

Verarbeitung von Titanwerkstoffen, Teil 1

Die Verarbeitung von Titanwerkstoffen unterscheidet sich in einigen Bereichen wesentlich gegenüber der von "normalem" Stahl. Diesen Unterschieden muss Rechnung getragen werden. Zu beachten sind folgende Punkte:

1. spanlose Verformung
2. spanende Bearbeitung
3. Schweißen

zu 1. **Spanlose Verformung**

Reintitan kann gut verformt werden, Titanlegierungen wegen der Sprödigkeit weniger gut, teilweise gar nicht möglich. Weichglühen bei 500...600 °C verbessert die Verformbarkeit. Während der Verformung tritt wie bei Edelstahl eine Kaltverfestigung ein, die Rückfederung ist höher. Schmieden ist bei Temperaturen um ca. 700 °C in Schutzgasatmosphäre möglich.

Zu 2. **Spanende Bearbeitung**

Wie bei Edelstahl kann im Bereich der Werkzeugschneide bei erhöhter Reibung durch zu geringen Vorschub eine Kaltverfestigung auftreten, welche das Einsatzwerkzeug schnell abstumpft. Es muss also bei der Titanbearbeitung auf scharfe Werkzeuge, den richtigen Vorschub und gute Spanbildung geachtet werden. Die Einsatzwerkzeuge sind der höheren Beanspruchung entsprechend auszuwählen. Beim Gewindeschneiden sollten grobe Gewinde bevorzugt werden, da bei feinen Gewinden durch Partikelabbau ("Fressen") an der Werkzeugschneide Ausbruchserscheinungen auftreten.

Zu 3. **Schweißen** (sh. auch Schneiden von Titan u. Titanlegierungen)

Schweißen muss mit Ausnahme der Punktschweißung generell unter Schutzgas erfolgen, da geschmolzenes Titan große Mengen von Sauerstoff und Stickstoff aufnimmt, welche zur Versprödung führen. WIG (TIG), Elektronenstrahl und Laserschweißung, unter besonderen Bedingungen auch MIG, ist möglich. Schweißverbindungen mit anderen Metallen sind wegen Versprödungsgefahr problematisch.

Verarbeitung von Titanwerkstoffen, Teil 2

Hinweise zur spanabhebenden Bearbeitung von Titan

Titan und Titanlegierungen lassen sich ähnlich wie die austenitischen Stähle zerspanen. Die Bearbeitung mittels der verschiedenen Zerspanungsverfahren bereitet dabei keine grundsätzlichen Schwierigkeiten, wenn beachtet wird, dass

- die Werkzeugschneide aufgrund der relativ geringen spezifischen Wärme, Wärmeleitfähigkeit und Dichte des Titans thermisch hoch belastet wird,
- Titan aufgrund seines geringen Elastizitätsmoduls und seinen hohen Zähigkeitseigenschaften dem Druck des Schneidwerkzeuges nachgibt und
- Titan dazu neigt, wegen der Hitzeentwicklung an der Schnittstelle, mit dem Werkzeug zu verschweißen.

Titan muß daher mit geringer Schnittgeschwindigkeit, relativ großem und gleichmäßigem Vorschub unter reichlicher Zuführung von Kühlmittel mit einem möglichst schwingungsfrei eingespannten, scharfen Werkzeug bearbeitet werden. Darüber hinaus ist zu beachten, daß eventuell harte Oberflächenschichten zu einem erhöhten Werkzeugverschleiß führen und vor der mechanischen Bearbeitung durch z. B. Strahlen und/oder Beizen entfernt werden sollten. Unsere Empfehlungen für die spanabhebende Bearbeitung von Titan und Titanlegierungen entnehmen Sie bitte den nachfolgenden Themenkapiteln.

1. Drehen und Fräsen

Als Drehstähle kommen hochkobalthaltige Schnellarbeitsstähle, Hartmetalle oder Stellite in Frage. Bei den Hartmetallen haben sich die Wolframkarbid-Sorten mit Kobaltbindung am besten bewährt, wobei die Gruppe K20 die höchste Standzeit aufweist, jedoch auch die Gruppe K10 bereits zum Einsatz kommen kann.

Stellite ermöglichen höhere Zerspanungsleistungen als die Schnellarbeitsstähle und führen im Gegensatz zu den Hartmetallen zu einer besseren Spanbildung und zu geringeren Nachbearbeitungszeiten. Der Spanwinkel bei Hartmetallwerkzeugen soll beim Schruppen und Vordrehen zwischen -6° und $+6^\circ$ und beim Fertigdrehen zwischen 0° und 15° liegen. Bei Schnellarbeitsstählen sind Spanwinkel je nach Beanspruchung zwischen 5° und 15° zu wählen. Ein Freiwinkel von ca. 7° ist dabei immer ratsam. Der Neigungswinkel sollte bei Hartmetall - 4° sowie bei Schnellarbeitsstählen zwischen $0 - 5^\circ$ betragen.

Beim Fräsen ist aufgrund der Neigung des Titans, mit dem Werkzeug zu verschweißen, das Gleichlaufräsen dem Gegenlaufräsen vorzuziehen. Dadurch wird der kommaförmige Span an der dünnsten Stelle abgetrennt und Beschädigungen des Fräs- werkzeuges, infolge der sich bildenden Aufbauschneiden und das Kleben der Späne, auf ein Mindestmaß reduziert.

Der Spanwinkel der Fräser sollte bei Schnellarbeitsstählen $0 - 10^\circ$ und bei Hartmetallen und Stellite 0° betragen, bei einem Freiwinkel von 12° .

