

Neue Technik, um Chrom-Kobalt-Molybdän trocken im Labor zu fräsen

Schnell gefräst, sicher verblendet

Ein Beitrag von Dipl.-Ing. Bogna Stawarczyk, MSc, Marlis Eichberger, Josef Schweiger, PD Dr. Florian Beuer, alle München/Deutschland, Dipl.-Ing. Falko Noack und MSc Rita Hoffmann, beide Dornbirn/Österreich

Denkt man an dentale Chrom-Kobalt-Molybdän-Legierungen, so wird einem entweder ganz heiß, oder kalt. Heiß, weil man an die archaisch anmutende gusstechnische Verarbeitung mit allen ihren Tücken denken muss, und kalt, weil man für alternative Verarbeitungstechniken die Gerüsterstellung außer Haus geben muss. Natürlich könnte man die gewünschten Strukturen auch frästechnisch generieren, doch leider sind die meisten Labside-CAD/CAM-Systeme dazu nicht in der Lage. Mit einem neuen Chrom-Kobalt-Molybdän-Fräsröhring, der im Grünlingszustand trocken gefräst werden kann, könnte sich dies ändern. Ein guter Grund, diesen Werkstoff näher unter die Lupe zu nehmen.

Die rasante Entwicklung der computergestützt gefertigten Restaurationen revolutioniert seit einigen Jahren die Zahnarztpraxis und das zahntechnische Labor. Mit der Computer Aided Design (CAD)/Computer Aided Manufacturing (CAM)-Technologie werden heute zwar hauptsächlich zahncolor Materialien in Zusammenhang gebracht, allerdings können damit nicht nur Keramiken und Hochleistungspolymere, sondern auch Legierungen verarbeitet werden. In der Vergangenheit wurden vor allem Chrom-Kobalt-Molybdän-Pulverlegierungen in Fertigungszentren additiv im Laserschmelzverfahren oder auf massiven, kostenintensiven Fräsmaschinen aus endfestem Material subtraktiv verarbeitet. Nur wenige CAD/CAM-Systeme für das klassische Dentallabor waren oder sind auf die Bearbeitung dieser Materialien ausgelegt und mit hohen Anschaffungs- und Unterhaltskosten verbunden.

Neuer Verarbeitungsansatz

Ein neues Chrom-Kobalt-Material (Ceramill Sintron, Amann Girrbach) verbunden mit einer neuen Verarbeitungsstrategie ermöglicht es nun, diese Legierung im vorgesinterten Zustand, schnell und wirtschaftlich subtraktiv zu bearbeiten.

Vergleichbar zur weitestgehend etablierten Verarbeitungsstrategie dentaler Zirkonoxide, liegen auch hier die Rohlinge in einer materialtechnischen Vorstufe vor. Bei dem genannten Zirkonoxid sind das die so genannten „Weißlinge“, während die neuen CoCr-Rohlinge im „Grünlingszustand“ ausgeliefert werden. Von Grünlingen spricht man, wenn der Rohling noch nicht entbindert wurde (im Vergleich zum Weißling). Das heißt, die Pulverpartikel werden während der Weiterverarbeitung über einen organischen Binder zusammen gehalten. Erst nach der subtraktiven Bearbeitung des Grünlings wird das Werkstück in einem speziellen Hochtemperatur-Sinterofen unter einer Argon-Schutzgasatmosphäre bei zirka 1300°C gesintert. Während des Sinterprozesses verbrennen die organischen Binder und die metallischen Pulverpartikel sintern aneinander, ohne dass eine schmelzflüssige Phase erzeugt wird. Dadurch schrumpft die Rekonstruktion auf die zuvor berechnete Endgröße (Volumenschrumpfung von etwa 11%). Ein Vorteil dieser Technologie ist der, dass aufgrund des Sinterprozesses unter Schutzgas, das Werkstück keine, beziehungsweise nur eine minimale Oxidationsschicht aufweist. Die Nachbearbeitung nach dem Sintern wird so auf ein Minimum reduziert (Abb. 1 und 2).

