

Neue Gewinnungsverfahren für Titan könnten die Kosten künftig drastisch senken

Titan: Vom exklusiven Material zum Massenwerkstoff?

Moderne Verkehrsflugzeuge wie der Airbus A380 oder die Boeing 787 („Dreamliner“) weisen bereits einen deutlich höheren Anteil an Titan auf als die Vorgängermodelle. Bei der Boeing 787 und dem künftigen Airbus A350 sind dies bereits deutlich mehr als 20 Tonnen pro Flugzeug. Steigende Nachfrage und hohe Kosten für Titan und seine Legierungen motivieren weltweit Forscher in Industrie und Wissenschaft zur Entwicklung von kostengünstigeren Herstellverfahren für dieses hochwertige Leichtmetall.



Bild 1

Die großen Fanschaufeln der ersten Triebwerksstufe von strahlgetriebenen Flugzeugen stellen eine der ersten großtechnischen Anwendungen für Titanlegierungen dar.

Neben den Eigenschaften des Titans, wie hohe Festigkeit und Steifigkeit sind vor allem seine gute chemische und mechanische Kompatibilität zum kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff (CFK), der im Flugzeugbau immer häufiger Verwendung findet, von entscheidender Bedeutung im Wettbewerb zu Aluminiumlegierungen (Bild 1).

Neue Gewinnungsverfahren für Titan und seine Legierungen können in vielerlei Hinsicht zu einer Reduktion von Umweltbelastungen beitragen. Scheinbar zielen die derzeit in der Entwicklung befindlichen Verfahren „nur“ auf die Reduktion der Kosten ab. Es muss jedoch auch berücksichtigt werden, dass die Reduktion der Kosten ganz wesentlich durch eine Verringerung des Energieeinsatzes zur Metallgewinnung erzielt wird.

Zum anderen wird prognostiziert, dass eine Halbierung der

Rohstoffkosten voraussichtlich zu einer Verfünfachung der Nachfrage nach diesem hochwertigen Leichtmetall führen wird. Dies wiederum ermöglicht consequenteren Leichtbau im Transportwesen und damit eine Verringerung des Energiebedarfs. Ferner können durch die extrem korrosionsbeständigen Titanwerkstoffe langlebige Bauteile und Maschinen hergestellt werden. Neue Verfahren haben daher auf unterschiedlichste ökologische und ökonomische Aspekte Einfluss.

Stand der Technik muss abgelöst werden

Seit etwa 60 Jahren wird Titan nach dem Kroll-Verfahren industriell erzeugt. Bereits sein Erfinder William Justin Kroll (*1889 in Esch-Uelzecht/Luxemburg; †1973 in Brüssel) prophezeite, dass sein Prozess kurz nach seiner

Autoren

Dr.-Ing. Joachim Hausmann

Gruppenleiter Hybride Werkstoffsysteme und Intermetallics
Institut für Werkstoff-Forschung, DLR Köln

Prof. Dr. Bernd Friedrich

Leiter des Instituts für Metallurgische Prozesstechnik
und Metallrecycling IME, RWTH Aachen, www.ime-aachen.de

Dipl.-Ing. Claudia Möller

Wissenschaftliche Mitarbeiterin am IME, RWTH Aachen

Dipl.-Ing. Joachim Gussone

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Institut für Werkstoff-Forschung, DLR Köln

Prof. Dr.-Ing. Heinz Voggenreiter,

Leiter des Instituts für Werkstoff-Forschung, Köln, und
des Instituts für Bauweisen- und Konstruktionsforschung,
Stuttgart, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
www.dlr.de/wf, www.dlr.de/bk

Name	Prozess	Produktform
Armstrong	Reduktion von $TiCl_4$ -Dampf mit flüssigem Na	Pulver
FFC (Cambridge)	Elektrolytische Reduktion einer teilweise gesinterten TiO_2 -Elektrode in geschmolzenem $CaCl_2$	Pulver
Ginatta titanium technologies	Elektrolytische Reduktion von $TiCl_4$ -Dampf gelöst in geschmolzenen Elektrolyten	Flüssiges Ti
Idaho Research Foundation	Mechanisch-Chemische Reduktion von flüssigem $TiCl_4$	Pulver
Idaho Ti-Technologies	Wasserstoff-Reduktion von $TiCl_4$ -Plasma	Pulver
IME-Prozess	In-situ- TiO_2 -Chlorierung und elektrolytische $TiCl_4$ -Reduktion	Pulver / Schwamm
MER Corporation	Anodische Reduktion von TiO_2 , Transport durch einen Elektrolyten und Abscheidung an der Kathode	Pulver, Flakes oder fester Gussblock
OS (Kyoto)	Calciothermische Reduktion von TiO_2	Pulver / Schwamm
Preform reduction	Reduktion von TiO_2 durch Ca	Verdichtetes Ti-Pulver
Vartech	Gasförmige Reduktion von $TiCl_4$ -Dampf	Pulver

Tabelle

Liste einiger international untersuchter Prozesse zur Titangewinnung als Alternative zum derzeit eingesetzten Kroll-Prozess.

