Examencommissie Octrooigemachtigden

Tentamen Octrooigemachtigden

Tentamen *"Opstellen van een octrooiaanvraag" (deel A)*

chemie

---

7 oktober 2025

13.30 – 17.30 uur

TENTAMENOPGAVE ‘OPSTELLEN VAN EEN OCTROOIAANVRAAG’ (A) CHEMIE – 2025

U krijgt bezoek van een hoogleraar materiaalkunde aan een bekende Nederlandse universiteit. Hij vertelt u het volgende:

Binnen de vakgroep materiaalkunde aan zijn universiteit wordt al jaren gewerkt aan titaanlegeringen voor toepassing in vliegtuigen en in de ruimtevaart. Dit heeft geleid tot een PCT-aanvraag, die volgende week, 18 maanden na de prioriteitsdatum, zal worden gepubliceerd. De tekst van de PCT-aanvraag stemt volledig overeen met de tekst van de prioriteitsaanvraag.

Ongeveer een jaar geleden is de hoogleraar een eigen bedrijf begonnen om deze technologie commercieel te exploiteren. Zijn bedrijf, Space Alloys Incorporated, heeft hiervoor van de universiteit onder strikte geheimhouding een wereldwijde exclusieve licentie gekregen op de PCT-octrooiaanvraag en op de know-how die in deze octrooiaanvraag is vervat.

Het werk binnen Space Alloys Incorporated heeft inmiddels geleid tot een aantal nieuwe inzichten. Op basis hiervan zijn verscheidene nieuwe titaanlegeringen ontwikkeld die uitermate geschikt zijn voor een aantal specifieke toepassingen binnen de ruimtevaart.

De hoogleraar vertelt u ook dat de decaan van de vakgroep materiaalkunde aan zijn universiteit binnenkort met emeritaat gaat en dat hij is gevraagd om een bijdrage te leveren aan het “Liber Amicorum” dat haar bij haar publieke afscheid - ook volgende week - door haar voormalige postdocs zal worden aangeboden. In het manuscript dat hij hiervoor heeft geschreven, en dat hij bij het afscheid ook als lezing gaat voordragen, staan alle nieuwe ideeën beschreven die in het afgelopen jaar binnen zijn bedrijf zijn ontwikkeld.

De hoogleraar geeft u de PCT-aanvraag en het manuscript (beide zijn bijgevoegd en nog niet gepubliceerd) en vraagt u, met betrekking tot de octrooieerbare materie die volgens hem in het manuscript staat, één octrooiaanvraag op te stellen. Hij wenst een duidelijke probleemstelling ten opzichte van de stand der techniek te zien en ziet graag de voordelen van zijn legeringen benadrukt, waarbij hij benadrukt dat het commercieel belang van de nieuwe legeringen nog moet blijken.

Hij zegt u ook dat u hiervoor - indien dat helpt - delen van zijn toespraak en van de reeds bestaande octrooiaanvraag kunt gebruiken/kopiëren.

Toespraak bij het afscheid van Prof. Derbyshire.

Ik denk met veel plezier en veel dank terug aan mijn samenwerking met Delia (want ik mag Delia zeggen); een samenwerking die teruggaat naar de tijd dat ik een postdoc was binnen haar vakgroep.

Het is dankzij haar pionierswerk in de jaren negentig dat eutectische legeringen waarbij vanadium (V) en boor (B) worden toegevoegd aan een, in het Engels, "titanium-based matrix" nu algemeen worden toegepast in de ruimtevaart. In de woorden van de jongste editie van het alom bekende standaardwerk "Metallurgy for Space Applications": "*Every time a solar panel unfolds anywhere in the solar system, you can be sure its titanium-alloy hinges will contain around 3 percent vanadium and around 0.75 percent boron*".

Zo is Delia, en dat is niet algemeen bekend, de uitvindster van "Vibranium", een materiaal, behorende tot die eutectische legeringen, dat recentelijk zelfs zijn opgang heeft gemaakt in "Hyperloop Pods" en het Marvel Cinematic Universe.

