

Préparation métallographique du titane

Le titane est un métal relativement nouveau et coûteux à produire, mais ses propriétés extraordinaires de haute résistance pour un poids léger et son excellente résistance à la corrosion et à la chaleur ont fait de lui et de ses alliages des matériaux de construction très prisés.

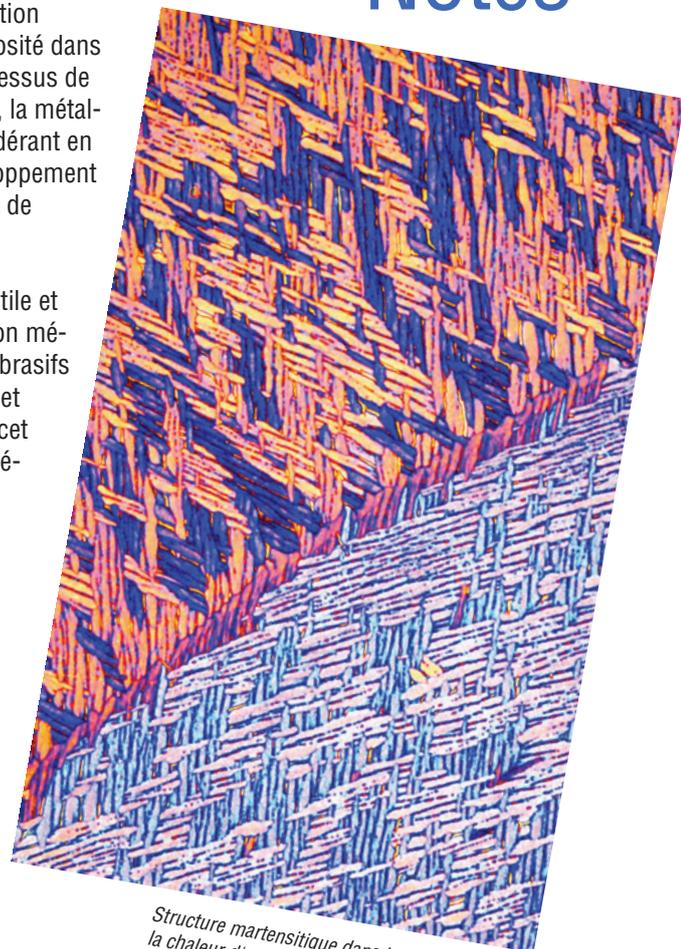
Le titane est remarquablement résistant à la corrosion provoquée par un grand nombre de produits chimiques. Son affinité pour l'oxygène, a pour résultat une couche d'oxyde stable mince, mais dense, auto-cicatrisante, formant une barrière efficace contre la corrosion naissante. De plus, le rapport élevé de résistance à poids maintenu à températures élevées, font du titane et de ses alliages des métaux de prédilection pour de nombreuses applications critiques. Le titane et ses alliages sont largement utilisés dans l'industrie aérospatiale et aéronautique, chimique et médicale, où tout ce qui touche à la sécurité est primordial. En conséquence, le contrôle qualité de la production et de l'usinage du titane est extrêmement important.

Voici pourquoi la **métallographie du titane** fait partie intégrante du contrôle qualité du titane, allant de la surveil-

lance du processus de production initial, aux contrôles de la porosité dans les pièces coulées et des processus de traitement thermique. De plus, la métallographie joue un rôle prépondérant en matière de recherche et développement des alliages et produits à base de titane.

Le titane est un métal très ductile et ayant tendance à la déformation mécanique. Pour les processus abrasifs en tronçonnage, prépolissage et polissage métallographiques, cet aspect doit être pris en considération.

Application Notes



Structure martensitique dans la zone influencée par la chaleur d'une soudure de tube. Réactif d'attaque: Weck, 1000 x

Difficultés lors de la préparation métallographique

Tronçonnage: le titane peut facilement se trouver surchauffé lors du tronçonnage et de grosses bavures peuvent alors apparaître:

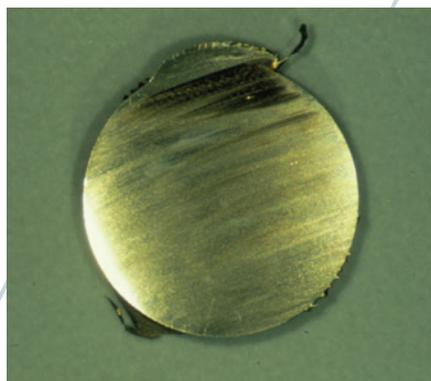


Fig. 1

Prépolissage et polissage: En raison de sa ductilité, le titane se déforme et se raye facilement:

