

Vergleich der mechanischen Eigenschaften einer CoCr-Sinter- mit einer CoCr-Gusslegierung

So gut wie gegossen

Ein Beitrag von Prof. Dr. Jürgen Geis-Gerstorfer, Tübingen/Deutschland, Dipl.-Ing. Falko Noack und Dipl.-Ing. Axel Reichert, beide Koblach/Österreich, und Christine Schille (PhytA), Tübingen/Deutschland

Amann Girrbach bringt mit Ceramill Sintron ein trocken spanbares CoCr-Material für die CNC-technische Verarbeitung auf den Markt. Möglich wird dies, weil das Material – ähnlich den dentalen Weißlings-Zirkonoxiden – in einer Materialvorstufe vorliegt, die sich einfach bearbeiten lässt. Nach dem Herausfräsen der gewünschten Strukturen werden diese in einem nachgeschalteten Prozess entbindert und dichtgesintert. Der vorliegende Artikel soll klären, ob die mechanischen Grundeigenschaften von Ceramill Sintron mit denen der etablierten CoCrMo-Gusslegierungen gleichzusetzen sind.

Einleitung

In Zeiten in denen vollkeramischer Zahnersatz sprichwörtlich in aller Munde ist, zeigt sich, dass auch jahrelang bewährte Werkstoffe nach wie vor ihren hohen Stellenwert als zahnmedizinische Ersatzmaterialien haben. Speziell edelmetallfreie Legierungen (EMF) stellen eine der bevorzugten Materialklassen dar, wenn es um die Herstellung von Zahnersatz mit guten Langzeitprognosen geht. Als kostendämpfende Alternative zu Edelmetalllegierungen hat sich diese Legierungsklasse unter anderem aufgrund ihrer guten mechanischen Eigenschaften, Biokompatibilität und keramischen Verblendbarkeit seit Jahrzehnten im Dentalmarkt etabliert. Speziell CoCr-Legierungen werden vielseitig für die Herstellung von Zahnersatz genutzt, vor allem dann, wenn hohe Anforderungen an die Festigkeit der Konstruktion gestellt werden.

Die Verarbeitung von EMF-Legierungen war im Dentallabor bislang meist nur über die manuelle Gießtechnik möglich. Die CAD/CAM-seitige Herstellung von CoCr-Strukturen erfolgte bisher mittels Selective Lasermelting (SLM) oder Fräsen aus Rohlingen, die bereits die Grundeigenschaften des Materials aufweisen. Diese beiden letztgenannten Verarbeitungsmöglichkeiten waren jedoch mit enormen Anschaffungskosten für die jeweiligen Produktionsanlagen verbunden

und blieben daher meist nur Fertigungszentren vorbehalten, die sich auf die industrielle Herstellung von CoCr-Restaurationen spezialisiert haben.

Nun können mithilfe eines neuen CoCr-Sintermetallrohlings, der als Grünling in einer materialtechnischen Vorstufe vorliegt, aufgrund der guten Bearbeitungseigenschaften CoCr-Restaurationen CAD/CAM-gestützt auch in zahn-technischen Labors hergestellt werden, die nicht über Fertigungsmaschinen im Industriestandard verfügen [1]. Der Konsistenz des pulvermetallurgisch hergestellten Grünlings ist es zu verdanken, dass er ohne zusätzliche Wasserkühlung im Trockenfräsverfahren auf Fräsmaschinen spanbar ist. Diese einfache Verarbeitbarkeit ist auf die Tatsache zurückzuführen, dass der Rohling aus einer pulververdichten CoCrMo-Legierung besteht, wobei der Zusammenhalt der Pulverpartikel

über einen organischen Binder garantiert wird. Nach der frästechnischen Bearbeitung (CNC-gesteuert), wird die erzeugte Struktur in einem speziellen Sinterofen entbindert und unter Schutzgasatmosphäre dicht gesintert. Nach Abschluss des Sinterprozesses, der mit einem Volumenschwund von etwa 10 % einhergeht, erreicht das Material seine mechanischen Grundeigenschaften. In den nachstehend beschriebenen Untersuchungen soll die Frage beantwortet werden, ob die mechanischen Grundeigenschaften des CoCr-Sintermetalls mit denen der über viele Jahre im Dentalmarkt etablierten CoCrMo-Gusslegierungen gleichzusetzen sind.