2. Bohren

Titan sollte bei großem Vorschub mit geringer Schnittgeschwindigkeit auf einer starren, vibrationsfreien Bohrmaschine mit starker Kühlung gebohrt werden. Bei tiefen Bohrungen sind chlorierte Schneidöle zur Reibungsverminderung zu empfehlen. Das Bohren von Hand sollte möglichst vermieden werden.

Schnellarbeitsstähle und Hartmetalle werden als Werkstoffe für Bohrer verwendet. Die Bohrer müssen unbedingt ausgespitzt werden und die Querschneide soll nicht mehr als $1,5 - 2$ mm betragen. Bei Durchgangsbohrungen muß der Spitzenanschliff ca. 140° betragen, um den Durchbruchweg zu verkürzen. Der Freiwinkel sollte zwischen 10 und 15° betragen.

Wenn Stauchspäne auftreten, muß der Spanwinkel durch Einschleifen einer Hohlkehle vergrößert werden, da diese Späne häufig zum Verschweißen des Bohrers mit dem Werkstück führen.

3. Gewindeschneiden

Für die Herstellung von Gewinden ist ein starrer Maschinenaufbau und eine gute Werkzeugbefestigung erforderlich. Gute Schnittbedingungen werden bei Umfangsgeschwindigkeiten von $5 - 15$ m/min (unlegiertes Titan), $3 - 10$ m/min (Titanlegierungen, gegläht) und $1 - 5$ m/min (Titanlegierungen, ausgehärtet) erreicht.

Nach Möglichkeit sollten Gewinde nicht von Hand geschnitten werden, da ein ungleichmäßiger Druck die Standzeit des Werkzeugs vermindert. Außengewinde sind auf der Drehbank zu schneiden, da sich Schneideisen festfressen können und somit zu unsauberen Gewinden führen. Die Gewindetiefe ist allmählich zu vergrößern ($0,25 - 0,5$ mm pro Vorschub).

Beim Gewindebohren macht sich die Neigung zum Schmieren und Fressen des Titans besonders unangenehm bemerkbar. Aus diesem Grund ist der Einsatz eines chemisch aktiven Schmiermittels, wie z.B. schwefelhaltiges Schneidöl oder Mischungen, die Molybdänsulfid oder Graphit enthalten, sehr wichtig. Der Gewindebohrer sollte einen starken Kern und eine verkürzte Schneidlänge besitzen. Zum Schaft hin ist eine starke Gewindeverjüngung sowie ein starker Flankenhinterschliff vorzusehen. Der Spanwinkel sollte 5° betragen.

Falls ein Gewindebohrer während des Schneidvorganges abbricht, kann er durch Anwendung von Salpetersäure herausgelöst werden, da Salpetersäure zwar Stahl, nicht aber Titan löst.

Eine Alternative zur Herstellung von Innengewinden kleiner Durchmesser mittels Gewindebohrer ist das Zikularfräsen. Die bei der Anwendung von Gewindebohrern und dort besonders bei Sackbohrungen auftretenden Probleme, wie die Behinderung des Schneidvorganges durch anfallende Späne, treten bei diesem Verfahren durch die Entfernung der Späne während des Herstellungsvorganges nicht auf. Die weiteren

Vorteile des GewindefräSENS sind kurze Bearbeitungszeiten und die hohe qualitative Fertigungssicherheit.

Gute Ergebnisse mit dem ZirkularfräSEN von Innengewinden M8 mit einer Tiefe von $2 \times \varnothing$ in Bauteile der Titanlegierung TiAl6V4 wurden mit einem TiCN-beschichteten GewindefräSER (Steigung der Wendelnut = 7°) erreicht. Eine Schnittgeschwindigkeit von 100 m/min und ein Vorschub von 670 mm/min haben sich dabei bewährt. Die benötigte Zeit zur Herstellung eines Gewindes mit den o. a. Abmessungen betrug ca. 10 s.

4. Sägen

Titan kann ohne Schwierigkeiten mit den üblichen Bügelsägen gesägt werden. Ein starker Anpreßdruck bei reichlicher Kühlmittelzufuhr ist zu empfehlen. Es werden zweckmäßigerweise grobe Schnellstahl- (vier Zähne / Zoll) oder hartmetallbestückte Sägeblätter verwendet. Bei dünnwandigen Teilen empfiehlt sich ein feines gezahntes Blatt. Es kann mit Geschwindigkeiten gesägt werden, die etwa 25% niedriger sind als bei Stählen. Höhere Trenngeschwindigkeiten werden mit Kreissägen erreicht. Selbstverständlich können auch geeignete Bandsägen verwendet werden.

Besonders beim Sägen ist es wichtig, daß eine eventuell aufgehärtete Oberfläche vor dem Sägen durch Strahlen, Abschleifen oder Abdrehen entfernt wird, da sonst das Sägeblatt gleich am Anfang des Trennprozesses stumpf wird, wodurch neben einer Verlängerung der Sägezeit auch die Gefahr zum Verlaufen des Sägeblattes besteht.

