

In diesem Handbuch möchten wir Ihnen nützliche Tipps und Anwendungshinweise für die Nutzung der Prozess-Temperatur-Kontrollringe PTCR geben.

### Inhalt

1. Was ist ein PTCR?.....	1
2. Wie funktioniert der PTCR?.....	1
3. Welche Ringtypen gibt es?.....	1
4. Wofür werden PTCR verwendet? .....	2
5. PTCR Handhabung.....	2
5.1 Vorgehensweise.....	2
5.2 Erste Anwendung.....	3
5.3 PTCR Mikrometer.....	3
5.4 Referenztemperaturtabelle .....	3
5.5 Interpretation der Messergebnisse .....	3
5.6 Einfluss der Atmosphäre.....	4
5.7 Vorbrennen der PTCR.....	4
6. FAQ – Frequently Asked Questions.....	4

## 1. Was ist ein PTCR?

Ein PTCR ist ein keramisches Werkzeug, das die Aufzeichnung von Prozesswärme erlaubt. Dank ausgefeilter Technik und der Verwendung hochwertiger Werkstoffe kann der PTCR den tatsächlichen Wärmeeintrag an der Stelle, an der er im Ofen platziert wird, erfassen. Die Verwendung von PTCR ermöglicht sowohl die Bestimmung des Temperaturfeldes eines Ofens als auch eine Gewährleistung eines nachhaltigen und gesicherten Qualitätsstandards.

Erfasst man die Ofentemperatur über ein lokal angebrachtes Thermoelement, so hat man weder Gewissheit über die Homogenität des Temperaturfeldes noch über die Reproduzierbarkeit einzelner Ofengänge. Thermoelemente erfassen die Temperatur an einer einzigen Position und geben keine Auskunft über die Temperatur an der Position des Werkstücks, die letztendlich entscheidend ist. Diese wird maßgeblich durch die eingetragene Wärmeenergie beeinflusst und kann nicht durch ein Thermoelement erfasst werden. Zudem wird der Wärmeeintrag bei gleicher nomineller Ofentemperatur für verschiedene Bestückungen bzw. unterschiedliche Ofenfahrten abweichen.

Um die im vorherigen Absatz aufgezählten Randbedingungen bei der Messung der Temperatur, bzw. des Wärmeeintrags berücksichtigen zu können, wurde der PTCR entwickelt.



Ein PTCR zeichnet den Wärmeeintrag an der entsprechenden Stelle auf, unabhängig ob dieser durch Wärmeleitung, -strahlung oder -konvektion eingebracht wird. Dabei werden Einflüsse verschiedener Phänomene berücksichtigt, die in einem Ofen auftreten und anhand von Thermoelementen nicht ausreichend erfasst werden können, wie z. B. Wärmesenken, Temperaturgradienten, Gasströme, Wärmeübergangskoeffizienten, Haltezeiten, Ofeneinstellungen, etc. Bedingt durch die Aufzeichnung der real eingetragenen Wärme kann anhand von PTCR eine größtmögliche Reproduzierbarkeit von Thermoprozessen gewährleistet werden und somit ein entsprechender Qualitätsstandard.

## 2. Wie funktioniert der PTCR?

Der PTCR ist ein keramischer Ring, der proportional zum Wärmeeintrag schrumpft. Der Grad der Schrumpfung ist abhängig vom Verlauf der Ofentemperatur, den Wärmeleitungsbedingungen und der Verweildauer im Ofen.

Die Schrumpfung kann anhand von Tabellen mit einer Ringtemperatur (RT) korreliert werden. Die RT gibt einen Temperaturreferenzwert an und entspricht der in den Ring und somit in das Bauteil eingetragenen Wärme. Die so bestimmte RT ist eine nominelle Temperatur für den gesamten Wärmeprozess und kann weder mit einer absoluten Temperatur in Celsius, Fahrenheit oder Kelvin, noch mit der eingestellten Ofentemperatur korreliert werden.

Die Haltezeit bei maximaler Temperatur muss ebenfalls berücksichtigt werden. Verweilt der PTCR bei einer konstanten Temperatur, so wird dieser kontinuierlich schrumpfen und die Referenztemperatur mit der Haltezeit ansteigen. Übliche Haltezeiten liegen je nach Ringtyp und Anwendung bei 0,5 bis 10 Stunden. Die maximale Haltezeit für PTCR ZTH liegt bei 120 Minuten. Werden PTCR darüber hinaus verwendet, können fehlerhafte Ergebnisse auftreten, da die Kapazität des Rings erschöpft ist.

