

Luft- und Raumfahrt
Wärmebehandlung von Aluminium-Knetlegierungen

DIN
29 850

Aerospace; heat treatment of wrought aluminium alloys

Aéronautique et espace; traitement thermique des alliages d'aluminium corroyés

Ersatz für
(Supersedes)

LN 29 850 T1/08.74

LN 29 850 T2/08.74

LN 29 850 T3/08.74

LN 29 850 T4/08.74

LN 29 850 T5/08.74

LN 29 850 Beiblatt/08.74

In case of dispute the German wording shall be valid.

Diese Norm ist anerkannt durch das Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung und das Luftfahrt-Bundesamt.

This Standard is approved by the Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung and the Luftfahrt-Bundesamt.

Inhalt

Contents

	Seite		Page
1 Anwendungsbereich und Zweck	2	1 Field of application and scope	2
2 Allgemeines	2	2 General	2
3 Begriffe	2	3 Definitions	2
3.1 Anlieferungszustand	2	3.1 As-received condition	2
3.2 Kaltverfestigung	2	3.2 Strain hardening	2
3.3 Wärmebehandlung	3	3.3 Heat treatment	3
4 Wärmebehandlungsanlagen	6	4 Heat-treating facilities	6
4.1 Wärmeübertragungsmittel	6	4.1 Heating media	6
4.2 Einrichtungen zum Messen, Regeln und Registrieren der Temperatur	6	4.2 Temperature-measuring, control and recording equipment	6
4.3 Abschreckanlage	6	4.3 Quenching equipment	6
5 Durchführung der Wärmebehandlung	7	5 Heat-treating procedure	7
Tabelle 1. Dickenabhängige max. Aufheizdauer .	7	Table 1. Maximum heat-up time according to thickness	7
Tabelle 2. Dickenabhängige max. Abschreckverzögerung	8	Table 2. Maximum quench delay according to thickness	8
Tabelle 3. Wiederholung des Lösungsglühens ...	8	Table 3. Re-solution heat treatment	8
Tabelle 4. Bedeutung der Zustandsbezeichnungen	9	Table 4. Definition of temper designations ...	10
Tabelle 5. Temperaturen und Zeiten für das Weichglühen (Richtwerte)	13	Table 5. Temperatures and times for full annealing (reference data)	13
Tabelle 6. Temperaturen und Zeiten für das Erholungsglühen (Richtwerte)	13	Table 6. Temperatures and times for partial annealing (reference data).....	13
Tabelle 7. Temperaturen für das Lösungsglühen und Abschrecken	14	Table 7. Temperatures for solution heat treatment and quenching	15
Bild 1. Erforderliche Haltezeit beim Lösungsglühen im Salzbad	16	Figure 1. Holding times required for solution heat treatment in salt bath	16
Bild 2. Erforderliche Haltezeit beim Lösungsglühen im Luftumwälzofen ...	17	Figure 2. Holding times required for solution heat treatment in air-chamber furnace	17
Tabelle 8. Temperaturen und Zeiten für das Warmauslagern	18	Table 8. Temperatures and times for artificial ageing	19
Zitierte Normen und andere Unterlagen	24	Quoted standards and further documents	24
Änderungen	24	Revision	24

Fortsetzung Seite 2 bis 24
(Continued on pages 2 to 24)

Normenstelle Luftfahrt (NL) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

Jede Art der Vervielfältigung, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, gestattet.

1 Anwendungsbereich und Zweck

Diese Norm umfaßt die Wärmebehandlung von Aluminium-Knetlegierungen nach dem Werkstoff-Handbuch der Deutschen Luftfahrt Teil I, 2. Band, durch den Halbzeughersteller (Hersteller) und Luftfahrtgerätehersteller (Verbraucher bzw. Besteller). Sie gibt Hinweise für die notwendigen Einrichtungen und deren Überwachung. Die vorkommenden Begriffe für die Wärmebehandlungen werden erläutert.

Die in dieser Norm angegebenen Wärmebehandlungsdaten stellen im Regelfall die im betreffenden Werkstoff-Leistungsblatt des Werkstoff-Handbuches der Deutschen Luftfahrt, Teil I, 2. Band, vorgeschriebenen Eigenschaften sicher. In besonderen Fällen (z. B. beim Stufenwarmauslagern) kann eine Optimierung der Wärmebehandlungsbedingungen erforderlich sein.

Werden für Halbzeug vom Hersteller besondere Maßnahmen getroffen, die eine von dieser Norm abweichende Wärmebehandlung erforderlich machen, so sind diese zwischen Hersteller und Besteller zu vereinbaren und die geänderten Wärmebehandlungsdaten in dem Abnahmeprüfzeugnis anzugeben.

