

DIN EN 14324

ICS 25.160.50

Einsprüche bis 2017-08-31
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 14324:2004-12

Entwurf

**Hartlöten –
Anleitung zur Anwendung hartgelöteter Verbindungen;
Deutsche und Englische Fassung prEN 14324:2017**

Brazing –
Guidance on the application of brazed joints;
German and English version prEN 14324:2017

Brasage fort –
Guide d'application pour les assemblages réalisés par brasage fort;
Version allemande et anglaise prEN 14324:2017

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2017-06-30 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nas@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Schweißen und verwandte Verfahren (NAS), 10772 Berlin, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 95 Seiten

DIN-Normenausschuss Schweißen und verwandte Verfahren (NAS)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 14324:2017) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 121 „Schweißen und verwandte Verfahren“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Gremium ist der Arbeitsausschuss NA 092-00-26 AA „Hartlöten (DVS AG V 6.1)“ im DIN-Normenausschuss Schweißen und verwandte Verfahren (NAS).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 14324:2004-12 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) die normativen Verweisungen wurden aktualisiert;
- b) die Bezeichnung der Lot-Gruppen in den Tabellen 1, 2 und 3 wurde überarbeitet;
- c) die Literaturhinweise wurden aktualisiert;
- d) das Dokument wurde redaktionell überarbeitet.

Hartlöten — Anleitung zur Anwendung hartgelöteter Verbindungen

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

Brazing — Guidance on the application of brazed joints

ICS:

Deskriptoren

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokument-Stage: CEN-Umfrage
Dokument-Sprache: D

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Konstruktion der Verbindung	8
4.1 Allgemeines	8
4.2 Arten der Verbindung	8
4.3 Montagespalt und Lötspalt	8
4.3.1 Allgemeines	8
4.3.2 Einfluss der Hartlote	11
4.3.3 Einfluss des Grundwerkstoffes	11
4.3.4 Einfluss unterschiedlicher Grundwerkstoffe	11
4.3.5 Einfluss der Oberflächenstruktur	12
4.3.6 Einfluss von Atmosphären und Flussmitteln	12
4.4 Oberflächenvorbereitung	13
4.5 Spannungsverteilung im Betrieb	13
4.6 Anwendung von Hartloten	13
4.7 Baugruppe	13
4.8 Hartlötgerechte Konstruktion	13
5 Werkstoffe	14
5.1 Grundwerkstoffe	14
5.1.1 Grundsätzliche Überlegungen	14
5.1.2 Spezielle Überlegungen	14
5.2 Hartlote	17
5.2.1 Allgemeines	17
5.2.2 Lieferformen	18
5.2.3 Anwendungsgebiete	18
5.3 Flussmittel	19
5.3.1 Allgemeines	19
5.3.2 Flussmittellentfernung	19
5.4 Atmosphären	20
5.4.1 Schutzgase	20
5.4.2 Vakuumhartlöten	20
5.5 Sicherheit	20
6 Hartlötverfahren	22
7 Wärmebehandlung	22
8 Prüfung	22
Anhang A (informativ) Beispiele für hartgelötete Baugruppen	23
Anhang B (informativ) Typische Konstruktionsbeispiele	25
Anhang C (informativ) Am häufigsten verwendete Hartlote für Grundwerkstoff-Kombinationen	30

Anhang D (informativ) Eignung von Hartlot-Klassen für üblichere Hartlötverfahren	31
Anhang E (informativ) Lötverfahren.....	32
E.1 Flammhartlöten	32
E.2 Induktives Hartlöten.....	35
E.3 Widerstandshartlöten	37
E.4 Ofenhartlöten.....	38
E.5 Tauchbadhartlöten	42
E.6 Sonderverfahren.....	45
Literaturhinweise.....	47

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 14324:2017) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 121 „Schweißen und verwandte Verfahren“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN 14324:2004 ersetzen.

Gegenüber der vorigen Version wurden folgende wesentlichen Änderungen vorgenommen:

- a) die normativen Verweisungen wurden aktualisiert;
- b) das Dokument wurde redaktionell überarbeitet.

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 können. Hartlötverbindungen ähnliche Strukturen können auch durch Bogenhartlöten (MIG, WIG, Plasma), Infrarot- und Elektronenstrahlhartlöten erzeugt werden, welche deshalb besser als Lötschweißen 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

Diese Europäische Norm 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

Auf die folgenden Dokumente wird in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes normativ verwiesen, so dass sie für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich sind. 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 1045, *Hartlöten — Flußmittel zum Hartlöten — Einteilung und technische Lieferbedingungen*

EN 12797, *Hartlöten — Zerstörende Prüfung von Hartlötverbindungen*

EN 12799, *Hartlöten — Zerstörungsfreie Prüfung von Hartlötverbindungen*

EN 13134, *Hartlöten — Hartlötverfahrensprüfung*

EN ISO 13585, *Hartlöten — Prüfung von Hartlötern und Bedienern von Hartlöteinrichtungen (ISO 13585)*

EN ISO 17672:2016, *Hartlöten — Lote (ISO 17672:2016)*

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

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 1 zum Begriff: 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

Lötpalt

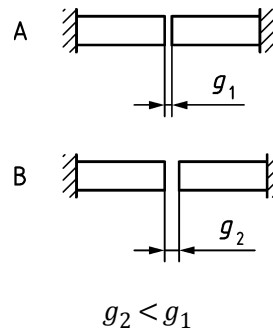
schmäler, hauptsächlich paralleler Spalt, der bei Löttemperatur zwischen den hartzulötenden Bauteilen besteht (siehe Bild 1 und 4.3.4)

3.4

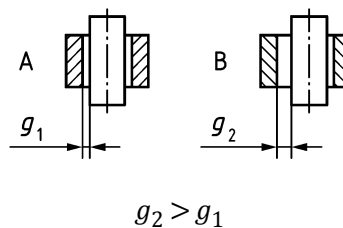
Montagespalt

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 Lötpalt

Bild 1 — Montagespalt und Lötpalt

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 kann die Eigenschaften der Baugruppe im Betriebszustand beeinflussen, 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.