## 3. Welche Ringtypen gibt es?

Insgesamt stehen Ihnen sieben verschiedene Ringtypen für den Temperaturbereich von 560°C bis 1750°C zur Verfügung.

Ringtyp*	Temperaturbereich (von - bis)
ZTH	560°C - 660°C
UTH	660°C - 900°C
ETH	850°C - 1100°C
LTH	970°C - 1250°C
STH	1130°C - 1400°C
MTH	1340°C - 1520°C
HTH	1450°C - 1750°C

\*Alle Ringtypen sind alternativ auch in der dünneren L-Variante verfügbar - z.B. ETL 3,5mm statt 7mm hoch.

Die maximale Temperatur Ihres Brenn-/Sinterprozesses sollte ungefähr in der Mitte des Temperaturbereiches liegen, welchen der Ringtyp abdeckt. Im mittleren Temperaturbereich reagieren die Ringe deutlich sensibler als im äußeren Temperaturbereich. Liegt die maximale Prozesstemperatur im Grenzbereich zweier Ringtypen, fällt die Auswahl unter Berücksichtigung der Prozessbedingungen, wie z.B. der Haltezeit und Atmosphäre, da beide Faktoren die Schwindung

# PTCR

## Funktion & Anwendung

des Ringes ebenfalls stark beeinflussen. Hier empfehlen wir Kontakt zu uns aufzunehmen.

#### 4. Wofür werden PTCR verwendet?

PTCR hat einen weit gefächerten Einsatzbereich. Dank der einfachen und unkomplizierten Handhabung und den, vergleichsweise geringen, Kosten dient PTCR als perfektes Werkzeug zur Einstellung, Sicherung und Dokumentation von thermischen Prozessen.

Die wesentlichen Anwendungen sind:

- A) Prozesskontrolle und -optimierung
- B) Fehlersuche und Problembehandlung
- C) Leistungssteigerung
- D) Steigerung der Produktqualität
- E) Reduzierung des QS-Aufwandes
- F) Qualitätssicherung

##### A) Prozesskontrolle und -optimierung

Üblicherweise wird der PTCR zur Optimierung und Einstellung von Wärmebehandlungen jeglicher Art eingesetzt. Dabei können lokale Wärmeleistung und Charakteristika des Ofens abgeschätzt und die Qualität der behandelten Produkte gesichert werden.

Hierzu werden für eine zu optimierende Anwendung zunächst einige Testläufe unter Veränderung von nomineller Temperatur und Haltezeit durchgeführt. Diesen Testläufen kann nun eine Referenztemperatur (RT) zugeordnet werden, die wiederum einem speziellen Ofengang entspricht.

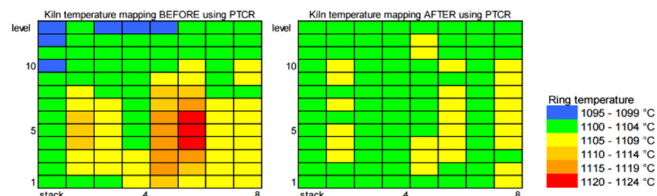
Sind die optimalen Parameter der Wärmebehandlung einmal definiert, so gewährleistet eine konstante RT bei zukünftigen Ofengängen eine bestmögliche Reproduzierbarkeit des Prozesses. Abweichungen bei Temperatur, Haltezeit oder Wärmeeintrag werden durch eine abweichende Referenztemperatur angezeigt. Der Vorgang der Prozesskalibrierung sollte individuell angepasst und bei einem Ofenwechsel oder nach einer Wartung wiederholt werden.

##### B) Fehlersuche und Problembehandlung

Der PTCR lässt sich hervorragend zur Fehlersuche einsetzen. Um Abweichungen im Temperaturfeld des Ofens zu lokalisieren werden mehrere PTCR an unterschiedlichen Positionen des Ofens platziert. Abweichungen in der Referenztemperatur deuten somit auf Abweichungen im Temperatur-, bzw. Wärmefeld des Ofens hin. Die kontinuierliche Dokumentation der Homogenität des Temperaturfeldes erfordert selbstverständlich einen geringeren Einsatz an PTCR als die Fehlersuche selbst. Zur Dokumentation bietet SCHUPP für seine Kunden eine kostenfreie PTCR WEB APP an.

##### C) Leistungssteigerung

Ist das Temperaturfeld des Ofens erstmals bekannt, kann eine Feinabstimmung des Prozesses nicht nur die Wärmebehandlung des Produktes verbessern, sondern auch den Energieeinsatz nachhaltig verringern.



