

Trocknung und Erwärmung von Schüttgütern mittels Mikrowellen

Die Mikrowellenerwärmung ist seit Jahrzehnten bekannt, wurde industriell aber bisher nur in wenigen Bereichen eingesetzt. Da die Erwärmung bzw. Trocknung durch dieses Verfahren wesentliche Vorteile bietet, hat die Mikrowelle ein hohes Potential das bisher nur unzureichend ausgeschöpft wurde.

Die Vorteile dieser Erwärmungs- bzw. Trocknungsmethode bei Schüttgut liegt in der schnellen und gleichmäßigen Aufheizung, der Beschleunigung der Trocknung und der daraus resultierenden Verkürzung der Trocknungszeit.

Die Linn High Therm GmbH, Eschenfelden, hat eine Mikrowellen-Band-Durchlauf-Erwärmungsanlage entwickelt, die für die Erwärmung bzw. Trocknung von Schüttgütern geeignet ist. Mit dieser Anlage lässt sich eine schnelle, gleichmäßige und effektive Erwärmung erzielen.

Trocknungs- und Erwärmungsprozesse sind bei der Produktion vieler Materialien notwendig. Da diese Prozesse im Vergleich zu anderen Prozessschritten meistens relativ langwierig sind, sind sie ein limitierender Faktor wenn die Produktionskapazität erhöht oder die Produktionszeit verkürzt werden soll.

Die konventionellen Erwärmungstechniken haben in vielen Fällen ihre Grenzen erreicht, da die gleichmäßige Erwärmung des Produktes die Erwärmungs- bzw. Trocknungsgeschwindigkeit beschränkt. Besonders Produkte mit einer niedrigen Wärmeleitfähigkeit und Produktionsverfahren in denen eine hohe Schichtstärke des Materials gleichmäßig erwärmt werden soll, benötigen mit konventionellen Methoden viel Zeit.

Die Erwärmungstechnik die in diesen Fällen deutliche Verbesserungen bringt ist die Mikrowellenerwärmung. Diese Technologie ist seit Jahrzehnten bekannt und wird bereits in vielen Industriebereichen erfolgreich eingesetzt. Sie wurde von einem Radartechniker entdeckt, der zufällig seine Mahlzeit im Strahlungsfeld eines Radarsenders liegen gelassen hatte.

Malte Möller und Horst Linn, Jürgen Suhm, Linn High Therm GmbH, Heinrich-Hertz-Platz 1, 92275 Eschenfelden
Tel.: 0 96 65 / 91 40 0 • Fax: 0 96 65 / 17 20
E-Mail: info@linn.de
Über die Autoren: Seiten 408/409



Abb. 2: Mikrowellen-Band-Durchlauf-Erwärmungsanlage, Mikrowellenleistung 60 kW, Länge 15 m

ist in Gleichung (1) dargestellt, wobei dieser nur für unmagnetische Materialien gilt [1].

$$P = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon'' \cdot E^2 \cdot V \quad (1)$$

- P: durch das Material aufgenommenen Leistung
- f: Frequenz des Wechselfeldes
- ϵ_0 : elektrische Feldkonstante
- ϵ'' : Imaginärteil der komplexen Dielektrizitätskonstante
- E: elektrische Feldstärke
- V: Materialvolumen

Bei der volumetrischen Erwärmung erhält jedes Volumenelement des Materials die gleiche Wärmemenge - vorausgesetzt das Material ist dünn im Vergleich zur Eindringtiefe der Mikrowellen. Bei homogenen Materialien ergibt sich daraus, dass der Körper zunächst überall die selbe Temperatur aufweist. Da die Oberfläche des Materials aber im Kontakt mit der Umgebung steht, die von den Mikrowellen nicht aufgewärmt wird und daher kälter als das Material ist, gibt die Oberfläche Wärme an die umgebende Atmosphäre ab und wird dadurch gekühlt. Dadurch ergibt sich, dass bei Mikrowellenerwärmung das Innere eines Körpers oder einer Schüttung wärmer ist als seine Oberfläche. Der Temperaturverlauf ist somit invers zu dem der konventionellen Erwärmung. Dieser Effekt ist in vielen Fällen erwünscht, da die Oberfläche geschont wird und die Wärme schneller im Inneren aufgebaut werden kann.

