

Einpresstechnik in Cu/OSP-Oberflächen – eine Variante mit Zukunft?

H. P. Trantz (Continental AG), T. Schmidt (Hella KGaA Hueck & Co.), P. Jaeckle (Robert Bosch GmbH), T. Gottwald (Schweizer Electronic AG), H. Woldt (Diehl Metal Applications GmbH), H. Eicher (ept GmbH), W. Neef (AVX GmbH), R. Vodiunig (BMW AG), U. Pape (Volkswagen AG)

Die Einpresstechnik mit flexiblen Einpresszonen in Leiterplatten hat sich im letzten Jahrzehnt auch in der Automobilelektronik etabliert. Vorteile der Einpresstechnik liegen insbesondere in der sehr einfachen Prozessführung, dem Wegfall von Temperaturprozessen und der Eignung sowohl für die Miniaturisierung als auch für Hochstromanwendungen. Sie wird in zunehmendem Maß in allen Anbauorten eingesetzt und unterliegt daher den unterschiedlichsten Umweltafordernungen. Dabei hat sich die Einpresstechnik als besonders robuste Verbindungstechnologie sowohl zum Kundenstecker als auch zu elektrischen Komponenten erwiesen. Im europäischen Raum wurde für die Leiterplatten bisher vor allem die chemisch Zinn Oberfläche eingesetzt. Parallel dazu findet im asiatischen Markt die kostengünstigere Cu/OSP-Oberfläche breite Anwendung. Um dieses Kostenpotenzial für Baugruppen mit Einpresstechnik zu erschließen, muss diese für die Cu/OSP-Oberfläche qualifiziert werden.

During the last decade, press-fit technology with flexible press-fit zones was established in the automotive industry. The main advantages of press-fit technology are in the simplified process management and elimination of thermal processes. Additional positive aspects include the facilitation of miniaturized applications as well as high-current applications. Press-fit technology usage will increase at all locations in the car and have highly differing environmental requirements. In these cases, press-fit technology has proved to be a very robust joining method to connectors as well as to electrical components. PCB's having an immersion tin surface metallization are mainly used in the European region. In parallel, the Asian market favors the OSP (Organic Surface Preservative) surface finish technologies. OSP enables a significant cost reduction with PCB processing. A generic qualification of press-fit technology with OSP surface finishes is required for broad acceptance and use in automotive applications.

1 Einleitung

Grundsätzlich werden bei der flexiblen Einpresstechnik beide Fügepartner, die Einpresszone und die Leiterplatte, während des Fügevorgangs sowohl elastisch als auch plastisch verformt.

Der Fügevorgang findet dabei rein mechanisch, ohne zugeführte Wärme, Lot oder sonstige Hilfsmittel statt. Der Formschluss zwischen der Leiterplattendurchkontaktierung und der Einpresszone wird durch ein definiertes Übermaß zwischen dem Durchmesser der Einpressgeometrie und

dem Durchmesser der Durchkontaktierung sichergestellt.

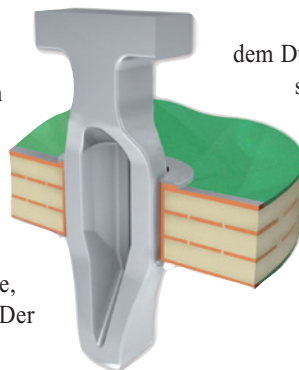


Abb. 1: Schematische Darstellung einer Einpressverbindung, Durchkontaktierung der Leiterplatte im Schnitt dargestellt

Die verwendeten Einpressgeometrien lassen sich in drei grundsätzliche Typen gliedern, die sich durch die Federhärte und den plastischen Anteil während des Einpressvorgangs unterscheiden [1]. Die ‚Eye of the Needle‘-Geometrien (EoN) ähneln einem Nadelöhr, bei der die beiden Schenkel durch Ausstanzen eines Loches gebildet werden.

Bei den ‚Spring Shape‘-Geometrien (SpS) sind die beiden Schenkel durch federnde Elemente verbunden. Diese verbindenden Elemente sind bei der ‚Cracking Zone‘-Geometrie (CrZ) als mögliche Sollbruchstellen ausgebildet. Drei Stellvertreter für diese jeweiligen Geometrieformen sind in *Abbildung 2* dargestellt.

