

Verschleißschutz in Walzenschüsselmühlen

O. Jung, Kaiserslautern/Germany

ZUSAMMENFASSUNG

Walzenschüsselmühlen werden in der Zementindustrie für die Mahlung von Zementrohmaterial, Kohle, Petrolkoks, Hüttensand, Puzzolan und Zementklinker eingesetzt. Die wesentlichsten Gründe für den hohen Verbreitungsgrad dieser Mühlen sind die kombinierte Durchführung von mehreren Verfahrensschritten innerhalb einer einzigen Maschine, der niedrige elektrische Energieverbrauch, die Nutzung von großen Prozessabgasmengen mit niedrigen Temperaturen und die hohe Verfügbarkeit. Die Abrasivität, eine von der Mahlbarkeit unabhängige Rohstoffeigenschaft, und die damit in Verbindung stehende Lebensdauer von Mahlwerkzeugen und Mühlenpanzerungen variiert in weiten Grenzen. Im Vorfeld einer Investitionsentscheidung kommt es daher ganz besonders darauf an, die Abrasivität des jeweiligen Rohstoffs unter möglichst betriebsnahen Bedingungen zu messen und auf Basis dieser Messwerte geeignete Verschleißwerkstoffe für Mahlwerkzeuge und Mühlenpanzerungen auszuwählen. Mit legiertem Guss-eisen, mit Hartaufschweißung, legierten Stahlblechen, Verbundwerkstoffen und keramischen Auskleidungen stehen heute eine Vielzahl von Schleißchutzwerkstoffen zur Verfügung. Die Werkstoffauswahl muss projektbezogen unter technischen und betriebswirtschaftlichen Aspekten getroffen werden. Durch die Auswahl geeigneter Werkstoffe kann der fortschreitende Materialverlust an der Oberfläche der Reibpartner minimiert werden. Darüber hinaus ist eine Maximierung der nutzbaren Masse der Verschleißteile über Gestaltung und Dimensionierung möglich. All diese Maßnahmen führen zur Verlängerung der Lebensdauer von Verschleißteilen. Bei verschiedenen Rohstoffen kann die Abrasivität des Rohstoffs durch Abreicherung von hochabrasiven Bestandteilen reduziert werden. Auch diese Maßnahme führt zur Verlängerung der Lebensdauer von Verschleißteilen. Geeignete Verschleißwerkstoffe, optimale Werkstoffkombinationen und fortschrittliche Techniken für den Austausch und/oder die Regeneration von Verschleißteilen machen Walzenschüsselmühlen auch bei sehr abrasiven Mahlgütern zu wirtschaftlichen Mühlen.

SUMMARY

Vertical roller mills are used in the cement industry for grinding cement raw material, coal, petroleum coke, blast-furnace slag, pozzolana and cement. The most important reasons for the widespread use of these mills are the combined execution of several process stages in a single machine, the low electrical power consumption, the utilization of large quantities of process exhaust gas at low temperatures, and the high level of availability. The abrasiveness of the raw material – a property which is independent of its grindability – and the associated service life of grinding elements and mill linings vary over wide ranges. Before any decision on capital investment it is therefore extremely important that the abrasiveness of the particular raw material is measured under conditions which are as realistic as possible, and that these measurements are used to select suitable wear materials for the grinding elements and mill linings. There are a large number of wear protection materials available in the form of alloyed cast iron, hard-facing, alloyed steel plate, composite materials and ceramic linings. The material must be chosen for the specific project from the technical and business management points of view. The progressive loss of material at the surfaces of the friction partners can be minimized by the selection of suitable materials. It is also possible to maximize the usable weight of the wear parts by shaping and dimensioning. All these measures extend the service life of wear parts. With some raw materials it is possible to reduce the abrasiveness of the raw material by reducing the portion of highly abrasive constituents. This measure also extends the service life of wear parts. Suitable wear materials, optimum material combinations and advanced technology for the replacement and/or regeneration of wearing parts ensure that vertical roller mills are economic grinding systems even for very abrasive feed materials.

RÉSUMÉ

Les broyeurs à galets sont utilisés dans l'industrie cimentière pour le broyage des matières premières à ciment, du charbon, du coke de pétrole, du laitier granulé, de la pouzzolane et du clinker à ciment. Les raisons essentielles pour la large diffusion de ces broyeurs sont la réalisation combinée de plusieurs étapes de processus dans une seule machine, la faible consommation d'électricité, la valorisation de grandes quantités de gaz de sortie du processus, à des températures peu élevées et la haute disponibilité. L'abrasivité, une caractéristique de la matière première, qui ne dépend pas de la broyabilité et la durée de service des outils de broyage et des blindages du broyeur, qui y est liée, varient largement. Préalablement à une décision d'investissement, il importe particulièrement de mesurer l'abrasivité de la matière première concernée, dans des conditions aussi proche que possible de la réalité et de sélectionner, sur la base de ces valeurs de mesure, les matériaux d'usure pour les outils de broyage et les blindages du broyeur. Avec la fonte alliée, la soudure d'apport d'alliages durs, les tôles d'acier d'alliage, les matériaux composites et les revêtements en céramique, une multitude de matériaux de protection contre l'usure sont disponibles aujourd'hui. Le choix du matériau doit être effectué en fonction du projet, en tenant compte des aspects techniques et économiques de l'exploitation. La sélection de matériaux appropriés permet de minimiser la perte progressive de matière à la surface des partenaires de friction. En outre, il est possible de maximaliser la masse disponible des parties d'usure, par une configuration et un dimensionnement corrects. Toutes ces mesures conduisent à un prolongement de la durée de vie des pièces d'usure. Pour des matières premières différentes, l'abrasivité de la matière première peut être diminuée en retirant une

Wear protection in vertical roller mills

Protection contre l'usure dans les broyeurs à galets et piste

partie des composants hautement abrasifs. Cette mesure conduit, elle aussi, à un prolongement de la durée de vie des pièces d'usure. Des matériaux d'usure appropriés, une combinaison optimale des matériaux et les techniques en progrès pour le remplacement et/ou la régénération des pièces d'usure font, que les broyeur à galets et piste sont aussi des broyeurs économiques avec des matières à broyer très abrasives.

