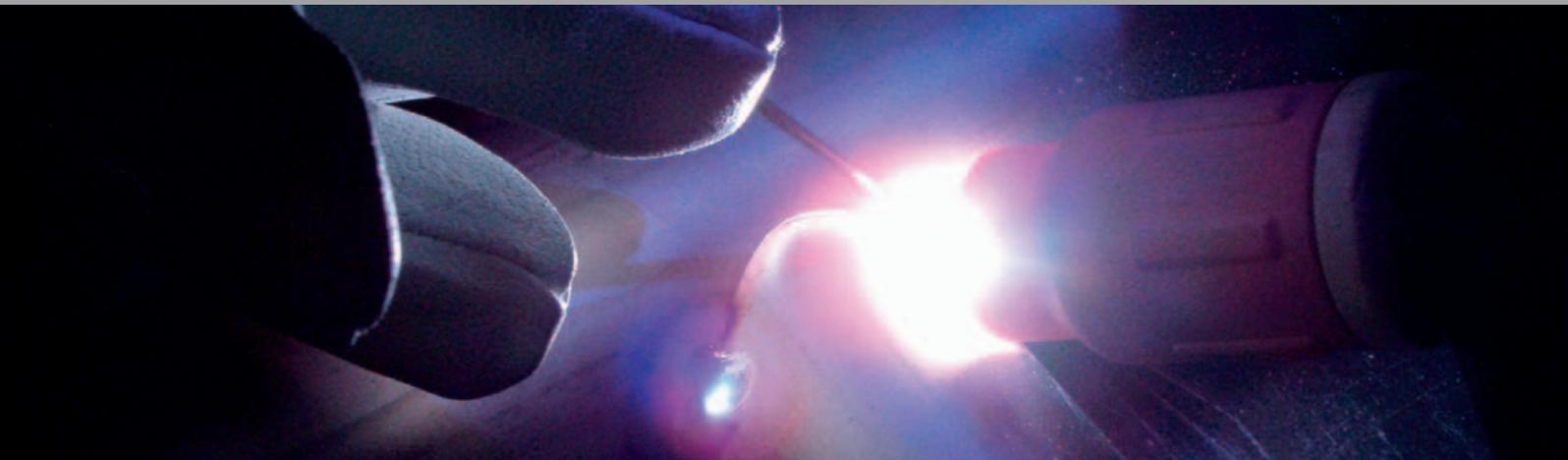


Titan-Schweisstechnik

Schweisstechnische Verarbeitung von Titan-Werkstoffen

PanGas-Sonderdruck



Titan-Schweisstechnik

Schweisstechnische Verarbeitung von Titan-Werkstoffen



Eberhard Brune
Dipl.-Ing. (TU)
Leiter Schweis- und Schneidtechnik
PanGas Luzern

Die schweisstechnische Verarbeitung von Titan-Werkstoffen ist nur dann problemlos möglich, wenn seine metallurgischen Besonderheiten durch entsprechende schweisstechnische Massnahmen berücksichtigt werden.

Titan-Werkstoffe sind durch eine Kombination von hervorragenden Eigenschaften gekennzeichnet und haben laufend mehr Anwendungen gefunden, vor allem wo das gute Festigkeits-Dichte-Verhältnis oder die gute Korrosionsbeständigkeit im Vordergrund stehen. Für die schweisstechnische Verarbeitung muss das ausgesprochen reaktive Verhalten bei höheren Temperaturen berücksichtigt werden. Es ist unbedingt die Gasaufnahme aus der Atmosphäre oder durch Verunreinigungen zu vermeiden, weil dadurch deutliche Eigenschaftverschlechterungen bis hin zur völligen Unbrauchbarkeit hervorgerufen werden können. Das Schweiessen mit geeigneten Schutzvorrichtungen, im Vakuum oder in geschlossenen Schutzgaskammern ist daher zwingend erforderlich. Die verwendeten Schutzgase Argon oder Helium müssen eine hohe Reinheit aufweisen.

Titan ist ein auf der Erde relativ häufig vorkommendes Element: es ist zu etwa 0,44% an der Erdmasse beteiligt und steht damit hinter Magnesium mit 2,1% an neunter Stelle unter allen chemischen Elementen. Von den gebräuchlichen Metallen sind nur Aluminium und Eisen häufiger vorhanden. Titan ist jedoch aufgrund seiner sehr weit verteilten und gering konzentrierten Vorkommen schwierig zu gewinnen. In reiner Form erscheint Titan silberweiss-metallisch und vereinigt viele nützliche Eigenschaften, das sind speziell:

- hohe mechanische Festigkeit,
- geringes spezifisches Gewicht,
- niedriger thermischer Ausdehnungskoeffizient,
- hoher Schmelzpunkt und
- Korrosionsbeständigkeit gegenüber Säuren und Basen.