5. Schleifen

Beim Schleifen machen sich die chemischen und physikalischen Eigenschaften von Titan am deutlichsten bemerkbar. Durch den relativ hohen Reibungskoeffizienten entstehen beim Schleifen hohe Temperaturen, die chemische Reaktionen zwischen dem Metall und dem Schleifkorn zur Folge haben und zum Verbrennen und Verschmieren der Werkstückoberfläche führen. Die Schleifkörner werden durch örtliche Überhitzung verhältnismäßig schnell stumpf und rutschen dann nur noch über die Oberfläche. Selbst wenn die geschliffene Oberfläche nicht sichtbar verbrannt ist, können Oberflächenspannungen vorliegen, die zu Schleifrissen führen und die Dauerfestigkeit beeinträchtigen.

Als Schleifscheiben haben sich aufgrund der guten Wärmeabfuhr und Splitterfähigkeit Aluminiumoxidscheiben und Siliziumkarbidscheiben mit keramischer Bindung der Härte J, K oder L bewährt. Während mit Siliziumkarbidscheiben im allgemeinen eine höhere Oberflächenqualität erreicht wird, führen Aluminiumoxidscheiben aufgrund der geringeren Schleifgeschwindigkeit zu geringeren Eigenspannungen im Werkstück.

Nachteilig wirkt sich beim Einsatz von Siliziumkarbidscheiben die erhöhte Funkenbildung aus, wodurch auf eine verstärkte Kühlmittelzufuhr geachtet werden muß. Eine geringere Funkenbildung tritt bei Aluminiumoxidscheiben auf. Allerdings werden die Schleifkörner der Aluminiumoxidscheiben schneller stumpf und die Schleifscheiben müssen öfter abgezogen werden.

Ebenfalls gut geeignet sind Diamantscheiben mit Harz-Bindung, wobei Schleifscheiben mit zähen Schleifkörnern denen mit spröden Körnern vorzuziehen sind.

Bei Schleifgeschwindigkeiten von 5 - 10 m/s werden mit Aluminiumoxidscheiben die besten Ergebnisse erzielt. Siliziumkarbidscheiben können hingegen bei Schleifgeschwindigkeiten von 20 - 30 m/s eingesetzt werden.

Das Schleifen sollte mit reichlicher Kühlmittelzufuhr erfolgen. Für feine Oberflächen mit geringen Rauhtiefen sind Ölemulsionen empfehlenswert. Bei Körnungen feiner als 320 besteht die Gefahr des Verklebens der Scheibe.

Es sei darauf hingewiesen, daß Titan von einer bestimmten Partikelgröße an abwärts sehr leicht mit Sauerstoff reagiert und zu Titanoxid verbrennt. Aus diesem Grund ist bei der Behandlung und Handhabung von Titanschleifspänen (pyrophor) eine gewisse Sorgfalt erforderlich.

6. Kühlmittel

Die gebräuchlichsten Kühlmittel zur spanabhebenden Formgebung sind Lösungen auf Wasserbasis (Rostschutzmittel oder Emulsionsöle). Folgende Kühlmittel haben sich bei der Zerspanung von Titanwerkstoffen bewährt:

- 1.5 %-ige wäßrige Lösung von Natriumnitrid
- 2.5 - 10 %-ige wäßrige Lösung von wasserlöslichem Öl
- Geschwefeltes oder chloriertes Öl - Einsatz bei geringen Schnittgeschwindigkeiten. Chlorhaltige Kühlmittel führen zu einer erhöhten Anfälligkeit zur Spannungsrißkorrosion und zur Bildung von Oberflächen-rissen bei einer Erwärmung oberhalb 200 °C. Daher ist nach der Zerspanung eine Reinigung des Werkstückes durchzuführen.
- Spiritus - Einsatz bei geringer Spanabnahme und geringen Schnittgeschwindigkeiten.

Verarbeitung von Titanwerkstoffen, Teil 3

Titanbearbeitung mit Diamantbeschichtungen

Es ist möglich geworden Titanbearbeitung ununterbrochen 2 Stunden mit einer Schneide und einer Schnittgeschwindigkeit von 160 m/min vorzunehmen. Dieses bewiesene Ergebnis zwischen Material und Werkzeug wurde im Labor mit 2 WSP-Typen und 3 PKD-Qualität erzielt.

Generell tritt bei der Titanbearbeitung eine sehr hohe Temperatur an der Schneide auf, während diese am Material wesentlich niedriger ist. Die Temperaturen am Diamanten erreichen mehr als 600°C, was zu kristallinen Veränderungen innerhalb des Diamanten führt. Eine ölhaltige Emulsion zur Kühlung verhindert es, diese kritische Temperaturzone zu erreichen.

Die mit einer CCMT 06 02 04 -WSP erzielten Ergebnisse sind als zu unsicher zu bezeichnen, da eine CCMW 06 02 04 -WSP eine wesentlich längere Standzeit unter ebenbürtigen Schnittbedingungen erzielen kann.

Die CCMW 06 02 04 -WSP wurde in folgenden 3 Qualitäten getestet : 652 PC, 653 PC und 650 PC. Die ermittelten Ergebnisse unter klar definierten Arbeitsbedingungen zeigten auf, dass 650 PC besser ist als 653 PC. 652 PC ist weniger gut und verlor durch unterschiedliche Ergebnisse an Bedeutung. Bei der Untersuchung Material - Werkzeug zeigte der Schneidstoff PC 650, dass hiermit eine größere Schnittgeschwindigkeit in Titan eingesetzt werden kann als beispielsweise Geschwindigkeiten mit kohlenstoffhaltigen Schneidstoffen.