RESUMEN

Los molinos de cubeta y rodillos se utilizan en la industria del cemento para la molienda de materias primas destinadas a la fabricación del cemento, carbón, coque de petróleo, escoria siderúrgica, puzolanos y clínker de cemento. El alto grado de expansión de estos molinos es debido, principalmente, a la realización combinada de varias etapas del proceso dentro de la misma máquina, al reducido consumo de energía eléctrica, al aprovechamiento de grandes cantidades de gases de escape del proceso, a bajas temperaturas, así como a la gran disponibilidad. La abrasividad, una propiedad de la materia prima independiente de la molidurabilidad, y por consiguiente la duración de vida de los elementos de molienda y de los blindajes de los molinos varía considerablemente. Antes de tomar cualquier decisión respecto de las inversiones a realizar, es muy importante medir la abrasividad de cada materia prima, bajo condiciones reales, para luego elegir, en base a estas mediciones, los materiales apropiados, resistentes al desgaste, para la fabricación de los elementos de molienda y los blindajes de los molinos. Hoy en día se cuenta con gran número de materiales resistentes al desgaste, como por ejemplo el hierro fundido, la soldadura de recargue duro, las chapas de aleación de acero, los materiales combinados y los revestimientos cerámicos. La elección de los materiales debe efectuarse para cada proyecto concreto, teniendo en cuenta también los aspectos técnicos y económicos. Mediante la elección de materiales apropiados se puede reducir a un mínimo la merma del material en las superficies de rozamiento. Además, se puede conseguir un máximo de masa útil de los elementos de desgaste, por medio de un adecuado diseño y dimensionamiento de los mismos. Todas estas medidas permiten prolongar la duración de vida de las piezas de desgaste. En algunas materias primas se puede reducir la abrasividad, eliminando parte de los componentes altamente abrasivos. Es otra medida destinada a prolongar la duración de vida de las piezas de desgaste. Los materiales apropiados, resistentes al desgaste, su combinación óptima así como las técnicas avanzadas, relacionadas con el cambio y/o la regeneración de las piezas de desgaste convierte los molinos de cubeta y rodillos en unos molinos rentables, incluso cuando se trata de moler materiales muy abrasivos.

Protección contra el desgaste en los molinos de cubeta y rodillos

1. Allgemeines

Walzenschüsselmühlen werden in der Zementindustrie bevorzugt für die Mahlung von Zementrohstoffen, Kohle, Puzzolan, Hüttensand sowie auch in zunehmenden Maße für die Fertigmahlung von Zement eingesetzt. **Bild 1** zeigt eine mo-

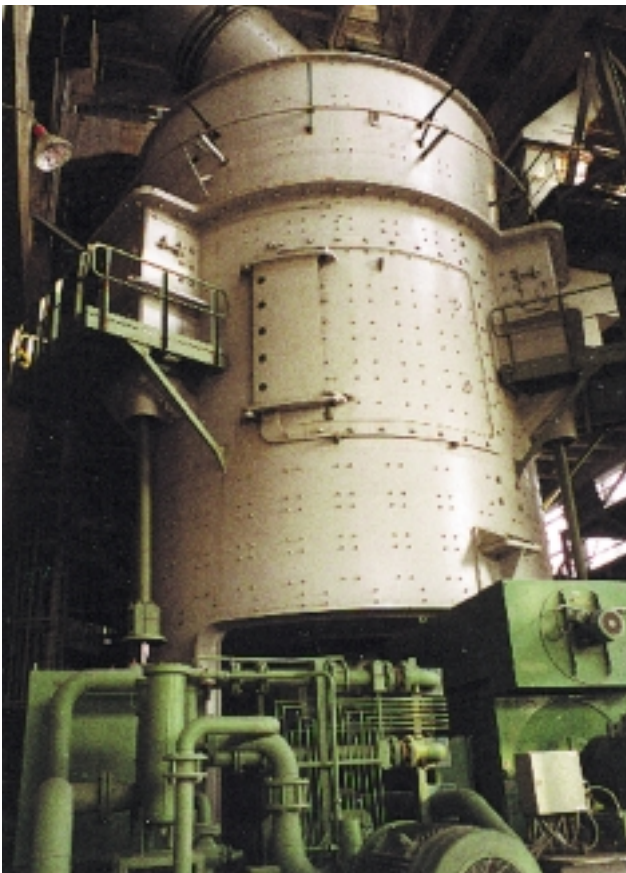


BILD 1: Zementmühle MPS 5000 BC

FIGURE 1: Cement mill type MPS 5000 BC

1. General

Vertical roller mills tend to be used in the cement industry for grinding cement raw material, coal, pozzolana and blast-furnace slag, and also to an increasing extent for the finish grinding of cement. **Fig. 1** shows a modern MPS vertical roller mill for grinding cement clinker in a Chinese cement works. The raw materials which are ground exhibit considerable differences in grindability and abrasiveness. **Fig. 2** shows that the grindability and abrasiveness of mineral raw materials are not correlated, and therefore have to be determined independently.

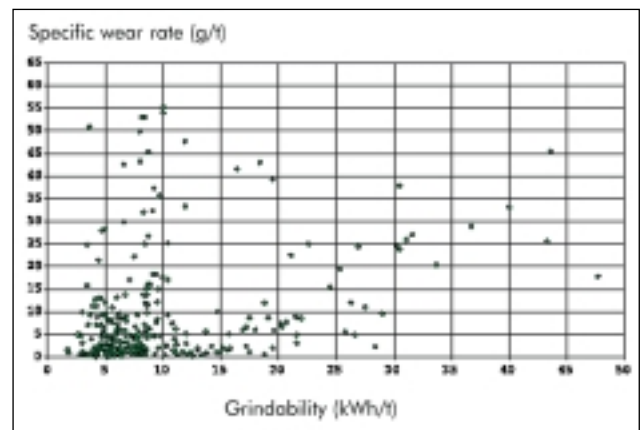


BILD 2: Verschleißrate in Abhängigkeit von der Mahlbarkeit

FIGURE 2: Wear as a function of grindability

2. Wear mechanisms

Wear is taken to mean the progressive loss of material at the surfaces of friction partners.

In vertical roller mills a distinction is made between friction wear and jet wear. Friction wear occurs predominantly on grinding elements and chutes, while jet wear occurs predominantly on the mill components exposed to the dust laden gas stream. Both cases involve wear

derne MPS-Walzenschüsselmühle für die Mahlung von Zementklinker in einem chinesischen Zementwerk. Die zur Mahlung kommenden Rohstoffe weisen hinsichtlich Mahlbarkeit und Abrasivität erhebliche Unterschiede auf. **Bild 2** zeigt, dass Mahlbarkeit und Abrasivität von mineralischen Rohstoffen nicht korrelieren. Die Mahlbarkeit und Abrasivität muss deshalb gesondert bestimmt werden.

2. Verschleißmechanismen

Unter Verschleiß versteht man den fortschreitenden Materialverlust an den Oberflächen von Reibpartnern. In Walzenschüsselmühlen unterscheidet man im wesentlichen zwischen Reib- und Strahlverschleiß. Reibverschleiß tritt überwiegend an den Mahlelementen und Schurren auf, Strahlverschleiß hingegen überwiegend an den dem staubbeladenen Gasstrom ausgesetzten Mühlenbauteilen. In beiden Fällen handelt es sich um Verschleiß unter den Bedingungen der Festkörperreibung. Dieser Verschleiß ist im Wesentlichen von der Belastung, der Relativgeschwindigkeit, den Oberflächen, der Bewegungsform (Gleiten, Wälzen, Rollen), dem Bewegungsablauf (kontinuierlich, intermittierend), der Temperatur sowie den Stoff- und Formeigenschaften der Reibpartner abhängig [4].