Mechanische Eigenschaften

Nach dem Sintern erreicht die Legierung mechanische Eigenschaften, die mit vergossenen, lasergeschmolzenen oder subtraktiv bearbeiteten Chrom-Kobalt-Legierungen vergleichbar sind. Die mechanischen Eigenschaften, die auf den unterschiedlichen Wegen verarbeiteten Legierungen, sind in der Tabelle 1 dargestellt. Die Zugfestigkeit (R_m) markiert hier den höchsten Spannungswert, der im Verlauf der Messung erreicht wird. Im Spannungs-Dehnungs-Diagramm entspricht sie dem letzten gemessenen Punkt, bevor die Probe zerreißt. Allerdings ist diese Messgröße für zahnärztliche Werkstoffe nicht von großer Relevanz, da eine plastische Verformung im Mund des Patienten nicht erwünscht ist. Der für uns entscheidende Parameter ist die Dehngrenze ($R_p 0,2\%$). Die Dehngrenze gibt die Spannung an, die vom Material noch toleriert wird, ohne dass es sich plastisch verformt. Da es sehr schwierig ist, den Übergang zwischen dem elastischen und plastischen Bereich exakt zu ermitteln, wurde stattdessen ein Punkt definiert, bei dem bereits eine bleibende Längenänderung von 0,2% der Ausgangslänge erfolgt ist (0,2% Dehngrenze). Die Bruchdehnung beschreibt die relative Längenänderung, bei der ein

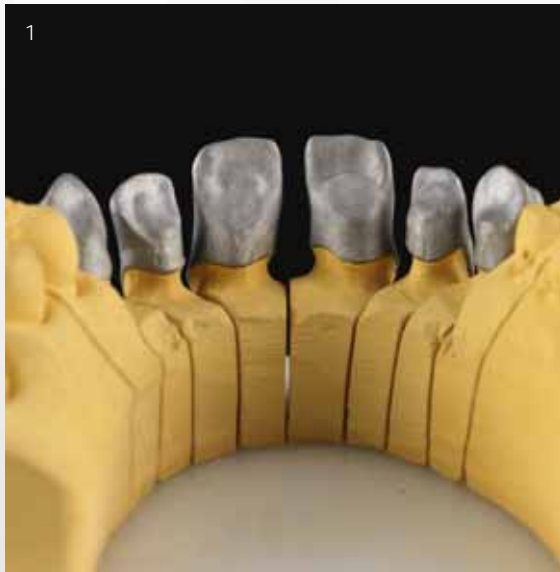


Abb. 1 und 2 Mit der neuen Verarbeitungstechnologie lassen sich aus Ceramill Sintron im Grünlingszustand wie gewohnt Kronen- und Brückenstrukturen fräsen. Ihre gewohnten Materialeigenschaften erhalten diese in einem nachgeschalteten Sinterprozess unter Schutzgas

Prüfkörper im Zugversuch reißt. Die Härte beschreibt wiederum den Widerstand, den ein fester Körper dem Eindringen eines anderen, härteren Körpers entgegensetzt, und der Elastizitätsmodul, kurz E-Modul, ist ein Maß für die Steifigkeit eines Werkstoffes.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die chemische Zusammensetzung, das Aussehen, die mechanischen und biologischen sowie die Verarbeitungseigenschaften von Ceramill Sintron im gesinterten Zustand praktisch

mit denen der bereits seit vielen Jahren klinisch bewährten CoCrMo-Gusslegierungen vergleichbar sind.

Zur Analyse der Gefüge wurde jeweils eine dreigliedrige Brücke in einer der drei CoCrMo-Verarbeitungstechniken von Amann Girrbach (Gießen, Lasersintern, Fräsen + Sintern) produziert und anschließend metallographisch präpariert. Die Querschliffe – in der Abbildung 3 a ist einer davon und der jeweils untersuchte Bereich dargestellt – wurden zur Visualisierung des Gefüges chemisch geätzt. In

den Abbildungen 3b bis g sind die jeweiligen Gefüge im Vergleich und in zwei Vergrößerungen dargestellt. Hierbei fallen bei dem neuen CoCr-Material vor allem die wesentlich kleineren und homogener verteilten Körner auf. Speziell gegenüber der Gusslegierung ist dieser Größenunterschied sehr eindrucksvoll.