Einführung durch ein elektrolytisches Verfahren abgelöst wird [1]. Hieran arbeiten Wissenschaftler weltweit bis heute. Der Erfolg war bisher jedoch nur im Labormaßstab zu verzeichnen. Bis dato scheiterten alle Verfahren an der Umsetzung in den Industriemaßstab. Dennoch ist die Industrie aufgrund der großen Marktchancen weiterhin sehr an neuen Verfahren zur Titangewinnung interessiert.

Umfangreiche Projekte hierzu laufen derzeit vor allem in Großbritannien, Norwegen, Japan und USA. Auf Seiten der Wissenschaft sind noch mehr Länder an den Ambitionen beteiligt (Tabelle). Die technische Herausforderung besteht darin, das äußerst reaktionsfreudige Titan aus den in der Natur vorkommenden Titanoxiden zu extrahieren, also vom Sauerstoff zu trennen.

Forscher setzen sich an den Runden Tisch

Um den internationalen Austausch des Standes der Wissenschaft zu fördern, wurde am 3. und 4. März 2008 im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Köln, der „1. International Round Table on Titanium Production in Molten Salts“ veranstaltet. Da nahezu alle Arbeiten zu neuen Titangewinnungsverfahren derzeit auf der Elektrolyse in Salzschnmelzen beruhen, wurde die Konferenz auf diese Verfahrensgruppe eingegrenzt.

Etwa 40 Experten aus der ganzen Welt, insbesondere aus Norwegen, Japan und Großbritannien, nahmen teil. Selbst die Initiatoren einer neuen Euphorie auf dem Gebiet wie zum Beispiel Prof. Derek Fray (Cambridge, Großbritannien) und Prof. Ryosuke Suzuki (Saporo, Japan) waren mit Vorträgen in Köln vertreten. Rund ein Drittel der Teilnehmer kam aus der Industrie – mittelständischen Unternehmen, die mit der industriellen Umsetzung neuer Verfahren den Titanmarkt beliefern wollen.

In Deutschland wird an der RWTH Aachen in Zusammenarbeit mit dem DLR an einem neuen Verfahren zur Titangewinnung gearbeitet. Die Arbeiten werden im Rahmen einer Helmholtz-Hochschul-Nachwuchsgruppe bis 2011

von der Helmholtz-Gemeinschaft gefördert. In diesem Rahmen wurde die Veranstaltung von Dr. Joachim Hausmann vom Institut für Werkstoff-Forschung (Leitung Prof. Heinz Voggenreiter) des DLR zusammen mit Prof. Bernd Friedrich vom IME, Institut für Metallurgische Prozesstechnik und Metallrecycling an der RWTH Aachen, und Prof. Yasushi Katayama von der Keio University, Yokohama (Japan), organisiert.

Der IME-Prozess

Am IME wird an der Entwicklung eines elektrochemischen Prozesses für die In-situ-Chlorierung von TiO_2 und der simultanen TiCl_x -Reduktion bei Temperaturen unter 600 °C geforscht. Die Idee dieses Prozesses basiert darauf, in einem mit TiCl_2 angereicherten Elektrolyten auf Alkalischlorid-Basis TiCl_2 elektrolytisch in Ti^{2+} und 2Cl^- zu zersetzen. Im Anschluss daran wird Ti^{2+} an der Kathode abgeschieden und Cl an der Anode gebildet. Danach reagiert das Cl-Atom über eine chemische Reaktion mit den Komponenten einer Titandioxid-Kohlenstoff-Mischungsanode (Bild 2) zu TiCl_x , das wiederum in dem Elektrolyten gelöst wird und erneut Ti und Cl an den Elektroden bildet.

Um die Durchführbarkeit dieses Prozesses zu untersuchen, entwickelt eine Forschungsgruppe am IME die Anodenmischung und den Elektrolyten für die Schmelzflusselektrolyse. Ein auf Alkalischloriden basierender Startelektrolyt mit einem Schmelzpunkt von ungefähr 550 °C wurde bereits bestimmt. Zur Ermittlung der für die Prozesssteuerung benötigten Parameter werden elektrochemische Untersuchungen durchgeführt (zum Beispiel Aufnahme von Stromdichte-Potential-Kurven). Der derzeitige Versuchstand bestätigt, dass der an der RWTH Aachen ausgedachte Prozess grundsätzlich für die Titangewinnung einsetzbar ist.

