

Luft- und Raumfahrt  
**Wärmebehandlung**  
von Titan und Titan-Knetlegierungen

**DIN**  
**65 084**

Aerospace; heat treatment of wrought titanium and titanium alloys

Aéronautique et espace; traitement thermique du titane et des alliages de titane corroyés

Ersatz für  
(Supersedes)

LN 65 084 T 1/04.77

LN 65 084 T 2/04.77

LN 65 084 T 3/04.77

LN 65 084 T 4/04.77

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 .....                                       | 3 | 3       | Definitions .....                                          | 3 |
| 3.1     | Lieferzustand .....                                  | 3 | 3.1     | As-received condition .....                                | 3 |
| 3.2     | Kaltverfestigung .....                               | 3 | 3.2     | Strain hardening .....                                     | 3 |
| 3.3     | Wärmebehandlung .....                                | 3 | 3.3     | Heat treatment .....                                       | 3 |
| 3.3.1   | Haltezeit .....                                      | 3 | 3.3.1   | Holding time .....                                         | 3 |
| 3.3.2   | Luftabkühlung .....                                  | 3 | 3.3.2   | Air cooling .....                                          | 3 |
| 3.3.3   | Ofenabkühlung .....                                  | 3 | 3.3.3   | Furnace cooling .....                                      | 3 |
| 3.3.4   | Glühen .....                                         | 4 | 3.3.4   | Annealing .....                                            | 4 |
| 3.3.5   | Kriechrichten .....                                  | 4 | 3.3.5   | Creep straightening .....                                  | 4 |
| 3.3.6   | Spannungsarmglühen .....                             | 4 | 3.3.6   | Stress relieving .....                                     | 4 |
| 3.3.7   | Homogenisierungsglühen .....                         | 4 | 3.3.7   | Homogenizing .....                                         | 4 |
| 3.3.8   | Aushärten .....                                      | 4 | 3.3.8   | Precipitation heat treatment .....                         | 4 |
| 3.3.8.1 | Lösungsglühen .....                                  | 4 | 3.3.8.1 | Solution heat treatment .....                              | 4 |
| 3.3.8.2 | Abschreckverzögerung .....                           | 4 | 3.3.8.2 | Quench delay .....                                         | 4 |
| 3.3.8.3 | Abschrecken .....                                    | 5 | 3.3.8.3 | Quenching .....                                            | 5 |
| 3.3.8.4 | Auslagern .....                                      | 5 | 3.3.8.4 | Ageing .....                                               | 5 |
| 4       | Wärmebehandlungsanlagen .....                        | 5 | 4       | Heat-treating facilities .....                             | 5 |
| 4.1     | Allgemeine Anforderungen .....                       | 5 | 4.1     | General requirements .....                                 | 5 |
| 4.2     | Elektrisch- und gasbeheizte Luftöfen ..              | 5 | 4.2     | Air furnaces, electrically heated<br>and gas-fired .....   | 5 |
| 4.3     | Schutzgas- und Vakuumöfen .....                      | 5 | 4.3     | Protective atmosphere and vacuum<br>furnaces .....         | 5 |
| 4.4     | Andere Wärmebehandlungsanlagen .....                 | 6 | 4.4     | Other heat-treating facilities .....                       | 6 |
| 4.5     | Abschreckenanlagen .....                             | 6 | 4.5     | Quenching equipment .....                                  | 6 |
| 5       | Durchführung der Wärmebehandlung .....               | 6 | 5       | Heat-treating procedure .....                              | 6 |
| 5.1     | Allgemeine Bedingungen .....                         | 6 | 5.1     | General conditions .....                                   | 6 |
| 5.2     | Durchführung des Glühens .....                       | 7 | 5.2     | Annealing procedure .....                                  | 7 |
| 5.3     | Durchführung des Spannungsarmglühens ..              | 7 | 5.3     | Stress relieving procedure .....                           | 7 |
| 5.4     | Durchführung des Homogenisierungs-<br>glühens .....  | 7 | 5.4     | Homogenizing procedure .....                               | 7 |
| 5.5     | Durchführung des Aushärtens .....                    | 7 | 5.5     | Precipitation treatment procedure .....                    | 7 |
| 6       | Oberflächen .....                                    | 8 | 6       | Surfaces .....                                             | 8 |
| 6.1     | Oberflächenreaktion bei der<br>Wärmebehandlung ..... | 8 | 6.1     | Surface reaction resulting from<br>thermal treatment ..... | 8 |
| 6.2     | Beeinflussung der Oberflächenschichten               | 8 | 6.2     | Control of surface layers .....                            | 8 |
| 6.3     | Entfernung der Oberflächenschichten ...              | 8 | 6.3     | Removal of surface layers .....                            | 8 |