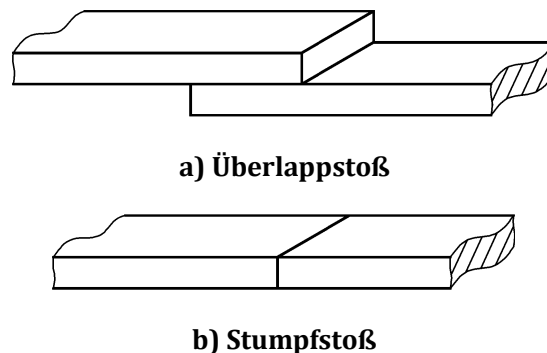


Bild 2 — Grundarten von Verbindungen

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).

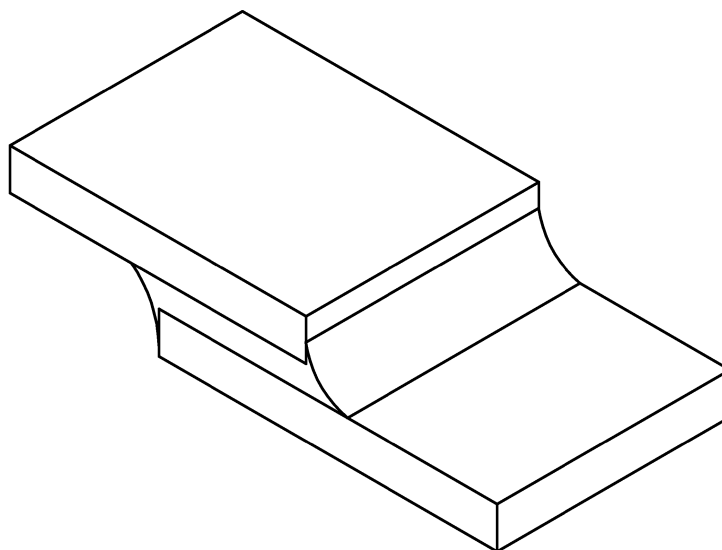
ANMERKUNG Es kann erforderlich sein, dass der Montagespalt in Abhängigkeit von den Wärmeausdehnungskoeffizienten der Werkstoffe, der Gestaltung und dem Hartlötprozess größer oder kleiner als der Lötspalt ist.

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.:

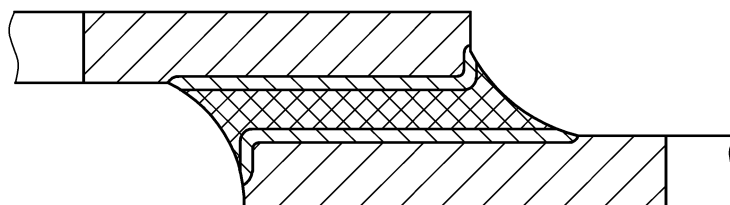
- Grundwerkstoff(e);
- Geometrie der Verbindung;
- Oberflächenbeschaffenheit der Passflächen;
- Anwendung von Flussmitteln und Lötatmosphären;
- sorgfältige Einstellung der Löttemperatur und Aufheizrate;
- Hartlötverfahren.

Tabelle 1 — Typische Lötspalte

Lot-Gruppe nach EN ISO 17672	Lötspalt^a mm
Al	0,05 bis 0,25
Ag	0,05 bis 0,30
CuP	0,05 bis 0,30
Cu	bis 0,15 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



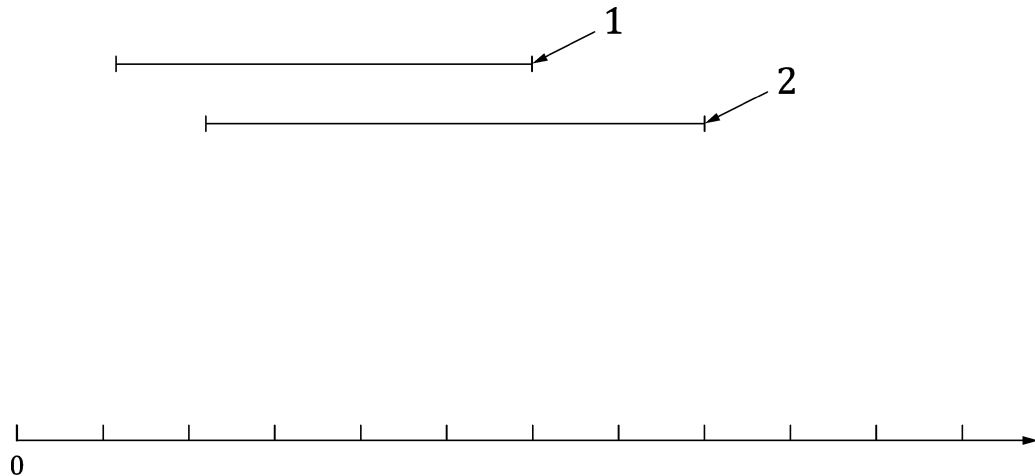
b) Schnitt durch die Baugruppe in a)

Legende

-  Grundwerkstoff
-  durch den Hartlötprozess beeinflusster Grundwerkstoff (Verfahrenseinflusszone (HAZ))
-  Übergangsphase
-  Lötgut

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

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

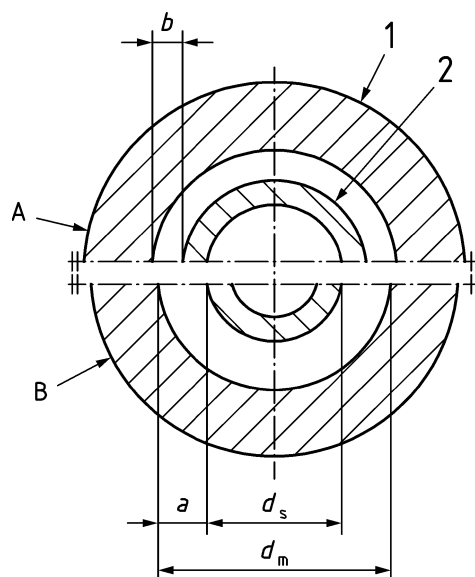
Für solche Grundwerkstoffe, die im Hartlot nicht leicht zu lösen sind, oder die keine Wechselwirkung zur Bildung von Legierungsschichten erfahren, dürfen die Lötspaltbreiten im Allgemeinen enger sein als für Kombinationen, bei denen eine nennenswerte Legierungsbildung stattfindet. Eine starke wechselseitige 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 äußerer 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 Fügespalt 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

Die 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-Werkzeugsitzen 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

Grundwerkstoffe, 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.