Die drei ausgewählten Einpressgeometrien bilden einen sehr großen Bereich der flexiblen Einpresstechnik ab und sind somit eine repräsentative Beurteilungsbasis für die Technologie. Unabhängig von der individuellen Ausprägung der Einpresszone müssen die Kriterien der IEC-Norm 60352-5 [2] für Einpresstechnik berücksichtigt werden. In den Anwendungen haben sich zinnhaltige Oberflächen auf der Leiterplatte und der Einpresszone etabliert, da sich bei dieser Materialkombination ein zusätzlicher Diffusionsanteil ausgebildet, der die Belastbarkeit der Einpressverbindung erhöht. Der Übergangswiderstand einer Einpressverbindung liegt im μOhm -Bereich. Diese Merkmale gilt es hinsichtlich ihrer Gültigkeit beim Einsatz von OSP als Leiterplattenoberfläche zu überprüfen und bezüglich ihrer Einflussfaktoren zu verstehen.

Dazu hat sich ein Industriearbeitskreis (IAK) ‚Einpresstechnik in OSP‘ gebildet, der diese Fragestel-

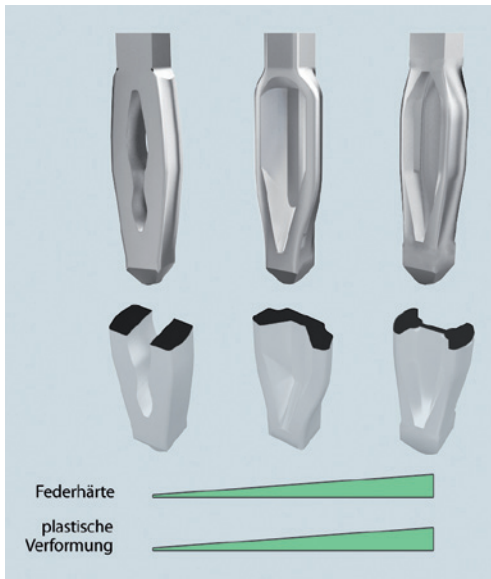


Abb. 2: übliche Geometrieformen von Einpresszonen – EoN, SpS, CrZ (von links nach rechts)

lungen näher untersucht. Darüber hinaus soll die Prozessierbarkeit und Zuverlässigkeit der Baugruppe mit Einpresskontakten in Cu/OSP-Leiterplattenoberflächen betrachtet werden. Zur Abbildung der gesamten Wertschöpfungskette sind im IAK EinpresskontaktHersteller und Leiterplattenhersteller (Tier 2), Automobilzulieferer (Tier 1) und Automobilhersteller (OEM) vertreten (*Abb. 3*).

Die folgenden Kapitel geben einen Überblick über das Versuchsprogramm und die Untersuchungsergebnisse

2 Untersuchungsprogramm

2.1 Definition der Parameter

Die Definition geeigneter Parameter für die Testmuster dient der umfassenden Beantwortung der Fragestellungen beim Einsatz von Cu/OSP-Oberflächen. Dafür wurden verschiedene Werkstoffkombinationen bewertet und anschließend das Versuchsprogramm mit den festgelegten Parametern erarbeitet. Folgende Parameter wurden während der Untersuchungen betrachtet:

- Oberfläche Leiterplatte: chem. Sn, OSP 1, OSP 2
- Lochdurchmesser Leiterplatte: minimal, nominal, maximal
- Geometrie Einpresszone: EoN, SpS, CrZ
- Oberfläche Einpresszone: Sn, AgSn, In

Im Folgenden werden die einzelnen Parameter ausführlicher erläutert.

Oberfläche Leiterplatte OSP: Am Markt sind derzeit ca. zehn Varianten von Cu/OSP-Oberflächen verfügbar. Aus diesen wurden zwei ausgewählt, die im jeweiligen Standardprozess aufgebracht wurden. Zusätzlich wurde als Referenz eine chemisch Zinn-Leiterplattenoberfläche mit betrachtet.