Verarbeitungshinweis für Titan

Spanende Bearbeitung

Titanwerkstoffe neigen bei örtlicher Überhitzung zum Kleben und Fressen. Deshalb sind verminderte Schnittgeschwindigkeit und reichliche Zufuhr von Kühlmitteln (Öl-emulsionen, besonders behandelte Öle, 5-10%ige Alkalinitrit- oder Phosphatlösungen in Wasser) von Vorteil. Der Vorschub soll gleichmäßig und nicht zu gering sein.

Drehen und Fräsen

Als Drehstähle kommen hochkobalthaltige Schnellarbeitsstähle oder Hartmetalle in Frage. Gleichlaufräsen ist dem Gegenlaufräsen vorzuziehen, da hierbei Beschädigungen der Fräser infolge der sich bildenden Aufbauschneiden und Kleben der Späne auf ein Mindestmaß reduziert werden. Achtung! Titanstaub und Späne sind leicht brennbar.

Über die Schnittbedingungen und Werkzeugwinkel beim Drehen und Fräsen von Titanwerkstoffen geben die Tabellen Auskunft.

Bohren

Es werden Bohrer aus hochkobalthaltigem Schnellarbeitsstahl bei verkürzten Schneidlängen und einem stärkeren Kern als beim Bohren von austenitischem Chrom-Nickelstahl verwendet. Zur Vermeidung zusätzlicher Reibung muss der Bohrer kräftig aufgesetzt werden, die Bohrspäne sind durch häufiges Anheben des Bohrers ständig zu brechen. Besonders wichtig ist ein gutes Kühlen mit einem chlorierten Schneidöl.

Hobeln

Unter Vermeidung der Schnittgeschwindigkeit auf etwa die Hälfte im Vergleich zu einem austenitischem Chrom-Nickelstahl und Verwendung von Wolfram-Karbid-Schneidwerkzeugen bereitet das Hobeln von Titan im allgemeinen keine Schwierigkeiten.

Gewinde schneiden

Außengewinde sind auf der Drehbank zu schneiden, weil sich Schneideisen, Kluppen usw. festfressen. Die Gewindetiefe ist allmählich zu vergrößern.

Für das Schneiden von Innengewinden muss der Bohrer einen starken Kern und eine verkürzte Schneidlänge haben. Nach dem Schaft hin ist eine starke Gewindeverjüngung sowie ein starker Flankenhinterschliff vorzusehen. Der Spanwinkel soll 5° betragen. Die Kühlung erfolgt mit schwefelhaltigem Schneidöl oder mit einer Mischung aus Tetrachlorkohlenstoff, Molybdänsulfid und Graphit

Titan kann mit Geschwindigkeiten gesägt werden, die etwa 25% geringer sind als bei Stählen. Oxidschichten auf der Oberfläche führen zu erhöhtem Werkzeugverschleiß und müssen vorher durch beizen, Schleifen oder Strahlen entfernt werden. Schwefelhaltige oder chlorierte Öle werden zur Kühlung verwendet.

Schleifen

Unter Verwendung reichlicher Mengen an üblicher Kühlflüssigkeit und Einhaltung geringer Geschwindigkeit kann Titan nach den verschiedenen Schleifverfahren geschliffen werden.

(4-12 m/s bei Rundscheifen)

Als Schleifmittel haben sich Silizium-Karbid mit keramischer Bindung und Härte J,K oder L und Korund bewährt. Bei Körnungen feiner als 320 besteht die Gefahr des schnellen Verklebens der Scheibe.

Verarbeitung von Titanwerkstoffen, Teil 4

Schneiden von Titan und Titanlegierungen

Grundsätzlich lassen sich Titan und Titanlegierungen mit den drei thermischen Trennverfahren Autogen-Brennschneiden, Plasma-Brennschneiden und Laserschneiden sowie mit dem Abrasiv-Wasserstrahlschneiden gut bearbeiten.

Während sich beim Autogen- und Plasma-Brennschneiden qualitativ zufriedenstellende Schnitte bis zu Materialstärken von ca. 50 mm erzielen lassen, beschränkt sich die Anwendung des Laserschneidens auf Dicken von maximal 10 mm. Die Wärmebeeinflussten Bereiche an den Brennschnittflächen müssen vor der Weiterverarbeitung, besonders vor dem Schweißen, unbedingt mechanisch entfernt werden.

Beim Plasma-Brennschneiden liegen die Wärmeeinflußzonen in der Größe von ca. 1 mm, beim Autogen-Brennschneiden je nach Oberflächenzustand in der Größe von 0,5 mm und beim Laserschneiden in der Größe von 0,1-0,2 mm. Vor dem Zuschneiden von Blechen und Platten ist daher ein entsprechendes Bearbeitungsaufmass festzulegen, um sicherzustellen, das der geschädigte Gefügebereich nach dem Trennen entfernt werden kann.

Bei dem thermischen Trennen von Titanlegierungen müssen die Schnittgeschwindigkeiten im Gegensatz zu Reintitan je nach Zusammensetzung bis zu 50% verringert werden.

Bei den den angegebenen Zahlenwerten handelt es sich um einzelne Versuchsergebnisse, die keinesfalls verallgemeinert werden können. Diese Angaben sind als Richtwerte und als Hilfestellung zur Einstellung der zur Verfügung stehenden Schneidanlagen zu betrachten.

Ergebnisse von vergleichenden Schneidversuchen mit dem Autogen- und dem Plasma-Brennschneiden von 50 und 100 mm dicken Platten der Titanlegierung Ti Al 6 V4 sind nachfolgend dargelegt.

