

Ersatz für Ausgabe Mai 2003

Inhalt:

- 1 Allgemeines
- 2 Geltungsbereich
- 3 Titanwerkstoffe
 - 3.1 Einleitung
 - 3.2 Metallkundliche Grundlagen
 - 3.3 Schweißtechnisches Verhalten
 - 3.4 Werkstoffe und Erzeugnisformen
- 4 Betriebliche Voraussetzungen für die schweißtechnische Verarbeitung von Ti-Werkstoffen
- 5 Schweißbeignung
 - 5.1 Pressschweißen
 - 5.2 Schmelzschweißen
- 6 Anforderungen an Schweißanlagen, Vorrichtungen und Schutzgasanlagen
 - 6.1 Widerstandspressschweißmaschinen
 - 6.2 Elektronenstrahlschweißmaschinen
 - 6.3 Wolfram-Inertgasschweißanlagen, Wolfram-Plasmaschweißanlagen
 - 6.4 Anforderungen an Schweißvorrichtungen
 - 6.5 Hilfsmittel
 - 6.6 Schutzgasabschirmungen
- 7 Naht- und Oberflächenvorbereitung
- 8 Durchführen von Schweißarbeiten
 - 8.1 Wolfram-Inertgasschweißen
 - 8.2 Wolfram-Plasmaschweißen
 - 8.3 Elektronenstrahlschweißen
 - 8.4 Laserstrahlschweißen
 - 8.5 Widerstandspressschweißen
 - 8.6 Reibschweißen
 - 8.7 Diffusionsschweißen
 - 8.8 Instandsetzungsschweißen
- 9 Prüfen und Bewerten von Schweißverbindungen
 - 9.1 Prüfen von Schweißverbindungen
 - 9.2 Bewerten von Schweißverbindungen
 - 9.3 Anlauffarben
- 10 Wärmebehandlung von Titanwerkstoffen
- 11 Regeln der Technik
- 12 Schrifttum

1. Allgemeines

Das Merkblatt ist in Zusammenarbeit mit Herstellern von Titanwerkstoffen, mit Schweißbetrieben sowie einschlägigen Abnahmeorganisationen entstanden.

Es enthält neben Empfehlungen zum sachgerechten Schweißen von Titanwerkstoffen die für die Anwendungsbereiche der Schweißtechnik gelten, vor allem schweißtechnische Verarbeitungshinweise, die den metallurgischen Besonderheiten von Titanwerkstoffen Rechnung tragen.

2. Geltungsbereich

Dieses Merkblatt enthält praxisnahe Hinweise zum Schmelz- und Pressschweißen von Titanwerkstoffen bei der Neufertigung und Instandsetzung von Schweißkonstruktionen im Luft- und Raumfahrzeugbau.

Diese Veröffentlichung wurde von einer Gruppe erfahrener Fachleute in ehrenamtlicher Gemeinschaftsarbeit erstellt und wird als eine wichtige Erkenntnisquelle zur Beachtung empfohlen. Der Anwender muss jeweils prüfen, wie weit der Inhalt auf seinen speziellen Fall anwendbar und ob die ihm vorliegende Fassung noch gültig ist. Die Haftung des DVS und derjenigen, die an der Ausarbeitung beteiligt waren, ist ausgeschlossen.

Titanwerkstoffe zeichnen sich durch besondere Eigenschaften und Vorzüge aus, die zu berücksichtigen sind, um ihre werkstoffgerechte Verarbeitung sicherzustellen. Beispielsweise sind die geeignete Auswahl des Schweißprozesses, der Geräte und Einrichtungen zum optimalen Schweißen von Titanwerkstoffen zu beachten.

Hierauf wird im Einzelnen eingegangen, insbesondere auf das Vorbereiten und Durchführen von Schweißarbeiten sowie das Prüfen und Bewerten von Schweißverbindungen.

3. Titanwerkstoffe**3.1. Einleitung**

Titanwerkstoffe werden im Luft- und Raumfahrzeugbau sowie im Chemie-Apparatebau eingesetzt. Es werden unlegierte und legierte Sorten verwendet, die durch folgende besondere Eigenschaften gekennzeichnet sind:

- geringe Dichte von etwa 4,5 g/cm³
- hohe thermische Beanspruchbarkeit
- sehr gute Beständigkeit gegen die meisten Korrosionsarten
- magnetisches Verhalten

3.2. Metallkundliche Grundlagen

Reines Titan kristallisiert in zwei Modifikationen. Beim Abkühlen aus der Schmelze erstarrt es bei 1668 °C in der kubisch-raumzentrierten (krz) Modifikation, der β -Phase, die sich mit sinkender Temperatur bei 882 °C in die α -Phase mit hexagonaler Struktur von nahezu dichtester Packung (hdP) umwandelt. Die α -Phase ist bei Raumtemperatur beständig.

Legierungszusätze wie Sauerstoff, Stickstoff, Kohlenstoff oder Aluminium verlagern die Umwandlung zu höheren Temperaturen und werden als „ α -stabilisierende Elemente“ bezeichnet.

Legierungszusätze wie Vanadium, Molybdän, Eisen, Nickel, Palladium und Silizium verlagern die Umwandlung zu niedrigeren Temperaturen und werden als „ β -stabilisierende Elemente“ bezeichnet.

Mit zunehmendem Legierungsgehalt, insbesondere von β -stabilisierenden Elementen, verläuft die $\alpha \rightarrow \beta$ -Umwandlung träger und der Gleichgewichtszustand wird nur noch nach langen Glühzeiten erreicht. Aus diesem Grunde lässt sich die β -Phase durch rasches Abkühlen auf niedrige Temperaturen vielfach unterkühlen.

