Thermische Beanspruchung von Walzenschüsselmühlen für die Mahlung sehr feuchter Mahlgüter

O. Jung, K.-H. Schütte, Kaiserslautern/Deutschland

ZUSAMMENFASSUNG

MPS-Walzenschüsselmühlen werden seit vielen Jahren erfolgreich für die Mahltrocknung von sehr feuchten Mahlgütern eingesetzt. Aufgrund der modularen Bauweise dieser Mühlen können Gehäusequerschnitte und Mahlteilegeometrien aufeinander abgestimmt und somit optimal den jeweiligen Bedingungen angepaßt werden. Die Gastemperaturen am Mühleneintritt liegen bei großen zu verdampfenden Wassermengen mit 400 bis 600 °C zum Teil sehr hoch. Die im Heißgasstrom befindlichen Mühlenbauteile müssen deshalb entweder für hohe Temperaturbeanspruchungen dimensioniert, oder vor zu hohen Temperatureinflüssen geschützt werden. Am Beispiel der Mahlschüssel, dem thermisch am höchsten beanspruchten Bauteil, werden die Mechanismen der Beanspruchung sowie moderne und bewährte Verfahren der Bauteiledimensionierung beschrieben. Beim Anfahren von Mühlen aus dem kalten Betriebszustand ist darauf zu achten, daß vorausberechnete und für die Bauteiledimensionierung zugrunde gelegte Temperaturgradienten nicht überschritten werden. Konstruktion und Betriebsweise von MPS-Mühlen ermöglichen einen störungsfreien und wirtschaftlichen Betrieb auch bei Aufgabematerialfeuchten > 20 %.

SUMMARY

Thermal stressing in vertical roller mills when grinding very moist materials

For many years MPS vertical roller mills have been used successfully for the combined grinding and drying of very moist materials. The modular design of these mills allows the housing cross-sections and the geometry of the grinding elements to be matched to one another so that they can be optimally adjusted to suit the particular conditions. When large volumes of water have to be evaporated the gas temperatures at the mill inlet can sometimes be as high as 400 to 600 °C. The mill components exposed to the hot gas flow therefore have to be either rated to withstand these high temperatures or protected from their effects. The grinding bowl, being the mill component most subjected to thermal stress, will serve as an example of the stress mechanisms and of the successful state-of-the-art methods employed for dimensioning mill components. When mills are started up from cold care must be taken that the calculated temperature gradients on which the dimensioning of the mill components was based is not exceeded. The design and operation of MPS vertical roller mills facilitate trouble-free and economic operation, even with feed moistures exceeding 20 %.

RÉSUMÉ

Sollicitation thermique de broyeurs type bowl-mill, destinés au broyage de matières très humides

Les broyeurs type bowl-mill MPS sont utilisés avec succès, depuis bien des années, lors du broyage-séchage de matières très humides. Dû au mode de construction modulaire des ces broyeurs, les sections des carcasses et les géométries des éléments de broyage peuvent être coordonnées et adaptées ainsi aux différentes conditions du service. Lorsqu'il s'agit d'évaporer des quantités d'eau trop grandes, les températures des gaz à l'entrée du broyeur sont, en partie, trop élevées, c'est-à-dire de 400 à 600 °C. Les éléments du broyeur situés dans le courant de gaz chauds doivent être dimensionnés, pour cette raison, de telle manière qu'ils résistent aux températures très élevées ou bien être protégés contre l'influence de températures trop élevées. C'est en citant l'exemple de la cuvette de broyage, élément soumis à une sollicitation thermique très élevée, que les auteurs du présent article décrivent les mécanismes de sollicitation ainsi que des procédés modernes et éprouvés de dimensionnement des éléments constructifs. Lors du démarrage de broyeurs se trouvant en état froid, il faut veiller à ce que les gradients de température précalculés et utilisés pour le dimensionnement des éléments de construction ne soient pas dépassés. La construction et le mode de service des broyeurs MPS permettent un travail économique et exempt de perturbations, même dans le cas de matières d'alimentation présentant un degré d'humidité supérieur à 20 %.