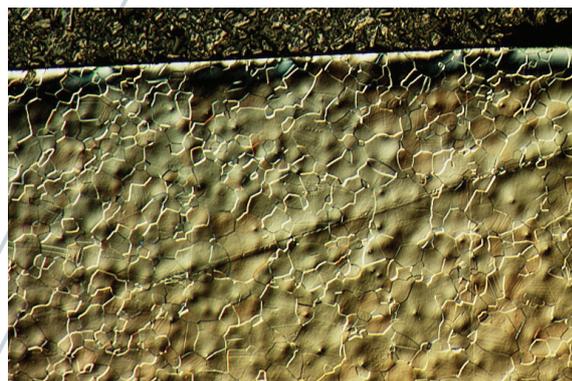


Fig. 2

DIC, 50 x

Solution

Meule de tronçonnage spéciale pour titane.

Polissage chimico-mécanique.

Polissage électrolytique.

Production et applications du titane

La production du titane se déroule en trois étapes:

1. La première étape est la production de l'éponge de titane qui implique la chloruration du minerai rutile (TiO_2). Du gaz de chlore et du coke sont combinés avec le rutile et réagissent pour former du tétrachlorure de titane. Cela est purifié par distillation puis réduit avec du magnésium à de l'éponge de titane et chlorure de magnésium.

2. Cette éponge de titane est alors broyée en une poudre granuleuse, mélangée à des chutes et/ou à des alliages tels que le vanadium, l'aluminium, le molybdène, l'étain et le zircon, puis fondue dans un four de réduction d'arc à vide afin de produire des lingots de titane.

3. Ces lingots de la première fonte sont alors utilisés dans une seconde fonte comme électrodes consommables. Ce processus s'appelle "double processus de fonte sous vide consommable-électrode". Dans le cas d'un titane très pur et propre, avec des structures très homogènes, une troisième fonte supplémentaire pourra être accomplie.

Lors d'une première étape de fabrication, les lingots coulés, soient cylindriques et de 15 tonnes métriques, soient carrés et de 10 tonnes métriques, sont forgés à chaud en produits de fraisage généraux tels que billettes plus petites, brammes, barres et plaques. Vu que les lingots coulés peuvent avoir une microstructure grossière inhérente, les rendant sensibles aux fissures, un contrôle rigoureux de la température et du processus de contrôle est maintenu lors du forgeage.

Les produits finis consistent en pièces forgées pour les applications aérospatiales ainsi que des brammes, barres, et autres charges pour traitement ultérieur en barre, tige, fil, feuille ou plaque. La Fig. 3 montre un défaut sur un lingot de titane laminé, de l'oxyde gris a été laminé dans la surface.

Une fabrication secondaire, pour produire des pièces à partir de produits de laminage, inclut des processus de fabrication

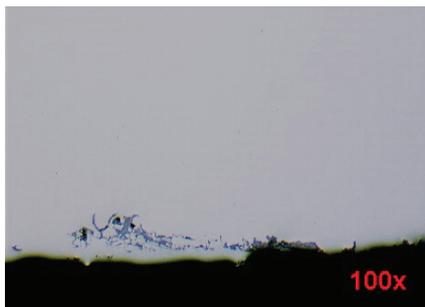


Fig. 3: Oxyde gris laminé dans la surface d'un lingot.

tels que le forgeage par matricage, l'extrusion, le matricage à chaud et à froid, etc. Le matricage à chaud du titane n'est pas seulement une procédure de façonnage, mais une méthode servant à produire et à contrôler la microstructure.

La résistance élevée/faible densité du titane font de lui un matériau essentiel dans l'industrie aérospatiale. Ses applications principales dans les moteurs de turbines à gaz, bagues de compresseur, disques, et gaines de distance, les conduits et les enveloppes de protection. Dans les avions, des charpentes structurelles en alliages de titane sont utilisées dans les pièces du dessous de la carlingue, les supports de moteur, et les pièces de mécanisme de contrôle, les feuilles et boulons de fixation pour la construction externe de la carcasse.

