

REAKTIVE NANOMETER-MULTISCHICHTEN SIND MASSGESCHNEIDERTE WÄRMEQUELLEN

DIE AUFGABE

Die Reaktivmultischichten (RMS) stellen eine fugezoneninterne Wärmequelle zum reaktiven Löten von Bauteilen bereit. Dieses Verfahren kommt vor allem für Anwendungen in Frage, bei welchen materialschonend, thermosensitiv und spannungsarm gearbeitet werden muss. Um dies präzise zu gewährleisten, ist eine für den jeweiligen Fügeprozess maßgeschneiderte Wärmequelle zu entwickeln. Dies erfordert die Herstellung von genau definierten Schichtsystemen, die hinsichtlich ihres Energiegehalts sowie der Ausbreitungsgeschwindigkeit der selbstfortschreitenden Reaktionsfront optimal an die Fügeaufgabe angepasst werden.

UNSERE LÖSUNG

Reaktivmultischichten (RMS) bestehen aus mindestens zwei unterschiedlichen reaktiven Materialien, welche in einigen hundert bis tausend Einzelschichten übereinander angeordnet vorliegen. Durch Einbringen einer Aktivierungsenergie, z. B. mittels eines elektrischen Funkens, wird eine atomare Interdiffusion der Materialien im lagenweise aufgebauten metastabilen Reaktivsystem ausgelöst.

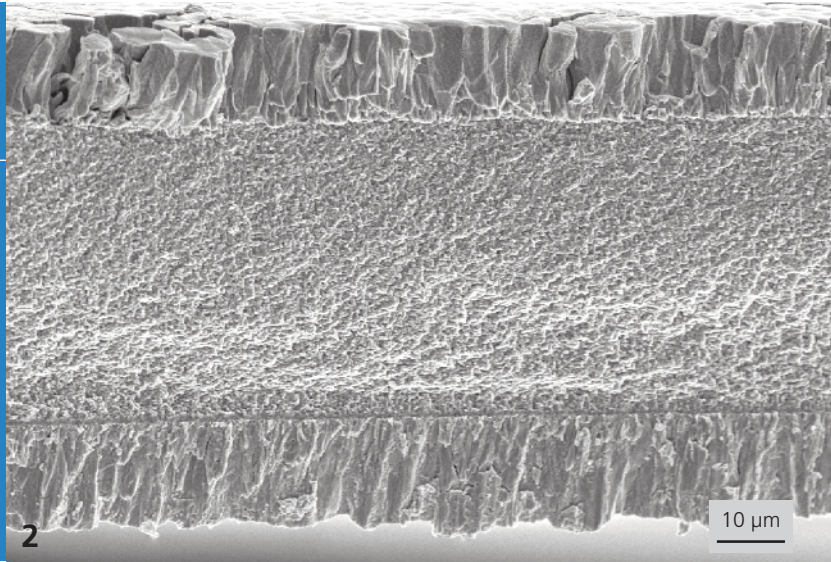
Jene Reaktion ist mit Abgabe einer zum Aufschmelzen von Loten nutzbaren Wärmeenergie verbunden. Durch die Änderung der Periodendicke der Einzelschichten und des stöchiometrischen Verhältnisses der Reaktivmaterialien zueinander ist eine Möglichkeit gegeben, diesen Prozess präzise und reproduzierbar zu steuern.

Die Herstellung von freistehenden RMS-Folien erlaubt es, den Energiegehalt und die Ausbreitungsgeschwindigkeit der selbstfortschreitenden Reaktion in Abhängigkeit von den

Schichtparametern zu bestimmen. Dadurch kann die zur Verfügung stehende Maximaltemperatur und die Schmelzzeit für spezielle Lote berechnet und gesteuert werden. Mittels Zugversuchen an Beispielsystemen (Messing-Messing, Ti-Ti, Cu-Keramik u.a.) werden außerdem Einflüsse der reaktiven Fügeprozessführung auf die erreichbaren Festigkeiten ermittelt.