RESUMEN

Solicitación térmica de molinos de cubeta y

Los molinos de cubeta y rodillos MPS se vienen utilizando con éxito, desde hace muchos años, en la molienda-secado de materiales muy húmedos. Debido a la construcción modular de estos molinos, es posible adecuar las secciones de las carcasas y las geometrias de los elementos de

molienda y adaptarias así de forma óptima a las distintas condiciones del servicio. Cuando hay que evaporar cantidades de agua demasiado grandes, las temperaturas de los gases a la entrada del molino son, en parte, muy altas, es decir entre 400 y 600 °C. Los elementos del molino que quedan en la corriente de gases calientes tienen que ser dimensionados, por esta razón, de forma que aguanten temperaturas muy altas o bien ser protegidos contra los influjos de las temperaturas excesivas. Citando el ejemplo de la cubeta de molienda, que es el elemento expuesto a mayor solicitación, se describen los mecanismos de solicitación así como algunos procedimientos modernos y acreditados de dimensionamiento de elementos constructivos. Durante el arranque en frio de los molinos hay que procurar que no se sobrepasen los gradientes de temperatura previamente calculados y elegidos como base para el dimensionamiento de los elementos constructivos. La construcción y el modo de servicio de los molinos MPS permiten un servicio económico y libre de perturbaciones, incluso para materiales con grados de humedad superiores a 20 %.

rodillos, destinados a la molienda de materiales muy húmedos

1. Mühlenauslegung und Temperaturen

MPS-Walzenschüsselmühlen sind, aufgrund der Möglichkeit große Gasvolumenströme durchzusetzen, besonders gut für die Mahltrocknung von sehr feuchten Schüttgütern wie z. B. Zementrohmaterial, Kreide, Braunkohle, Gips und Ton geeignet [4].

Für die Größenauslegung von MPS-Walzenschüsselmühlen sind sowohl die Mahlbarkeit des Gesteins als auch der zur Trocknung erforderliche Wärmemengenstrom von entscheidender Bedeutung. Aufgrund der modularen Bauweise dieser Mühlen können Gehäusequerschnitte und Mahlteilegeometrien optimal aufeinander abgestimmt werden. So werden z. B. bei gut mahlbaren und sehr feuchten Schüttgütern relativ kleine Mahlwalzen, bei schwer mahlbaren und weniger feuchten Schüttgütern große Mahlwalzen einer bestimmten Gehäusegeometrie zugeordnet.

Der für die Trocknung des Schüttgutes verfügbare Wärmemengenstrom durch die Mühle wird durch den Gasvolumenstrom und die Gastemperaturen am Mühleneintritt und am Sichteraustritt bestimmt.

Die Temperatur am Sichteraustritt liegt, in Abhängigkeit von Materialaufgabefeuchte und Produktrestfeuchte, zwischen 80 und 110 °C (bei Mahlcalcinierung von Gips bis 160 °C) und damit in Bezug auf die thermische Beanspruchung von Konstruktionsteilen auf relativ niedrigem Niveau. Am Mühleneintritt hingegen liegt die Temperatur für die Mahltrocknung von sehr feuchten Schüttgütern mit 400 bis 600 °C sehr hoch. Die thermische Beanspruchung von Bauteilen im Heißgasbereich muß deshalb durch konstruktive Maßnahmen berücksichtigt und durch Temperaturlimits begrenzt werden.

2. Mechanismen bei thermischer Bauteilebeanspruchung

Das thermisch am höchsten beanspruchte Bauteil von Vertikalmühlen ist, wegen seiner geometrischen Form und des damit verbundenen Temperaturgefälles, die Mahlschüssel. Nachfolgende Ausführungen beschränken sich deshalb auf dieses Bauteil. Andere im Heißgasstrom liegende Bauteile sind vergleichbaren Betrachtungen zu unterziehen.

Die äußere Oberfläche der Mahlschüssel ist je nach konstruktiver Ausführung des Heißgasraums mehr oder weniger intensiv dem Heißgasstrom ausgesetzt. Die Wärmeübertragung auf die Innenseite der Mahlschüssel erfolgt durch Wärmeleitung. **Bild 1** zeigt Heißgaskanal und Mahlschüssel einer Pfeiffer-MPS-Mühle. Die Temperaturdifferenzen zwischen Mahlschüsselaußen- und -innenseite hängen von den Heißgas- und Mahlraumtemperaturen, von den Mahlschüsselwanddicken, den Wärmeschutzmaßnahmen (Wärmeschutzschild, Isolation etc.) sowie von Wärmeübergang und Wärmedurchgang ab. Diese Vorgänge sind in **Bild 2** schematisch dargestellt [2]. Die Schaubilder verdeutlichen, daß die Temperaturdifferenzen zwischen Mahlschüssel-

1. Mill rating and temperatures

Thanks to their ability to handle large gas volumes, the MPS vertical roller mills are particularly well suited for drying and grinding very moist bulk materials such as cement raw material, chalk, lignite, gypsum and clay [4].

The grindability of the feed material and the heat flow required for drying it are crucial for sizing an MPS vertical roller mill. The modular design of these mills allows the housing cross-sections and the geometry of the grinding elements to be optimally matched to one another. With easy-to-grind and very moist bulk materials, for example, relatively small grinding rollers will be assigned to a certain housing geometry, whereas large grinding rollers will be assigned to it for difficult-to-grind and less moist bulk materials.