Obgleich die Mechanismen noch nicht abschließend untersucht worden sind, darf man aufgrund von vielen Erfahrungswerten mit den verschiedensten Bauarten von Walzenschüsselmühlen davon ausgehen, dass es zur Mikrozerspannung an den Oberflächen von Reibpartnern und in der Folge zum Makroverschleiß an den Mahlteilen und Panzerungen kommt. Adhäsionsverschleiß wie z. B. durch Oberflächenverschweißung und Oberflächenzerrüttung wie z. B. durch Materialermüdung und tribologische Reaktionen bzw. chemische Reaktionen spielen als Verschleißmechanismen in Walzenschüsselmühlen eine eher untergeordnete Rolle.



BILD 3: MPS-Technikumsmühle
FIGURE 3: MPS test mill



BILD 4: Verschleißteile aus Ni Hard IV für die MPS-Technikumsmühle
FIGURE 4: Ni-hard IV wear parts of test mill

under solid body friction conditions. This wear is essentially dependent on the loading, the relative velocity, the surface areas, the type of movement (sliding, rolling), the movement sequence (continuous, intermittent), the temperature, and the physical and shape characteristics of the friction partners [4].

Although the mechanisms have not been conclusively investigated it can be assumed on the basis of a great many empirical values with a wide variety of designs of vertical roller mills that micro-cutting occurs at the surfaces of the friction partners, resulting in macro-wear of the grinding parts and linings. Adhesion wear, e.g. through surface welding, surface spalling, e.g. through material fatigue, and tribological reactions, e.g. through chemical reactions, tend to play secondary roles as wear mechanisms in vertical roller mills. The wear mechanism in vertical roller mills appears to be of such a basic nature that the specific wear rates of the friction partners are determined only by the material quality and the mill feed and not by the structural design. However the different structural designs do affect the degree of utilization and the service life of wear parts.

3. Grindability and abrasiveness of raw materials

The grindability and abrasiveness of the material to be ground forms the basis for the design of industrial grinding plants. It is important that the properties of a material described by the terms grindability and abrasiveness are measured reliably. Extensive experience has shown that it is advisable to determine the said material properties in a semi-industrial grinding plant in which the conditions of the subsequent operational plant can be simulated as accurately as possible. The good correlation achieved between operational and test results has confirmed the reliability of this test method. **Fig. 3** shows an MPS test mill with a 0.4 m grinding track diameter at the research center of Gebr. Pfeiffer AG in Kaiserslautern. The grindability, expressed here for clarity as the electrical power consumption of the mill main drive in kWh/t, and the abrasiveness, expressed as the weight loss of the wear parts in grams, can be determined very accurately with this plant.

Fig. 4 shows a set of wear parts for the test mill. The wear parts are made of chill-cast NiHard IV and are weighed before and after the test grinding. The specific wear rate is calculated from the weight loss and the raw material throughput. All indirect test methods or the use of less

Der Verschleißmechanismus in Walzenschüsselmöhlen scheint jedoch von so grundsätzlicher Natur zu sein, dass die spezifischen Verschleißraten der Reibpartner nur von der Werkstoffqualität und dem Mahlgut und nicht von der konstruktiven Ausführung bestimmt werden. Die unterschiedlichen konstruktiven Ausführungen hingegen beeinflussen entscheidend den Nutzungsgrad und darüber die Lebensdauer von Verschleißteilen.

3. Mahlbarkeit und Abrasivität von Rohstoffen

Die Mahlbarkeit und Abrasivität des Mahlguts bilden die Grundlage für die Auslegung von industriellen Mahlanlagen. Dabei kommt es allerdings darauf an, die mit den Begriffen Mahlbarkeit und Abrasivität bezeichneten Eigenschaften eines Mahlguts zuverlässig zu erfassen. Aufgrund umfangreicher Erfahrungen hat es sich als zweckmäßig erwiesen, die besagten Materialeigenschaften in einer halb-industriellen Mahlanlage zu bestimmen, in der sich möglichst genau die Bedingungen der späteren Betriebsanlage simulieren lassen. Die gute Korrelation von Betriebs- und Testergebnissen hat die Zuverlässigkeit dieser Testmethode bestätigt. **Bild 3** zeigt eine MPS-Testmühle mit einem Mahlbahndurchmesser von 0,4 m im Technikum der Gebr. Pfeiffer AG in Kaiserslautern. Mit dieser Anlage lassen sich die Mahlbarkeit, hier der Übersicht halber als elektrischer Energieverbrauch des Mühlenhauptantriebs in kWh/t ausgedrückt, und die Abrasivität als Masseverlust der Verschleißteile in Gramm sehr genau bestimmen.

Bild 4 zeigt einen Satz Verschleißteile zur Testmühle. Die Verschleißteile sind aus Hartguss NiHard IV hergestellt und werden vor und nach der Versuchsmahlung gewogen. Aus dem Masseverlust und der durchgesetzten Rohstoffmenge errechnet sich die spezifische Verschleißrate. Alle indirekten Messverfahren oder die Verwendung von weniger verschleißresistenten Prüfkörpern führen zu ungenauen und für die Übertragung auf Betriebsanlagen nur eingeschränkt brauchbaren Ergebnissen. **Tabelle 1** zeigt die Bandbreite der an den Mahlteilen der Testmühle gemessenen spezifischen Verschleißraten. Sehr hohe Verschleißraten treten immer dann auf, wenn die Rohstoffe freie Silikate, Pyrite oder auch Roheisen in Stückgrößen oberhalb der Zielfeinheit enthalten. Die hohen spezifischen Verschleißraten können dann bei einer guten Mahlbarkeit zu sehr kurzen Standzeiten der Verschleißteile führen. Durch eine entsprechende Mühlenauslegung und Werkstoffauswahl kann diesem Phänomen gezielt entgegen gewirkt werden. Einzelheiten hierzu werden unter dem Punkt konstruktive Ausführungen vorgestellt.

Bei Verschleißwerten oberhalb eines bestimmten Limits werden grundsätzlich die schleißenden Bestandteile der



BILD 5: Freier Quarz im Zementrohmaterial
FIGURE 5: Free quartz in cement raw material

TABELLE 1: Gemessene Verschleißraten
TABLE 1: Wear rates

Mahlgut/processed material	Spezifischer Verschleiß mit Ni-Hard IV Verschleißteilen specific wear with Ni-hard IV wear parts [g/t]
Zementrohmaterial/cement raw material	1-30
Portlandzement/portland cement	2-10
Hochofenzement/blast furnace slag cement	12-26
Portlandpuzzolanzement/pozzolana cement	3-10
Hüttensand/blast furnace slag	24-50
Puzzolan/pozzolana	1-10
Kohle/coal	1-150
Petrolkoks/petroleum coke	1-10

wear-resistant test pieces lead to results which are less accurate and are of only limited use for application to operational plants. **Table 1** shows the range of specific wear rates measured on the grinding parts of the test mill. Very high wear rates always occur if the raw materials contain free silicate, pyrites or raw iron in particle sizes larger than the ultimate fineness. High specific wear rates in conjunction with good grindability can then lead to very short service lives of wearing parts. This phenomenon can be countered specifically through appropriate mill design and choice of materials. Relevant details are described below under the heading of structural design.