##### D) Steigerung der Produktqualität

Der Produktionsausschuss kann dank präziser Kontrolle des Prozesses minimiert und der Qualitätsstandard gesteigert werden. Eine anschließende Qualitätskontrolle kann bei abgesicherter Prozessführung mit und mit reduziert werden, wodurch ebenfalls Kosten eingespart werden.

##### E) Reduzierung des QS-Aufwandes

Die verbesserte Prozessführung erlaubt die Reduzierung des Aufwandes bei der Qualitätssicherung bis hin zur vollständigen Einstellung der Produktkontrolle. Lediglich die abschließende Vermessung der PTCR zur Absicherung der Reproduzierbarkeit der einzelnen Ofengänge bleibt übrig. Mit dem PTCR Mikrometer lässt sich der exakte Durchmesser des Rings präzise und schnell anhand einer einzigen Messung bestimmen. Mit der Zeit kann die Anzahl der Stichprobenkontrollen auf ein Minimum reduziert werden. Dies führt zu einer deutlichen Reduzierung des QS-Aufwandes bei stets repräsentativen Messergebnissen und einer gesicherten Produktqualität.

##### F) Qualitätssicherung

Nach ISO 9001:2015 kann eine nachhaltige Qualitätskontrolle nur anhand objektiver Messverfahren zur Dokumentation und Kontrolle der Wärmebehandlung gewährleistet werden. PTCR erfüllt diese Anforderungen.

## 5. PTCR Handhabung

### 5.1 Vorgehensweise

Im Folgenden wird die Vorgehensweise bei der Verwendung von PTCR im Einzelnen näher erläutert:

#### Schritt 1) Platzierung der PTCR im Ofen

Zunächst muss die geeignete PTCR-Art in Bezug auf die Einsatztemperatur gewählt werden. Nun werden die PTCR an jenen Stellen im Ofen platziert, deren Wärmecharakteristik erfasst werden soll. Eine Vermessung der einzelnen PTCR vor dem Einsatz ist nicht notwendig, da kleine Abweichungen statistisch abgesichert sind und in der anschließenden Korrelation mit einer Referenztemperatur berücksichtigt werden. Ein mögliches Anhaften der PTCR während des Brennvorganges kann vermieden werden, indem der Ring auf einer kleinen Menge Aluminiumoxid-Pulver oder einer Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Platte platziert wird.

#### Schritt 2) Starten des Brennvorganges

Nach exakter Platzierung an der gewünschten Stelle im Ofen folgt nun der individuelle Brennvorgang.

# PTCR

## Funktion & Anwendung

### Schritt 3) Vermessung der PTCR

Nach abgeschlossenem Brennvorgang wird der Durchmesser der PTCR vermessen. Hierbei ist darauf zu achten, dass die einzelnen Ringe einer Position innerhalb des Ofenraums zugeordnet werden können. Jeder PTCR braucht nur einmal vermessen zu werden, wobei das originale PTCR Mikrometer eine benutzerunabhängige, verlässliche und korrekte Bestimmung des Durchmessers erlaubt. Um eine bestmögliche Reproduzierbarkeit zu gewährleisten, sollte stets im Bereich zwischen den beiden eingepressten T's, oder zumindest immer an derselben Stelle gemessen werden. Neuere Chargen enthalten bereits einen neuen Stempel mit vordefinierten Messpunkten (siehe nachfolgende 2 Bilder).



### Schritt 4) Umrechnung in RT

Jeder Lieferung PTCR liegt eine chargenspezifische Tabelle bei, die eine Korrelation des Durchmessers mit einer Referenztemperatur erlaubt. Der für die RT bestimmte Wert steht für die aufsummierte Wärmemenge, die während des gesamten Zyklus eingetragen wird.

### 5.2 Erste Anwendung

Bei der ersten Anwendung von PTCR sind einige Probeläufe notwendig bei denen die erzielten Referenztemperaturen (RT) den jeweiligen Produktqualitäten zugeordnet werden. Somit erhält man zu einem optimierten Prozesslauf eine eindeutig korrelierte Referenztemperatur. Stimmt die ermittelte Referenztemperatur bei zukünftigen Ofengängen überein, so sind auch die Bedingungen innerhalb des Ofens gleich. Auf diese Weise kann eine konstante Produktqualität gesichert werden.

