit geringen Schichtdicken im Bereich 0.8-2, 1-2 und 2-4 μm .

Während des Beschichtungsvorganges befindet sich das Band für kurze Zeit im Zinntrog und hat Kontakt zum heißen Zinn mit einer Temperatur etwas oberhalb des Schmelzpunktes von Zinn (232 °C). Dabei kommt es an der Oberfläche des Bandes zu einer spontanen Ausbildung einer ca. 0.5 μm starken intermetallischen Phase (IMP), bestehend aus Cu und Sn. Ist der Grundwerkstoff ein Reinkupfer, so bilden sich sowohl die kupferreiche ϵ -Phase = Cu_3Sn als auch die zinnreiche η -Phase = Cu_6Sn_5 . Bei Kupferlegierungen ist die ϵ -Phase häufig nur sehr gering ausgeprägt oder nicht vorhanden. Eine durch Feuerverzinnung aufgebrachte Zinnschicht weist typische Eigenschaften auf, die in der DIN EN 13148 [2] beschrieben sind, so unter anderem sichtbare Kristallisationserscheinungen und sehr gute Haftfestigkeit.

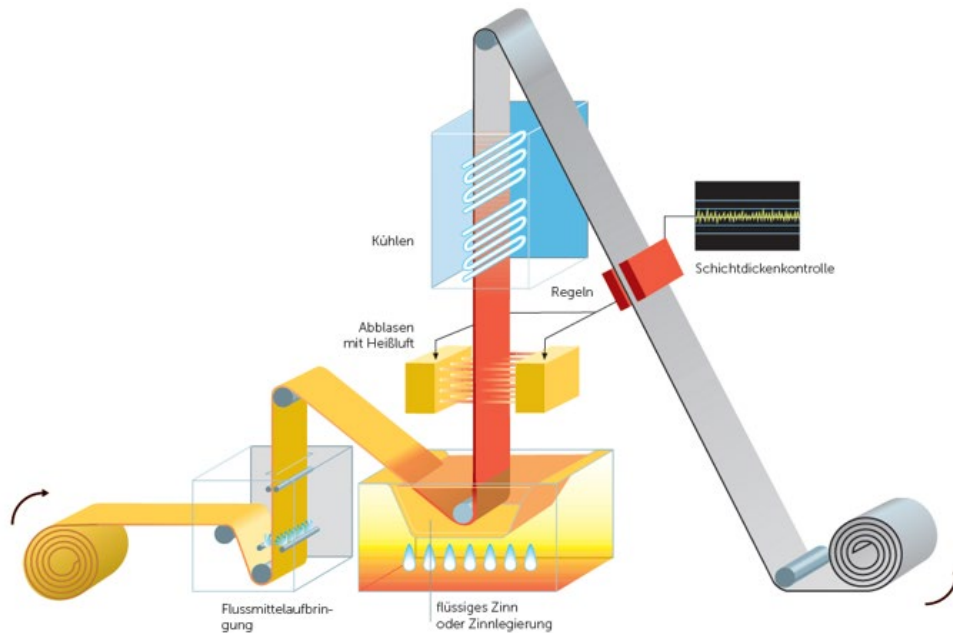


Abbildung 1: Schematische Darstellung einer Feuerverzinnungsanlage [1]. Stand der Technik sind heute Heißluftabbläsung und Schichtdickenregelung.

Es ist Stand der Technik, dass unterschiedliche Bandwerkstoffe zu unterschiedlichem Wachstum der IMP und somit zu einer unterschiedlichen Phänomenologie der IMP führen [3]. Bei Bronze wachsen die IMP-Körner parallel auf mit einer runden Grenzfläche zum Reinzinn. Bei CuNiSi-Werkstoffen ist das Wachstum der IMP-Körner stängelig und findet in verschiedene Richtungen statt, siehe Abb. 2. Eine entsprechende Darstellung im Querschliff zeigt Abb. 3.

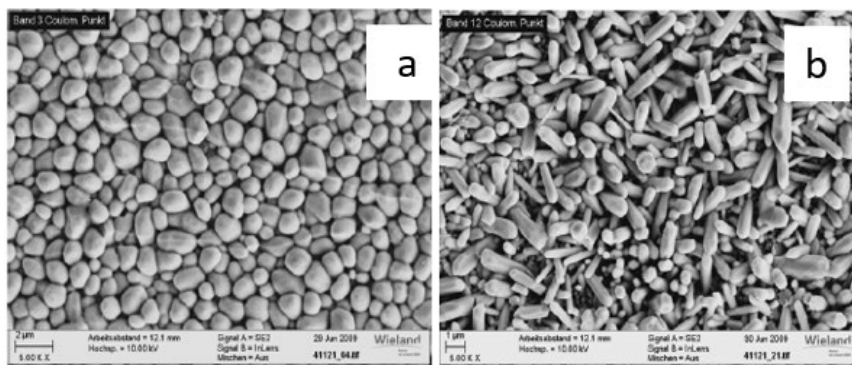


Abbildung 2: Draufsicht auf die intermetallische Phase, von der zuvor das Reinzinn chemisch abgelöst wurde. Der unterschiedliche Aufbau der IMP ist erkennbar, bei a) Bronze CuSn6, C51900, Wieland-B16 und b) CuNi3SiMg, C70250, Wieland-K55. Diese Abbildung wurde bereits zu einem früheren Zeitpunkt veröffentlicht [3].