Bedenkt man weiterhin, dass generell kleinere Körner zu erhöhter Korrosionsstabilität und mechanischen Festigkeit führen, lassen sich eventuell sogar klinische Vorteile mit dem neuen Ansatz der Verarbeitung von CoCr-Legierungen erwarten.

Mechanische Eigenschaften dentaler CoCrMo-Legierungen sowie deren Zusammensetzung

	Girobond NB	Ceramill NP L	Ceramill Sintron
Zugfestigkeit (Rm)	850 MPa	800 MPa	830 MPa
0,2% Dehngrenze (Rp0,2)	620 MPa	600 MPa	450 MPa
E-Modul (E)	210 GPa	170 GPa	200 GPa
Bruchdehnung	10 %	10 %	20 %
Vickershärte (HV 10)	320	320	280
Wärmeausdehnungskoeffizient (25-500 °C)	14,6 · 10 ⁻⁶ /K	14.0-14.5 · 10 ⁻⁶ /K	14,5 · 10 ⁻⁶ /K
Spez. Gewicht	8,5 g/cm ³	8,5 g/cm ³	8,0 g/cm ³
Chemische Zusammensetzung	62 % Co, 25 % Cr, 5 % Mo, 5 % W, 1 % Si, <0.1 % Ce	62-66 % Co, 24-26 % Cr, 5-6 % Mo, 5-6 % W, <1 % Si, <0.1 % Mn, <0.5 % Fe	66 % Co, 28 % Cr, 5 % Mo, <1 % Mn, <1 % Si, <0.5 % Fe

Gefügeanalysen dreigliedriger CoCrMo-Brückengerüste

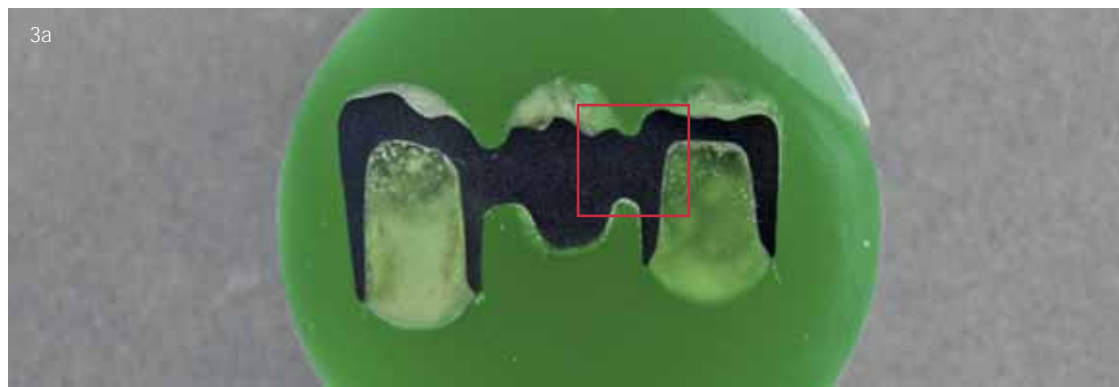


Abb. 3a Um die Gefüge der drei CoCrMo-Verarbeitungstechniken (Gießen, Lasersintern, Fräsen + Sintern) metallographisch untersuchen zu können wurden hiervon Querschnitte und Schliffproben hergestellt und jeweils der im roten Kästchen dargestellte Bereich untersucht



Abb. 3b Ceramill Sintron (4x)



Abb. 3d Girobond NB (4x)



Abb. 3f Ceramill NPL (4x)