Lochdurchmesser Leiterplatte: Neben den Nominallöchern wurden für Grenzmusterbetrachtungen zusätzlich Maximal- und Minimallöcher im Versuchsprogramm untersucht. Damit wird zum

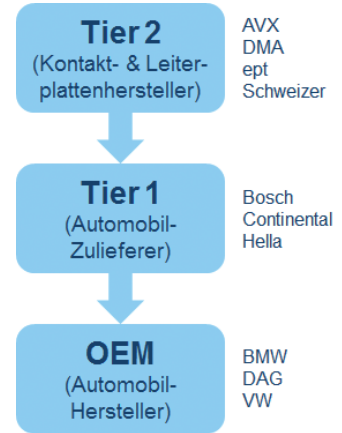


Abb. 3: Wertschöpfungskette IAK

einen das Spektrum der marktüblichen Toleranzen der Lochdurchmesser abgebildet, zum anderen die Robustheit des Einpressprozesses erprobt.

Geometrie Einpresszone: Die teilnehmenden Kontakthersteller decken mit ihren Einpresszonen die drei grundsätzlichen Einpressgeometrien ab. Alle drei Zonen finden in der Automobilindustrie verbreitet Anwendung.

Oberfläche Einpresszone: Reines Zinn ist derzeit weit verbreitet und diente als Referenz, um den ordnungsgemäßen Aufbau sicher zu stellen. AgSn und Indium in speziellen Varianten wurden als Alternativen hinsichtlich der Whisker-Minimierung untersucht. Alle Oberflächenvarianten waren mit einer Unternicke- lung versehen und wurden mit den gleichen Schicht- dicken aufgebracht.

2.2 Leiterplattenlayout

Alle Untersuchungen wurden an einem im IAK entworfenen Testlayout durchgeführt (Abb. 4). Dieses Layout entspricht weitgehend den Vorgaben zur Qualifikation der Einpresstechnik bei den beteiligten Tier1. Mit diesem Layout ist es möglich, alle erforderlichen Tests durchzuführen und die Übergangswiderstände im μOhm -Bereich mittels 4-Punkt- methode zu messen.

Die Leiterplatte wurde als Vier-Lagen-Multilayer in einer Dicke von 1,6 mm ausgeführt. Das verwendete Basismaterial hatte eine Glasübergangstemperatur T_g von 150 °C.

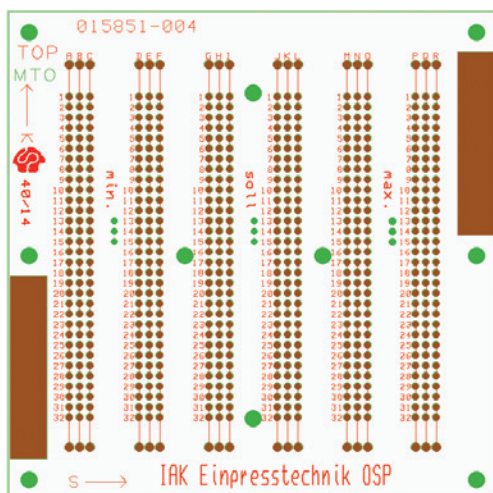


Abb. 4: Testlayout für Untersuchungen

2.3 Versuchsprogramm

Das Parameterfeld wurde in zwei Versuchsprogrammen untersucht.

- Einfluss der verschiedenen Parameter auf die Einpressverbindung im Initialzustand
- Einfluss der verschiedenen Parameter auf die Einpressverbindung nach Umwelterprobung

Die Umwelterprobung charakterisiert die Robustheit der Einpressverbindung durch zwei Prüfsequenzen. Der eine Prüfzyklus untersucht insbesondere die Bewertung nach thermomechanischer Belastung durch Temperatur-Schock und Schwingung. Der andere Prüfzyklus konzentriert sich auf klimatische Einflüsse und beinhaltet Temperatur-Schock, konstante und zyklische Feuchte sowie Schadgasprüfung.

Für das Versuchsprogramm 1 wurden sämtliche Kontakte einzeln eingepresst, um die Zuordnung zwischen Ein- und Auspresskraft für jeden einzelnen Kontakt zu gewährleisten. Im Versuchsprogramm 2 wurden dagegen die Kontakte mittels eines Mehrfachwerkzeugs eingepresst.

2.4 Prüfkriterien

Für die Bewertung der Versuche wurden folgende Kriterien herangezogen, die nachstehend detaillierter erläutert werden.