Es ist hervorzuheben, dass die RT-Werte nicht die absolute Temperatur wiedergeben, da mit den PTCR der Wärmeeintrag gemessen wird. Längere Haltezeiten bei konstanter Temperatur führen zu einem kontinuierlichen Schrumpfen des Rings und somit zu einem höheren Wert der RT. Dennoch können Abweichungen in der Wärmeverteilung innerhalb des Ofens, oder zwischen zwei Ofengängen, erfasst werden.

Ein vergleichbarer RT-Wert sichert einen vergleichbaren Wärmeeintrag ab, so dass ein konstanter Ringdurchmesser auf konstante Prozessbedingungen zurückzuführen ist.

### 5.3 PTCR Mikrometer


Das PTCR Mikrometer wurde speziell zur präzisen Messung des Ringdurchmessers entwickelt. Durch die eigens entworfene Halterung wird eine reproduzierbare Positionierung des PTCR im Mikrometer gewährleistet, so dass die einzelnen Messungen nicht wiederholt werden müssen. Handelsübliche Mikrometer können für die Bestimmung des Durchmessers verwendet werden, wobei ungenauere Ergebnisse erwartet werden. Daher wird empfohlen, einmalig in die Anschaffung des PTCR Mikrometers zu investieren.

### 5.4 Referenztemperaturtabelle

Der Schwindung des Rings wird mittels einer entsprechenden Tabelle mit einer Referenztemperatur korreliert. Die Tabelle wird individuell für jede produzierte Charge erstellt und kann nicht für andere Chargen verwendet werden.

Schwankungen innerhalb der verwendeten Rohstoffe und Unterschieden in den Grünlingen können dank der individuellen Kalibrierung kompensiert werden. Der für die RT bestimmte Wert wird somit chargenunabhängig und gewährleistet eine nachhaltige Reproduzierbarkeit der PTCR-Messungen. Hierbei ist zu beachten, dass die Verwechslung von chargenspezifischen Tabellen und Ringen zu Abweichungen führen kann.

M.E.SCHUPP Industrikeramik GmbH & Co. KG  
 Neuhausstraße 4-10  
 52078 Aachen / Germany  
 Customer Service Desk  
 Phone : +49 (0) 241 93677-0  
 Fax : +49 (0) 241 93677-15



TEMPERATURE-TABLE for PTCR  
 Higher quality products and lower costs through improved, reliable firing control

Type PTCR - UTH		Schuppin		1400034		Ring Colour		Yellow	
Temperature Range °C		680 - 900°C		680 - 900°C		Dimensions		x 29 x 10 x 7.0 mm	
Ring dia. mill	Ring temp. °C	Ring dia. mill	Ring temp. °C	Ring dia. mill	Ring temp. °C	Ring dia. mill	Ring temp. °C	Ring dia. mill	Ring temp. °C
18.19	800*	18.00	829*	18.10	789*	18.00	729*	18.10	729*
18.20	800*	18.00	829*	18.10	789*	18.00	729*	18.10	729*
18.21	800*	18.00	829*	18.10	789*	18.00	729*	18.10	729*
18.22	800*	18.00	829*	18.10	789*	18.00	729*	18.10	729*
18.23	800*	18.00	829*	18.10	789*	18.00	729*	18.10	729*
18.24	800*	18.00	829*	18.10	789*	18.00	729*	18.10	729*
18.25	800*	18.00	829*	18.10	789*	18.00	729*	18.10	729*
18.26	800*	18.00	829*	18.10	789*	18.00	729*	18.10	729*
18.27	800*	18.00	829*	18.10	789*	18.00	729*	18.10	729*
18.28	800*	18.00	829*	18.10	789*	18.00	729*	18.10	729*
18.29	800*	18.00	829*	18.10	789*	18.00	729*	18.10	729*
18.30	800*	18.00	829*	18.10	789*	18.00	729*	18.10	729*
18.31	800*	18.00	829*	18.10	789*	18.00	729*	18.10	729*
18.32	800*	18.00	829*	18.10	789*	18.00	729*	18.10	729*
18.33	800*	18.00	829*	18.10	789*	18.00	729*	18.10	729*
18.34	800*	18.00	829*	18.10	789*	18.00	729*	18.10	729*
18.35	800*	18.00	829*	18.10	789*	18.00	729*	18.10	729*
18.36	800*	18.00	829*	18.10	789*	18.00	729*	18.10	729*
18.37	800*	18.00	829*	18.10	789*	18.00	729*	18.10	729*
18.38	800*	18.00	829*	18.10	789*	18.00	729*	18.10	729*
18.39	800*	18.00	829*	18.10	789*	18.00	729*	18.10	729*
18.40	800*	18.00	829*	18.10	789*	18.00	729*	18.10	729*
18.41	800*	18.00	829*	18.10	789*	18.00	729*	18.10	729*
18.42	800*	18.00	829*	18.10	789*	18.00	729*	18.10	729*
18.43	800*	18.00	829*	18.10	789*	18.00	729*	18.10	729*
18.44	800*	18.00	829*	18.10	789*	18.00	729*	18.10	729*
18.45	800*	18.00	829*	18.10	789*	18.00	729*	18.10	729*
18.46	800*	18.00	829*	18.10	789*	18.00	729*	18.10	729*
18.47	800*	18.00	829*	18.10	789*	18.00	729*	18.10	729*
18.48	800*	18.00	829*	18.10	789*	18.00	729*	18.10	729*
18.49	800*	18.00	829*	18.10	789*	18.00	729*	18.10	729*
18.50	800*	18.00	829*	18.10	789*	18.00	729*	18.10	729*
18.51	800*	18.00	829*	18.10	789*	18.00	729*	18.10	729*
18.52	800*	18.00	829*	18.10	789*	18.00	729*	18.10	729*
18.53	800*	18.00	829*	18.10	789*	18.00	729*	18.10	729*
18.54	800*	18.00	829*	18.10	789*	18.00	729*	18.10	729*
18.55	800*	18.00	829*	18.10	789*	18.00	729*	18.10	729*
18.56	800*	18.00	829*	18.10	789*	18.00	729*	18.10	729*
18.57	800*	18.00	829*	18.10	789*	18.00	729*	18.10	729*
18.58	800*	18.00	829*	18.10	789*	18.00	729*	18.10	729*
18.59	800*	18.00	829*	18.10	789*	18.00	729*	18.10	729*