5.1.2.5 Poröse Metalle

Bauteile, die durch einen pulvermetallurgischen Prozess hergestellt wurden und eine durchgängige Porosität besitzen (weniger als 90 % der theoretischen Dichte), können sich wegen der kapillaren Aufnahme des Hartlotes als schwierig hartlötbar erweisen. In solchen Fällen ist eine Versiegelung der Oberfläche vor dem Hartlöten notwendig.

5.1.2.6 Metalle und Legierungen mit reduzierbaren Oxiden

Metalle oder Legierungen, die oxidische Einschlüsse oder gelösten Sauerstoff enthalten, die leicht bei Löttemperatur reduziert werden können, dürfen nicht in reduzierenden Atmosphären hartgelötet werden; die oxidischen Einschlüsse können Dämpfe bilden, die Porosität und eine verminderte Duktilität verursachen.

5.1.2.7 Aluminium-Legierungen

Die Hartlote, die zum Löten von Aluminium und seiner Legierungen verwendet werden, basieren gewöhnlich auf dem System Al-Si. Wenn der Grundwerkstoff Magnesiumzusätze enthält, reagieren diese mit dem Silizium der Hartlotlegierung und bilden intermetallische Phasen an der Grenzfläche. Wenn der

Magnesiumanteil größer als 2 % ist, kann der Anteil der intermetallischen Phasen an der Grenzfläche die Verbindung verspröden.

5.1.2.8 Bleihaltige Kupferlegierungen

Verschiedenen Kupferlegierungen wird Blei zugesetzt, z. B. um die Bearbeitbarkeit zu verbessern, es ist in Kupfer und seinen Legierungen unlöslich. Mehr als 2 % Blei können das Hartlöten behindern

- a) durch Bildung nicht benetzbarer Schlacke an der Grenzfläche; und
- b) durch die Verursachung von Rissen.

Diese Effekte können durch ein angemessenes Flussmittel und gleichmäßige Erwärmung ohne einwirkende Spannungen vermindert werden.

5.1.2.9 Automatenstähle

Blei und Schwefel werden Kohlenstoffstählen zugesetzt, um die Bearbeitbarkeit zu verbessern. Blei-Zusätze unter 0,35 % werden nicht als schädlicher Einfluss auf die Hartlötbarkeit und Verbindungsfestigkeit angesehen, allerdings können höhere Anteile eine niedrige Verbindungsfestigkeit wegen der Wechselwirkung mit dem Hartlot bewirken. Für das Vakuumhartlöten sollte beachtet werden, dass Blei aus den Stahloberflächen verdampft.

Schwefelhaltige, gut spanbare Kohlenstoffstähle, die typischerweise bis 0,6 % Schwefel enthalten, lassen sich gut hartlöten. Die Verbindungsfestigkeiten sind mit denen der schwefelfreien Sorten vergleichbar.

5.1.2.10 Gusseisen

Gusseisen mit Kugelgraphit kann verhältnismäßig leicht mit Silberhartlot hartgelötet werden, während Gusseisen mit Lamellengraphit problematischer ist, da die Lamellen die Benetzung stören. Als Abhilfe dient eine spezielle Oberflächenbehandlung zum Entfernen der Lamellen oder die Verwendung von nickelhaltigem Silberhartlot.

5.1.2.11 Reaktive und schwerschmelzende Metalle sowie ihre Legierungen

Titan, Zirkon, Niob und Tantal sowie ihre Legierungen werden nicht in der üblichen Weise hartgelötet, und es sollten spezielle Hinweise eingeholt werden, bevor es versucht wird. Es ist wichtig, dass immer inerte Atmosphären (Argon oder Vakuum) verwendet werden und dass auf keinen Fall wasserstoffhaltige Atmosphären eingesetzt werden.

Molybdän und Wolfram können sowohl in Wasserstoff als auch in inerten Atmosphären hartgelötet werden. Es ist jedoch günstiger, wenn die Löttemperaturen niedriger als die Rekristallisationstemperatur sind, anderenfalls kann der Grundwerkstoff stark verspröden.

5.1.2.12 Metalle mit Neigung zur Rissbildung während des Hartlötens

Der Hauptgrund der Rissbildung sind Spannungen der Bauteile während des Kontaktes mit dem geschmolzenen Hartlot. Diese Spannungen können auf die Kaltverfestigung des Grundwerkstoffes, auf Verspannungen durch eine Vorrichtung oder auf eine ungleichmäßige Erwärmung zurückgeführt werden. Die Risse bilden sich an den Korngrenzen, die dann durch Hartlot gefüllt werden können. Dieses Phänomen wird auch Lötrissigkeit oder Flüssigmetall-Penetration genannt. Um das zu verhindern, sollten möglichst wärmebehandelte Werkstoffe benutzt und eine gleichmäßige Erwärmung sichergestellt werden, die Vorrichtungen sollten so konstruiert sein, dass Verspannungen vermieden werden.

5.1.2.13 Nichtmetallische Werkstoffe

Keramiken können hartgelötet werden, wenn zuvor eine Metallisierung auf die Keramikoberfläche aufgebracht wurde oder indem ein reaktives Hartlot eingesetzt wird.

Für Gläser gibt es besondere Glaslote.

5.2 Hartlote

5.2.1 Allgemeines

Die wichtigsten in dieser Norm behandelten Hartlote werden im Einzelnen in EN ISO 17672 aufgeführt und sind in die in Tabelle 2 gezeigten Klassen eingeteilt. Andere kommerziell verfügbare Hartlote können verwendet werden, sofern sie sowohl durch den Hersteller als auch durch den Anwender akzeptiert werden.

Es ist wichtig, dass Hartlote unter den vom Hersteller empfohlenen Bedingungen gelagert und angewendet werden.

Die Schmelzbereiche der wichtigsten Hartlot-Klassen sind in Bild 6 dargestellt.

Anhang C gibt Einzelheiten zu den am häufigsten benutzten Hartloten für Kombinationen von Grundwerkstoffen an.

Anhang D gibt eine Anleitung zur Eignung verschiedener Hartlot-Klassen für die gebräuchlicheren Hartlötverfahren. Dieses wurde zwangsläufig in sehr allgemeine Kategorien eingeteilt. Die Eignung der Kombination muss im Einzelfall entschieden werden.

