

Hartlöten von HW-Schneidwerkzeugen

Marian Bronny; Max Schimpfermann

Das Löten von Hartmetallen gelingt in der Praxis nicht immer. Entweder „bindet“ das Lot nicht richtig am Hartmetall, oder die Festigkeit des Lots ist unzureichend. Nicht selten kommt es in der Abkühlphase zu Rissen oder Abplatzungen im Hartmetall. Mit der richtigen Lot- und Flussmittelauswahl lassen sich solche Fehler vermeiden.

Über die Wirtschaftlichkeit eines Schneidwerkzeugs entscheidet unter anderem die Verarbeitung des Schneidstoffs. Ein viel genutzter Schneidstoff für spanabhebende und zerteilende Fertigungsverfahren ist Hartmetall (*Bild 1*). Aufgrund ihrer Härte- und Temperaturbeständigkeit eignen sich Hartmetalle hervorragend zum Fräsen, Drehen, Bohren und Sägen von Metall, Holz, Kunststoff und anderen Werkstoffen.

In vielen Schneidwerkzeugen kommen die spezifischen Eigenschaften von Hartmetallen durch Kombination mit Werkzeugstählen als Trägerwerkstoff zur Geltung. Entscheidend für den Erfolg des Werkzeugs ist dabei die Verbindung von Hartmetall und Trägerwerkstoff. Löten ist hier eine der wichtigsten Verbindungstechniken [1]. In Abhängigkeit vom gewählten Silberhartlot und je nach Qualität der Lötung, können Zugfestigkeiten im Verbund von etwa 150 bis 300 MPa erreicht werden.

Gelötet werden hartmetallbestückte Werkzeuge bei Temperaturen über 450°C. Somit handelt es sich hier definitionsgemäß um ein Hartlötverfahren. Um eine zuverlässige Lötverbindung mit hoher Festigkeit zwischen Hartmetall und Stahl sicherzustellen, sind einige wichtige Punkte bei der Lot- und Flussmittelauswahl zu beachten.

Spezielle Lote & Flussmittel erforderlich

Hartmetalle sind gesinterte Werkstoffe aus Hartstoffen,

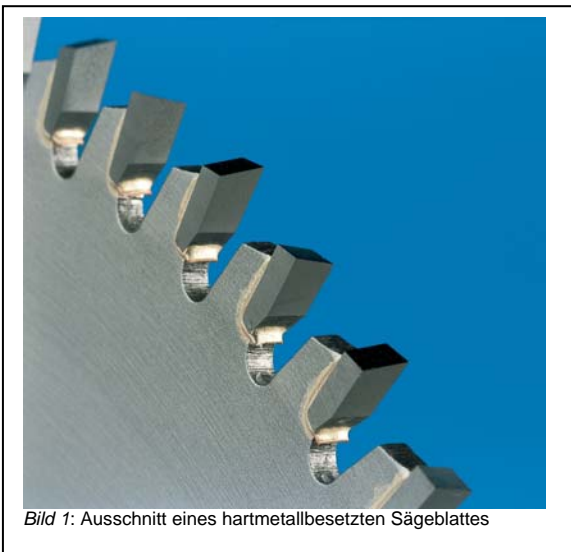


Bild 1: Ausschnitt eines hartmetallbesetzten Sägeblattes

meistens Wolframcarbid, die in eine metallische Bindermatrix, meistens Kobalt, eingebettet sind. Aufgrund des hohen Metallcarbidgehalts gelten Hartmetalle als schwierig zu benetzende Werkstoffe. Deshalb werden zum Löten dieser Werkstoffe gerne Silberhartlote mit benetzungsfördernden Legierungselementen wie Mangan verwendet. Das Lot Ag 449 nach DIN EN ISO 17672 (z.B. BrazeTec 4900) ist ein typischer Vertreter dieser Lote (*Tabelle 1*).

Da Universalflussmittel (Typ FH 10 nach DIN EN 1045) in der Regel nicht ausreichend aktiv sind, erfordert das Löten von Hartmetallen spezielle Flussmittel (z.B. BrazeTec spezial h oder BrazeTec h 900) (*Tabelle 2*). Diese entsprechen dem Typ FH 12 nach DIN EN 1045. Der Einsatz dieser Flussmittel ermöglicht es, durch deren oxidlösende Eigenschaften Lötungen an Atmosphäre per Flamm- oder Induktionserwärmung durchzuführen.