For wear values above a certain limit the abrasive constituents of the raw materials are generally investigated with respect to percentage content and granulometric composition. Both the mill feed material and the material in the mill are analyzed. The mill feed material provides information about the proportion and particle size distribution of the abrasive constituents, and the mill contents provide information about the equilibrium state of the grinding process and hence about the reliability of the measured wear values. **Fig. 5** shows a photomicrograph of free quartz contained in cement raw material. To determine free quartz the constituents insoluble in acid are dissolved out of the raw stone with hydrochloric acid. Subsequently the fractions larger than 0.063 mm are separated out. These are the only constituents evaluated as causing wear; minerals like feldspar and basalt are considered to have the same effect as free quartz.

The abrasiveness of the materials to be ground and the associated service life of grinding elements can be determined very reliably with the test method described above using suitable quantities of test material. The jet wear on components exposed to the mass flow cannot be determined with sufficient accuracy by this test method. Dimensioning and material selection for linings affected by jet wear are therefore carried out either on the basis of empirical values or as a function of the wear values determined on the grinding elements.

4. Materials

Different wear materials are used in vertical roller mills to suit the wear zones and the abrasiveness of the mill feed. The wear parts of the grinding elements (grinding rollers and grinding table) consist predominantly of wear-resistant alloyed cast iron conforming to DIN 1695, of wear-resistant, hard-faced, cast iron, or of composite materials with high-chromium inserts in a tough matrix.

Rohstoffe hinsichtlich Mengenanteil und Korngrößenverteilung untersucht. Es werden dabei sowohl das Mühlenaufgabematerial als auch der Mühleninhalt analysiert. Das Mühlenaufgabematerial gibt Aufschluss über Anteil und Korngrößenverteilung der schleifenden Bestandteile, der Mühleninhalt über den Gleichgewichtszustand des Mahlprozesses und damit über die Zuverlässigkeit der ermittelten Verschleißwerte. **Bild 5** zeigt eine Mikroskopaufnahme von freiem, in Zementrohmaterial enthaltenen Quarz. Zur Bestimmung von freiem Quarz werden die säureunlöslichen Bestandteile mittels Salzsäure aus dem Rohstein herausgelöst und anschließend die Korngrößenfraktionen $> 0,063$ mm abgetrennt. Nur diese Bestandteile werden dann als Verschleiß verursachend bewertet, wobei Mineralien wie Feldspat und Basalt in ihrer Wirkung wie freier Quarz zu betrachten sind.

Die Abrasivität von Mahlgütern und die damit in Verbindung stehende Lebensdauer von Mahlwerkzeugen kann mit der zuvor beschriebenen Testmethode bei angemessenen Testgutmengen sehr sicher ermittelt werden. Der Strahlverschleiß, an dem dem Massestrom ausgesetzten Bauteilen, kann mit dieser Testmethode nicht mit hinreichender Genauigkeit ermittelt werden. Dimensionierung und Werkstoffauswahl der vom Strahlverschleiß betroffenen Panzerungen erfolgt deshalb entweder auf Basis von Erfahrungswerten oder in Korrelation zu den an den Mahlelementen ermittelten Verschleißwerten.

4. Werkstoffe

In Walzenschüsselmühlen werden in Abhängigkeit von Mahlgutabrasivität und Verschleißzonen unterschiedliche Verschleißwerkstoffe eingesetzt. Die Verschleißteile der Mahlwerkzeuge (Mahlwalzen und Mahlteller) bestehen überwiegend aus verschleißfestem legiertem Gusseisen nach DIN 1695, aus verschleißfestem, Hartauftragsgeschweißtem Gusseisen oder aus Verbundwerkstoffen mit hochchromhaltigen Einsätzen aus zähen Grundkörpern. **Bild 6** zeigt Mahlwerkzeuge von MPS Walzenschüsselmühlen aus verschleißfestem Gusseisen, aus Gusseisen mit Hartauftragsschweißung und in Verbundwerkstoffausführung.

Verschleißfestes legiertes Gusseisen (Hartguss) ist seit langem bekannt. Im Gegensatz zu Grauguss ist der Kohlenstoff im Hartguss nicht in Form von Graphit ausgeschieden, sondern bildet sehr harte Carbide, die in einer verhältnismäßig weichen Grundsubstanz eingebettet sind. Mit Legierungsbestandteilen wie Kohlenstoff, Silizium, Mangan, Nickel, Chrom und Molybdän können die Werkstoffeigenschaften gezielt beeinflusst werden. Die Wahl des Werkstoffs wird durch den gewünschten Verschleißwiderstand bestimmt. Die Gussstücke werden in wärmebehandeltem Zustand eingesetzt. Durch die Wärmebehandlung werden der Widerstand gegen Schlagbeanspruchung und die Werkstoffhärte gesteigert sowie innere Spannungen abgebaut [2]. Eine Verschleißteileregeneration ist häufig nicht vorgesehen, jedoch durch Auftragsschweißung grundsätzlich möglich. In der Zementindustrie ist dieser Werkstoff weit verbreitet und als NiHard IV und Chromguss bekannt.

Hartauftragsgeschweißte Mahlwerkzeuge bestehen in der Regel aus legiertem Gusseisen als Grundwerkstoff und aus einer bis zu 80 mm starken Hartauftragsschweißung. Die Auftragsschweißwerkstoffe sind hochkohlenstoff- und hochchromhaltig und können weitere Legierungsbestandteile wie beispielsweise Niob enthalten. Bei der Auftragschweißung bilden sich hoch verschleißfeste Carbide innerhalb einer relativ weichen Matrix. Regenerationsschweißungen sind innerhalb und außerhalb der Mühlen möglich [5]. Dabei können sowohl einteilige als auch mehrteilige Mahlwerkzeuge aufgeschweißt werden. Die Aufschweißung von Werkstoffen mit hohen Kohlenstoff- und Chromgehalten wurde in den vergangenen 15 bis 20 Jahren entwickelt und gehört heute zum Stand der Technik.

Fig. 6 shows grinding elements for MPS vertical roller mills made of wear-resistant cast iron, hard-faced cast iron, and composite material.

Wear-resistant alloyed cast iron (chill-cast) has been known for a long time. Unlike grey cast iron the carbon is not dispersed in the form of graphite but forms very hard carbides which are embedded in a relatively soft matrix. The properties of the material can be controlled selectively by using alloying constituents such as carbon, silicon, manganese, nickel, chromium and molybdenum.