- Optische Analyse
- Elektrische Prüfung
- Mechanische Prüfung
- Metallographische Analyse

Optische Analyse: Die optischen Analysen wurden mit einem Stereo-Mikroskop sowohl auf der Ober- als auch auf der Unterseite der Leiterplatte durchgeführt, u.a. unter Berücksichtigung der IPC-A-610E [3]. Dabei wurden die Deformationen, Abhebungen und Risse des Reststrings, Risse im Lötstopplack und Weißfärbung des Basismaterials, Späne am Rand der Leiterplatten-Durchkontaktierung sowie Risse im Kontakt-Basismaterial ausgewertet.

Elektrische Prüfung: Die elektrische Prüfung wurde nach der Vier-Punkt-Messmethode, wie in IEC 60352-5 beschrieben, durchgeführt. Initial lag das Akzeptanzkriterium für den so ermittelten Übergangswiderstand bei maximal 1 m Ω , für die Messung nach Umwelterprobung wurde eine maximale Änderung um 0,5 m Ω als Akzeptanzkriterium definiert.

Mechanische Prüfung: Beide Probenumfänge wurden mit einer marktüblichen Zug-Druck-Prüfmaschine mit präziser Kraft-Weg-Überwachung aufgebaut. Die gleiche Anordnung wurde zur Messung der Auspresskräfte verwendet. Die ermittelten Einpresskräfte wurden mit den zonenspezifischen Einpresskräften der chemisch Zinn-Muster verglichen. Die Auspresskräfte wurden über das Maximum des Kraft-Weg-Verlaufs definiert. Als Akzeptanzkriterium im Initialzustand wurde als untere Grenze 30 N, nach Umwelterprobung 20 N für die Auspresskraft angewendet. Dabei wurde die Streuung der Kräfte statistisch zum unteren Grenzwert berücksichtigt.

Metallographische Analyse: Die Analyse wurde mit einem Metallographiemikroskop an Längs- und Querschliffen, gemäß IEC 60352-5, durchgeführt.

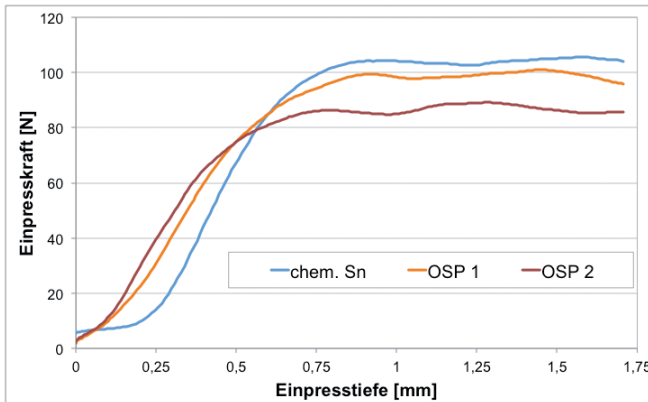


Abb. 5: Kraft-Weg-Verlauf beim Einpressen, Kontakt mit Sn-Oberfläche und verschiedene Leiterplattenoberflächen

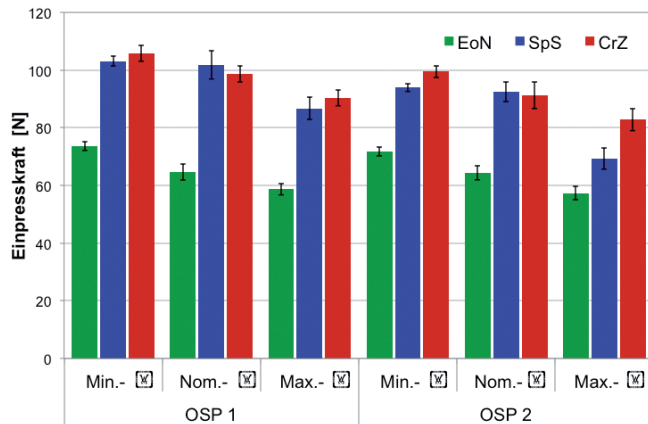


Abb. 6: Vergleich der Einpresskraft in Abhängigkeit des Durchmessers der Durchkontaktierungen für alle drei Einpresszonen

Dabei wurde kontaktspezifisch die Ebene mit maximaler Deformation betrachtet. Die Auswertung umfasste die Restkupferstärke im Längs- und Querschliff (a, d), die Hülsendeformation (b), den Düsen effekt (c), sowie die Rissbildung im angrenzenden Leiterplattenbasismaterial [2].