Die Benetzbarkeit von Hartmetallen wird durch eine galvanisch aufgebrachte Kobalt- oder Nickelschicht deutlich verbessert. Dies gilt insbesondere für Hartmetalle mit einem sehr geringen Metallbinderanteil. Die genannten Metallbeschichtungen haben noch einen weiteren wichtigen Effekt: Sie verhindern die Oxidation von Hartmetallen. Wie für jede Lötung gilt auch beim Löten von Hartmetallen: Die zu fügenden Oberflächen sollten möglichst oxid- und fettfrei sein.

Thermische Effekte und Spannungszustände

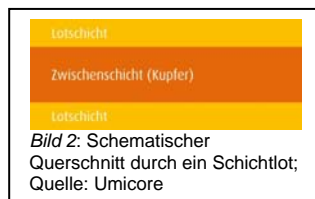
Unbedingt zu beachten sind beim Löten die unterschiedlich hohen Wärmeausdehnungskoeffizienten der Fügepartner Hartmetall und Stahl. Diese liegen in der Regel bei 5 bis $7 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ für Hartmetalle und bei 11 bis $14 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ für Stähle. Demnach ist die Wärmeausdehnung des Stahls zwei bis drei Mal höher als die des Hartmetalls [1].

Hartmetalle sind grundlegend empfindlich gegenüber Zugspannungen. Je nach Hartmetallsorte und Bauteilgeometrie wirkt sich diese Eigenschaft unterschiedlich stark aus und hat Effekte auf den Stoffverbund in der Abkühlphase nach dem Löten (*Bild 3*). Wird die Kombination Hartmetall und Stahl erhitzt, dehnt sich der Stahl aufgrund seines wesentlich höheren

Wärmeausdehnungskoeffizienten stärker aus. Bei Löttemperatur sind die Fügepartner noch lose über die flüssige Lotschmelze verbunden; sie sind spannungsfrei. Erstarrt das Lot, ist das Hartmetall stoffschlüssig mit dem Stahl verbunden. Somit kann es zur direkten Kraftübertragung zwischen den beiden Werkstoffen kommen. Kühlt das Bauteil ab, so wird sich das Hartmetall wesentlich weniger als der Stahl kontrahieren. Das Resultat ist, dass durch eine Art „Bimetalleffekt“ Zugspannung durch den Stahl auf das Hartmetall übertragen wird. Dadurch kann es letztlich zu einer irreversiblen Schädigung des Hartmetalls kommen, die sich durch Risse unmittelbar nach dem Löten, Schleifen oder im Einsatz zeigt.

Schichtlote reduzieren Spannungen

Die Verwendung von speziellen Schichtlotfolien ermöglicht ein rissfreies Fügen von Hartmetallen. Die Lotfolien sind wie ein Sandwich aufgebaut. Den Kern bildet eine duktile Zwischenschicht, die beidseitig mit Silberbasislot plattiert ist. Die schematische Darstellung eines Querschnitts durch eine Schichtlotfolie zeigt *Bild 2*. Die Zwischenschichten



bestehen im Allgemeinen aus Kupfer oder Kupferbasislegierungen, die die auftretenden Spannungen beim Abkühlen aufnehmen. *Bild 3* zeigt den simulierten

Spannungszustand im Hartmetall nach dem Löten mit Schichtlot im abgekühlten Zustand. Wie deutlich zu erkennen ist, bildet sich bei Verwendung eines Schichtlots im mittleren Bereich des Hartmetalls ein deutlich kleinerer Bereich mit geringerer Zugspannung aus als ohne Schichtlot. Weiterhin werden die seitlich am Hartmetall wirkenden Kräfte in gleicher Weise reduziert.

Die Scherfestigkeit der Verbindung wird durch die Festigkeit der Lotzwischen-schicht bestimmt. Durch den Einsatz von speziellen Legierungszwischenschichten (z.B. BrazeTec 49/Cu^{plus}) lässt sich die Scherfestigkeit der Verbindung im Vergleich zu einer Standard-

Kupferzwischen-schicht (z.B. bei BrazeTec 49/Cu) um mehr als 20% erhöhen.