Die Mikrowellen breiten sich mit Lichtgeschwindigkeit aus. Wird die Mikrowellenquelle eingeschaltet, dringt die Energie unmittelbar in den zu erwärmenden Körper ein. Dort beginnt auch sofort ihre Energieumwandlung. Bei Abschaltung wird der Aufheizvorgang zeitgleich

durchlaufenanlage der MBDT Baureihe verwendet werden (Abb. 1 - 3). Bei dieser Anlage wurde ein modularer Aufbau gewählt, der es ermöglicht, auch nachträglich ohne großen Aufwand die Leistung oder den Durchsatz zu erhöhen. Die Mikrowellengeneratoren (Magnetrons) sind hierbei spiralförmig um die Längsachse der Zylinderkammer angeordnet, so dass eine gleichmäßige Mikrowellen-Feldverteilung erreicht wird. Das Transportband wird über Bodenbleche geführt, die mit Sekundärstrahlern (Schlitzantennen) ausgestattet sind, so dass eine weitere Feldbeeinflussung (Konzentration) stattfindet. Die Ein-/Auslassöffnungen sind mit einem speziellen Absorbermaterial ausgekleidet, um die vorgeschriebenen maximalen Leckstrahlungswerte zu unterschreiten. Je nach Größe der Öffnung werden zusätzliche Absorberzonen integriert, die eine weitere Reduzierung bewirken. Die verwendeten Magnetrons sind lüftgeköhlt, wobei die erwärmte Kühlluft in die Erwärmungszone geleitet wird und dort Feuchtigkeit aufnimmt. Die feuchte Luft wird dann über ein Absaugsystem aus der Anlage abgesaugt. Diese Mikrowellenbanddurchlaufenanlagen können mit einer Mikrowellenleistung bis zu 100 kW ausgestattet werden.



Abb. 1: Mikrowellen-Band-Durchlauf-Erwärmungsanlage, Mikrowellenleistung 55 kW, Länge 20 m

Bevor auf das physikalische Prinzip der Mikrowellentechnik näher eingegangen wird, betrachten wir kurz den konventionellen Erwärmungsprozess. Als Wärmequellen dienen Gas- oder Öl-Brenner, Widerstands- oder Infrarotheizelemente wobei sich diese in der Umgebung des zu erwärmenden Materials befinden. Über Wärmestrahlung und Konvektion wird die Energie der Heizelemente oder der Heißgase auf die Oberfläche des Materials übertragen und muss von dort in das Innere geleitet werden, um eine gleichmäßige Erwärmung des Materials zu erzielen. Die Wärmeleitfähigkeit und die Temperaturbeständigkeit des Materials bestimmt hierbei im wesentlichen den Erwärmungsprozess.

Empfindliche Materialien erlauben unter Umständen keine hohen Temperaturen und weist das Material auch noch eine schlechte Wärmeleitfähigkeit auf, ist ein zeitraubender Erwärmungsprozess unausweichlich, so dass bei der Herstellung bestimmter Produkte mit den konventionellen Wärmetechniken enge Grenzen gesetzt sind.

Die "Mikrowellen" sind elektromagnetische Wellen, wie sie auch bei der Radio-, Fernseh- und Radartechnik zum Einsatz kommen. Der Unterschied liegt in der Frequenz und in der Leistungsdichte. Beim UKW-Rundfunk wird z.B. der Frequenzbereich von 88-108 MHz genutzt. Die Mobiltelefone nutzen höhere Frequenzen, wie z.B. ca. 1.800 MHz, wobei die Sendeleistung ca. 2 Watt beträgt.