Fortsetzung Seite 2 bis 12  
(Continued on pages 2 to 12)

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

645 20 Documents

|                                                                                       | Seite |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Tabelle 1. Glühen von Titan und Titan-Knetlegierungen .....                           | 9     |
| Tabelle 2. Spannungsarmglühen von Titan und Titan-Knetlegierungen im Zustand .1 ..... | 10    |
| Tabelle 3. Lösungsglühen und Auslagern von Titan-Knetlegierungen .....                | 11    |
| Zitierte Normen und andere Unterlagen .....                                           | 12    |
| Änderungen .....                                                                      | 12    |

## 1 Anwendungsbereich und Zweck

Diese Norm beschreibt die Wärmebehandlung von Titan und Titan-Knetlegierungen nach dem Werkstoff-Handbuch der Deutschen Luftfahrt, Teil I, 2. Band. Sie gibt u. a. 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. Sind Wärmebehandlungsdaten im betreffenden Werkstoff-Leistungsblatt vorgegeben, so sind diese verbindlich. In besonderen Fällen können hiervon abweichende Wärmebehandlungsbedingungen erforderlich sein.

Mehrfache Wärmebehandlungen und Formungsvorgänge können die Werkstoffeigenschaften ändern.

## 2 Allgemeines

Die Wärmebehandlungen für die einzelnen Titanwerkstoffe unterscheiden sich in der Temperatur und Zeit. Während die Temperaturspanne beim Glühen und Spannungsarmglühen verhältnismäßig groß ist, müssen zum Erzielen der geforderten Eigenschaften durch Lösungsglühen, Auslagern bzw. Homogenisierungsglühen engere Temperaturbereiche eingehalten werden. Bezüglich der Temperaturgenauigkeit, Überwachung und Registriereinrichtung der Wärmebehandlungsanlagen sind die Forderungen von DIN 65 570 \*) zu erfüllen.

Bei der Wärmebehandlung sind nachstehende Besonderheiten zu beachten:

- Infolge geringerer Wärmeleitfähigkeit längere Aufheizzeiten und begrenzte Durchhärbarkeit bzw. maximal erreichbare Aushärtungsdicke im Vergleich mit anderen metallischen Werkstoffen.
- Vermeiden von Rückständen durch Halogene, insbesondere Chlor, zur Verhinderung von Spannungsrißkorrosion.
- Sauerstoff, Stickstoff und Kohlenstoff führen zu spröden Oberflächenschichten. Titan reagiert bei erhöhter Temperatur besonders schnell mit Sauerstoff, dabei bildet sich sowohl eine oberflächliche Zunderschicht als auch eine Diffusionszone (siehe Bild 1, Seite 8).

\*) Z. Z. Entwurf

|                                                                                          | Page |
|------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Table 1. Annealing of wrought titanium and titanium alloys .....                         | 9    |
| Table 2. Stress relieving of wrought titanium and titanium alloys in the .1 temper ..... | 10   |
| Table 3. Solution heat treatment and ageing of wrought titanium alloys .....             | 11   |
| Quoted standards and further documents .....                                             | 12   |
| Revision .....                                                                           | 12   |

## 1 Field of application and scope

This Standard covers the heat treatment of wrought titanium and titanium alloys included in the German Aviation Materials Manual, Part I, Volume 2. Among other details, 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. Any heat-treatment data if specified in the relevant material data sheet shall take precedence. In specific cases, differing heat-treatment conditions may be required.

Multiple heat-treating and forming operations may alter the material properties.

## 2 General

Heat treatment of the different titanium materials varies with respect to temperature and time. While the temperature range applicable to annealing and stress relieving is relatively large, tighter temperature ranges are required to develop the required properties by solution heat treatment, ageing or homogenizing. The requirements specified in DIN 65 570 \*) with respect to temperature accuracy, control and recording equipment of heat-treating facilities shall be adhered to.

Attention shall be given to the following heat-treatment particulars:

- As compared to other metallic materials, prolonged heat-up times and limited through-hardability or maximum depth of hardening attained because of lower thermal conductivity.
- In order to prevent stress-corrosion cracking, halogen-contained residues, particularly chlorine, shall be avoided.
- Oxygen, nitrogen and carbon produce brittle surface layers. Titanium readily reacts with oxygen at elevated temperatures, thus causing formation of both surface scaling and diffusion zones (see figure 1, page 8).