La résistance à la corrosion et la biocompatibilité remarquables du titane en font le matériau idéal pour l'industrie chimique, médicale et alimentaire, et pour la recherche et le développement marin. Avec son film passif aux oxydes,



Fig. 4: Entrance Experience Music Project, Seattle,



Fig. 5: Vis et plaquette d'os, oxydées électrochimiquement pour le codage couleur. Les couleurs sont le résultat des différentes épaisseurs de la couche oxydée.



Fig. 6: Implant de hanche avec revêtement CaP

il montre une résistance élevée à la corrosion contre les solutions de salines, les solutions d'acide nitrique, l'eau de mer, les fluides corporels, les jus de fruit et de végétaux. Des produits typiques sont les cuves de réaction, les échangeurs de chaleurs, soupapes et pompes; les dispositifs prosthétiques tels que les implants, les os artificiels, les stimulateurs cardiaques artificiels et les éléments de soupape. L'alliage le plus largement utilisé pour ces produits est le Ti-6Al-4V.

Son poids léger, associé à son aspect esthétique, en fait un métal de prédilection pour les produits de consommation hauts de gamme, tels que la bijouterie et l'architecture: clubs de golf, lunettes de vue, vélos et montres et en architecture, il est utilisé pour les façades décoratives (Fig. 4).



Difficultés de préparation du titane



Le problème principal relatif à la préparation du titane en vue de l'observation microscopique est sa ductilité élevée qui rend le titane difficile à tronçonner, prépolir et polir. Dans les recommandations suivantes, des conseils spécifiques sont donnés sur comment faire face à ce comportement typique du titane.

Recommandations pour la préparation du titane et de ses alliages

Tronçonnage: en raison de sa ductilité élevée, le titane produit de longs copeaux lorsqu'il est usiné ou tronçonné, ce qui rend le tronçonnage métallographique avec des meules de tronçonnage en oxyde d'aluminium ordinaires tout à fait inefficace. Un dommage thermique peut facilement survenir (voir Fig. 1) et c'est pour cela que des meules de tronçonnage spéciales en carbure de silicium ont été développées spécifiquement pour le tronçonnage du titane (Par exemple 20S30 et 20S35).

Le tronçonnage du titane peut également dégager une odeur caractéristique pouvant s'accroître lors du tronçonnage des pièces grandes ou des quantités importantes. Dans ces cas-là, il est recommandé de connecter un système d'aspiration à la machine de tronçonnage.

Enrobage: Dans les laboratoires de contrôle de production primaires, qui contrôlent en particulier les lingots, billettes et plaques, les grands échantillons de titane ne sont pas enrobés pour le traitement métallographique. En ce qui concerne les pièces manufacturées plus petites devant être enrobées, telles que fils ou boulons de fixation, un enrobage à chaud dans de la résine phénolique (MultiFast) ou un enrobage à froid dans de l'époxy à durcissement lent (EpoFix) est recommandé.

Prépolissage et polissage: Son extrême ductilité fait que le titane a tendance à la déformation mécanique et aux rayures, ce qui nécessite un polissage chimico-mécanique. La méthode automatique en trois étapes décrite au Tableau 1 est une procédure ayant fait ses preuves et

donnant des résultats excellents et reproductibles. La première étape est un prépolissage plan sur une feuille de SiC. Le prépolissage plan est suivi d'une simple étape de prépolissage fin sur un support dur tel que MD-Largo ou MD-Plan. Comme abrasif, soit une suspension diamantée 9 µm ou DiaPro Allegro/Largo 9 ou DiaPro Plan 9 sont utilisées.

Lorsque du titane plus dur, tel que les alliages α/β ou β sont préparés, le prépolissage plan sur MD-Piano 120 ou 220 peut s'avérer plus efficace, particulièrement lorsque des échantillons grands, non-enrobés et nombreux doivent être préparés.

Le prépolissage plan du titane pur doit toujours avoir lieu sur feuille de SiC.

La troisième étape finale est un **polissage chimico-mécanique** avec un mélange de silice colloïdale (OP-S) et de peroxyde d'hydrogène (30%). La concentration peut varier entre 10 et 30%.