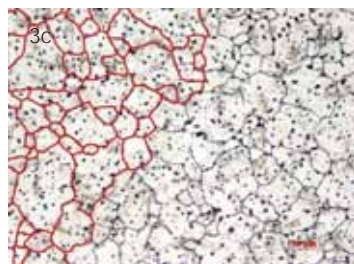


Abb. 3c Ceramill Sintron (200x)

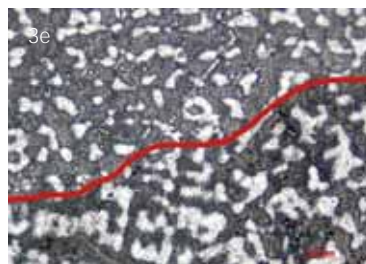


Abb. 3e Girobond NB (200x)

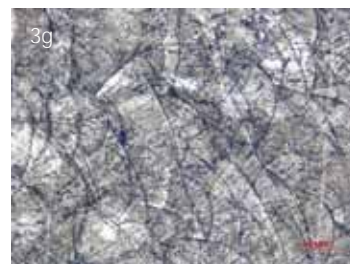


Abb. 3g Ceramill NPL (200x)

Weitere Untersuchungen, die diese These stützen, werden in Kürze veröffentlicht. Bei der Gefügeanalyse ist bei 200facher Vergrößerung eine, für freie Sinterprozesse typische, homogene und vollständig isolierte (abgeschlossene) Mikroporosität erkennbar. Diese ist jedoch nicht mit denen aus der Gusstechnik bekannten Poren und Gussfehlern gleichzusetzen.

Weiterverarbeitung

Nach der Fertigstellung der Ceramill Sintron Gerüste können diese analog zu den bisher verwendeten Gerüsten aus CoCrMo-Gusslegierungen verblendet

werden. Grundsätzlich sind hierfür alle Verblendkeramiken verwendbar, die aufgrund ihrer Wärmeausdehnungskoeffizienten für Nichtelegierungen geeignet sind. Eine entscheidende Rolle für die Gesamtfestigkeit der Konstruktion spielt die Verbundfestigkeit zwischen dem Gerüst und der Verblendkeramik. So wird die Lebensdauer einer Konstruktion, neben den mechanischen Eigenschaften des Gerüst- und Verblendmaterials, unter anderem von einer guten Anpassung der thermischen Wärmeausdehnungskoeffizienten (WAK) beider Verbundpartner sowie einer guten Haftung der Verblendmasse auf dem Gerüstmaterial bestimmt.

Verbundfestigkeit

Damit die praktische Relevanz der neuen CoCrMo-Legierung und dessen Verarbeitungstechnik besser eingeordnet und bewertet werden kann, wurden die Verbundfestigkeiten von CoCrMo-Legierungen zu drei verschiedenen Verblendkeramiken geprüft. Ziel war es, zu testen, ob die Verbundfestigkeiten zu Ceramill Sintron vergleichbar mit den Verbundfestigkeiten einer gegossenen sowie einer lasergesinterten Legierung sind. Die WAK-Werte der drei getesteten CoCrMo-Legierungen lagen zwischen $14,0-14,6 \cdot 10^{-6}/K$. Allerdings haben nicht die Wärmeausdehnungseigenschaften allein einen Einfluss auf die Verbund-

Abb. 4a
Herstellung der
Schwickerath-
Prüfkörper nach
EN ISO 9693:2000



Abb. 4b
Um auf den
Prüfkörpern eine
standardisierte
Verbundfläche
zu erzeugen, wurde
eine spezielle
Vorrichtung
verwendet



festigkeit, sondern auch der mechanische und der chemische Verbund. Der mechanische Verbund wird hier durch Sandstrahlen erreicht. Daher wurden in dieser Untersuchung alle Prüfkörper sandgestrahlt. Der chemische Verbund entsteht durch die Zusammensetzung der Legierung. Dabei bilden die unedlen Bestandteile in Verbindung mit Sauerstoff eine Oxidschicht, die direkt an die Verblendkeramik bindet.