Mehrfache Wärmebehandlungen und Formungsvorgänge ändern die Werkstoffeigenschaften. In diesen Fällen ist das Einhalten der Forderungen des Werkstoff-Leistungsblattes durch den Verbraucher nachzuweisen.

2 Allgemeines

Die Wärmebehandlung für die einzelnen Legierungen ist in Temperaturhöhe und Haltedauer unterschiedlich. Während der Temperaturbereich beim Weichglühen für Umformungsvorgänge verhältnismäßig groß ist, müssen zum Erzielen optimaler Festigkeitseigenschaften engere Temperaturbereiche eingehalten werden. Um diese Forderungen erfüllen zu können, muß die Eignung der Anlagen zur Wärmebehandlung metallischer Bauteile bzw. Halbzeuge nachgewiesen werden.

Die früher verwendeten Zustandszahlen .0 bis .9 definieren den Werkstoffzustand nicht ausreichend. Für die durch Wärmebehandlung beim Hersteller bzw. Verbraucher erzielten Werkstoffzustände werden in Anlehnung an die Wärmebehandlungsbezeichnungen der Aluminum Association (AA) in USA Zahlenkombinationen mit vorgestellten Buchstaben verwendet. Dieses System wird für die "aushärtbaren" Aluminium-Knetlegierungen verwendet. Eine Gegenüberstellung und Beschreibung der neuen und alten Zustandszahlen ist in Tabelle 4, Seite 9 festgelegt.

3 Begriffe

3.1 Anlieferungszustand

Der Anlieferungszustand ist der Werkstoffzustand, in dem das Halbzeug oder die Bauteile an den Besteller/Weiterverarbeiter geliefert werden. Die Werkstoffkennzahl gibt den Werkstoff in seinem Wärmebehandlungszustand an.

3.2 Kaltverfestigung

Die Kaltverfestigung ist eine aus Umformungsvorgängen unterhalb der Rekristallisationstemperatur entstandene Steigerung der Festigkeitseigenschaften des Werkstoffes.

1 Field of application and scope

This Standard covers the heat treatment of wrought aluminium alloys included in the German Aviation Materials Manual, Part I, Volume 2, by the semi-finished product manufacturer (manufacturer) and aircraft manufacturer (user or customer). It provides information on the required equipment and its surveillance. The terms relating to thermal treatments employed are defined.

The heat-treatment data given in this Standard are sufficient in general to assure the properties required by the relevant material data sheet of the German Aviation Materials Manual, Part I, Volume 2. In specific cases (e.g. step ageing) it may be necessary to optimize the heat-treatment conditions.

If the semi-finished product manufacturer takes provisions requiring a thermal treatment deviating from this Standard, this shall be agreed upon between the manufacturer and the customer, and the modified heat-treatment data shall be stated in the acceptance test certificate.

Multiple heat-treating and forming operations alter the material properties. In such cases, conformance to the requirements of the material data sheet shall be determined by the user.

2 General

Heat treatment of the different alloys varies with respect to temperature and holding time. While the temperature range applicable to full annealing for forming operations is relatively large, tighter temperature ranges are required to develop optimum strength properties. To comply with these requirements, it is necessary to demonstrate suitability of the heat-treating facilities for metallic parts or semi-finished products.

The formerly used temper numerals .0 to .9 do not provide for sufficient temper identification of materials. The tempers achieved by heat treatment by the manufacturer or user are now designated by numerical combinations with prefix letters, based on the U.S. Aluminium Association (AA) temper designations. This system applies to "heat-treatable" wrought aluminium alloys. A cross-reference index and description of the new and former temper designations appear in table 4, page 10.

3 Definitions

3.1 As-received condition

The as-received condition is the material condition in which semi-finished products or parts are supplied to the customer/processor. The material identification number indicates the material and its temper.

3.2 Strain hardening

Strain hardening is an increase in strength properties of the material, resulting from working operations below the recrystallization temperature.

Die Festigkeitseigenschaften werden durch Walz-, Zieh-, Stauch-, Reck- oder Richtvorgänge gesteigert, die in der Regel nach dem Lösungsglühen und Abschrecken im kalten Zustand erforderlich werden, um die vorgeschriebene Geradheit oder Planheit zu erreichen.

Wenn der Verbraucher zum Erzielen günstiger Umformungseigenschaften am Halbzeug eine erneute Wärmebehandlung durchführt, muß er mit der Minderung der Festigkeitseigenschaften um den Betrag der durch Kaltverfestigung erzielten Steigerung rechnen.