Contrairement à certaines autres silices colloïdales, OP-S a été développée pour s'adapter aux additions chimiques sans se gélifier, et est donc fortement recommandée pour le polissage du titane. Lors du polissage chimico-mécanique, le produit de réaction du peroxyde d'hydrogène avec le titane est éliminé en continu à la surface de l'échantillon par la suspension à la silice et laisse la surface exempte de déformation mécanique. Des références dans les ouvrages à ce sujet mentionnent aussi des mélanges d'acide nitrique et hydro-fluorure pour le polissage chimico-mécanique du titane.

Ces réactifs d'attaque peuvent agir plus rapidement, cependant, Struers ne recommande pas leur utilisation pour le polissage, car ils sont plus corrosifs que

Méthode de préparation

Prépolissage

Etape		PG	FG 1
	Support	MD-Mezzo	MD-Largo
	Abrusif	Type	Diamant
		Taille	#220
	Suspension / Lubrifiant	Eau	DiaPro Allegro/Largo
	t/m	300	150
	Force [N]/échantillon	40 ***	30
	Temps (mn)	Jusqu'à planéité	5

Polissage

Etape		OP	
	Support	MD-Chem	
	Abrusif	Type	Silice colloïdale
		Taille	0,04 µm
	Suspension / Lubrifiant	OP-S*	
	t/m	150	
	Force [N]/échantillon	30 par échant.	
	Temps (mn)	5 **	

Tableau 1 indique une méthode de préparation générale, automatique pour le titane et ses alliages avec 6 échantillons non-enrobés, 30 mm de diam., bridés dans un porte-échantillons. Veuillez noter que le temps de polissage peut varier selon la pureté du titane et la zone de la surface de l'échantillon.

* Mélanger 90 ml d'OP-S avec 10 ml H₂O₂ (30%).

** Le temps de polissage dépend de la surface de l'échantillon. Les échantillons très grands nécessitent un temps de polissage plus prolongé que les petits.

*** Diminuer à 25 N pour éviter le phénomène "mine de crayon" lors de la préparation des échantillons individuels.

Noter: au cours des dernières 10 secondes de l'étape de préparation à l'OP-S, le drap en rotation est aspergé d'eau. Cela va nettoyer les échantillons, le porte-échantillons et le drap.

le peroxyde d'hydrogène et des précautions à la mesure devront être prises lors de la manipulation de ces acides dans la procédure de polissage. Lors du travail avec le peroxyde d'hydrogène, le port de gants en caoutchouc est recommandé.

Si ce polissage chimico-mécanique n'est pas utilisé, la surface de l'échantillon de titane montrera une apparence très rayée, et il est pratiquement impossible d'obtenir un bon polissage avec du diamant seulement. Contrairement à la procédure habituelle d'utilisation de diamants de plus en plus fins pour le polissage, le polissage diamanté introduit continuellement des déformations mécaniques laissant des rayures et un beurrage sur la surface (voir fig. 7).



Fig. 7: Titane après pol. diam. 3 µm. Déformation et rayures toujours présentes.

Une fois introduite, cette couche de déformation est difficile à enlever même avec le mélange silice colloïdale et peroxyde d'hydrogène. Donc, le polissage diamanté devra être évité, surtout avec le titane «commerciallement pur».

Le temps de préparation va dépendre de la surface de l'échantillon et de l'alliage. Plus l'échantillon est grand et plus le titane est pur, plus l'étape finale de polissage aux oxydes est longue, et peut prendre jusqu'à 10 minutes pour le titane commerciallement pur, pouvant même aller jusqu'à 45 mn. Une surface de titane correctement polie est blanche lorsqu'elle est examinée au microscope optique, et le polissage doit se prolonger jusqu'à ce que la surface ait atteint cette condition.

Grâce au processus de production, le titane et ses alliages sont très propres, ce qui signifie que les petits points noirs qui apparaissent sur une surface polie sont des restes provenant des déformations du prépolissage et non des inclusions ou une partie de la structure.

Cet artefact doit être éliminé par un polissage chimico-mécanique ultérieur. Une fois la surface suffisamment polie, la structure peut déjà être observée à la lumière polarisée sans attaque (voir Fig.8).

