

*Hülseberg, Dagmar; Gens, Wolfgang; Halbedel, Bernd;
Cialla, Göran :*

***Anwendung elektromechanischer Wirkprinzipien für die
Zerkleinerung feinkörniger Substanzen***

Zuerst erschienen in:

31. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium, Vortragsreihe B5:
Glas/Keramik-Technik / Technische Hochschule Ilmenau. - Ilmenau :
Techn. Hochsch., ISSN 0374-3365, Bd. 31 (1986), 4, S. 101-105

D. HÜLSENBERG/ W. GENS/
B. HALBEDEL/ G. CIALLA

Anwendung elektromechanischer Wirkprinzipien für die Zerkleinerung feinkörniger Substanzen

1. Einleitung

Zur Kornzerkleinerung werden bekanntlich Trommelmühlen - insbesondere Kugelmühlen - Schwingmühlen, Strahlmühlen u. ä. eingesetzt. Diese Apparateprinzipien besitzen wesentliche Nachteile. Die erreichbaren Leistungsdichten und energetischen Gesamtwirkungsgrade liegen bei bestehenden Anlagen je nach Größe und Einsatzgebiet unter 0,02 kW/dir³ bzw. 0,1%. Daraus ergeben sich beträchtliche Zerkleinerungszeiten (...10h...) und ein hoher Energieverbrauch für die Zerkleinerung.

Grundlegende Verbesserungen der energetischen Verhältnisse sind erst durch die Anwendung neuer Wirkprinzipien zu erwarten. Eine Alternative zu den bestehenden Zerkleinerungsverfahren - vor allem für die Lösung spezieller Feinaufbereitungsprobleme - stellt das elektromechanische Zerkleinerungsprinzip dar.

2. Prinzipielle Wirkungsweise und Aufbau elektromechanischer Zerkleinerungsvorrichtungen

Zerkleinerungsvorrichtungen auf Basis der direkten Umwandlung von elektrischer in mechanische Energie bestehen grundsätzlich aus einem ruhenden Hauptelement - dem Erregersystem - und relativ dazu beweglichen Elementen

- den Arbeitskörpern. Um die für die Bewegung nötigen Kräfte zu erzeugen, muß zunächst ein magnetisches Feld aufgebaut werden, das den Raum, in welchem sich die Arbeitskörper befinden, durchdringt. Diese Kräfte führen einen stationären Energieumsatz herbei, wann sich mindestens eine der Induktivitäten mit der Bewegung der Arbeitskörper ändert.

Entsprechend diesen notwendigen Voraussetzungen kann man verschiedene Grundformen für die elektromechanische Energieumwandlung ableiten. Zwei sind für den hier vorliegenden Anwendungsfall relevant (a. Tabelle 1).

| | Grundform I | Grundform X |
|---|--|---|
| | Asynchronprinzip | Synchronprinzip |
| Aufbau des resultierenden magnetischen Feldes | durch entsprechend/nietende Ströme $I(t)$ in beiden Hauptelementen | durch entsprechend/Heftende Ströme $I(t)$ Im ruhenden Hauptelement und durch $I(t)$ in bewegliche Bauelemente |
| Anforderungen an ruhende Hauptelemente | geschlossener magnetischer Kreis aus ferromagnetischen Materialien mit konzentrierter und/oder verteilter Wicklung und Luftspalt als Arbeitsraum | |
| Anforderungen an bewegliche Elemente | Vielzahl elektrisch leitfähiger Energiekörper | hartmagnetischer weichmagnetischer Energiekörper |

Tabelle 1: Wir die Zerkleinerung relevante Grundformen der elektromechanischen Energieumwandlung

Bei der Grundform I wird das resultierende elektromagnetische Feld im Arbeitsraum durch entsprechend fließende Ströme $i(t)$ in beiden Hauptelementen aufgebaut. Hierzu müssen die Arbeitskörper elektrisch leitfähig sein. Die Nutzung der Grundform II erfordert hartmagnetische Arbeitskörper, da das resultierende elektromagnetische Feld durch entsprechend fließende Ströme $i(t)$ im ruhenden Hauptelement und durch gleich eiderregte be-

31. Intern. Wiss. Koll. TH Ilmenau 1986
Vortragsreihe
„Glas/Keramik-Technik“

wegliche Elemente erzeugt werden muß. Bei technischen Anwendungen ist auch das gleichzeitige Wirksamwerden des Asynchron- und Synchronprinzips denkbar, wenn die Arbeitskörper elektrisch leitfähig sind und ebenfalls ferromagnetische Eigenschaften besitzen. Das ruhende Hauptelement stellt in jedem Fall einen geschlossenen magnetischen Kreis aus ferromagnetischen Materialien mit konzentrierter und/oder verteilter Wicklung und einem Luftspalt dar.