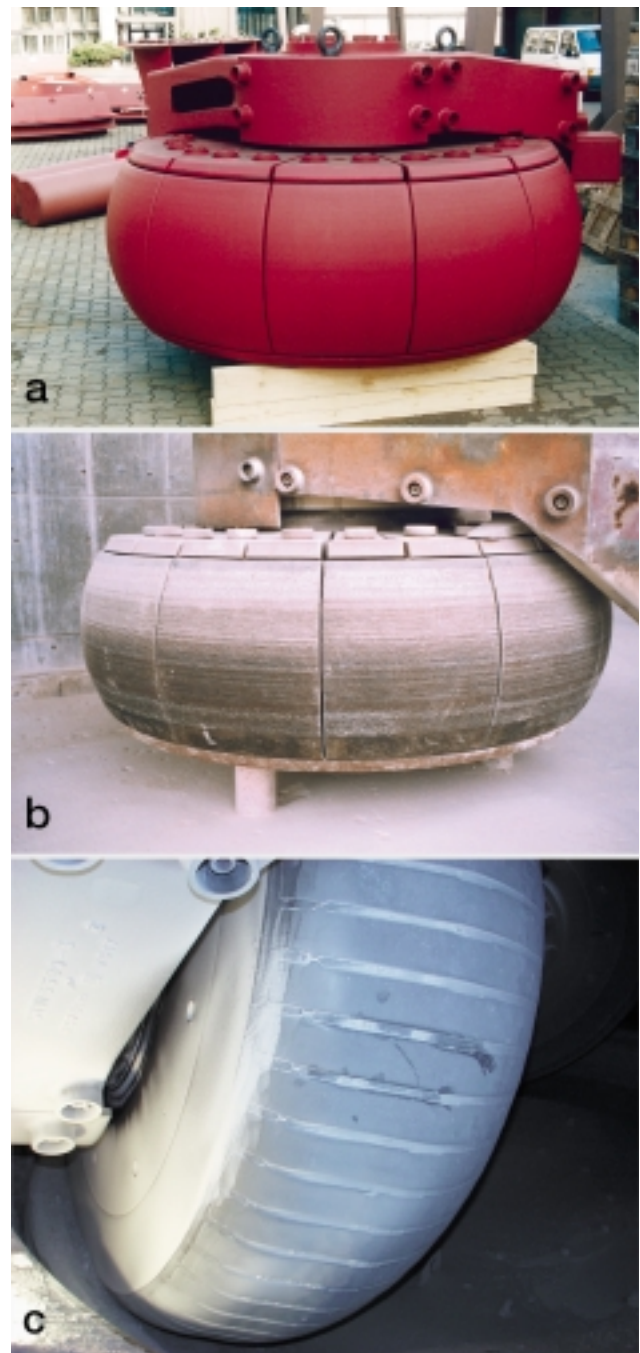


BILD 6: Mahlwerkzeuge von MPS-Walzenschüsselmühlen

FIGURE 6: Grinding elements of MPS-vertical roller mills compound grinding elements Ni-hard IV grinding elements hard-faced grinding elements

- a Mahlrolle mit aufgesetzten Verschleißsegmenten aus Ni-hard IV Ni-hard IV grinding elements
- b Aufgeschweißte Mahlrollensegmente hardfaced grinding elements
- c Verschleißtechnische Ausbildung der Beanspruchungsfläche von MPS-Walzenschüsselmühlen compound grinding elements

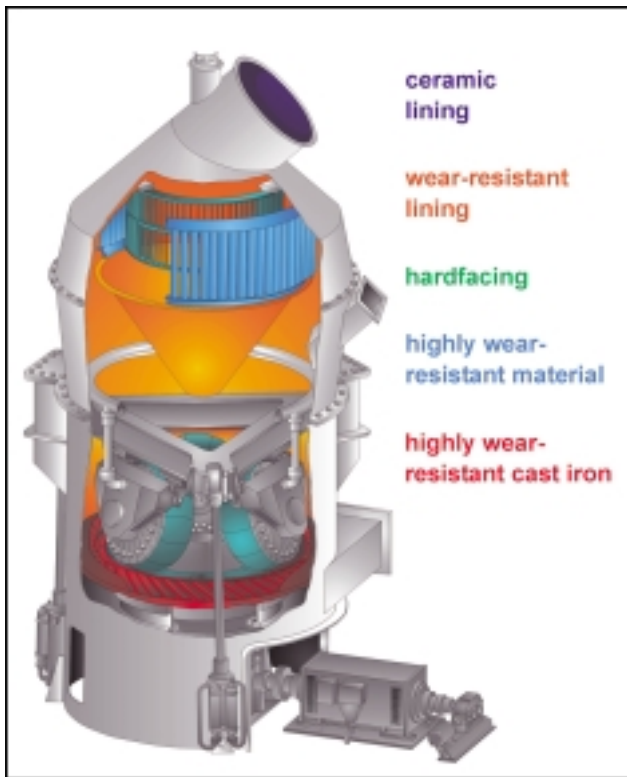


BILD 7: Verschleißschutz in MPS-Walzenschüsselmühlen
FIGURE 7: Wear protection measures with MPS-vertical roller mills

Verbundwerkstoffe bestehen aus zähen Eisengrundkörpern, in die sehr harte, hochchromhaltige Einsätze eingegossen und so mechanisch verklammert sind. Sie kombinieren den hohen Verschleißwiderstand von sehr hartem legiertem Gusseisen mit den Eigenschaften von zähen Grundwerkstoffen. Zur Zeit stehen Verbundwerkstoffe für einteilige Bandagen, jedoch nicht für segmentierte Mahlwerkzeuge, wie beispielsweise Mahlteller, zur Verfügung. Eine Regeneration der Verschleißteile ist nicht vorgesehen. Verbundwerkstoffe aus Metall und Keramik befinden sich gegenwärtig in der Entwicklung bzw. Erprobung.

Bild 7 zeigt die wesentlichsten Verschleißschutzmaßnahmen in MPS-Walzenschüsselmühlen für die Mahlung von Hütensand und Zementklinker. Gehäusepanzerungen und sonstige dem Strahlverschleiß ausgesetzte Mühlenbauteile bestehen überwiegend aus hochverschleißfesten Stahlblechen mit Härten von 250 bis 500 HB. Die Verschleißbleche sind gehärtet bzw. vergütet, lassen sich kalt verformen, thermisch trennen, spanabhebend bearbeiten und unter Beachtung der allgemeinen Regeln der Technik schweißen [3].

Es stehen auch bewährte Verschleißschutzbleche aus Verbundwerkstoffen zur Verfügung. Diese Werkstoffe bestehen

The selection of the type of material is determined by the required wear resistance. The castings are used in a heat-treated state. The heat treatment increases the material hardness and the resistance to impact stressing, and reduces internal stresses [2]. There is often no provision for regeneration of the wear parts, but in principle this is possible through hard-facing. The material is used widely in the cement industry and is known as NiHard IV and chromium alloy cast iron.

As a rule hard-faced grinding elements consist of alloyed cast iron as the base material with up to 80 mm thickness of hard-facing. The hard-facing materials contain high portions of carbon and chromium and can contain other alloying constituents such as niobium. Highly wear-resistant carbides are formed within a relatively soft matrix during the hard-facing. Regeneration welding can be carried out inside and outside the mill [5]. Both one-piece and multi-piece grinding elements can be welded. Hard-facing with materials with high carbon and chromium contents has been developed during the past 15 to 20 years, and is now state of the art.

