

DIN EN 14324



ICS 25.160.50

**Hartlöten –
Anleitung zur Anwendung hartgelöteter Verbindungen;
Deutsche Fassung EN 14324:2004**

Brazing –
Guidance on the application of brazed joints;
German version EN 14324:2004

Brasage fort –
Guide d'application pour les assemblages réalisés par brasage fort;
Version allemande EN 14324:2004

Gesamtumfang 44 Seiten

Normenausschuss Schweißtechnik (NAS) im DIN

Nationales Vorwort

Die Europäische Norm EN 14324:2004 wurde vom CEN/TC 121/SC 8 „Hart- und Weichlöten“ erarbeitet. Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Gemeinschaftsausschuss DIN/DVS AA 8/AG V 6 „Löten“ im Normenausschuss Schweißtechnik (NAS).

Die vorliegende Norm umfasst neben den normativen Inhalten auch Erklärungen und Erläuterungen zur Anwendung der Löttechnik. Ergänzend sind in informativen Anhängen grundsätzliche Angaben zu wichtigen löttechnischen Fragestellungen enthalten.

Die Norm ist damit besonders für Schulungs- und Ausbildungszwecke geeignet, ebenso kann sie als Nachschlagewerk herangezogen werden. Der mit der Löttechnik weniger vertraute Anwender kann sich mit Hilfe dieser Norm in das Thema einlesen, der Lötpraktiker erhält eine Unterlage, die zusätzlich zu Referenzzwecken herangezogen werden kann.

Eine Anleitung zum Hartlöten kann nicht auf jede spezifische Frage eine Antwort enthalten. Sie enthält jedoch wichtige Punkte für Konstruktion und Fertigung gelöteter Bauteile. Deren Nutzung als Checkliste bei der Erstellung von Lastenheften, Fertigungsunterlagen und anderen vertragsrelevanten Dokumenten kann dazu beitragen, fehlende Kriterien oder grundlegende Planungsfehler frühzeitig zu finden.

Die im Abschnitt 2 zitierten Europäischen Normen sind mit gleichem Inhalt als DIN-EN-Normen veröffentlicht.

Deutsche Fassung

**Hartlöten
Anleitung zur Anwendung hartgelöteter Verbindungen**

Brazing —
Guidance on the application of brazed joints

Brasage fort —
Guide d'application pour les assemblages réalisés par
brasage fort

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 9. Juli 2004 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Management-Zentrum oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

Management-Zentrum: rue de Stassart, 36 B-1050 Brüssel

Inhalt

Vorwort.....	4
Einleitung	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	5
4 Konstruktion der Verbindung	6
4.1 Allgemeines	6
4.2 Arten der Verbindung	6
4.3 Montagespalt und Lötspalt	7
4.4 Oberflächenvorbereitung	10
4.5 Spannungsverteilung im Betrieb	11
4.6 Anwendung von Hartloten	11
4.7 Baugruppe	11
4.8 Hartlötgerechte Konstruktion	11
5 Werkstoffe	11
5.1 Grundwerkstoffe	11
5.2 Hartlote	14
5.3 Flussmittel	16
5.4 Atmosphären	17
5.5 Sicherheit	17
6 Hartlötverfahren	19
7 Wärmebehandlung	19
8 Prüfung	19
Anhang A (informativ) Beispiele für hartgelötete Baugruppen	20
Anhang B (informativ) Typische Konstruktionsbeispiele	22
Anhang C (informativ) Am häufigsten verwendete Hartlote für Grundwerkstoff-Kombinationen	27
Anhang D (informativ) Eignung von Hartlot-Klassen für üblichere Hartlötverfahren	28
Anhang E (informativ) Lötverfahren	29
E.1 Flammhartlöten	29
E.2 Induktives Hartlöten	32
E.3 Widerstandshartlöten	33
E.4 Ofenhartlöten	34
E.5 Tauchbadhartlöten	37
E.6 Sonderverfahren	40
Literaturhinweise	42
Bilder	
Bild 1 — Lötspalt und Montagespalt	6
Bild 2 — Grundarten von Verbindungen	7
Bild 3 — Schematischer Querschnitt einer hartgelöteten Baugruppe	8
Bild 4 — Prinzipielle Darstellung der unterschiedlichen Bereiche im Lötspalt für verschiedene Hartlötprozesse (in diesem Beispiel für unlegierten Stahl mit AG-Hartlot gelötet)	9

