

Wissenschaftliche Information

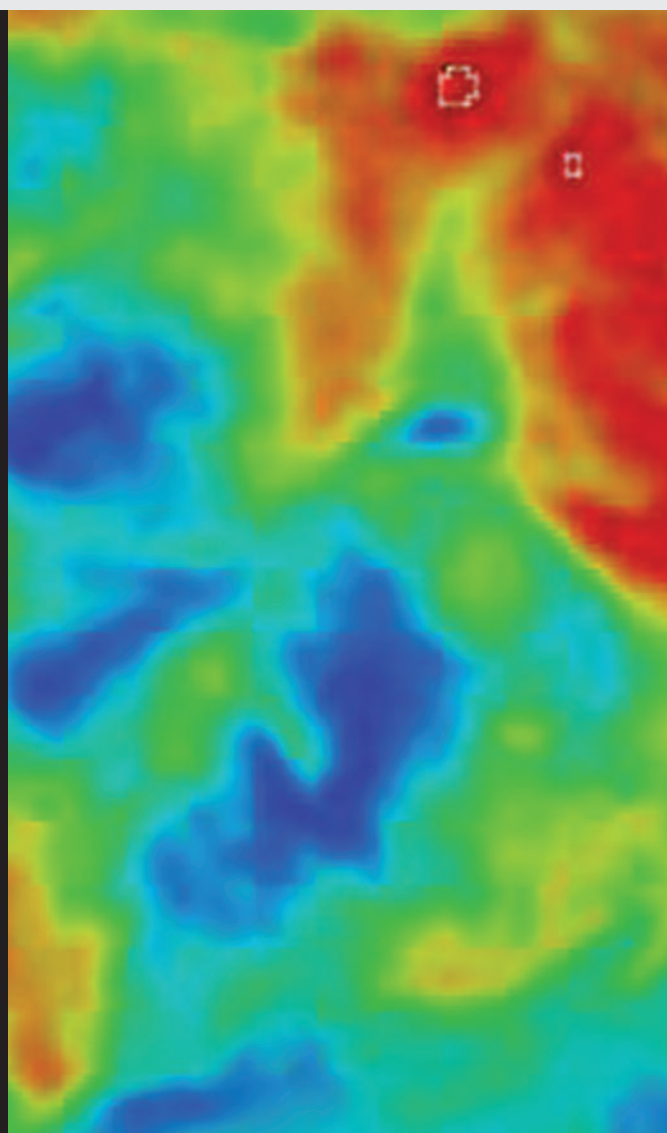
Thema: **Cooling Shock Protection CSP reduziert Spannungen in der Keramik**

Titel: **Wissenschaftliche Grundlagen zur CSP-Funktion im neuen Programat P700/G2 Keramikbrennofen**

Autor: Dr. rer. nat. Harald Bürke, Dipl.-Ing. Werkstoffwissenschaften,
Ivoclar Vivadent AG, Bendererstrasse 2, 9494 Schaan/Liechtenstein

Der Brennofen ist das wichtigste Werkzeug des Keramik-Zahntechnikers. Durch eine falsche Brenntemperatur ist schnell die Arbeit von Stunden zunichte gemacht. Deshalb muss die Brennleistung des Dentalofens regelmässig überprüft werden. Zum Beispiel wird in der DIN 13905 Teil 1 und 2 die Kalibrierung von Brennleistung und Endtemperatur beschrieben.

Man ist also bemüht, in punkto Aufheizrate, Haltetemperatur und Haltezeit die Vorgaben exakt einzuhalten. Ein erfahrener Techniker wird zudem schnell am Aussehen seiner Restaurationen erkennen, wenn die Leistung des Ofen abnimmt. Gerne wird jedoch übersehen, dass der Prozess nach dem Ende der Haltezeit noch nicht beendet ist. Bisher wird nämlich dem Abkühlprozess noch recht wenig Bedeutung beigemessen. Dies ist insofern kritisch, weil sich Fehler, die sich hier auf tun, visuell nicht feststellen lassen. CSP macht den Abkühlprozess sicherer.