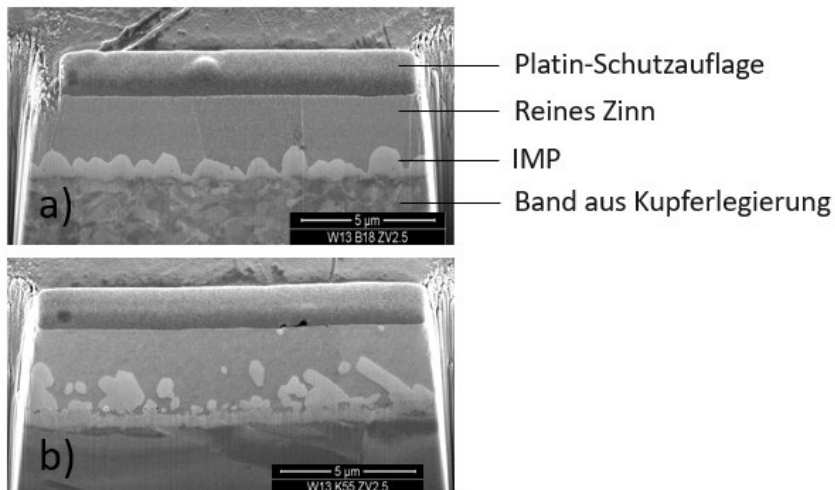


Abbildung 3: Querschnitte durch die Zinnschicht, erzeugt mittels Focussed Ion Beam (FIB) und dargestellt im Rasterelektronenmikroskop (REM). Unterschiedliche Ausprägungen der IMP auf verschiedenen Grundwerkstoffen, a) Bronze CuSn8 Feinkornvariante (C52100, Wieland-B18 SUPRALLOY®) und b) CuNi3SiMg (C70250, Wieland-K55). Ähnliche Bilder wurden bereits in [4] publiziert.

Im Gegensatz zu den duktilen Kupfer-Grundwerkstoffen und dem reinen Zinn in der Zinnschicht ist die intermetallische Phase spröde. Bei mechanisch aufgebrachter Dehnung formt sich die IMP nicht plastisch um, sondern neigt zu Rissbildung.

3. In dieser Studie verwendete Kupferwerkstoffe und Zinnschichten

In dieser Studie wurden hoch-feste Werkstoffe ausgewählt, die typisch sind für miniaturisierte Steckverbinder mit dünnen Reinzinnschichten. Diese Art der Steckverbinder werden häufig bei erhöhten Temperaturen eingesetzt und unterliegen somit dem Risiko von temperatur- und diffusionsbedingter Porenbildung (Kirkendall-Poren). Folgende beschichteten Bänder wurden verwendet:

- Feinkornbronze CuSn8, C52100, Wieland-B18 SUPRALLOY®,
Zustand R685, Banddicke 0.15 mm
Feuerverzinnung SnPUR® (Reinzinn) 1-2 µm
- CuNi3SiMg, C70250, Wieland-K55,
Zustand R620, Banddicke 0.15 mm
Feuerverzinnung SnPUR® (Reinzinn) 1-2 µm
- CuNi1ZnSi, C19005, Wieland-K73,
Zustand R580, Banddicke 0.20 mm
Feuerverzinnung SnPUR® (Reinzinn) 2-4 µm

4. Versuchsdurchführung

Bandproben aus den o.g. Werkstoffen wurden plastisch gedehnt in Zugversuchen und Bulge-Tests. Die Zugversuche wurden nach definierter plastischer Dehnung von 2.5 %, 5.0 %, 7.5 % und 10 % gestoppt. Zusätzlich wurden Bulge-Tests durchgeführt, bei welchen, aufgrund des nahezu idealen zweiachsigen Spannungszustandes, höhere plastische Dehnungen realisierbar sind. Bei CuNiSi-Werkstoffen sind bis > 20 % und bei der Bronze bis > 30 % plastische Dehnung erreichbar, siehe Abb. 4b.

Es wurden Proben parallel zur Dehnungsrichtung entnommen, so dass die photographischen Aufnahmen der Mikrostruktur die Längung im Gefüge darstellen. Die Lage der Proben zeigen Abb. 4a für die Zugversuche (für jede plastische Dehnung ist ein separater Versuch notwendig) und Abb. 4b für die Bulge-Tests. Aus einem Bulge-Test können gleichzeitig mehrere Proben mit verschiedenen plastischen Dehnungen entnommen werden. Jede Probe wurde mittels FIB präpariert und im REM untersucht. Die FIB-Schnitte erlauben die Darstellung eines ca. 15 µm langen Abschnittes der Beschichtung in sehr hoher Auflösung und ohne Artefakte, die bei mechanischer Politur häufig auftreten. Dadurch ist es möglich, Hohlräume und Poren aller Art, auch in kleinster Größe, als schwarze Flächen darzustellen.

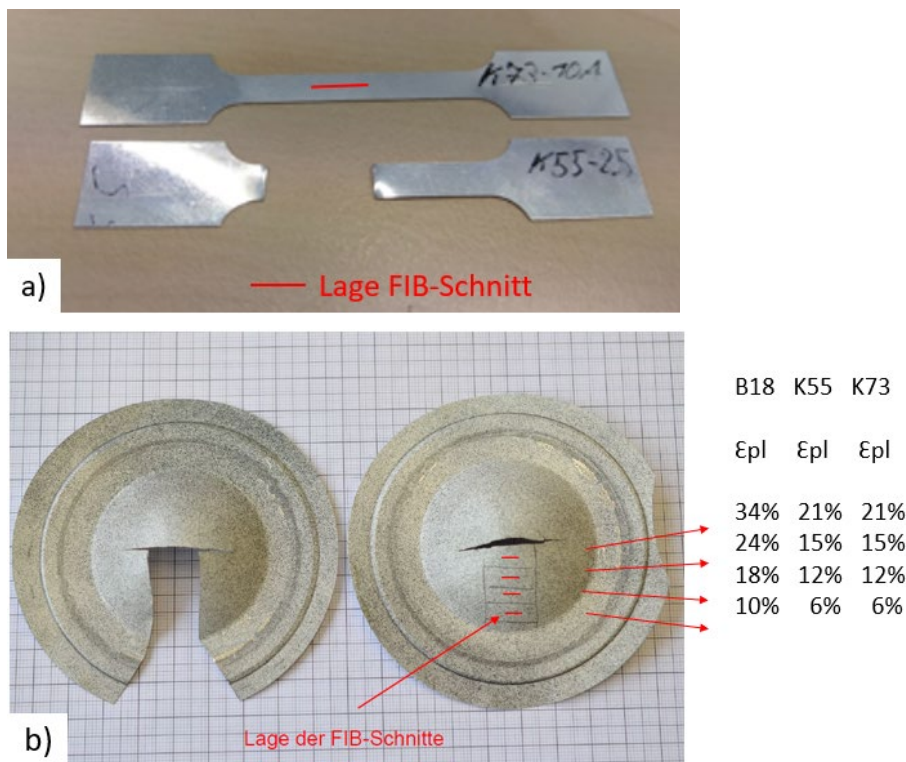


Abbildung 4: a) Zugversuchsproben und Lage der entnommenen FIB-Schnitte, b) Bulge-Test-Proben, Lage der entnommenen FIB-Schnitte und die zugehörigen plastische Dehnungen.

