

Rohröfen zum
Vorwärmen von
Ventilschmiedeteilen



Ofenkonzepte für die produkt-spezifische Wärmebehandlung

Die kontinuierliche Optimierung und Weiterentwicklung von Fertigungstechnologien, speziell in der Umformtechnik, führte bei Linn High Therm zur Entwicklung und Fertigung kundenspezifischer Anlagen. Im folgenden Beitrag wird eine Auswahl neuer Ofenkonzepte vorgestellt.

Seit 1849 Deprez in Frankreich den ersten widerstandsbeheizten Ofen mit Heizern aus Zuckerkohle baute, sind aufgrund der vielseitigen Einsatzmöglichkeiten und Anwendungen von Elektroöfen die heutigen Anlagen in vielen Fällen wiederum an den Grenzen der vorhandenen Materialien angekommen, so dass im modernen Ofenbau sehr viele Hightech Materialien zum Einsatz kommen und mit neu entwickelten Werkstoffen neue revolutionäre Ofenkonzepte möglich werden.

Das seit 30 Jahren im Industrie-, Labor- und Mikrowellenofen, Hochfrequenz-Generatoren- und Sonderanlagenbau, sowie bei Spektrometer-Probenvorbereitungsanlagen erworbene Know-how bei Linn beinhaltet sehr gute Werkstoffkenntnisse und Erfahrungen in allen Fertigungstechnologien, Temperatur- und Frequenzbereichen. Dieses Erfahrungspotential, verknüpft mit flexibler Fortbildung aller Mitarbeiter und kontinuierlichem Erfahrungsaustausch mit den Kunden aus Industrie und Forschungseinrichtungen sowie Lieferanten, führt auch bei hohen

Risiken im Sonderanlagen- und Forschungsgerätebau zu konstanten Erfolgen.

Rohröfen für die Umformtechnik

Die Einsatzgebiete moderner Rohröfen haben ein weit gefächertes Anwendungsspektrum. Es erstreckt sich vom Vorwärmen, Auslagern, Trocknen, Entspannen, Anlassen, Tempern, Vergüten, Calzinieren, Zug-, Biege-, Bruchversuche, Thermoelementeichöfen, Ziehen von Präzisionsglaskapillaren bis hin zum Sintern von Eisen- und Nichteisenwerkstoffen. Dazu kommen thermisch-chemische Verfahren wie z. B. Nitrieren, Aufkohlen, Einsatzhärten, Schluss- und Blankglühen. Die Öfen werden im allgemeinen wie folgt unterschieden:

- *Standardrohröfen* bis zu einer maximalen Ofenbetriebstemperatur von 1300 °C mit in Faserisolation eingebetteten Fibrothal Heizmodulen, ein- und 3-zonig für horizontalen und vertikalen Betrieb einsetzbar, auf Wunsch teilbar bis 1150 °C.
- *Standardrohröfen* bis zu einer maximalen Ofenbetriebstemperatur von 1500 °C mit SiC-Rohrheizmodulen.
- *Sonderrohröfen* bis zu einer maximalen Ofenbetriebstemperatur von 1800 °C mit Molybdän-Disilizid-Heizelementen.
- *Sonderrohröfen* mit Molybdän-, Wolfram- oder Graphit-Heizelementen und -isolation, bzw. Kaltwand-aufbau, auch als Mehrzonenanlage für horizontalen oder vertikalen Betrieb bis über 2000 °C möglich.

Durch ein vielfältiges Optionsangebot ergeben sich zahlreiche Anwendungs- und Variationsmöglichkeiten.

Aufbau aus modernen Materialien

Die Rohröfen sind mit verschiedenen Einsatzrohren bestückbar. Als Materialien können Quarzglas ($T_{\max} = 1100 \text{ °C}$), Keramik ($T_{\max} = 1750 \text{ °C}$) und hitzebeständige Stähle ($T_{\max} = 1300 \text{ °C}$) verwendet werden. Öfen mit Saphireinsatzrohren (maximaler Durchmesser 40 mm) sind bis 1850 °C gas- und vakuumdicht. Durch gas- oder vakuumdichte Endkappen können Prozesse unter kontrollierter Schutzgasatmosphäre und unter Vakuum bis 10^{-5} mbar gefahren werden. Mit entsprechender Begasungseinrichtung, Sicherheitspaket und Abfackleinrichtung ist ein Wasserstoffbetrieb möglich. Die Regelung erfolgt je nach Kundenwunsch von einem einfachen Rampenregler bis hin zum Temperaturprogrammregler mit integrierter SPS und umfangreicher Visualisierungs- und Dokumentationssoftware.