Noter: Lorsque l'on travaille avec la silice colloïdale (OP-S), il est important de mouiller le drap avec de l'eau avant de commencer le polissage. Pour nettoyer les échantillons, il est essentiel d'asperger d'eau le drap en rotation pendant environ 10 à 15 secondes avant l'arrêt de la machine. L'eau rincera l'OP-S des échantillons, du porte-échantillons et du drap. Les échantillons sont alors de nouveau nettoyés individuellement à l'eau du robinet, puis séchés à l'éthanol et à un courant d'air puissant. Si, après l'étape de nettoyage, il reste toujours de l'OP-S visible à la surface de l'échantillon, le nettoyage n'a pas été suffisant et doit être répété. Une méthode de nettoyage efficace et reproductible peut être réalisée automatiquement sur l'équipement de nettoyage Lavamin.

Méthode de préparation

Prépolissage

Etape		PG	FG 1	FG 2
	Support	SiC Foil #320	MD-Largo	MD-Chem
	Abrusif	Type	Diamant	Silice colloïdale
		Taille	9 µm	0,04 µm
	Suspension/Lubrifiant	Eau	DiaPro Allegro/Largo	OP-S*
	t/m	300	150	150
	Force [N] échantillon	15	20	20
	Temps (mn)	Jusqu'à planéité	5	10-25 (ou plus long)

Polissage électrolytique

*80% OP-S + 10% H₂O₂ (30%) + 10% NH₄OH (25%)

Equipement:	LectroPol-5
Electrolyte:	A3
Taille masque:	1 cm ²
Température:	Température ambiante 18-20°C
Flux:	10-15
Courant:	35-45 V
Temps:	20-30 sec.

Tableau 2 indique une méthode de préparation automatique, générale, pour le titane pur avec 6 échantillons non-enrobés, 30 mm de diam., bridés dans un porte-échantillons.

En outre, le polissage électrolytique ne laisse aucune déformation mécanique sur la surface de l'échantillon.

Ceci pourrait être tout particulièrement pertinent pour les applications dans le domaine de la recherche. Les alliages α , ayant une structure homogène, sont particulièrement indiqués pour le polissage électrolytique, mais les alliages α - β également peuvent être polis électrolytiquement.

La procédure de polissage électrolytique demande une surface finement prépolie à une granulométrie de 1200# ou plus fine. Le Tableau 2 décrit une procédure générale pour le titane et les alliages de titane. Après le polissage électrolytique, l'échantillon poli est examiné à la lumière polarisée ou attaqué chimiquement (réactifs d'attaque, voir au paragraphe «Attaque et interprétation»).



En alternative au polissage mécanique, **le polissage électrolytique** peut être recommandé lorsque des résultats rapides sont requis. Des méthodes de polissage électrolytique sont particulièrement appropriées pour les raisons suivantes: rapidité des résultats, facilité des opérations, reproductibilité.



Fig. 8: Coupe transversale d'un lingot, titane commerciallement pur, poli électrolytiquement, 100 x, lumière polarisée.

Attaque et interprétation

Comme mentionné auparavant, la surface bien polie d'un échantillon de titane peut déjà être observée non-attaquée à la lumière polarisée. Le contraste avec cet éclairage n'est pas toujours très prononcé, mais il est idéal pour un contrôle général permettant de voir si le polissage est suffisant.

Le réactif d'attaque chimique le plus commun pour le titane est le réactif de Kroll:
100 ml d'eau
1-3 ml d'acide hydrofluorique
2-6 ml d'acide nitrique

La concentration peut varier selon l'alliage et peut être ajustée individuellement. Cela colore la phase β en marron foncé. L'attaque colorée du titane avec le réactif de Weck:
100 ml d'eau
5 g de bifluorure d'ammonium

Métallurgie et microstructures

Les différents types de titane et d'alliages de titane commerciaux sont répartis en quatre catégories: titane commercialement pur, les alliages α et quasi α tels que les alliages Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo, α - β , parmi lesquels Ti-6Al-4V est le plus connu, et les alliages β avec leur contenu élevé en vanadium, chrome et molybdène.

Le titane subit un changement allotropique passant d'une structure hexagonale condensée à basse température (α) à un réseau cubique à phase centrée (β), à une température de 882°C.

Cette transformation permet d'obtenir des alliages avec microstructures α , β , ou mixtes α/β , et offre la possibilité d'utiliser un traitement thermique et thermomécanique.

Ainsi, un large éventail de caractéristiques peuvent être obtenues à partir d'un nombre relativement restreint de compositions d'alliages. Pour assurer la combinaison désirée de microstructures et de propriétés, un contrôle minutieux du processus doit être poursuivi. En conséquence, la métallographie joue un rôle majeur en faisant en sorte que les produits aient la microstructure correcte, ce qui en revanche reflète le degré approprié de contrôle du processus.