Für die Mikrowellentechnik stehen im wesentlichen 3 Frequenzen zur Verfügung, die je nach länderspezifischen Regeln unterschiedlich sein können. Die höchste Frequenz ist 28 bzw. 30 GHz, für die ein industrieller Einsatz in größerem Maßstab noch nicht in Sicht ist, - Mikrowellengeneratoren für diese Frequenzen sind zur Zeit noch sehr teuer und empfindlich. Für die niedrigste Frequenz von 915 MHz trifft dies momentan auch noch zu.

gestoppt. Lange Aufheiz- und Abkühlvorgänge sind bei einer Mikrowellenerwärmungsanlage daher nicht notwendig.

Unpolare Stoffe (z.B. Luft, Teflon, Quarzglas) können keine Mikrowellenenergie in Wärme umwandeln und verbrauchen somit auch keine Energie. Die Mikrowellen durchdringen diese Stoffe und werden dabei nicht abgeschwächt. Prinzipiell kann das zu erwärmende Material, das in der Lage ist die Energieumwandlung durchzuführen, als "Heizelement" bezeichnet werden, da das Material selbst die "Wärmequelle" darstellt. Die metallische Mikrowellenkammer dient nur dazu, die Mikrowellen wieder auf das Material zurück zu reflektieren, so dass keine Mikrowellenenergie verloren geht und das Bedienpersonal keiner Mikrowellenstrahlung ausgesetzt wird.

Bei der Mikrowellentrocknung ist das inverse Temperaturprofil von Vorteil, da sich im Innern des Materials ein hoher Druck aufbaut, der das Wasser an die Oberfläche drückt. An der Oberfläche verdampft dieses Wasser, wodurch diese ständig feucht gehalten wird, bis das Wasser aus dem Inneren nahezu vollständig entfernt worden ist. Erst dann beginnt auch die Oberfläche zu trocknen. Da in der Regel das Wasser den größten Teil der Mikrowellenenergie aufnimmt, findet in den Bereichen eines Materials die bereits weitgehend trocken sind eine geringere Energieumwandlung statt. Daher können die Mikrowellen dort tiefer in das Material eindringen und werden an Stellen genutzt die noch eine höhere Feuchte aufweisen. Somit ist eine effektive Trocknung mit Ausrottung aller Wassernester möglich.

Durch die unterschiedliche Energieaufnahme der zu trocknenden Materialien sind prinzipiell unterschiedliche Prozessabläufe möglich, wobei oberhalb eines

Abb. 3: Mikrowellen-Banddurchlaufofen als mobile universelle Testanlage; 8 kW, Länge 4,5 m

Als Sonderanlagen für die Erwärmung von Schüttgütern können Mikrowellen-Drehrohranlagen eingesetzt werden.

Bei diesen Systemen wird die Mikrowellenenergie von außen durch das mikrowellentransparente Drehrohr eingebracht. Wegen des Drehrohres aus Quarzglas oder Keramik ist die Länge und der Durchmesser dieser Anlagen sehr begrenzt.

Die kostengünstigste "Frequenz" ist 2,45 GHz, die jetzt schon weltweit in hoher Stückzahl für Haushaltsmikrowellengeräte genutzt wird. Eigentlich verwendet fast jeder diese Technik ohne jedoch zu wissen, wie der Erwärmungsprozess funktioniert.

Die Umwandlung von elektromagnetischer Energie in Wärmeenergie wird auf Grund der elektromagnetischen Eigenschaften der Materialien realisiert und ist prinzipiell Material-, Temperatur- und Frequenzabhängig. Da in der Regel nur eine Frequenz beim Erwärmungsprozess verwendet wird und die Temperaturabhängigkeit für die meisten Materialien bisher nur unzureichend bekannt ist, erfolgt eine Betrachtung in der Regel nur in Abhängigkeit vom Material selbst.

Ob ein Material mittels Mikrowellen erwärmt werden kann, hängt von seinem molekularem Aufbau ab. Polare Moleküle, d.h. Moleküle mit räumlich getrennten Ladungsbereichen, wie z.B. Wasser lassen sich gut mit Mikrowellen erwärmen. Das polare Molekül wird hierbei durch das hochfrequente Wechselfeld der Mikrowellen in Rotation versetzt und wandelt dabei die elektromagnetische Energie in Wärme um. Da jedes Molekül Wärme umsetzt und die Mikrowellen je nach Material tief in einen Körper eindringen können, entsteht eine Aufheizung des gesamten Volumens. Dies ist ein wesentlicher Vorteil gegenüber der konventionellen Erwärmung, bei der die Wärme nur über die Oberfläche des Materials in den Körper eindringen kann und somit die Wärmeleitfähigkeit der entscheidende Faktor für eine gleichmäßige Aufheizung ist.