Die eingesetzten Messmittel und weitere Details zu den Analysen sind in [4] näher beschrieben. Alle Untersuchungen wurden bei einem unabhängigen Prüflabor durchgeführt.

3 Ergebnisse der Untersuchungen

3.1 Einpresskraft

Zunächst wurden beim Einpressvorgang der unterschiedlichen Kontaktvarianten die Einpresskräfte ermittelt. Die Auswertung ergab niedrigere Kräfte bei der Cu/OSP-Leiterplatten-Oberfläche als bei der chemisch Zinn Referenzoberfläche. Verlauf und Maximalwert der Einpresskurven sind stark durch die Kontaktgeometrie geprägt. Analog zur Sn-Oberfläche ist eine Abnahme der Einpresskraft mit steigendem Lochdurchmesser fest zu stellen (Abb. 6). Die beiden OSP-Varianten verhalten sich ähnlich, allerdings ist bei OSP 2 eine etwas geringere Einpresskraft feststellbar.

Alle Einpresswerte liegen unterhalb der für die IAK-Versuche definierten Maximalkraft von 160 N und erfüllen die Anforderung.

Sn-Oberflächen auf den Einpresszonen zeigten bei der Untersuchung eine kleinere Streuung der Einpresskräfte im Vergleich zu AgSn- oder In-Oberflächen.

Der ebenfalls untersuchte Einfluss der Glasfaserorientierung der Leiterplatte in Kett- und Schussrichtung zeigte keinen Effekt auf die Einpressverbindung, weder im Einpressprozess noch in den nachfolgenden Analysen. Die im Versuchsprogramm 1 ermittelten

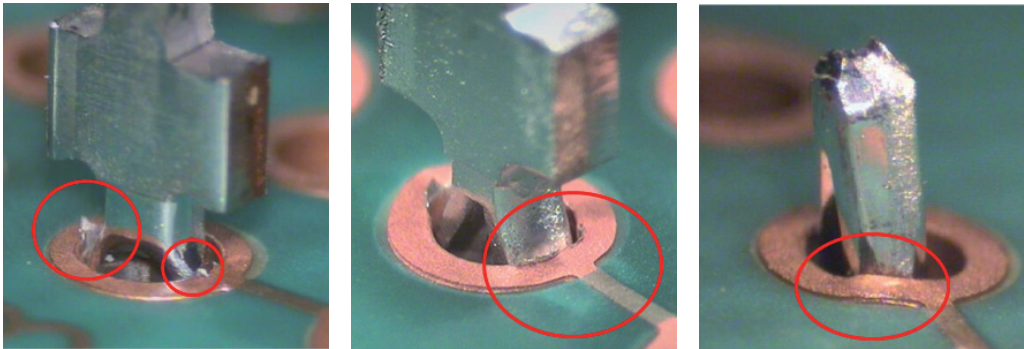


Abb. 7: Erkannte Fehlermerkmale bei der optischen Analyse – Spanbildung, Weißfärbung, Pad-Abheber

Einpresskräfte an Einzelkontakten konnten im Versuchsprogramm 2 mit dem Mehrfachwerkzeug bestätigt werden.

3.2 Optische Analyse

Im Rahmen der beiden Versuchsprogramme wurden alle Einpressverbindungen optisch inspiziert. Die nach Norm geforderten Qualitätsmerkmale wurden grundsätzlich erfüllt [2, 3]. Zwischen Initialzustand und den Umwelterprobungen konnten keine Unterschiede festgestellt werden. Nur bei wenigen Einpressverbindungen wurden die Fehlermerkmale Spanbildung, Weißfärbung und Restringaufwölbung beobachtet (Abb. 7).