Wenn für die Weiterverarbeitung besondere Eigenschaften erforderlich sind, muß vom Hersteller ein definiertes Stauchen oder Recken über die Stauch- bzw. Streckgrenze durchgeführt werden.

3.3 Wärmebehandlung

Die Wärmebehandlung ist ein Verfahren, bei dem der Werkstoff zum Erzielen bestimmter Eigenschaften einer thermischen Behandlung im Salzbad oder Luftumwälzofen unterzogen wird. Das Verfahren muß stets am ganzen Halbzeug oder Bauteil durchgeführt werden; eine teilweise Wärmebehandlung ist nicht zulässig.

Zur Weiterverarbeitung des Halbzeugs angewendete Verfahren, die mit örtlicher Wärmebeeinflussung verbunden sind, wie Schweißen, Warmwalzen und Durchsetzen, werden in dieser Norm nicht behandelt.

3.3.1 Weichglühen

Die für das Weichglühen anzuwendenden Temperaturen und Zeiten sind in Tabelle 5, Seite 13, aufgeführt. Das Weichglühen bewirkt, daß eine durch Aushärten und/oder Kaltverfestigen erzielte Festigkeitssteigerung wieder rückgängig gemacht wird. Die beim Weichglühen eintretende Entfestigung wird meistens durch Rekristallisation des Werkstoffes hervorgerufen.

Die Abkühlungsgeschwindigkeit von der Weichglüh-temperatur ist ausschlaggebend zum Erzielen eines stabilen heterogenen Gefüges. Um daher bei einzelnen Werkstoffen die größtmögliche Weichheit zu erzielen, muß nach der Haltedauer auf Glüh-temperatur die vorgeschriebene Abkühlgeschwindigkeit eingehalten werden.

Bei vollständiger Ausscheidung der intermetallischen Verbindungen wird selbst nach längerem Lagern ein nachträglicher Wiederanstieg der Festigkeitseigenschaften nicht eintreten.

Der Werkstoffzustand nach dem Weichglühen wird mit "-0" bezeichnet (bisherige Bezeichnung siehe Tabelle 4, Seite 9).

3.3.2 Erholungsglühen

Die für das Erholungsglühen anzuwendenden Temperaturen und Zeiten sind in Tabelle 6, Seite 13, aufgeführt. Das Erholungsglühen ist eine Wärmebehandlung unterhalb der Rekristallisationstemperatur und entfernt nur teilweise die Verfestigungen, so daß infolge verminderter Streckgrenze und angehobener Dehnung die Formbarkeit wieder verbessert werden kann. Das Ausgangsgefüge bleibt bei dieser Temperatur erhalten.

Das Erholungsglühen wird eingesetzt, wenn das Weichglühen zu Grobkornbildung führen kann oder für weitere Formungen nur ein teilentfestigter Werkstoff erforderlich ist.

Strength properties are increased by such processes as rolling, drawing, compressing, stretching or straightening which are required in general to be carried out cold after solution heat treatment and quenching in order to produce the specified straightness or flatness.

When reheat treating semi-finished products to achieve adequate forming properties, the user shall account for a reduction in strength properties by the amount corresponding to the increase obtained through strain hardening.

When particular properties are required for further processing, the manufacturer shall perform a controlled compression or stretching beyond the yield point.

3.3 Heat treatment

Heat treatment is a process in which the material is subjected to a thermal treatment in the salt bath or air-chamber furnace in order to confer certain properties. The process shall always be conducted on the whole of a semi-finished product or part; partial heat treatment is prohibited.

Methods used in further processing semi-finished products, involving heat effects in local areas, e.g. welding, hot rolling and offsetting, are not dealt with in this Standard.

3.3.1 Full annealing

Temperatures and times applicable to full annealing are given in table 5, page 13. The effect of full annealing is to eliminate the strength increase produced by precipitation and/or strain hardening. This removal of hardening by full annealing is generally achieved by recrystallization of the material.

The rate of cooling from annealing temperature is decisive for obtaining a stable heterogeneous structure. To achieve maximum softening of the various materials, it is therefore essential after the time of holding at annealing temperature to adhere to the specified rate of cooling.

Upon complete precipitation of intermetallic compounds, subsequent re-increase in strength properties will not occur even on prolonged ageing.

The temper after full annealing is designated "-0" (for former designation, see table 4, page 10).

3.3.2 Partial annealing

Temperatures and times applicable to partial annealing are given in table 6, page 13. Partial annealing is a thermal treatment below the recrystallization temperature and produces only a partial removal of hardening so as to improve formability by lowering the yield point and raising elongation. The initial structure will be retained at this temperature.