The flow of heat through the mill which is available for drying the bulk material is defined by the gas volume flow and the gas temperatures at the mill inlet and classifier outlet.

The temperature at the classifier outlet lies between 80 to 110 °C (up to 160 °C for combined grinding and calcining of gypsum), depending on the moisture of the feed material and the residual moisture in the product, and is therefore relatively low as far as the thermal stress acting on the structural components is concerned. The temperatures at the mill inlet of 400 to 600 °C for drying very moist bulk materials are, however, very high. The thermal stress acting on the structural components in the hot gas area must therefore be taken into account in the design, and restricted by setting temperature limits.

2. Mechanisms affecting structural components exposed to thermal stressing

The structural component most exposed to thermal stress in a vertical roller mill is the grinding bowl because of its geometrical shape and the associated temperature gradients. The following observations are therefore confined to this component. Other mill components exposed to the hot gas flow are subject to similar considerations.

The external surface of the grinding bowl is exposed to the hot gas flow more or less intensively, depending on the design of the hot gas chamber. Heat is transferred to the inside of the grinding bowl by thermal conductivity. **Fig. 1** shows the hot gas duct and the grinding bowl cross section of a Pfeiffer MPS vertical roller mill. Temperature differences between the inside and outside of the grinding bowl depend on the hot gas and grinding chamber temperatures, the grinding bowl wall thicknesses, the thermal protection measures (heat shield, insulation, etc), and on the heat transfer and heat transmission. These processes are illustrated schematically in **Fig. 2** [2]. The diagrams clearly show that in the end the temperature differences between the outside and inside of the grind-

außen- und -innenseite letztendlich nur über Mühleneintrittstemperatur und Wärmeschutzmaßnahmen beeinflußt werden können. Alle anderen Parameter sind entweder konstruktiv oder prozeßtechnisch vorbestimmt. So werden z. B. die Mahlraumtemperatur von der angestrebten Restfeuchte im Produkt und die Mahlschüsselwanddicken von der mechanischen Belastung (Mühlengröße) bestimmt.

Bei der sich innerhalb der Mahlschüssel zwangsläufig einstellenden Temperaturverteilung treten infolge behinderter Wärmedehnung Eigenspannungen, sogenannte Wärmespannungen, auf. Diese kann man bei komplexen Bauteilen wie der Mahlschüssel mit den Hilfsmitteln der konventionellen Festigkeitslehre mit vertretbarem Aufwand nicht mehr berechnen. In einfachen Fällen, unter definierten Bedingungen, können die Wärmespannungen infolge behinderter Wärmedehnung berechnet werden [1].

Grundlage für solche Berechnungen ist das physikalische Gesetz der Wärmeausdehnung. Die Längenänderung infolge des Temperatureinflusses kann näherungsweise durch das lineare Wärmedehnungsgesetz beschrieben werden. Danach gilt:

$$\varepsilon_\vartheta = \alpha_\vartheta \cdot \Delta\vartheta \qquad (1)$$

Die Größe α_ϑ in dieser Gleichung bedeutet den linearen Ausdehnungskoeffizienten. Für Eisen beträgt dieser etwa $12 \cdot 10^{-6}$ grd^{-1}, bezogen auf einen Temperaturbereich zwischen 0 und 100 °C. Hat beispielsweise ein stabförmiger Körper die Länge l, dann verlängert er sich somit um

$$\Delta l = l \cdot \varepsilon_\vartheta = l \cdot \alpha_\vartheta \cdot \Delta\vartheta \qquad (2)$$

Wird diese Ausdehnung behindert, dann entsteht im Stab die Wärmespannung

$$\sigma = E \cdot \varepsilon_\vartheta = E \cdot \alpha_\vartheta \cdot \Delta\vartheta \qquad (3)$$

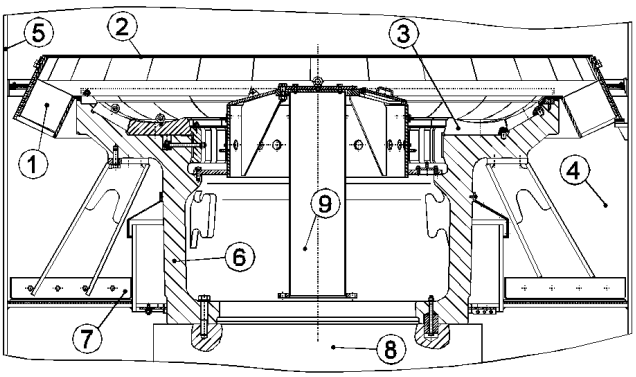

BILD 1: Schnitt durch die Mahlschüssel einer Pfeiffer-MPS-Walzenschüsselmühle

FIGURE 1: Section though the grinding bowl of a Pfeiffer MPS vertical roller mill