Bild 5 — Einfluss unterschiedlicher Grundwerkstoffe mit unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten auf den Lötspalt (schematisch)	10
Bild 6 — Schmelzbereich der wichtigsten Hartlot-Klassen (schematisch).....	15
Bild A.1 — Elektrischer Kontakt auf einem Leiter (schematisch).....	20
Bild A.2 — Flansch auf einem Rohr (schematisch).....	20
Bild A.3 — Rohrverteiler (schematisch)	20
Bild A.4 — Platten-Wärmetauscher (schematisch)	21
Bild A.5 — Metall-Keramik-Verbindung (schematisch).....	21
Bild B.1— Konstruktive Modifikationen für hohe Betriebsbeanspruchungen	24
Bild B.2 — Einlegen des Hartlotes	25
Bild B.3 — Übliche Verfahren zum Positionieren von Bauteilen vor dem Hartlöten	26

Tabellen

Tabelle 1 — Typische Lötspalte	8
Tabelle 2 — EN 1044 Hartlote.....	14
Tabelle 3 — Beispiele für Schutzgasatmosphären.....	18
Tabelle B.1— Einfluss der Hartlotdeponierung und/oder der Konstruktion auf das Fließen (Prinzipskizzen).....	22
Tabelle B.2— Einfluss der Spaltgeometrie.....	23
Tabelle C.1 — Am häufigsten verwendete Hartlote für Grundwerkstoff-Kombinationen	27
Tabelle D.1 — Eignung von Hartlot-Klassen für üblichere Hartlötverfahren.....	28

Vorwort

Dieses Dokument (EN 14324:2004) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 121 „Schweißen“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis März 2005, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis März 2005 zurückgezogen werden.

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

Einleitung

Der Zweck dieses Dokuments besteht darin, Anwendern mit einem begrenzten Wissen über das Hartlöten Informationen und eine Anleitung zur Verfügung zu stellen, die sowohl den gesamten Prozess als auch spezielle Gebiete betreffen. Es sollen keine Lehrbücher ersetzt werden, vielmehr ist die Bereitstellung bestimmter wichtiger Informationen und die Verhinderung von einigen allgemeinen Fehlern beabsichtigt.

Hartlöttechniken bieten ein umfangreiches Feld für das Fügen, Beschichten, Auftragen und vergleichbare Anwendungen, bei denen Hartlote verwendet werden. Hartlötverbindungen ähnliche Strukturen können auch durch Bogenhartlöten (MIG, WIG, Plasma), Infrarot- und Elektronenstrahlhartlöten erzeugt werden, welche deshalb besser als Lötsschweißen beschrieben werden.

Wo das Wort „Werkstoff“ für Komponenten benutzt wird, können diese metallisch oder nichtmetallisch sein, außer wenn diese Komponenten nur als metallisch beschrieben wurden. Derselbe Sprachgebrauch wird für Zusatzwerkstoffe benutzt, obwohl die Verwendung nichtmetallischer Zusatzwerkstoffe sehr begrenzt ist.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument gibt eine Anleitung zur Anwendung von hartgelöteten Verbindungen. Diese Norm gibt eine Einführung in das Hartlöten und eine Grundlage zum Verständnis und zum Gebrauch des Hartlötens für unterschiedliche Anwendungen. Diese Norm gibt keine detaillierten Anleitungen, da der Anwendungsbereich des Hartlötens sehr breit und produktspezifisch sein kann. Für solche Informationen sollte die entsprechende Produktnorm als Referenz dienen, oder für Anwendungen, wo diese nicht vorhanden sind, sollten die wichtigen Kriterien vor der Durchführung des Hartlötens genau feststehen.

Diese Norm behandelt die Konstruktion und die Montage, die Aspekte der Grund- und Zusatzwerkstoffe, den Hartlötprozess und Unterschiede in den Prozessen, Vor- und Nachbehandlung sowie die Inspektion.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 1044:1999, *Hartlöten — Lötzusätze*.

EN 1045, *Hartlöten — Flussmittel zum Hartlöten — Einteilung und technische Lieferbedingungen*.

EN 12797, *Hartlöten — Zerstörende Prüfung von Hartlötverbindungen*.