Der vorhandene Luftspaltraum steht als Arbeitsraum für die Zerkleinerung zur Verfügung. Er muß durch eine entsprechend gestaltete Arbeitskammer aus nichtferromagnetischen Materialien abgegrenzt werden. Hierin befinden sich die zu bearbeitenden Substanzen und die Arbeitskörper. Letztere werden durch Kräfte, herrührend aus der Wechselwirkung zwischen dem sich ändernden Erregerfeld und den induzierten und/oder permanent vorhandenen elektromagnetischen Eigenfeldern der Arbeitskörper,

- durch den Impulsaustausch, herrührend aus den Zusammenstößen der Arbeitskörper untereinander und mit den Begrenzungswänden der Arbeitskammer und
- durch den Energieaustausch mit der zu bearbeitenden Substanz

in eine scheinbar chaotische Bewegung versetzt. Diese Arbeitskörperbewegung ist jedoch determiniert und setzt sich aus translatorischen und Drehbewegungen zusammen. Die Relevanz des Auftretens der Bewegungsarten und ihre Intensität hängen entscheidend von der Kraftverteilung im Arbeitsraum ab, welche hauptsächlich von der hier vorhandenen Feldstärkeverteilung beeinflusst wird. Diese Verteilungen werden bestimmt von

- der Auslegung des Erregersystems
- der Gestaltung des Arbeitsraumes
- der Auslegung der Arbeitskörper sowie
- den verfahrenstechnischen Parametern.

Die aufgeführten Parameter dürfen nicht losgelöst voneinander betrachtet werden, sondern sie stehen in kausalen Wechselbeziehungen und rufen gleiche, aber auch gegen-

läufige Tendenzen hervor. Dadurch entsteht ein komplexer Zusammenhang, der schrittweise durchdrungen und richtig umgesetzt werden muß*

3. Darstellung wesentlicher Auslegungskriterien und Ergebnisse

3.1. Erregeravstee

Die Auslegung des Erregersystems stellt innerhalb der oben genannten komplexen Problemstellung eine zentrale Aufgabe dar, denn

1. über sie erfolgt der eigentliche Energieumsatz und
2. entstehen dabei die anteilmäßig größten Verlustleistungen (Stromwärme- und Ummagnetisierungsverluste).

Ihre Auslegung bestimmt somit wesentlich die Güte der elektromechanischen Energieumwandlung und die erreichbaren energetischen Kennziffern des Zerkleinerungsprinzips.

Bei der Auslegung der Erregersysteme sind wesentlich

- die Dimensionierung der Erregerwicklung hinsichtlich Wicklungswahl, -verteilung und -verteilung,
- die Gestaltung des magnetischen Kreises und
- die Art und Weise der Einspeisung hinsichtlich Phasenzahl, Verlauf und Frequenz der Erregerströme.

Prinzipiell kann man die Erregersysteme endlich oder endlos (In sieb geschlossen) ausführen (s. Tabelle 2).

Bezüglich der Einspeisung sind grundsätzlich unter Beachtung der Erzielung eines maximalen Energieumsatzes Mehrphasenstromsysteme - insbesondere der industriell zur Verfügung stehende Drehstrom - vorzuziehen. Erzeugt man das Erregerfeld durch elektrische Ring- bzw. Solenoidwicklungen, ist eine Materialbearbeitung nur in relativ kleinen Maßstäben möglich, und man erreicht nur geringe Leistungsdichten. Ursache ist der starke exponentielle Abfall der Feldstärke über die innere Ausdehnung der konzentrisch um den Ar-

beiterraum angeordneten Erregerwicklung. Ausführungen mit Ring- bzw. Solenoidwicklungen sind auf kleine Durchmesser/Längen-Verhältnisse (1/15...1/3) beschränkt.

Sei der Verwendung endlicher Wanderfelderregersysteme, die entweder gegenüberliegend angeordnet oder mit einer magnetischen Rückschluß versehen werden, tritt dieser Hauptmangel nicht auf» da der Arbeitsraum eben ausgebildet ist. Aber die Arbeitskörper wandern aufgrund ihrer gesetzmäßigen Bewegung in Richtung des resultierenden elektromagnetischen Feldes in kurzer Zeit zu einem Arbeitskammerende, stauen sich hier und behindern sich in ihrer Bewegung. Dadurch verringern sich deutlich der mögliche Energieumsatz sowie der Zerkleinerungsfortschritt, und man erhält eine ungleichmäßige Materialbearbeitung.