1	Düsenring	ported air ring
2	Luftleitkonus mit Panzerung	air guide cone with liner plates
3	Mahlteile	grinding elements
4	Heißgaskanal	hot gas duct
5	Mühlengehäuse	mill housing
6	Mahlschüssel	grinding bowl
7	Abstreifer	scraper
8	Getriebe	gear unit
9	Stützrohr zum MPS Lift-and-Swing-System	central column of MPS Lift-and-Swing System

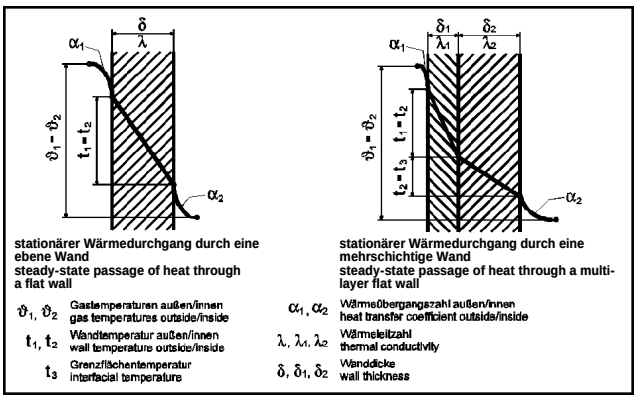

BILD 2: Veranschaulichung des stationären Wärmedurchgangs durch eine ebene und mehrschichtig ebene Wand

FIGURE 2: Illustration of the passage of heat through a flat wall and a multi-layer flat wall

ing bowl can only be influenced by mill inlet temperature and thermal insulation. All the other parameters are predetermined either by the design or by the process. The temperature in the grinding chamber, for example, is determined by the target residual moisture in the product, and the grinding bowl wall thickness is determined by the mechanical loading (mill size).

The temperature distribution that inevitably occurs within the grinding bowl causes internal stresses, so-called thermal stresses, due to constricted thermal expansion. These cannot be calculated with a justifiable level of expenditure for complex components, such as the grinding bowl, using the conventional theory of the strength of the materials. However, in simple cases and under defined conditions it is possible to calculate the thermal stress caused by constricted thermal expansion [1].

The basis for such calculations is the physical law of thermal expansion. Linear deformation caused by temperature can be described approximately by the law of linear thermal expansion:

$$\varepsilon_\vartheta = \alpha_\vartheta \cdot \Delta\vartheta \qquad (1)$$

The quantity α_ϑ in this equation signifies the coefficient of linear expansion. For iron this is approximately $12 \cdot 10^{-6}$ degree^{-1} for a temperature range between 0 and 100 °C.

If, for example, a rod-shaped body has a length l, it expands by:

$$\Delta l = l \cdot \varepsilon_\vartheta = l \cdot \alpha_\vartheta \cdot \Delta\vartheta \qquad (2)$$

If this expansion is constricted the thermal stress in the rod is:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon_\vartheta = E \cdot \alpha_\vartheta \cdot \Delta\vartheta \qquad (3)$$

3. Calculation and dimensioning of components exposed to high thermal stressing

Because of the complicated geometry of grinding bowls and the inadequate results from conventional stress cal-

3. Berechnung und Dimensionierung von thermisch hoch beanspruchten Bauteilen

Aufgrund der Komplexität der Mahlschüssel sowie unzureichender Ergebnisse aus konventionellen Spannungsberechnungen wurden in den vergangenen Jahren mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode (FEM)*) Berechnungen durchgeführt und auf Basis dieser Ergebnisse die Mahlschüsseln konstruktiv optimiert [3].

Die Berechnungen wurden durch Messungen an Betriebsanlagen begleitet und auf dieser Grundlage abgesichert. **Tabelle 1** zeigt Oberflächentemperaturen von Mahlschüsseln in Abhängigkeit von der Mühleneintrittstemperatur.

Die FEM-Optimierungsrechnungen haben ergeben, daß die bis dahin allgemein übliche T-förmige Konstruktion in Bezug auf Wärmespannungen optimiert werden kann. Da die Wärmespannungen aufgrund des unvermeidlichen Temperaturgefälles (außen/innen) gegenüber den Spannungen aus den zu übertragenden Mahlkräften dominieren, hat man sich schon frühzeitig für eine L-förmige Mahlschüsselkonstruktion bei Mühlen mit hohen Temperaturbeanspruchungen entschieden. **Bild 3** zeigt die mit Hilfe von FEM-Rechnungen ermittelten Spannungsverteilungen an T- und L-förmigen Mahlschüsselkonstruktionen.