3.3 Elektrische Prüfung

Der Übergangswiderstand wurde für alle Verbindungen im Initialzustand und nach der Umwelterprüfung

gemessen. Die Messwerte befanden sich für alle Aufbauvarianten deutlich unterhalb des geforderten Akzeptanzkriteriums von maximal 1 mΩ für den Initialzustand. Nach der Umwelterprüfung konnte in keinem Fall eine Erhöhung des Messwertes ermittelt werden. Der Mittelwert aller Varianten liegt unter 100 μΩ.

3.4 Mechanische Festigkeit

Die mechanische Festigkeit einer Einpressverbindung ist im Wesentlichen durch die Auspress- bzw. Haltekraft gekennzeichnet. Die Auspresskräfte der Kontakte wurden im Initialzustand und nach der Umwelterprobung ermittelt.

Im Initialzustand zeigten die Auspresskräfte bei den Kontakten mit Sn-Oberfläche bei beiden OSP-Varianten gleichwertige Ergebnisse. Die ermittelten

Kräfte sind vergleichbar mit der chemisch Sn-Leiterplatten-Oberfläche und deutlich oberhalb der definierten Minimalgrenze von 30 N.

Bei Betrachtung des Kraft-Weg-Kurvenverlaufes waren Unterschiede erkennbar. So zeigte die ‚Cracking Zone‘ durchgängig einen abrupten Kraftabfall nach Erreichen der Maximalkraft. Bei den anderen Zonentypen ist der Übergang in den Kraftabfall nach dem Maximum fließend, insbesondere beim maximalen Durchkontaktierungsdurchmesser.