Die REM-Bilder wurden mittels eines Bildverarbeitungsprogrammes über die Kontrastunterschiede zwischen Material (Kupferwerkstoff, IMP, Reinzinn) und Hohlräumen/Poren in einen Schwarz-weiß-Kontrast umgewandelt und über eine in jedem Schlibfbild identisch gewählte Bezugsfläche $A = 13.3 \times 2.5 \mu\text{m}^2 = 33.25 \mu\text{m}^2$ (Abb. 5) quantitativ ausgewertet. Die gewählte Auflösung betrug $800 \times 150 \text{ Pixel}$, also $3610 \text{ Pixel}/\mu\text{m}^2$. Das Ergebnis der Auswertung ist die Summe der Hohlraum- bzw. Porenfläche in % der Bezugsfläche.

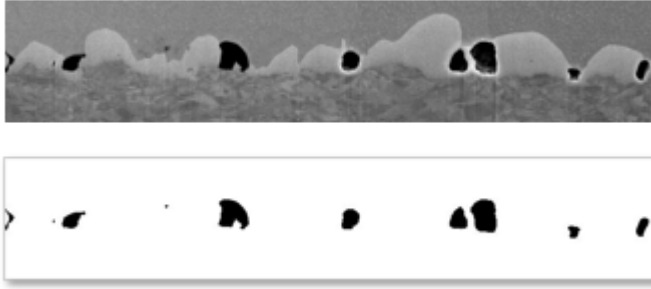


Abbildung 5: Die Auswertung der Gesamtfläche von Hohlräumen/Poren in der IMP auf einer für jedes Schliffbild identischen Bezugsfläche A der Größe $13.3 \times 2.5 \mu\text{m}^2$ geschieht über Umwandlung des REM-Bildes in ein Schwarz-weiß-Kontrastbild.

5. Ergebnisse

5.1 Zugversuche

Die REM-Bilder der FIB-Schnitte in Abb. 6 zeigen die Mikrostruktur der Zinnschicht, bestehend aus Reinzinn und IMP, sowie einen kleinen Ausschnitt des darunter liegenden Grundwerkstoffes. Jede Spalte steht für einen Werkstoff gemäß Bezeichnung in der Titelzeile. Nach unten hin nimmt die aufgebrauchte plastische Dehnung zu.

Bei einem Wert der plastischen Dehnung $\epsilon_{pl} = 2.5 \%$ treten noch keine Risse in der IMP auf. Bei $\epsilon_{pl} = 5 \%$ entstehen erste Risse an den Korngrenzen der IMP-Körner (Kurzbezeichnung: IMP-Risse), welche auf den CuNiSi-Grundwerkstoffen aufgewachsen sind. Ab $\epsilon_{pl} = 7.5 \%$ entstehen die IMP-Risse bei der Bronze. CuNiSi-Legierungen und Bronze haben also einen unterschiedlichen Schwellenwert der plastischen Dehnung, ab dem IMP-Risse auftreten. Erklärbar ist dieser Unterschied mit der in Kap. 2, Abb. 2 beschriebenen unterschiedlichen Struktur der IMP. Mit zunehmender plastischer Dehnung steigt die Anzahl der IMP-Risse an, was zunächst bei den CuNiSi-Werkstoffen deutlich erkennbar ist.