Ook de nieuwste titaanlegeringen die wij binnen Space Alloys Incorporated ontwikkeld hebben ontlenen hun unieke eigenschappen voor een groot deel aan de aanwezigheid van vanadium en boor.

Delia's recente werk heeft geleid tot een aantal baanbrekende inzichten als het gaat om legeringen van titaan en verarmd uranium. Deze inzichten bieden een eerste oplossing voor een aantal specifieke problemen die inherent zijn aan het ontwikkelen van materialen die bedoeld zijn voor gebruik in ruimtevaartuigen.

Een ideaal materiaal voor toepassing in ruimtevaartuigen moet namelijk bescherming bieden tegen straling, zeker bij lage temperaturen. Anderzijds moet het materiaal niet te zwaar zijn. Bijvoorbeeld, metalen met een zeer hoge dichtheid zoals lood en verarmd uranium bieden zeer goede bescherming tegen straling, maar hebben een te hoge dichtheid om gebruikt te worden in grote en/of structurele onderdelen.

Beta-legeringen van titaan zijn licht en sterk, en bestand tegen hoge temperaturen, maar worden broos wanneer zij worden blootgesteld aan een combinatie van lage temperaturen en intense straling.

En het combineren met aluminium, dat licht is en op dit moment veel gebruikt wordt als bescherming tegen straling in ruimtevaartuigen (hoewel het hierin niet zo half zo goed is als uranium of lood), is uitgesloten omdat het combineren van aluminium en titaan leidt tot legeringen van het voor ons doel ongewenste alfa-type.

Dit alles geeft een goed beeld van de uitdagingen waarvoor wij ons gesteld zien.

Zoals gezegd heeft Delia hierin een belangrijke eerste stap gezet, door aan te tonen dat bepaalde verhoudingen van titaan en uranium leiden tot legeringen van het gewenste beta-type. Dit heeft geleid tot materialen waarin de gunstige eigenschappen van titaanlegeringen en uraniumlegeringen gecombineerd kunnen worden, maar bij aanzienlijk lagere dichtheid dan die van bekende uraniumlegeringen zoals STABALLOY en STAKALLOY.

En uiteraard, Delia's nieuwe legeringen bevatten weer vanadium en boor, in de hoeveelheden die bekend zijn uit haar eerdere werk.

Delia's nieuwe inzichten zijn ook octrooieerbaar, en haar octrooiaanvraag zal komende week publiek worden. Wij van Space Alloys Incorporated zijn zeer blij dat wij kunnen aankondigen dat wij bij onze oprichting eind vorig jaar een wereldwijde exclusieve licentie hebben gekregen op deze octrooiaanvraag en op de onderliggende know-how, om deze technologie verder te ontwikkelen tot hoog-gespecialiseerde materialen voor de ruimtevaart en andere toepassingen.

Ik kan u zeggen dat wij in deze tijd niet stil hebben gezeten. Een van onze nieuwe materialen is sinds een paar weken op de markt en de eerste bestellingen zijn al bij onze klanten bezorgd. En vandaag kan ik u de wereldwijde primeur geven van nog andere materialen die wij het komende jaar op de markt gaan brengen.

Het materiaal dat wij nu sinds een paar weken op de markt brengen hebben we de naam "MaINtainIUM" gegeven. Maintainium bevat naast ongeveer 46 gewichtsprocent titaan en ongeveer 46 gewichtsprocent uranium, ook ongeveer 2 gewichtsprocent molybdeen (Mo) en 2,5 gewichtsprocent indium (In) (en daarnaast ongeveer 3 gewichtsprocent vanadium en ongeveer 0,5 gewichtsprocent boor).