Gewinnung und Darstellung

Zur Herstellung von Titan wird Titandioxid (TiO_2) verwendet, das aus dem Mineral Rutil (TiO_2 Abb. 1) oder aus dem Titan-eisenerz Ilmenit (FeTiO_3) gewonnen wird. Da sich Titandioxid nur schwer reduzieren lässt, wird es in einer nächsten Stufe bei Temperaturen von ca. 750–1000 °C zu gasförmigem Titan-tetrachlorid (TiCl_4) chloriert, das durch Magnesium bei ca. 700–950 °C unter Argon zum Metall reduziert werden kann und feinverteiltes Titan (Titanschwamm) generiert. Dieses lässt sich unter einer inerten Schutzgas-Atmosphäre zu kompakten Titanblöcken zusammenschmelzen.



Abb. 1: Rutil-Kristall

Durch Recycling kann ein beträchtlicher Teil des Titans gewonnen werden, da einerseits bei der Rohblock- und Halbzeugproduktion ca. ein Viertel des Einsatzgewichts als Kreislaufschrott und andererseits speziell bei der spanabhebenden Fertigung bis zu 90% des Vollmaterials als Spanschrott anfällt.

Verarbeitung zu Halbzeug

Die Titanblöcke werden vielfach in Schmiede- oder Walzwerken zunächst warm verformt, wobei für das Formänderungsverhalten und für die erforderlichen Wärmebehandlungen die gleichen metallkundlichen Grundlagen gelten wie für andere Metalle. Grobbleche werden zumeist auf Duogerüsten, kaltgewalzte Bleche und Bänder auf Quartogerüsten umgeformt. Die Oberflächen müssen dabei jeweils vor und nach dem Walzen mechanisch und chemisch gereinigt werden. Analog erfolgt die Herstellung von Stäben und Drähten durch Warmwalzen in offenen Kalibern (Vorwalzen) und anschliessend in kontinuierlichen Walzstrassen. Dünnere Drähte werden durch Kaltziehen hergestellt. Wie bei anderen Metallen auch, ist die Festlegung der Wärmebehandlungstemperaturen und -zeiten bei Titan abhängig von Umformgrad, Werkstückgrösse und den angestrebten Eigenschaften. Es gelten folgende Anhaltswerte:

ASTM

Grade	Bezeichnung	max. Legierungsgehalt in %					mittlerer Gehalt in %			Sonstige Elemente		
		Fe	O ₂	N ₂	C	H ₂	Pd	Al	V			
1	Ti1	0,200	0,180	0,030	0,080	0,015						
2	Ti2	0,300	0,250	0,030	0,080	0,015						
3	Ti3	0,300	0,350	0,050	0,080	0,015						
4	Ti4	0,500	0,400	0,050	0,080	0,015						
5	Ti-6Al-4V	0,400	0,200	0,050	0,080	0,015		6,10	4,00			
6	Ti-5Al-2,5Sn	0,500	0,200	0,030	0,080	0,015		5,00		2,5 Sn		
7	Ti-0,2Pd	0,300	0,250	0,030	0,080	0,015	0,18					
9	Ti-3Al-2,5V	0,250	0,150	0,030	0,080	0,015		3,00	2,50			
11	Ti-0,2Pd	0,200	0,180	0,030	0,080	0,015	0,18					
12	Ti-0,3Mo-0,8Ni	0,300	0,250	0,030	0,080	0,015				0,3 Mo	0,75 Ni	
16	Ti-0,05Pd	0,300	0,250	0,030	0,080	0,015	0,06					
18	Ti-3Al-2,5V-0,05Pd	0,250	0,150	0,030	0,080	0,015	0,06	3,00	2,50			
19	Ti-3Al-8V-6Cr-4Zr-4Mo	0,300	0,120	0,030	0,050	0,020		3,50	8,00	4,0 Mo	6,0 Cr	4,0 Zr
20	Ti-3Al-8V-6Cr-4Zr-4Mo-0,05Pd	0,300	0,120	0,030	0,050	0,020	0,06	3,50	8,00	4,0 Mo	6,0 Cr	4,0 Zr
21	Ti-15Mo-3Nb-3Al-0,2Si	0,400	0,170	0,030	0,050	0,015		3,00		15,0 Mo	2,7 Nb	0,2 Si
22	Ti-15Mo-3Nb-3Al-0,2Si-0,05Pd	0,050	0,040	0,050	0,150	0,015	0,06	3,00		15,0 Mo	2,7 Nb	0,2 Si
23	Ti-6Al-4V ELI	0,250	0,130	0,030	0,080	0,013		6,00	4,00			
24	Ti-6Al-4V-0,05Pb	0,400	0,200	0,050	0,080	0,015	0,06	6,10	4,00			
26	Ti-0,1Ru	0,100	0,300	0,030	0,250	1,150				0,11 Ru		
27	Ti-0,1Ru	0,100	0,020	0,030	0,180	0,015				0,11 Ru		
28	Ti-3 Al-2,5V-0,1Ru	0,250	0,165	0,030	0,080	0,015				0,11 Ru		
29	Ti-6Al-4V-0,1Ru	0,250	0,030	0,080	0,080	0,013				0,11 Ru		
	Ti-8Al-1Mo-1V	0,300	0,120	0,050	0,080	0,015		7,85	1,00	1,0 Mo	0,005 Y	
	Ti-2,5Cu	0,200	0,200	0,050	0,100	0,010				2,5 Cu		
	Ti-4Al-4Mo-2Sn-0,5Si	0,200	0,250	0,050	0,080	0,013		4,00		4,0 Mo	2,0 Sn	0,5 Si
	Ti-6Al-6V-2Sn-1Cu-1Fe	1,000	0,200	0,040	0,050	0,013		5,50	5,50	2,0 Sn		
	Ti-13V-11Cr-3Al	0,350	0,170	0,050	0,050	0,025		3,00	13,50	11,0 Cr		
	Ti-15V-3Al-3Cr-3Sn	0,250	0,130	0,050	0,050	0,015		3,00	15,00	3,0 Cr	3,0 Sn	

Tabelle 1

- Schmieden und Warmwalzen 750–950 °C
- Rekristallisationsglühen 650–800 °C
- Spannungsarmglühen 450–600 °C

Metallkundliche Aspekte

Die mechanischen Eigenschaften von Titan werden durch die Reinheit und durch den Gefügestand gekennzeichnet. Negativ wirken sich Verunreinigungen aus und sollten deshalb gering gehalten werden, was schon deshalb nicht ganz einfach ist, weil Titan vor allem bei höheren Temperaturen sehr reaktiv ist. Dadurch bilden sich speziell mit kleinatomigen nicht-metallischen Elementen stabile Verbindungen – sogenannte Metalloide – die den Werkstoff stark verspröden können. Ab ca. 500 °C aufwärts können Gase wie Sauerstoff, Stickstoff und Wasserstoff aufgenommen werden, wodurch ebenfalls die Zähigkeit deutlich sinkt. Daher sind alle Schmelz- und Wärmebehandlungen zwingend unter Vakuum oder Schutzgas hoher Reinheit durchzuführen und vor allen Wärmebe-

handlungen und vor dem Schweißen sämtliche Oberflächen-Rückstände und Verunreinigungen sorgfältig zu entfernen.

Das Legieren mit anderen Metallen verbessert die physikalischen und mechanischen Eigenschaften nachhaltig. Titanlegierungen werden nach der kristallographischen Phasenausprägung unterschieden:

- Alpha-Legierungen nur hexagonale Gitterstruktur, α-Phase
- Beta-Legierungen nur kubisch-raumzentrierte β-Phase
- Alpha-Beta-Legierungen Gefügeanteile von α und β

Reintitan erstarrt aus der Schmelze bei 1668 °C zunächst in der kubisch-raumzentrierten Gitterstruktur β und wandelt dann bei 882 °C in die α-Phase mit hexagonaler Struktur um. Durch Zugabe von Legierungselementen kann dieser Umwandlungspunkt verschoben werden: Aluminium,