1. Autogen-Brennschneiden von Titan

Aufgrund der geringen Wärmeleitfähigkeit und der niedrigen Entzündungstemperatur von Titan ergeben sich im Gegensatz zu Stahl sehr kurze Anheizzeiten. Eine schmale wärmebeeinflusste Zone an der Anschnittstelle wird mit einer stark gedrosselten neutralen Heizflamme und bei strömendem Schneidsauerstoff - d. h. bei nahezu fliegendem Anschnitt - erreicht. Als Brenngas kann Acetylen und Sauerstoff mit Zusatz von Eisenpulver eingesetzt werden.

Die Qualität der Schnittflächen wird hauptsächlich von der Schnittgeschwindigkeit beeinflusst. So wurde in Versuchen z. B. bei 4 mm dicken Titanblechen mit Schnittgeschwindigkeiten von 6 m/min eine Schnittfläche mit einer maximalen Rautiefe von 30 µm erzielt. Bei 10 mm dicken Blechen wurde die gleiche Oberflächengüte mit einer Schnittgeschwindigkeit von 5 m/min erreicht. Voraussetzung für diese hohen Geschwindigkeiten ist eine fehlerfreie und glatte Oberfläche sowie eine einwandfrei geführte Brennschneidmaschine.

Die verwendeten Düsen sollten ein bis zwei Größen kleiner sein als für Stahl. Bei den hier angesprochenen Versuchen betrug die Tiefe der Wärmeeinflusszone weniger als 1 mm.

2. Plasma-Brennschneiden von Titan

Bei mehreren Versuchen wurde sowohl unter Wasser als auch mit einer Wasserglocke geschnitten und als Plasmagas Stickstoff/Wasserstoff verwendet. Für Titan hat sich allerdings ein Gemisch aus Argon/Wasserstoff oder aus Argon/Stickstoff als wesentlich geeigneter herausgestellt.

Beim Schneiden unter Wasser ist eventuell mit einer schlechteren Schnittqualität als unter der Wasserglocke zu rechnen, wohingehend bei Anwendung der Wasserglocke der Lärmpegel erheblich ansteigt.

Der beim Schneiden entstehende Wasserstoff verbrennt oberhalb des Wasserspiegels, wobei die Flammensäule mit wachsender Schneidgeschwindigkeit erheblich zunimmt. Ähnlich verhält es sich mit der Rauchentwicklung.

3. Laserschneiden von Titan

Bei Schneidversuchen im Laserschneidverfahren kamen als Schneidgase Luft, Stickstoff, Argon, Helium und eine Mischung von Ar + 20% O₂ zur Anwendung, wobei der Einfluß der unterschiedlichen Schneidgase sich auf die Schnittgeschwindigkeiten und auf die Qualität der Schnittfläche auswirken.

4. Abrasiv-Wasserstrahl-Schneiden von Titan

Versuchsergebnisse mit dem Abrasiv-Wasserstrahl-Schneiden liegen über das Zuschneiden von 26 mm dicken Platten der Titanlegierung TiAl₄Mo₄Sn₂Si im ausgehärteten Zustand und von 110 mm dicken Platten der Legierung TiAl₆V₄ vor. Der Schneiddruck betrug in beiden Fällen 3.000 bar. Gute Schnittqualitäten können mit folgenden Schnittgeschwindigkeiten erreicht werden:

- TiAl₄Mo₄Sn₂Si (Plattendicke 26 mm): 50 mm/min - gerader Schnitt
- TiAl₆V₄ (Plattendicke 110 mm): 7 mm/min - gerader Schnitt
- 1 mm/min - Schneiden von Radien

Der wesentliche Vorteil des Wasserstrahlschneidens liegt im Gegensatz zu den thermischen Schneidverfahren darin, dass keine Wärmeeinflusszone und somit keine Kantenaufhärtung auftritt. Eine Nachbearbeitung der Schnittflächen ist daher nicht erforderlich.

Allgemeine Aussagen können zu einzelnen Verfahren wie nachfolgt getätigt werden

- **Schmelzschweißen**

Die hohe Affinität von erwärmtem Titan zu Gasen ist zu berücksichtigen! Wasserstoff kann schon bei 250°C zur Versprödung führen.

- **Brenner**

Düsen der Größe 7 und 8, sowie Gaslinsen und das Schweißen mit senkrechtem Brenner (80-90°) und kurzem Lichtbogen haben sich bewährt.

- **Schutzvorrichtungen**

Durch Argon-Schutzvorrichtungen ist die Schweißzone während des Ankühlens vor dem Zutritt von Luft zu schützen. Vorteilhaft ist poröses Sintermetall, welches das Argon wirbelfrei austreten lässt. Handelsübliches Schweiß-Argon ist nicht ausreichend. Erforderlich ist Reinstargon mit einem Reinheitsgrad von 99,99% und einem Taupunkt von 50°C.

- **Wurzelschutz**

Die Wurzelseite des Schweißstückes wird zweckmäßig durch Unterlegen einer gut schließenden Kupferplatte und mittels eines zusätzlichen Argonschleiers geschützt. Eine ungenügende Zufuhr von Argon ist ebenso schädlich wie ein zu starker Strom, da dadurch ein unruhiges Fließen der Schweiße verursacht wird.

- **Kein Verschweißen mit Stahl oder Aluminium**

Titan kann **nicht** mit anderen Konstruktionswerkstoffen verschweißt werden, da sich spröde, intermetallische Verbindungen bilden. Verbinden über Vanadin oder Molybdän ist möglich, wird aber praktisch selten angewandt.