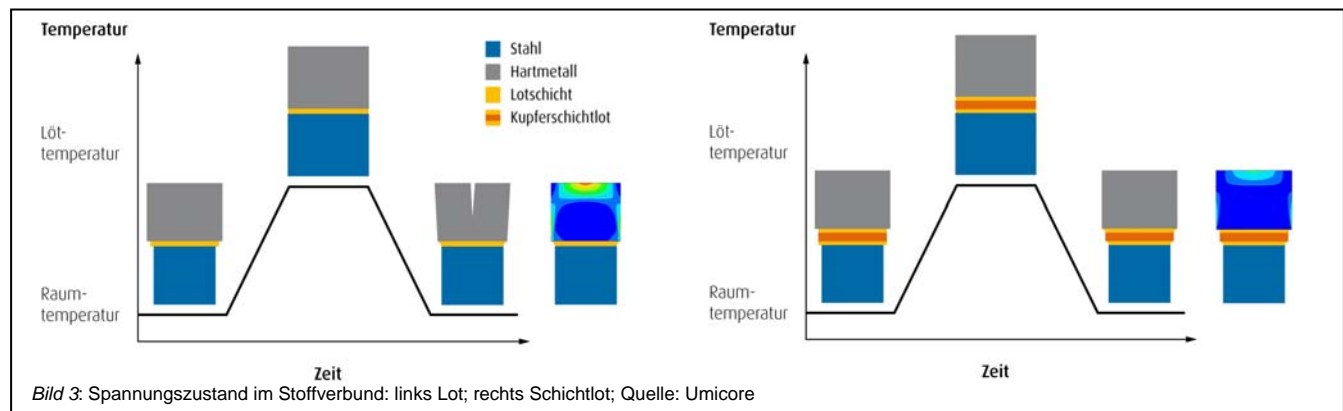
Oft diskutiert ist die optimale Schichtlotbandbreite in Bezug auf die Breiten der Fügepartner. Hierzu wurden zahlreiche Versuche und Simulationsrechnungen an hartmetallbelegten Kreissägeblättern durchgeführt. Grundlegend sollte für einen optimalen Spannungsabbau eine kontinuierliche Zwischenschicht über die gesamte Fügefläche vorhanden sein (*Bild 4, Darstellung A*) [2]. Wie sich fehlende Zwischenschichten auf die Spannungszustände im Hartmetall auswirken, zeigt *Bild 4* am Beispiel von Hartmetallzähnen auf Kreissägen.

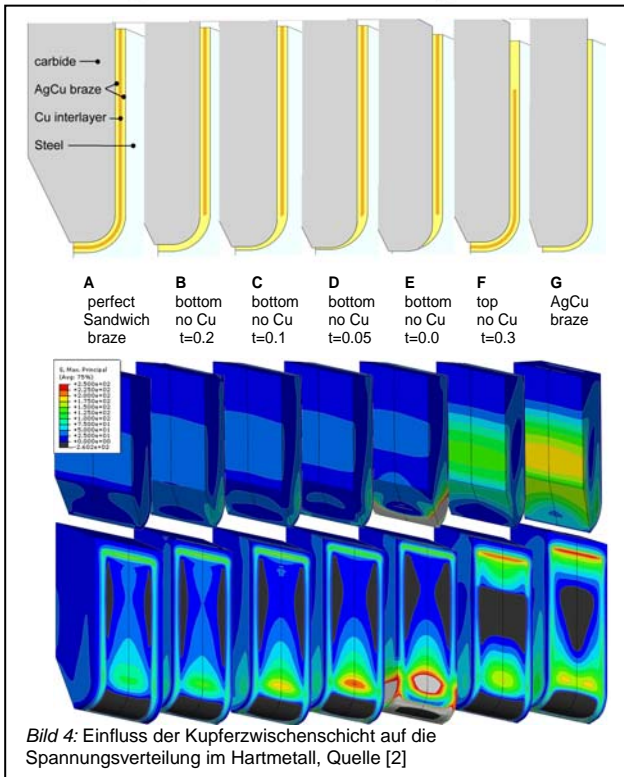
In der Praxis zeigt sich, dass in bestimmten Fällen Hartmetalle mit kleinen Fügeflächen lediglich mit niedrigschmelzenden Silberhartloten ohne Zwischenschicht gelötet werden können. Mit zunehmender Fügefläche steigen die auftretenden Spannungen im Hartmetall deutlich an. Höheren Spannungen im Verbund begegnet man mit höheren Zwischenschichtdicken [3]. Eine andere Möglichkeit besteht darin, die Spannungen über eine Lötspaltverbreiterung auf das im Allgemeinen duktile Lot abzuleiten. Die Spaltbreite kann durch ein in das Lot eingearbeitetes Nickelnetz (z.B. BrazeTec 49/NiN) eingestellt werden. Wie die Spannungen im enger werdenden Lötspalt zunehmen, zeigen die Fehlerbilder B bis E in *Bild 4*. Der Spalt nimmt im Zahnrückens (B) bis zum Presssitz (E) ab.