Die beiden anderen Kontaktflächen zeigten sichtbare Unterschiede

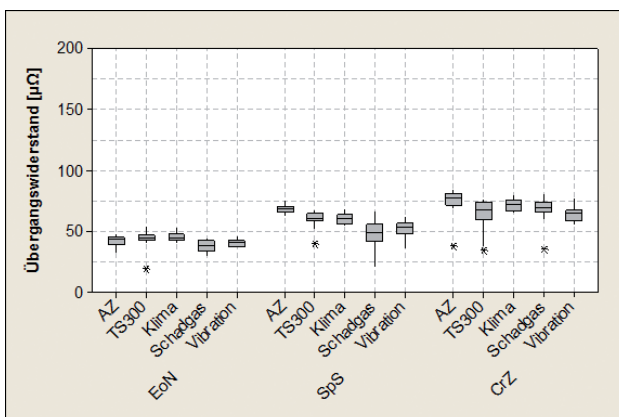


Abb. 8: Übergangswiderstand beim Nominaldurchmesser

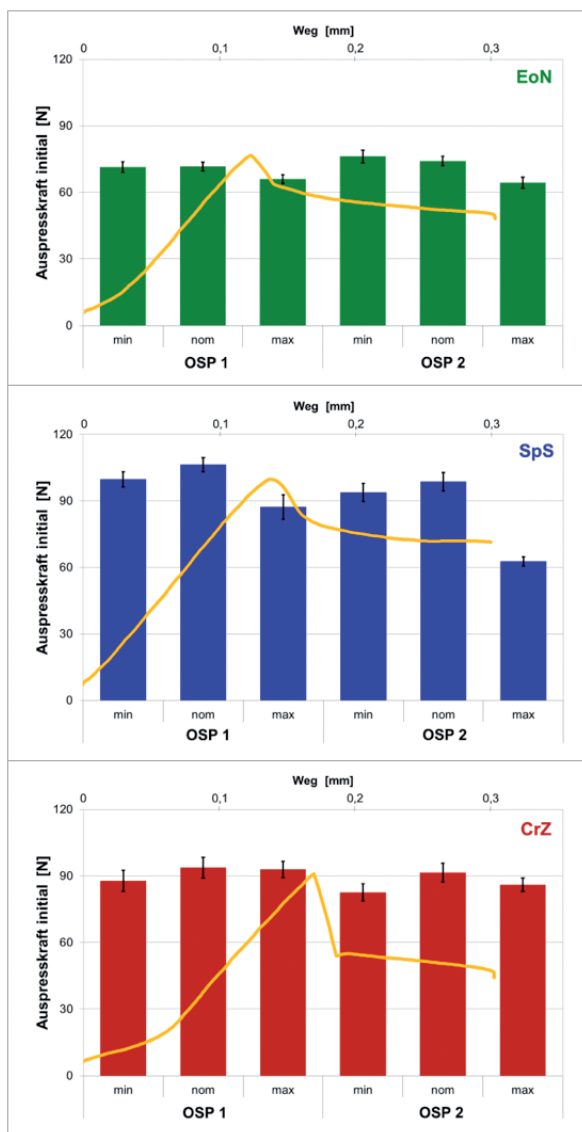


Abb. 9: Typischer Kraft-Weg-Verlauf beim Auspressen (gelb) im Vergleich zu den Mittelwerten der Auspresskraft (Geometrie Einpresszone: EoN – Eye of the Needle, SpS – Spring Shape, CrZ – Cracking Zone)

bei der mechanischen Festigkeit im Vergleich zur Sn-Kontaktfläche. Unabhängig von der Kontaktgeometrie zeigte die In-Oberfläche bei den Mittelwerten die höchsten und die AgSn-Oberfläche die geringsten Auspresskräfte.

Nach der Umwelterprobung nimmt die Auspresskraft erwartungsgemäß bei allen Varianten ab. Die Aus-

presskräfte nach Alterung lagen weitestgehend über der Spezifikationsgrenze von 20 N. Die „EoN“-Geometrie hält nahezu ihre initiale Auspresskraft, wohingegen die anderen Zonen von einem höheren Ausgangsniveau abfallen. Nach den Versuchsprogrammen befinden sich alle drei Geometrien auf einem ähnlichen Kraftniveau.

Auch nach Umwelterprobung wurde bei den Mittelwerten der Auspresskräfte die gleiche Reihenfolge wie im Initialzustand für die drei Kontaktflächen Sn, In und AgSn beobachtet. Über alle Auspresskräfte betrachtet, wurde erkannt, dass sich die Werte mit den Cu/OSP-Oberflächen vergleichbar verhalten wie bei chemisch Sn-Oberflächen.

Die Auspresskräfte liegen im Initialzustand bei Sn und In deutlich oberhalb, bei AgSn nahe an der Spezifikationsgrenze. Nach den Umwelterprobungen befinden sich die Auspresskräfte bei allen drei Oberflächen zumeist deutlich oberhalb der Spezifikationsgrenze.

3.5 Metallographische Analyse

Die Auswertung der Längs- und Querschliffe zeigte keinen signifikanten Unterschied zwischen dem Initialzustand und den beiden Zweigen der Umwelterprobung. Auch zwischen den zwei untersuchten OSP-Varianten waren keine systematischen Unterschiede erkennbar.

Die maximal erlaubte Hülsendeformation (b) von 70 µm wurde in keiner Werkstoffkombination überschritten. Dieses Ergebnis ist vergleichbar mit der chemisch Sn-Leiterplattenoberfläche. Im Gegensatz dazu gab es beim Düseneffekt (c) und bei den Restkupferdicken (a, d) Unterschiede.

Im Vergleich zur Sn-Oberfläche wurde bei den OSP-Oberflächen die geforderte Restkupferdicke von 8 µm bei allen Varianten lokal unterschritten und der nach Norm zulässige Düseneffekt von 50 µm in den meisten Kombinationen überschritten. Bei beiden OSP-Varianten sind die Ergebnisse der Kontaktfläche AgSn vergleichbar zu Sn, während In größere Deformationen aufweist.