Maintainium heeft de eigenschap dat het zijn eigenschappen behoudt wanneer het wordt blootgesteld aan opeenvolgende cycli van zeer hoge en zeer lage temperaturen (vandaar de naam “MAINTAINium”). We denken dat Maintainium in het bijzonder geschikt is voor impactors en penetrators die gebruikt worden voor missies naar planeten en manen met een atmosfeer (zoals Mars, Venus en de maan Titan), omdat deze vaartuigen dan na maanden of soms zelfs jaren in de extreme koude in de ruimte binnen een tijdspanne van enkele minuten worden blootgesteld aan de zeer hoge wrijving en temperaturen die optreden wanneer een ruimtevaartuig met hoge snelheid de atmosfeer van een planeet of maan binnentreedt.

Een van onze andere legeringen noemen we intern “REtainium”, omdat deze naast ongeveer 47 gewichtsprocent titaan en ongeveer 47,5 gewichtsprocent uranium ook ongeveer 2 gewichtsprocent renium (Re) bevat (en daarnaast ongeveer 3 gewichtsprocent vanadium en ongeveer 0,5 gewichtsprocent boor). Net als Maintainium behoudt Retainium zijn eigenschappen bij cryogene temperaturen (vandaar de naam “RETAINium”), maar het belangrijkste voordeel van Retainium is dat het zeer gemakkelijk machinaal kan worden verwerkt tot gevormde producten, waaronder precisiematerialen. We verwachten Retainium ergens in het komende jaar op de markt te gaan brengen.

Retainium heeft echter het nadeel dat renium relatief zeldzaam en daarom duur is, en ook de prijs van molybdeen voor gebruik in Maintainium is de laatste jaren flink gestegen omdat het hier op aarde gebruikt wordt voor de productie van technologisch hoogwaardige staalproducten. We hebben daarom ook een goedkoper alternatief ontwikkeld op basis van nikkel (een van de meest voorkomende metalen op aarde) en kobalt (dat relatief goedkoop is omdat het kan worden verkregen als een bijproduct bij de winning van andere metalen zoals nikkel en koper). Deze legering, die naast ongeveer 46 gewichtsprocent titaan, ongeveer 46 gewichtsprocent uranium, ongeveer 2,5 gewichtsprocent kobalt (Co) en ongeveer 2 gewichtsprocent nikkel (Ni) bevat (en daarnaast ongeveer 3 gewichtsprocent vanadium en ongeveer 0,5 gewichtsprocent boor), heeft iets mindere eigenschappen dan Maintanium en Retainium en is ook iets moeilijker te verwerken tot precisie-onderdelen dan Retainium. Echter, omdat het veel goedkoper is kan het een goede keuze zijn voor relatief grote onderdelen van ruimtevaartuigen zoals buitenwanden, omhulsels en schilden. We hebben het daarom de naam “CONtainium” gegeven. Het plan is om Containium tegelijkertijd met Retainium op de markt te brengen.

Een van onze andere nieuwe ontwikkelingen is een legering van ongeveer 46 gewichtsprocent titaan, ongeveer 46 gewichtsprocent uranium, ongeveer 3 gewichtsprocent niobium (Nb) en ongeveer 2 gewichtsprocent boor (B) (en daarnaast vanadium in de op zichzelf bekende hoeveelheid van ongeveer 3 gewichtsprocent). We noemen deze legering "UNoBtainium", niet alleen omdat het niobium en boor bevat, maar ook omdat het eindelijk een oplossing lijkt te bieden voor een probleem dat lange tijd onoplosbaar leek, namelijk een materiaal dat dezelfde bescherming biedt tegen straling als lood of verarmd uranium, maar bij een gewicht dat veel lager ligt dan bij onderdelen uit deze metalen. Het is namelijk gebleken dat Unobtainium weliswaar ongeveer dezelfde dichtheid heeft als lood (dat een dichtheid heeft die ongeveer 70 procent is van de dichtheid van uranium), maar dat het door de aanwezigheid van de 2 gewichtsprocent boor een vermogen om straling te absorberen heeft dat ongeveer twee tot drie keer hoger ligt dan dat van lood, dat van uranium en ook dat van bekende eutectische titaanlegeringen die de tot dusverre voor titaanlegeringen gangbare hoeveelheden boor bevatten (tot een maximum van 0,9 gewichtsprocent). Dat de toepassing van boor in gewichtspercentages hoger dan 0,9% in legeringen die titaan, uranium en vanadium bevatten toch tot eutectische legeringen leidt, lijkt vooralsnog alleen bij de aanwezigheid van niobium mogelijk.