Powder Batch # : 000 Batch approved  
 Date : 04.11.2016 Quality Inspection :

### Beispiel einer Temperaturtabelle

### 5.5 Interpretation der Messergebnisse

Der wesentliche Nutzen der PTCR ist die Absicherung der Reproduzierbarkeit verschiedener Ofengänge und somit die Sicherung der Produktqualität. Die Referenztemperatur (RT) steht für die eingetragene Wärmemenge, so dass bei gleichem RT-Wert zweier Ofengänge gesichert ist, dass die Prozessparameter identisch sind. Abweichungen innerhalb der Prozessbedingungen, oder im Temperaturfeld des Ofens, können somit anhand eines Unterschiedes im Wert der RT erkannt werden. Grundsätzlich kann die Referenztemperatur nicht unmittelbar mit der realen Temperatur korreliert werden. Die bestmögliche Übereinstimmung wird bei einer

# PTCR

## Funktion & Anwendung

Aufheizrate von 120 °C/Stunde und einer Haltezeit bei Höchsttemperatur von 1 Stunde erreicht.

### 5.6 Einfluss der Atmosphäre

Ursprünglich wurden die PTCR entwickelt um Wärmebehandlungen in Standardatmosphäre (Luft) zu dokumentieren. Grundsätzlich spricht nichts gegen den Einsatz der PTCR unter anderen Atmosphären, wobei allerdings einige Aspekte berücksichtigt werden müssen. Bitte kontaktieren Sie uns für eine individuelle Beratung zur Verwendung der PTCR unter Vakuum oder reduzierenden Bedingungen.

Generell wird bei Verwendung unter Vakuum oder reduzierenden Gasen, wie bspw. N<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>-Mischungen empfohlen, die PTCR vorzubrennen, um die organischen Binder zu verdampfen. Andernfalls können organische Komponenten während des Prozesses nicht zu CO<sub>2</sub> oxidieren und verbleiben als Kohlenstoff in den Ringen. Dies beeinflusst die Schwindung und führt zu einer geringeren Referenztemperatur. Unter Vakuum kann der Kohlenstoff Ablagerungen an den Ofenwänden bilden. Zudem führt die Einschränkung der Wärmeübertragung über Konvektion und Wärmeleitung zu einem geringeren RT-Wert.