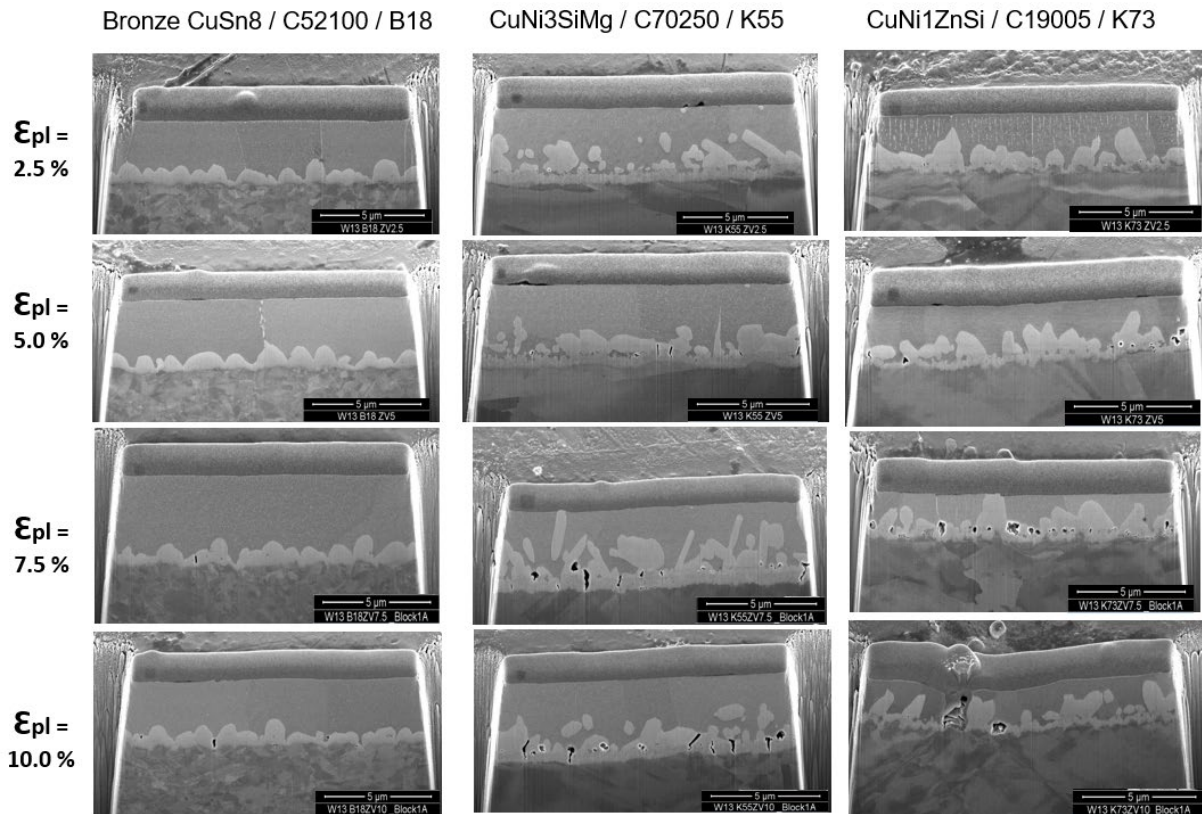


Abbildung 6: FIB-REM Bilder von Zugversuchsproben, die bei definierten plastischen Dehnungen gestoppt wurden. IMP-Risse treten ab einem Schwellenwert der plastischen Dehnung auf und ihre Anzahl nimmt mit zunehmender plastischer Dehnung zu.

5.2 Bulge-Tests

Während Zugversuche bei höher-festen Kupferlegierungen oberhalb von 10 % plastischer Dehnung zum Bruch führen, können mit Bulge-Tests höhere plastische Dehnungen erzielt werden. Die erreichbaren Dehnungen sind Grundwerkstoff-abhängig. Abb. 7 zeigt die Mikrostruktur der Zinnschichten in Abhängigkeit der plastischen Dehnung für die Feinkornbronze CuSn8 (B18 SUPRALLOY®) und den CuNi3SiMg-Werkstoff (K55).

Bei beiden Grundwerkstoffen steigt mit zunehmend höherer plastischer Dehnung zunächst die Anzahl der IMP-Risse an, bis nahezu jede Korngrenze aufgerissen ist. Gleichzeitig bewirkt die weitere Dehnung, dass die bestehenden Risse an Breite zunehmen.

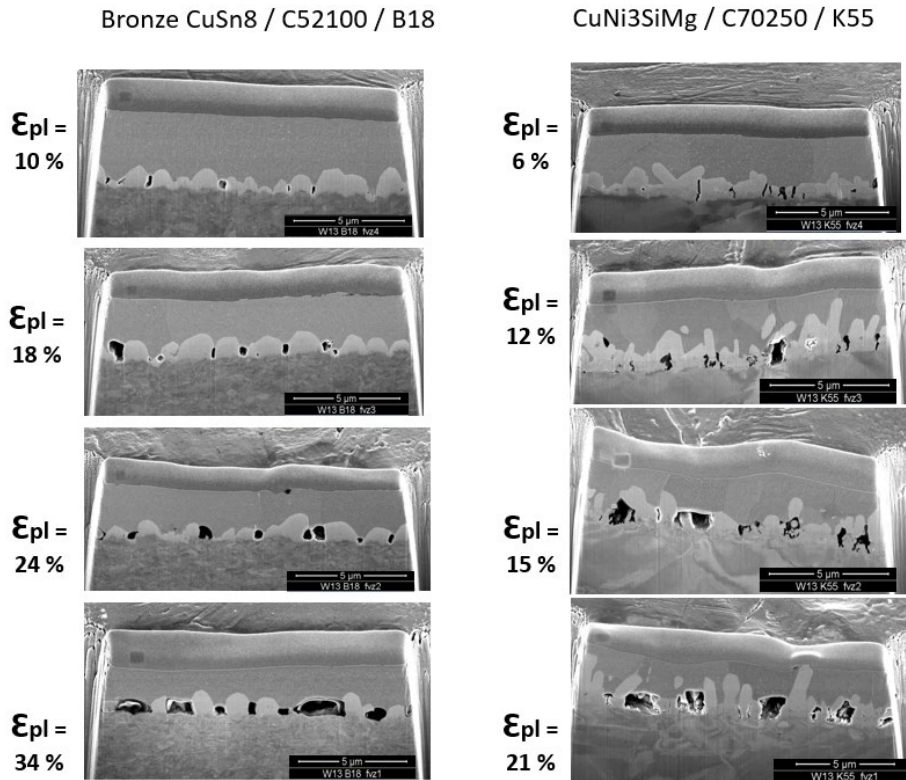


Abbildung 7: FIB-REM Bilder der Bulge-Test-Proben, die bei verschiedenen plastischen Dehnungen entnommen wurden. Mit zunehmender plastischer Dehnung nimmt die Anzahl der IMP-Risse zu, bis nahezu alle Korngrenzen aufgerissen sind. Gleichzeitig nimmt die Breite der IMP-Risse zu. Gezeigt sind die Bronze CuSn8 (C52100, Wieland-B18 SUPRALLOY®) und CuNi3SiMg (C70250, Wieland-K55).