Es wird klar, dass für die Mikrowellenerwärmung nicht unbedingt eine hohe Wärmeleitfähigkeit notwendig ist, da hier eine Volumenheizung vorliegt. Der Formalismus der diesen Vorgang beschreibt

Feuchtegehaltes von ca. 15 % kein wesentlicher Unterschied besteht. Hier bestimmt das Wasser den Prozessablauf. Im Bereich von 5 %-15 % kann die Trockensubstanz selbst eine zunehmende Rolle spielen. Ist das Material selbst in der Lage Mikrowellenenergie in Wärme umzusetzen, kann die Temperatur des Materials ansteigen, wobei der Dielektrizitätskoeffizient den Prozess bestimmt.

Unterhalb von 5 % kann die Mikrowellentrocknung mit abnehmenden Feuchtegehalt uneffektiv werden, wenn das Material selber nicht von Mikrowellen erwärmt werden kann.

Bei trockenen Materialien oder Materialien mit geringer Feuchte ist das Ankopplungsverhalten des Materials selber entscheidend für den Erwärmungsprozess. Ist ein Material wegen seiner dielektrischen Eigenschaften nicht in der Lage Mikrowellen in Wärme umzuwandeln, kann es von ihnen nicht erwärmt werden.

Bei der Mikrowellentrocknung kann zur Bestimmung der erforderlichen Mikrowellenleistung eine Faustregel verwendet werden, die besagt, dass zur Verdampfung von 1 kg Wasser pro Stunde eine Mikrowellenleistung von ca. 1 kW notwendig ist. Diese Regel ist gültig solange eine ausreichende Anfangsfeuchtigkeit gegeben ist.

Für die Trocknung bzw. Erwärmung von Schüttgütern werden Mikrowellen-Band-Durchlaufanlagen eingesetzt. Das Transportband besteht aus mikrowellentransparentem Material, so dass die Mikrowellen das Band ungeschwächt durchdringen können und das Materialbett auch von unten erwärmen.

Die Schütthöhe des Materials sollte mindestens ca. 5 cm betragen, damit genügend Materialvolumen vorhanden ist um die Mikrowellenenergie aufzunehmen. Da die Mikrowellenerwärmung eine volumetrische Erwärmung ist, kann mit steigendem Materialvolumen mehr Mikrowellenenergie aufgenommen werden.

Die maximale Schütthöhe ist durch die Eindringtiefe der Mikrowellen begrenzt, bei der Trocknung zusätzlich noch durch die Durchstörmbarkeit der Schüttung. Die Eindringtiefe der Mikrowellen beträgt für die meisten Materialien etwa 5-10 cm, da die Mikrowellen von allen Seiten in eine Schüttung eindringen, können Schütthöhen von 10-20 cm problemlos erwärmt werden. Bei der Trocknung wird die Schütthöhe zusätzlich dadurch begrenzt, dass die Feuchte aus dem Inneren der Schüttung an die Oberfläche geleitet werden muss (hierbei ist natürlich auch die Schüttdichte ein wichtiger Faktor). Bei hohen Schütthöhen kann sich die Trocknungszeit verlängern, da das Material einen hohen Widerstand gegen die Durchströmung des Wasserdampfes bietet.

Für die Trocknung bzw. Erwärmung von Schüttgütern kann die Mikrowellenband-



Literatur

- [1] METAXAS, A.C. und MEREDITH, R.J.: Industrial Microwave Heating, Power Engineering Series 4, Peter Peregrinus Ltd, UK (1988).
- [2] SUHM, J.: Mikrowellentechnik zur schonenden Trocknung keramischer Materialien, Keramische Zeitschrift, Vol. 52 (2000) Nr. 8.