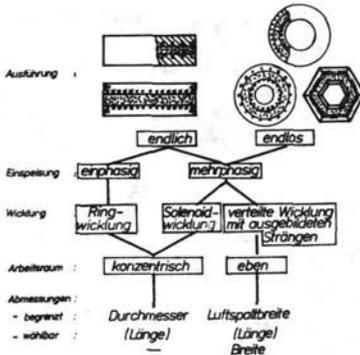


Tabelle 2: Ausführungsvarianten von Erreger-Systemen

Eine intensivere Ausnutzung der zugeführten elektrischen Energie erzielt man, wenn in Bewegungsrichtung des elektromagnetischen Feldes in sich geschlossene Erreger-systeme mit einer ebenfalls gleichartig in sich geschlossenen Arbeitskammer verwendet werden [1]. Dadurch entstehen für die Arbeitskörper endlose Bahnen, so daß es nicht zu einem Stau und einer Behinderung der Arbeitskörper in der Arbeitskammer kommen kann. Die erreichbaren elektromechanischen Wirkungsgrade betragen etwa 80% bei Leistungsdichten bis zu 5kW/dm³.

3.2. Arbeitskörper

Ausgehend von der Einsatzcharakteristik der Arbeitskörper müssen die Werkstoffanforderungen bezüglich Kräfteerzeugung und mechanischer Beanspruchung unterschieden werden.

Ton wesentlicher Bedeutung bei den Wechselwirkungen zwischen Erregerfeld und Arbeitskörper ist die Feldbeschaffenheit der beweglichen Hauptelemente.

Um z.B. elektrisch leitfähige, nichtferromagnetische Arbeitskörperwerkstoffe sinnvoll einsetzen zu können, erhebt sich die Forderung nach einem geringen spezifischen elektrischen Widerstand, der in der Größenordnung elektrischer Leiterwerkstoffe liegen sollte. Die auf den Arbeitskörper wirkende Kraft resultiert aus den in ihm induzierten Spannungen, die ihrerseits Wirbelströme ausbilden. Daraus läßt sich ableiten, daß die Kraftentstehung mit der Zunahme von Wirbelströmen wächst, gleichzeitig aber die elektrischen Verluste mit der zweiten Potenz der im Arbeitskörper fließenden Ströme steigen. Die Lösung ist somit gegenwärtig technisch wenig sinnvoll.

Ferromagnetische Arbeitskörper mit einem hohen spezifischen elektrischen Widerstand ermöglichen es dagegen die Energieverluste innerhalb derselben zu verringern, da die zu erwartenden Wirbelströme weniger Verluste verursachen als eine Ummagnetisierung. Desweiteren sollten sich die magnetischen Werkstoffe durch eine hohe Koerzitivfeldstärke zur Vermeidung einer Entmagnetisierung auszeichnen. Durch die Verwendung von hartmagnetischen Arbeitskörpern mit annähernd linearen Entmagnetisierungskennlinien im Arbeitsbereich ist eine Minimierung der irreversiblen Entmagnetisierung infolge einer Arbeitspunktverschiebung möglich. Für die Realisierung hoher Energieumsätze sind anisotrope Magnetwerkstoffe mit wesentlich besseren magnetischen Kennwerten besonders geeignet.

Besondere Anforderungen an die mechanischen Eigenschaften der Arbeitskörper stellen die für den Mahlprozeß charakteristischen Verschleißmechanismen. Insbesondere sind dabei

die Abrasion und die Oberflächenzerrüttung zu nennen* Das teleologische System wird durch die Gesamtheit der Verfahrensparameter, wie elektrotechnische und konstruktive Parameter, Arbeitskörperwerkstoff sowie Mahlguteigenschaften beschrieben» Um einen kleinen Verschleißbetrag zu gewährleisten, müssen alle Verschleißteile im eingestellten Betriebsregime einen genügend großen Verschleißwiderstand ergeben. Wesentlichen Einfluß hat dabei die Härte des Abrasives (Mahlgutes). Hinsichtlich angestrebter geringer Verschleißbeträge der Arbeitskörper läßt sich allgemein die Forderung formulieren, daß der härteste Gefügebestandteil des Arbeitskörperwerkstoffes härter als das abrasiv wirkende Mahlgut sein muß. Sarau schlußfolgernd läßt sich feststellen, daß der Einsatz herkömmlicher Magnetwerkstoffe infolge neuer Anforderungen an das Verschleißverhalten nicht möglich ist,

3.3. Ausgewählte Zerkleinerungsergebnisse

Mit einer linearen Versuchsanlage, bestehend aus zwei gegenüberliegenden, ebenen Erregersystemen, wurde Quarzsand im Körnungsbereich 0,2mm U1 0,45mm zerkleinert und anschließend einer Korngrößenanalyse unterzogen /2/. Die daraus gewonnene Kornverteilung bildete die Grundlage zur Berechnung der spezifischen Oberflächen und der damit bestimmbar Oberflächenzunahme AA /3/.