Een en ander betekent bijvoorbeeld dat een stralingsschild van Unobtainium tot 50% dunner kan zijn dan een stralingsschild van lood, hetgeen een aanzienlijke gewichtsbesparing betekent. We denken daarom dat Unobtainium, wanneer het volgend jaar op de markt gaat komen, niet alleen toepassing gaat vinden in de ruimtevaart, maar ook in andere toepassingen waarbij het wenselijk is om het gewicht van stralingsbescherming terug te brengen, zoals bijvoorbeeld in beschermende kleding.

Tenslotte is er het product dat wij de naam Sustainium hebben gegeven. Sustainium is een beta-legering die ongeveer 47 gewichtsprocent titaan, ongeveer 47 gewichtsprocent uranium en ongeveer 2,5 gewichtsprocent tin (Sn) bevat (en daarnaast ongeveer 3 gewichtsprocent vanadium en ongeveer 0,5 gewichtsprocent boor). Ook dit product is bestand tegen opeenvolgende cycli van zeer hoge en zeer lage temperaturen, in vergelijkbare mate als Containium. Het is ook qua prijs en andere eigenschappen vergelijkbaar met Containium, maar het verrassende aan Sustainium is dat het, ondanks de aanwezigheid van tin (wat een bekende "alpha-stabilizer" is) de vorm van een beta-legering behoudt (vandaar de naam SUSTAINium).

En uiteraard, zoals gezegd en zoals u kunt zien in de onderstaande (LEES: achter mij geprojecteerde) tabel, bevatten al onze nieuwe legeringen boor en vanadium, waarmee wij opnieuw voortbouwen op Delia's werk. En net als in het eerdere werk van Delia hebben ook wij gevonden dat onze nieuwe legeringen eenvoudig kunnen worden bereid, met behoud van hun eutectische eigenschappen, wanneer zij in de door ons gevonden hoeveelheden worden samengesmolten. Dit alles kan gemakkelijk worden uitgevoerd met algemeen bekende apparatuur voor het samensmelten van de bestanddelen van metaallegeringen.

De samenstellingen van onze nieuwste legeringen zijn samengevat in de onderstaande (LEES: achter mij geprojecteerde) tabel. De precieze samenstelling kan worden gekozen binnen de genoemde trajecten en kan verder worden afgestemd op de specifieke toepassing en de hiervoor benodigde eigenschappen, zolang er zorg voor wordt gedragen dat de eutectische eigenschappen behouden blijven.

Wat betreft de eutectische eigenschappen: zoals wij al wisten uit Delia's werk leidt het samensmelten van uranium en minder dan 55 gewichtsprocent titaan tot een eutectisch mengsel. Voor de niet-metallurgen onder ons: dit betekent dat het mengsel smelt (en bij afkoelen stolt) als een in wezen enkelvormig materiaal met een specifiek smeltpunt. Dit is in tegenstelling tot niet-eutectische mengsels die een smelttraject hebben, omdat een van de bestanddelen eerder smelt (of stolt) dan de andere, hetgeen doorgaans leidt tot een inhomogene samenstelling (met "pockets" van een bestanddeel ingesloten in een matrix van de andere bestanddelen). Dat kan een nadelige invloed hebben op eigenschappen zoals hardheid en treksterkte. Het kan ook het verwerken en vormen van de materialen ingewikkelder maken omdat de omstandigheden tijdens het stollen nauwkeurig moeten worden geregeld om overmatige vorming van dergelijke pockets tegen te gaan.