EN 12799, *Hartlöten — Zerstörungsfreie Prüfung von Hartlötverbindungen*.

EN 13133, *Hartlöten — Hartlöterprüfung*.

EN 13134, *Hartlöten — Hartlötverfahrensprüfung*.

EN ISO 18279, *Hartlöten — Unregelmäßigkeiten in hartgelöteten Verbindungen (ISO 18279:2003)*.

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1

Hartlöten

Fügeprozess, bei dem ein Hartlot mit einer Liquidustemperatur von über 450 °C – aber unterhalb der des Grundwerkstoffes – verwendet wird, das im Wesentlichen durch die Wirkung von Kapillarkräften den Lötspalt füllt

ANMERKUNG Andere bestehende Verfahren (siehe E.6.3).

3.2

Hartlötverbindung

Ergebnis eines Fügeprozesses, bei dem die Grundwerkstoffe nicht aufgeschmolzen werden und das Lötgut eine von den Grundwerkstoffen verschiedene chemische Zusammensetzung hat

3.3

Lötspalt

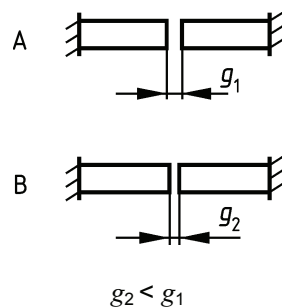
schmäler, hauptsächlich paralleler Spalt, der bei Löttemperatur zwischen den hartzulötenden Bauteilen besteht (siehe Bild 1 und 4.3.4)

3.4

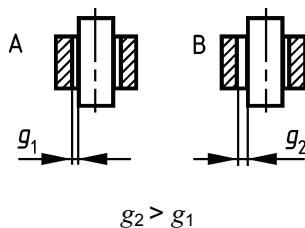
Montagespalt

Passung

schmäler, hauptsächlich paralleler Spalt zwischen den hartzulötenden Bauteilen bei Raumtemperatur (siehe Bild 1 und 4.3.4)



a) Stumpfverbindung mit fester Einspannung



Das schraffierte Bauteil hat einen höheren Wärmeausdehnungskoeffizienten.

b) Durchsteckverbindung (verschiedene Werkstoffe)

Legende

- A Baugruppe bei Umgebungstemperatur
- B Baugruppe bei Löttemperatur
- g_1 Montagespalt
- g_2 Lötspalt

Bild 1 — Montagespalt und Lötspalt

4 Konstruktion der Verbindung

4.1 Allgemeines

Der Hartlötprozess beruht auf dem kapillaren Fluss eines geschmolzenen Hartlotes zwischen Teilen, die durch einen schmalen Spalt getrennt sind. Das Hartlot besitzt eine andere chemische Zusammensetzung als die zu verlötenden Bauteile. Diese unterschiedliche Zusammensetzung beeinflusst die Eigenschaften der Baugruppe im Betriebszustand, z. B. bei erhöhter Temperatur, in korrosiven Medien sowie bei Dauerbelastung. Weiterhin muss beachtet werden, dass der Grundwerkstoff der zu fügenden Bauteile durch den Hartlötzyklus beeinflusst werden kann.

4.2 Arten der Verbindung

Es gibt grundsätzlich zwei Arten von Verbindungen, wie in Bild 2 dargestellt. In der Praxis werden sehr selten so einfache Aufbauten wie die in Bild 2 gezeigten Grundarten (siehe Anhang A) verwendet.

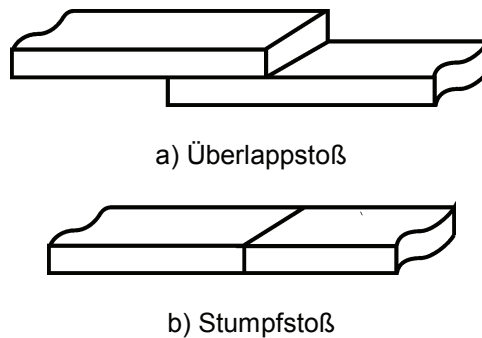


Bild 2 — Grundarten von Verbindungen

Im Allgemeinen werden Überlappstöße genutzt, weil diese einfacher herzustellen sind und eine erhöhte Festigkeit aufweisen. Stumpfstöße werden genutzt, wenn eine ausreichende Festigkeit problemlos erreicht wird, z. B. wenn der Grundwerkstoff schwächer als die hartgelötete Verbindung ist oder wenn die Dicke und/oder Länge eines Überlappstoßes nicht erwünscht ist.