Beschreibung

Die vorliegende werkstoffkundliche Studie hat zum Ziel, die mechanischen Eigenschaften von konventionell hergestelltem, dentalen Feinguss (Girobond NB)

Literatur

QR-CODE:



Die Literaturliste erhalten Sie mithilfe des oben stehenden QR-Codes (Funktionshinweis siehe Inhalt) oder unter www.teamwork-media.de in der linken Navigationsleiste unter „Literaturverzeichnis“

Abb. 1
Festsitzender
Zahnersatz,
gefertigt aus
dem CoCr-Sinter-
metall Ceramill
Sintron



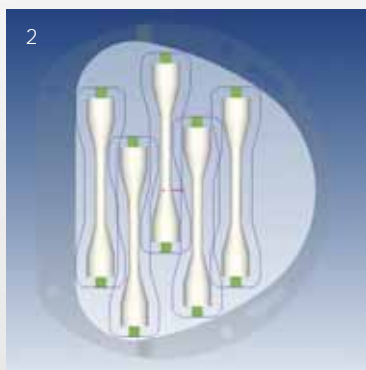


Abb. 2 Anhand dieses Datensatzes wurden die Probekörper für den Zugversuch aus Wachs und Ceramill Sintron gefräst



Abb. 3 Zugprobekörper im Wachsrohling. Diese werden nach dem Herausstrennen angestiftet, eingebettet und in Girobond NB gegossen



Abb. 4 Die aus dem Sintermetall Ceramill Sintron gefrästen Körper für die Zugproben im Grünlingszustand

den Eigenschaften der gefrästen und dichtgesinterten Sintermetalllegierung (Ceramill Sintron) gegenüberzustellen. Beide EMF-Legierungen werden von Amann Girsch hergestellt und vertrieben. Zudem werden in diesem Artikel die beiden Herstellungsprozesse der notwendigen Prüfkörper und die Auswertung der Ergebnisse vergleichend dargestellt. Beide Legierungen dienen der Herstellung von vollanatomischen beziehungsweise anatomisch reduzierten Kronen- und Brückenkonstruktionen (Abb. 1). Da eine Vielzahl an EMF-Gusslegierungen seit langem für die Kronen- und Brückentechnik verwendet werden, gilt es nachzuweisen, ob die mechanischen Eigenschaften einer Sinterlegierung den Anforderungen zur Herstellung von festsitzendem oder herausnehmbarem Zahnersatz in Bezug auf die Festigkeit gemäß DIN EN ISO 22674 [2] gerecht wird.

Material und Methode

Um alle relevanten mechanischen Eigenschaften der beiden Legierungen erfassen zu können, wurden genormte Prüfkörper zur Durchführung einer Zugprüfung gemäß DIN EN ISO 22674 hergestellt. Konkret wurden je Legierung und Bearbeitungsverfahren sechs Zugproben hergestellt und geprüft. Die CAD/CAM-gestützte Herstellung der Prüfkörper wurde durch entsprechende Datensätze für die frästechnische Fertigung unterstützt (Abb. 2).

Die Prototypen der Zugproben für die Gusslegierung Girobond NB wurden auf Basis desselben CAD/CAM-Datensatzes aus Wachsrohlingen (Ceramill Wax, Amann Girsch) gefräst (Abb. 3). Die Ceramill Sintron Prüfkörper wurden aus einem entsprechenden Sintermetallrohling unter Berücksichtigung des Vergrößerungsfaktors gefräst (Abb. 4). Da zahntechnische Konstruktionen aus beiden Materialien auf gleiche Art und Weise hergestellt werden können, wird durch diese Art der Probenfertigung ein eventuell vorhandener frästechnischer Einfluss auf die Probenqualität gleichzeitig mitberücksichtigt. Alle Probekörper wurden nach dem Fräsvorgang aus den CAD/CAM-Rohlingen herausgetrennt und stirnseitig plan geschliffen.