Tabelle 2 — EN ISO 17672 Hartlote

Bezug in EN ISO 17672:2016	Klasse	Zusammensetzung
Tabelle A.1	Al	Aluminium-Lote
	Ag	Silber-Lote
	CuP	Kupfer-Phosphor-Lote
	Cu	Kupfer-Lote
	Ni	Nickel-Lote
	Co	Kobalt-Lote
	Pd	Palladiumhaltige Lote
	Au	Goldhaltige Lote
Tabelle 1		Spezielle Varianten von bestimmten Ag, Pd und Au Hartloten für die „Anwendung im Vakuum“

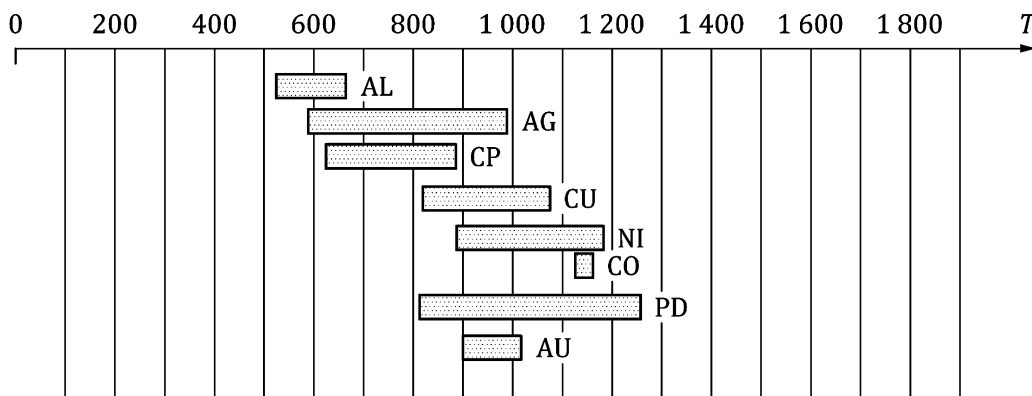


Bild 6 — Schmelzbereich der wichtigsten Hartlot-Klassen (schematisch)

5.2.2 Lieferformen

Die üblicherweise verfügbaren Formen sind Stäbe, Drähte, Folien, Formteile, Pulver, Pasten und Verbundfolien. Einige Hartlote können auch aufgesprüht, beschichtet oder aufgedampft oder aus Pulvern gemischt werden. Die Form, in der die Hartlote verfügbar sind, sollte bereits im Stadium der Konstruktion berücksichtigt werden.

5.2.3 Anwendungsgebiete

5.2.3.1 Allgemeines

Die Wahl des Hartlotes beim Hartlöten einer gegebenen Kombination von Grundwerkstoffen hängt von vielen Faktoren ab, in manchen Fällen gibt es nur eine Möglichkeit, in anderen mehrere. Im konkreten Fall kann nicht immer jedes Hartlot einer Klasse benutzt werden.

5.2.3.2 Klasse Al

Die Hartlote dieser Klasse werden fast ausschließlich zum Hartlöten von reinem Aluminium und einer begrenzten Anzahl von Aluminiumlegierungen benutzt.

5.2.3.3 Klasse Ag

Silber-Hartlote finden einen großen Anwendungsbereich beim Hartlöten von Werkstoffen, wie in 5.1 dargestellt, mit Ausnahme von Aluminium, Magnesium sowie schwerschmelzenden Metallen und ihren Legierungen. Für Vakuumanwendungen sind besondere Qualitäten erhältlich.

5.2.3.4 Klasse CuP

Diese Hartlote sind üblicherweise begrenzt auf das Verbinden von Kupfer und seinen Legierungen. Mit Ausnahme des CuP386 sind diese auf Kupfer selbstfließend, benötigen aber auf den meisten Kupferlegierungen ein Flussmittel oder Schutzgasatmosphäre. Wenn diese phosphorhaltigen Hartlote zum Verbinden von Stahl oder Nickellegierungen benutzt werden, können spröde Phasen entstehen.

5.2.3.5 Klasse Cu

Diese Hartlote werden im Allgemeinen zum Hartlöten von Kupfer, Hartmetallen und eisenhaltigen Bauteilen (Cu4XX, Cu6XX und Cu7XX mit einem Flussmittel) sowie eisenhaltiger und einiger anderer hochschmelzender Grundwerkstoffe in einer Schutzgasatmosphäre oder Vakuum (Cu1XX und Cu9XX) benutzt.

5.2.3.6 Klasse Ni und Co

Diese Hartlote werden fast ausschließlich zum Verbinden von Edelstahl und anderen wärme- und korrosionsbeständigen Legierungen entweder im Vakuum oder in einer Schutzgasatmosphäre eingesetzt.

5.2.3.7 Klasse Pd und Au

Diese Hartlote werden in Schutzgasatmosphären oder im Vakuum zum Verbinden von metallisierten Keramiken, Kupfer, Nickel oder Stählen eingesetzt.

5.3 Flussmittel

5.3.1 Allgemeines

Flussmittel sind eine wesentliche Voraussetzung, wenn an Luft hartgelötet wird, mit Ausnahme der selbstfließenden Kupfer-Phosphor-Hartlote. Flussmittel sind Bestandteil aller Verfahren mit Flussmittelbädern. Unter bestimmten Umständen werden sie für das Hartlöten unter Schutzgasatmosphäre verwendet.

Die gebräuchlichsten Lieferformen sind Pulver und Pasten. Alternativen sind Gase und Flüssigkeiten, Lotdrähte, die mit Flussmittel beschichtet sind oder eine Flussmittelseele enthalten, oder Gemische aus Flussmittel und Hartlot.

Das Flussmittel wird im Allgemeinen vor dem Erwärmen angebracht.

Flussmittel für das Hartlöten müssen nach EN 1045 ausgeführt sein.

5.3.2 Flussmittelentfernung

5.3.2.1 Allgemeines

Einige Flussmittelrückstände sind chemisch aktiv und ihre vollständige Entfernung ist wichtig, wenn unerwünschte Korrosion des Grundwerkstoffes vermieden werden soll.