Es sollte beachtet werden, dass die sinnvolle Überlappung für einen Überlappstoß bei Scherbeanspruchung mit der Dicke des dünneren Bauteils zusammenhängt; über die optimale Überlappung hinaus ist durch Vergrößerung der Überlappungslänge kaum eine Zunahme der Verbindungsfestigkeit erreichbar.

4.3 Montagespalt und Lötspalt

4.3.1 Allgemeines

Die Bereiche einer hartgelöteten Baugruppe sind wie in Bild 3 dargestellt definiert.

Der vielleicht kritischste Parameter beim Hartlöten ist die Einstellung des Lötspaltes, d. h. der Spalt bei Löttemperatur, zwischen den zu verbindenden Bauteilen, in den das Hartlot durch die Wirkung von Kapillarkräften fließen muss. Es gibt verschiedene Faktoren, die die Wahl des Lötspaltes beeinflussen und die in Betracht gezogen werden müssen. Bei Lötverbindungen, die aus unterschiedlichen Grundwerkstoffen hergestellt werden, ist zu beachten, dass der Montagespalt (Passung) sich üblicherweise vom Lötspalt unterscheidet (siehe 4.3.4).

ANMERKUNG Der Montagespalt kann größer oder kleiner als der Lötspalt sein, in Abhängigkeit von den Wärmeausdehnungskoeffizienten der Werkstoffe, der Gestaltung und dem Hartlötprozess.

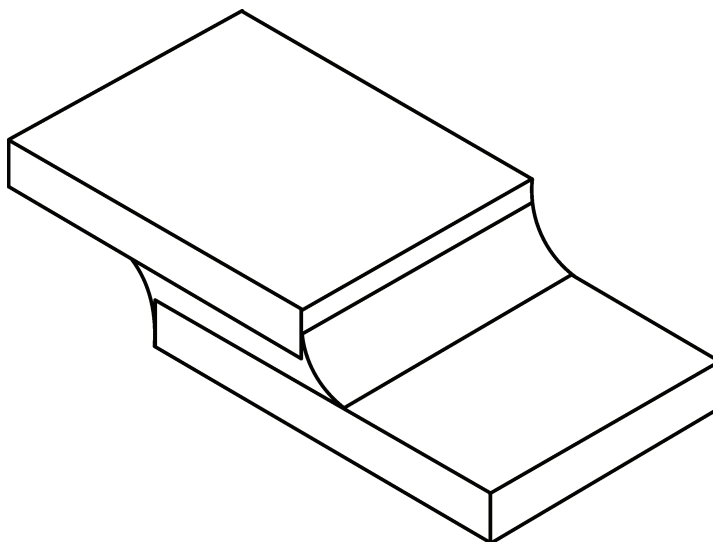
Verschiedene Hartlote erfordern – selbst innerhalb der gleichen Gruppe – unterschiedliche Spaltbreiten, so wie es typischen Bereichen in Tabelle 1 zu entnehmen ist, allerdings kann die optimale Spaltbreite ebenfalls durch einige andere Parameter der Verbindung beeinflusst werden (siehe Beispiel in Bild 4), z. B.:

- Grundwerkstoff(e);
- Geometrie der Verbindung;
- Oberflächenbeschaffenheit der Passflächen;
- Anwendung von Flussmitteln und Lötatmosphären;
- sorgfältige Einstellung der Löttemperatur und Aufheizrate;
- Hartlötverfahren.

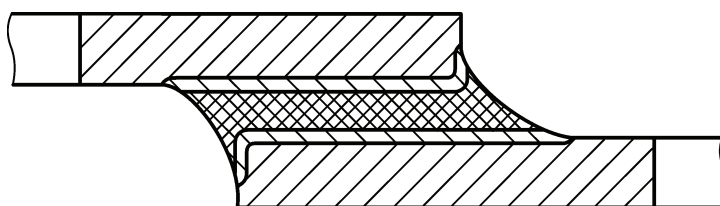
Tabelle 1 — Typische Lötspalte

Hartlot-Gruppe nach EN 1044	Lötspalt ^a mm
AL	0,05 bis 0,25
AG	0,05 bis 0,30
CP	0,05 bis 0,30
CU1XX	bis 0,15
CU2XX & CU3XX	0,05 bis 0,20
NI	bis 0,15
AU	bis 0,10