Die quantitative Auswertung der Hohlraum-/Porenfläche ergibt ein Gesamtbild des Ausmaßes der dehnungsinduzierten IMP-Rissbildung. Abb. 8 zeigt eine Auftragung der Gesamtporenfläche in % über die plastische Dehnung. Aus den phänomenologischen Informationen aus den REM-Bildern und dem Diagramm in Abb. 8 lassen sich in folgende Aussagen treffen:

1. Die intermetallische Phase erträgt plastische Dehnungen bis zu einem Schwellenwert rissfrei. Bei höheren Dehnungen treten Risse auf. Dieser Schwellenwert hängt vom Grundwerkstoff ab. Erste IMP-Risse wurden beobachtet bei einer plastischen Dehnung von 5 % bei beiden CuNiSi-Werkstoffen, 7.5 % bei der Feinkornbronze CuSn8.
2. Mit zunehmender Dehnung nimmt die Anzahl der IMP-Risse so lange zu, bis alle IMP-Korngrenzen aufgerissen sind.
3. Gleichzeitig verbreitern sich die IMP-Risse mit zunehmender plastischer Dehnung.
4. Die IMP bei den CuNiSi-Werkstoffen reißt eher auf und führt bereits bei kleineren plastischen Dehnungen zu einem höheren Hohlraum-Volumen als bei der Bronze.

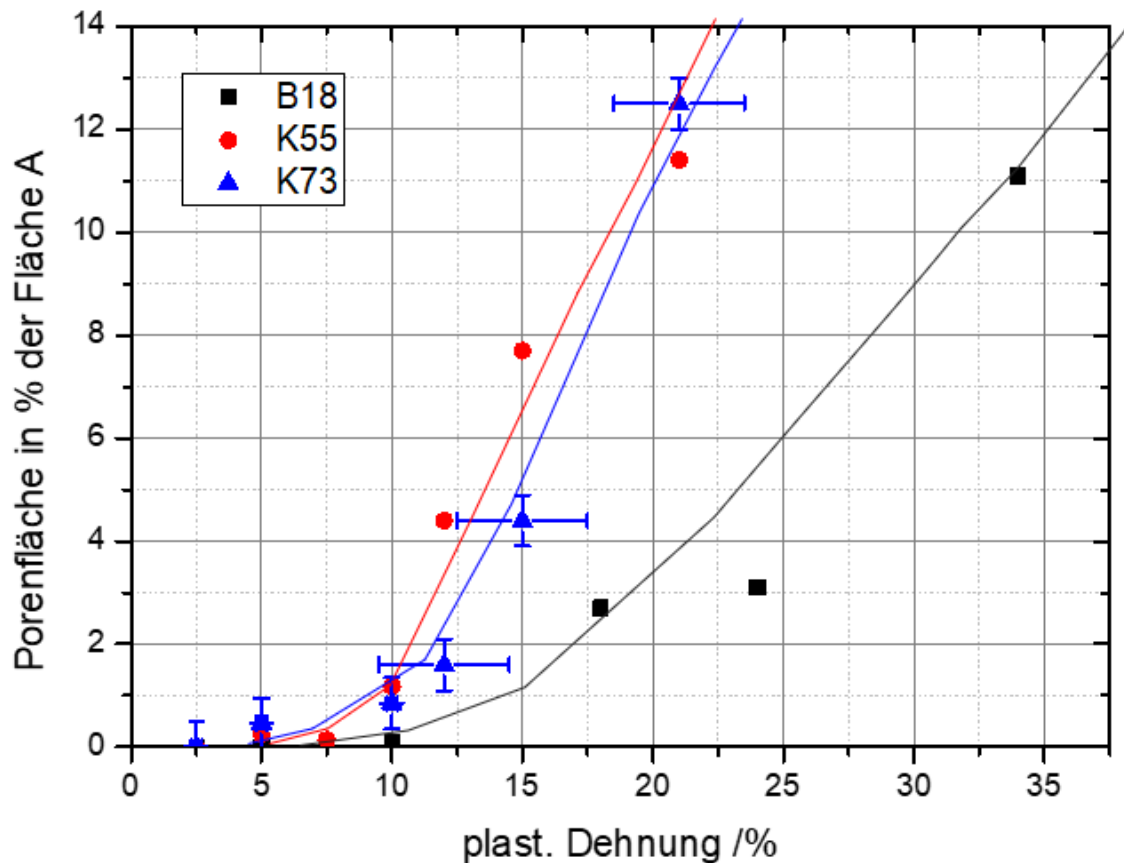


Abbildung 8: Auftragung der Gesamt-Hohlraum Fläche in Prozent zur ausgewerteten Fläche über die plastische Dehnung. Anmerkung: Fehlerbalken wurden nur für C19005 (K73) eingezeichnet. Für die beiden anderen Werkstoffe C70250 (K55) und CuSn8 (B18) sind sie in der gleichen Größenordnung.

6. Anwendung der Ergebnisse auf reale Steckverbinder

Das Vorliegen von Kurven, die Porenflächenanteile in Abhängigkeit der aufgetragenen plastischen Dehnung beschreiben, ermöglicht die Abschätzung der Höhe der plastischen Dehnung in realen Bauteilen, z. B. in einer Kontaktkuppe eines miniaturisierten Steckverbinders. Ein Versuchswerkzeug zur Einprägung solcher Kontaktkuppen wurde freundlicherweise von der Firma TE Connectivity zur Verfügung gestellt. Damit wurden Kuppen aus zwei der drei in Kap. 3 genannten Versuchswerkstoffen hergestellt und FIB-Schnitte in drei unterschiedlich verformten Bereichen, a) der Kontaktkuppe, b) der Flanke und c) im unverformten Bereich, hergestellt (siehe Abb. 9) und im REM untersucht. Die Phänomenologie der Hohlräume zeigt Abb. 10, die zahlenmäßige Abschätzung der plastischen Dehnung zeigt Tabelle 1.

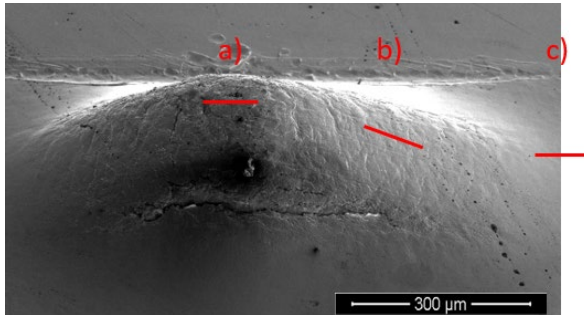


Abbildung 9: Kontaktkuppe, hergestellt mit einem Prägewerkzeug der Firma TE Connectivity. Die roten Linien kennzeichnen die Lage der entnommenen FIB-Schnitte an den Positionen a) Kontaktfläche, b) Flanke und c) unverformter Bereich.