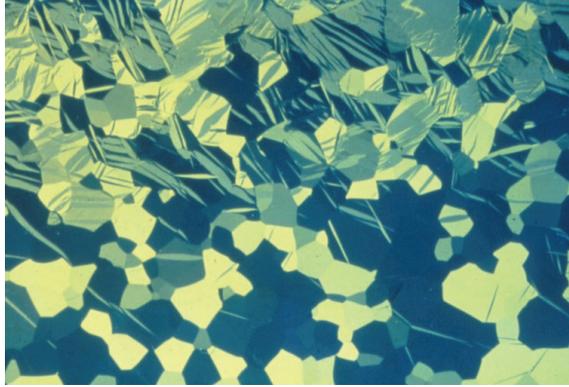


Fig. 9: Structure du grain d'un titane commercialement pur, lumière polarisée, 100 x

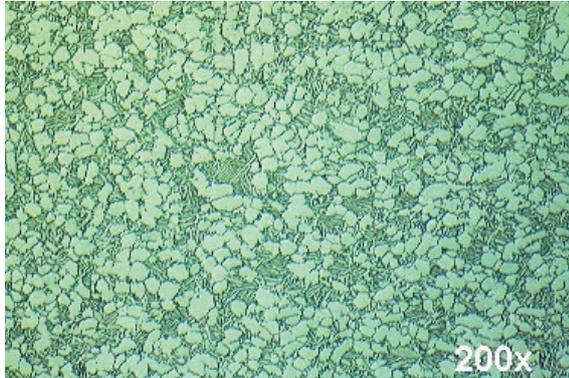


Fig. 10: Structure d'un Ti-6Al-4V α - β forgé, 400 x

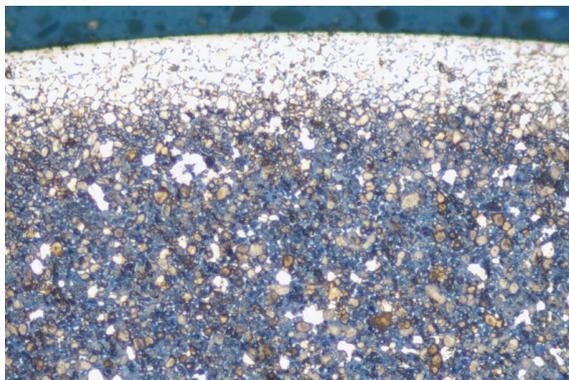


Fig. 11: Ti-6Al-4V α - β avec une couche superficielle «surface α » blanche et friable, 50 x

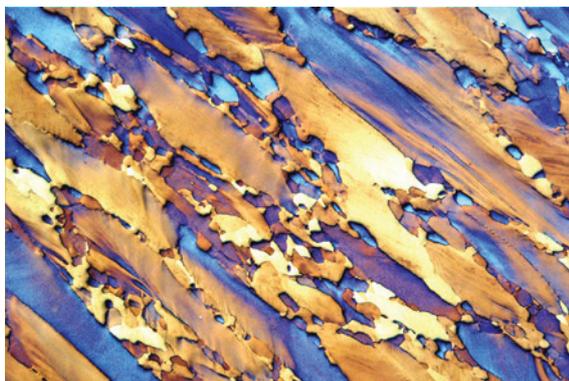


Fig. 12: Ti5V3Al3Sn3Cr β , coloré thermiquement, 50 x

Le rapport entre le façonnage à chaud, le traitement thermique, la microstructure et les propriétés physiques dans la production du titane sont très complexes. Dans ce qui suit, seuls quelques exemples des types les plus communs de microstructures de titane sont décrits.

Fig. 9 montre la structure de grain d'une pièce de titane «commerciale pur» qui a été mécaniquement déformée par flexion. L'hémitropie, due à la déformation mécanique, est visible.

Fig. 10 montre la structure d'un Ti-6Al-4V α - β forgé d'un implant orthopédique en condition de recuit, réactif d'attaque: Kroll.