\*) At present at the stage of draft

- Wasserstoff diffundiert leicht im Titan und führt schon in geringen Mengen zur Versprödung, die sich im Gegensatz zu Sauerstoff nicht nur auf die Oberfläche, sondern auf das gesamte Bauteil erstrecken kann.
- Wasserstoff kann im Gegensatz zu anderen Verunreinigungen durch Glühen im Vakuum unter geeigneten Bedingungen wieder weitgehend entfernt werden.
- Wegen der Gefahr chemischer Reaktionen zwischen Titan und Eisenoxid müssen bei höheren Wärmebehandlungstemperaturen (vorwiegend beim Lösungs-glühen) die Vorrichtungen und die Teile aus Stahl, die mit Titan in Berührung kommen, weitgehend zunderfrei sein.
- Titan bildet mit bestimmten Metallen (z. B. Nickel und Kupfer) niedrigschmelzende Phasen, die bei üblichen Wärmebehandlungstemperaturen zu lokalen Aufschmelzungen führen. Der Kontakt mit diesen Metallen (z. B. bei Chargiergestellen) ist zu vermeiden.
- Hydrogen easily diffuses into titanium; even a low hydrogen content causes embrittlement which, contrary to that induced by oxygen, may not only affect the surface but also the part as a whole.
- Contrary to other contaminants, hydrogen may be largely removed by vacuum-annealing under adequate conditions.
- As titanium is liable to chemical reaction with iron oxide, steel facilities and parts in contact with titanium shall be largely free from scale at elevated heat-treatment temperatures (mainly in solution heat treatment).
- Titanium in the presence of certain metals (such as nickel and copper) develops low-melting point phases which produce local fusions at usual heat-treatment temperatures. Any contact with those metals (e.g. charging racks) shall be avoided.

### 3 Begriffe

#### 3.1 Lieferzustand

Der Lieferzustand ist der Werkstoffzustand, in dem das Halbzeug oder die Teile an den Besteller/Weiterverarbeiter geliefert werden. Die Werkstoff-Kennzahl gibt den Werkstoff und seinen Wärmebehandlungszustand an.

#### 3.2 Kaltverfestigung

Die Kaltverfestigung ist eine aus Umformungsvorgängen unterhalb der Rekristallisationstemperatur entstandene Erhöhung der Festigkeit des Werkstoffes.

#### 3.3 Wärmebehandlung

Die Wärmebehandlung ist ein Verfahren, bei dem das Halbzeug oder Bauteil zur Erzielung bestimmter Eigenschaften einer thermischen Behandlung unterzogen wird. Das Verfahren muß stets am ganzen Halbzeug oder Bauteil durchgeführt werden; eine teilweise Wärmebehandlung ist nicht zulässig.

##### 3.3.1 Haltedauer

Die Haltedauer ist die Zeitspanne des Haltens auf einer bestimmten Temperatur, beginnend mit dem Erreichen dieser Temperatur an der Oberfläche des Werkstücks bzw. mit dem Wiedererreichen der Mindesttemperatur auf den Regel- und Registriereinrichtungen. In den Angaben der Tabellen 1 bis 3, Seite 9 bis 11, sind die Durchwärmzeiten berücksichtigt.

##### 3.3.2 Luftabkühlung

Die Luftabkühlung ist die Abkühlung außerhalb des Ofens an ruhender Luft.

##### 3.3.3 Ofenabkühlung

Die Ofenabkühlung ist eine kontrollierte Abkühlung mit einer Abkühlgeschwindigkeit von maximal 150 °C je Stunde.

### 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 of the material resulting from working operations below the recrystallization temperature.

#### 3.3 Heat treatment

Heat treatment is a process in which the semi-finished product or part is subjected to a thermal treatment in order to confer certain properties. The process shall always be conducted on the whole of a semi-finished product or part, never on a portion only.

##### 3.3.1 Holding time

Holding time is the period of holding at a prescribed temperature, beginning with the surface of the workpiece reaching this temperature or with the control and recording instruments indicating recovery to the minimum temperature. The data given in tables 1 to 3, pages 9 to 11, include the soaking times required.

##### 3.3.2 Air cooling

Cooling outside the furnace in still air.

##### 3.3.3 Furnace cooling

A controlled cooling inside the furnace at a rate of 150 °C max. per hour.