Die Zugproben aus Ceramill Sintron wurden anschließend in dem dafür konzipierten Sinterofen Ceramill Argotherm

(Abb. 5) unter Schutzgasatmosphäre (Argon) dicht gesintert. Während des Sintervorgangs wurden die Prüfkörper in der Argovent Sinterschale durch das Perlenbett abgestützt (Abb. 6) und nach Programmende im dicht gesinterten Endzustand entnommen.

Die Prüfkörper aus Fräswachs wurden nach dem Herausstrennen mit Gusskanälen aus entsprechendem Wachsdraht versehen, in einer Muffel platziert (Abb. 7) und den Herstellerangaben entsprechend mit der Universaleinbettmasse Giroinvest Super (Amann Girsch) eingebettet.

Das Vergießen der Legierung Girobond NB erfolgte ebenfalls nach Herstellerangaben unter Verwendung der Vakuum-Druckguss Anlage HeraCast IQ (Heraeus Kulzer). Nach dem Guss wurden die Proben ausgebettet, der Gusskanal abgetrennt (Abb. 8) und die Anstiftstellen hiernach verschliffen.

Nach DIN EN ISO 22674 müssen aufbrennfähige Legierungen nicht nur hinsichtlich ihrer initialen Festigkeitswerte untersucht, sondern zusätzliche Proben vor der Prüfung auch einer Wärmebehandlung unterzogen werden. Die Wärmebehandlung entspricht dabei den Abfolgen von keramischen Bränden wie sie für die Verarbeitung der entsprechenden Verblendkeramik vom Hersteller vorgegeben werden. In der vorliegenden Studie wurde die Brandführung nach den Werten für die Verblendkeramik Creation CC (Creation

Abb. 5 In dem speziellen Ofen Ceramill Argotherm wird das Sintermetall entbindert und dichtgesintert





Abb. 6 Zum Sintern werden die Ceramill Sintron Zugproben auf einem Sinterbett gelagert



Abb. 7 Die gefrästeten Zugproben aus Wachs wurden angestiftet und in Muffeln für die Einbettung platziert



Abb. 8 Nach dem Abkühlen werden die Gussobjekte ausgebetet und die Gusskanäle von den Proben abgetrennt

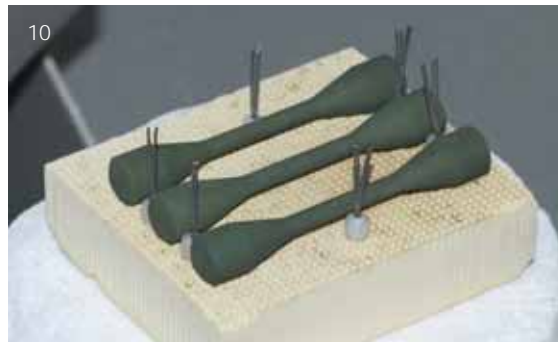
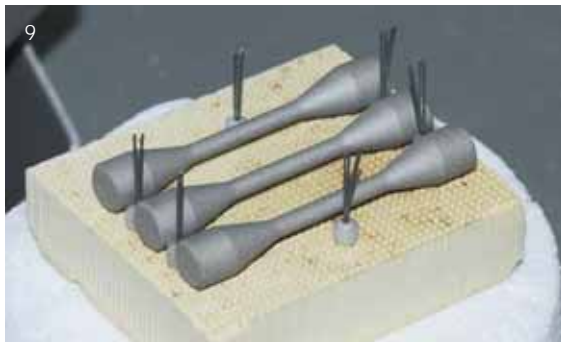


Abb. 9 und 10 Ceramill Sintron Zugproben vor und nach der Wärmebehandlung

Willi Geller) verwendet. Mit der in der Festigkeitsprüfung geforderten Wärmebehandlung sollen Eigenschaftsänderungen erfasst werden, die durch die Keramikbrände verursacht werden können.