Partial annealing is applied when full annealing may result in grain coarsening or when further forming requires material to be only partially reduced in strength.

Die Umformungsarbeiten müssen bei aushärtbaren Legierungen kurzfristig nach der Wärmebehandlung vorgenommen werden, da bei längerer Lagerzeit (z. B. 1 Monat) leichte Wiederaushärtung und damit eine Erhöhung der mechanischen Eigenschaften eintreten kann.

Obwohl durch das Erholungsglühen nicht die optimale Weichheit erreicht wird, ist die Bezeichnung "-0" für die Kennzeichnung des Werkstoffzustandes einzusetzen.

3.3.3 Aushärten

Das Aushärten ist eine Wärmebehandlung an aushärtbaren Legierungen und besteht aus dem Lösungsglühen (Temperaturbereich 430 bis 550 °C, je nach Legierung) mit anschließendem Abschrecken, Auslagern bei Raumtemperatur (RT) *) oder erhöhten Temperaturen, oder einer Kombination von beiden (Vorlagerungszeit).

3.3.3.1 Lösungsglühen und Abschrecken

Die für das Lösungsglühen und Abschrecken anzuwendenden Temperaturen und Zeiten sind in Tabelle 7, Seite 14, festgelegt. Das Lösungsglühen findet bei einer Temperatur statt, die kurz unter der Schmelztemperatur der am niedrigsten schmelzenden Legierungsphase liegt, wobei die aushärtend wirkenden Legierungselemente im Mischkristall in Lösung gebracht werden. Durch schnelles Abschrecken bleiben die Legierungselemente eine bestimmte Zeit in übersättigter Lösung. Unmittelbar nach dem Lösungsglühen ist der Werkstoff, je nach Legierung, innerhalb einer Zeit von 2 Stunden gut formbar. Diese Eigenschaft läßt sich durch Lagerung bei tiefen Temperaturen (z. B. - 15 °C) längere Zeit erhalten. Der erreichte Zustand wird mit W bezeichnet. Bei Bedarf kann W durch eine Zeitangabe in Stunden (h) ergänzt werden. Die Zeiten beziehen sich dann auf eine Auslagerungszeit bei RT nach dem Lösungsglühen und Abschrecken (z. B. 3.3214W2h bedeutet: 2 Stunden kaltausgelagerter Werkstoff 3.3214).

3.3.3.2 Abschreckverzögerung (Vorkühlzeit)

Die Abschreckverzögerung ist die Zeit zwischen dem Lösungsglühen und Abschrecken und beginnt mit dem Öffnen der Tür des Luftumwälzofens bzw. dann, wenn der erste Bereich des Wärmebehandlungsgutes über dem Spiegel der Salzschnmelze sichtbar wird, und endet, wenn das Wärmebehandlungsgut ganz in das Abschreckbad getaucht ist.

3.3.3.3 Kaltauslagern

Das Kaltauslagern ist ein Lagern bei Raumtemperatur nach dem Lösungsglühen und Abschrecken, während dem die Festigkeitswerte ansteigen.

*) Nach DIN 50 014 bezieht sich die Angabe "Bei Raumtemperatur" auf einen Raum, in dem die Lufttemperatur in einem festgelegten Bereich liegt, ohne Berücksichtigung der relativen Luftfeuchte, des Luftdrucks und der Luftgeschwindigkeit.

Im allgemeinen gilt der Lufttemperaturbereich von 15 bis 35 °C. Wird ein engerer Lufttemperaturbereich gefordert, so ist der von 18 bis 28 °C zu verwenden.

The forming operations on heat-treatable alloys shall be performed shortly after heat treating since prolonged ageing (e.g. 1 month) may induce slight reprecipitation hardening and thus increase mechanical properties.

Though optimum softening is not achieved by partial annealing, the designation "-0" shall be employed to identify this temper.

3.3.3 Precipitation heat treatment

Thermal treatment of heat-treatable alloys consisting of solution heat treatment (temperature range 430 to 550 °C, depending on the alloy) followed by quenching, ageing at room temperature (RT) *) or elevated temperatures, or both in combination (pre-ageing).

3.3.3.1 Solution heat treatment and quenching

Temperatures and times applicable to solution heat treatment and quenching are given in table 7, page 15. Solution heat treatment is performed at a temperature just below the melting temperature of the lowest melting-point alloy phase, allowing soluble alloying constituents to enter into solid solution. Rapid quenching allows the alloying constituents to be retained in super-saturated solution for a certain time. Immediately following solution heat treatment, the material exhibits good formability within a period of 2 hours, depending on the alloy. This property can be retained for a longer period by refrigerated storage (e. g. - 15 °C). The temper achieved is designated W. If required, W can be supplemented by a time indication in hours (h). The times then refer to ageing at room temperature after solution heat treatment and quenching (example: 3.3214W2h means material 3.3214 naturally aged for 2 hours).