Auch Verbundwerkstoffe können profitieren

Auf dem Internationalen Round Table wurde in diesem

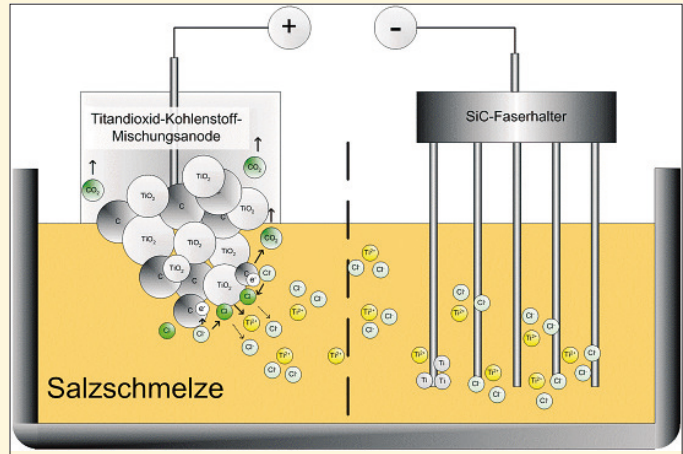


Bild 2

Prinzipische Darstellung eines Prozesses zur Kombination von elektrolytischer Titanextraktion und Titanabscheidung als Basis zur kostenreduzierten Herstellung von Titanmatrix-Verbundwerkstoffen.

Zusammenhang über ein Herstellungsverfahren berichtet, in dem in Anlehnung an den FFC-Prozess (s. Tabelle) ein Gemisch aus TiO_2 und Al_2O_3 mit den Verstärkungsmaterialien TiB_2 oder TiC kathodisch reduziert wird [2]. Es entsteht eine mit Titandiborid- bzw. Titancarbid-Partikeln verstärkte aluminiumhaltige Titanlegierung.

Zur Herstellung von kontinuierlich faserverstärkten Titanlegierungen [3] wird vom DLR ebenfalls ein auf der Schmelzflusselektrolyse basierender Ansatz verfolgt. Der Matrixwerkstoff wird auf der Siliciumkarbid-Verstärkungsfaser (Kathode) abgeschieden, wie schematisch in Bild 2 (kathodischer Teilprozess: rechts) dargestellt ist. In dieser Abbildung ist auch die Kombination mit dem IME-Prozess veranschaulicht, die eine Möglichkeit sein könnte, die Titanextraktion mit der Verbundwerkstoffherstellung zu verbinden und das letztliche Ziel des Verbundprojekts darstellt.

Das Endprodukt der Elektrolyse ist eine matrixbeschichtete Faser, die zur Herstellung von Titanmatrix-Verbundwerkstoffen in eine Vorform gebracht und heißisostatisch verdichtet wird. Ziel dieser Versuche ist, die Produktivität im Vergleich zum PVD-Beschichtungsprozess (Stand der Forschung) deutlich zu steigern. Es wird erwartet, dass der elektrolytische Prozess eine höhere Werkstoffausbeute, geringere An-

lagenkosten und höhere Durchsatzraten gegenüber anderen Faserbeschichtungsverfahren aufweist.

Erfolge sind zu erwarten

Aufgrund der international äußerst umfangreichen Forschungsarbeiten ist ein Erfolg und damit die industrielle Umsetzung eines der derzeit untersuchten Verfahren zur Titangewinnung als sehr wahrscheinlich anzusehen. Welches Verfahren sich am Ende durchsetzen wird, kann derzeit noch nicht seriös abgeschätzt werden. Fest steht jedoch, dass eine Kostenreduktion für Titan, Titanlegierungen und Titanmatrix-Verbundwerkstoffe den Werkstoffeinsatz im Flugzeugbau und vielen anderen Branchen des Transportwesens nachhaltig beeinflussen wird.

Literatur

- [1] William J. Kroll – A Luxembourg Scientist. Ed. By Foundation Nicholas Lanners, Luxembourg, 1998.
- [2] Soare, V.; Surcel, I.; Burada, M.; Gurgu, C.; Târcolea, M.: Titanium alloy composites obtaining through an electrochemical process in molten calcium chloride. 1. International Round Table on Titanium Production in Molten Salts, 2.-4. März 2008, DLR Köln.
- [3] Hausmann, J.; Frischbier, J.; Voggenreiter, H.: Neue Werkstoffe für Verdichterschaukeln. Konstruktion 58 (2006), Nr. 11-12, S. IW7-IW9.