Composite materials consist of tough iron matrices in which very hard, high-chromium inserts have been cast so that they are mechanically locked in place. In this way they combine the high wear resistance of very hard alloyed cast iron with the properties of the tough matrices. At present composite materials are available for one-piece tyres but not for segmented grinding elements such as grinding tables. There is no provision for regeneration of the wear parts. Composite materials of metal and ceramics are currently being developed and tested.

Fig. 7 shows the most important wear protection measures in MPS vertical roller mills for grinding granulated blast-furnace slag and cement clinker. Housing linings and other mill components exposed to jet wear consist predominantly of highly wear-resistant steel plate with hardnesses of 250 to 500 HB. The wear plates are hardened and tempered; they can be cold formed, separated thermally, machined, and welded observing general engineering principles [3]. Proven wear protection metal plates made of composite material are also available. These materials consist of steel plates as the substrate with a hard, wear-resistant hard-facing [1]. It is significantly harder to work with composite materials than with highly wear-resistant steel plate.

Because of the wear stressing nozzle ring and air guide cone are manufactured entirely of chill-cast NiHard IV. This means that there is no need for regeneration measures over the entire lifetime of these components. Wear materials with their typical characteristic material data are shown in **Table 2**. The parts of the housing which are particularly exposed to jet wear, such as the gas outlet ducts, are provided with ceramic linings for protection against wear. These components can be lined with alu-

TABELLE 2: Verschleißwerkstoffe und Kenndaten
TABLE 2: Wear materials characteristics

Material	Härte/hardness Vickers	Härte/hardness Brinell	Härte/hardness Rockwell	Zugfestigkeit tensile strength	Dehnung elongation	E-Modul Young's modulus of elasticity	Dichte density
	HV	HB	HRC	[N/mm ²]	[%]	[kN/mm ²]	[kg/dm ³]
Gusseisen/alloy cast iron	370-850	300-760	35-66	280-1 300	-	165-250	7,4-7,7
Verbundwerkstoff/composite casting							
Hartguss/chilled cast iron	-	-	62-63	450	-	205	7,4-7,7
Basismaterial/base material	-	abt. 200		500	abt. 3-5	175	7,3
Hartaufschweißung/hard-facing	-	-	60-67	-	-	-	abt. 8,0
Stahlplatten/steel plate	-	320-560	-	1 300-1 550	8-12	abt. 210	7,85
Keramik/ceramics	1 200-2 300	-	-	-	-	60-80 (pressure)	2,5-3,8

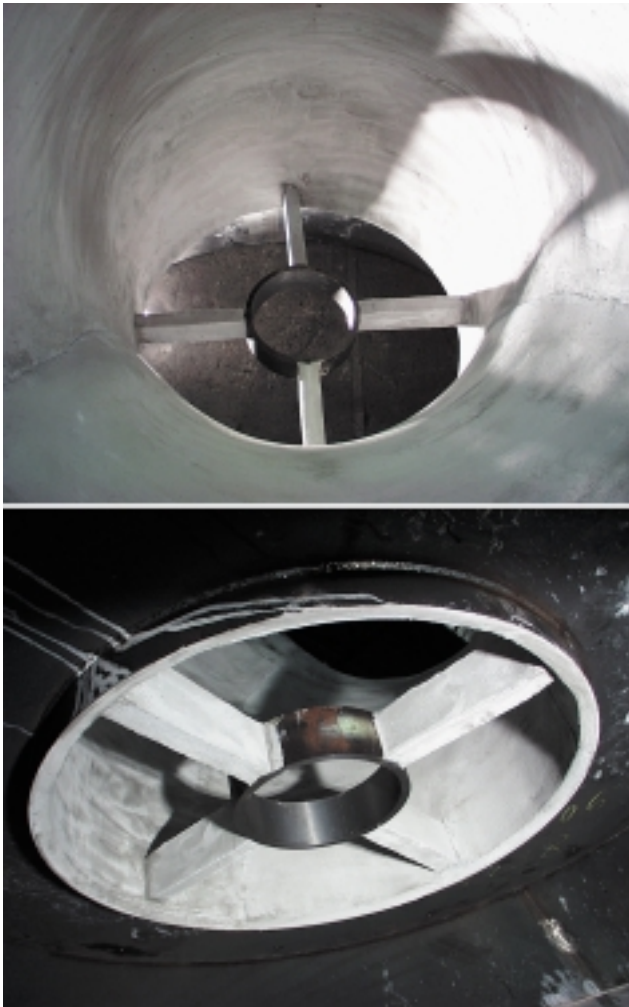


BILD 8: Gasaustrittsstutzen mit keramischer Auskleidung
FIGURE 8: Gas outlet duct with ceramic coating

aus Stahlblechen als Trägerwerkstoff und einer harten, verschleißbeständigen Auftragsschweißung [1]. Die Verarbeitung von Verbundwerkstoffen ist deutlich schwieriger als die von hochverschleißfesten Stahlblechen. Düsenring und Luftleitkonus sind aufgrund der Verschleißbeanspruchung vollständig aus Hartguss NiHard IV hergestellt. Regenerationsmaßnahmen können damit über die gesamte Lebensdauer dieser Bauteile entfallen. **Tabelle 2** enthält einige Verschleißwerkstoffe mit den typischen Werkstoffkennwerten.

Die besonders dem Strahlverschleiß ausgesetzten Gehäuseteile wie z. B. der Gasaustrittsstutzen werden zum Schutz gegen Verschleiß mit keramischen Auskleidungen versehen. Für die Auskleidung dieser Bauteile können Aluminiumoxid-Keramik, Schmelzbasalt, chemisch gebundene Keramik oder Binder auf Zementbasis mit verschleißfesten Zuschlägen verwendet werden. Die Keramikpanzerung wird entweder im Mörtelbett verlegt oder als gießbarer Mörtel in Schichtdicken von 20 bis 50 mm eingebracht. Die sichere Verbindung zum Bauteil erfolgt über entsprechende Gitter aus Streckmetall.

5. Konstruktive Ausführung und Austausch von Verschleißteilen

Alle Panzerungsmaßnahmen zum Schutz von hochwertigen Maschinenbauteilen haben eine begrenzte Lebensdauer und müssen deshalb einfach und schnell austauschbar gestaltet werden. Die Gehäusepanzerungen von MPS-Mühlen sind daher segmentiert und eingeschraubt. Die Segmentgröße richtet sich nach Handhabungsgesichtspunkten und ermöglicht auch einen einfachen und schnellen partiellen Austausch in Bereichen erhöhten Verschleißes. Je nach Abra-

minum oxide ceramics, fused basalt, chemically bonded ceramics, or cement-based binders with wear-resistant aggregates. The ceramic lining is either laid on a mortar bed or is applied as castable mortar in layer thicknesses of 20 to 50 mm. Secure bonding to the component is provided by expanded metal lattices.