^a Der Lötspalt hängt vom ausgewählten Hartlot, vom Hartlötprozess und den Hartlötbedingungen ab.



a) einfache hartgelötete Baugruppe



Legende



Grundwerkstoff



durch den Hartlötprozess beeinflusster Grundwerkstoff (Verfahrenseinflusszone (HAZ))



Übergangsphase

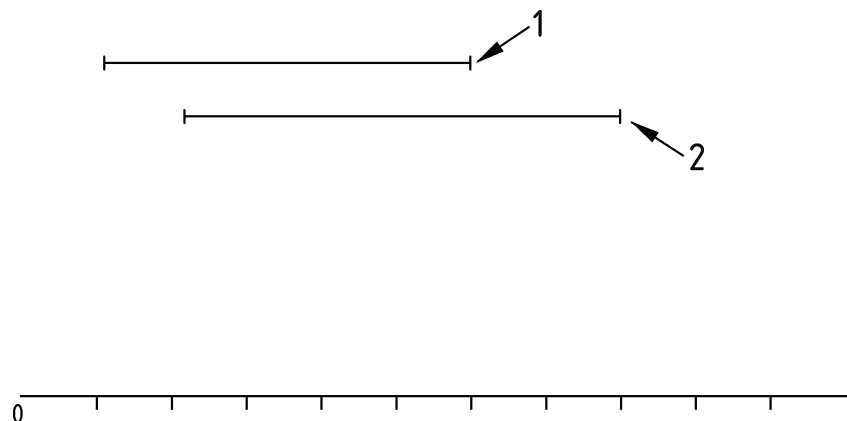


Lötgut

ANMERKUNG Die Ausdehnung der HAZ variiert mit den Werkstoffen und dem Hartlötprozess.

b) Schnitt durch die Baugruppe in a)

Bild 3 — Schematischer Querschnitt einer hartgelöteten Baugruppe



Legende

- 1 Mechanisiertes Flammlöten mit Flussmittel
- 2 Manuelles Flammlöten mit Flussmittel

Bild 4 — Prinzipielle Darstellung der unterschiedlichen Bereiche im Lötspalt für verschiedene Hartlötprozesse (in diesem Beispiel für unlegierten Stahl mit AG-Hartlot gelötet)

4.3.2 Einfluss der Hartlote

Die Arten mit dem engsten Schmelzbereich, die häufig beträchtliche Zusätze von temperatursenkenden Elementen (z. B. Si, B, P und Zn) enthalten, zeigen eine erhöhte Fließfähigkeit und eine hervorragende kapillare Spaltfüllung. Das trifft auch für die meisten eutektischen Legierungen und viele reine Metalle zu. Im Gegensatz dazu haben solche Hartlote mit einem großen Schmelzbereich prinzipiell ein besseres Füllungsvermögen für größere Spaltbreiten und sind geeigneter zum Hartlöten von Spaltbreiten am oberen Ende des genannten Bereiches.

4.3.3 Einfluss des Grundwerkstoffes

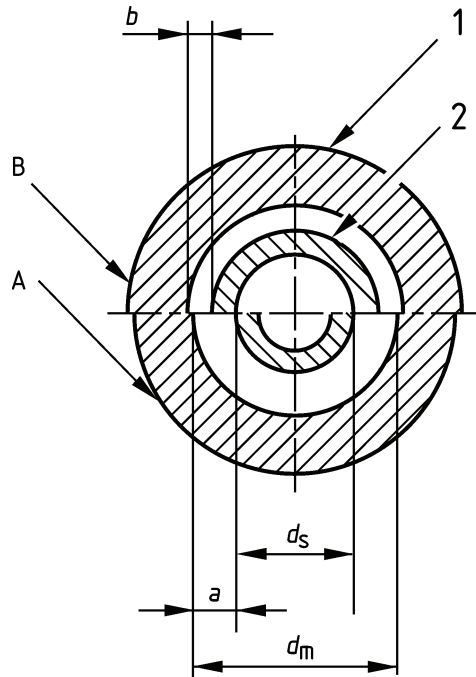
Für solche Grundwerkstoffe, die im Hartlot nicht leicht zu lösen sind, oder die keine Wechselwirkung zur Bildung von Legierungsschichten erfahren, dürfen die Lötspaltbreiten im Allgemeinen enger sein als für Kombinationen, bei denen eine nennenswerte Legierungsbildung stattfindet. Eine starke wechselseitige Legierungsbildung beeinträchtigt die Fließfähigkeit der Hartlote und erfordert die Anwendung breiterer Lötspalte, um eine vollständige Spaltfüllung der Verbindung mit dem Hartlot sicherzustellen.