Fig. 11 montre un Ti-6Al-4V α - β avec couche superficielle «surface α » blanche, friable, réactif d'attaque: Weck. Bien que les processus de façonnage à chaud soient accomplis sous atmosphère contrôlée, le titane peut absorber de l'oxygène déjà à basses températures, ce qui donne une zone de surface durcie, «surface α ». Il s'agit d'une couche très

friable qui ne peut être enlevée que mécaniquement. (Noter: la surface α n'est pas révélée avec le réactif d'attaque de Kroll, mais avec du bifluorure).

Fig. 12 montre la structure β d'une coupe longitudinale d'une plaque d'alliage Ti-15V-3Al-3Sn-3Cr. Elle est utilisée dans l'industrie aéronautique en raison de ses propriétés mécaniques excellentes. Réactif d'attaque: coloré thermiquement.

Résumé

Le titane est très ductile, léger - un métal à haute résistance montrant une excellente résistance à la corrosion et biocompatibilité. Sa ductilité nécessite une préparation métallographique spécifique, à l'aide de meules de tronçonnage spéciales pour le tronçonnage et un polissage chimico-mécanique par un mélange de peroxyde d'hydrogène et de silice colloïdale. Cette méthode de polissage, réalisée sur un équipement automatique, donne, de façon constante, des résultats excellents et reproductibles.

Notes d'application

Préparation métallographique du titane

Bill Taylor,
Struers Ltd, Glasgow

Elisabeth Weidmann,
Struers A/S, Copenhague

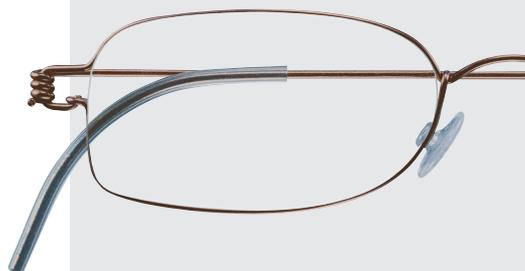
Remerciements:

Nous désignons remercier la société Aesculap, Tuttlingen, Allemagne, pour nous avoir fourni des informations sur le titane, et la permission de reproduire les Figs No 5, 6 et 11. Nous remercions Wah Chang North, Albany, Oregon, Etats-Unis pour nous avoir prodigué le matériau échantillon ainsi que M. Paul Danielson de Albany Research Centre, Albany, Oregon, Etats-Unis pour les micrographies en couleur de la page d'entête et la Fig. No 12. Nous remercions Lindberg, Aabyhoj, Danemark, pour nous avoir laissé reproduire l'image des lunettes, modèle Air Titanium, ainsi que Experience Music Project, Seattle, Etat-Unis pour la reproduction de la Fig 4.

Bibliographie:

Metals Handbook, Desk edition, ASM, 1984

Détails d'une monture de lunettes en titane. La résistance et ductilité élevées du titane rendent superflues les vis et soudures sur ces montures.



AUSTRALIA & NEW ZEALAND
Struers Australia
 27 Mayneview Street
 Milton QLD 4064
 Australia
 Phone +61 7 3512 9600
 Fax +61 7 3369 8200
 info.au@struers.dk

BELGIUM (Wallonie)
Struers S.A.S.
 370, rue du Marché Rollay
 F- 94507 Champigny
 sur Marne Cedex
 Téléphone +33 1 5509 1430
 Télécopie +33 1 5509 1449
 struers@struers.fr

BELGIUM (Flanders)
Struers GmbH Nederland
 Zomerdijk 34 A
 3143 CT Maassluis
 Telephone +31 (10) 599 7209
 Fax +31 (10) 5997201
 netherlands@struers.de

CANADA
Struers Ltd.
 7275 West Credit Avenue
 Mississauga, Ontario L5N 5M9
 Phone +1 905-814-8855
 Fax +1 905-814-1440
 info@struers.com

CHINA
Struers Ltd.
 No. 1696 Zhang Heng Road
 Zhang Jiang Hi-Tech Park
 Shanghai 201203, P.R. China
 Phone +86 (21) 6035 3900
 Fax +86 (21) 6035 3999
 struers@struers.cn

CZECH REPUBLIC & SLOVAKIA
Struers GmbH Organizační složka
 vědeckotechnický park
 Ptilpěská 1920,
 CZ-252 63 Roztoky u Prahy
 Phone +420 233 312 625
 Fax +420 233 312 640
 czechrepublic@struers.de
 slovakia@struers.de