5. Structural design and replacement of wear parts

All lining measures to protect valuable machine components have a limited life and therefore must be designed so that they can be easily and rapidly replaced. The housing linings of MPS mills are therefore segmented and bolted. The segments are sized for ease of handling, and also permit easy and rapid partial replacement in areas of increased wear. Liner plates of varying quality to suit the abrasiveness of the mill feed can be used and also combined. The bolts for the housing lining of an MPS cement mill are clearly visible in Fig. 1. Ceramic linings can either be applied directly to the parts which conduct the gas and repaired in situ, or they can be applied to segmented steel sheet structures, designed so that they can be replaced and regenerated. **Fig. 8** shows a gas outlet duct with ceramic lining. Protective linings for nozzle rings, air guide cones and pressure yokes in MPS mills are designed so that they are easy to replace. Cast materials, wear-resistant steel plate or composite materials are used for wear protection depending on the abrasiveness of the mill feed and the service life. **Fig. 9** shows the corresponding components with the lining procedures described above. Nozzle rings in completely cast construction are made in segments so that they can be replaced without dismantling the classifier. The wear parts of the grinding elements are subject to the greatest attrition and therefore require specially optimized solutions with regard to design, material selection and replaceability. In very general terms the wear resistance and brittleness of



BILD 9: Panzerung von MPS-Bauteilen
FIGURE 9: Wear protection measures

sivität des Mahlguts können Panzerbleche unterschiedlicher Qualität eingesetzt und auch kombiniert werden. Auf Bild 1 sind die Schrauben der Gehäusepanzerung von einer MPS-Zementmühle deutlich zu erkennen. Keramische Auskleidungen können entweder direkt auf die gasführenden Teile aufgebracht und am Einbauort ausgebessert oder auch auf Stahlblechsegmente aufgebracht, austausch- und regenerierbar gestaltet werden. **Bild 8** zeigt einen Gasaustrittsstutzen mit keramischer Auskleidung.

Düsenring-, Luftleitkonus- und Druckstückpanzerungen von MPS-Mühlen sind so gestaltet, dass eine einfache Austauschbarkeit gewährleistet wird. In Abhängigkeit von Mahlgutabrasivität und Lebensdauer werden als Verschleißschutz Gusswerkstoffe, verschleißfeste Stahlbleche oder auch Verbundwerkstoffe eingesetzt. **Bild 9** zeigt die entsprechenden Bauteile mit den zuvor beschriebenen Panzerungsmaßnahmen. Düsenringe in kompletter Gusskonstruktion werden in Segmentbauweise ausgeführt, so dass der Austausch ohne Sichterdemontage erfolgen kann.

Die Verschleißteile der Mahlwerkzeuge unterliegen der stärksten Abnutzung und erfordern daher in Bezug auf Konstruktion, Werkstoffauswahl und Austauschbarkeit besonders optimierte Lösungen. Da ganz allgemein Verschleißwiderstand und Sprödigkeit von Werkstoffen mit zunehmender Werkstoffhärte zunehmen und in der Mahlzone nur der Einsatz von Werkstoffen großer Härte sinnvoll ist, muss die Konstruktion diesen Gegebenheiten Rechnung tragen und diese Teile so gestalten, dass auch mit größer werdenden Bauteilen die Bruchgefahr aufgrund innere Werkstoffspannungen und schneller Temperaturwechsel gering bleibt. Verschleißteile von MPS-Mühlen werden daher größenabhängig als einteilige Bandagen oder in Segmentbauweise ausgeführt. Bild 6 zeigt Mahlwerkzeuge in Bandagen- und Segmentbauweise.

Auch die symmetrische Ausführung von Verschleißteilen reduziert die Bruchgefahr ganz erheblich und bietet zusätzlich den Vorteil, dass diese Teile gedreht und deshalb immer optimal ausgenutzt werden können. Ein Drehen von Verschleißteilen ist immer dann von Interesse, wenn die Abnutzung einseitig und nicht über die gesamte Breite verteilt ist. Die Verschleißkontur ist überwiegend mahlgutabhängig und kann deshalb nicht eindeutig prognostiziert werden.

Eine Hartauftragsschweißung ist sowohl bei einteiligen und segmentierten Mahlwerkzeugen als auch innerhalb und außerhalb des Mahlraums möglich. Die Auftragsschweißung innerhalb des Mahlraums ist nur sinnvoll, wenn bereits nach relativ geringer Abnutzung Regenerationsschweißungen erfolgen, so dass eine nur relativ kurze Produktionsunterbrechung entsteht. Bei starker Abnutzung der Mahlteile sind ein Verschleißteilwechsel und die Regenerationsschweißung außerhalb der Mühle wirtschaftlicher. Das bewährte „Lift-and-Swing System“ erlaubt den schnellen Austausch von Verschleißteilen durch eine einzige Montagetur. Hierzu werden die Mahlwalzen und die Mahlschüsselsegmente mit dem Mühlenhilfsantrieb vor die Montagetur gefahren und aus dem Mahlraum ausgeschwenkt. **Bild 10** zeigt den Ausbau der Mahlwalzen mit Hilfe dieses, zu jeder Mühlenlieferung gehörenden Sonderwerkzeugs.

6. Sekundärmaßnahmen und betriebswirtschaftliche Aspekte

Die Lebensdauer von Verschleißteilen lässt sich auch durch Sekundärmaßnahmen, durch die gezielte Erhöhung der nutzbaren Verschleißmassen, durch Abscheidung von stark schleißenden Mahlgutbestandteilen und auch durch ein organisiertes Lifecycle Management deutlich verlängern. Der Durchsatz einer Betriebsmühle kann ganz allgemein nach folgender Gleichung berechnet werden:

$$\dot{m} = \frac{f_m \cdot D_w \cdot B_w \cdot F_{Sp} \cdot Z \cdot V_s}{W_m}$$

materials increase with increasing material hardness, and only very hard materials are appropriate in the grinding zone. These facts should therefore be taken into account in the design, and the parts should be shaped so that the risk of fracture due to internal material stresses and rapid temperature changes remains low, even with increasingly large components. Wear parts for MPS mills are therefore made as one-piece tyres or in segments, depending on the size. Fig. 6 shows grinding elements constructed as tyres and as segments.

The symmetrical design of wearing parts very considerably reduces the risk of fracture and also offers the advantage that the wear parts can be turned around to ensure optimum utilization. Turning the wear parts around is always of interest when attrition is one-sided and not distributed over the entire width. The wear contour is in fact predominantly dependent on the material being ground and therefore cannot be predicted clearly.

Hard-facing can be carried out on one-piece and segmented grinding elements, both inside and outside the grinding chamber. Hard-facing inside the grinding chamber is only appropriate if regenerative welding is carried out after a relatively small amount of attrition so that production is interrupted for only a relatively short time. With severe attrition of the grinding parts it is more economical to replace the wear parts and carry out the regenerative welding outside the mill. The proven Lift-and-Swing system permits wear parts to be replaced rapidly through a single maintenance door. The grinding rollers and the grinding table segments are driven to the installation door using the mill auxiliary drive and lifted out of the grinding chamber. **Fig. 10** shows grinding rollers being removed with the aid of this special device which is included with every mill supplied.



