

Nanostrukturierte Titanlegierung für ein innovatives Dentalimplantat

Projektverantwortlicher	Lukas Kluy M. Sc.
Laufzeit	August 2019 – Februar 2023
Abteilung	Funktions- und Verbundbauweisen
Förderlinie	KMU-innovativ Bundesministerium für Bildung und Forschung

Abstract

Im Projekt IdentiTl wurde eine Prozesskette zur kontinuierlichen Herstellung der nanostrukturierten Titanlegierung Ti-13Nb-13Zr erforscht. Ziel war die Entwicklung eines innovativen Implantatsystems mit herausragenden Eigenschaften für Gesundheit und Lebensqualität.

Projektbeschreibung

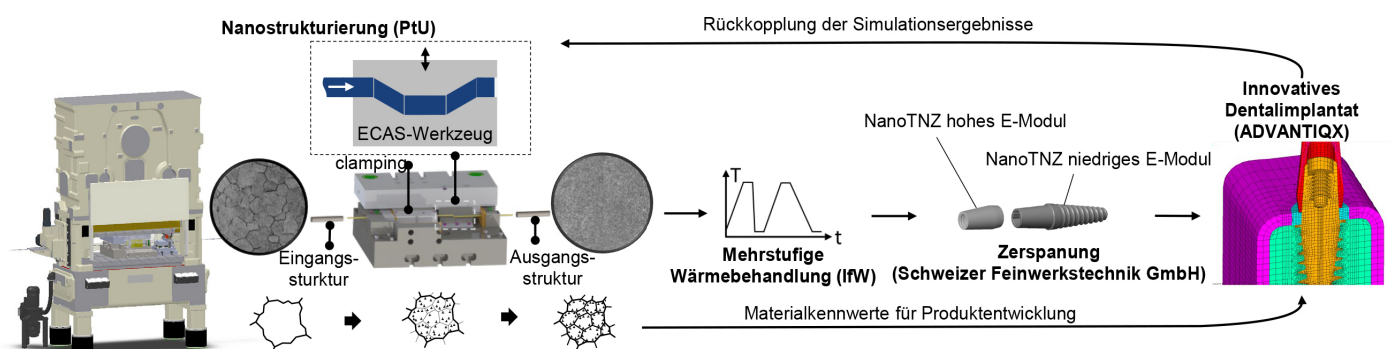
In Deutschland werden pro Jahr rund 1,3 Millionen Dentalimplantate gesetzt. Die für die Implantatsysteme verwendeten Titanlegierungen (wie Ti-6Al-4V) weisen aufgrund ihrer nicht optimalen chemischen, mechanischen und biologischen Eigenschaften eine Herausforderung für die Lebensdauer der Implantate auf. Diese können zum Knochenabbau, zu Entzündungen und einer Lockerung des Implantats führen.

Ein neu entwickeltes Implantatsystem, basierend auf der nanostrukturierten Titanlegierung Ti-13Nb-13Zr (NanoTNZ), ist in der Lage, diese Herausforderungen zu überwinden, da die NanoTNZ vielversprechende chemische, mechanische und biologische Eigenschaften aufweist. Insbesondere das feinkörnige Gefüge des Implantats stimuliert Wechselwirkungen zwischen dem Implantat und den umgebenden Körperzellen. Dies resultiert in einer optimierten Knochenheilung, da ein direkter struktureller Verbund zwischen der Oberfläche des Implantats und dem Knochengewebe entsteht. Darüber hinaus ist es mög-

lich, den Elastizitätsmodul des nanostrukturierten Implantats an den Knochen anzupassen, um Implantatverluste infolge von Relativbewegungen zu verhindern.

Im Rahmen dieses Projekts kooperierten industrielle und universitäre Projektpartner aus unterschiedlichen Fachbereichen (Implantologie, spanende Fertigung, Materialwissenschaft und Umformtechnik) mit dem Ziel, ein neuartiges, innovatives Dentalimplantatsystem zu entwickeln. Das Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen (PtU) war für die industrielle Herstellung der nanostrukturierten Titanlegierung NanoTNZ verantwortlich. Der Lösungsweg sowie die Aufgabenstellung sind in Abbildung 1 dargestellt.

Das am PtU entwickelte Verfahren Equal-Channel-Angular-Swaging (ECAS) ermöglicht eine kontinuierliche Nanostrukturierung von Werkstoffen. Im Rahmen dessen wurde die Bildung des feinkörnigen Titans aus dem grobkörnigen Ausgangsmaterial untersucht. Anschließend wurden Wärmebehandlungen durchgeführt, um den E-Modul des Materials einzustellen. Der Werkstoff TNZ reagiert bei der Nanostrukturierung sensitiv auf eine Vielzahl von Prozessparametern in der Wärmebehandlung und Umformung. Daher war die genaue Kenntnis aller Einflussgrößen sowie deren Auswirkung auf das Produkt erforderlich, um die Nanostrukturierung gezielt zu steuern.



[1] Vorgehen in der Entwicklung des innovativen Implantatsystems

Ergebnisse

Umformsimulation und Prozessparametrisierung: Zunächst wurde eine FEM-Simulation des ECAS-Prozesses zur Ermittlung der Prozesskräfte und -Parameter entwickelt. Die Ergebnisse der Simulationen zeigten eine optimale Prozessstrategie für eine Mehrfachumformung mit einem hydrostatischen Druckspannungszustand und erhöhter Umformtemperatur.

Konstruktion, Fertigung und Inbetriebnahme der Werkzeuge: Anschließend wurde ein ECAS-Werkzeugsystem für die Verarbeitung von TNZ entwickelt. Zur Überwachung des Prozesses wurden Temperatur- und Kraftsensoren integriert.

