

Drehrohröfen in der berg- und hüttenmännischen Industrie

Rotary tube furnaces in mining- and metallurgical industries

Autor: Jürgen Dix, Dipl. Ing., Linn High Therm GmbH

Abstrakt:

Der Drehrohröfen vereint, in vielen Fällen, die in der heutigen Zeit geforderten Anforderungen einer modernen kontinuierlichen Wärmebehandlungsanlage – hoher Durchsatz, leichte Automatisierbarkeit und hohe Reproduzierbarkeit. Durch den Einsatz von modernen Hochleistungswerkstoffen sind heute eine Vielzahl von Anwendungen realisierbar. Die vielseitigen Einsatzmöglichkeiten von Drehrohröfen werden, an praktischen Beispielen, in diesem Beitrag dargestellt.

Abstract:

The rotary tube furnace combines, in most cases, the expectations of today of a modern continuous heat treatment furnace -high charge, easy automation and a enormous reproducibility.

Today several applications can be realized with the use of high performance materials.

The various operational possibilities of rotary tube furnaces are shown

(via practical examples) in this subscription.

Die steigenden Anforderungen an Rohstoffe zur Herstellung von Gläsern, Quarz und Keramiken für den Einsatz im elektronischen oder medizinischen Bereich stellen immer höhere Ansprüche an die Reinheit, Homogenität und Oberflächenbeschaffenheit der Ausgangspulver.

Durch zunehmend strenge Umweltauflagen bzw. Entsorgungskosten wird es immer interessanter Abfallstoffe z. B. aus der Metallverhüttung innerbetrieblich einem Recycling zuzuführen; dabei ist häufig eine zwischengeschaltete Aufbereitung nötig. Durch thermische Behandlung lassen sich störende Verunreinigungen organischer Art, z. B. Schmier- oder Konservierungsöle, zersetzen oder

direkt verdampfen. Dies gilt auch für einige Metalle wie Zink, nach Überführung in das leichter flüchtige Oxid.

Für beide Anwendungen gilt, dass optimale homogene Eigenschaften nur erreicht werden, wenn jedes Teilchen des Pulvers oder Granulats die gleiche Behandlung erfährt. Das betrifft sowohl die Temperatur-Zeit-Kurve als auch die Umgebungsatmosphäre, z. B. Sauerstoffgehalt beim Calzinieren. Die einfachste Methode ist es, die Ausgangspulver in keramische oder metallische Kästen bzw. Tiegel zu füllen und im Batch-Ofen zu behandeln. Dieses Verfahren hat jedoch schwerwiegende Nachteile:

Das Gewicht bzw. die thermische Masse der Container übersteigt die des Produkts meist um ein Vielfaches. Dadurch sind ein hoher Energieverbrauch und lange Zykluszeiten durch das Aufheizen und Abkühlen vorprogrammiert.

Da bei Schüttgütern, manchmal noch durch auftretende Sinterkrusten verstärkt, die Diffusion des Reaktionsgases stark behindert wird, ist die Schütthöhe auf wenige Zentimeter beschränkt und die Haltezeit sehr lang. Durch den zusätzlichen Aufwand beim Be- und Entladen wird die Produktivität stark vermindert. Trotzdem kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Pulvereigenschaften von der Oberfläche bis zum Boden der Schüttung variieren. Theoretisch ließen sich diese Probleme durch zyklisches Vakuumpumpen vermindern. Jedoch wird der Aufwand und damit der Preis der Ofenanlage sehr in die Höhe getrieben. Bei empfindlichen Substanzen besteht außerdem die Gefahr, dass Abdampfen oder gar Zersetzung eintritt.

Da trotz der oben genannten Schwierigkeiten ein Großteil des Pulvers zur gleichen Zeit reagiert, müssen nachgeschaltete Entsorgungseinrichtungen wie Wäscher oder Nachverbrennung für sehr große Durchflüsse dimensioniert werden (Abb. 1)



Abb. 1: Schutzgasdichter Hochtemperaturkammerofen 52 Liter / 1820 °C (Foto Linn High Therm)

Die Lösung all dieser Probleme ist ein Ofen mit kontinuierlichem, behälterlosem Transport, bei dem die Teilchen gleichzeitig durchmischt werden, so dass die Exposition gegenüber der Temperatur und Atmosphäre im Mittel homogen bleibt: Der Drehrohröfen.