4.3.4 Einfluss unterschiedlicher Grundwerkstoffe

Wenn unterschiedliche Grundwerkstoffe mit verschiedenen Wärmeausdehnungskoeffizienten verbunden werden, muss die Auslegung der Verbindungsstelle besonders sorgfältig erfolgen, um den geeigneten Lötspalt zu erhalten (siehe Bild 5). In extremen Fällen können die Spalte bei Löttemperatur infolge eines nicht erfolgten Eindringens bzw. Aufstauens des Hartlotes vollständig geschlossen oder sehr weit geöffnet sein. In Anbetracht dessen, dass der Lötspalt der wesentliche Parameter ist, muss der Montagespalt (zu dem die Bauteile gefertigt werden) aus den Wärmeausdehnungskoeffizienten der Grundwerkstoffe, den Abmessungen der Bauteile und der Löttemperatur berechnet werden.

Dieses Problem verschärft sich:

- wenn die zu verlötenden Teile größere Abmessungen haben,
- wenn die Hartlöttemperatur erhöht wird,
- wenn der Unterschied der Wärmeausdehnungskoeffizienten steigt.



Legende

- 1 Molybdän
- 2 Stahl
- A Baugruppe bei Umgebungstemperatur
- B Baugruppe bei Löttemperatur
- d_s Äußere Durchmesser der Stahlteile (vor dem Hartlöten)
- d_m Innerer Durchmesser der Molybdänteile (vor dem Hartlöten)
- a Montagespalt
- b Lötspalt

Wärmeausdehnungskoeffizient α

$\alpha_{\text{Stahl}} > \alpha_{\text{Molybdän}}$

Bild 5 — Einfluss unterschiedlicher Grundwerkstoffe mit unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten auf den Lötspalt (schematisch)

4.3.5 Einfluss der Oberflächenstruktur

Zu grobe oder zu feine Oberflächenstrukturen können das Füllen des Fügespaltes nachteilig verändern. Der Fluss des Hartlotes kann durch Oberflächen-Schichten der Verbindungswerkstoffe beeinflusst werden.

4.3.6 Einfluss von Atmosphären und Flussmitteln

Hartlötprozesse unter Schutzgasatmosphäre oder Vakuum mit vorgegebenen Hartloten lassen engere Verbindungsspalte zu als vergleichbare Prozesse mit Flussmittel. Sofern Verbindungsabstände nicht ausreichend sind, werden Flussmittel- und Gaseinschlüsse übergangen und in der fertigen Verbindung eingeschlossen.

4.4 Oberflächenvorbereitung

Die Bauteile einer Verbindung sollten sauber sein und gut passen. Sofern es für das Hartlötverfahren erforderlich ist, sollten Oxide, Fette und Öle durch chemische, thermische und/oder mechanische Verfahren entfernt werden. Das kann Entfetten, Beizen, Bürsten und ähnliche Verfahren einschließen. Die zu fügende Bauteiloberfläche sollte nicht poliert sein. Eine aufgeraute Oberfläche fördert das Fließen des Hartlotes besonders in der Bearbeitungsrichtung. Um die Passfähigkeit zu verbessern, kann es notwendig sein, die Oberflächen durch Verfahren wie Rändeln zu modifizieren. Um die Benetzbarkeit von Werkstoffen wie aluminium- oder titanhaltige Nickellegierungen und Keramiken zu verbessern, kann es notwendig sein, die Oberflächen mit geeigneten Werkstoffen zu beschichten, wie z. B. durch Beschichten oder Metallisieren.

Um das Fließen des Hartlotes aus dem Verbindungsbereich heraus zu vermeiden, kann es erforderlich sein, ein Stoppmittel anzuwenden. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass dieses nicht in den kapillaren Lötspalt eindringt und den Lotfluss behindert.