- **EB-Schweißen**

Elektronisches (EB)-Schweißen ist für Titan besonders gut geeignet. Auch Impulsschweißen ist möglich.

- **Löten von Titan**

Löten von Titan ist nach verschiedenen Methoden möglich. Schwierigkeiten können sich dadurch ergeben, dass die Lötstellen sich wegen bildender intermetallischer Phasen verspröden. Zur Erzielung einer zufriedenstellenden Hartlösung muss größter Wert auf die Reinigung und Entzunderung der Flächen gelegt werden. Gute Erfahrungen liegen beim Flammlöten vor. Als Lötzusatz haben sich Silberlote am besten bewährt.

Verarbeitung von Titanwerkstoffen, Teil 5

Spanlose Formgebung von Titanwerkstoffen

1. Unlegiertes Titan

Zum Kalttiefziehen eignet sich nur die weichste Titangüte 3.7025 (Grade 1). Die härteren Güten erfordern beim Biegen, Abkanten, Drücken, Bördeln, Falzen usw. größere Radien und höhere Kräfte, und es tritt eine stärkere Rückfederung auf, so dass häufig eine Kalt-Warmumformung bei 250-400°C vorzuziehen ist. Dabei ist die Anzahl der erforderlichen rekristallisierenden Zwischenglühungen geringer. Auf eine gleichmäßige Erwärmung muss unbedingt geachtet werden; als Schmiermittel sind u.a. molybdänsulfidhaltige Stoffe zu empfehlen.

2. Titanlegierungen

Titanlegierungen haben bei Raumtemperatur ein Verhältnis $RP\ 1,0/Rm$, das meist oberhalb 0,9 liegt, so dass für rissfreie Verformungen nur ein enger elastischer Bereich zur Verfügung steht. Kaltumformung kann deshalb nur in Ausnahmefällen angewandt werden. Zu empfehlen sind entweder Warmumformungen bei Temperaturen zwischen 500 und 800°C oder Kaltverformen mit anschließendem Warmpressen. Für präzise zu formende Teile ist dieser Verfahrensweg unerlässlich. Er erübrigt zwischengeschaltete oder nachfolgende Wärmebehandlungen und vermindert die Ausschussquote. Die beim Erwärmen an der Luft entstehenden Oxidschichten verbessern im allgemeinen die Gleiteigenschaften und dienen gleichzeitig als Schmiermittelträger.

Glühen und Beizen von Titanwerkstoffen

Glühzeiten und -temperaturen für Rekristallisation und Spannungsarmglühen der wichtigsten Titanwerkstoffe sind in nachfolgender Tabelle dargestellt. Geeignet sind elektrisch beheizte Öfen, aber auch gas- oder ölgasbeheizte Öfen sind verwendbar, wenn mit Luftüberschuß gefahren und das Werkstück nicht direkt den Flammgasen ausgesetzt wird. Optimal sind Schutzgas- oder Vakuumöfen.

Leichte Anlauffarben, die beim Spannungsarmglühen entstehen, lassen sich im Säurebad entfernen. Mischungen aus 25% HNO_3 und 0,5 bis 4% HF haben sich dafür gut bewährt. Für dickere Oxid- und Zunderschichten sind Salzschmelzen, wie das etwa bei 500°C arbeitende Hookerbad, oder Strahlenentzunderung mit anschließender Säurebeizung zu empfehlen.

Bei allen Glüh- oder Beizbehandlungen besteht die Gefahr der Wasserstoffaufnahme, so dass anschließende Kontrollen erforderlich sind.

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 beim Aushärten der Titanlegierungen engere Temperaturbereiche eingehalten werden.

Das Glühen ist eine Wärmebehandlung um entweder eine durch Umformung oder Aushärtung verursachte Verfestigung des Werkstoffes rückgängig zu machen oder einen stabilen Werkstoffzustand einzustellen. Im Regelfall erfolgt das Glühen oberhalb der Rekristallisationstemperatur.

Das Spannungsarmglühen ist eine Wärmebehandlung zum Abbau von Eigenspannungen ohne wesentliche Änderungen des Gefüges. Im Regelfall erfolgt das Spannungsarmglühen unterhalb der Rekristallisationstemperatur. Erforderlich kann das Spannungsarmglühen sein z.B. nach dem Schweißen, dem Umformen bei Temperaturen kleiner 650°C oder bei örtlich begrenzten Umformungen nach einer spanenden Bearbeitung, insbesondere nach dem Schleifen oder nach einem Richten.

Die angegebenen Haltezeiten für das Spannungsarmglühen gelten für Wanddicken bis 10 mm. Bei größeren Dicken sind die Haltezeiten für je weitere 10 mm um ca. 15 min zu erhöhen.

Bei sämtlichen Wärmebehandlungen von Titanwerkstoffen ist grundsätzlich zu beachten, daß Titan und Titanlegierungen eine hohe Reaktionsfreudigkeit zu Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff aufweisen. Aus diesem Grund müssen die Wärmeübertragungsmittel der zur Verfügung stehenden Wärmebehandlungsanlagen so beschaffen sein, daß keine unzulässigen Reaktionen mit dem Werkstoff stattfinden. Dies gilt insbesondere für eine unzulässige Wasserstoffaufnahme aus der Ofenatmosphäre.