Bei gasbeheizten Drehrohröfen wird das Rohr im Gegensatz zu elektrisch beheizten auch von innen heraus erwärmt. Dadurch ist es möglich, das Rohr selbst als Wärmeisolation zu verwenden, so dass es außen relativ kühl bleibt und überall frei zugänglich ist. Die Materialauswahl und die Möglichkeiten zu mechanischer Lagerung, zum Antrieb etc. sind kaum beschränkt. So werden extrem große Bauformen z. B. für die Zementindustrie möglich. Gasbeheizte Öfen benötigen jedoch hohen Infrastrukturaufwand und sind, was Reinheit der Atmosphäre und Gasstrom anbelangt, nicht gut steuerbar; dies ist vor allem bei der Herstellung von hochwertigen reinen Produkten nicht tragbar. Ihre Hauptanwendung liegt deshalb im Recycling.

Für Versuchs-, Technikums- und kleinere Produktionsöfen – der Durchsatz wird durch die Haltezeit und den gutschpezifischen Füllgrad des Rohres bestimmt (ca. 1-300 dm<sup>3</sup>/h) sind elektrisch beheizte Drehrohröfen die geeignetere Wahl. Die Grenzen bei keramischen, plasmagespritzten Rohren liegen etwa bei  $D_{\max} = 500$  mm und  $L_{\text{beheizt}} = 5$  m. Bei metallischen Rohren können die maximalen Größen bei Temperaturen  $< 600$  °C auch höher liegen (Abb. 2).

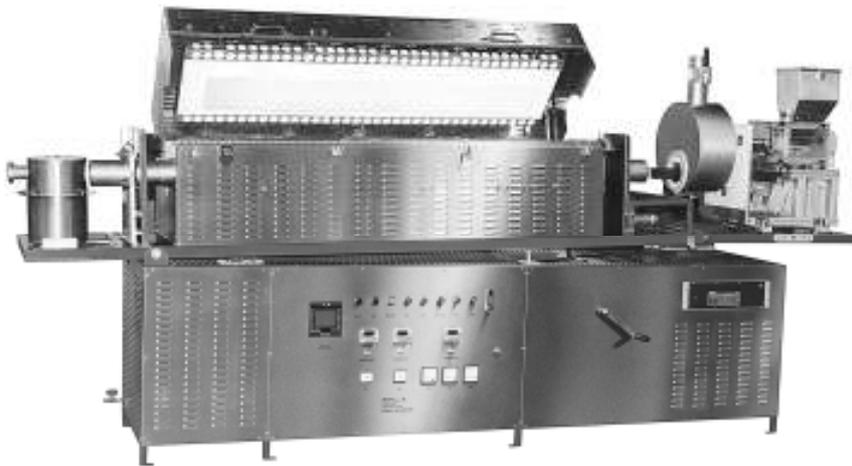


Abb. 2: Hochtemperaturdrehrohröfen 1600 °C (Foto Li nn High Therm)

Bei Mikrowellen- und Mikrowellenhybrid-Drehrohröfen werden Quarzglasrohre oder Keramikrohre verwendet. Muss ein Metallrohr verwendet werden, kann die Mikrowelleneinspeisung nur durch die Stirnseiten des Rohres realisiert werden. Bei den Mikrowellenhybrid-Drehrohröfen findet zusätzlich eine konventionelle Beheizung statt, wobei in der Regel Gas- oder Widerstandbeheizung verwendet wird.

#### Rohr

Je nach Temperatur und Brenngut können verschiedene Rohrtypen zum Einsatz kommen. Möglicher Abrieb und Verunreinigung des Brenngutes und Reaktionen (chemisch oder nur „Anbacken“ des Brenngutes am Rohr) sind zu berücksichtigen. Dieses Problem tritt verstärkt bei Pulvern auf, so dass bei kritischen Substanzen eine Vorgranulation nötig werden kann und zusätzlich Abstreifvorrichtungen eingebaut werden müssen.

#### Metallische Rohre .

Gängige Materialien sind 1.4841 bis 1050 °C (Versprödungsneigung bei ausschließlichem Betrieb zwischen 700 und 850 °C), 1.4828 bis 950 °C, Incone I bis 1150 °C und neuerdings APM<sup>®</sup> (FeCrAl) bis 1300 °C. Metallrohre sind mechanisch robust, erlauben hohe Aufheiz- und Abkühlraten; die Einbauten, z. B. Schnecken und Abstreifer, sind relativ einfach realisierbar. Die geringe Härte kann

aber durch Abrieb zur Verunreinigung des Brenngutes führen, da metallische Hochtemperaturwerkstoffe relativ viele und z. T. auch kritische Legierungsbestandteile, z. B. Ni, enthalten.