3.3.3.2 Quench delay (pre-cooling time)

Quench delay is the elapsed time between solution heat treatment and quenching; it starts when the furnace door begins to open or when the first portion of the work load emerges from the salt bath, and ends when the load is totally immersed in the quenchant.

3.3.3.3 Natural ageing

Ageing at room temperature after solution heat treatment and quenching, resulting in an increase in strength values.

*) According to DIN 50 014, the expression "at room temperature" refers to an environment, the air temperature of which lies within a specified range, no consideration being given to relative humidity, atmospheric pressure or air speed.

In general, the air temperature extends from 15 to 35 °C. If a narrower air temperature range is required, then the range extending from 18 to 28 °C shall be applied.

Der stabile Werkstoffzustand nach dem Lösungsglühen, Abschrecken und Kaltauslagern nach mindestens 96 h bei RT beim Verbraucher wird mit T42 bezeichnet (frühere Bezeichnung siehe Tabelle 4, Seite 9).

Bei einigen Werkstoffen wird dieser stabile Endzustand T42 nicht erreicht. Bei diesen Werkstoffen ist dieser Zwischenzustand kein Einbaustand und wird mit dem Buchstaben W (ohne Zeitbegrenzung) bezeichnet. Der Einbaustand wird erst durch Warmauslagern erreicht.

3.3.3.4 Warmauslagern

Die für das Warmauslagern anzuwendenden Temperaturen und Zeiten sind in Tabelle 8, Seite 18, festgelegt. Das Warmauslagern ist eine thermische Behandlung nach dem Lösungsglühen und Abschrecken (Temperaturbereich 100 bis 220 °C, je nach Legierung). Beim Warmauslagern steigt die Festigkeit bis zu einem Maximum an, bei gleichzeitigem Abfall der Dehnung. Bei höheren Temperaturen steigt die Festigkeit schneller an, die maximalen Festigkeitswerte liegen jedoch tiefer. Die angegebenen Temperaturen und Zeiten müssen daher eingehalten werden. Der Werkstoffzustand nach dem Warmauslagern wird z. B. mit T6 bezeichnet (frühere Bezeichnung siehe Tabelle 4, Seite 9).

3.3.3.5 Überhärten

Das Überhärten ist ein Warmauslagern, dessen Haltezeit und/oder Temperatur größer ist als die, welche zum Erreichen der maximalen Festigkeitswerte erforderlich ist.

Ein gebräuchlicher Werkstoffzustand nach dem Überhärten ist z. B. T73 für den Werkstoff 3.4364.

3.3.3.6 Vorlagerungszeit

Die werkstoffabhängige Vorlagerungszeit ist in Tabelle 8, Seite 18, festgelegt. Die Vorlagerungszeit ist die Lagerzeit bei Raumtemperatur nach dem Lösungsglühen und Abschrecken bis zum Beginn des Warmauslagerns. Bestimmte Werkstoffe erfordern diese Vorlagerungszeit bei Raumtemperatur zum Erzielen der optimalen mechanischen Werkstoffeigenschaften.

3.3.4 Aufheizdauer

Die Aufheizdauer ist die Zeit vom Einbringen des Glühgutes bis zum Erreichen der Behandlungstemperatur.

3.3.5 Haltedauer

Die Haltedauer ist die Zeit, während der das Bauteil auf seiner vorgeschriebenen Temperatur gehalten wird, gemessen an der Bauteiloberfläche. Bei Luftumwälzöfen beginnt die Haltedauer im Normalfall mit dem Wiedererreichen der Mindesttemperatur auf den Regel- und allen Registriereinrichtungen. Die Haltezeiten sind legierungs- und bauteilabhängig. Die für das Lösungsglühen erforderliche Haltedauer ist bei Einsatz eines Salzbadens dem Bild 1, Seite 16, und beim Luftumwälzofen dem Bild 2, Seite 17, zu entnehmen.

The stable temper after solution heat treatment, quenching and natural ageing for not less than 96 h at room temperature by the user is designated T42 (for former designation, see table 4, page 9).

Some materials are incapable of achieving this stable final temper T42. This intermediate temper of such materials is not a condition of use and is designated by the letter W (without time limit). The condition of use is only achieved by artificial ageing.