Het was ook al bekend uit het eerdere werk van Delia dat, wanneer andere bestanddelen (zoals niobium, vanadium of boor) worden toegevoegd aan legeringen op basis van titaan en uranium, er zorg voor moet worden gedragen dat de eutectische eigenschappen behouden blijven. Zo wisten wij al dat, wanneer ongeveer 3,0 gewichtsprocent vanadium wordt toegevoegd (hetgeen zoals gezegd tegenwoordig algemeen gangbaar is voor legeringen die in de ruimtevaart worden toegepast), de hoeveelheid titaan niet onder onder ongeveer 40 gewichtsprocent moest liggen. Voor onze nieuwe legeringen, die naast titaan, uranium, vanadium en boor ook nog een of meer verdere bestanddelen bevatten (zie opnieuw de getoonde tabel), hebben we gevonden dat de gewichtsverhouding tussen titaan en uranium

in de beta-legering nog nauwkeuriger moet worden gekozen om de eutectische eigenschappen te behouden. Dit betekent dat in onze nieuwe beta-legeringen de verhouding tussen de hoeveelheid titaan en de hoeveelheid uranium als volgt moet zijn, omdat anders de eutectische eigenschappen verloren gaan:

$$\frac{[\text{Gewichtsprocent titaan}]}{[\text{Gewichtsprocent uranium}]} = 0{,}9 - 1{,}1$$

De legeringen die wij hebben gevonden, zijn relatief eenvoudig te produceren. We gaan uit van een smelt van een legering van titaan en uranium en voegen daar de andere metalen aan toe. Na homogeniseren en afkoelen wordt een nieuwe legering verkregen. Wanneer geen legering van het beta-type resteert, wordt de legering weer gesmolten en worden de hoeveelheden van de bestanddelen zo gefinetuned dat wel een beta-legering resulteert.

	Titaan	**Uranium**	**Mo**	**In**	**Re**	**Co**	**Ni**	**Nb**	**Sn**	**B**	**V**
Maintainium	42 - 51	41 - 51	1.0 - 3.0	1.5 - 3.0	---	---	---	---	---	0.5 - 0.9	2.0 - 4.0
Retainium	–42 - 51	41 – 51	---	---	1.0 -2.5	---	---	---	---	0.5 - 0.9	2.0 - 4.0
Containium	42 - 51	41 – 51	---	---	---	1.5 - 4.0	1.5 - 2.5	---	---	0.5 - 0.9	2.0 - 4.0
Unobtainium	42 - 51	41 – 51	---	---	---	---	---	2.0 - 4.0	---	1.5 – 2.5	2.0 - 4.0
Sustainium	42 - 51	41 – 51	---	---	---	---	---	---	1.5 - 3.5	0.5 - 0.9	2.0 - 4.0
De vermelde hoeveelheden zijn in gewichtsprocenten. De hoeveelheden van de legeringsbestanddelen zijn opgeteld steeds 100 gew.%. Let wel: de gewichtsverhouding tussen titaan en uranium dient aan de voornoemde formule te voldoen.											

PCT-application: Alloys of titanium and uranium.

Application number:	PCT/EP2025/456789		
Priority data:	24123456.7	April 10, 2024	EP

The present invention relates to alloys of titanium and uranium for use in spacecraft components.

Unless explicitly stated otherwise herein: (a) the term “uranium” as used herein refers to “depleted uranium”, meaning uranium with a lower content (which is usually around 0.2 percent) of the fissile isotope U-235 than natural uranium (which usually contains around 0.7 percent U-235); and (b) any percentages mentioned herein are percentages by weight.

The main consideration in spacecraft design is weight, as the cost of launching a spacecraft is mainly determined by the mass of the spacecraft to be launched. Also, there are absolute limits as to the amount of mass that a given rocket can put into low-earth orbit (around 100-1500 km above the surface of the earth), geostationary orbit (around 35.000 km above the surface of the earth) and on interplanetary trajectories to the moon and the planets. So there is a continuous need for spacecraft materials that are lighter (i.e. have less density) than known materials but still provide the same or improved properties.