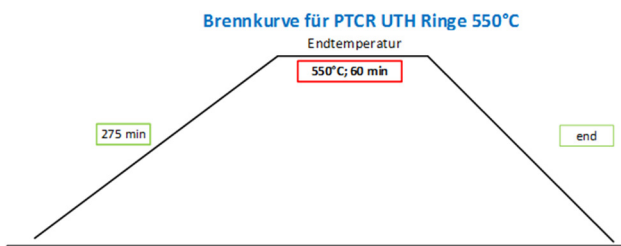
Eine Absorption von Kohlenstoff durch die PTCR unter kohlenstoffhaltiger Atmosphäre wurde beobachtet. Dabei diffundiert der atomare Kohlenstoff durch den Ring und schränkt die Schwindung erheblich ein. In diesem Fall muss iterativ ermittelt werden, ob bei gegebenen Prozessbedingungen noch ausreichend Schrumpfungsvermögen vorhanden ist.

### 5.7 Vorbrennen der PTCR

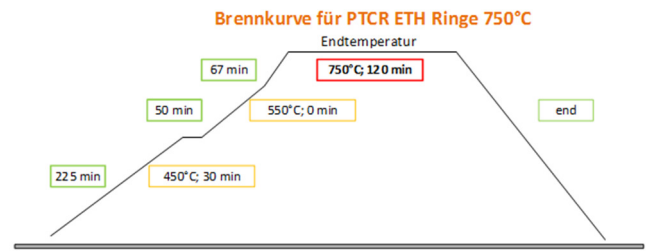
Wie bereits unter dem Punkt 5.6 näher ausgeführt, ist es unter manchen Ofenbedingungen unerlässlich, PTCR vor dem eigentlichen Einsatz unter Luft-Atmosphäre vorzubrennen.

Die PTCR ZTH, MTH und HTH werden bereits standardmäßig entbindert geliefert und müssen nicht noch einmal vorgebrannt werden! Möchten Sie PTCR selbst vorgebrannt, nutzen Sie bitte je nach Ringtyp folgende Brennkurven und Parameter:

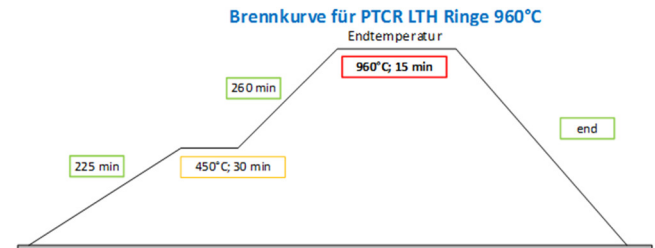
#### 5.7.2 Brennkurve für PTCR UTH



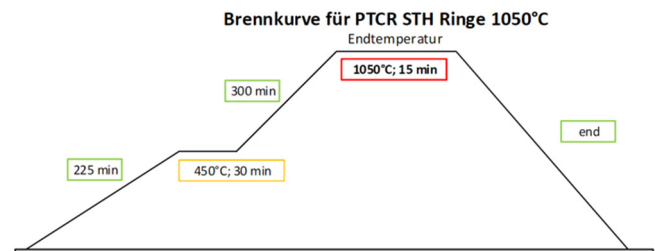
#### 5.7.3 Brennkurve für PTCR ETH



#### 5.7.4 Brennkurve für PTCR LTH



#### 5.7.5 Brennkurve für PTCR STH



Gerne übernehmen wir den Prozess des Vorbrennens für Sie. Sprechen Sie uns an!

## 6. FAQ – Frequently Asked Questions

### 1. Was ist ein PTCR?

Ein PTCR ist ein keramisches Werkzeug, das die Messung von Wärme während eines Ofenzyklus erlaubt. Im Gegensatz zu einem Thermoelement, das die aktuelle, punktuelle Temperatur misst, zeichnet ein PTCR die eingetragene Wärme auf. Der durch den PTCR ermittelte Wärmeeintrag ist ein Referenzwert, der bei konstanten Prozessbedingungen stets gleichbleibt. Die Reproduzierbarkeit der Wärmebehandlung und somit auch der behandelten Produkte kann gewährleistet werden.

### 2. Worin liegt der Vorteil von PTCR im Vergleich zu Thermoelementen?

PTCR zeichnen die thermischen Randbedingungen an der Stelle auf, an der sich auch das Werkstück befindet, wohingegen ein Thermoelement lediglich den zeitlichen Verlauf der Temperatur an einem einzigen Punkt wiedergibt. Die Erfassung der eingetragenen Wärme über die gesamte Dauer des Ofengangs ist hierbei entscheidend.

### 3. Warum weicht die durch die PTCR bestimmte Temperatur von der nominellen Ofentemperatur ab?

Ein PTCR erfasst die eingetragene Wärmemenge, die unter anderem von der eingestellten Ofentemperatur, der Atmosphäre und der Haltezeit abhängt. Diese Referenztemperatur kann nicht mit der absoluten Ofentemperatur gleichgesetzt werden.