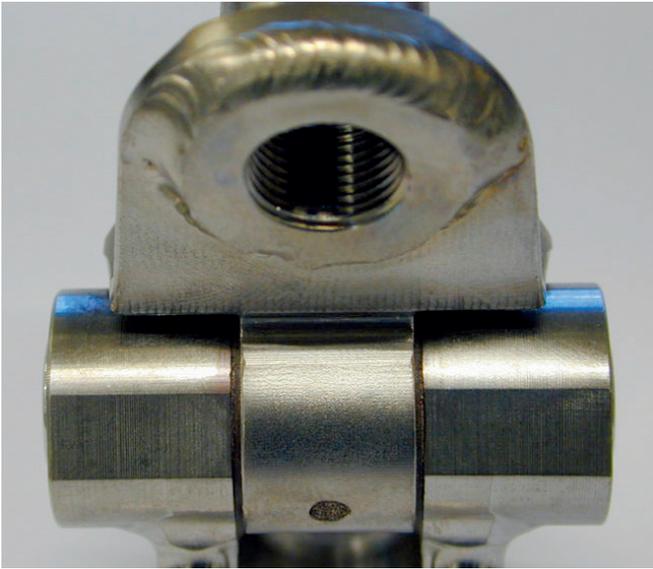


Abb. 2: Implantat aus Ti-6Al-4V (INOX-Schweisstechnik Zug)

Sauerstoff, Stickstoff, Kohlenstoff und Bor bewirken eine α -Stabilisierung. Die meisten Legierungszusätze wie Chrom, Vanadium, Molybdän, Eisen, Nickel, Palladium, Tantal und Silizium verlagern die Umwandlung zu niedrigeren Temperaturen und erweitern damit das β -Gebiet, so dass die β -Phase bis zur Raumtemperatur stabil sein kann. Deshalb können je nach Legierungstyp die Modifikationen α , $\alpha + \beta$ und β vorliegen. Die Abkühlungsbedingungen beeinflussen die Stabilität der β -Modifikation und können so durch unerwünschte Umwandlungsvorgänge eine Versprödung hervorrufen, so zum Beispiel beim Schweißen.

Titan-Werkstoffe

Um die Eigenschaften von Reintitan zu verbessern, kommen zahlreiche Legierungselemente und ihre Kombinationen in Betracht und werden verwendet. Neben metallischen Elementen wie Aluminium, Molybdän, Vanadium, Nickel, Niob, Zirkon, Palladium und Eisen werden auch Nichtmetalle wie Kohlenstoff und Silizium oder auch Sauerstoff als Legierungsbestandteile verwendet. Eine universelle Legierung ist

Ti-6Al-4V, die bei einer Dehngrenze von über 800 N/mm^2 und einer Zugfestigkeit von mehr als 1000 N/mm^2 über eine ausgezeichnete Schweisseignung verfügt.

Tabelle 1 zeigt eine Zusammenstellung wichtiger Titanwerkstoffe einschliesslich der Analysen der kennzeichnenden Legierungsbestandteile nach ASTM und dem Handbuch der Deutschen Luftfahrt. In Tabelle 2 wird ein Vergleich der physikalischen Eigenschaften mit anderen metallischen Konstruktionswerkstoffen gezeigt. Der Wärmeausdehnungskoeffizient von Titan ist relativ niedrig, so dass die Eigenspannungen nach dem Schweißen und der Verzug vergleichsweise niedrig zu erwarten sind. Die letzte Spalte zeigt, dass bei Titan das Verhältnis von Dehngrenze zu Dichte und somit das Leichtbau-Potential im Vergleich zu den anderen metallischen Werkstoffen am grössten ist.

Einsatzgebiete

Aufgrund seiner vergleichsweise hohen Gestehungskosten werden Titan und seine Legierungen dort eingesetzt, wo seine speziellen Eigenschaften wie günstiges Dehngrenzen-Dichte-Verhältnis oder hohe Korrosionsbeständigkeit das Werkstoff-Anforderungsprofil bestimmen.

Die Hauptverwendungsgebiete sind in Tabelle 3 dargestellt. Der Gesamtverbrauch ist in den letzten Jahren kontinuierlich angestiegen und liegt bei schätzungsweise $470\,000 \text{ t}$ weltweit. Dabei hat die Luftfahrt-Industrie mit etwa $190\,000 \text{ t}$ den grössten Anteil: bei modernen Grossraum-Passagierflugzeugen beträgt der Gewichtsanteil von Titan-Werkstoffen bis zu 8% , bei Militärmaschinen sogar bis zu 35% des Leergewichts.