Der Abkühlprozess

Mit dem Abkühlprozess beginnt eine ganz wesentliche Phase für die Restauration. Während der Abkühlphase bildet sich nämlich das Spannungsprofil in der Restauration aus und dies kann entscheidend für deren Zuverlässigkeit sein. Hierbei muss man zwischen erwünschten und unerwünschten Spannungen differenzieren. Für das Auftreten von Eigen-
spannungen 1. Art, das sind makroskopische Spannungen, welche bereits ohne äussere Krafteinwirkung auf bestimmte Bereiche der Restauration wirken, gibt es im wesentlichen drei Mechanismen, die sich in der Praxis überlagern [1].

1. Verschmelzspannungen

Spannungen, die durch unterschiedliche Wärmeausdehnungskoeffizienten (WAK) zustande kommen, macht man sich bei mehrschichtigen Systemen zu Nutze. Durch ein geringfügig stärkeres Schrumpfen des Gerüstmaterials im Vergleich zum Verblendmaterial wird in der Verblendkeramik eine Druckspannung aufgebaut und entsprechend eine Zugspannung im Gerüstmaterial. Dies hat seinen Grund darin, dass das Gerüstmaterial, ob Keramik oder Metall, in der Regel höhere Zugspannungen ertragen kann, als die Verblendkeramik, welche üblicherweise einen hohen glasigen Anteil aufweist. Auch wird die Glasur so eingestellt, dass sie nach dem Abkühlen unter Druckspannung steht. Hierdurch wird einer Rissentstehung durch eine punktförmige Drucklast auf die Oberfläche entgegengewirkt und die Temperaturwechselbeständigkeit erhöht.

2. Temporäre oder transiente Wärmespannungen:

Die transienten Wärmespannungen entstehen durch inhomogenes Erwärmen oder Abkühlen während der Aufheiz- oder Abkühlphase. Diese temporären Spannungen sind um so höher, je höher die Heiz- bzw. Kühlrate ist, und je höher der WAK ist. Auch die Wärmeleitfähigkeit und das Wärmespeichervermögen des Materials spielt eine Rolle. Die höchsten Spannungen treten in den massiven Bereichen der Restauration auf, da hier der Temperatursausgleich am langsamsten von statten geht. Beim Aufheizen entsteht aussen Druckspannung und innen Zugspannung. Während des

Brennprozesses ist die Keramik spannungsfrei, da oberhalb von T_g Spannungen durch einen viskosen Fließprozess abgebaut werden. Unterhalb T_g entstehen während des Abkühlens aussen temporäre Zugspannungen, welche wieder verschwinden, sobald die Restauration vollständig auf Raumtemperatur abgekühlt ist.

3. Kühlspannungen oder residuelle Spannungen

Die Entstehung von Kühlspannungen ist eng an die speziellen Eigenarten von Glas und den Glasübergang gebunden. Sie finden ihre Parallele im thermischen Vorspannen von Flachglas. Hier wird durch eine hohe Kühlgeschwindigkeit im Temperaturbereich um T_g eine Druckvorspannung der Glasoberfläche erzielt. Der Spannungsaufbau beginnt, wenn das Temperaturprofil T_g unterschreitet und dabei die Glasoberfläche vom viskoelastischen in den rein elastischen Zustand übergeht. Der heisse Kern kann dagegen die sich aufbauenden transienten Wärmespannungen noch durch viskoses Fließen abbauen, so dass zunächst die kühle Oberfläche mit einer heissen Kernzone im mechanischen Gleichgewicht steht. In der Folge ergibt sich eine unterschiedliche Kontraktion von Oberfläche und Kernzone, der Kern zieht sich stärker zusammen, wodurch Druckspannungen aussen und Zugspannungen innen erzeugt werden. Die bleibenden Spannungen treten erst gegen Ende des Abkühlprozesses in Erscheinung, dann wenn die Oberfläche schon auf Raumtemperatur abgekühlt ist, die Kernzone aber noch weiter abkühlt und sich dabei zusammenzieht.