Alloys of titanium and uranium are known for their high strength and penetrative power. For example, titanium-uranium and uranium-molybdenum alloys are commonly used in kinetic energy penetrator armor-piercing munitions, with the best-known examples being “STABALLOY” and “STAKALLOY”

Titanium-based STABALLOYs generally comprise depleted uranium alloyed with between 5 and 10 percent titanium. They are about 1.67 times denser than lead and when used in anti-tank munitions have the further advantage of being pyrophoric, resulting in an additional incendiary effect upon impact (i.e. in addition to the kinetic effect caused by their high density). However, all this makes munitions-grade STABALLOYs unsuitable for space applications, as large spacecraft parts such as shielding that are made from such STABALLOYs will be very heavy and also prone to suffer thermal failure under the high friction and temperature conditions (which may reach upwards of thousands of degrees

Celsius) that occur during atmospheric entry, for example in the atmospheres of Venus, Mars and Saturn's moon Titan.

An alternative to STABALLOYs that is used in kinetic munitions is tungsten. When used in spacecraft, tungsten has the advantage of not being pyrophoric, but it is also more expensive than uranium-based alloys and more difficult to machine, which can be a significant problem for parts that are used in spacecraft which generally require highly precise engineering within very small tolerances. It is also known from armour-piercing munitions that tungsten penetrators tend to form a mushroom shaped tip during armour penetration, while uranium-based penetrators tend to be self-sharpening and thus tend to achieve deeper penetration.

An emerging alternative for STABALLOY is STAKALLOY, an alloy in which uranium is alloyed with niobium (around 2.0 percent by weight) and vanadium (around 3.0 percent by weight). It has similar density to STABALLOY but has the advantages of improved machinability and can be used in structural applications.

A number of recent and newly proposed spaces missions have involved around the use of so-called "impactors" or "penetrators", probes that are designed to impact and/or penetrate the surface of a planet, moon, comet or asteroid. For example, in 2005, as part of the Deep Impact Space Mission, a small impactor was used to excavate subsurface material from the comet Temple 1, after which the composition of the released material was investigated by the main spacecraft from which the impactor has been released. Also, in 2021, as part of the Double Asteroid Redirection Test (DART) mission, an impactor was collided with the asteroid Dimorphos in order to assess how this impact deflected the trajectory of the asteroid, to see if such impactors can be used as part of a planetary defense system against near-Earth objects (NEOs). Also, bigger penetrators have been proposed for penetrating the icy crusts of moons such as Europa and Enceladus, as a means of accessing the subsurface oceans that these moons are suspected to harbor. As mentioned herein, tungsten-based penetrators are less suitable for missions where deep penetration is required.

The objective of the present invention is to provide materials that can be used in spacecraft, in particular in impactors and penetrators.

The materials of the invention are alloys of titanium and uranium. They are comparable in strength and penetrative power to STABALLOY and STAKALLOY, but are less pyrogenic than STABALLOY and less dense than both STABALLOY and STAKALLOY, having a density that, depending on the relative amounts of uranium and titanium that are present, is between 100% and 70% the density of lead. Also, when used in penetrators or impactors, they have the same self-sharpening properties as STABALLOY and STAKALLOY.

The machinability of the alloys of the invention is comparable to that of STAKALLOY (which as mentioned is much better than that of STABALLOY) and can be further improved by adding other metallic or non-metallic elements that are known to improve machinability, in amounts known per se. Reference is made to the standard handbooks.

The present invention is based on the discovery that, when uranium and titanium are alloyed within certain ratios (i.e. between 35 and 55 percent by weight titanium and between 65 and 45 percent by weight uranium, with the balance of up to maximally 15 weight percent being made up of other suitable constituents, as further described herein), an eutectic titanium-based alloy of the "beta-type" is obtained in which the uranium acts as a so-called "beta-stabilizer", resulting in an alloy that does not have the disadvantages commonly associated with titanium and its "alpha alloys". For example, this means that the uranium-titanium alloys of the invention can be heat-treated to provide the strength and performance that is required for high temperature applications (> 700 degrees Celsius).

By contrast, it has been found that combining uranium with aluminum (which is a common lightweight material used in radiation shielding and structural spacecraft components) results in alloys of the alpha type (similar to what is known for titanium-aluminum alloys).