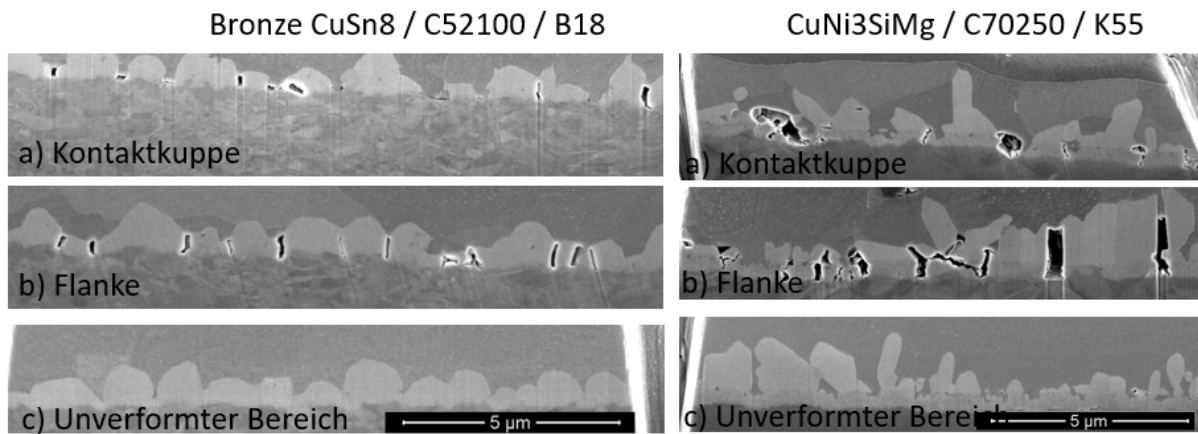


Abbildung 10: Ausbildung der IMP-Risse in der Kontaktkuppe in drei unterschiedlich verformten Bereichen an Bronze und CuNi3SiMg.

Tabelle 1:

Zahlenmäßige Abschätzung der vorliegenden plastischen Dehnungen in verschiedenen Bereichen der Kontaktkuppe aus den Porenbildern in Abb. 10 und der Graphik in Abb. 8.

Cu-Werkstoff	Bereich	Porenflächenanteil (%)	ϵ_{pl} (%), abgeschätzt aus Abb. 8
CuSn8	Kontaktfläche	0.5	12.0
CuSn8	Flanke	0.7	12.5
CuSn8	unverformt	0	0
CuNi3SiMg	Kontaktfläche	5.2	14.0
CuNi3SiMg	Flanke	4.2	13.0
CuNi3SiMg	unverformt	0	0

7. Schichthaftung bei Vorliegen von IMP-Rissen

7.1 Schichthaftung nach dem Stanz-Biegeprozess

Im Herstellungsprozess eines Steckverbinders durch Stanz-Biege-Prozesse finden Dehnungen des Grundwerkstoffes und der Zinnschicht in vergleichbaren Größenordnungen statt, wie sie in dieser Studie über definierte Versuche aufgebracht wurden.

Die in den Kapiteln 5 und 6 gezeigten Schlifffbilder zeigen ausnahmslos sehr gute Haftung der IMP an den Grundwerkstoff. Es gibt sowohl bei der Bronze als auch bei den CuNiSi-Legierungen keinerlei Material-Trennungen zwischen IMP und Grundwerkstoff. Ebenfalls ist keinerlei Fortschreiten der IMP-Risse ins benachbarte Material erkennbar. So zeigen weder das Reinzinn „oberhalb“ der IMP noch der Grundwerkstoff „unterhalb“ der IMP-Schädigungen bzw. Materialtrennungen parallel zu den Grenzflächen auf.

Die ausgezeichnete Haftung der IMP am Grundwerkstoff ist an sich nicht überraschend. So werden täglich Abermillionen Steckverbinder durch Stanz-Biege-Prozesse von feuerverzinnenden Bändern hergestellt, ohne dass Enthaltungen beobachtet werden. Anschließend sind die Steckverbinder viele Jahre problemlos ohne Schichtenthaftungen in Betrieb.

7.2 Schichthaftung nach Einsatz bei erhöhter Temperatur (> 100 °C)

In der Automobilindustrie werden für miniaturisierte Steckverbinder häufig Einsatztemperaturen von > 100 °C definiert. Dies wirft weitere Fragen auf.

a) Welche Grundwerkstoffe/ Kupferlegierungen sind geeignet?

Einerseits müssen die Grundwerkstoffe einen ausreichenden Widerstand gegen thermische Spannungsrelaxation bieten. Zinnbronzen relaxieren bei 105° / 1000 h um ca. 10 – 15 %, was als noch akzeptabel gilt. CuNiSi-Werkstoffe relaxieren bei 120 °C / 1000 h um ca. 10 %, was ebenfalls als akzeptabel gilt.

Ab 120 °C finden nur die relaxationsbeständigen Hochleistungswerkstoffe auf CuNiSi-Basis Anwendung. Hier ist bekannt, dass bestimmte Konzentrationen von Legierungselementen in der Lage sind, die Diffusion von Kupferatomen in die Zinnschicht zu behindern, die Bildung von Diffusionsporen (Kirkendall-Poren) auf ein ertragbares Maß zu beschränken und somit eine ausreichend gute Zinnschicht-Haftung bei erhöhter Einsatztemperatur über längere Zeitdauer zu gewährleisten [5]. Als geeignet angesehen werden die CuNiSi-Legierungen CuNi1ZnSi (C19005, Wieland-K73) und CuNi3SiMg (C70250, Wieland-K55).

b) Wechselwirkung IMP-Risse und Kirkendall-Poren

Es stellt sich die Frage, ob IMP-Risse und diffusionsinduzierte Kirkendall-Poren, welche bei erhöhter Temperatur entstehen, wechselwirken und ob die Überlagerung der Effekte zu verringerter Schichthaftung führt. Dazu wurden Glühungen bei 105 °C über 1000 h durchgeführt. Bei den Mikroschliffen an geglühtem Material fiel auf, dass die Fläche der IMP-Risse reduziert war gegenüber dem ungeglühten Material, was einer Ausheilung der IMP-Risse unter Temperatur gleichkäme.