Das Verfahren, mit dem diese entfernt werden, hängt weitestgehend vom Grad des erreichten Verbrauches des Flussmittels nach Beendigung des Hartlötprozesses ab. Dieser ist davon abhängig, ob eine angemessene Menge des geeigneten Flussmittels verwendet wurde, ob Überhitzungen vermieden und die Heizdauer so kurz wie möglich gewählt wurde. Vorausgesetzt, die Baugruppe gestattet so eine Behandlung ohne Schaden zu nehmen, kann die Entfernung der Flussmittel erleichtert werden, indem die Baugruppe unmittelbar nachdem das Hartlot erstarrt ist, mit Wasser abgespült wird.

Flussmittelrückstände sollten in Übereinstimmung mit den relevanten Vorschriften gebracht werden.

5.3.2.2 Flussmittel zum Hartlöten $\geq 750\text{ °C}$ (z. B. FH21, FH30)

Die geschmolzenen Rückstände von Borax und ähnlichen Hochtemperatur-Flussmitteln sind hart, glasartig und in Wasser kaum lösbar. Deshalb müssen sie mechanisch entfernt werden, z. B. durch Sandstrahlen oder Kugelstrahlen oder Schleiftechniken.

5.3.2.3 Flussmittel zum Hartlöten $< 750\text{ °C}$ (z. B. FH10, FH11, FH12)

Rückstände von Fluorborat-Flussmitteln sind weitestgehend wasserlöslich und können in heißem oder kochendem Wasser entfernt werden. Die Wirkung beim Entfernen der Flussmittel kann durch Schütteln oder Ultraschallschwingungen verbessert werden. Chemische oder selbsthemmende Entzunderungs-Lösungen dürfen benutzt werden, wenn eine vollständige Entfernung von Verfärbungen gefordert wird.

Dampfreinigung und Trocken- oder Nassschleifverfahren sind ebenso wirkungsvolle Verfahren, die ohne Tauchen auskommen.

5.3.2.4 Aluminium-Hartlöt-Flussmittel

Flussmittel des Typs FL10 sind sehr korrosiv und erfordern eine sehr sorgfältige Nachreinigung nach dem Hartlöten. Die Rückstände sind wasserlöslich und können abgewaschen werden. Flussmittel des Typs FL20 sind im Allgemeinen nicht korrosiv und die Rückstände können verbleiben.

5.4 Atmosphären

5.4.1 Schutzgase

Beispiele für Arten von Schutzgasatmosphären enthält Tabelle 3.

Die Anwender sollten wissen, dass die Reinheit der Atmosphären, die Prozessdauer und die Temperatur sich gegenseitig beeinflussen und Auswirkungen auf die Anforderungen an einen zufrieden stellenden Hartlötprozess haben. Die Aufgabe der Schutzgasatmosphäre ist es, die Reinheit der Grundwerkstoffe und Hartlote sicherzustellen, so dass Letztere während des Hartlötprozesses ungehindert fließen können.

Die Auswahl der Atmosphäre, die aktiv oder inert sein kann, wird durch die Grundwerkstoffe und das Hartlot bestimmt.

5.4.2 Vakuumhartlöten

Eine Vakuum-Atmosphäre wird in einer Kammer erzielt, die speziell zum Hartlöten oder Wärmebehandeln konstruiert ist und das Abpumpen von Gasen, üblicherweise Luft, aus dem Ofen gestattet. Die Pumpen sind im Allgemeinen eine sorgfältig aufeinander abgestimmte Kombination aus mechanischer Pumpe und Öldiffusionspumpe, die in der Pumpleistung übereinstimmen und die geeignete Größe besitzen, den Ofeninnenraum schnell zu entleeren. Während des Heizzyklus kann es zum Ausgasen der eingebrachten Bauteile sowie der Ofeninnenwände kommen, so dass die Pumpen zur Anpassung häufig durch ein Vakuummesssystem automatisch abgeschaltet werden.

Ein Vakuum, das besser als 10^{-3} mbar ist, wird problemlos erreicht, allerdings ist eine geringe Leckrate zur Kontrolle der verbleibenden Atmosphäre ebenso wichtig. Ein Druck von 10^{-3} mbar entspricht einem Volumenanteil der Verunreinigungen im Gas von etwa $1,1 \times 10^{-6}$ (Teile je 1 Million Teilen).

5.5 Sicherheit

Um sicherzustellen, dass Flussmittel, Hartlot und Grundwerkstoffe zueinander passen, sollte auf den Hersteller verwiesen werden.

Tabelle 3 — Beispiele für Schutzgasatmosphären

Nr.	Quelle	Typischer Taupunkt des einströmenden Gases °C	Ungefähre Zusammensetzung				Anwendungen	
			H ₂ %	N ₂ %	CO %	CO ₂ %	Lot-Klasse	Grundwerkstoffe
1	Brenngas ^d (geringer Wasserstoff- gehalt)	bis +30	1 bis 5	87	1 bis 5	11 bis 12	Ag ^a , CuP, Cu4XX ^a Cu6XX ^a Cu7XX ^a	Cu und einige Cu-Legie- rungen, Kohlenstoffstähle (niedriger und mittlerer C- Gehalt)
2	Brenngas ^d (abkohlend)	bis +30	14 bis 15	70 bis 71	9 bis 10	5 bis 6	Ag ^a , CuP, Cu1XX, Cu9XX, Cu4XX ^a Cu6XX ^a Cu7XX ^a	Cu und einige Cu-Legie- rungen, Kohlenstoffstähle (niedriger und mittlerer C- Gehalt), Ni, Ni-Cu-Legie- rungen
3	Brenngas ^f , getrocknet	–40	15 bis 16	73 bis 75	10 bis 11	—	Ag ^a , CuP, Cu1XX, Cu9XX, Cu4XX ^a Cu6XX ^a Cu7XX ^a	Cu und einige Cu-Legie- rungen, Kohlenstoffstähle, Ni-Cu-Legierungen, Ni, Ni-Fe-Legierungen
4	Brenngas ^e getrocknet (aufgekühlt)	–40	38 bis 40	41 bis 45	17 bis 19	—	Ag ^a , CuP, Cu1XX, Cu4XX ^a Cu6XX ^a Cu7XX ^a	Cu und einige Cu-Legie- rungen, Kohlenstoffstähle, Ni-Cu-Legierungen, Ni
5	Ammoniak Spaltgas ^g (gekracktes Ammoniak)	–54	75	25	—	—	Ag, CuP, Cu1XX, Cu9XX, Cu4XX, Cu6XX Cu7XX, Ni106, Ni107	Cu und einige Cu-Legie- rungen, Kohlenstoffstähle, Ni-Cu-Legierungen, Ni und Ni-Legierungen, Cr-haltige Legierungen ^b
6	Flaschen- Wasserstoff	bis –60	100	d	—	—	Ag, CuP, Cu1XX, Cu9XX, Cu4XX, Cu6XX Cu7XX, Ni107	Cu und einige Cu-Legie- rungen, Kohlenstoffstähle (niedriger und mittlerer C- Gehalt), Ni und Ni-Legie- rungen und Legierungen von Co, Cr und Sinter- karbide ^b
7	Inerte Gase ^g , z. B. Argon, Stickstoff ^c	unter –60	—	—	—	—	CuP, Cu1XX, Cu9XX, Ni	Cu und einige Cu-Legie- rungen, Kohlenstoffstähle, Ni und Ni-Legierungen ^b , Cr-haltige Legierungen