Titan in der schweisstechnischen Verarbeitung

Titan ist im schmelzflüssigen Zustand sehr dünnflüssig, woraus sich einerseits die Notwendigkeit ergibt, das Schweisbad ständig gewissenhaft zu beobachten, andererseits aber auch resultiert, dass die Nahtschuppung sehr gering und fein ist. Es wurde schon darauf hingewiesen, dass Titan in der Wärme eine hohe Affinität zu den Gasen Sauerstoff, Stickstoff

	Dichte	Elastizitätsmodul	0,2%-Dehngrenze	Wärmeleitfähigkeit	Wärmeausdehnungskoeffizient	Dehngrenze/Dichte
	r [10^3 g/mm^3]	E [10^3 N/mm^2]	$R_{p0,2}$ [N/mm^2]	λ [W/mK]	α [$10^{-6}/^\circ\text{K}$]	$R_{p0,2} / r$ [10^{-3} Nmm/g]
Titan in reiner Form	4,51	110	330–500	22	8,5	73–111
Titan-Werkstoffe	4,10–5,10	80–115	750–1500	6	7,5–10,0	147–366
Allgemeine Baustähle	7,85	210	260–600	65	11,7	33–76
Rostfreistahl mit 18% Cr, 8% Ni	7,9	195	400–550	14	17,3	51–70
Nickelbasis-Legierungen	8,20–8,30	160–210	750–1400	15	11,4–14,0	90–170
Aluminiumwerkstoffe	2,60–2,80	60–130	120–400	160	21,0–24,0	43–154
Kupferlegierungen	7,90–8,90	70–125	250–800	150	16,2–20,0	28–101

Tabelle 2

Branche	Anwendungen
Flugzeug- und Raketenindustrie	Fahrwerksteile, Beplankungen, tragende Strukturen, Treibstofftanks, Klimaleitungen, Beschläge
Chemischer Anlagenbau	Rohrleitungen, Wärmetauscher, Behälter, Pumpen
Feinmechanische Industrie	Brillenfassungen, Uhren, Schmuck
Medizintechnik	Knochenschrauben, Hüftgelenke, Zahnimplantate, Herzschrittmacher-Gehäuse
Sportartikel	Tennis-, Badminton- und Golfschläger, Velos
Sonderanlagenbau	Meerwasserentsalzungsanlagen, Rauchgas-Entschwefelungsanlagen Papier- und Textilindustrie

Tabelle 3

und Wasserstoff aufweist. Die Gasaufnahme ist speziell im schmelzflüssigen Zustand besonders hoch und – ausser beim Wasserstoff (Glühen bei 650 °C) – nicht wieder rückgängig zu machen. Die Folge der Gasaufnahme ist eine deutliche Versprödung des Werkstoffs, wodurch die Versagenssicherheit des Bauteils gefährdet wird. Der Zähigkeitsverlust ist direkt mit einer erhöhten Zugfestigkeit verknüpft, die jedoch aufgrund der Versprödung nicht nutzbar ist.

Es ist zu beachten, dass auch nach dem Erstarrungsvorgang der Schmelze noch Oberflächen-Reaktionen bis etwa 250 °C stattfinden können und auch bei niedrigen Temperaturen entstandene Anlauffarben klar eine Gasaufnahme – vorwiegend von Sauerstoff – signalisieren, woraus eine Werkstoff-Versprödung resultieren kann.

Es ist daher beim Schweißen von Titanwerkstoffen grundsätzlich erforderlich, unter Vakuum oder unter einem kompletten Gasschutz zu schweißen und beim Arbeiten unter Schutzgas eine hohe Reinheit des verwendeten Schutzgases vorzusehen. In der Regel wird Argon mit einer Reinheit von 4,8 (99,998 %) oder höher und einem Taupunkt von maximal –50 °C eingesetzt. Auch Helium hoher Reinheit ist verwendbar, wird jedoch wegen der höheren Gestehungskosten nur in Sonderfällen eingesetzt.