Um diesen Ausheilungseffekt zu verifizieren, wurden gezielte Glühungen (105 °C, 1000 h) an den Proben durchgeführt, die bereits FIB-Schnitte enthielten. Anschließend wurden die bestehenden FIB-Schnitte erneut in das FIB eingesetzt und „nachgeschliffen“, d.h. die Oxidschicht wurde abgestrahlt. Die anschließenden REM-Aufnahmen zeigen somit nahezu dieselbe Stelle wie vor der Glühung. Die Bildebenen unterscheiden sich nur wenige Nanometer. Abb. 11 und 12 zeigen die Anordnung der IMP-

Risse durch die Glühung in einer vergleichenden Darstellung. an CuNi3SiMg Legierung bzw. an der CuSn8 Bronze.

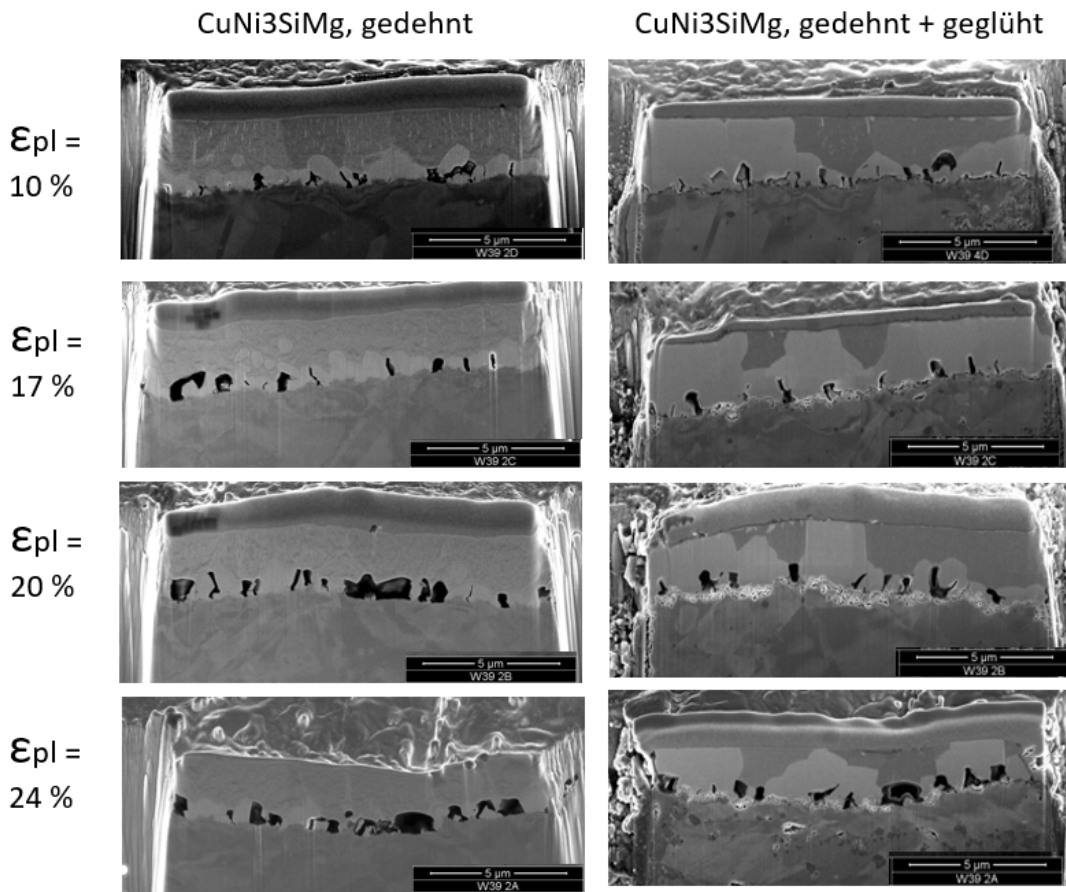


Abbildung 11, Grundwerkstoff CuNi3SiMg: Vergleich der IMP-Riss-Anordnung vor (linke Spalte) und nach der Glühung (rechte Spalte), entstanden jeweils auf derselben FIB-Schnitt-Position. Die Abnahme der Hohlraumfläche ist erkennbar. Somit kann von einem Ausheilen der durch plastische Dehnung entstandenen IMP-Risse an CuNi3SiMg während einer thermischen Behandlung bei 105 °C über 1000 h ausgegangen werden.

