



Doctoral Thesis

Direct ceramic machining of ceramic dental restorations

Author(s):

Filser, Frank Thomas

Publication Date:

2001

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004183626> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH No. 14089

Direct Ceramic Machining of Ceramic Dental Restorations

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH
for the degree of
Doctor of Technical Science

presented by

Frank Thomas Filser

Dipl.-Ing. TU Kaiserslautern
born on April 24, 1966
German

Accepted on the recommendation of
Prof. Dr. Ludwig J. Gauckler, examiner
Dr. T. Graule, co-examiner
Prof. Dr. Heinz Lüthy, co-examiner

Zurich, 2001

I. The Direct Ceramic Machining System (DCM)

I.1 Summary

Tetragonal zirconia polycrystals stabilized with 3 mol-% yttria (TZP) exhibits best mechanical properties, favourable aesthetic appearance and translucency. To date it is therefore one of the most promising candidates for dental application. Nevertheless this ceramic has not been used to a knowledgeable extent so far in prosthetic dentistry due to its difficulties in shaping. This drawback hinders the wider spread of its application although a strong market pull from patients and dentists already exists.

Hence, the goal of this work was to develop and to make available a new system for the fabrication of dental restorations which solves the shaping difficulties. This new *Direct Ceramic Machining* (DCM) approach for TZP mills ceramic blanks in a porous, presintered and yet easily machinable state which are afterwards sintered to full density maintaining the required accuracy. The sintering shrinkage is compensated by enlarging the shape prior to machining. So far this approach has not been used in dental applications.

Blanks were prefabricated and parameter sets were established. Easy machinability as well as high strength were achieved by adjusting presintering temperature as main trigger and compaction pressure as trigger of secondary importance. Homogeneity of the blanks on macro scale as determined from density distribution and on micro scale as determined by pore size distributions proved to be sufficient to guarantee the dimensional accuracy which is crucial for the dental application. Absolute dimensional accuracy was controllable within 19 μm ($\pm 12 \mu\text{m}$) after milling and sintering of a calibration speci-

men. A tolerance smaller than 0.09 % of length could be achieved which is more than sufficient for dental application. Coloration by infiltrating aqueous solutions of salts was proved to be feasible. However, coloration results need more detailed foundation, addressing especially the evolving colour, the thorough coloration of the complete blank and the effects on the properties of the frameworks.

An experimental machine setup, tools, methods and appropriate parameter sets enable the reliable fabrication of dental bridges and crowns. The DCM procedure includes the digitizing of framework models using a mechanical probe mounted on a standard numerical controlled milling machine. The surface data are enlarged by 25 % to compensate for sintering shrinkage. Prefabricated blanks are machined using a modified standard milling machining with hard metal mills.

Pre-clinical and clinical studies in their combination establish the feasibility of the DCM approach. Preclinical bend testing of three-unit TZP frameworks showed a more than two times higher load bearing capacity and two times higher reliability than other dental ceramic materials. A controlled clinical study in cooperation with University Zurich include 183 units of crowns, bridges with up to five units with two or more retainers in the anterior and in the posterior region in the lower and upper jaw. Inserted restorations cover the usual clinical indication bandwidth assuming that bridges with more than five units are rarely applied in clinical everyday life. Clinical study showed a hundred per cent success rate for more than two years of in vivo application. Hence it is concluded that this work proved the superiority of DCM fabricated dental restoration using a TZP framework.

The results of this work are very promising and may enable for a commercialization of the DCM system. However, further adjustment and optimization will be needed.

I.2 Zusammenfassung

Vollkeramische Systeme benutzen derzeit überwiegend Porzellan, Glaskeramik oder glasinfiltriertes Aluminiumoxid. Hochfeste, hochharte und hochzuverlässige Keramik hat nur begrenzte kommerzielle Verbreitung in der Zahnmedizin wegen der Schwierigkeiten ihrer Formgebung. Tetragonales polykristallines Zirkonoxid stabilisiert mit 3 mol-% Yttriumoxid (TZP) hat hervorragende mechanische Eigenschaften, ästhetisches Aussehen und Transluzenz. TZP ist der vielversprechendsten Kandidat für zahnmedizinische Anwendungen. Die prothetische Zahnheilkunde verwendet bereits TZP. Jedoch erfordert seine Hartbearbeitung im dichtgesinterten Zustand kostspielige Maschinen und Werkzeuge und benötigt lange Bearbeitungszeiten. Diese Nachteile verhindern die weitere Verbreitung, obgleich der Marktdruck von den Patienten und den Zahnärzten bereits existiert.