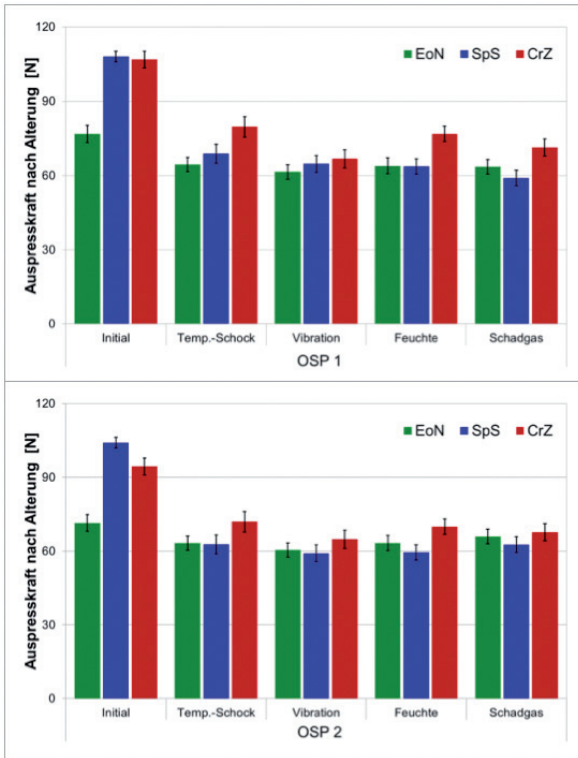


Abb. 10: Auspresskraft in Abhängigkeit der OSP-Varianten nach Umwelterprobung

Durch das Zusammenwirken der verschiedenen Industriepartner entlang der Wertschöpfungskette war es möglich, ein umfangreiches, wissenschaftlich fundiertes Versuchsprogramm zu generieren, die benötigten Grenzmuster bereitzustellen und durch ein unabhängiges Prüflabor wichtige Erkenntnisse zur Oberfläche OSP und deren Wechselwirkung mit der Einpresstechnik zu gewinnen. Mit den hier vorgestellten Untersuchungen wurde die Basis für einen zukünftigen Serieneinsatz der Leiterplattenoberfläche OSP in Verbindung mit der Einpresstechnik geschaffen.

Referenzen

- [1] H.-P. Tranitz, S. Dunker: Growth Mechanisms of Tin Whiskers at Press-in Technology. Proceedings of IPC APEX EXPO, San Diego, 2012
- [2] DIN IEC 60352-5:2012 Lötfreie Verbindungen - Teil 5: Einpressverbindungen - Allgemeine Anforderungen, Prüfverfahren und Anwendungshinweise
- [3] IPC-A-610E DE Abnahmekriterien für elektronische Baugruppen, E2010
- [4] J. Bornemann, u.a.: Prüfung der Qualität von Einpressverbindungen. EBL 2014, DVS-Berichte Band 301, S.166-171
- [5] A. Schlaht, u.a.: Bewertungsmöglichkeiten für Einpressverbindungen bei einem Automobilhersteller. EBL 2014, DVS-Berichte Band 301, S. 37-45

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die durchgeführten Untersuchungen im Industriearbeitskreis zeigen, dass die Einpresstechnik in Cu/OSP-Leiterplatten-Oberflächen weitgehend vergleichbare Ergebnisse gegenüber chemisch Sn-Leiterplatten-Oberflächen aufweist. Die bei den Deformationen und Auspresskräften erkannten Abweichungen erfordern eine applikationsspezifische Absicherung bei der Serieneinführung.

Für einen generellen Serieneinsatz von Cu/OSP-Oberflächen ist es notwendig, die Ursachen für diese Auffälligkeiten zu ermitteln. Weitere Einflussparameter, z. B. OSP-Variationen, sowie die Akzeptanzkriterien sind dabei ebenso zu bewerten. Ziel dabei muss es sein, die relevanten Parameter und deren Spezifikationsgrenzen zu definieren, die einen prozesssicheren und zuverlässigen Einsatz von OSP als Leiterplattenoberfläche in Verbindung mit der Einpresstechnik gewährleisten.

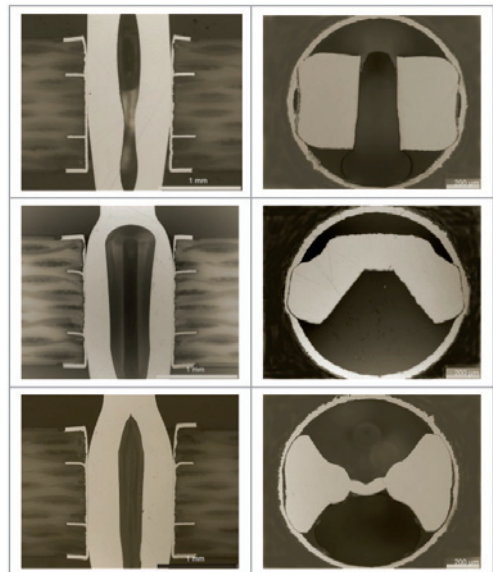


Abb. 11: Darstellung der typischen Schlifffbilder