Besonderheiten durch spezielle Anwendungen

Die Vielzahl der Aufgabenstellungen wird durch unterschiedliche Schneidstoffe, Schneidstoffmodifikationen oder zusätzliche Beschichtungen gelöst. Daraus ergeben sich möglicherweise Besonderheiten für das Löten.

Wird der Verschleißschutz von Hartmetallen durch das Aufdampfen einer Hartstoffschicht aus beispielsweise Titancarbid (TiC), Titanitrid (TiN) oder Titanaluminiumnitrid (TiAlN) verbessert, sind die Prozessbedingungen der CVD- (Chemical Vapor Deposition) oder PVD- (Physical Vapor Deposition) Beschichtungsverfahren zu bedenken.





Liegen die Prozesstemperaturen über 400°C oder wird in Vakuum gearbeitet, ist das bei der Lotauswahl zu berücksichtigen. Zink, ein typisches Legierungselement von niedrigschmelzenden silberhaltigen Loten, beginnt aufgrund seines relativ hohen Dampfdrucks ab 400°C zu verdampfen, mit negativem Einfluss auf die Beschichtungsqualität und die Festigkeit der Lötverbindung. Vor diesem Hintergrund empfiehlt es sich, Hartmetalle, die einem solchen Beschichtungsprozess zugeführt werden, mit einem zinkfreien Silberbasislot wie BrazeTec 6488 bzw. BrazeTec 64/Cu zu löten.

Durch einseitig auf einen Hartmetallgrundkörper aufgesinterte polykristalline Diamanten (PKD, Kurzbezeichnung DP), monokristalline Diamanten (MKD, Kurzbezeichnung MD) oder polykristallines kubisches Bornitrid (CBN, Kurzbezeichnung BN) lässt sich der Verschleißschutz von Hartmetallen weiter verbessern. Aufgrund der Temperaturempfindlichkeit der aufgesinterten Hartstoffschichten ist es ratsam, Löttemperaturen oberhalb 700°C zu vermeiden. Eine exakte Temperaturführung beim Löten ist unerlässlich.

Handelt es sich um recht kleine Hartmetalle, wie sie typischerweise bei Dreh- und Fräswerkzeugen für die Holzbearbeitung zum Einsatz kommen, kann auf die Verwendung von Schichtlot, wie bereits beschrieben, verzichtet werden. Ist dies der Fall, kann zu den niedrig schmelzen Silberhartloten BrazeTec 5600 oder BrazeTec 5507 gegriffen werden. Deren Löttemperatur liegt 30 bis 40°C unterhalb von BrazeTec 4900. Am Rande sei hier

erwähnt, dass sich Diamanten (z.B. CVD-Dickschicht-diamanten) mit so genannten Aktivloten direkt löten lassen (z.B. BrazeTec CB4).

Für Sonderanwendungen, beispielsweise in der Medizin- und Kunststofftechnik, werden Korrosionsanforderungen an die spannungsausgleichende Zwischenschicht gestellt, die von reinem Kupfer oft nicht erfüllt werden. Um dennoch Hartmetalle erfolgreich löten zu können, stehen Zwischenschichten aus Kupfer-Nickel-Eisen-Legierungen zur Verfügung (z.B. BrazeTec 49/CuNiFe).

