

Oberflächenmodifikation von Titanlegierung für die biomedizinische Anwendung

Surface Modification of Titanium Alloys for Biomedical Application

Claudia Ramskogler

Der stetige Anstieg der Lebenserwartung und die dadurch vermehrte altersassoziierte Veränderung der Knochensubstanz sowie die Fixierung von komplexen Traumata treiben die Entwicklung von orthopädischen Implantaten voran.

Für dieses Anwendungsgebiet kommen metallische Materialien wie austenitischer Stahl, Kobalt-Chrom-Legierungen und Titan und Titanlegierungen zum Einsatz. Besonders Titan und Titanlegierungen werden aufgrund der hohen Korrosionseigenschaften, exzellenten mechanischen Eigenschaften und Biokompatibilität als Schlüsselwerkstoff für orthopädische Implantate gesehen. Zwei große Herausforderungen gilt es zu bewältigen: zum einen eine rasche Osseointegration – die molekulare Verbindung zwischen Implantat und Gewebe –, bei der das Interface Implantatmaterial und Gewebe die Schlüsselrolle darstellt. Zum anderen die Reduktion des Elastizitätsmoduls des Implantatmaterials, wodurch eine Rückbildung des Knochens (sogenanntes „stress shielding“) verhindert werden kann.

Interface – Implantatmaterial – menschliches Gewebe

Eine rasche Einheilung des Implantats ist nicht nur erwünscht, um eine schnellere Mobilisierung der Patientin oder des Patienten zu ermöglichen, sondern auch, um eine postoperative Entzündung zu verhindern, die nach wie vor die häufigste Komplikation darstellt. Trotz moderner Biomaterialien mit verbesserter Gewebeadhärenz bleiben die beschriebenen Probleme bestehen und eine Verbesserung der Oberflächenbeschaffenheit von Implantatmaterialien ist nach wie vor erstrebenswert. Neueste Forschungsarbeiten fordern verschiedene vordefinierte Oberflächenstrukturen, um gezielt biologische Ebenen anzusprechen und so ein rascheres Einheilen zu ermöglichen. Der Elektronenstrahlprozess wird als vielversprechende Methode für das Erfüllen dieser Anforderungen gesehen. Durch die Interaktion eines fein fokussierten hochenergetischen Elektronenstrahls (EB) mit dem Implantatmaterial wird das Material >

Human life expectancy has been continuously increasing in the last decades in the whole world. Bones become more fragile due to a loss of mass and density over time, increasing the probability of fracture.

Furthermore, the fixation of complex fractures drives the need to continue to improve orthopaedic devices. Metallic materials such as austenitic steel, cobalt chromium alloy and titanium and titanium alloys are the big players in such application. Titanium and titanium alloys for orthopaedic devices have higher corrosion resistance, excellent mechanical properties and biocompatibility and lower elastic modulus than the other metals used. But two major challenges need to be overcome. On the one hand fast osseointegration – molecular connection between implant and human tissue – the key role is the interface between the implant material and the tissue. On the other hand, a reduction of the elastic modulus to prevent bone regression – also called "stress shielding".

Interface implant material and human tissue

A stable and fast bone anchorage is not only desired to ensure a fast mobility of the patient after surgery, it also prevents postoperative inflammation, which is one of the most common complications. However, despite the benefits in the tissue compatibility of modern biomaterials, surface quality of implant materials still needs to be improved. Recent research requires multi scale topographies to act at different biological levels to permit faster osseointegration. To fulfil these requirements, the electron beam process seems to be a promising technique. Due to the interaction of the high-energy focused electron beam (EB) with the surface of the implant material, the material becomes locally molten. The molten material can easily be moved along the surface due to the deflection of the electron beam according to coordinate points. The electron beam surface structures can be produced without fill material at micro and macro meter scale (Figure 1). >



Claudia Ramskogler arbeitet seit 2014 an ihrer Dissertation am Institut für Werkstoffkunde und Schweißtechnik. Schwerpunkte ihrer Arbeit sind die Oberflächenoptimierung mittels Elektronenstrahl für die biomedizinische Anwendung sowie die Entwicklung von neuen Biomaterialien.