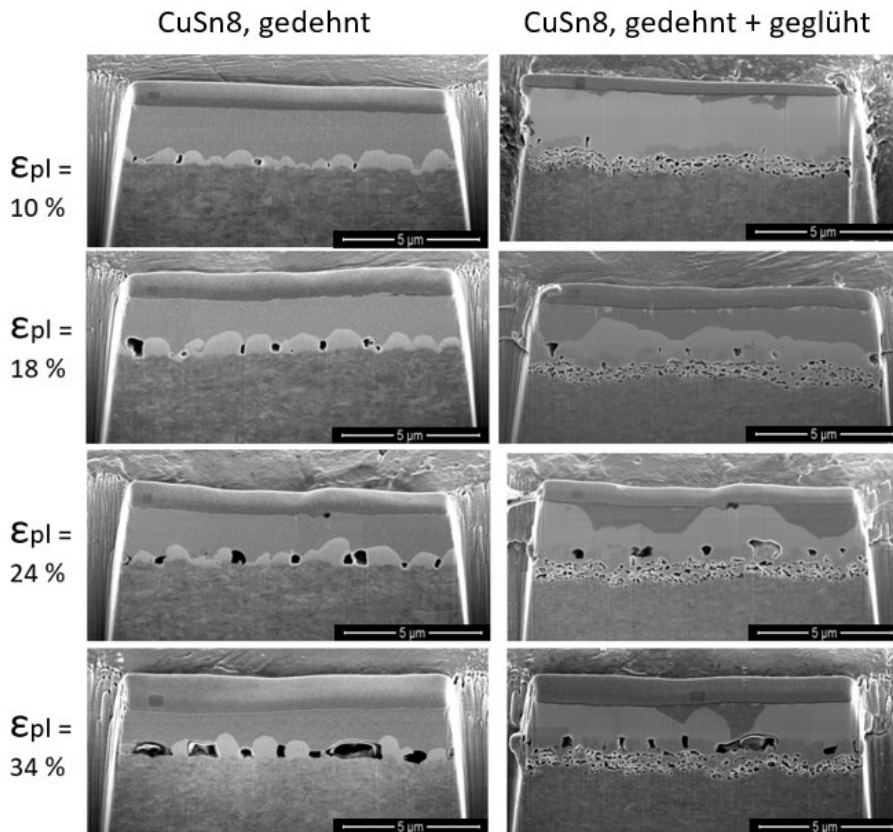


Abbildung 12, Grundwerkstoff CuSn8: Vergleich der IMP-Riss-Anordnung vor (linke Spalte) und nach der Glühung (rechte Spalte), entstanden jeweils auf derselben FIB-Schnitt-Position. Die Abnahme der Hohlraumfläche ist erkennbar. Somit kann von einem Ausheilen der durch plastische Dehnung entstandenen IMP-Risse an CuSn8 während einer thermischen Behandlung bei 105 °C über 1000 h ausgegangen werden.

Aus dieser Untersuchung können folgende Schlussfolgerungen getroffen werden:

- Die IMP-Risse wachsen unter Temperaturbeaufschlagung bei > 100 °C nicht weiter. Im Gegenteil sie weisen eine Tendenz zum Ausheilen auf.
- Die Kirkendall-Poren entstehen nicht in der Ebene, in der sich die IMP-Risse befinden, sondern eine Ebene darunter im Grundmaterial, aus dem die Kupferatome herausdiffundieren.
- Die IMP wächst weiter in das Reinzinn hinein und umschließt die IMP-Risse, diese setzen sich nicht fort.
- Eine Zinnschicht-Enthftung an den IMP-Rissen tritt nicht auf.
- Eine Wechselwirkung von IMP-Rissen und Kirkendall-Poren in Richtung Haftungsverminderung ist nicht erkennbar.

8. Fazit

IMP-Risse in einer über das Feuerverzinnungsverfahren aufgetragenen Zinnschicht entstehen bei der Herstellung von Steckverbindern mittels Stanz-Biege-Prozessen. Die IMP-Risse sind dehnungsinduziert. Rissbildung und -aufweitung unterscheidet sich leicht bei verschiedenen Grundwerkstoffen. In dieser Studie wurden eine Bronze und zwei CuNiSi-Legierungen betrachtet, Werkstoffe, die üblicherweise in miniaturisierten Steckverbindern verwendet und bei erhöhten Betriebstemperaturen ($> 100\text{ °C}$) eingesetzt werden. Die IMP-Risse beginnen ab einem Schwellenwert der plastischen Dehnung von 5 bzw. 7.5 % (CuNiSi-Werkstoffe bzw. Bronze) und werden mit zunehmender Dehnung mehr in Anzahl und breiter in der Ausdehnung. Dehnungsinduzierte IMP-Risse werden aus mehreren Gründen als ungefährlich eingestuft:

1. Die Zinnschicht um die IMP-Risse herum weist eine exzellente Haftung zum Kupfer-Grundwerkstoff auf.
2. Während des Einsatzes bei erhöhter Betriebstemperatur ($> 100\text{ °C}$) wachsen die dehnungsinduzierten IMP-Risse nicht weiter. Im Gegenteil sie neigen zum Ausheilen durch die Diffusionsprozesse.
3. Eine Wechselwirkung von IMP-Rissen und Kirkendall-Poren in Richtung Haftungsverminderung ist nicht erkennbar, denn beide Effekte liegen in verschiedenen Ebenen.

9. Literatur

- [1] Wieland-Werke AG, Produktbroschüre „Feuerverzinnete Bänder aus Kupferwerkstoffen“, Version Okt. 2022.
- [2] DIN EN 13148:2010, Deutsches Institut für Normung e.V., Dez. 2010.
- [3] I. Buresch, *Effekte intermetallischer Phasen auf die Eigenschaften von Zinnoberflächen auf Kupferlegierungen*, 21. Albert-Keil-Kontaktseminar, Karlsruhe, 28.-30.09.2011, VDE-Verlag.
- [4] H. Schmidt, I. Buresch und A. Stokowski, *Alterungsmechanismen bei Steckverbindern, die nicht Arrhenius-Zusammenhängen gehorchen*, 25. Albert-Keil-Kontaktseminar, Karlsruhe, 09.-11.10.2019, VDE-Verlag.
- [5] Europäische Patentschrift EP 1288321 B1, 2002/2005

wieland

Wieland-Werke AG | Graf-Arco-Straße 36 | 89079 Ulm | Deutschland
info@wieland.com | wieland.com

Diese Drucksache unterliegt keinem Änderungsdienst. Abgesehen von Vorsatz oder grober Fahrlässigkeit übernehmen wir für ihre inhaltliche Richtigkeit keine Haftung.
Die Produkteigenschaften gelten als nicht zugesichert und ersetzen keine Beratung durch unsere Experten.

03/2023 RP-TMA/Zr