Mahlschüsseln für Walzenschüsselmühlen werden ausschließlich aus duktilem Gußeisen hergestellt. Für die gegebenen Anforderungen an Duktilität und Festigkeit stellen ein Gußeisen mit Kugelgraphit und ein Stahlguß die erste Werkstoffwahl dar. Aufgrund seiner hervorragenden Werkstoffeigenschaften und einem günstigen Preis/Leistungs-Verhältnis wird jedoch Gußeisen mit Kugelgraphit bevorzugt eingesetzt. Die erforderliche Hitzebeständigkeit wird durch entsprechende Legierungsbestandteile erreicht.

TABELLE 1: Oberflächentemperaturen von Mahlschüsseln in Abhängigkeit von der Eintrittstemperatur

TABLE 1: Surface temperatures of grinding bowls as a function of inlet temperature

Mahlschüsseldurchmesser grinding bowl diameter mm	Eintrittstemperatur inlet temperature °C	Oberflächentemperatur außen/ surface temperature outside °C	Oberflächentemperatur innen/ surface temperature inside °C
5 600	225	186	118
5 300	420	330	190
5 300	260	220	148
3 750	238	195	113

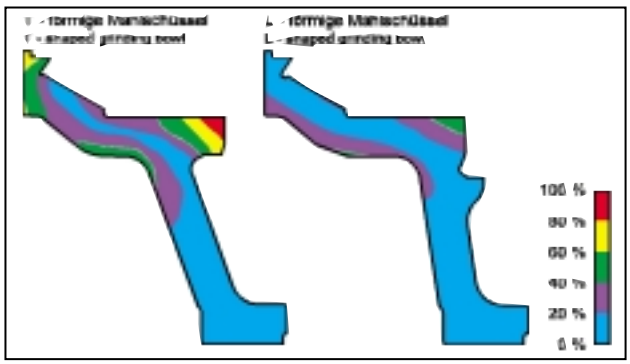

BILD 3: Verteilung der Vergleichsspannung an einer T- und L-förmig ausgebildeten Mahlschüssel (FEM-Berechnung)

FIGURE 3: Distribution of the equivalent stress in a T-shaped and an L-shaped grinding bowl (FEM calculation)

*) FEM: Finite Element Methode zur numerischen Lösung von Festigkeitsproblemen sowohl im elastischen als auch plastischen Bereich.

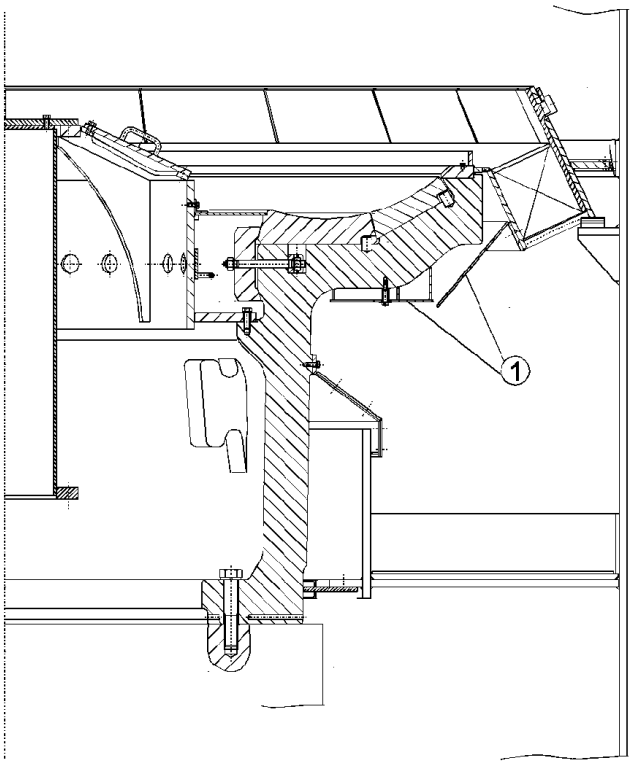

BILD 4: MPS-Mahlschüssel mit Hitzeschild

FIGURE 4: MPS grinding bowl with heat shield

culations the finite element method (FEM)*) has been used in recent years to carry out calculations which have been used as a basis for optimizing the grinding bowl design [3].

The calculations were accompanied and verified by measurements carried out in operating plants. **Table 1** shows the surface temperatures of grinding bowls as a function of mill inlet temperatures.

The FEM calculations have shown that the T-shaped design generally employed can be optimized with respect to thermal stress. The thermal stresses caused by the unavoidable temperature gradient (outside/inside) are greater than the stresses from the transmitted grinding forces, so a decision was made at an early stage to use an L-shaped grinding bowl design for vertical roller mills exposed to high temperatures. **Fig. 3** shows the stress distributions in T-shaped and L-shaped grinding bowls determined with the aid of FEM calculations.