### 4. Worin besteht der Unterschied von PTCR im Vergleich zu Wettbewerbsprodukten?

PTCR erlaubt es, einem speziellen Ofenzyklus einen numerischen Referenzwert zuzuordnen und ist eines der bewährtesten Produkte seiner Art. PTCR sichert die Reproduzierbarkeit von Wärmebehandlungen und somit die kontinuierliche Qualität der Erzeugnisse. Die sehr hohe Genauigkeit der PTCR ist mit der entscheidendste Vorteil.

### 5. Warum wird der Wärmeeintrag in einer Ring-Temperatur (RT) ausgedrückt und nicht in Celsius oder Fahrenheit?

Da der PTCR den Wärmeeintrag misst und nicht die absolute Temperatur, hat die RT keinerlei Beziehung zu der absoluten Temperatur in Celsius oder Fahrenheit. Um einen Vergleich zwischen RT-Wert und konventionellen Temperaturskalen herzustellen, müssen sowohl die Solltemperatur, als auch die Haltezeit berücksichtigt werden.

### 6. Gibt es Einschränkungen bei der Verwendung von PTCR in Bezug auf die Ofenatmosphäre?

Prinzipiell schon! In reduzierenden Atmosphären oder unter Vakuum, sollten die PTCR Varianten UT, ET, LT und ST immer vorgebrannt werden. PTCR ZT, MT und HT sind bereits standardmäßig vorgebrannt. Vorbrennempfehlungen finden Sie unter Punkt 5.7 dieses Handbuchs. Nach Verdampfen der organischen Binder behält der PTCR sein Schwindungsvermögen ohne Einschränkungen. Bitte kontaktieren Sie uns für eine individuelle Beratung zur Anwendung der PTCR in Ihren Prozessen.

### 7. Wird das Verhalten des PTCR von den atmosphärischen Randbedingungen beeinflusst?

Ja, die Atmosphäre hat einen Einfluss auf die Schwindung des PTCR, was zu einer Abweichung des ermittelten vom erwarteten Wert führen kann. Dies hat allerdings keinen Einfluss auf die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse und somit auch nicht auf die Erfassung von Abweichungen.

### 8. Müssen alle PTCR Typen vor dem Einsatz unter reduzierenden Atmosphären oder Vakuum vorgebrannt werden?

PTCR ZTH, MTH und HTH werden bereits standardmäßig vorgebrannt geliefert. Diese beiden Ringtypen müssen daher nicht noch einmal entbindert werden.

### 9. Wie wird das Verhalten des PTCR von der Haltezeit beeinflusst?

Die Schwindung eines PTCR wird fortschreiten solange dieser Wärme ausgesetzt ist, was bei konstanter Solltemperatur einen mit fortschreitender Haltezeit steigenden RT-Wert verursacht. Optimale Ergebnisse werden mit 60 Minuten Haltezeit erzielt. Darüber hinaus steht eine Haltezeitkorrekturkurve für Haltezeiten > 60 Minuten auf Anfrage zur Verfügung. Arbeiten Sie mit extrem kurzen oder langen

Haltezeiten, empfehlen wir Kontakt zu uns aufzunehmen. Zu beachten ist, dass PTCR ZTH nur bis maximal 120 Minuten Haltezeit verwendet werden können.

### 10. Müssen die Ofeneinstellungen beim Wechsel der PTCR Charge angepasst werden?

Nein, solange die der Charge entsprechende Temperaturtabelle verwendet wird. Abweichungen von Charge zu Charge werden von Werk aus durch eine Kalibrierung kompensiert.

### 11. Hat das Material der Unterlagen einen Einfluss auf die Funktion des PTCR?

Ja! Es ist bekannt, dass Wechselwirkungen zwischen reaktiven Materialien wie Kohlenstoff die Funktionalität der PTCR einschränken. Es sollten daher Unterlagen aus ZrO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiN etc. verwendet werden.

### 12. Hat die Aufheizrate einen Einfluss auf die Funktion des PTCR?

Ja, da der PTCR die eingetragene Wärmemenge misst. Bei einer langsamen Aufheizrate und somit längerer Aufheizzeit wird mehr Wärme eingetragen als bei einer schnellen Aufheizrate.