Durch die Verwendung von keramischen Faserisolationen hat in den letzten Jahren eine Revolution im Ofenbau stattgefunden. Heute hat sich die moderne Faseriso-

Der Autor Dipl.-Ing. Jürgen Dix ist seit 1995 bei der Linn High Therm GmbH, Eschenfelden, als Entwicklungsingenieur tätig und für die Projektierung und Betreuung von Sonderanlagen verantwortlich.

lation, bzw. eine Kombination aus Leichtbausteinen und Faser durchgesetzt. Bei faserisolierten Ofenanlagen reduziert sich das Raumgewicht der Isolation um bis zu 80 % gegenüber konventioneller Bauweise. Dies bedeutet eine Verringerung der gespeicherten Wärme auf nur noch 20 %. Hinzu kommt, dass die Faserisolierung ca. 80 Vol.-% Luft enthält, womit diese ruhende Luft einen idealen Isolator bildet. Daher ergibt sich als weiterer Vorteil eine äußerst geringe Wärmeabstrahlung bei hoher Temperaturwechselbeständigkeit.

Die Verwendung vakuumgeformter Standardmodule fängt die höheren Kosten für Material durch erhebliche Einsparung bei der Montage auf. Weiterhin ergibt sich eine wesentlich bessere Servicefreundlichkeit

stufen jedoch meist möglich. Des Weiteren sind Faserisolierungen gegen einige aggressive Stoffe empfindlich, da sie aufgrund ihrer sehr großen spezifischen Oberfläche schneller angegriffen werden als beispielsweise Feuerleichtsteine. Aus diesem Grund werden in solchen Fällen Zweischichtisolationssysteme eingesetzt, um die Vorteile der Faserisolation mit dem Vorteil der Feuerleichtsteine zu kombinieren.

3-zonigen Regelung realisiert. Die beiden pneumatischen Vorschubeinheiten sind getrennt bedienbar. Sie können gegebenenfalls mit einem Beschickungsmagazin erweitert werden, so dass eine vollautomatisierte Systemlösung möglich ist.



Schutzgasrohröfen zum Behandeln von Drähten

Dieser Ofen wird für ein sehr breites Produktspektrum mit verschiedensten Geometrien und Teilengewichten eingesetzt. Die Variantenvielfalt konnte durch die Optimierung der Fixierelemente erreicht werden. Um die Wärmeverluste am Auslauf zu vermindern wurde ein isolierter Klappenmechanismus installiert, so dass die Schmiedeteile nahezu mit maximaler Temperatur ausgestoßen werden.