^a Bei Hartloten mit flüchtigen Elementen sind zusätzlich Flussmittel erforderlich.

^b Bei Anwesenheit von größeren Mengen an Aluminium, Titan, Silizium oder Beryllium werden zusätzlich zur Atmosphäre Flussmittel benötigt.

^c Es ist wichtig, dass Stickstoff nicht mit schwerschmelzenden Metallen oder Aluminium oder zusammen mit silizium- oder borhaltigen Hartloten verwendet wird.

^d Das Brenngas (geringer Wasserstoffgehalt oder abkohlend) kann als exotherm bezeichnet werden. Es ist aber auch als synthetisches Gas erhältlich.

^e Das Brenngas (aufgekühlt) kann als endotherm bezeichnet werden. Es ist aber auch als synthetisches Gas erhältlich.

^f Es ist auch als synthetisches Gas erhältlich.

^g Bestimmte Hartlote in EN ISO 17672:2016, Tabellen 7 und 8, können in den Schutzgasatmosphären 5 und 7 hartgelötet werden.

6 Hartlötverfahren

Anhang E zeigt Einzelheiten zu den unterschiedlichen Hartlötverfahren, einschließlich der Vorteile und Grenzen jedes Verfahrens.

7 Wärmebehandlung

Wenn die Grundwerkstoffe eine Wärmebehandlung erfordern, ist es möglich, diese als Bestandteil des Hartlötprozesses durchzuführen. In anderen Fällen ist es notwendig, die Wärmebehandlung getrennt durchzuführen. Wenn die nachträgliche Wärmebehandlung ein Abschrecken erfordert, muss beachtet werden, dass die Verbindung sich möglicherweise unzulässig verzieht und/oder Risse entstehen.

8 Prüfung

Wenn möglich, müssen Zulassungen für den Hartlötter (in Übereinstimmung mit EN ISO 13585) und für die Hartlötverfahren (in Übereinstimmung mit EN 13134) sowie die zerstörungsfreie Prüfung der Hartlötverbindungen (in Übereinstimmung mit EN 12797) und die zerstörende Prüfung der Hartlötverbindungen (in Übereinstimmung mit EN 12799) verwendet werden. Einzelheiten über Mängel müssen entsprechend der EN ISO 18279 angegeben werden.

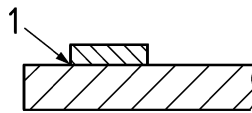
Spezielle Anforderungen, die für den Kunden und Lieferanten wichtig sind, sollten vor dem Beginn aller Arbeiten festgehalten werden, so dass Fehler und Fehleinschätzungen vermieden werden können. Die folgende Liste enthält sachdienliche Punkte, aus der sich der Kunde/Lieferant die maßgeblichsten aussuchen kann:

- a) Ort der Durchführung der Arbeiten (Werkstatt oder Standort);
- b) Konstruktion der Baugruppe:
 - 1) Beeinflussungen, falls spätere Verarbeitung erforderlich ist, z. B. Härten oder Beschichten;
 - 2) Vorrichtungen, Halterungen usw.;
 - 3) Lotstoppmittel und Schutzschichten auf der Oberfläche, wo das Hartlot nicht fließen darf;
- c) Prüfverfahren, einschließlich Probennahme;
- d) zu verwendende Werkstoffe und Art der Identifizierung;
- e) Prozess und zu kennzeichnende Steuerungen (falls vorhanden);
- f) Verfahren zur Reinigung und Oxidbeseitigung, wenn nötig;
- g) Oberflächenstruktur und Pass-Toleranzen der zu verbindenden Bauteile;
- h) Erzielen von zufrieden stellenden Hartlötzyklen und Mittel zur Vermeidung von Überhitzungen/Unterkühlungen;
- i) Reinigung nach dem Hartlöten und Behandlung zur Entfernung von Flussmitteln sowie Anforderungen an die Oberflächenstruktur;
- j) Entfernung von überschüssigem Hartlot;
- k) Reparatur von mangelhaften Verbindungen;
- l) Anforderungen an Kontrolle und Wartung der Anlagen;
- m) Aufzeichnung der Prüfergebnisse.

Anhang A (informativ)

Beispiele für hartgelötete Baugruppen

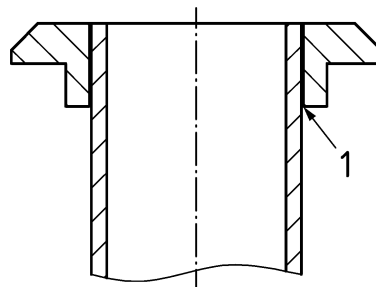
Die Bilder in diesem Anhang zeigen Beispiele für hartgelötete Baugruppen. Ein elektrischer Kontakt auf einem Leiter (siehe Bild A.1) ist ein Beispiel, jedoch dürfen komplizierte hartgelötete Baugruppen trotzdem nur eine einzige Verbindung enthalten, z. B. einen Flansch auf einem Rohr (siehe Bild A.2). Gleichwohl ist die Möglichkeit, mehrere Verbindungen gleichzeitig in einer hartgelöteten Baugruppe wie bei einem Rohrverteiler (siehe Bild A.3) herzustellen, einer der Vorteile des Hartlötens. In manchen Fällen ist es mittels Ofenhartlöten weiterhin möglich, sehr viele Verbindungen mit einem Mal herzustellen, wie bei einem Platten-Wärmetauscher, der sehr groß sein kann (siehe Bild A.4). Bei Metall-Keramik-Verbindungen können Risse aufgrund der unterschiedlichen Wärmeausdehnung ein Problem sein, das oftmals gelöst werden kann, indem ein keramischer Ausgleichsring auf der anderen Seite des Metalls aufgelötet wird (siehe Bild A.5).