3.3.3.4 Artificial ageing

Temperatures and times applicable to artificial ageing are given in table 8, page 19. Artificial ageing is a thermal treatment after solution heat treatment and quenching (temperature range 100 to 220 °C, depending on the alloy). Artificial ageing increases strength to a maximum, with attendant loss in elongation. At higher temperatures, the strength increase is accomplished more rapidly, while the maximum strength values are lower. It is therefore essential to adhere to the specified temperatures and times. The temper after artificial ageing is designated T6, for example (for former designation, see table 4, page 10).

3.3.3.5 Over-ageing

Over-ageing is an artificial ageing under conditions of holding time and/or temperature greater than those required to attain maximum strength values.

A commonly used temper after over-ageing is, for instance, T73 for material 3.4364.

3.3.3.6 Pre-ageing

The pre-ageing time according to material is given in table 8, page 19. Pre-ageing is the period of room-temperature storage after solution heat treatment and quenching until start of artificial ageing. Some materials require this pre-ageing at room temperature to develop optimum mechanical properties.

3.3.4 Heat-up time

Heat-up time is the elapsed time between insertion of the work load and reaching the treatment temperature.

3.3.5 Holding time

Holding time is the period of holding the part at its prescribed temperature, measured on its surface. The holding time in air-chamber furnaces normally begins with the control and all recording instruments indicating recovery to the minimum temperature. Holding times are contingent on the alloy and part involved. The holding times required for solution heat treatment in salt bath and air-chamber furnace are shown in figure 1, page 16, and figure 2, page 17, respectively.

4 Wärmebehandlungsanlagen

Bei der Wärmebehandlung von Aluminium müssen die Wärmebehandlungstemperaturen sehr genau eingehalten werden, so daß nur Einrichtungen mit geeigneten Wärmeübertragungsmitteln und Temperaturmeß-, Regel- und Registriereinrichtungen zu verwenden sind.

Es sind daher nur Öfen und Bäder zu benutzen, die nach DIN 65 570 **) den im Abschnitt 4.2 geforderten Güteklassen entsprechen.

Bei Verwendung von Salzbadern ist die Unfallverhütungsvorschrift VBG 57a "Wärmebehandlung von Aluminium oder Aluminiumknetlegierungen in Salpeterbädern" zu berücksichtigen.

4.1 Wärmeübertragungsmittel

Die Wärmeübertragungsmittel müssen neutral sein. Es darf keine Reaktion mit dem Werkstoff stattfinden. Wird ein Lösungsglühn im Luftumwälzofen durchgeführt, so ist darauf zu achten, daß alle Teile und alle Stellen des Wärmebehandlungsgutes gleichmäßig von der erhitzten Luft umspült werden. Zur Vermeidung von Bläschenbildung hat es sich als zweckmäßig erwiesen, der Ofenatmosphäre Ammoniumbifluorid zuzugeben (NH_4HF_2). Dieses Salz wird besonders bei Preßprofilen in einer Menge von 0,2 bis 0,5 g/m³ dem Ofenraum zugegeben.

4.2 Einrichtungen zum Messen, Regeln und Registrieren der Temperatur

Die Wärmebehandlungsanlagen müssen das Einhalten folgender Güteklassen ermöglichen:

- a) Für das Lösungsglühn ist die Güteklasse C nach DIN 65 570 **) erforderlich.
- b) Für das Warmauslagern ist mindestens die Güteklasse B nach DIN 65 570 **) erforderlich.
- c) Für die Abschreckenanlagen mit Temperaturen über 50 °C ist die Güteklasse B nach DIN 65 570 **) ausreichend.
- d) Für das Erholungs- und Weichglühn ist die Güteklasse A nach DIN 65 570 **) ausreichend, da durch diese Verfahren der Endzustand nicht beeinflusst wird.

4.3 Abschreckanlage

Das Abschreckbad muß sich in unmittelbarer Nähe der Wärmebehandlungsanlage befinden, um die Abschreckverzögerung möglichst gering halten zu können. Als Abschreckmittel wird allgemein Wasser verwendet, um ein schnelles Abschrecken zu erreichen. Zusätze zur Verringerung der Eigenspannungen sind zulässig. Es dürfen keine negativen Auswirkungen auf Festigkeitswerte und Korrosionseigenschaften auftreten.

Der Behälter soll mit einem Zu- und Abfluß sowie einem Überlauf ausgerüstet sein; seine Größe richtet sich nach der Größe und Menge des zu erwartenden Glühgutes. Das Abschrecken auf Wassertemperatur soll in möglichst kurzer Zeit durchgeführt werden, wobei die max. Wassertemperatur nach Tabelle 7, Seite 14, nicht überschritten werden darf. In bestimmten Fällen ist eine Heizung mit entsprechenden Einrichtungen zum Messen und Regeln der Temperatur notwendig.