Die nicht wärmebehandelten Proben wurden nach dem Guss beziehungsweise der Sinterung mit Aluminiumoxid der Körnung 110 µm abgestrahlt und mit dem Dampfstrahlgerät gereinigt. Die wärmebehandelten Proben wurden drei keramischen Brandfolgen mit je sechs Brennzyklen unterzogen (Abb. 9 und 10). Die Temperaturführung des jeweiligen Brennzyklus ist in der Tabelle 1 dar-

gestellt. Die wärmebehandelten Proben wurden ebenfalls sandgestrahlt und gereinigt. Die sechs Prüfkörper der Guss- und Sinterlegierung wurden jeweils identisch wärmebehandelt.

Die Norm DIN EN ISO 22674 fordert lediglich eine Brandfolge mit Oxidbrand und vier keramische Brennzyklen. In der hier beschriebenen Untersuchung wurden aufgrund der Verdreifachung der keramischen Brennzyklen somit die Rahmenbedingungen verschärft. Durch dieses Vorgehen sollte der vollständigen Neuanfertigung der keramischen Verblendung, die in der Praxis teilweise notwendig wird, Rechnung getragen werden.

Festigkeitsprüfung

Die Zugversuche wurden nach DIN EN ISO 22674 durchgeführt. Die Zugstäbe wurden hierzu in die Halterung einer Universalprüfmaschine (Zwick) eingespannt und bei einer Vorschubgeschwindigkeit von 1,5 mm/min bis zum Bruch auseinander gezogen (Abb. 11).

Härteprüfung

Im Rahmen der Untersuchung wurde weiterhin die Härte ermittelt, ein für die Bearbeitung und Polierbarkeit des Materials (im Endzustand) wichtiger Wert.

Tab. 1 Brenntabelle der keramischen Brände, mit denen ein Teil der Proben wärmebehandelt wurden

Brand	Starttemperatur	Verschusszeit	Temperaturanstieg	Vakuum	Endtemperatur	Haltezeit
Oxidbrand	550 °C	–	80 °C/min	–	1000 °C	1 min
1. Opaker	550 °C	6 min	80 °C/min	+	1000 °C	1 min
2. Opaker	550 °C	6 min	80 °C/min	+	950 °C	1 min
1. Dentin	580 °C	6 min	55 °C/min	+	920 °C	1 min
2. Dentin	580 °C	4 min	55 °C/min	+	910 °C	1 min
Glanzbrand	600 °C	2 min	55 °C/min	–	930 °C	–



Abb. 11 Einer der Probekörper nach dem Zugversuch. Dabei wurde die Probe mit einer Vorschubgeschwindigkeit von 1,5 mm/min bis zum Bruch auseinander gezogen



Abb. 12 Härteprüfung nach Vickers am eingebetteten Zugprobenkopf (Härteprüfergerät, Frank)

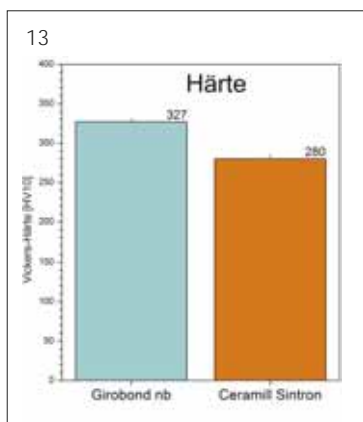


Abb. 13 Gegenüberstellung der Vickers-Härte HV10 von Girobond NB und Ceramill Sintron. In der Literatur liegen die Vickershärten von CoCrMo-Legierungen zwischen 260 und 380 HV10

Die Bestimmung der Härte nach Vickers wurde sowohl an der Guss- als auch an der Sinterlegierung nach DIN EN ISO 6507-1 durchgeführt [3] und vergleichend gegenübergestellt. Die Prüfung wurde jeweils an den metallurgisch präparierten Zugstabsköpfen durchgeführt (Abb. 12).

Ergebnisse

Die Ergebnisse bauen auf zwei räumlich voneinander getrennt durchgeführten Versuchsreihen auf. Zum einen auf denen von Amann Girrbach, die im Rahmen der Chargenprüfung erhoben wurden, und zum anderen auf denen der Prüfung der Festigkeit mit und ohne Wärmebehandlung. Letztere wurden am Universitätsklinikum Tübingen in der Abteilung für Medizinische Werkstoffkunde und Technologie am Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde durchgeführt.