Legende

1 Verbindung

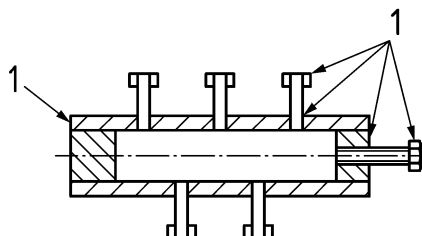
Bild A.1 — Elektrischer Kontakt auf einem Leiter (schematisch)



Legende

1 Verbindung

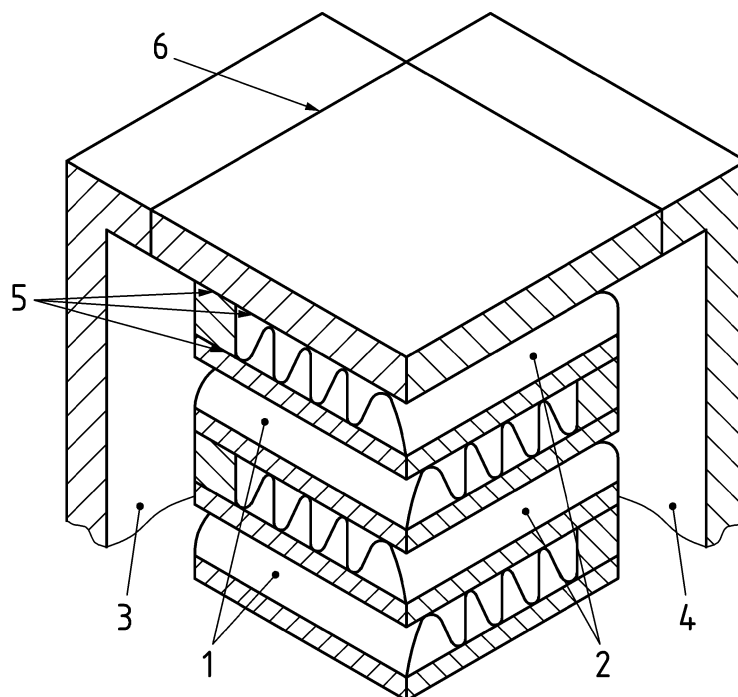
Bild A.2 — Flansch auf einem Rohr (schematisch)



Legende

1 Verbindung

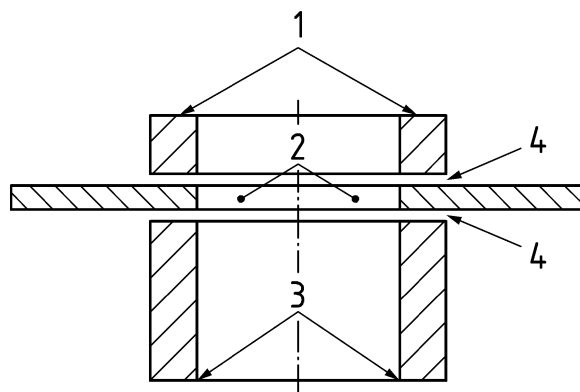
Bild A.3 — Rohrverteiler (schematisch)



Legende

- 1 Flussrichtung A
- 2 Flussrichtung B
- 3 Sammelleitung A
- 4 Sammelleitung B
- 5 Hartlötverbindung
- 6 Schweißverbindung

Bild A.4 — Platten-Wärmetauscher (schematisch)



Legende

- 1 keramischer Ausgleichsring
- 2 Metallring
- 3 keramischer Hohlzylinder
- 4 Verbindung

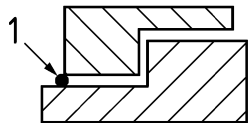
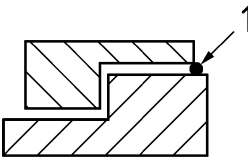
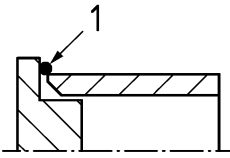
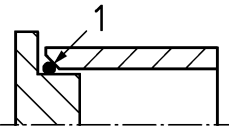
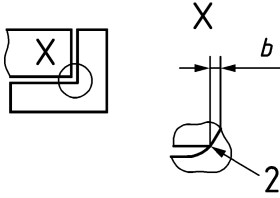
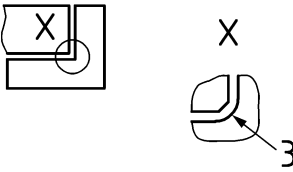
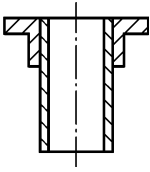
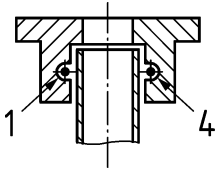
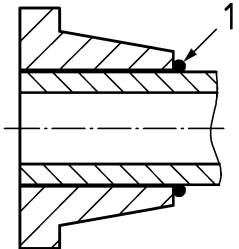
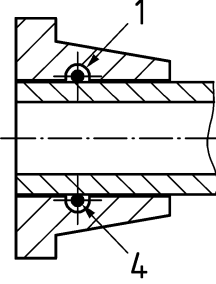
Bild A.5 — Metall-Keramik-Verbindung (schematisch)

Anhang B (informativ)

Typische Konstruktionsbeispiele

Die Tabellen B.1 und B.2 zeigen einige Beispiele für Hartlötkonstruktionen. Eine Konstruktion, die in einem Fall ungeeignet ist, kann für einen anderen hervorragend geeignet sein. Die Eignung sollte im Einzelfall geprüft werden.

**Tabelle B.1— Einfluss der Hartlotdeponierung und/oder der Konstruktion auf das Fließen
(Prinzipskizzen)**

Nr.	Einfache Auslegung	Verbesserte Auslegung	Erklärungen
1			1 – Hartlot Wenn der Spalt variiert, sollte das Hartlot von der breiteren Seite zugegeben werden.
2			1 – Hartlot
3			2 – Flusssperre 3 – Fase Fase zugegeben, um den Hartlotfluss zu unterstützen. Dieser darf ebenso durch eingelegtes Hartlot unterstützt werden, wie in Nr. 2 dieser Tabelle dargestellt.
4			4 – Hartlotdepot Wenn die Baugruppe in dieser Position hartgelötet wird, kann ein Hartlotdepot bevorzugt werden, da es schwierig ist, eine versenkte Verbindung zu füllen.
5			4 – Hartlotdepot Die Anwendung eines Hartlotdepots erhöht die Löt-sicherheit.