Um Ergebnisse zu erzielen, die mit bereits existierenden Daten verglichen werden können, wurden die Verbundfestigkeitsmessungen nach der EN ISO

9693:2000 Norm durchgeführt. Drei verschiedene Verblendkeramiken mit adäquaten WAK-Werten wurden in dieser Untersuchung verwendet: Vita VM13 (Vita Zahnfabrik), Willi Geller Creation (Creation Willi Geller International) und Reflex (Wieland Dental + Technik).

Als Gerüstmaterialien kamen neben Ceramill Sintron, die Lasersinterlegierung Ceramill NPL (Amann Girschbach) sowie die Gusslegierung Girobond NB (Amann Girschbach) zum Einsatz. Von jedem Legierungstyp wurden jeweils 45 Basen hergestellt (Abb. 4a) und diese an-

schließend mit Korund (Al_2O_3), einer Körnung von $110\ \mu m$ und einem Druck von 3 bar abgestrahlt. Dann wurden nach dem Zufallsprinzip drei Gruppen zu 15 Prüfkörper pro Verblendkeramik gebildet und diese den jeweiligen Herstellerangaben entsprechend verblendet. Um eine standardisierte Verbundfläche zu erzeugen wurde eine spezielle Vorrichtung zur Herstellung der Prüfkörper verwendet (Abb. 4b).

Nach dem Opakerbrand (Abb. 4c) wurden noch zwei Dentinbrände sowie ein Glanzbrand durchgeführt (Abb. 4d bis f).

Abb. 4c bis f
Nach dem
Opakerbrand wurden
zwei Dentinbrände
durchgeführt



work-Media Fuchstal • © Copyright 2012 Team

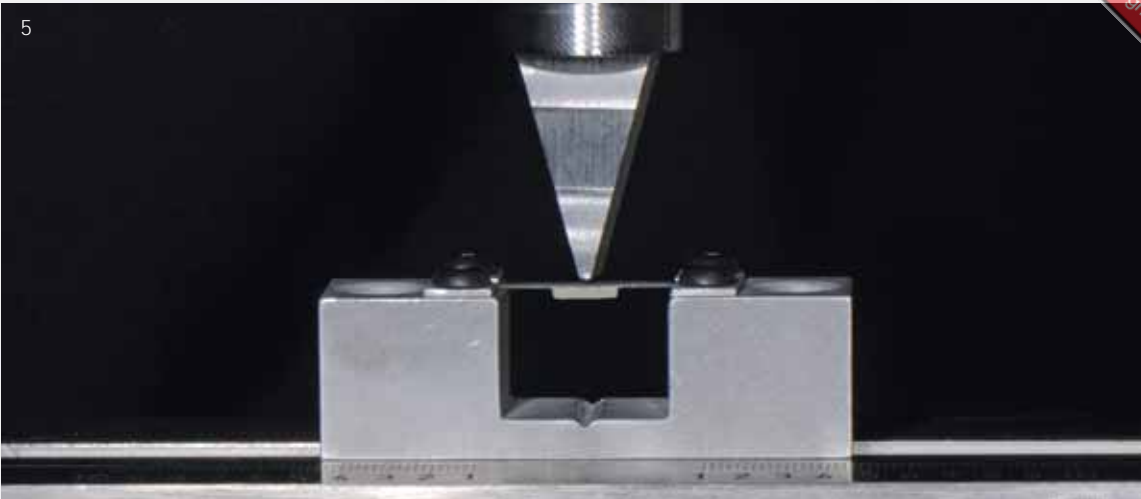


Abb. 5
In diesem Bild ist der Aufbau des Schwickerath-Tests exemplarisch dargestellt. Geprüft wird hier die Verbundfestigkeit zwischen Legierung und Verblendkeramik

Im Anschluss an das Verblenden wurden die Prüfkörper künstlich gealtert, da die in der Mundhöhle auftretenden Temperaturschwankungen simuliert werden sollten. Hierzu wurden die Prüfkörper 5000 Thermolastwechseln zwischen 5 beziehungsweise 55 °C unterzogen. Diese Temperaturschwankungen können den Verbund zwischen zwei Materialien belasten, da sich diese aufgrund verschiedener Wärmeausdehnungskoeffizienten unterschiedlich ausdehnen.