Entsprechend den bei Raumtemperatur im Gefüge vorliegenden Phasen wird deshalb zwischen α -, $\alpha\beta$ - und β -Legierungen unterschieden.

3.3. Schweißtechnisches Verhalten

Im Bild 1 sind einige für das schweißtechnische Verhalten wichtige physikalische Eigenschaften von Reintitan, einer Titanlegierung und Chrom-Nickel-Stahl (Austenit) gegenübergestellt.

Anmerkung: Bei den Werkstoffen 1.4544 (X10CrNiTi 18-9) und 1.4546 (X5CrNiNb 18-10) handelt es sich um spezielle Luftfahrtwerkstoffe; als ein zu diesen ähnlicher Werkstoff kann der 1.4541

(X6 CrNiTi18-10) angesehen werden.

Der Schmelzpunkt von Titan liegt um ca. 210 °C über dem des Chrom-Nickel-Stahls. Die Wärmeleitfähigkeit von TiAl6V4 ist in etwa nur halb so groß wie die des Chrom-Nickel-Stahls, während Reintitan eine höhere Wärmeleitfähigkeit hat. Bei etwa gleicher spezifischer Schmelzwärme können Titanwerkstoffe und Chrom-Nickel-Stähle mit gleicher Wärmeerbringung geschweißt werden. Titanwerkstoffe neigen zu größerem Kornwachstum.

Bei der Wahl der Fugenform und der Schweißposition ist die im Vergleich zu Chrom-Nickel-Stählen geringere Viskosität der Schmelze von Titan zu berücksichtigen. Der niedrigere Wärmeausdehnungskoeffizient von Titanwerkstoffen im Vergleich zu Chrom-Nickel-Stählen führt zu geringerem Verzug.

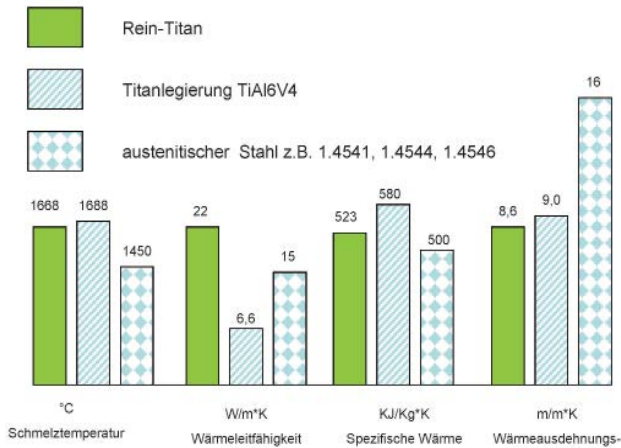


Bild 1. Beispiel für das schweißtechnische Verhalten wichtiger physikalischer Werte von Reintitan, einer Titanlegierung und einem austenitischen Stahl.

Titan hat eine sehr hohe Affinität zu den atmosphärischen Gasen Sauerstoff, Stickstoff und Wasserstoff.

Besonders im schmelzflüssigen Zustand nimmt Titan diese Gase auf, wodurch die Zähigkeitseigenschaften im festen Zustand bei Raumtemperatur, Bild 2, bis zur vollständigen Versprödung vermindert und die Festigkeit erhöht werden können. Während des Abkühlens (zum Beispiel aus der Schweißwärme) reagiert Titan selbst in festem Zustand an seiner Oberfläche mit Sauerstoff und führt noch bei etwa 300 °C zu den bekannten Anlaufarben. Die Gefährdung liegt neben der Veränderung der Oberfläche insbesondere in der Diffusion der Gase in den Werkstoff.

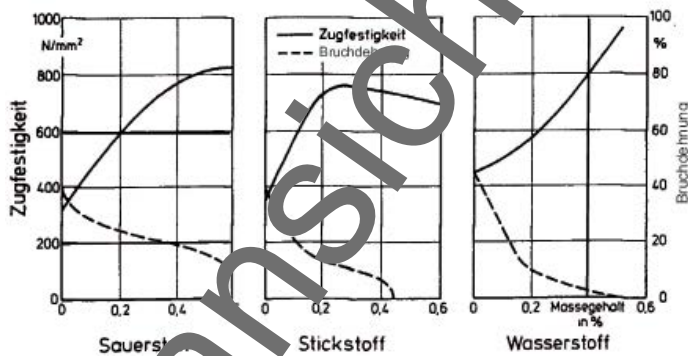


Bild 2. Einfluss des Masseanteiles von atmosphärischen Gasen auf die Festigkeitseigenschaften von Titanwerkstoff [nach K. Bungardt und K. Rüdinger: „Zur Metallkunde 47 (1956) H. 8, S. 585/93“]

Daraus ergibt sich für das Titanschweißen die Forderung, durch geeignete zusätzliche Maßnahmen den Zutritt von Luft an die

Schweißstelle und an die erwärmten Werkstoffbereiche besonders sorgfältig zu verhindern; siehe hierzu Kapitel 6.6.

Die Entstehung von Anlaufarben ist durch geeignete Maßnahmen grundsätzlich zu vermeiden; siehe Kapitel 9.3.

3.4. Werkstoffe und Erzeugnisformen

Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die bevorzugt eingesetzten Titanwerkstoffe sowie Hinweise auf vergleichbare Normenbezeichnungen; darf aber nicht zur „Umschlüsselung“ der einzelnen Werkstoffe herangezogen werden.

Tabelle 2 enthält die üblichen Erzeugnisformen für titanische Titanwerkstoffe.

Vollansicht des Regelwerkes