Untersuchungen zum Einfluß der Arbeitskörper- und Mahlgutfüllgrade führten an einer definierten Versuchsanlage zu dem anlagenspezifischen Ergebnis, daß bei einem Arbeitskörperfüllgrad von 40 Vol-% mit 30 Vol-% Mahlgut ein maximaler Oberflächenzuwachs A zu verzeichnen ist (Bild 1). Die Mahldauer betrug 5min.

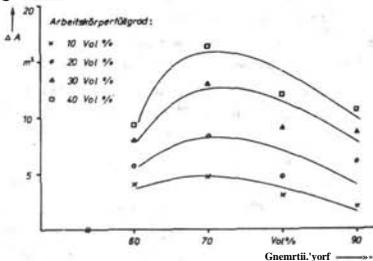


Bild 1: Oberflächenzuwachs ΔA in Abhängigkeit der Füllgrade

Auf Grund des großen Lückenvolumens der verwendeten Arbeitskörper führt eine weitere Steigerung des Arbeitskörperfüllgrades infolge der eingeschränkten Bewegungsfreiheit zu geringeren Zerkleinerungserfolgen.

Wesentlichen Einfluß auf das Zerkleinerungsergebnis hat die Erregerfrequenz. In Abhängigkeit von der Arbeitskörpergeometrie und -größe läßt sich entsprechend des eingesetzten Mahlgutes (Korngröße, Härte) ein anlagenspezifisches Optimum einstellen. Für einen ausgewählten Füllgrad von 30 Vol-% Arbeitskörper bei einem Mahlgutanteil von 40 Vol-% wurde die geschaffene Oberfläche in Abhängigkeit von der Erregerfrequenz f im Bereich $f < 100$ Hz aufgenommen« Das Optimum ergab sich bei ca. 70 Hz.

Ausgehend von den Erfahrungen mit endlichen, begrenzten Arbeitskammern wurde eine Konzeption für verbesserte Anlagen erstellt, deren wesentlicher Vorteil in der Gestaltung der Arbeitskammer liegen. Hauptsächlich ist es möglich, eine den ganzen Arbeitsraum einnehmende Arbeitskörperbewegung zu realisieren und somit eine gleichmäßige Beanspruchungsverteilung im Arbeitsraum zu gewährleisten /1/.

Erste Untersuchungen an einer solchen Anlage unter vergleichbaren Versuchsbedingungen ergaben bei einem bedeutend geringeren Energieeinsatz ein um ein mehrfach höheres Zerkleinerungsergebnis.

4. Zusammenfassung

Die vorgestellten Erkenntnisse und Ergebnisse zeigen gegenüber bekannten Zerkleinerungstechnologien deutlich bessere energetische Kennziffern und Zerkleinerungsverhältnisse - insbesondere hinsichtlich des erreichbaren energetischen Wirkungsgrades und der notwendigen Zerkleinerungszeiten. Diese Effekte werden hervorgerufen durch

- die direkte elektromechanische Energieumwandlung,
- den ständigen kraftschlüssigen Kontakt zu den Arbeitskörper über das Erregerfeld und
- den elektromechanischen Energieeinsatz im gesamten Arbeitskammervolumen.

5. Literatur

- IM* Einrichtung zum Zerkleinern, Mischen und Rühren. - WP B01 P/280 4035, DDR, 1985
- /2/ Ciaila, G.: Anwendung elektromechanischer Wirkprinzipien für die Kornzerkleinerung Ilmenau, Diss. A. 1985
- /3/ Schubert, E.: Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe. - Leipzig: Verlag für Grundstoffindustrie, 1975

Verfasser;

Prof.Dr.-Ing.Dr.oec. Dagmar Hülsenberg,
Bereichsleiter
Technische Hochschule Ilmenau
Sektion Gerätetechnik

Prof.Dr.sc.techn. Wolfgang Gens,
Bereichsleiter
Technische Hochschule Ilmenau
Sektion Elektrotechnik

Dr.-Ing. Bernd Halbedel
wiss. Assistent
Technische Hochschule Ilmenau
Sektion Elektrotechnik

Dipl.-Ing. Göran Ciaila,
wiss. Assistent
Technische Hochschule Ilmenau
Sektion Gerätetechnik