GERMANY
Struers GmbH
 Carl-Friedrich-Benz-Straße 5
 D- 47877 Willich
 Telefon +49 (0) 2154 486-0
 Fax +49 (0) 2154 486-222
 verkauf@struers.de

FRANCE
Struers S.A.S.
 370, rue du Marché Rollay
 F-94507 Champigny
 sur Marne Cedex
 Téléphone +33 1 5509 1430
 Télécopie +33 1 5509 1449
 struers@struers.fr

HUNGARY
Struers GmbH
 Magyarországi Fióktelepe
 2040 Budaörs
 Szabadság utca 117
 Phone +36 2380 6090
 Fax +36 2380 6091
 Email: hungary@struers.de

IRELAND
Struers Ltd.
 Unit 11 Evolution@ AMP
 Whittle Way, Catcliffe
 Rotherham S60 5BL
 Tel. +44 0845 604 6664
 Fax +44 0845 604 6651
 info@struers.co.uk

ITALY
Struers Italia
 Via Monte Grappa 80/4
 20020 Arese (MI)
 Tel. +39-02/38236281
 Fax +39-02/38236274
 struers.it@struers.it

JAPAN
Marumoto Struers K.K.
 Takanawa Muse Bldg. 1F
 3-14-13 Higashi-Gotanda,
 Shinagawa
 Tokyo
 141-0022 Japan
 Phone +81 3 5488 6207
 Fax +81 3 5488 6237
 struers@struers.co.jp

Struers ApS

Pederstrupvej 84
 DK-2750 Ballerup, Denmark
 Phone +45 44 600 800
 Fax +45 44 600 801
 struers@struers.dk
 www.struers.com

NETHERLANDS
Struers GmbH Nederland
 Zomerdijk 34 A
 3143 CT Maassluis
 Telephone +31 (10) 599 7209
 Fax +31 (10) 5997201
 netherlands@struers.de

NORWAY
Struers ApS, Norge
 Sjøskogerveien 44C
 1407 Vinterbro
 Telefon +47 970 94 285
 info@struers.no

AUSTRIA
Struers GmbH
 Zweigniederlassung Österreich
 Betriebsgebiet Puch Nord 8
 5412 Puch
 Telefon +43 6245 70567
 Fax +43 6245 70567-78
 austria@struers.de

POLAND
Struers Sp. z o.o.
 Oddział w Polsce
 ul. Jasnogórska 44
 31-358 Kraków
 Phone +48 12 661 20 60
 Fax +48 12 626 01 46
 poland@struers.de

ROMANIA
Struers GmbH, Sucursala
Bucuresti
 Str. Preciziei nr. 6R
 062203 sector 6, Bucuresti
 Phone +40 (31) 101 9548
 Fax +40 (31) 101 9549
 romania@struers.de

SWITZERLAND
Struers GmbH
 Zweigniederlassung Schweiz
 Weissenbrunnstraße 41
 CH-8903 Birmsdorf
 Telefon +41 44 777 63 07
 Fax +41 44 777 63 09
 switzerland@struers.de

SINGAPORE
Struers Singapore
 627A Aljunied Road,
 #07-08 BizTech Centre
 Singapore 389842
 Phone +65 6299 2268
 Fax +65 6299 2661
 struers.sg@struers.dk

SPAIN
Struers España
 Camino Cerro de los Gamos 1
 Building 1 - Pozuelo de Alarcón
 CP 28224 Madrid
 Teléfono +34 917 901 204
 Fax +34 917 901 112
 struers.es@struers.es

FINLAND
Struers ApS, Suomi
 Hietalahdenranta 13
 00180 Helsinki
 Puhelin +358 (0)207 919 430
 Faksi +358 (0)207 919 431
 finland@struers.fi

SWEDEN
Struers Sverige
 Box 20038
 161 02 Bromma
 Telefon +46 (0)8 447 53 90
 Telefax +46 (0)8 447 53 99
 info@struers.se

UNITED KINGDOM
Struers Ltd.
 Unit 11 Evolution @ AMP
 Whittle Way, Catcliffe
 Rotherham S60 5BL
 Tel. +44 0845 604 6664
 Fax +44 0845 604 6651
 info@struers.co.uk

USA
Struers Inc.
 24766 Detroit Road
 Westlake, OH 44145-1598
 Phone +1 440 871 0071
 Fax +1 440 871 8188
 info@struers.com