Härte

Die Härte von Ceramill Sintron liegt mit 280 HV10 etwa 50 HV10 unter der Härte der zum Vergleich herangezogenen Gusslegierung Girobond NB (Abb. 13).

Dieses Ergebnis ist als vorteilhaft für das Sintermaterial zu bewerten, da eine zu hohe Härte die Ausarbeit- und Polierbarkeit für den Zahntechniker erschweren. Laut Literatur bewegen sich die Vickers-

härten von CoCrMo-Legierungen in einem Wertebereich von 260 bis 380 HV10 [4]. Der Wert für Ceramill Sintron liegt somit an der Untergrenze der genannten Legierungsklasse. Eine verbesserte Polierbarkeit, wie sie dem Material bescheinigt werden kann, wirkt sich sowohl bei der Nacharbeit im zahntechnischen Labor als auch beim Zahnarzt positiv auf die zu erreichende Oberflächengüte der zahntechnischen Restauration aus. Eine hohe Oberflächengüte mit geringen Rauheitstiefen wirkt einer erhöhten Abasion am Antagonisten entgegen. Somit ist sie der beste Schutz gegen unphysiologische Abnutzung der natürlichen Zähne, die in direktem Kontakt mit der zahntechnischen Restauration stehen.

Festigkeit

Von allen Zugfestigkeitsmessungen wurden Spannungs-Dehnungsdiagramme erstellt. Beispielhaft sind in diesem Beitrag die Diagramme von Girobond NB (Abb. 14) und Ceramill Sintron (Abb. 15) jeweils nach simuliertem Keramikbrand dargestellt.

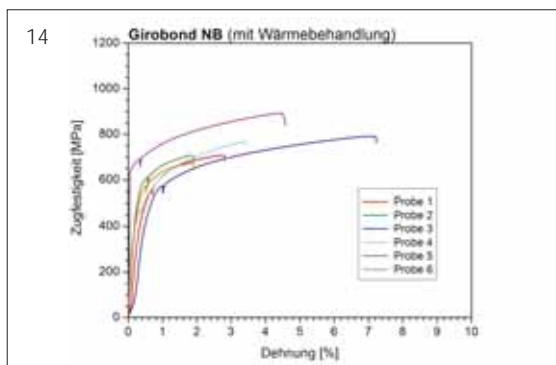


Abb. 14 Spannungs-Dehnungsdiagramme der sechs Zugprobenkörper aus Girobond NB

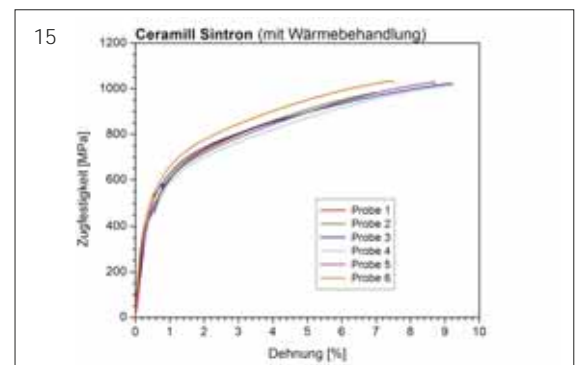


Abb. 15 Spannungs-Dehnungsdiagramme der sechs Zugprobenkörper aus Ceramill Sintron

