

Aktuelles zum Vorspannen von Glas:

## Hochkonvektionsöfen erobern den Markt

Wenn man heutzutage das Einrichten neuer Vorspannanlagen für Architekturglas plant, wird gewöhnlich auch der Einsatz von Konvektionstechnologie erwogen. Herkömmliche Strahlungsöfen entsprechen jedoch nicht mehr diesen aktuellen Marktanforderungen, während das Konvektionsverfahren entsprechende Lösungen bietet.

Die Vorspanntechnologie hat sich in den vergangenen Jahren sprunghaft entwickelt. Diese Tendenz hat folgende Ursachen:

- Das Vorspannen von beschichtetem Glas setzt zunehmend konvektive Erwärmung voraus.
- Neue Technologien setzen ständig höhere Qualitätsstandards (optische Eigenschaften, Vorspannsuren).
- Der Einsatz von laminiertem vorgespanntem Glas nimmt stetig zu; Laminierung setzt aber eine ausgezeichnete „Planität“ voraus.
- Prozessoutput und Produktivität werden ständig erhöht.

Innerhalb dieser Tendenz stellt Konvektionserwärmung die wichtigste Technologie dar. Das Konvektionsverfahren erhöht die Prozessgeschwindigkeit und -qualität, insbesondere bei beschichtetem Glas.

Voraussetzung für eine ausreichende Vorspannung und damit gute Glasqualität ist eine möglichst gleichmäßige Glaserwärmung. Ungleichmäßiges Erwärmen beeinträchtigt die optischen Glaseigenschaften

und „Planität“, zunächst im Ofen und beim Abkühlungsprozess. Eventuelle Temperaturdifferenzen können durch ein Erwärmungsprofil ausgeglichen werden. Mittels Konvektionstechnologie lassen sich viele Probleme vermeiden, die bei Strahlungsöfen, besonders beim Vorspannen von beschichtetem Glas, auftreten, wobei einige beschichtete Glastypen mit herkömmlichen Verfahren wirtschaftlich nicht vorzuspannen sind.

### Probleme im Erwärmungsprozess

Das Erwärmungsverfahren wirkt sich stark auf die Qualität des erwärmten Glases aus. Ungleichmäßiges Erwärmen kann verschiedene Probleme verursachen: z.B. die Erwärmung der unteren Scheibenfläche durch Konduktion von den heißen keramischen Rollen. Die Unterseite dehnt sich aus, wobei die Scheibenränder nach oben gebogen werden. Die Scheibe liegt nicht mehr gleichmäßig auf den Rollen und wird beschädigt. Es entsteht ein sogenannter grauer Mittelstreifen oder sonstige optische Verzerrungen im Mittelfeld.

Ungleichmäßiges Erwärmen kann ein Überhitzen der Ränder oder des Mittelfeldes zur Folge haben. Gewöhnlich erhitzen sich die Ränder stärker als die Scheibenmitte. Bei überhitzten Rändern bildet sich ein sogenannter bistabiler Schüsseffekt; die Ränder können dann im Erwärmungsprozess brechen. Dies bedingt nach dem Abkühlen ungleichmäßige innere Spannungen und eine Wölbung des Mittelfeldes und damit eine schlechte optische Qualität.

Ein überhöhtes Erwärmungsprofil kann ebenfalls eine zu hohe Erwärmung des Mittelfeldes verursachen, die Scheibe wölbt sich im Ofen (bistabiler Schüsseffekt).

Diese Probleme treten besonders bei der Verarbeitung von beschichtetem Low-E und reflektierendem Glas auf.

Problematisch ist zudem die Reflexion der von den oberen Heizelementen abgegebenen Wärmestrahlung auf die beschichtete Glasoberfläche, wobei die unteren Heizelemente die Scheibe doppelt so stark erwärmen (da die Strahlung von unten das Glas durchdringt und von der beschichteten Oberfläche reflektiert wird).

Ungleichmäßiges Erwärmen kann zudem verstärkte Anisotropien verursachen, die mit bloßem Auge oder bei Betrachtung in polarisiertem Licht zu sehen sind.