Wie dargestellt werden konnte, hält die Löttechnik Lösungen für das Hartlöten von Hartmetall Schneidwerkstoffen bereit. Erste Wahl sind Schichtlote, die die thermisch induzierten Zugspannungen auf den Stoffverbund dank ihrer hervorragenden Duktilität abbauen können. In Verbindung mit dem „richtigen“ Flussmittel gelangen auch die als schwierig empfundenen Hartmetalllötungen.

Marian Bronny, Regional Sales Manager

Max Schimpfermann, Manager Applied Technology Brazing Center

Literatur

[1] Weise, W.; Koschlig, M.; Herzog, H.; Beuers, J.: Broschüre „Einsatz innovativer Lote in der Schneidetechnik“. Degussa-Hüls, 1995
 [2] Magin, M.; Rassbach, S.: Stress Analysis on Brazed Hartmetal Saw Teetf, 17. Plansee Seminar, Reutte 2009
 [3] N.N., Broschüre „Technik die Verbindet“, Heft 30, Degussa AG

Tabella 1. Lotauswahl zum Löten von Schneidstoffen aus Hartmetall auf Wolframcarbidgebasis

| Lot | Bemerkungen | Löttemperatur [°C] | Zusammensetzung [Gew. %] | | | | | |
|--------------------------------|--|--------------------|--------------------------|------|------|-----|-----|----|
| | | | Ag | Cu | Zn | Mn | Ni | In |
| BrazeTec 49/Cu | Schichtlot; Kupfer-Zwischenschicht | 690 | 49 | 27,5 | 20,5 | 2,5 | 0,5 | |
| BrazeTec 49/Cu ^{plus} | Schichtlot; Legierungs-Zwischenschicht mit erhöhter Festigkeit | 690 | 49 | 27,5 | 20,5 | 2,5 | 0,5 | |
| BrazeTec 49/NiN | Schichtlot; Nickelnetz-Zwischenschicht | 690 | 49 | 27,5 | 20,5 | 2,5 | 0,5 | |
| BrazeTec 49/CuNiFe | Schichtlot; CuNiFe-Zwischenschicht | 690 | 49 | 27,5 | 20,5 | 2,5 | 0,5 | |
| BrazeTec 64/Cu | Schichtlot; Kupfer-Zwischenschicht, TiN-beschichtungsfähig | 770 | 64 | 26 | | 2 | 2 | 6 |
| BrazeTec 2700 | Silberbasislot Ag 427* | 840 | 27 | 38 | 20 | 9,5 | 5,5 | |
| BrazeTec 4900 | Silberbasislot Ag 449* | 690 | 49 | 16 | 23 | 7,5 | 4,5 | |
| BrazeTec 4900 A | Silberbasislot | 690 | 49 | 27,5 | 20,5 | 2,5 | 0,5 | |
| BrazeTec 6488 | Silberbasislot | 770 | 64 | 26 | | 2 | 2 | 6 |

*nach DIN EN ISO 17672

Tabella 2. Flussmittelauswahl zum Löten von Schneidstoffen aus Hartmetall auf Wolframcarbidgebasis

| Flussmittel | Bemerkungen | Flussmittel- farbe | Bezeichnung nach DIN EN 1045 | Wirk- temperatur [°C] |
|--------------------|---|-----------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| BrazeTec spezial h | Für die Lötung von Hartmetallen und höherlegierten Stählen | braun | FH 12 | 520 bis 1030 |
| BrazeTec h 285 | Binderstabilisierter Typ für maschinelle Applikation optimiert | braun | FH 12 | 520 bis 910 |
| BrazeTec h 900 | Binderstabilisierter Typ für maschinelle Applikation optimiert; speziell chemisch aktiviert für das Löten von Sonderhartmetallen | braun | FH 12 | 520 bis 850 |
| BrazeTec h 80 | Für Flächenlötungen und kurze Lötzeiten | weiß | FH 10 | 550 bis 850 |