Abb. 3: Rohrkonstruktion aus Ti2 (INOX-Schweisstechnik Zug)

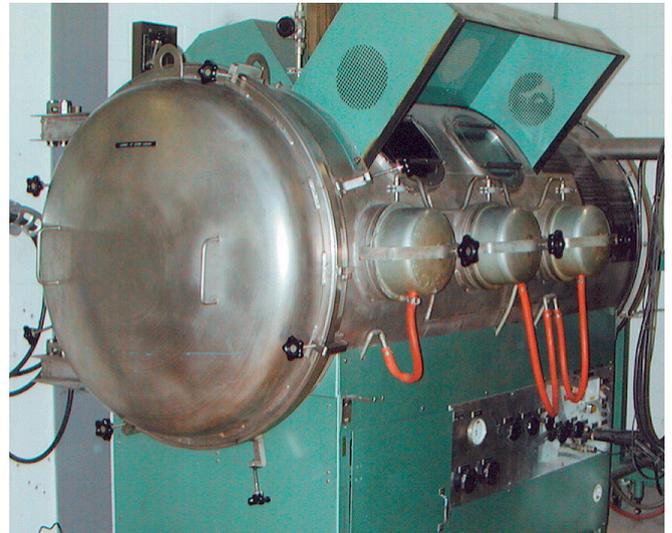


Abb. 4: Schutzkammer zum Schweißen reaktiver Metalle (RUAG Emmen)

Der Gasschutz ist bei geraden Nähten auf der Schweissnaht-oberseite durch Schleppdüsen und Schutzgasdämme und wurzelseitig durch perforierte Schutzgasschienen darstellbar; dies sind in den meisten Fällen Spezialanfertigungen.

Falls viele geometrisch unterschiedliche Teile oder solche mit komplizierter Formgebung zu fügen sind, empfiehlt sich das Schweißen in einer Schutzkammer (Abb. 4). Diese kann entweder als stabile Konstruktion oder auch als Schutzgaszelt ausgeführt sein.

Wichtig ist, die Kammer nach der Evakuierung immer unter einem leichten Überdruck zu halten, damit ein Eindringen von Luft vermieden wird.

Es ist zu beachten, dass die zu verschweisenden Teile einwandfrei sauber sind, da ansonsten mit Fehlern in der Schweissnaht gerechnet werden muss: insbesondere mit Poren. Das Augenmerk darf sich nicht nur auf Oberflächenverschmutzungen wie Fett oder Ähnliches richten, sondern es müssen auch Anlauffarben und Zunderreste komplett beseitigt werden, da das Schmelzbad von Titan bei hohen Temperaturen auch das eigene Oxid löst. Das gleiche gilt sinngemäss auch für den Zusatzwerkstoff, der daher nur mit sauberen Lederhandschuhen gehalten werden darf.

Es ist bewährte Praxis, die Schweisskanten nach der mechanischen Bearbeitung zu entgraten und anschliessend zu beizen. Dies geschieht erfahrungsgemäss am besten mit einer wässrigen Lösung aus Salpetersäure (HNO₃) und 2–4 %

Flusssäure (HF) bei einer Temperatur bis etwa 60 °C. Das anschliessende Spülen und Trocknen ist obligatorisch. Direkt vor dem Schweissprozess sollte eine abschliessende Reinigung mit Azeton oder Äthanol erfolgen; die Verwendung von chlorionenhaltigen Lösungsmitteln wie Trichloräthylen kann Spannungsrissskorrosion hervorrufen und ist daher nicht zu empfehlen.

Werden diese Massnahmen gewissenhaft durchgeführt, so ist das Schweiessen von Titan problemlos und bereitet keine besonderen Schwierigkeiten. Einige relevante Verfahren werden nachfolgend kurz besprochen.

MIG-Schweissen

Das Metall-Inertgas-Schweissen ist für die Praxis zum heutigen Zeitpunkt nicht empfehlenswert, obwohl es aus betriebswirtschaftlicher Sicht wünschenswert wäre, grössere Schweissleistungen zu realisieren. Auch technisch gesehen wäre die gute Spaltüberbrückbarkeit von Interesse. Solange jedoch mit extrem langen Schlepptüsen und unter Inkaufnahme von Schweisserspritzern in inakzeptablem Umfang gearbeitet werden muss, wird ein praktischer Durchbruch nicht erwartet. Inwieweit die Entwicklungsarbeiten auf dem Gebiet der Schweissgerätetechnik und bei den Schutzgasen zu praxistauglichen Lösungen führen, kann aus heutiger Sicht nicht beantwortet werden.



Abb. 5: WIG-Schweissen von Ti2 (INOX-Schweisstechnik Zug)

WIG-Schweissen

Das Wolfram-Inertgas-Schweissen (WIG) ist für Titanwerkstoffe praxisbewährt und universell einsetzbar. Es wird mit Gleichstrom und negativ gepolter Elektrode geschweisst. Beispiele für ausgeführte WIG-Nähte zeigen die Abb. 6–9. Als Zusatzwerkstoff wird im Allgemeinen artgleicher Werkstoff verwendet. Die Verfahrensvariante Plasma-Schweissen wird vorwiegend vollmechanisch und erst über 2 bis zu 12 mm Wanddicke vor allem im Turbinenbau angewendet.