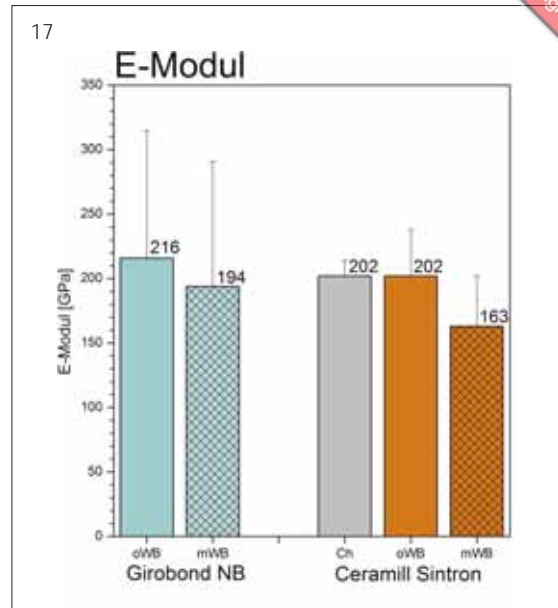
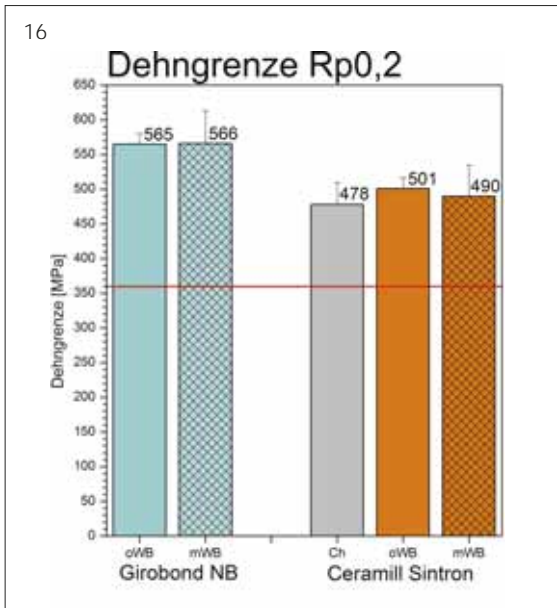


Abb. 16 Dehngrenze Rp 0.2. Die rote Linie repräsentiert die Mindestforderung der 0,2 %-Dehngrenze für Legierungen vom Typ 4

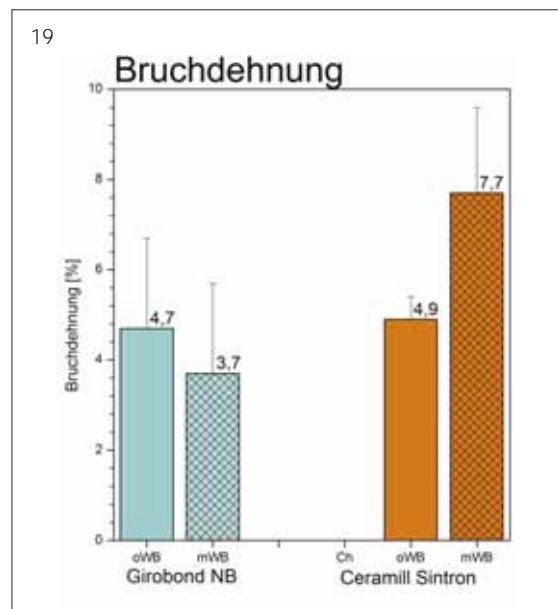
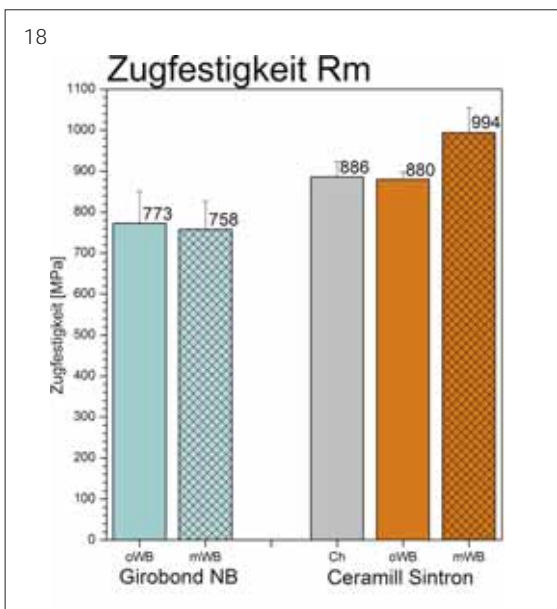