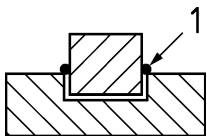
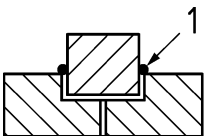
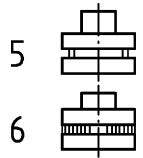
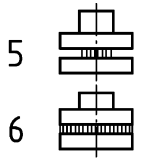
Nr.	Einfache Auslegung	Verbesserte Auslegung	Erklärungen
6			1 – Hartlot Bei Zuführung des Hartlotes von außen erlaubt das Loch die Abfuhr von Flussmittelresten.
7			5 – vor dem Hartlöten 6 – nach dem Hartlöten Eine verbesserte Auslegung beugt dem Einschluss von Gas/Flussmittel vor.

Tabelle B.2 — Einfluss der Spaltgeometrie

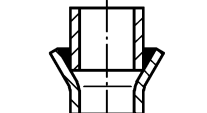
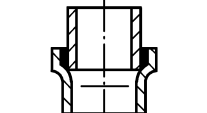
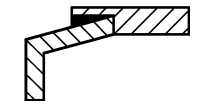
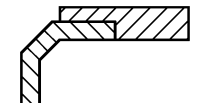
Nr.	Einfache Auslegung	Verbesserte Auslegung	Erklärungen
1			Die dargestellte alternative Auslegung ist für den Hartlötprozess mittels Kapillarspalt besser geeignet. Die Darstellung der einfachen Auslegung eignet sich eher für Verfahren, die weniger vom kapillaren Fluss abhängen.
2			
3			

Bild B.1 gibt einige konstruktive Modifikationen wieder, die sich für hohe Betriebsbeanspruchungen eignen, Bild B.2 gibt mehr Informationen zu den Vorteilen eingelegten Hartlotes und Bild B.3 zeigt ein übliches Verfahren, wie Bauteile vor dem Hartlöten angebracht werden.

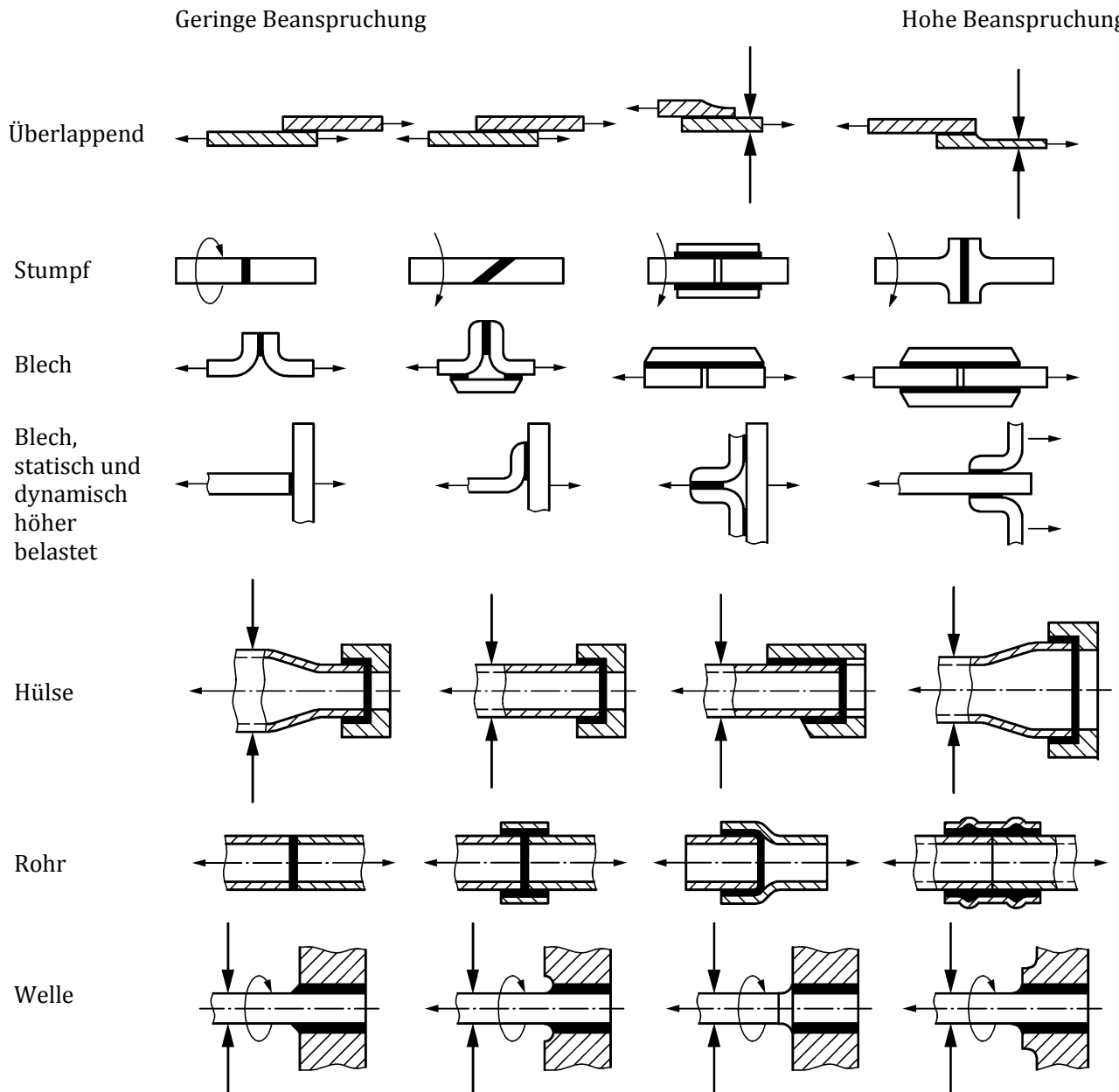


Bild B.1 — Konstruktive Modifikationen für hohe Betriebsbeanspruchungen