Laserstrahl-Schweissen

Die Laserverfahren zum Schneiden und Schweiessen haben in der letzten Zeit einen enormen Aufschwung erlebt und so ist auch in der Titan-Fügetechnik die Substitution von Verfahren wie WIG-, Widerstandspunkt- und Rollenahtschweissen nur noch eine Frage der Zeit. Neben den technischen Vorteilen

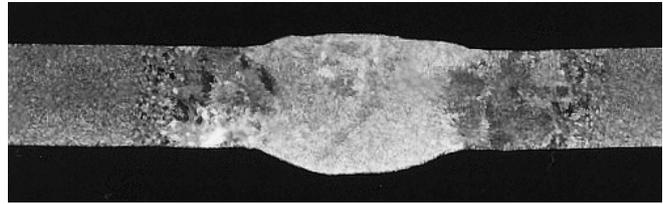


Abb. 6: WIG-Schweissnaht I-Stoss, (Querschliff 4:1, EMPA-Dübendorf)

wie schmalere Naht, kleiner Wärmeeinflusszone und gleichmässigem Nahtaussehen bestechen auch die wirtschaftlichen Möglichkeiten durch die extrem hohen Schweissgeschwindigkeiten. So kann die Schweissleistung gegenüber dem WIG-Verfahren um den Faktor 100 erhöht werden. Speziell im Flugzeugbau deutet sich ein interessantes Betätigungsfeld auf dem Gebiet des Rohrschweissens von Klimaleitungen aus der Legierung Ti2 an.

Elektronenstrahl-Schweissen

Die Elektronenstrahl-Schweissverfahren zeichnen sich durch eine hohe Strahlenergie-Flussdichte aus, so dass mit diesem Verfahren grosse Wanddicken als I-Naht und ohne Zusatz geschweisst werden können. Für die Schweissung von Titanwerkstoffen macht sich dabei positiv bemerkbar, dass im Vakuum und somit ohne Zutritt von atmosphärischen Gasen gearbeitet werden kann. Die in manchen Fällen auftretenden Randkerben und Unterwölbungen auf der Nahtober- und Nahtunterseite können vielfach durch nachträgliches Glätten mit reduzierter Strahlleistung beseitigt werden. Die Zähigkeitseigenschaften des Schweissgutes sind nach dem Elektronenstrahlschweissen besonders gut.

Reibschweissen

Das Reibschweissen von Titanwerkstoffen hat sich im Turbinenbau gut etabliert, zumal die Gefahr der Gasaufnahme infolge kurzer Prozessdauer nur marginal ist. Günstig wirkt sich zudem aus, dass allfällig vorhandene Schmutzreste und Verzunderungen aus der Nahtmitte in den Wulst gedrückt werden, der nach dem Schweiessen entfernt werden muss, um die Gefahr der Kerbempfindlichkeit, die bei Titanwerkstoffen generell hoch ist, zu begrenzen. Im Hinblick auf häufig vorhandene dynamische und thermische Beanspruchungen ist dieser Punkt sehr ernst zu nehmen. Werkstoffkombinationen von Titanwerkstoffen mit austenitischen Rostfreistählen oder mit Aluminiumlegierungen lassen sich durch Reibschweissen ebenfalls erzeugen. In Verbindung mit anderen Metallen können sich spröde intermetallische Phasen bilden (z.B. mit Ni oder Cu), die auch bei vollständiger Löslichkeit (z.B. Mo) eine Härtezunahme durch Mischkristallbildung und somit eine Versprödung bewirken. In diesen Fällen sind relativ kalte Verfahren wie das Diffusionsschweissen in Betracht zu ziehen.