Die Wärmeverteilung kann ungleichmäßig erfolgen, wenn unterschiedliche Ladungen nacheinander in den Ofen eingeführt werden. Bei Eintritt absorbiert das kalte Glas die Wärme der Rollenlager. Infolge der thermischen Trägheit verlässt das vorangegangene Glas den Bereich, in dem Kälteschwankungen auftreten. Die nächste Ladung wird auf das Rollenlager geführt, das an den Rändern überhitzt und im Mittelfeld kalt ist. Dies kann z. T. durch Einstellen der Durchschnittswärme ausgeglichen werden, so dass nur der geladene Bereich erhitzt wird.

Probleme entstehen auch durch unterschiedliche Scheibenoberflächen, da z. B. die

# Produktion & Montage

Strahlungswärme an bedruckten Glasstellen anders absorbiert wird als an glatten. Das gilt auch für geformte Glasscheiben. Es existiert keine 100-prozentig konvektive Erwärmung.

Das Glas wird im Ofen immer auf drei verschiedene Arten erwärmt, deren Anteil an der Erwärmung, je nach Ofentyp, Glastyp und Erwärmungsstufe, variiert: durch Strahlung, Konduktion und Konvektion.

## Strahlung:

- Direkte Strahlung von den Heizelementen (primäre Heizquelle),
- indirekte Strahlung von den Rollen und sonstigen Innenteilen des Ofens.

## Konduktion von den keramischen Rollen Konvektion:

- Natürliche Konvektion der Luft ohne Gebläse oder Druckluft,
- unterstützte Konvektion mit Druckluft zur Verbesserung der Luftströmung,
- forcierte Konvektion durch Blasen von Heißluftstrahlen auf die Scheiben.

In herkömmlichen Öfen erfolgt die Erwärmung gewöhnlich durch Konduktion von den Rollen (zu Beginn der Erwärmung) und dann durch Strahlung. In Öfen mit forcierter Konvektion wird die Wärme hauptsächlich durch Konvektion übertragen. Vorspannanlagen mit Strahlungsöfen erwärmen das Floatglas mit etwa 40s/mm (Glasdicke). Im Konvektionsofen können die Erwärmungszeiten auf 26–30s/mm gesenkt sowie Output und Produktivität um bis zu 35 % erhöht werden! Die Erwärmungszeiten sind bei Low-E und sonstigem beschichtetem Glas in einem Strahlungsöfen noch länger, der Produktivitätsanstieg entsprechend höher.

## Unterschiedliche Konvektionsöfen

Heutzutage sind folgende Konvektionsofentypen am Markt erhältlich:

### Strahlungsöfen mit unterstützender Konvektion durch:

- Druckluft (wird in den Ofen eingeblasen),
- Hockdruck-Turbolader (Heißluft zirkuliert im Ofen).

### Öfen mit forcierter Konvektion:

(Heißluftstrahlen werden durch Düsen auf die Glasscheiben geblasen)

- Gasöfen,
- elektrische Öfen mit Erwärmungsprofil (Heizelemente in den Düsen).

Je höher der Anteil der Wärmeübertragung durch Konvektion ist, desto besser. Um Problemen durch unterschiedliche Ladungen und ungleichmäßige Wärmeverteilung vorzubeugen, muss der Ofen mit einer Funktion für Erwärmungsprofile ausgestattet sein. Dieses Erwärmungsprofil ist aber nur von Nutzen, wenn sofort auf veränderte Prozessbedingungen reagiert wird. Grundsätzlich gilt, dass nur ein ladungsspezifisches Erwärmungsprofil eine wirkungsvolle Heizkontrolle bietet.

## Vorteile und Nachteile

### Strahlungsöfen mit Konvektion durch Druckluft:

Dieses System besteht normalerweise aus einem Grundofen mit elektrischen Heizelementen (massive Gusskörper oder freie Spiralen) und verfügt über Rohre, durch die Druckluft zur Verbesserung der Luftströmung eingeblasen wird. Mit diesem relativ preiswerten System lassen sich viele Öfen nachrüsten; es ist aber weniger leistungsstark und verbraucht viel Energie. Auf Hochdruck-Turbolader basie-

rende Systeme bieten die gleichen Vorteile wie Druckluft-Systeme. Aufgrund des größeren Blasvolumens sind sie aber leistungstärker. Beide Systeme zeichnen sich durch eine hohe Erwärmungsgeschwindigkeit sowie durch die Möglichkeit eines Erwärmungsprofils mittels Kontrolle der Strahlungswärme aus.