Quarz/Quarzgut  $T_{\max}$  für Quarz ist 1050 °C. Die Rohre können auch noch bei höheren Temperaturen eingesetzt werden. Beim Abkühlen unter 700 °C tritt eine Rekristallisation ein, die bis zur Zerstörung des Einsatzrohres führen kann. Die Zyklenzahl und Lebensdauer lässt sich nur schwer vorhersagen, da sie stark von externen Parametern wie etwa der Luftfeuchtigkeit abhängt. Quarzglas als bevorzugtes Material der Halbleiterindustrie ist in hochreiner Form lieferbar. Eine Kontamination des Brenngutes ist, wenn nicht der Quarz selbst angegriffen wird, ausgeschlossen. Weiterhin hat Quarz ein extrem gutes Thermoschockverhalten.

#### Keramik

Keramische Rohre haben hohe Abriebsbeständigkeit, die enthaltenen Stoffe sind eher unkritisch und es können hohe Einsatztemperaturen bis 1750 °C gefahren werden. Bei Schlicker-gegossenen Keramikrohren sind die max. Abmessungen aber sehr eingeschränkt. Mit Plasma-gespritzten Rohren lassen sich auch große Dimensionen herstellen. Eingesetzt werden meist  $Al_2O_3$ -Werkstoffe, je nach Temperatur mit steigenden  $Al_2O_3$ -gehalten von 60 bis 99,7 %. In speziellen Fällen macht auch der Einsatz von SiC-Rohren Sinn. Die hohe thermische Leitfähigkeit bewirkt eine gute Wärmeübertragung bei hohen Durchsätzen und lässt höhere Aufheizraten zu. Für Aluminiumoxidrohre liegen die max. Aufheizraten bei dicht gesinterten Qualitäten bei 120-360 K/h bis 1200 °C, darüber bei 180-360 K/h. Poröse Qualitäten lassen bis zu 400 K/h zu. Die ebenfalls hohe Empfindlichkeit gegenüber räumlichen Temperaturgradienten muss bei der Konstruktion des Ofens und beim Eintrag großer Mengen kalten Brenngutes berücksichtigt werden.

#### Heizer:

Da bei den gängigen Bauformen die Heizer meist der Umgebungsluft exponiert sind, werden die aus dem normalen Ofenbau bekannten Materialien eingesetzt. FeCrAl (APM<sup>®</sup>) bis 1400 °C, MoSi<sub>2</sub> bis 1850 °C Heizleitertemperatur. Die max. Temperatur im Rohr ist ca. 50-100 °C niedriger anzusetzen. Die Heizung ist meist mehrzonig, da im Drehrohr verschiedene Reaktionen ablaufen: Die Aufheizphase mit Trocknung des Pulvers mit relativ hohem Energiebedarf, einer Zone, in der

exotherme oder endotherme Reaktionen ablaufen können, und einer Halte- oder Abkühlphase, bei der nur Wärmeverluste ausgeglichen werden oder sogar gekühlt werden muss.

Drei Zonen sind bei kleineren Aggregaten meist ausreichend. Es kann so eine hohe Temperaturgleichmäßigkeit erreicht werden. Bei größeren Öfen oder wenn genaue Temperaturprofile durchfahren werden sollen, muss die Heizzonenzahl entsprechend erhöht werden. Aus wirtschaftlichen und technischen Gründen können auch verschiedene Heizertypen in den einzelnen Zonen eingesetzt werden, da Hochtemperaturheizer aus  $\text{MoSi}_2$  im Temperaturbereich zwischen 600 und 900 °C sehr ungünstige Betriebsbedingungen haben. Bei  $\text{MoSi}_2$  muss der spätere Kippwinkel des Ofens berücksichtigt werden, da sie über 1300 °C nur senkrecht +/- 7° betrieben werden können.