It has also been found that the alloys of the invention can provide the high strength and penetrative power of munitions-grade uranium alloys (including self-sharpening properties), but at a fraction of the weight of known titanium-uranium alloys because of the increased amount of titanium (which as mentioned can be up to 55 percent for some of the alloys of the invention). This means that at least some of the alloys have a density that is such that they can be considered for use in spacecraft, such as impactors and penetrators.

It has also been found that the favorable properties of the alloys of the invention can be further improved by including other beta-stabilizers known per se (in amounts known per se). Reference is for example made to the standard handbook Handbook of Titanium Alloys, 4th Edition, 2023.

Other known components of titanium alloys may also be added (in amounts known per se and for purposes known per se) as long as the beta form of the alloy is maintained.

Known components of uranium alloys (including those used in known uranium-titanium alloys) may also be added, again in amounts known per se and for purposes known per se.

Thus, in a first aspect, the invention relates to an alloy of titanium and uranium containing between 35 and 55 percent by weight titanium and between 65 and 45 percent by weight depleted uranium.

In the invention in its broadest sense, the amounts of titanium and uranium can be chosen such that they together make up 100 percent by weight of the final alloy, but in the practice of the invention, it is generally preferred that the amounts of titanium and uranium, when taken together, will make up at least 85 percent by weight, and more preferably 90 to 95 percent by weight, of the alloy with the remaining balance to 100 percent by weight being made up by other components that can be included in the alloys of the invention (as further described herein).

We have also found that the preparation/manufacture of the alloys of the invention is relatively simple, as titanium and uranium form a eutectic mixture when they are combined within the amounts mentioned herein. We have also found that the alloys of the invention retain their favorable eutectic properties when other components of titanium alloys known per se (including other components of titanium-uranium alloys known per se, such as those commonly used in STAKALLOYS and STABALLOYS) are added to such mixtures in amounts known per se (for example, in the amounts recommended by the standard handbooks). Reference is made to the example below.

Example:

The alloys listed below were made by combining the indicated amounts of titanium and uranium and heating the mixture to a temperature above its melting point. The other components were then mixed in while stirring, after which heating and stirring were continued until all the added constituents had fully dissolved. The mixture was then allowed to cool until it solidified and again heated to determine its melting temperature. Mixtures that maintained a single melting point were determined to be eutectic, and mixtures that instead showed a melting range were deemed to have lost the favorable eutectic properties of the starting titanium-uranium mixture (meaning that at least one component formed a separate phase within a matrix of the other component(s)).

With regards to the amounts of titanium and uranium that can be used in the alloys of the invention, the following can be seen from the table below:

- pure titanium-uranium alloys are eutectic when they contain 55 percent by weight titanium or less; however
- at a titanium content of 30 percent per weight or less, these mixtures lose their eutectic properties when vanadium is mixed in at an amount that is commonly used to improve machineability of titanium alloys. Upon further inspection of the cooled material with a microscope, it was observed that the vanadium had formed a distinct pockets within a matrix formed by the still alloyed titanium/uranium mixture.

Thus, when designing alloys of the invention, it is better to start from titanium-uranium mixtures that contain at least 35 percent by weight titanium (but not more than 55 percent by weight titanium).

Titanium	Uranium	Niobium	Vanadium	Boron	Eutectic
10	90	---	---	---	Yes
30	70	---	---	---	Yes
50	50	---	---	---	Yes
60	40	---	---	---	No
10	87	---	3.0	---	No
30	67	---	3.0	---	No
35	62	---	3.0	---	Yes
55	42	---	3.0	---	Yes
49	50	1.0	---	---	No
48	50	2.0	---	---	Yes
47	50	3.0	---	---	No
46	46	3.0	3.0	2.0	Yes
48.5	50	---	1.5	---	No
47.5	50	---	2.5	---	Yes
46.5	50	---	3.5	---	Yes
45.5	50	---	4.5	---	No
49.5	50	---	---	0.5	Yes
49.25	50	---	---	0.75	Yes
49	50	---	---	1.0	No
46.5	50	---	3.0	0.5	Yes
46.25	50	---	3.0	0.75	Yes
Note: amounts expressed as percent by weight of the total mixture					