### 13. Wird ein Mikrometer zur Auswertung benötigt?

Ja! Zur genauen Bestimmung der Schwindung ist die korrekte Platzierung des PTCR im Mikrometer von besonderer Bedeutung. Durch die Standardisierung des Messverfahrens werden diverse Fehlerquellen aus Ihren Prozessen und Abläufen ausgeschlossen und Sie erhalten bestmögliche Ergebnisse. Dies wird am ehesten durch Verwendung des Original-PTCR-Mikrometers gewährleistet. Das Mikrometer enthält zudem eine USB-Schnittstelle. Mit einem speziellen USB-Kabel kann der Messwert in ein Dokument Ihrer Wahl übertragen werden. Eine spezielle Software wird nicht benötigt.

### 14. Warum ergeben PTCR aus verschiedenen Chargen unterschiedliche Referenztemperaturen und wie kann man dem entgegenwirken?

Zwischen PTCR zweier Chargen gibt es immer Unterschiede, was auf geringfügige Abweichungen bei der Zusammensetzung des Rohmaterials zurückzuführen ist. Dies bezieht sich sowohl auf die chemische Zusammensetzung als auch auf physikalische Eigenschaften wie z. B. die Korngröße. Selbst bei strikter Einhaltung der Herstellungsprozesse verbleiben somit immer kleine, aber wesentliche Unterschiede. Diese werden jedoch zukünftig weiter durch die Verwendung synthetischer Rohstoffe minimiert.

Um diese Unterschiede zu erfassen und zu kompensieren, werden PTCR aus Referenzcharge und neuer Charge unter Referenzbedingungen verglichen, wobei üblicherweise geringe Unterschiede im Durchmesser festgestellt werden. Die den Durchmessern der Referenzcharge entsprechenden Temperaturen dienen als Kalibriergröße für die aktuelle Charge. Dieser Kalibriervorgang wird 8-mal, jeweils bei unterschiedlicher Temperatur innerhalb des Einsatzbereichs der PTCR-Art wiederholt. Dies führt zu 8 Wertepaaren von Temperatur und Durchmesser, die durch eine Ausgleichsgerade gefittet werden. Abweichungen zwischen zwei Chargen können somit bei Standardbedingungen kompensiert werden. Abweichungen von den Standardbedingungen (Aufheizrate, Atmosphäre, etc.) können allerdings zu Abweichungen

# PTCR

## Funktion & Anwendung

von Charge zu Charge führen. In diesem Fall sollte der oben erläuterte Kalibriervorgang spezifisch für eben diese Randbedingungen und somit auch für jede neue Charge wiederholt werden. Die vom Hersteller zur Verfügung gestellte Temperaturtabelle erlaubt den Vergleich verschiedener Chargen unter Standardbedingungen. Bei Prozessparametern, die stark von den Standardbedingungen abweichen, muss unter Umständen vom Anwender eine spezifische Kalibrierung bei Verwendung einer neuen Charge durchgeführt werden.

15. Gibt es ein Ablauf- oder Mindesthaltbarkeitsdatum der PTCR?

Nein! Sie können PTCR unbegrenzt lagern.

16. Wie werden PTCR optimal gelagert?

Die Ringe sollten grundsätzlich trocken und stoßsicher gelagert werden, am besten in der Originalverpackung bei Raumtemperatur. Temperaturschwankungen sollten vermieden werden.

17. Welche Besonderheiten muss ich bei den neuen PTCR ZTH beachten?

Die PTCR ZTH bestehen zu 100 % aus synthetischen Rohstoffen. Die Ringe sind äußerst sensibel und können bereits für Haltezeiten ab 5 Minuten bis maximal 120 Minuten verwendet werden. Aufgrund der Zusammensetzungen reagieren die Ringe sehr sensibel bereits auf kleinste Temperaturänderungen. PTCR ZTH werden standardmäßig ab Werk vorgebrannt.

Die im vorliegenden Dokument enthaltenen Informationen, Spezifikationen, Verfahren, Methoden und Empfehlungen wurden nach bestem Wissen und Gewissen zusammengestellt und werden als genau und zuverlässig erachtet, wobei jedoch von der Möglichkeit auszugehen ist, dass sie nicht vollständig und/oder nicht für alle existierenden oder eintretenden Bedingungen oder Situationen geeignet sind. M.E. SCHUPP Industriekeramik GmbH übernimmt keine Haftung oder Gewährleistung für die bereitgestellten Informationen. Lieferungen und Leistungen gleich welcher Art erfolgen ausschließlich zu unseren allgemeinen Geschäftsbedingungen.