Der erforderliche Reinheitsgrad hängt von der geforderten Endqualität des Bauteils wie auch vom eingesetzten Hartlötverfahren ab. Der Grad der Vorbehandlung ist für das flussmittelfreie Hartlöten bei höheren Temperaturen unter kontrollierter Lötatmosphäre am höchsten.

4.5 Spannungsverteilung im Betrieb

Bild B.1 zeigt konstruktive Varianten, die das Ziel haben, hohe Spannungskonzentrationen von den Rändern der Verbindungsstelle zu entfernen und die Spannungen gleichmäßiger im Grundwerkstoff zu verteilen.

4.6 Anwendung von Hartloten

Das Hartlot ist in verschiedenen Formen verfügbar (siehe 5.2.2).

Beim manuellen Flammhartlöten wird das Hartlot im Allgemeinen mit der Hand als Stab oder Draht zugeführt, es darf aber auch vor dem Hartlöten angebracht werden. Für automatisierte Hartlötanwendungen wird das Hartlot entweder vorab angebracht oder automatisch zugeführt. Beim Ofenhartlöten muss es vorab angebracht werden. Beispiele für die Anbringung des Hartlotes sind in Bild B.2 dargestellt.

Die Stelle, an der das Hartlot angebracht wird, kann die Qualität der Verbindung erheblich beeinflussen. Eine Anbringung im Inneren kann dem Nachweis dienen, dass das kapillare Fließen durch die Verbindung erfolgt ist.

4.7 Baugruppe

Bei der Konstruktion von Verbindungsstellen ist es wichtig sicherzustellen, dass die Bauteile während des Hartlötprozesses die geforderten Verhältnisse einhalten. Mit verschiedenen wirkungsvollen Verfahren ist dies zu erreichen (siehe Bild B.3).

4.8 Hartlötgerechte Konstruktion

Beispiele für eine hartlötgerechte Konstruktion sind in den Tabellen B.1 und B.2 angegeben.

5 Werkstoffe

5.1 Grundwerkstoffe

5.1.1 Grundsätzliche Überlegungen

Der große Vielfalt der heute nutzbaren Werkstoffe schließt die Aufzählung aller für das Fügen durch einen Hartlötprozess verfügbaren Klassen aus. Zum Zweck der Orientierung sind hier allgemeine Kategorien genannt, wobei auch weniger übliche Werkstoffe angewendet werden dürfen. Sollte ein nicht aufgelisteter Werkstoff angegeben werden, sollten Hinweise des Hartlot-Herstellers angefordert werden.

- a) *Aluminium und seine Legierungen.* Reines Aluminium, Aluminium-Zink (< 6 %), Aluminium-Mangan (< 2 %), Aluminium-Silizium (< 2 %), Aluminium-Magnesium (< 2 %).
- b) *Beschichtete Werkstoffe.* Werkstoffe mit galvanischen oder anderen Schichten.
- c) *Kobalt und seine Legierungen.* Reines Kobalt, oberflächengehärtete Legierungen, korrosionsbeständige Legierungen.
- d) *Kupfer und seine Legierungen.* Kupfer (unlegiert, phosphorhaltig, silberhaltig), niedriglegierte Kupferlegierungen (früher bezeichnet z. B. als Beryllium-Kupfer, Chrom-Kupfer und andere), Kupfer-Zink-Legierungen (Messing), Kupfer-Zinn-Legierungen (Zinn-Bronze/Phosphor-Bronze, einschließlich einiger Rotgusslegierungen), Kupfer-Zinn-Blei-Legierungen (einschließlich einiger Rotgusslegierungen), Kupfer-Nickel-Zink-Legierungen (Neusilber), Kupfer-Nickel-Legierungen (CuNi-Legierungen), Kupfer-Aluminium-Legierungen (Aluminium-Bronze), Kupfer-Mangan-Aluminium-Legierungen.