Abb. 17 Die E-Module der unterschiedlichen Probestkörper. oWB steht für ohne Wärmebehandlung, mWB für mit Wärmebehandlung und Ch markiert die Werte der Chargenkontrolle von Amann Girrbach

Abb. 18 Die ermittelten Werte für die Zugfestigkeit. Die mittlere Zugfestigkeit von Ceramill Sintron ist etwa 100 MPa höher als die von Girobond NB

Abb. 19 Die Bruchdehnung von Ceramill Sintron ist höher als die der Gusslegierung Girobond NB und nimmt durch die Wärmebehandlung statistisch signifikant zu

Gemäß DIN EN ISO 22674 wurden die Parameter Bruchdehnung A5, Dehngrenze Rp 0,2, Zugfestigkeit Rm und der E-Modul ausgewertet.

Die mechanischen Eigenschaften können den Abbildungen 16 bis 19 entnommen werden, wobei jeweils links die Ergebnisse der Gusslegierung Girobond NB und rechts die der Sinterlegierung Ceramill Sintron ohne und mit Wärmebehandlung (oWB, mWB), sowie die Daten der Chargenprüfung (Ch) von Amann Girrbach dargestellt sind.

Eine sehr wichtige Kenngröße ist die 0,2 %-Dehngrenze (Rp 0.2), die den Übergang von elastischer zu plastischer Verformung repräsentiert. Nach DIN EN

ISO 22674 müssen Legierungen vom Typ 4 mindestens einen Wert von 360 MPa aufweisen. Dieser wird von beiden Legierungen deutlich überschritten (vgl. rote Linie in Abb. 16). Die Mittelwerte von Girobond NB sind etwas höher als die von Ceramill Sintron. Bei beiden Legierungen konnte kein Einfluss der Wärmebehandlung (simulierter Keramikbrand) auf die Dehngrenze festgestellt werden.

Der materialspezifische Widerstand gegen elastische Deformation wird durch den E-Modul gekennzeichnet. Das heißt, ein Material mit höherem E-Modul wird bei gegebener Zugspannung weniger gedehnt [5], wodurch grazilere Gestaltungen,

zum Beispiel bei Brückenverbindern, möglich sind. In dieser Hinsicht zeigen Girobond NB und Ceramill Sintron vergleichbare Werte (vgl. Abb. 17). Infolge der Wärmebehandlung nimmt der Wert von Ceramill Sintron im Mittel von 202 auf 163 GPa etwas ab. Eine typische Edelmetalllegierung liegt im Vergleich im Bereich um 110 MPa [6].

Die mittlere Zugfestigkeit ist bei Ceramill Sintron etwa 100 MPa höher als die von Girobond NB und nimmt infolge der Wärmebehandlung noch weiter zu (vgl. Abb. 18).

Die Bruchdehnung von Ceramill Sintron ist höher als die der Gusslegierung Girobond NB und wird durch die Wärmebe-

Abb. 20
Lichtmikroskopische Aufnahme einer exemplarischen Bruchfläche von Ceramill Sintron (25-fache Vergrößerung) mit homogener Struktur



Abb. 21
Lichtmikroskopische Aufnahme einer exemplarischen Bruchfläche von Girobond NB (25-fache Vergrößerung). Die Struktur wirkt sehr ungleichmäßig