### Öfen mit forcierter Konvektion:

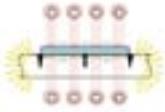
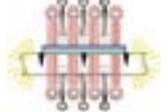
In Hochkonvektionsöfen wird die Luftströmung durch Heißluft gefördert, die durch Düsen von oben und unten auf die Scheibenflächen geblasen wird. Direkte Strahlung wird durch Einkapselung der Heizelemente oder durch Vorwärmen der Luft eliminiert. Dieses System ist relativ teuer aber viel leistungstärker als Strahlungsöfen mit unterstützter Konvektion. Es eignet sich nicht für die Nachrüstung. Hochkonvektionsöfen lassen sich in zwei Gruppen einteilen:

- Elektrische Heizelemente in den Düsen (Erwärmungsprofil möglich),
- Elektro- oder Gasheizelemente z. B. in Kanälen (kein Erwärmungsprofil möglich.)

Einige der älteren Modelle funktionieren relativ gut für kleinere Scheibengrößen, jedoch nicht bei größeren Scheiben, da kein Erwärmungsprofil möglich ist. Moderne Öfen bieten die Vorteile von forcierter Konvektion und Erwärmungsprofil.

## Neue Standards

Die vor kurzem von Glassrobots, Hersteller von Spezialöfen für Auto- und Architekturglas, eingeführte Vorspannlinie mit Multikonvektion für Flachglas, „RoboTemp“, vereint die Vorteile von Hochkonvektionsöfen und Strahlungsöfen. Dabei ermöglicht die Hochkonvektion eine verbesserte Qualität sowie eine höhere Produktionsgeschwindigkeit: Die Heißluft wird innerhalb des Ofens zirkuliert und durch eingekapselte Heizelemente auf die oberen und unteren Scheibenflächen geblasen. Die Heizgeschwindigkeit beträgt nur 26–30 s/mm (Glasdicke), wobei das Erwärmungsprofil ladungsspezifisch eingestellt werden kann. Die „FuzzyTemp“-Heizkontrolle erleichtert eine automatische Einstellung. Durch die schnelle und gleichmäßige Erwärmung wird die „Planität“ des Glases im Verlauf des Prozesses gewährleistet. Als Endergebnis erhält man eine verzerrungsfreie Optik und minimale Anisotropien. Einen zusätzlichen Vorteil stellt die niedrigere Lufttemperatur im Ofen dar, die im „RoboTemp“ 680°C (statt 700–720°C) beträgt, was sich positiv auf die Qualität des Endprodukts auswirkt. Bei niedriger Temperatur verringert sich das Risiko von Beschichtungsschäden durch Hitze und Mittelstreifen, die durch Wölbung des Glases beim Eintritt in den Ofen entstehen können. Das System eignet sich sehr gut für die Bearbeitung von beschichtetem Glas, besonders von Low-E. *Juha Karisola*

System	Strahlungsöfen	Strahlungsöfen mit unterstützender Konvektion	Hochkonvektionsofen
Konstruktion	Elektrische Heizelemente (ev. mit Wärmebalance durch Druckluft)	Elektrische Heizelemente + Druckluft/Luft wird in den Ofen eingeblasen bzw. zirkuliert dort → zusätzliche Konvektion	Eingekapselte Heizelemente + Luftströmung im Ofen durch Heißluft
Heizquelle	Direkte Strahlung Natürliche Konvektion Konduktion	Direkte Strahlung Unterstützende Konvektion Konduktion	(Indirekte Strahlung) Forcierte Konvektion Konduktion
Profiling	Strahlung	Strahlung	Konvektion
Schematischer Aufbau			
Konvektion	< 20 %	20–50 %	50–75 %

Verschiedene Systeme bei Glasöfen