- e) *Eisenmetalle*. Gusseisen, Temperguss, unlegierter Stahl, Kohlenstoff- und niedriglegierte Stähle, Hochgeschwindigkeits- und Werkzeugstähle, nichtrostende, wärme- und korrosionsbeständige Stähle.
- f) *Nickel und seine Legierungen*. Reines Nickel, Nickel-Kupfer, Nickel-Eisen, Nickel-Chrom-Eisen, Nickel-Chrom.
- g) *Edelmetalle*. Gold, Platin, Palladium, Silber und ihre Legierungen.
- h) *Schwerschmelzende Metalle und Legierungen*. Titan, Zirkonium, Tantal, Beryllium, Niob und ihre Legierungen.
- i) *Wolfram und Molybdän*. Wolfram, Molybdän, Sinterkarbid, Silber-Wolfram, Kupfer-Wolfram.
- j) *Nichtmetallische Werkstoffe*. Zum Beispiel Keramiken, Graphit, Wolframkarbid, Diamant, Zermete, Glas, Saphir.

5.1.2 Spezielle Überlegungen

5.1.2.1 Allgemeines

Einige der in 5.1.1 aufgeführten Grundwerkstoffe werden in ihren Eigenschaften durch den Hartlötprozess nachteilig beeinflusst, sowohl aufgrund des Temperatureinflusses als auch durch metallurgische Wechselwirkungen. Darüber hinaus müssen Effekte, die beim Hartlöten unterschiedlicher Metalle entstehen, in Betracht gezogen werden. Deshalb müssen die in 5.1.2.2 bis 5.1.2.13 genannten Punkte berücksichtigt werden, wenn solche Werkstoffe hartgelötet werden.

5.1.2.2 Unterschiedliche Grundwerkstoffe

Ein Vorteil des Hartlötens besteht darin, dass viele Kombinationen von Grundwerkstoffen verbunden werden können, allerdings muss auch immer der Einfluss des Hartlötzyklus auf die physikalischen und metallurgischen Eigenschaften berücksichtigt werden.

Die wichtigste zu berücksichtigende physikalische Eigenschaft ist der Wärmeausdehnungskoeffizient. Dies hat zwei wesentliche Auswirkungen. Der Spalt zwischen den Bauteilen bei Löttemperatur ist nicht gleich dem Montagespalt (was beim Auslegen der Verbindungsstelle berücksichtigt werden muss). Es können auch Spannungen nach dem Hartlöten zurückbleiben. In Abhängigkeit von der Form der Verbindung kann das zu starken Verformungen oder sogar Rissen führen, wie es z. B. manchmal beim Hartlöten von Karbid-Werkzeugspitzen an Bohrern auftritt, die durch die Verwendung geeigneter Hartlotformen oder Verbindungsstellenkonstruktionen zur Erzeugung einer breiten Verbindungsstelle zugelassen werden.

Metallurgische Effekte können die mechanischen Eigenschaften der Verbindung beeinflussen. In einigen Fällen können spröde intermetallische Phasen entstehen, in anderen Fällen kann die Verbindung verfestigt werden.

5.1.2.3 Einfluss des Hartlötprozesses auf die Eigenschaften der Grundwerkstoffe

Wenn eine Legierung hartgelötet wird, deren Festigkeit auf ihrer Kaltverfestigung beruht, wird diese Festigkeit durch den Hartlötprozess vermindert und kann nicht wieder hergestellt werden. Ausscheidungsgehärtete Legierungen können durch den Hartlötprozess beeinflusst werden: es ist möglich, die verminderte Festigkeit durch eine geeignete Wärmebehandlung wiederherzustellen. In einigen Fällen müssen Veränderungen in den Korrosionseigenschaften durch den Hartlötprozess berücksichtigt werden. Informationen über solche Effekte sollten vom Lieferanten der Grundwerkstoffe angefordert werden.

5.1.2.4 Legierungen mit beständigen Oberflächenoxiden

Grundwerkstoff, die Legierungselemente enthalten, die beständige Oxidschichten bilden, sind schwieriger hartzulöten als Grundwerkstoffe des gleichen Systems, die diese Zusätze nicht enthalten. Die gebräuchlichsten Zusätze sind Aluminium und Titan in rost- und säurebeständigen Stählen und Nickelbasislegierungen. Solche Grundwerkstoffe erfordern sowohl eine spezielle Beachtung der Oberflächenvorbereitung vor dem Hartlöten, als auch hinsichtlich des Umfangs des Schutzes, der durch Flussmittel oder Atmosphären während des Prozesses sichergestellt wird, z. B. spezielle Flussmittel oder Atmosphären oder Beschichtungen vor dem Hartlöten.