Grinding bowls for vertical roller mills are manufactured exclusively from ductile cast iron. Cast iron with nodular graphite and cast steel are the possible materials which meet the requirements of ductility and strength. Preference is given to cast iron with nodular graphite because of its excellent material properties and favourable cost-performance ratio. The required heat resistance is attained by using appropriate alloying constituents. For material surface temperatures up to 400 °C the mechanic properties of cast iron with nodular graphite meet the relevant requirements [5].

Table 1 lists the gas inlet temperatures and associated material temperatures. In order to keep the material temperature of the grinding bowl below admissible limits, even with very high gas inlet temperatures, the grinding bowl can either be insulated or provided with a heat shield. **Fig. 4** shows an example of the design of an MPS grinding bowl with heat shield. Structural thermal protection is avoided in specified areas to allow the tempera-

*) FEM: Finite Element Method for numerical solution of strength problems in both the elastic and the plastic ranges

Bei Werkstoffoberflächentemperaturen bis 400 °C genügen die mechanischen Eigenschaften von Gußeisen mit Kugelgraphit den jeweiligen Anforderungen [5].

Tabelle 1 enthält eine Zusammenstellung der Gaseintritts- und zugehörigen Werkstofftemperaturen. Um auch bei sehr hohen Gaseintrittstemperaturen die Werkstofftemperatur von Mahlschüsseln unterhalb zulässiger Grenzwerte zu halten, kann die Mahlschüssel isoliert oder mit einem Wärmeschutzschild versehen werden. **Bild 4** zeigt beispielhaft die Ausführung einer MPS-Mahlschüssel mit Wärmeschutzschild. In ausgewählten Bereichen wird auf konstruktiven Wärmeschutz verzichtet, um durch gezielte örtliche Wärmezufuhr das Temperaturgefälle zwischen Mahlschüsselinnen- und -außenseite zu beeinflussen. Im Vergleich zur T-förmigen Mahlschüsselausführung trägt die L-förmige Ausführung zusätzlich zur Reduzierung des Temperaturgefälles bei. Entscheidend hierbei ist der weiteste Abstand zwischen Mahlschüsselaußen- und -innenseite. Aufgrund der Wartungsfreiheit wird der konstruktive Wärmeschutz gegenüber einer Isolation mit Wärmedämmaterial bevorzugt.

4. Anfahren aus kaltem Betriebszustand

Im stationären Betriebszustand stellt sich in Abhängigkeit von Heißgastemperatur und Wärmeschutzmaßnahmen zwischen Mahlschüsselaußen- und -innenseite ein konstantes Temperaturgefälle ein (**Bild 5**). Die dabei im Werkstoff auftretenden Wärmespannungen werden, wie bereits beschrieben, durch dieses Temperaturgefälle verursacht und müssen bei der Dimensionierung einer Mahlschüssel berücksichtigt werden. Beim Anfahren von Mühlen aus dem kalten Betriebszustand ist deshalb darauf zu achten, daß das vorgesehene Temperaturgefälle zwischen Mahlschüsselaußen- und -innenseite nicht überschritten wird. Durch Vorwärmung der betriebsbereiten Mahlanlage mittels Ofenabgasen und durch stufenweise Steigerung des Durchsatzes bis auf Nenngröße, kann dieser Anforderung auch bei voll automatisiertem Prozeßablauf entsprochen werden.

Für den Betrieb von Drehöfen ist diese Anfahrprozedur selbst beim in-line-Betrieb deshalb nicht hinderlich, weil die Zeitspanne zwischen dem Kaltstart und dem stationären Betrieb eines Drehofens deutlich länger ist als bei Mahlanlagen. Ein Mühlenstart, selbst nach mehreren Stunden Stillstand, muß aufgrund der relativ geringen Abkühlung der Mahlschüssel nicht als Kaltstart angesehen werden. In diesem Fall kann die Mühle sehr schnell angefahren und auf ihren Nenndurchsatz gebracht werden. Das zulässige Temperaturgefälle kann dabei nicht überschritten werden.