Eine Wasserstoffaufnahme tritt bereits bei Temperaturen ab 500°C auf. Oberhalb 700°C führen Sauerstoff und Stickstoff verstärkt zur Bildung von Zunderschichten, unter gleichzeitiger Diffusion von Sauerstoff in die Werkstückoberfläche (Diffusionszone). Diese chemischen Reaktionen haben eine Verringerung der Zähigkeitseigenschaften und der thermischen Stabilität der Titanwerkstoffe zur Folge. Im Gegensatz zu Sauerstoff und Stickstoff kann der Wasserstoff durch eine Vakuumglühung unter geeigneten Bedingungen wieder weitgehend entfernt werden.

Die Parameter für das Glühen und das Spannungsarmglühen der Reintitanwerkstoffe (3.7025, 3.7035, 3.7055 und 3.7065) und der Titanlegierungen TiAl6V4 (3.7165) und TiAl6V6Sn2 (3.7175) sind in den nachfolgenden Tabellen aufgeführt.

	Werkstoff	Temperaturspanne [°C]	Empf. Temperatur [°C]	Haltezeit	Abkühlung
Glühen (Weichglühen)	Reintitan 3.7025; 3.7035 3.7055; 3.7065	600 - 800	700	2 min/mm Dicke min. 10 min. max. 20 min.	Luft
	TiAl6V4 3.7165	700 - 840	730	2 min/mm Dicke min. 30 min. max. 300 min.	Luft oder Ofen bis 500°C, dann Luft
	TiAl6V6Sn2 3.7175	700 - 840	730	2 min/mm Dicke min. 30 min. max. 480 min.	Luft oder Ofen bis 500°C, dann Luft
	Werkstoff	Temperaturspanne [°C]	Empf. Temperatur [°C]	Haltezeit	Abkühlung
Spannungsarmglühen	Reintitan 3.7025; 3.7035 3.7055; 3.7065	500 - 600	550	30 - 60 min.	Luft
	TiAl6V4 3.7165	550 - 700	675	60 - 60 min.	Luft oder Ofen bis 500°C, dann Luft
	TiAl6V6Sn2 3.7175	550 - 650	600	60 - 120 min.	Luft oder Ofen bis 500°C, dann Luft

Zur Wärmebehandlung können neben Schutzgas- (nur Edelgase) und Vakuumöfen auch elektrisch- oder gasbeheizte Luftöfen eingesetzt werden. Bei gasbeheizten Öfen ist ein Luftüberschuß von etwa 10 - 15 % einzustellen sowie aufgrund der Gefahr einer Wasserstoffaufnahme und einer örtlichen Überhitzung des Materials eine unmittelbare Berührung des Wärmebehandlungsgutes mit der Gasflamme zu vermeiden.

Die Wärmebehandlungsanlage sollte je Charge nur mit gleichartigen Werkstücken von etwa gleicher Dicke beschickt werden, da die Haltezeit von der Werkstückdicke abhängt. Darüber hinaus dürfen nur trockene, d.h. von Schmutz und Fett gereinigte Teile eingesetzt werden, um ein Eindiffundieren von Zersetzungsprodukten in den Werkstoff zu vermeiden. Eventuell zu verwendende Stahlvorrichtungen, die mit dem Titan in Berührung kommen, müssen wegen der Gefahr von chemischen Reaktionen zwischen Titan und Eisenoxid bei hohen Wärmebehandlungstemperaturen weitgehend zunderfrei sein.

Darüber hinaus bildet Titan mit bestimmten Metallen, wie z.B. Nickel und Kupfer, niedrigschmelzende Phasen, welche bei den in Wärmebehandlungen üblichen Temperaturen zu lokalen Aufschmelzungen führen. Der Kontakt mit diesen Metallen (z.B. Chargiergestelle) ist daher zu vermeiden.

Die bei der Wärmebehandlung entstandenen Zunderschichten müssen mittels mechanischer Entzunderungsverfahren, wie Sandstrahlen, Schleifen oder Bürsten und nachfolgendem Beizen entfernt werden. Vorliegende leichte Anlauffarben lassen sich hingegen durch alleiniges Beizen beseitigen.

Bewährt hat sich für die Beizbehandlung eine wäßrige Lösung von

20 Vol.-% HNO_3 (65 %-ige Salpetersäure) und
2 Vol.-% HF (40 %-ige Flußsäure)

Wesentlich bei dieser Behandlung ist, daß nicht nur die an der Oberfläche befindliche Oxidschicht, sondern auch die darunterliegende sauerstoffangereicherte Diffusionszone mit abgetragen wird, da diese z. B. die Zerspanbarkeit, d.h. die Standzeiten von Dreh- und Fräswerkzeugen negativ beeinflusst.

Nach der Entfernung von Zunder- und Oxidschichten sollte in jedem Fall eine Kontrolle des Wasserstoffgehaltes durchgeführt werden, da bei Glüh- und Beizbehandlungen die Gefahr einer Wasserstoffaufnahme besteht.

Verarbeitung von Titanwerkstoffen, Teil 6

Oberflächenbehandlung von Titan

Die anodische Oxidation ist eine besondere Oberflächenbehandlung des Titans, mit der sich die bereits vorhandenen dünnen Passivschichten verstärken und verdichten lassen und somit unterschiedliche Oberflächenfärbungen erreicht werden. Das Spektrum reicht farblich von Silber, Gold über Blau, Purpur bis hin zu Blaßblau.

Die anodische Oxidation wird in den verschiedenen Elektrolyten durchgeführt, wobei häufig verdünnte Schwefel- und Phosphorsäuren verwendet werden. Die Dicke der anodisch oxidierten Schicht hängt von der angelegten Spannung ab, und da sich die Schichtdicke nach der Spannung richtet, läßt sich diese durch die Spannung genau und reproduzierbar erzeugen. Dieses Verfahren ist vergleichbar mit der Eloxalierung von Aluminium.