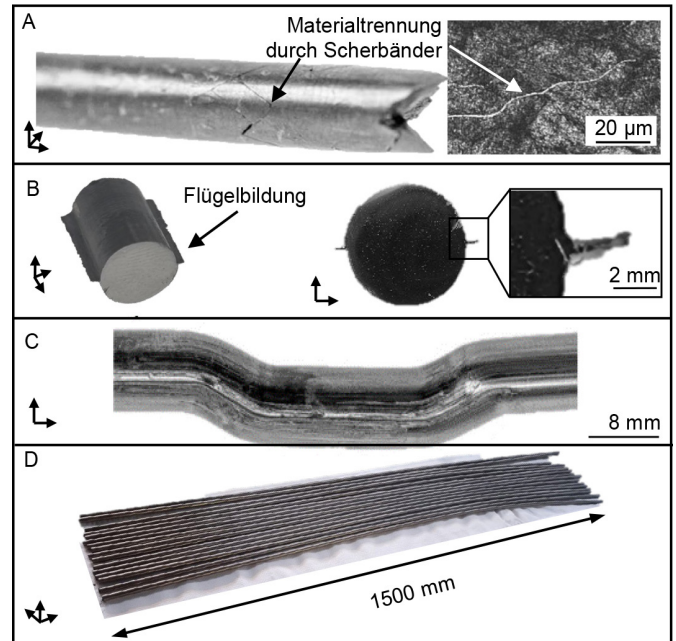
Einstellen der Nanostruktur: Im Rahmen der numerischen und experimentellen Untersuchung wurde der Zusammenhang zwischen Prozessparametern und Materialeigenschaften analysiert. Die Prozessgrenzen ergaben sich durch Scherbänder (vgl. Abbildung 2A) sowie durch Flügelbildung (vgl. Abbildung 2B). Eine schädigungsfreie Produktion von NanoTNZ (vgl. Abbildung 2C) war möglich, wenn ein weichmartensitischer Ausgangszustand, ein hydrostatischer Druckspannungszustand und eine erhöhte Umformtemperatur eingestellt wurden.

Auslegung einer kontinuierlichen Route: Um industriell nutzbare Stäbe für Implantatanwendungen (vgl. Abbildung 2D) herzustellen und implantatangepasste Eigenschaften zu erzielen, wurden zusätzliche Operationen wie Wärmebehandlungen, Rundkneten und Richten durchgeführt. Der ECAS-Prozess wurde hinsichtlich des Energieverbrauchs analysiert und optimiert. Die Erwärmung des Prozesses stellte sich als dominante Größe heraus, sodass der Prozess bei niedrigen Temperaturen gestaltet wurde, ohne dabei die schädigungsfreie Umformung zu gefährden. Die Stäbe weisen eine gerade nanostrukturierte Struktur auf, sind hochfest, gleichzeitig duktil und weisen einen niedrigen E-Modul auf. Im NanoTNZ-Materialzustand wurde eine homogene Härteverteilung mit einer Strukturgröße von 200 nm ermittelt.

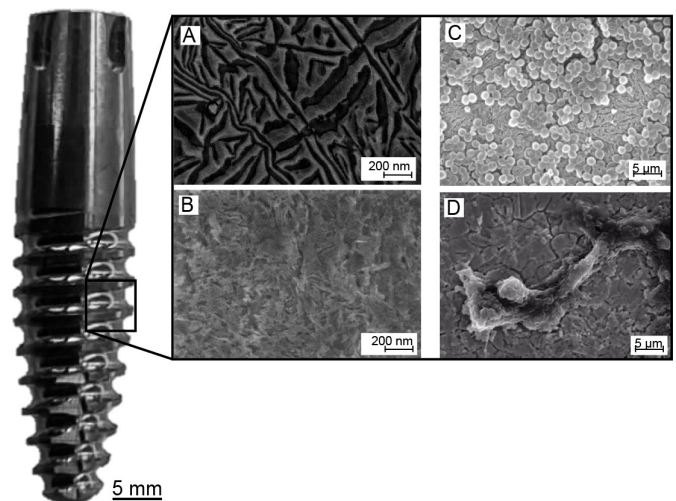
Nanostrukturiertes Dentalimplantat: Die Ergebnisse bilden die Grundlage für die Gestaltung einer durchgängigen Prozesskette zur wirtschaftlichen Herstellung von NanoTNZ, welches an einem Dentalimplantatdemonstrator (vgl. Abbildung 3) aufgezeigt wurde. An diesem Demonstrator wurden maßgeschneiderte Nanostrukturen eingestellt und hinsichtlich ihrer antibakteriellen Eigenschaften sowie ihres Einflusses auf das Knochenwachstum untersucht. Die Nanostrukturen zeigen eine antibakterielle Wirkung bei gleichzeitig optimiertem Knochenanwachsen im Vergleich zu Standardlegierungen wie Ti-6Al-4V ELI. Die Nanostrukturierung von Titanlegierungen mittels ECAS demonstriert somit ein vielversprechendes Potential für den gesellschaftlichen Nutzen fortschrittlicher Implantate.

Danksagung

Das Projekt IdentiTI wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen der KMU-Innovationsoffensive Materialforschung für Gesundheit und Lebensqualität gefördert. Zusätzlich gilt der Dank an die Projektpartner ADVANTIQX, Institut für Werkstoffe der TU Braunschweig und Schweizer Feinwerktechnik.



[2] Prozessgrenzen und -Ergebnisse: Materialtrennung durch Scherbänder (A), Flügelbildung (B), erfolgreiche Umformung (C) und semi-industrielle Stangen (D)



[3] NanoTNZ Dentalimplantat mit maßgeschneiderten Nanostrukturen (A, B), Bakterienbesiedlung (C) und Knochenwachstum (D)

Gefördert durch