5. Temperatureinflüssen ausgesetzte Maschinenteile

Außer der Mahlschüssel sind noch weitere Maschinenteile, wie z.B. das Mühlengetriebe, das Segmentdrucklager im

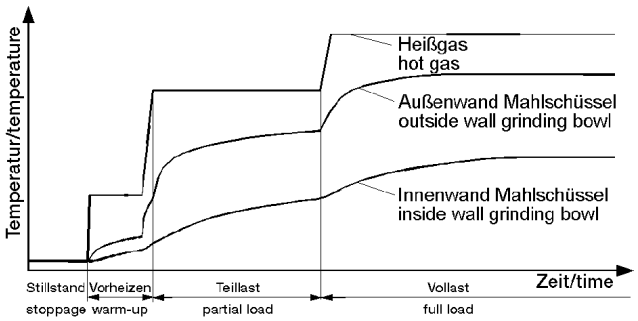

BILD 5: Heißgastemperaturen an der Mahlschüssel einer MPS-Walzenschüsselmühle

FIGURE 5: Hot gas temperatures at the grinding bowl of an MPS vertical roller mill

ture difference between the inside and outside of the grinding bowl to be reduced by a carefully directed local heat supply. When compared with the T-shaped grinding bowl the L-shaped design also contributes to reducing the temperature difference. The decisive factor is the greatest distance between the outside and inside of the grinding bowl. For ease of maintenance structural thermal protection is preferred to lining with heat insulating material.

4. Cold start-up

During steady-state operation there is a constant temperature gradient between the inside and outside of the grinding bowl which depends on the hot gas temperature and the thermal insulation measures (**Fig. 5**). As already mentioned, this temperature difference causes thermal stresses in the material which have to be taken into account when dimensioning a grinding bowl. When a mill is started from cold care must therefore be taken that the expected temperature difference between the outside and inside of the grinding bowl is not exceeded. This requirement can be met, even with a fully automated process sequence, by preheating the grinding plant with kiln exhaust gas prior to operation, and by increasing the throughput in steps until the nominal value is reached.

Rotary kiln operation is not impaired by this start-up procedure, even in the case of in-line operation, because the time span between the cold start and steady-state operation of a rotary kiln is significantly longer than with grinding plants. A mill start, even after a stoppage of several hours, does not have to be regarded as a cold start because of the relatively slight cooling of the grinding bowl. In this case the mill can be started up and brought to nominal capacity very quickly as the permissible temperature difference cannot be exceeded.

5. Machine components exposed to the effects of temperature

Apart from the grinding bowl, other mechanical components, such as the mill gear unit, the segmented thrust bearing in the mill gear unit, and the grinding rollers, are also exposed to the effects of temperature. These temperature effects lie at a significantly lower level than with the grinding bowl and are dealt with as follows:

The mill gear unit is protected against inadmissible heating caused by thermal radiation from the hot gas duct by insulating the bottom of the hot gas duct. The segmented thrust bearing is protected against the effects of heat by adequate and controlled oil circulation with an oil cooling system.

As with the grinding bowl, the grinding rollers also suffer from thermal stresses, especially while the mill is heating up. However, through the segmented design of the wearing parts and by changing the positions of the rollers with the auxiliary drive the thermal stresses are relatively low, and can be disregarded during the heating and start-up of an MPS mill. Because of their intensive contact with the material during the grinding process the grinding rollers take on the product temperature.

6. Industrial plants

Pfeiffer has supplied many MPS vertical roller mills for grinding very moist mineral bulk materials, and therefore has extensive operating experience and proven designs. The mill inlet temperatures of these drying and grinding plants differ and depend on the moisture content of the feed material, the grindability of the particular bulk material, and the process gases available for the drying and grinding. **Table 2** lists the design temperatures for some of the MPS mills supplied.

Mühlengetriebe und die Mahlwalzen Temperatureinflüssen ausgesetzt. Diesen im Vergleich zur Mahlschüssel auf deutlich niedrigerem Niveau liegenden Temperatureinflüssen wird wie folgt begegnet:

Das Mühlengetriebe wird gegen unzulässige Erwärmung infolge von Wärmeabstrahlung des Heißgaskanals durch Isolation des Heißgaskanalbodens, das Segmentdrucklager durch einen ausreichenden und kontrollierten Ölumlauf mit Ölkühlung gegen Wärmeeinflüsse geschützt.

Insbesondere während der Aufheizphase einer Mühle stellen sich, ähnlich wie bei der Mahlschüssel, auch für die Mahlwalzen wärmebedingte Beanspruchungen ein. Durch die segmentierte Ausführung der Verschleißteile sowie durch mehrfaches Umpositionieren der Walzenstellung mittels Hilfsantrieb, liegen die Wärmespannungen jedoch verhältnismäßig niedrig, so daß sie beim Aufheizen und Anfahren von MPS-Mühlen unberücksichtigt bleiben können. Beim Mahlvorgang nehmen die Mahlwalzen aufgrund ihres intensiven Kontakts mit dem Mahlgut die Produkttemperatur an.