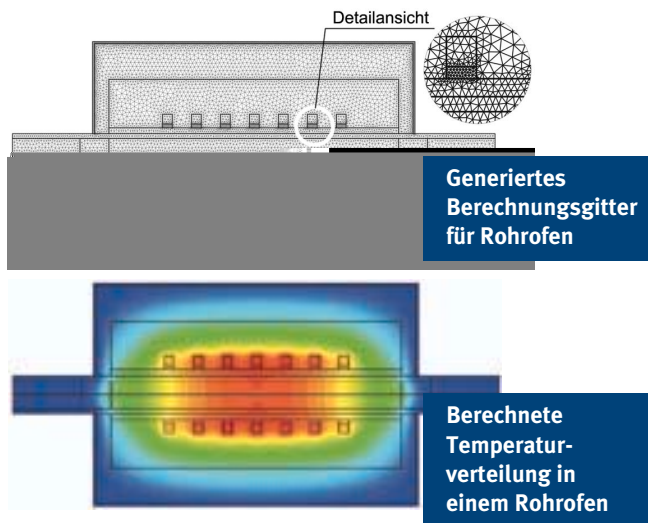
Rohröfen in der Anwendung

Mit einem speziell entwickelten modernen Hochtemperaturrohröfen können in 3 integrierten hitzebeständigen Rohren gleichzeitig Drähte unter verschiedenen Schutzgasen bis auf 1300 °C kontinuierlich behandelt werden. Die beheizte Länge von 3000 mm ist 3-zonig regelbar. Die Schutzgaseinspeisung erfolgt mittig, so dass eine gleichmäßige Schutzgasatmosphäre realisiert wird. Dieser Ofen wird zur Oberflächenbehandlung von Titandrähten von Ø 0,2 – 2 mm eingesetzt. Am Ausgang sind jeweils Kühlzonen angebracht.

Zum Vorwärmen von verschiedenen Schmiedeteilen wurde ein spezieller Rohröfen mit 2 Einsatzrohren aus hochhitzebeständiger Legierung konzipiert, so dass Dauertemperaturen bis 1300 °C gefahren werden können ohne auf die mechanische Festigkeit und Thermoschockbeständigkeit einer metallischen Legierung verzichten zu müssen. Die beheizte Länge von 2000 mm wird mit einer

Simulationsrechnung von Wärmebehandlungsanlagen

Der bisher in der Industrie beschrittene Weg, neue Ofenanlagen weitgehend empirisch weiterzuentwickeln, stößt aufgrund der Vielfalt und der komplexer werdenden Prozesse auf wirtschaftliche Grenzen und Risiken.



Generiertes Berechnungsgitter für Rohröfen

Berechnete Temperaturverteilung in einem Rohröfen

keit beim Austausch von Isolierung und Heizelementen. Immer knapper werdende Ressourcen bedeuten steigende Energiekosten und somit steigende Betriebskosten, die zu effektiven Konstruktionen zwingen. Moderne Faserwerkstoffe sind in den meisten Fällen die optimale Lösung. Moderne faserisolierte Ofenanlagen ermöglichen eine wirtschaftlich optimale Ausnutzung der eingesetzten Primärenergie.

Neben den höheren Materialkosten für Faserwerkstoffe soll aber nicht verschwiegen werden, dass dem Einsatz von Fasermaterial auch Grenzen gesetzt sind. Aufgrund des hohen Luftanteils ist die mechanische Festigkeit begrenzt. Durch Verwendung von keramischen Bodenplatten ist ein Einsatz von Faserwerk-

Rechenbeispiel zur Wärmebehandlung für Schmiedeteile

Folgende Randbedingungen gelten: Die Schmiedeteile sind 160 mm lang und 1,3 kg schwer, jeweils inkl. Fixierelement. Die Durchwärmzeit beträgt mindestens 18 min, als Aufheiztemperatur müssen 1250 °C erreicht werden. Die Durchsatzleistung des Ofens ergibt sich dann aus den folgenden Formeln.

$$\text{Teile je Rohr} = \frac{\text{beheizte Länge}}{\text{Teilelänge}} = \frac{2000 \text{ mm}}{162 \text{ mm}} = 12 \text{ Teile / Rohr}$$

$$\text{Rohrfüllungen je Stunde} = \frac{60 \text{ min}}{\text{Durchwärmzeit}} = \frac{60 \text{ min}}{18 \text{ min}} = 3,5 \text{ Rohrfüllungen / h}$$

$$\text{Durchsatz pro Rohr} = \frac{\text{Rohrfüllungen / h}}{\text{Teile / Rohr}} = \frac{3,5 \text{ Rohrfüllungen / h}}{12 \text{ Teile / Rohr}} = 42 \text{ Teile / h}$$

$$\text{Massendurchsatz im Ofen} = \frac{\text{Durchsatz / Rohr} \times 2}{\text{Gewicht / Teil}} = \frac{42 \text{ Teile / h} \times 2}{1,3 \text{ kg / Teil}} = 109 \text{ kg / h}$$

$$\text{Gesamtenergiebedarf} = \dot{Q} = c \times m \times \Delta t$$

$$\text{Gesamtenergiebedarf} = \dot{Q} = 0,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \times 109 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 1230 \text{ K} = \underline{\underline{18,6 \text{ kW}}}$$

Die Kosten für experimentelle Untersuchungen und Parameterstudien steigen mit zunehmender Dimension der Anlagen und zunehmender Komplexität der Prozesse überproportional an. Ein Softwareprogramm bietet dagegen eine effiziente Methode zur Verbesserung von Ofenanlagen bereits in der Angebots- und Konstruktionsphase.