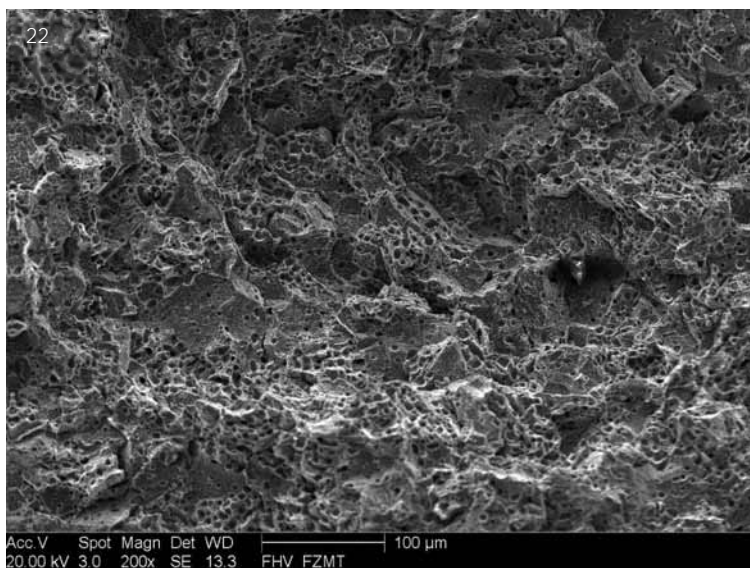
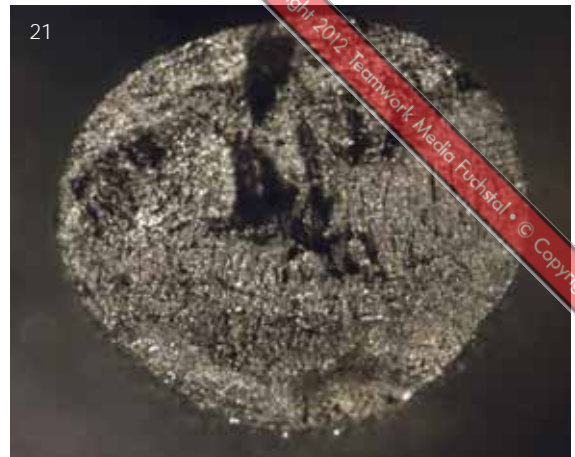


Abb. 22 Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme einer Bruchfläche von Ceramill Sintron (oWB, 200-fache Vergrößerung). Diese Aufnahme unterstreicht die Homogenität der Bruchfläche

handlung statistisch signifikant größer (vgl. Abb. 19). Dies kann auf eine Entspannung des Sintergefüges zurückgeführt werden.

Mikroskopie

Nach den Zugversuchen wurden mikroskopische Aufnahmen von den Bruchflä-

chen angefertigt. Die Bruchflächen von Ceramill Sintron (Abb. 20) zeigten im Vergleich zur Gusslegierung Girobond NB (Abb. 21) eine homogenere Struktur (die Abbildungen sind exemplarisch für die Bruchflächen der übrigen Proben). Dies wird durch die rasterelektronenmikroskopische Aufnahme weiter verdeutlicht (Abb. 22).

Fazit

Die Ceramill Sintron Proben, die einer Wärmebehandlung (ähnlich einem klassischen Brennprogramm) unterzogen wurden, weisen die höchste Bruchdehnung und Zugfestigkeit auf. Gefolgt werden sie von Ceramill Sintron ohne Wärmebehandlung und Girobond NB mit und ohne Wärmebehandlung.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Sinterlegierung Ceramill Sintron im Vergleich zu der aufbrennfähigen Gusslegierung Girobond NB vergleichbare, in einigen Kennwerten sogar bessere Festigkeitseigenschaften aufweist.

Ähnliche Bewertungen liegen auch beim Vergleich von lasergeschmolzenen mit gegossenen aufbrennfähigen CoCr-Legierungen vor (zum Beispiel [7, 8]). Aus den vorliegenden Ergebnissen und den Beurteilungen der SLM-Strukturen kann geschlossen werden, dass Fertigungsverfahren, wie Laserschmelzen und Fräsen im Grünlingszustand mit anschließender Sinterung, konventionelle Gießverfahren ersetzen können und einen konsequenten Schritt hin zum „Digital Workflow“ auch bei Legierungen darstellen. ■

Zu den Personen

Die Vitae der Autoren finden Sie unter www.teamwork-media.de/download/autoren/dd10_12_geis-gerstorfer.pdf oder direkt mithilfe des nebenstehenden QR-Codes.

Kontaktadressen

Prof. Dr. Jürgen Geis-Gerstorfer und Christine Schille (PhyTA) • Eberhard Karls Universität Tübingen
Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde • Oslanderstraße 2-8 • 72076 Tübingen

Dipl.-Ing. (FH) Falko Noack und Dipl.-Ing. (FH) Axel Reichert • Amann Girschbach AG • Herrschaftswiesen 1
6842 Koblach/Österreich