**) Z. Z. Entwurf

4 Heat-treating facilities

Heat treatment of aluminium requires strict adherence to heat-treatment temperatures such that only equipment with suitable heating media and temperature-measuring, control and recording devices may be used.

Therefore, only furnaces and baths shall be used which comply with the quality grades called for under clause 4.2 in accordance with DIN 65 570 **).

When employing salt baths, due consideration shall be given to the Accident Prevention Regulation VBG 57a "Heat treatment of wrought aluminium and aluminium alloys in nitric baths".

4.1 Heating media

The heating media shall be neutral. There shall be no reaction with the material. When performing solution heat treatment in the air-chamber furnace, care shall be taken to ensure uniform circulation of heated air about all parts and portions of the work load. To avoid bubbling, the addition of ammonium bifluoride (NH_4HF_2) to the furnace atmosphere has proved to be adequate. This salt is added to the furnace working zone especially for extruded sections in a quantity of 0,2 to 0,5 g/m³.

4.2 Temperature-measuring, control and recording equipment

Heat-treating facilities shall allow to comply with the following quality grades:

- a) Quality grade C in accordance with DIN 65 570 **) is required for solution heat treatment.
- b) Quality grade B to DIN 65 570 **), as a minimum, is required for artificial ageing.
- c) Quality grade B to DIN 65 570 **) is sufficient for quenching equipment with temperatures exceeding 50 °C.
- d) Quality grade A to DIN 65 570 **) is sufficient for full and partial annealing as not affecting the final condition.

4.3 Quenching equipment

The quench bath shall be located in close proximity to the heat-treating facility to minimize delay in quenching. The quenching medium generally used is water to permit rapid quenching. Additions intended to reduce internal stresses are permissible. There shall be no adverse effects on the strength values and corrosion properties.

The tank shall be equipped with inlet, outlet and overflow provisions; it shall be of adequate size consistent with the dimensions and quantity of the expected work load. Quenching to water temperature shall be accomplished as rapidly as possible, without exceeding the maximum water temperature specified in table 7, page 15. In specific cases, means for heating shall be provided with adequate temperature-measuring and control devices.

**) At present at the stage of draft

Das Abschrecken mit dem Hochdrucksprühverfahren ist bei Blechteilen möglich. Es muß sichergestellt sein, daß mit einer ausreichenden Wassermenge das Abschrecken schnell und wirksam durchgeführt werden kann, damit die vorgeschriebenen Festigkeitseigenschaften erreicht werden.

5 Durchführung der Wärmebehandlung

Die nachfolgenden Bedingungen sind einzuhalten, um eine gleichmäßige Erwärmung des Wärmebehandlungsgutes in kürzester Zeit, besonders bei plattierten Werkstoffen, zu erreichen.

Vor dem Einfahren des Wärmebehandlungsgutes muß die Temperaturgleichmäßigkeit der Wärmebehandlungsanlage durch die Temperatur-Meßeinrichtung angezeigt sein.

Die Wärmebehandlungsanlage darf nur mit Teilen aus dem Werkstoff beschickt werden, für den die Temperatur eingestellt ist. Je Lösungsglühcharge sollen nur gleichartige Werkstoffe von annähernd gleicher Dicke genommen werden, da die Haltedauer sich nach dem dicksten Werkstück richtet.

Die Wärmebehandlungsanlage darf nur mit trockenen Teilen, die von Schmutz oder Fett gereinigt wurden, beschickt werden. Die Teile sind an dem Chargiergestell so zu befestigen, daß ein gegenseitiges Abschirmen derselben im Luftstrom nicht möglich ist. Ein Stapeln der Teile aufeinander ohne Zwischenräume ist zu vermeiden. Die Ofenanlage darf je Charge nur mit dem zulässigen Beschickungsvolumen belastet werden. Die Teile sind in die auf die vorgeschriebene Temperatur vorgeheizte Wärmebehandlungsanlage einzubringen. Die Haltedauer in Salzbadern beginnt mit dem Zeitpunkt, zu dem die Teile in das Bad eingetaucht werden, außer, wenn bei schweren oder großen Teilen die Temperatur des Salzbad unter die in Tabelle 5 bis Tabelle 8 angegebene Mindesttemperatur sinkt. In diesem Fall beginnt die Wärmebehandlungsdauer mit dem Wiedererreichen der Mindesttemperatur des Salzbad.