Das Ziel dieser Arbeit war, ein System für die Herstellung von Zahnkronen und -brücken zu entwickeln, zu evaluieren und verfügbar zu machen. Der Direct Ceramic Machining (DCM) Ansatz bearbeitet keramische Rohlinge in einem porösem, angesinterten und doch leicht bearbeitbaren Zustand. Danach wird unter Beibehaltung der zahnmedizinisch geforderten Genauigkeit dichtgesintert. Die Sinterschrumpfung wird kompensiert, indem die Form vergrößert aus dem Rohling herausgearbeitet wird. Dieser Ansatz wurde bisher in der Zahnmedizin nicht verwendet. Als Werkstoff wurde TZP ausgewählt.

Innerhalb dieser Arbeit wurden die keramischen Rohlinge hergestellt, charakterisiert und Herstellparameter evaluiert. Gute Bearbeitungsfähigkeit und hohe Festigkeit wurden gleichzeitig erzielt durch die geeignete Festlegung von Ansintertemperatur und des Pressdruckes. Die Homogenität der Rohlinge wurde im Makrobereich als Dichteverteilung an Ringen gemessen und im Mikrobereich anhand der Porengröße und ihrer Verteilung bestimmt. Die Homogenität der Rohlinge ist ausschlaggebend für das massgenaue Sintern. Die absolute Maßgenauigkeit, gemessen an einem Kalibrierkörper, war kleiner als $19\ \mu\text{m}$ ($\pm 12\ \mu\text{m}$) nach Fräsbearbeitung und anschließender Sinterung. Auf

die Ausgangslänge bezogen wurde 0,09 % relative Toleranz erreicht. Für zahnmedizinische Anwendungen ist die Genauigkeit des DCM-Verfahrens ausreichend. Die Färbung durch Infiltration wässriger Kationlösungen wurde demonstriert, jedoch bedürfen die erreichten Ergebnisse hinsichtlich der entstehenden Farbe, der Durchfärbung der Rohlinge und der Auswirkungen auf die Eigenschaften der Grundgerüste weiterer Untersuchungen.

Eine Experimentalmaschine, Werkzeuge, Hilfsmittel, Methoden und passenden Parameter erlauben die zuverlässige Herstellung der Zahnkronen und -brücken. Das DCM-Verfahren umfasst das Digitalisieren des Grundgerüsts mit einem Berührungssensor auf einer Standardfräsmaschine, die 25 %-ige Vergrößerung der Oberflächendaten zur Kompensation der Sinterschrumpfung und die Fräsbearbeitung der Rohlinge mit Hartmetall-Fräswerkzeugen.

Die Machbarkeit des DCM-Ansatzes wurde durch erfolgreiche vorklinische und klinische Studien demonstriert. Vorklinische Biegebruchtests an dreigliedrigen TZP Grundgerüsten zeigten eine mehr als zweimal höhere Belastungsfähigkeit bei zweifach höherer Zuverlässigkeit im Vergleich zu anderen erhältlichen Dentalkeramiken. Eine kontrollierte klinische Studie in Zusammenarbeit mit der Universität Zürich umfasste 183 Zahneinheiten, die in Form von Kronen und Brücken mit bis fünf Gliedern, mit zwei oder mehr Verankerungen, im Front- und Backenzahnbereich im Unter- und Oberkiefer bei Patienten eingesetzt wurden. Der eingegliederte Zahnersatz umfasst die übliche klinische Indikationsbandbreite, unter der Annahme, dass Zahnbrücken mit mehr als fünf Gliedern selten in der täglichen Praxis anzutreffen sind. Während der mehr als zweijährigen Laufzeit zeigte die klinische Studie eine hundertprozentige Erfolgsrate. Innerhalb der vorliegenden Arbeit konnte die Überlegenheit des mittels dem DCM-Verfahren hergestellten Zahnersatzes mit einem TZP Grundgerüst gezeigt werden.

Die Ergebnisse dieser Arbeit sind erfolgversprechend für eine Kommerzialisierbarkeit des DCM-Systems, die allerdings noch weitere, über diese Arbeit hinausgehende Anpassungen und Optimierungen erfordert.