

# Kleben mit Mikrowellen

Trocknungs- und Erwärmungsprozesse sind bei der Produktion vieler Werkstücke notwendig. Im Vergleich zu anderen Arbeitsschritten sind diese meist recht langwierig. Die herkömmlichen Erwärmungstechniken haben in vielen Fällen ihre Grenzen erreicht, da die gleichmäßige Erwärmung des Produkts die Erwärmungs- bzw. Trocknungsgeschwindigkeit beschränkt. Die Technik, die in diesen Fällen für deutliche Verbesserungen sorgt, ist die Erwärmung durch die Mikrowelle. Sie ist seit Jahrzehnten bekannt und wird bereits in vielen Industriebereichen erfolgreich eingesetzt. Linn High Therm, Eschenfelden, ist einer der führenden Hersteller unter anderem von Mikrowellenerwärmungsanlagen, Bild 1.



**Bild 1.** Mikrowellen-Durchlauferhitzer zum Aushärten und Verkleben von Fasern.

## Erwärmung von Werkstoffen durch Mikrowellen

Mikrowellen sind elektromagnetische Wellen, die auch bei der Radio-, Fernseh- und Radartechnik zum Einsatz kommen. Der Unterschied liegt in der Frequenz und in der Leistungsdichte. Für die Mikrowel-

lentechnik stehen im Wesentlichen drei Frequenzen zur Verfügung. Für die höchste Frequenz (28 bzw. 30 GHz) sowie für die niedrigste (915 MHz) ist ein industrieller Einsatz in größerem Maßstab noch nicht in Sicht. Die kostengünstigste Frequenz beträgt 2,45 GHz – sie wird weltweit in hoher Stückzahl für Haushaltsmikrowellengeräte genutzt.

## Aufheizung des Gesamtvolumens

Die Umwandlung von elektromagnetischer Energie in Wärmeenergie ist werkstoff-, temperatur- und frequenzabhängig. Ob ein Werkstoff durch Mikrowellen erwärmt werden kann, hängt von seinem molekularem Aufbau ab. Polare Moleküle, das heißt Moleküle mit räumlich getrennten Ladungsbereichen wie etwa Wasser, lassen sich gut durch Mikrowellen erwärmen. Das hochfrequente Wechselfeld der Mikrowellen versetzt hierbei die polaren Moleküle in Rotation und wandelt auf diese Weise die elektromagnetische Energie in Wärme um. Da jedes Molekül Wärme umsetzt und die Mikrowellen je nach Werkstoff tief in einen Körper eindringen können, entsteht eine Aufheizung des gesamten Volumens. Dies ist ein wesentlicher Vorteil gegenüber der herkömmlichen Erwärmung, bei der die Wärme nur über die Oberfläche des Werkstoffs in den Körper eindringen kann und somit die Wärmeleitfähigkeit der entscheidende Faktor für eine gleichmäßige Aufheizung ist.

Für die Mikrowellenerwärmung ist nicht unbedingt eine hohe Wärmeleitfähigkeit notwendig, da hier eine Volumenheizung vorliegt. Dieser Vorgang ist in folgender Formel dargestellt und gilt nur für unmagnetische Werkstoffe:

$$P = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon'' \cdot E^2 \cdot V$$

mit P durch den Werkstoff aufgenommene Leistung, f Frequenz des Wechselfelds,  $\epsilon_0$  elektrische Feldkonstante,  $\epsilon''$  Imaginärteil der komplexen Dielektrizitätskonstante, E elektrische Feldstärke und V Werkstoffvolumen.

Bei dieser Art des Erwärmens erhält jedes Volumenelement des Werkstoffs dieselbe Wärmemenge – vorausgesetzt, der Werkstoff ist im Vergleich zur Eindringtiefe der Mikrowellen dünn. Bei homogenen Werkstoffen ergibt sich daraus, dass der Körper zunächst überall dieselbe Temperatur aufweist. Die Mikrowellen erwärmen dabei nicht die Umgebung, die daher kälter als der Werkstoff ist. Die Werkstoffoberfläche gibt allerdings die Wärme an die umgebende Atmosphäre ab und wird dadurch gekühlt. Demzufolge ist bei Mikrowellenerwärmung das Innere eines Kör-

pers oder einer Schüttung wärmer als seine Oberfläche. Der Temperaturverlauf verhält sich somit umgekehrt zu dem der herkömmlichen Erwärmung. Dieser Effekt ist in vielen Fällen erwünscht, da er die Oberfläche schont und sich die Wärme schneller im Inneren aufbauen 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 Ener-

von Vorteil, wenn der Klebstoff von dem zu verbindenden Werkstoff umgeben ist, da keine Wärmeleitung durch den Werkstoff mehr nötig ist. Die geringere thermische Belastung des Werkstoffs kann zu einer längeren Lebensdauer des Werkstücks führen.

## Weitere Möglichkeiten

Durch den gezielten Einsatz von Nanopartikeln ist es neuerdings auch möglich, Bauteile nicht nur zu verbinden, sondern sie auch wieder durch Mikrowelle zu lösen. Dabei wirken die Nanopartikel als „Antennen“, die von den Mikrowellen in Schwingung versetzt werden und den Kleber wieder aufheizen können. Bei zahlreichen nichtmetallischen Werkstoffen lässt sich diese Technik anwenden, da sie mit den Mikrowellen gar nicht oder nur sehr gering interagieren. Beim Kleben von metallischen Werkstoffen ist es wichtig, dass der Klebstoff für die Mikrowellen frei zugänglich ist und dass das Metall die Mikrowellen reflektiert.

F. Debus, Eschenfelden



**Bild 2.** Mikrowellen-Kammertrockner „MKT 14 kW“, 4 m<sup>3</sup>

gieumwandlung. Bei Abschaltung wird der Aufheizvorgang zeitgleich gestoppt. Lange Aufheiz- und Abkühlvorgänge sind bei einer Mikrowellen-Erwärmungsanlage daher nicht notwendig.

Diese Eigenschaften der Mikrowelle macht sie für Kleb- und Aushärtvorgänge, eine weit verbreitete Technik zum Verbinden von Bauteilen, interessant, Bild 2. Bei diesen beiden Methoden wird anfangs immer eine Temperaturbehandlung eingesetzt, die im Regelfall einen zeit- und kostenintensiven Schritt darstellt, da dabei nicht nur der Klebstoff erhitzt wird, sondern auch der umgebende Werkstoff. Bei passenden Werkstoffkombinationen, das heißt, der zu klebende Werkstoff ist transparent für die Mikrowelle, lässt sich direkt der Klebstoff erwärmen, ohne dass der umgebende Werkstoff von der Mikrowelle beeinflusst wird. Das ist besonders dann