Moderne Ofenanlagen müssen die unterschiedlichsten Anforderungen hinsichtlich Geometrie, Maximaltemperatur, Temperaturhomogenität, Aufheiz- und Abkühlvorgängen erfüllen. Um diese komplexe Problemstellung in einem Programm möglichst benutzerfreundlich lösen zu können, wurde zusammen mit der Universität Erlangen ein Simulationsprogramm entwickelt. Die auf einem externen System erstellte CAD-Zeichnung wird in das Programm übernommen und falls notwendig für die automatische Gittergenerierung aufbereitet. Die Gitterstruktur muss anschließend an speziellen Stellen von Hand verfeinert werden, um ein möglichst realitätsnahes Ergebnis zu erhalten.

Die Materialdaten für Heizelemente, Isolation und Ofenatmosphäre werden anschließend aus einer Materialdatenbank zugewiesen. Dabei können anisotrope und temperaturabhängige Stoffeigenschaften berücksichtigt werden. Im modernen Ofenbau finden zunehmend Materialien Anwendung, die über anisotrope

Stoffeigenschaften verfügen, z. B. mit Kohlefaser verstärkter Kohlenstoff (CFC) für Isolation und als Heizleitermaterial oder pyrolytisches Bornitrid als Tiegelmateriale. Die Wärmeleitfähigkeiten solcher Stoffe unterscheiden sich dabei in radialer und axialer Richtung beträchtlich, im Fall des Bornitrids beispielweise um den Faktor 60. Es ist weiterhin möglich, inverse Probleme zu lösen, wie z. B. aus einer gewünschten zeitlichen und örtlichen Temperaturverteilung die Heizleiterdimensionierung und den zeitlichen und örtlichen Verlauf der Heizleistung zu berechnen. Dies beinhaltet nicht nur die Temperaturberechnung selbst, sondern auch damit verknüpfte physikalische Phänomene, wie z. B. die Bildung fester/flüssiger Phasen. Geeignete Approximationen der zugrundeliegenden Differentialgleichungen bei der Diskretisierung gewährleisten eine hohe Rechengeschwindigkeit, so dass das Lösen solcher Matrizen auf einem schnellen PC in nur wenigen Stunden möglich ist. Das Ergebnis lässt sich durch eine Falschfarbenvisualisierung mit Legende darstellen oder alternativ können Temperatur-schnittverläufe dargestellt werden.

Kammeröfen in der Umformtechnik

Neben dem umfangreichen Standardprogramm an Kammeröfen mit einem Nutzvolumen von 1,5 – 2750 l

und maximalen Ofentemperaturen bis 1800 °C unter Luft, Schutzgas und Vakuum, sind verstärkt kundenspezifische Sonderanlagen gefragt. Durch innovative Entwicklungsarbeit ist von der Modifikation einer Standardanlage bis hin zu einer völligen Neuentwicklung, speziell für eine kundenspezifische Anwendung konzipiert, alles möglich.

So wurde z. B. ein Hochtemperatur-Drehteller Kammerofen speziell zum Vorwärmen von Ventilen für Großmotoren bis 1220 °C entwickelt. Durch die geteilte Schiebetür ist ein kontinuierliches Be- und Entladen der zwei Etagen-Drehteller aus hitzebeständigem Stahl möglich. Durch die gekapselte Regelungstechnik mit Kühlaggregat ist ein Einsatz unter Extrembedingungen möglich.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass nur durch das Zusammenspiel moderner Berechnungsmethoden und die Verwendung moderner Werkstoffe und Technologien in Verbindung mit optimierter Regeltechnik die immer höheren Anforderungen bei geforderten individuellen Zuschnitten auf den einzelnen Kunden erfüllbar sind. ■



Drehteller-Kammerofen zum Vorwärmen von Schmiedeteilen