Eine besonders gut haftende Oxidschicht wird durch das Eintauchen des Werkstückes in eine Lösung aus 80 % Phosphorsäure, 10 % Schwefelsäure und 10 % Wasser unter gleichzeitigem Anlegen einer elektrischen Gleichspannung erzielt. Dabei ist das zu beschichtende Teil als Anode (+ Pol) zu schalten. Die Kathode (- Pol) kann ein Blech aus rostfreiem Stahl oder auch aus artgleichem Titan sein.

Durch eine regelbare Gleichspannungsquelle lassen sich so z. B. bei einer angelegten Spannung von 15 V rotgoldene, bei 65 V gelbgoldene und bei 85 V violette Oberflächen erzielen. Die Oberflächenoxidation kann ebenso in 20 %-iger Phosphorsäure vorgenommen werden. In dieser Lösung werden z.B. bei einer Spannung von 10 V blaue, bei 20 V gelbe und bei 30 V violette Oberflächen erreicht. Die Farbschichten sind festhaftend und abriebfest. Die Farben selbst sind beständig, wenn die Oberfläche mit einem klaren Schutzüberzug versehen wird.

Die Ausbildung von Oxidschichten auf Titanoberflächen ist nahezu unabhängig von dem ausgewählten Titanwerkstoff, jedoch bedürfen Teile, die anodisch oxidiert werden sollen, einer gewissen Vorbehandlung, um festhaftende, leuchtende und gleichmäßig gefärbte Oberflächenschichten erzeugen zu können. Die zu behandelnden Flächen dürfen z. B. keine Verunreinigungen aufweisen, so daß folgende Arbeitsgänge vor Durchführung der anodischen Oxidation zu empfehlen sind:

1. Entfetten mit geeigneten Entfettungsmitteln (kann ggf. bei geringen Verunreinigungen entfallen),
2. Spülen in Wasser,
3. Behandlung in einer wäßrigen Lösung von 20 Vol.-% HNO₃ (65 %-ige Salpetersäure) und 2 Vol.-% HF (40 %-ige Flußsäure) Tauchzeit 0,5 bis 2 Minuten, je nach gewünschter Oberflächenstruktur,
4. Spülen in Wasser,
5. Anodische Oxidation.

Abschließend ein Warnhinweis:

Es sei darauf hingewiesen, daß beim Umgang mit ätzenden Flüssigkeiten die entsprechenden Vorsichtsmaßnahmen einzuhalten sind.

Flußsäure ist hochgiftig, sehr stark ätzend, mit Wasser mischbar, hygroskopisch und sehr reaktionsfähig.

Die Dämpfe sind schwerer als Luft und von stechendem Geruch. Sie reagieren mit verschiedenen Metallen unter Wasserstoffentwicklung.

Die Säure verursacht schlecht heilende Wunden auf Haut, Augen und Schleimhäuten sowie Nagelbettentzündungen (Warnwirkung fehlt!), die zu großer Schmerzempfindung führen.

Die Verätzungen bleiben auf der Haut oft tagelang unsichtbar!



Biegen von Titan (-stäben und -rohren)

Aus der Erfahrung bei den Endanwendern heraus hier einige Tipps in Sachen Biegen von Titanstäben und Titanrohren:

Bitte nicht einfach die Teile (wie gelegentlich bei Stahl zu sehen) einfach in den Schraubstock spannen und "drauflos biegen", das geht mit Sicherheit schief und Sie ärgern sich völlig zu Unrecht über ein Material, welches sich "inhomogen" verhält und/oder sogar zum Brechen neigt (oder auch tatsächlich bricht).

Das Material ist in aller Regel dabei völlig in Ordnung, es wurde nur die eine oder andere Eigenheit von Titan nicht genügend bedacht:

Titan wird unter Vakuum gefertigt und reagiert unter Sauerstoffzufuhr. Jeder kleine Riß führt bei Material unter Stress deshalb sofort zur Versprödung der Oberfläche, sofern der ungehinderte Sauerstoffzutritt nicht wirksam unterbunden wird. Daher bitte niemals "einfach so" von Hand biegen!

Zweckmäßig ist folgendes Vorgehen:

Für eine gleichmäßige und ganzflächige Biegung mittels Biegemaschine sorgen oder zumindest eine gute Lehre anfertigen.

Die Biegestelle mit speziellem temperaturfestem Anti-Oxidationsmittel für Titan auf der beanspruchten Oberfläche des Biegebereichs bestreichen.

Die Biegezone auf eine Temperatur von rund 100 - 200 Grad Celsius anwärmen. Die Gleichmäßigkeit ist wichtiger als eine bestimmte Temperatur innerhalb des genannten Temperaturkorridors.

Wenn Sie größere Mengen gleicher Teile benötigen, sollten Sie ernsthaft darüber nachdenken, das Teil gleich komplett und in der gewünschten Form

als Feingußteil gießen zu lassen.

Diese Lösung ist unter Berücksichtigung von unvermeidbarem Ausschuß beim Biegen oft preiswerter als Sie denken und erspart Ihnen eine Menge Zeit und Nerven!

Wenn Sie jedoch die genannten Hinweise beachten, werden Sie gerade für kleinere Mengen sicher auch beim Biegen gute und vertretbar gleichmäßige Ergebnisse erreichen!

Wir sind Mitglied der