ERGEBNISSE

Im Fraunhofer IWS sind Reaktivmultischichten unterschiedlicher Materialkombinationen erfolgreich entwickelt worden. Neben der Wahl der freisetzbaren Wärmemenge ist es ebenso möglich, durch gezielte Anpassung der Periodendicken des Multischichtstapels die Diffusionswege während der Reaktion zu variieren und damit direkten Einfluss auf die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Reaktionsfront zu nehmen. Damit werden RMS-Systeme genau an das jeweilige Fügeproblem angepasst. Durch Variation der Periodendicke im Bereich von 25 nm bis zu 150 nm konnte die Ausbreitungsgeschwindigkeit von 11 m s^{-1} auf bis zu 3 m s^{-1} gesenkt werden. Bei Verwendung von Sn-Weichloten hat das eine Erhöhung der simulierten Schmelzzeiten von 0,1 ms auf 0,8 ms zur Folge. Mittels der differentiellen Thermoanalyse (DTA) konnten in Abhängigkeit des Ni-Al-Verhältnisses freiwerdende Wärmemengen im Bereich von $1,2 \text{ kJ g}^{-1}$ – $2,0 \text{ kJ g}^{-1}$ ermittelt werden. RMS können sowohl auf Bauteilebene als auch als freistehende Reaktivmultischichtfolie hergestellt werden. Freistehende, optional vorbelotete Reaktivmultischichtfolien erlauben die mobile Anwendung der reaktiven Füge-technologie und bieten ein anwendungsbereites Werkzeug zur Herstellung von Fügeverbindungen. Mit Hilfe eigens hergestellter $40 \mu\text{m}$ dicker Ni/Al-Reaktivmultischichtfolien konnten unterschiedlichste Materialkombinationen erfolgreich gefügt werden. Neben



Verbindungen aus Metall-Metall sind Metall-Keramik, Silizium-Keramik sowie Fügungen zwischen Metallen und ultranano-kristallinen Diamantfolien (NCDF) erfolgreich hergestellt worden. Die erreichbaren Festigkeiten bei Nutzung der reaktiven Füge-technologie hängen von zahlreichen Fügeprozessparametern ab. In Abbildung 3 ist ihre Abhängigkeit von ausgewählten Parametern wie Lotart, Fügedruck und Bauteilvorbehandlung dargestellt. Es konnte gezeigt werden, dass der Fügedruck Einfluss auf die Güte der Fügeverbindung hat. So führen niedrige Fügedrücke zu einer unzureichenden Benetzung der Oberflächen. Ein zu hoch gewählter Fügedruck resultiert in einem festigkeitsmindernden Austreiben des schmelzflüssigen Lotes aus der Fügezone. Durch die Bauteilvorbehandlung kann die zu erreichende Festigkeit positiv beeinflusst werden. So wird durch das Aufbringen von Benetzungs- und Wärmebarriereschichten zur Verlängerung der schmelzflüssigen Phase des Lotes die Anbindung auf den Bauteiloberflächen unterstützt und somit die Festigkeit der Verbindung erhöht.

Scherzugfestigkeit zweier reaktiv gefügter Messingbleche in Abhängigkeit ausgewählter Fügeprozessparameter bei der Nutzung stöchiometrischer, 40 µm dicker, freistehender Ni/Al-RMS

Festigkeit / MPa	Lot	Fügedruck / MPa	Bauteil-Vorbehandlung
4,3	10 µm Sn	5	Keine
9,3	10 µm Sn	15	Keine
15,4	10 µm Sn	15	Benetzungsschicht
25	10 µm Sn	15	Benetzungsschicht; Wärmebarriere
51	15 µm AuSn20	15	Benetzungsschicht; Wärmebarriere

3

Neben Variation der Fügeparameter bieten auch die verwendeten Lote Potenzial zur Festigkeitssteigerung. So konnte nachgewiesen werden, dass die bei der Nutzung von Sn-basierten Weichloten erreichbaren Festigkeiten von ca. 25 MPa durch die Anwendung von Alternativloten, wie beispielsweise AuSn₂₀, auf Werte über 50 MPa erhöht werden können. Die Nutzung der Reaktivmultischichten zum Fügen bietet sich immer dann an, wenn konventionelle Füge-techniken nicht anwendbar sind. Besondere Vorteile des RMS-Fügens ergeben sich bei Präzisionsfügungen in der Mikro-systemtechnik, Optik oder Feinwerktechnik, in der Leistungs-elektronik, im Maschinen- und Anlagenbau sowie in der Fahrzeug- und Flugzeugtechnik.

- 1 *Fügung zweier Messingbleche unter Nutzung einer freistehenden, beloteten reaktiven Nanometermulti-schichtfolie*
- 2 *REM-Aufnahme des Querschnittes einer 40 µm dicken Ni/Al-Reaktivmulti-schichtfolie mit beidseitiger 10 µm Sn-Vorbelotung*

KONTAKT

Dipl.-Ing. Georg Dietrich
 Telefon: +49 351 83391-3287
 georg.dietrich@iws.fraunhofer.de