Anschließend wurden die Prüfkörper im Schwickerath-Test auf die Verbundfestigkeit getestet (Abb. 5). Die errechneten Verbundfestigkeitswerte sind in der Abbildung 6 dargestellt.

Bei den Verbundfestigkeitswerten zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen CoCrMo-

Legierungen. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass Ceramill Sintron den gleichen guten Verbund zu Verblendkeramiken aufweist, wie eine gegossene beziehungsweise im Lasersinterverfahren verarbeitete Legierung.

Vergleich der Verarbeitungsmöglichkeiten

Vergleicht man die unterschiedlichen Verarbeitungsmöglichkeiten von CoCrMo-Legierungen miteinander, so birgt die subtraktive Bearbeitung eines Grünlings mit anschließender Sinterung (Ceramill Sintron) deutlich weniger Fehlerquellen als das konventionelle Gussverfahren. Von Vorteil ist nicht nur die Gefügehomogenität des industriell angefertigten Rohlings, sondern vor allem seine Zusammensetzung, die weder während des Fräsprozesses noch beim anschließenden

Sinterprozess verändert wird. Beim Vergießen von Legierungen können dagegen potentielle Anwenderfehler die Qualität des Materials beeinflussen. Des Weiteren kann es beim Gussprozess aufgrund von Konzentrationsgradienten in der Schmelze zu Entmischungerscheinungen kommen. Dabei ordnen sich während des Erstarrungsprozesses der Schmelze nicht alle Legierungskomponenten gleichmäßig und homogen im Gefüge an. Bestimmte Bereiche des Gefüges verarmen an Legierungsbestandteilen zu Gunsten der Anreicherung von Legierungskomponenten in anderen Bereichen. Zudem kann es aufgrund zu hoher Schmelztemperaturen zur Reduzierung der niedrig schmelzenden Legierungsbestandteile und damit zur Veränderung der Zusammensetzung kommen. Bei inhomogen erstarrten Legierungen können im Gefüge Konzentrationsunter-