Bei Verwendung von Luftumwälzöfen ist die Aufheizdauer beim Lösungsglühen von plattierten Blechen wegen der Gefahr der Cu-Diffusion begrenzt.

Bei plattierten Blechen darf die Aufheizdauer beim Lösungsglühen folgende Zeiten nicht überschreiten:

Tabelle 1. Dickenabhängige max. Aufheizdauer

Dicke (Thickness) mm	Aufheizdauer (Heat-up time) min
bis (up to) 2,5	30
über (over) 2,5	60

Nach Beendigung des Lösungsglühens sind die Einzelteile oder das Chargiergestell möglichst rasch in das Abschreckbecken zu tauchen. Dabei darf die zulässige Abschreckverzögerung nicht überschritten werden.

High-pressure spray quenching is permitted on sheet products. Care shall be exercised to ensure rapid and efficient quenching with water in sufficient quantity to produce the specified strength properties.

5 Heat-treating procedure

The following conditions shall apply in order to achieve uniform heating of the work load in the shortest possible time, in particular for clad materials.

Prior to insertion of the load, the temperature uniformity of the heat-treating facility shall be indicated by the temperature-measuring equipment.

The heat-treating facility shall be charged only with parts made of such material for which the temperature has been set. For each solution heat-treatment charge, only similar materials of approximately the same thickness shall be taken, since the holding time is determined by the thickest workpiece.

The heat-treating facility shall be charged only with dry parts which have been cleaned to remove contaminants or lubricants. The parts shall be fitted to the charging rack in such a manner as to avoid screening one another in the circulating air. Stacking of parts without spacing shall be avoided. The furnace charge shall not exceed the permissible load volume. The parts shall be inserted in the heat-treating facility preheated to the specified temperature. The holding period in the salt bath shall be measured from the time of immersion, except when, owing to heavy or large parts, the temperature of the salt bath drops below the minimum specified in tables 5 to 8. In such cases, the heat-treatment period shall be measured from the time the salt bath returns to the specified minimum temperature.

In the case of air-chamber furnaces, the heat-up time for solution heat treatment of clad sheet is limited because of the risk of copper diffusion.

For clad sheet, the heat-up time for solution heat treatment shall not exceed the following times:

Table 1. Maximum heat-up time according to thickness

Upon completion of solution heat treatment, the individual parts or the charging rack shall be transferred to the quench bath as rapidly as possible, without exceeding the permissible quench delay time.

Tabelle 2. Dickenabhängige max. Abschreckverzögerung

Dicke (Thickness) mm	Max- Abschreck- verzögerung ¹⁾ (Maximum quench delay ¹⁾) s
bis (up to) 0,5	7
über (over) 0,5 bis (to) 1,6	10
über (over) 1,6	15
¹⁾ In Sonderfällen ist eine Verlängerung der Abschreckverzögerung zwischen Hersteller und Besteller zu vereinbaren und gegebenenfalls durch Versuche die Eignung nachzuweisen.	

Table 2. Maximum quench delay according to thickness

Es ist darauf zu achten, daß die Teile nach dem Abschrecken nicht mit Salzrückständen behaftet sind.

Care shall be taken to ensure that the parts after quenching are free from salt residues.

Das Abschrecken in warmem Wasser ist bei einigen Legierungen und/oder Halbzeug-Abmessungen erforderlich und muß in dem vorgeschriebenen Temperaturbereich durchgeführt werden.

Hot-water quenching is required for particular alloys and/or sizes of semi-finished products to be carried out in the prescribed temperature range.

Eine Wiederholung des Lösungsglühens ist möglich. Für plattierte Bleche ist die Anzahl der Lösungsglüh- und Abschreckvorgänge wegen der damit verbundenen Kupferdiffusion gemäß folgender Tabelle begrenzt:

Re-solution heat treatment is possible. In the case of clad sheet, the number of re-solution heat treating and quenching operations is limited as shown in the following table, because of the copper diffusion involved:

Tabelle 3. Wiederholung des Lösungsglühens

Dicke (Thickness) mm	Anzahl der Wiederholungen (Number of re-solution heat treatments)
bis unter (under) 0,5	0
0,5 bis (to) 3,2	1
über (over) 3,2	2

Table 3. Re-solution heat treatment

Bei Stufenwarmauslagerungen ist die Aufheizgeschwindigkeit beim Übergang von einer Temperatur zur anderen zu beachten. Bei geringen Aufheizgeschwindigkeiten ist die Zeit der 2. Stufe zu kürzen.

In step ageing, attention shall be given to the heat-up rate when passing from one temperature to another. Low heat-up rates require reduction in time of the second stage.