CLAIMS

1. Eutectic alloy comprising
   a) between 35 and 55 percent by weight titanium;
   b) between 65 and 45 percent by weight uranium,

   and optionally
   c) one or more further components known per se that are suitable for including in a titanium-based and/or uranium-based alloy;

   in which the one or more further components as referred to under c) are present in suitable amounts known per se and in which the amounts referred to under a), b) and c) are such that, taken together, they make up a total of 100 percent by weight.

2. Eutectic alloy according to claim 1 comprising:
   a) between 35 and 55 percent by weight titanium;
   b) between 65 and 45 percent by weight uranium;

   and
   c) one or more further components known per se that are suitable for including in a titanium-based and/or uranium-based alloy.

   in which the one or more further components as referred to under c) are present in suitable amounts known per se and in which the amounts referred to under a), b) and c) are such that, taken together, they make up a total of 100 percent by weight.

3. Alloy according to claim 1 or 2, in which said further components(s) are chosen from niobium, vanadium and/or boron.

4. Formed product, formed out of an alloy according to an alloy according to any of claims 1 to 3.

5. Formed product according claim 4, which is suitable and/or intended for use in a spacecraft.

HANDBOOK OF TITANIUM ALLOYS, 4th Edition, 2023.

Chapter 12: Space applications

As described in the earlier chapters of this handbook, titanium alloys are the materials of choice for applications where very high tensile strength and toughness need to be combined with light weight, high corrosion resistance and the ability to withstand extreme temperatures.

For these reasons, titanium-based alloys are well-established as the materials of choice for high-performance applications in aircraft (including aircraft engines) and submarines.

While in principle, the properties that make titanium alloys ideal for aircraft and submarines will also make these alloys highly suitable for use in spacecraft, there are some special considerations that need to be taken into account when designing titanium alloys for spacecraft applications.

As described elsewhere in this Handbook, there are two types of titanium alloys, known as "alpha-alloys" and "beta-alloys", respectively.

Alpha alloys, in which titanium is alloyed with so-called "alpha-stabilizers" such as aluminium, gallium, germanium, tin, carbon, oxygen and nitrogen, have low-to-medium strength and cannot be subjected to the heat-treatment that is required to obtain the performance that is needed for use in spacecraft and aircraft components, such as jet engines.

Beta alloys, in which titanium is alloyed with so-called "beta-stabilizers" such as cobalt, molybdenum, vanadium, tantalum, niobium, manganese, iron, chromium, nickel, copper and silicon, can be heat-treated to obtain the required strength and performance at high temperatures (upwards of 700 degrees Celsius). However, when exposed to the cryogenic temperatures and the high-radiation environments that occur in outer space, some beta-alloys may undergo a phase transition into the so-called "omega phase", which is extremely hard and brittle.

Thus, titanium alloys for use in spacecraft need to be selected for, and tested for, resistance to beta-omega phase transition.

In order to avoid such beta-omega transitions in titanium-based alloys for space applications, metallurgists have traditionally looked at including elements (both metallic and non-metallic) that are commonly used as radiation absorbers in nuclear reactors, as the radiation conditions in such reactors are comparable to some of the more extreme radiation environments that spacecraft may encounter in outer space (e.g. due to solar wind or cosmic rays, or when passing through the magnetic field of Jupiter). Examples of such radiation-absorbing elements can be found in the standard handbooks for nuclear engineering.

Another important consideration is machinability, in particular because spacecraft components usually need to be manufactured to within very precise tolerances. Machinability of titanium alloys for use in spacecraft can be improved by adding certain metallic and/or non-metallic elements known per se, such as molybdenum, rhenium, niobium, vanadium or boron; or suitable combinations thereof. For example, adding 1.5 to 2.0 percent by weight of rhenium to a titanium alloy will already lead to a significant improvement in its malleability and other manufacturing characteristics.