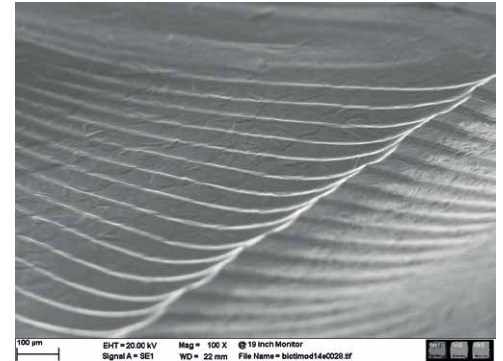
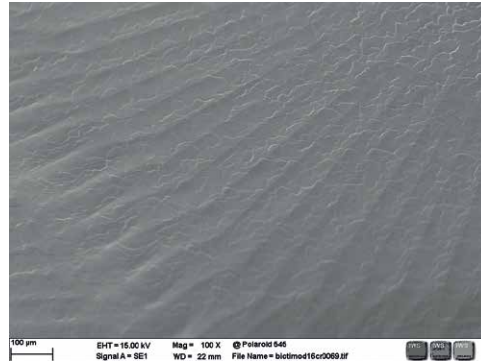
Claudia Ramskogler has been working since 2014 on her PhD Thesis at the Institute of Materials Science and Welding. Her work focuses on the surface modification for biomedical application by electron beam process as well as the development of new biomaterials.

lokal aufgeschmolzen. Der nahezu masselose Elektronenstrahl kann entlang von Koordinatenpunkten sehr schnell und präzise abgelenkt werden, wodurch das geschmolzene Material beinahe beliebig auf der Implantatoberfläche bewegt werden kann. Die Strukturierungen können reproduzierbar und ohne jegliches Zusatzmaterial im Mikro- und Millimeterbereich (siehe Abbildung 1) erzeugt werden.

The electron beam surface structuring not only changes the topography of the surface, it also changes the mechanical properties in correlation to the material, the design and the process parameters. The results represent different surface topographies and surface roughness which act at different biological levels and suggest an increase of interlocking capacity between implant and bony bed.

Abbildung 1:
Oberflächenmodifikation von Elektronenstrahl-strukturierten Titanlegierungen (links: Ti6Al4V; rechts: TiGr2).

Figure 1:
Electron-beam structuring on titanium alloy (left: Ti6Al4V; right: TiGr2).



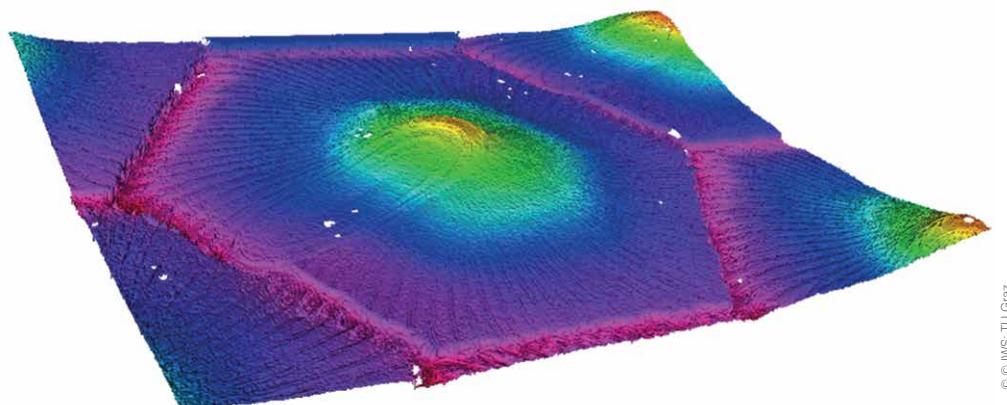
Die Oberflächenstrukturierung durch den Elektronenstrahl beinhaltet nicht nur eine Veränderung der Oberflächenrauheit, sondern auch der Topographie sowie der mechanischen Eigenschaften, die in direktem Zusammenhang mit der verwendeten Legierung, dem Design und den Prozessparametern stehen. Das Ergebnis zeigt verschiedenste Oberflächentopographien und Oberflächenrauheiten, die auf verschiedenen biologischen Organisationsebenen reagieren können und eine bessere Verflechtung zwischen Material und Knochen vermuten lassen (siehe Abbildung 2).

Material

Three different titanium alloys (commercial pure TiGr2, $\alpha + \beta$ alloy Ti6Al4V and metastable β alloy Ti15Mo) were successfully investigated using the electron beam structuring process. TiGr2 and Ti6Al4V are already used for orthopaedic devices. The wear resistance of the Ti6Al4V alloy in particular is critical due to the fact that ion release in the body can lead to health problems. For this, the combination of electron beam process and rapid cooling increased the hardness of such alloys in the surface area, thus suggesting an improvement in wear resistance.

Abbildung 2:
Topographie-Analyse der Elektronenstrahl-strukturierten Titanoberfläche (Alicona-Aufnahme).

Figure 2:
Analysis of the topography on an electron-beam structured titanium specimen (Alicona measurement).