Auslegung:

Der übliche Füllgrad für Drehrohröfen liegt bei ca. 10 % des Drehrohrvolumens. Je nach Art und Form des Brenngutes (Pulver, Granulat, Blättchen) kann der Füllgrad aber auch stark davon abweichen. Ausschlaggebend für die benötigte Ofengröße ist die notwendige Haltezeit bei der Arbeitstemperatur. Hierzu sind meist Vorversuche notwendig, da die Zykluszeiten erheblich unter denen beim Batchbetrieb liegen. Aufheizzeiten im Drehrohr sind wegen des guten Wärmeübergangs ebenfalls sehr kurz und liegen im Bereich von einigen Minuten.

Auslegungsbeispiel für einen kleinen Labor-Drehrohröfen:

**Haltezeit 15 min, Aufheizen 5 min, Volumenfüllgrad 10 %, Kühlzeit ca. 5 min, Durchsatz 20 kg/Std, Schüttdichte 0.5 kg/dm<sup>3</sup>.**

$$\text{Volumendurchsatz} = \frac{\text{Durchsatz}}{\text{Schüttdichte}} = \frac{20 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{0,5 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}} = 40 \frac{\text{dm}^3}{\text{h}}$$

$$\text{Volumen in Haltezone } VH = V \times H = 40 \frac{\text{dm}^3}{\text{h}} \times 0,25 \text{ h} = 10 \text{ dm}^3$$

Bei 10 % Volumenfüllgrad:

$$\text{Volumen der Haltezone } VH_{10\%} = VH \times 10 = 10 \text{ dm}^3 \times 10 = 100 \text{ dm}^3$$

Für die Aufheiz- und Abkühlzone wird je 1/3 vom Haltezonenvolumen zusätzlich benötigt.

$$\text{Volumen Drehrohr } V = \left(1 + \frac{1}{3} + \frac{1}{3}\right) \times VH_{10\%} = \left(1 + \frac{1}{3} + \frac{1}{3}\right) \times 100 \text{ dm}^3 = 166 \text{ dm}^3$$

Das Verhältnis Länge (L) zu Durchmesser (D) des Drehrohres sollte bei ca. 8 liegen.

$$\text{Volumen Drehrohr } V = L \times \pi \times r^2 = 8 \times D \times \pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2 = D^3 \times 6,28$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{V}{6,28}} = 2,98 \text{ dm}$$

$$L = 8 \times 3 \text{ dm} = 24 \text{ dm}$$

Drehrohr: L = 2,4 m, D = 300mm

Bei größeren Drehrohrofenanlagen werden in den meisten Fällen definierte Durchlaufzeiten durch Einbauten im Rohr gewährleistet. Bei Materialien mit unterschiedlicher spez. Dichte oder Fraktion kommt es in glatten Rohren zu Materialentmischung und ständig unterschiedlichen Durchlauf- bzw. Verweilzeiten, bedingt durch Aufschwimm- und Gleitvorgänge.



Abb. 3: Drehrohrofen 900 °C (Foto Linn High Therm)

Beschickung:

Die Dosierung und Beschickung erfolgt über Rüttler oder eine Förderschnecke.

Rüttler erfordern neben einer Frequenzsteuerung meist zusätzliche flexible mechanische Einbauten um Fördermengen exakt einzustellen.

Bei Dosierschnecken kann der erhöhte Abrieb zu Problemen führen.

Transport und Antrieb:

Der Antrieb erfolgt über einen frequenzgesteuerten Drehstrommotor. Die Durchlaufzeit lässt sich stufenlos über Drehzahl und Anstellwinkel variieren. Die Drehzahl für das Rohr liegt meist im Bereich von  $1-10 \text{ min}^{-1}$ . Anstellwinkel von  $1-15^\circ$  sind üblich.

Kühlzone:

Bei kleineren Anlagen ist eine aktive Kühlung im Gutausslass meist nur zum Schutz der Drehlager erforderlich, da mit dem Gut nur kleine Wärmemengen nach außen transportiert werden. Meist ist Ventilatorenkühlung mit Umgebungsluft ausreichend. Höhere Abkühlungsraten können durch wassergekühlte Strecken mit Umluftventilation erreicht werden. Für größere Austragsmengen kann im Bereich der Kühlzone das Drehrohr in Metall ausgeführt werden und direkt über Düsen mit Wasser gekühlt werden.

Das Gut wird oft nach Durchlaufen der Kühlzone, Batchweise in einem Behälter aufgefangen oder mit einem Förderband kontinuierlich zu nachgeschalteten Anlagen transportiert.

Info:

[info@linn.de](mailto:info@linn.de)

[www.linn.de](http://www.linn.de)