BILD 10: Austausch von Verschleißteilen
FIGURE 10: Replacement of wear parts

An Hand dieser Gleichung wird deutlich, dass die Größe der Mahlwalzen und damit die nutzbare Masse der Verschleißteile über die spezifische Walzenkraft beeinflusst werden kann. Darüber hinaus verlängern große Walzendurchmesser die Lebensdauer von Verschleißteilen, weil die nutzbare Verschleißmasse mit der 3. Potenz des Durchmessers (D^3) und die Durchsatzrate mit der 2,5. Potenz ($D^{2,5}$) steigen. Die Größe des Mahltellers und damit die nutzbare Masse von Verschleißteilen ist innerhalb bestimmter Grenzen frei wählbar.

Einzelheiten zur Auslegung von Walzenschüsselmöhlen können [5] entnommen werden. Bei der Mahltrocknung von Hüttsanden kann die Abrasivität des Mahlguts durch Abreicherung von schleißenden Eisenbestandteilen deutlich verringert werden. Das im Mahlgut enthaltene metallische Eisen wird im Mahlprozess freigelegt und kann dann mittels Zusatzeinrichtungen aus dem Mahlkreislauf ausgeschleust werden. Die metallischen Bestandteile werden über die Gaskanäle ausgetragen und im äußeren Materialkreislauf magnetisch abgeschieden. Durch diese Maßnahme kann die Verschleißrate an den Mahlwerkzeugen um mehr als 30% verringert werden [5].

Mit regelmäßigen Verschleißmessungen kann der Ausnutzungsgrad der Mahlteile gesteigert und/oder die Verschleißrate durch Optimierung von Betriebsparametern reduziert werden. Der Verschleißzustand (Abweichung von der Originalkontur) der Mahlteile wird mittels Schablonen gemessen und mit Hilfe eines Computerprogramms ausgewertet. Die Auswertung liefert die spezifischen Verschleißraten von Mahlwalzen und Mahlteller, die Abweichungen zu vorangegangenen Messungen, den Nutzungsgrad und die Restlebensdauer, Empfehlungen zum Drehen der symmetrischen Mahlteile, Informationen zur Einleitung von Regenerationsmaßnahmen und zum Neubeschaffungszeitpunkt. Dieser hier beschriebene Service steht allen Betreibern von MPS Mühlen kostenlos zur Verfügung.

Die Auswahl der jeweils am besten geeigneten Verschleißschutzmaßnahmen erfolgt unter betriebswirtschaftlichen Aspekten. Die Kosten der Verschleißteile selbst sind wichtig, jedoch häufig nicht der entscheidende Faktor. Die Anlagenverfügbarkeit, die Gleichzeitigkeit der Grenzausnutzung aller Verschleißteile, saisonale Aspekte, Importzölle und sonstige landesspezifische Gegebenheiten bilden nicht selten die entscheidenden Kriterien. Vor diesem Hintergrund können Empfehlungen für Verschleißteile nur projektspezifisch und nicht generell gesehen werden. Für niedrig bis mittelmäßig schleißende Mahlgüter (Verschleißteillebensdauer > 2 Jahre) bilden Verschleißteile aus legiertem Gusseisen bei der überwiegenden Anzahl aller Bedarfsfälle nach wie vor das betriebswirtschaftliche Optimum.

Symbolverzeichnis/Explanation of symbols

Symbol Symbols	Maßeinheit Units	Bezeichnung Designation
\dot{m}	[t/h]	Durchsatz throughput
f_M	[-]	Mahlgut- und mahlfeinheitsabhängiger Faktor factor depending on mill feed and grinding fineness
D_w	[m]	Durchmesser Mahlwalze grinding roller diameter
B_w	[m]	Breite Mahlwalze grinding roller width
Z	[-]	Anzahl der Mahlwalzen number of grinding rollers
F_{Sp}	[kN/m ²]	Spezifische Walzenkraft specific roller force
v_s	[m/s]	Mahlbahngeschwindigkeit grinding table speed
w_m	[kWh/t]	Mahlbarkeit grindability

6. Secondary measures and business management aspects

The service life of wear parts can be significantly extended also by secondary measures, such as selective increase of the usable wear mass, removal of severely abrasive mill feed constituents, and lifecycle management. The throughput rate of an operational mill can be calculated in very general terms by the following equation:

$$\dot{m} = \frac{f_m \cdot D_w \cdot B_w \cdot F_{Sp} \cdot Z \cdot V_s}{W_m}$$

From this equation it is clear that the size of the grinding rollers, and therefore the usable mass of the wear parts, can be influenced through the specific roller force. It is also true that (see also earlier publications) large roller diameters extend the service life of wear parts because the usable wear mass increases with D^3 and the throughput rate with $D^{2,5}$, and the size of the grinding table, and therefore the usable mass of wear parts, can be selected freely within certain limits.

Details of the design of vertical roller mills can be found in [5]. When grinding and drying granulated blast-furnace slag the abrasiveness of the mill feed can be significantly reduced by decreasing the content of very abrasive iron. The metallic iron contained in the mill feed is liberated in the grinding process and can be removed from the grinding circuit with the aid of auxiliary equipment. The metallic constituents are carried out through the gas ducts and removed magnetically in the external material circuit. The wear rate on the grinding elements can be reduced by more than 30% by this measure [5].

The degree of utilization of the grinding parts can be increased by regular wear measurements and/or the wear rate can be reduced by optimizing the operating parameters. The wear state (deviation from original contour) of the grinding parts is measured with templates and evaluated with the aid of a computer program. The evaluation provides the respective specific wear rates of the grinding rollers and grinding table, deviations from preceding measurements, degree of utilization and residual life, recommendations for turning symmetrical grinding parts, recommendations on regeneration measures, recommendations of when to obtain new parts, etc. These services are available free to all customers with MPS-mills.

Business management aspects are applied to the selection of the most suitable wear protection measures in each specific case. The cost of the wear parts themselves is important, but often not the decisive factor. Plant availability, ensuring that all wear parts wear out simultaneously, seasonal aspects, import duties and other country-specific factors are not infrequently the dominating factors. Against this background the recommendations for wear parts can only be made for specific projects and not in general terms. Wear parts made of alloyed cast iron are still the best in the majority of all cases from the aspect of managerial economics for slightly to moderately abrasive mill feeds (service life of wearing parts > 2 years).

Literaturverzeichnis/Literature

- [1] Dubbel: Taschenbuch für den Maschinenbau, 18. Edition, W. Beitz und K. H. Küttner, Springer Verlag.
- [2] Die verschleißfesten Ni-Hard Werkstoffe, International Nickel Deutschland GmbH, Düsseldorf.
- [3] Verschleißfester Baustahl, Thyssen Stahl AG, Duisburg.
- [4] Verschleiß, Systemanalyse von Verschleißvorgängen, Gliederung des Verschleißgebietes; DIN 50 320.
- [5] Jung, O.: Developments and operating experience with vertical roller mills in the cement industry. ZKG INTERNATIONAL 52 (1999) No. 8, pp. 452-460.