Material

Die Oberfläche von drei unterschiedlichen Titanlegierungen (kommerziell reines Titan TiGr2, $\alpha + \beta$ -Legierung Ti6Al4V und metastabile β -Legierung Ti15Mo) wurde bereits erfolgreich mittels Elektronenstrahlprozesses strukturiert. Kommerziell reines Titan TiGr2 und $\alpha + \beta$ -Legierung Ti6Al4V werden bereits in der orthopädischen Chirurgie eingesetzt.

The new and promising metastable β alloy (Ti15Mo) highlights the advantage of lower elastic modulus similar to human bone compared to commercial pure TiGr2, Ti6Al4V and a chemical composition with nontoxic elements. The mechanical properties of these alloys are related to their microstructure and they can be altered by thermomechanical processes.

Besonders das Verschleißverhalten von der im orthopädischen Bereich verwendeten $\alpha+\beta$ -Legierung Ti6Al4V ist kritisch. Durch die Anwendung des Elektronenstrahlprozesses auf diese Titanlegierung kommt es zu einem Anstieg der Härte im oberflächennahen Bereich, was auf eine Verbesserung des Verschleißverhaltens schließen lässt. Eine neue metastabile β -Titanlegierung (Ti15Mo) besticht durch ihren Vorteil, aus nicht toxischen Elementen zu bestehen. Auch der im Vergleich mit kommerziell reinem Titan TiGr2 bzw. $\alpha+\beta$ -Titanlegierungen niedrigere Elastizitätsmodul, der näher bei dem für Knochen gemessenen Wert liegt, ist vorteilhaft. Die Tatsache, dass die mechanischen Eigenschaften durch thermomechanische Verfahren gezielt verändert und für den Einsatzbereich eingestellt werden können, stellt einen weiteren Vorteil dieser Materialklasse dar.

Zellversuche

In-vitro-Untersuchungen mit knochenähnlichen Zellen in einem Zeitraum zwischen 6 und 72 Stunden wurden auf unterschiedlichen durch Elektronenstrahl strukturierten Oberflächen durchgeführt. Die Resultate zeigen eine sehr gute Zellverteilung auf den unterschiedlichen Oberflächen sowie eine polygonale Morphologie der Zellen (Abbildung 3). Des Weiteren konnte eine erhöhte Zellbesiedelung auf durch Elektronenstrahl strukturierten Oberflächen festgestellt werden.

Projekt

Durch das Projekt BioTiMod, das im Rahmen von „HTI Tech_for_Med“ in Zusammenarbeit mit der Universitätsklinik für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie der Medizinischen Universität Graz bearbeitet wurde, konnte nicht nur fundiertes Wissen über den Elektronenstrahlprozess aufgebaut werden; auch der Einfluss der Oberflächenstrukturierung auf das Zellwachstum an Biomaterialien in vitro konnte untersucht werden.

Betreut wurde das Projekt von FoE-Leiter Christof Sommitsch und von Fernando Gustavo Warchomicka geleitet. ■

Cell experiments

In vitro investigations with bone-like cells were performed between 6 to 72h of cultivation time. The cells were uniformly spread on different types of surface structures and showed polygonal morphology (Figure 3). Furthermore, a higher cell spreading area on the electron-beam structured surface was detected.

Project

Due to the Bio TiMod project, which was carried out in the framework of “HTI Tech_for_med” in cooperation with the Department of Orthopaedic Surgery at the Medical University of Graz, not only a well-founded knowledge of the electron-beam structuring process could be developed, but also the influence of surface structuring on cell growth on bio-materials in vitro was able to be investigated.

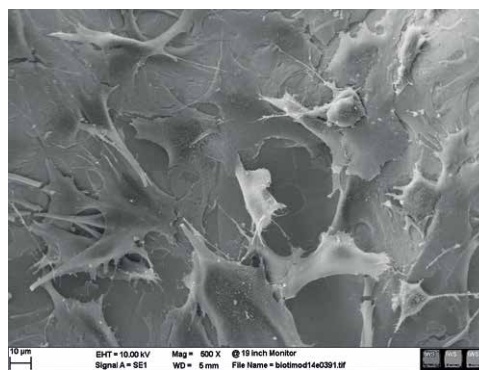


Abbildung 3:
Knochenähnliche Zellen auf strukturierter Titanoberfläche nach 24 Stunden Kultivierungszeit.

Figure 3:
Bone-like cells on the surface of a structured titanium alloy after 24hs cultivation.

Christof Sommitsch of the FoE leadership team supervised the project and Fernando Gustavo Warchomicka was project leader. ■