6. Betriebsanlagen

Pfeiffer hat viele MPS-Walzenschüsselmühlen für die Mahlung von sehr feuchten mineralischen Schüttgütern geliefert und verfügt somit über umfangreiche Betriebserfahrungen und bewährte Konstruktionen. Die Mühleneintrittstemperaturen dieser Mahltrocknungsanlagen sind unterschiedlich und hängen von der Feuchte des Aufgabematerials, der Mahlbarkeit des jeweiligen Schüttgutes und den für die Mahltrocknung zur Verfügung stehenden Prozeßabgasen ab. In **Tabelle 2** sind die Auslegungstemperaturen einiger gelieferter MPS-Mühlen aufgeführt.

Die mittlere Verweilzeit des jeweiligen Mahlguts im Mahlraum zur Erreichung des gewünschten Zerkleinerungsgrades liegt im Bereich von Minuten. Zur Erreichung des erforderlichen Trocknungsgrades ist eine deutlich geringere Verweilzeit erforderlich. MPS-Walzenschüsselmühlen können deshalb auch mit sehr niedrig temperierten Prozeßgasen Mahlgüter mit hohen Feuchten mahlen. Mit sehr hohen Mühleneintrittstemperaturen wird dann gearbeitet, wenn keine oder nicht genügend Prozeßgase für die Mahltrocknung zur Verfügung stehen bzw. der Gasvolumenstrom durch die Mahltrocknungsanlage begrenzt werden soll.

Bild 6 zeigt eine Pfeiffer-MPS-Mühle mit einem Mahlbahndurchmesser von 5,6 m. Diese Mühle zur Herstellung von Zementrohmehl befindet sich seit Ende 1996 in einem Zementwerk der Türkei im Einsatz. Die Fertigproduktrate dieser Mühle beträgt bis zu 450 t/h, die Materialaufgabefeuchte bis zu 18 %. Im Mahlraum dieser Mühle kann durch das Rohmaterial eingetragene Wasser bis zu 100 t/h verdampft werden.

Literaturverzeichnis/Literature

[1] Holzmann, G., Meyer, H., Schumpich, H.: Technische Mechanik; Teil 3, Festigkeitslehre. B.G. Teubner, Stuttgart.

[2] Puschmann, G., Drath, R.: Die Grundzüge der Technischen Wärmelehre. Technik-Tabellen-Verlag Fikentscher, Darmstadt.

[3] Beitz W., K.-H. Küttner: Taschenbuch für den Maschinenbau. Springer-Verlag.

[4] Jung, O.: Energy Saving by using modern Vertical Roller Mills in the Cement Industrie. Fifth NCB International Seminar on Cement and Material and Building Materials, New Delhi 26–29 November 96.

[5] Gußeisen mit Kugelgraphit. Zentrale für Gußverwendung, Düsseldorf, Nachdruck aus „konstruieren + gießen“ 13 (1988) No. 1.

TABELLE 2: Auslegungstemperaturen von ausgeführten MPS-Walzenschüsselmühlen

TABLE 2: Design temperatures of existing MPS vertical roller mills

Mahlschüsseldurchmesser grinding bowl diameter mm	Mühleneintrittstemperatur mill inlet temperature °C	Mühlenaustrittstemperatur mill outlet temperature °C	Material material	Materialfeuchte material moisture %
5 600	420	100	Zementrohmat. cement raw material	12
5 000	425	100	Zementrohmat. cement raw material	19
2 250	450	96	Kohle coal	25
1 120	440	90	Ton clay	11
1 000	500	130	Gips gypsum	Calcinierung calcining

BILD 6: Pfeiffer-MPS-Walzenschüsselmühle mit einem Mahlschüsseldurchmesser von 5,6 m zur Herstellung von Zementrohmehl mit einer Aufgabefeuchte von 18 %. Die Mahlanlage ging Ende 1996 in einem Zementwerk der Türkei in Betrieb

FIGURE 6: Pfeiffer MPS vertical roller mill with a grinding bowl diameter of 5.6 m for producing cement raw meal for a feed moisture of 18 %. The grinding plant went into operation at the end of 1996 in a cement works in Turkey

The average residence time of the material in the grinding chamber needed to achieve the required fineness is of the order of minutes. A significantly shorter residence time is needed to achieve the required degree of drying. For this reason MPS vertical roller mills are capable of grinding high-moisture materials even with very low temperature process gases. Very high mill inlet temperatures are used when either no process gases are available for the drying and grinding or when they are only available in insufficient quantity, or else where the intention is to limit the volumetric flow of gas through the drying and grinding plant.

Fig. 6 shows a Pfeiffer MPS vertical roller mill with a grinding track diameter of 5.6 m. This mill has been in use for producing cement raw meal in a cement works in Turkey since the end of 1996. This mill has a finished product rate of up to 450 t/h, with material feed moisture levels of up to 18 %. Up to 100 t/h of water brought in with the raw material can be evaporated in the grinding chamber of this mill.