Die resultierenden Druckspannungen σ_D in der Oberfläche sind zum Quadrat der Probendicke und zur Kühlgeschwindigkeit proportional (Bild 1).

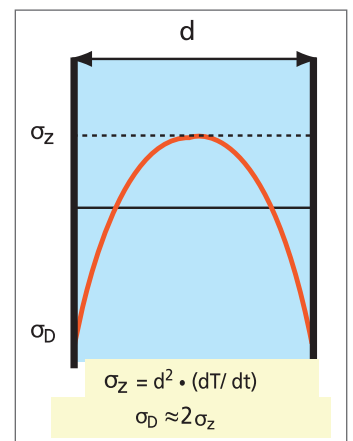


Abb. 1: Spannungsverteilung über die Glasdicke bei einer abgeschreckten Glasscheibe

CSP versus Langzeitkühlung

Was ist nun der Unterschied zwischen Langzeitkühlung und Cooling-Shock Protection?

Bei der **Langzeitkühlung** wird üblicherweise wenig unterhalb der Brenntemperatur eine langsame Abkühlung vorgenommen oder eine weitere Haltezeit eingefügt. Bei dieser Temperatur ist der Sinterprozess bereits abgeschlossen, die äussere Geometrie der Restauration fixiert, jedoch können auf mikroskopischer Ebene bestimmte Gefügebestandteile reifen, da zwischen der Glasphase und den kristallinen Bestandteilen einer Glaskeramik ein temperaturabhängiges Gleichgewicht besteht. Zum Beispiel kann bei leuzithaltigen Glaskeramiken durch eine Langzeitkühlung der WAK gezielt beeinflusst werden, indem mehr oder weniger Leuzitkristalle zur Ausscheidung gebracht werden.

Mit der Funktion **CSP** wird die Kühlgeschwindigkeit im Bereich der Glasübergangstemperatur drastisch reduziert, wodurch sich der Aufbau von Restspannungen reduzieren lässt. In Bild 2 ist die Abkühlgeschwindigkeit einer IPS e.max CAD

Restauration ohne CSP und mit CSP dargestellt. Ohne CSP beträgt die maximale Abkühlgeschwindigkeit über 200 °C/min. Dies kann zu unkontrollierten Restspannungen bei Materialien führen, deren Glasübergang bei dieser Temperatur liegt. Mit CSP dagegen wird die Abkühlung linearisiert, die maximale Kühlgeschwindigkeit beträgt zwar immer noch 100 °C pro Minute, jetzt jedoch bei einer Temperatur unterhalb der Glasübergangstemperatur. Dadurch werden Restspannungen deutlich reduziert.

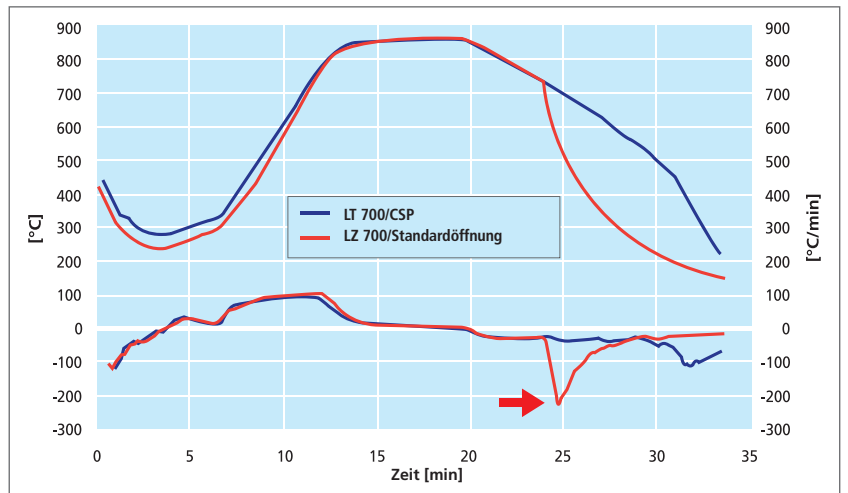


Abb. 2: Vergleich der Abkühlgeschwindigkeit mit CSP und ohne CSP (oben: Temperaturverlauf an der Restauration in °C, unten: 1. Ableitung = Temperaturänderungsrate in °C/min)