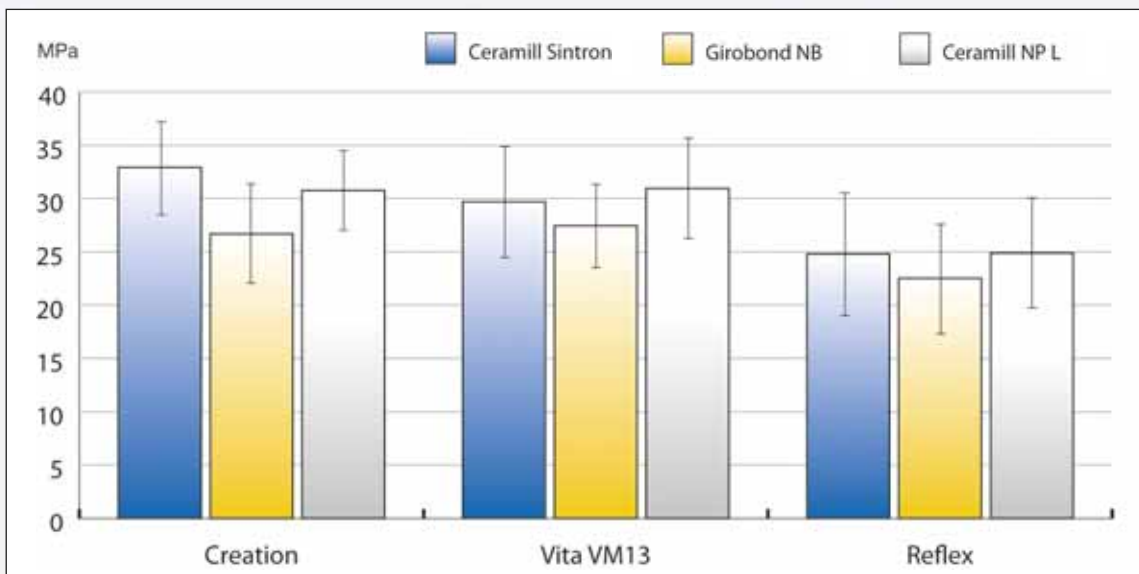


Abb. 6
Verbundfestigkeiten (MPa) zwischen den verschiedenen CoCrMo-Legierungen und den Verblendkeramiken

schiede entstehen, die im Sinne eines galvanischen Elementes zu lokal begrenzten Korrosionsprozessen führen können.

Da die Ceramill Sintron Rohlinge industriell hergestellt werden, sind die Verarbeitungsfehler der Legierung sehr minimal. Zudem werden bei der computerunterstützten subtraktiven Verarbeitung des Grünlings weitere mögliche Fehlerquellen umgangen. Entmischungsercheinungen sind während des Sinterprozesses nicht oder nur in äußerst geringem Ausmaß möglich, da es sich bei der Sinterung um einen diffusionsgesteuerten Materialtransport ohne Bildung einer flüssigen Phase handelt. Man

spricht in diesem Zusammenhang auch vom so genannten Festphasensintern (vergleiche Sinterprozess von Zirkonoxid). Weiterhin sind Verunreinigungen der Legierung, beispielsweise durch Rückstände der Einbettmasse beziehungsweise des Prototypenmaterials, prozessbedingt ausgeschlossen. Da die Sinterung unter Schutzgasatmosphäre durchgeführt wird, ist die Oberflächenoxidation des Sintergutes auf ein Minimum reduziert. Bisher waren die positiven Effekte der computergestützten Verarbeitung von CoCrMo-Legierungen den großen Fertigungszentren vorbehalten. Der in diesem Artikel beschriebene Ansatz, einen Grünling subtraktiv zu be-

arbeiten und ihn anschließend zu sintern, ist auch auf kleineren CAD/CAM-Maschinen direkt im zahntechnischen Labor möglich. Im Vergleich dazu werden additiv durch Lasertechnik hergestellte Gerüste ebenfalls in Laserzentren extern hergestellt. Durch die neue Technologie bleibt der Fertigungsprozess und somit die Wertschöpfung im zahntechnischen Labor.

Fazit

Die Möglichkeit, die CoCrMo-Legierung Ceramill Sintron CAD/CAM-gestützt im zahntechnischen Labor zu verarbeiten sowie deren mechanische Eigenschaften machen diese Verarbeitungstechnik sehr interessant. Da zudem nachgewiesen werden konnte, dass die zahntechnische Verblendung des Materials in gewohnter Art und Weise erfolgen kann, werden vom Anwender keine Kompromisse gefordert. Die hierbei erzielten Ergebnisse für die Verbundfestigkeit von Gerüstmaterial und Verblendkeramik sind ebenbürtig mit denen der bereits bekannten und angewandten Herstellungsverfahren für Verblendgerüste – in diesem Beitrag bezogen auf die Gusstechnik und das Selectiv Laser Melting. ■

Zu den Personen

Die Vitae der Autoren finden Sie unter www.teamwork-media.de/download/autoren/dd9_12_stawarczyk.pdf oder direkt mithilfe des nebenstehenden QR-Codes.



Kontaktadressen

Dipl. Ing. (FH) Bogna Stawarczyk, MSc, Marlies Eichberger, Josef Schweiger und Priv.-Doz. Dr. Florian Beuer • Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik der Ludwig Maximilians-Universität • Goethestraße 70 • 80336 München

Dipl.- Ing. (FH) Falko Noack und MSc Rita Hoffmann • Amann Girrbach AG Herrschaftswiesen 1 • 6842 Koblach/Österreich