### 3.3.4 Glühen

Glühen ist eine Wärmebehandlung, bestehend aus Erwärmen auf eine bestimmte Temperatur, Halten und Abkühlen, um entweder eine durch Umformung oder Aushärtung verursachte Verfestigung des Werkstoffes rückgängig zu machen oder einen stabilen Werkstoffzustand einzustellen.

Es wird im Regelfall oberhalb der Rekristallisationstemperatur durchgeführt. Das Glühen führt immer zum Zustand .1.

### 3.3.5 Kriechrichten

Kriechrichten ist ein Glühen unter einer geeigneten Belastung zur Verbesserung der Planheit bzw. Geradheit.

### 3.3.6 Spannungsarmglühen

Das Spannungsarmglühen ist ein Glühen zum Abbau von Eigenspannungen ohne wesentliche Änderungen des Gefüges. Es wird im Regelfall unterhalb der Rekristallisationstemperatur durchgeführt. Dabei muß der im betreffenden Werkstoff-Leistungsblatt definierte Werkstoffzustand erhalten bleiben.

Das Spannungsarmglühen kann erforderlich sein, z. B. nach

- a) Schweißen
- b) Umformen bei Temperaturen kleiner 650 °C, auch bei örtlich begrenzten Umformungen
- c) spanender Bearbeitung, insbesondere nach dem Schleifen
- d) Richten.

### 3.3.7 Homogenisierungsglühen

Das Homogenisierungsglühen ist bei Titan-Legierungen ein Halten unterhalb der betreffenden  $\alpha + \beta$  /  $\beta$ -Umwandlungstemperatur (Beta-Transus) mit anschließendem Abkühlen unter geeigneten Bedingungen.

Es dient zur Einstellung eines bestimmten Gefügezustandes.

### 3.3.8 Aushärten

Das Aushärten besteht aus dem Lösungsglühen mit abschließendem Abschrecken/Abkühlen auf Raumtemperatur und nachfolgendem Auslagern. Lösungsglühen und Abschrecken/Abkühlen führen zum Zustand .4. Anschließendes Auslagern bewirkt eine Festigkeitssteigerung und führt zum Zustand .7.

#### 3.3.8.1 Lösungsglühen

Das Lösungsglühen bewirkt die Anreicherung des für die Aushärtung maßgebenden Mischkristalls mit den dafür wirksamen Legierungskomponenten. Durch das Abschrecken unmittelbar nach dem Lösungsglühen entstehen übersättigte Mischkristalle, die Voraussetzung für eine Festigkeitssteigerung beim Auslagern sind.

#### 3.3.8.2 Abschreckverzögerung

Die Abschreckverzögerung ist die Zeitspanne zwischen dem Lösungsglühen und dem vollständigen Eintauchen des Wärmebehandlungsgutes in das Abschreckmedium.

### 3.3.4 Annealing

A thermal treatment consisting of heating to and holding at a prescribed temperature followed by cooling for the purpose of eliminating a strength increase of the material produced by working or precipitation hardening or developing a stable temper.

In general, this treatment is carried out at a temperature above that of recrystallization. Annealing always results in the .1 temper.

### 3.3.5 Creep straightening

Annealing combined with the application of a suitable load for the purpose of improving flatness or straightness.

### 3.3.6 Stress relieving

Annealing intended to reduce residual stresses without substantial change in structure. In general it is performed at a temperature below that of recrystallization. The temper specified in the relevant material data sheet shall be maintained.

Stress relieving may be required, for example, subsequent to:

- a) welding
- b) shaping at temperatures below 650 °C, also for locally limited shaping operations,
- c) machining, especially after grinding,
- d) straightening.

### 3.3.7 Homogenizing

In the case of titanium alloys, homogenizing means holding below the relevant  $\alpha + \beta$  /  $\beta$  transformation temperature (beta transus) followed by cooling under adequate conditions.

It is intended to produce a specific structure.

### 3.3.8 Precipitation treatment

A treatment comprising solution heat-treatment followed by quenching/cooling to room temperature and subsequent ageing. Solution heat-treatment plus quenching/cooling produces the .4 temper. Subsequent ageing causes an increase in strength and produces the .7 temper.

#### 3.3.8.1 Solution heat treatment

Treatment allowing those alloying constituents with hardening effect to enter into solid solution. Rapid quenching immediately after solution heat treatment produces super-saturated solid solutions that are required for an increase in strength when ageing.

#### 3.3.8.2 Quench delay

Quench delay is the elapsed time between solution heat treatment and total immersion of the load in the quenchant.