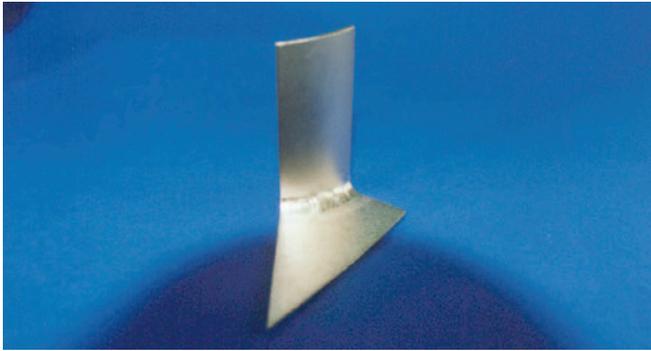


Abb. 7: WIG-Kehlnaht an Ti-6Al-4V
(RUAG Emmen)



Abb. 8: WIG-Ecknaht an Ti-6Al-4V
(RUAG Emmen)

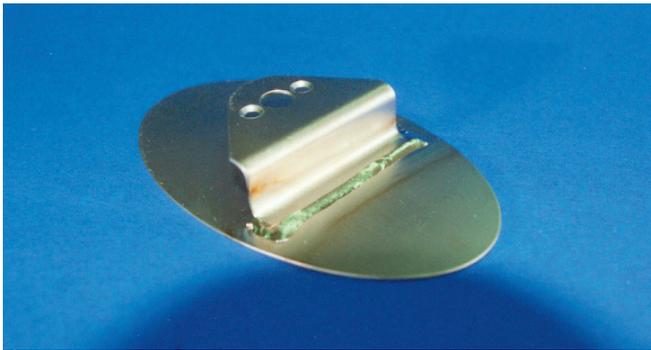


Abb. 9: WIG-Überlappnaht an
Ti-6Al-4V (RUAG Emmen)

Unterpulverschweissen

Das Unterpulverschweissen von Titanwerkstoffen ist erprobt und wird sowohl mit natriumfluoridhaltigen als auch mit NaF-freien Pulvern durchgeführt. Bei guter Pulverüberdeckung ist ein ausreichender Schutz vor atmosphärischen Gasen gegeben.

Zusammenfassung

Titanlegierungen sind in der Luft- und Raumfahrt, bei hohen korrosiven Beanspruchungen, aber auch in der Medizin aufgrund der besonderen Eigenschaften als moderne Werkstoffe etabliert und zeigen steigende Zuwachsraten. Titan zählt zu den gasempfindlichen Metallen und muss daher bei der schweisstechnischen Verarbeitung mit hochreinen Inertgasen, vorzugsweise Argon hoher Reinheit oder im Vakuum geschweisst werden. Die Reinigung der Fügeteile und des Zusatzwerkstoffs ist von ausschlaggebender Bedeutung. Bei Einhaltung der dargestellten Regeln ist Titan als gut schweisbar einzustufen.

Literatur:

Schreiber, F.
Verarbeitung von Sondermetallen
Radex-Rundschau
Heft 1, 1992, Seite 31–57
Österreich

Ruge, J.
Handbuch der Schweisstechnik
Band I: Werkstoffe
Springer Berlin 1980

DVS Merkblatt 2713
Schweissen von Titanwerkstoffen
DVS Verlag
Düsseldorf 1987

Krüger, U.
in: Fügen zukunftsweisender Werkstoffe
Schrift zum 6. Aachener Schweisstechnik-Kolloquium
Seite 109–126
Aachen 1999

Trube, S.
Schutzgasschweissen von A–Z
Schutzgase für Aluminium bis Zirkon
unveröffentlichter Bericht der Linde AG
Höllriegelskreuth 1998

Vorsprung durch Innovation

PanGas ist mehr. PanGas übernimmt mit zukunftsweisenden Produkt- und Gasversorgungskonzepten eine Vorreiterrolle im Markt. Als Technologieführer ist es unsere Aufgabe, immer wieder neue Massstäbe zu setzen. Angetrieben durch unseren Unternehmergeist arbeiten wir konsequent an neuen hochqualitativen Produkten und innovativen Verfahren.

PanGas bietet mehr – wir bieten Mehrwert, spürbare Wettbewerbsvorteile und erhöhte Profitabilität. Jedes Konzept wird exakt auf die Bedürfnisse unserer Kunden abgestimmt. Individuell und massgeschneidert. Das gilt für alle Branchen und für jede Unternehmensgrösse.

Wer heute mit der Konkurrenz von morgen mithalten will, braucht einen Partner an seiner Seite, für den höchste Qualität, Prozessoptimierungen und Produktivitätssteigerungen tägliche Werkzeuge für optimale Kundenlösungen sind. Partnerschaft bedeutet für uns jedoch nicht nur wir für Sie – sondern vor allem wir mit Ihnen. Denn in der Kooperation liegt die Kraft wirtschaftlichen Erfolgs.

PanGas – ideas become solutions.