Spannungsoptik

Mit Hilfe eines spannungsoptischen Messgerätes können Restspannungen sichtbar gemacht werden [2]. Bild 3 zeigt hier den Unterschied bei vollanatomischen Kronen. Die Probe

links wurde regulär gebrannt, rechts wurde CSP aktiviert. Gelb und rot bedeutet, dass hier Restspannungen vorhanden sind, blau und grün sind Bereiche ohne bzw. mit sehr niedrigen Restspannungen.

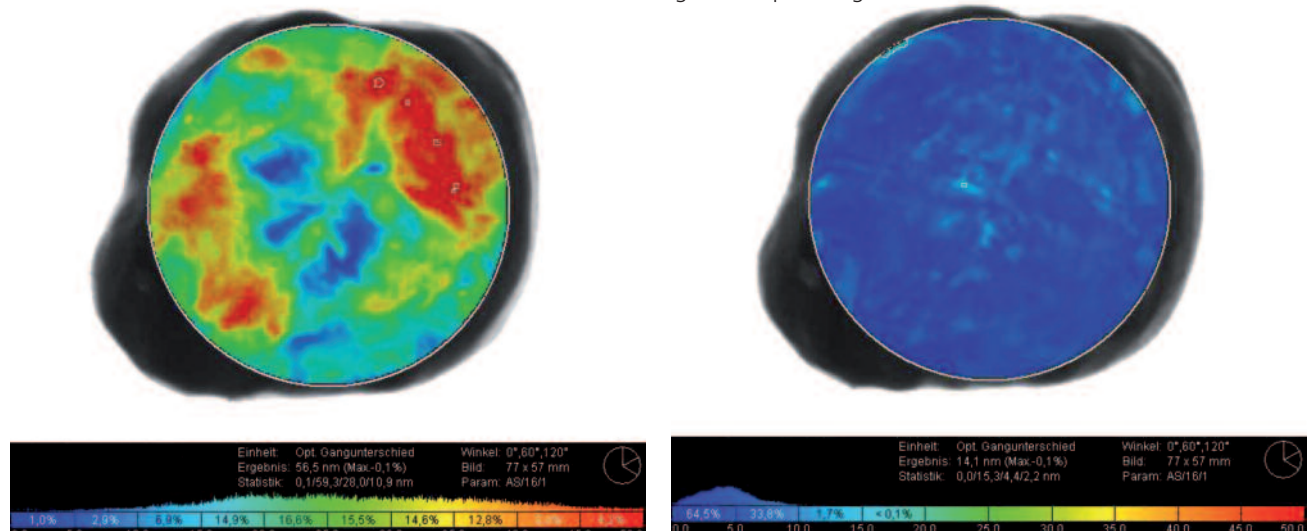


Abb. 3: Vergleich der Restspannungen: rechts mit CSP und links ohne CSP

Schlussfolgerung

Mit Cooling Shock Protection wird die Abkühlrate im Bereich der Glasübergangstemperatur reduziert. Dies verhindert unerwünschte Kühleffekte. CSP macht den Abkühlprozess sicherer.

Literaturhinweise

- [1] aus: Günther Nölle, Technik der Glasherstellung, 3. überarb. Aufl. Stuttgart: Dt. Verl. für Grundstoffindustrie, 1997
- [2] Henning Katte, ilis GmbH, Erlangen; Präzise Messung der Spannungsdoppelbrechung in optischen Gläsern; Photonik 5/2008

