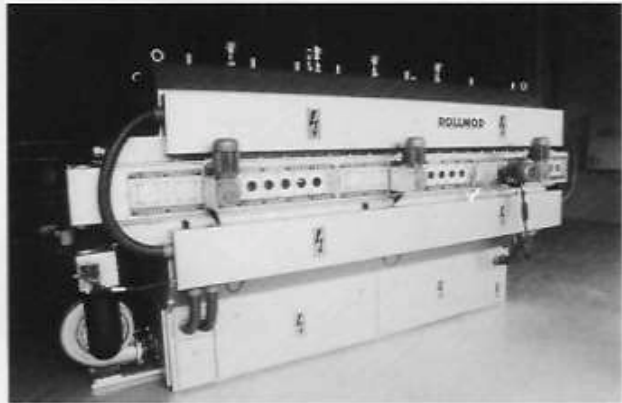


Sonderdruck aus der Zeitschrift »Härterei-Technische Mitteilungen«
45. Jahrgang 1990, Heft 6

J. Wünnig

Die Wärmebehandlung in der Fertigungslinie mit einem neuartigen Rollenherdofen



ROLLMOD

Hochtemperatur-Transportsysteme GmbH

Die Wärmebehandlung in der Fertigungslinie mit einem neuartigen Rollenherdofen*

Für die Wärmebehandlung in der Fertigungslinie muß die Behandlungsdauer in den Bereich von Minuten abgekürzt werden. Bei allseitiger Strahlungserwärmung und mäßiger übertemperatur beim Aufheizen beträgt die Erwärmungsdauer etwa eine Minute je Millimeter Wanddicke. Rollenherdöfen mit enger Rollenteilung zur Direktaufgabe der Teile erfüllen die Voraussetzungen am besten, weil keine Transportvorrichtungen benötigt werden und mit Schnellgängen schroffe Temperaturübergänge möglich sind. Ein für diesen Zweck neu entwickelter schutzgasdichter Rollenherdofen ist modular aufgebaut, womit der Herstellungsaufwand gesenkt und die Wartung vereinfacht wird. Mit keramischen Herdrollen von 10 mm Durchmesser

können Teile in der Größe eines 10-11-ennig-Stückes ohne Unterlage transportiert werden, bei Ofentemperaturen bis 1300 °C.

Unter der vielfältigen Anwendungsmöglichkeit steht im Vordergrund die automatische Eilzeitführung sowie das Sinter- und Löten aufgrund der hohen Temperaturen.

The duration of a heat treatment in a production line should be in the range of minutes. This is possible with small iron parts in a single layer by heating from all sides. For this purpose a new type of roller-hearth furnace was designed, equipped with ceramic rollers with a diameter of 10 mm and a pitch of 12.5 mm. Parts with a maximum of 20 mm support diameter may be transported without tray, etc. Different cooling-down profiles can be realized by using a fast-transfer device at the outlet of the furnace.

1 Die Taktzeit und der Fertigungsablauf

Die Taktzeit ist eine wesentliche Kenngröße für den Fertigungsablauf, für die man drei Bereiche bilden kann:

- Die Massenfertigung von Normteilen mit Taktzeiten in der Größenordnung bis zu einigen Sekunden,
- die Großserienfertigung von Maschinenteilen mit Taktzeiten, die typisch im mittleren Bereich bis zu einigen Minuten liegen, z. B. in der Automobilindustrie,
- und die Kleinserienfertigung, bei der die Taktzeiten vorwiegend in Stunden angegeben werden.

Während bei der Planung von Fertigungseinrichtungen wie Stanzen, Pressen und Werkzeugmaschinen die Taktzeit im Mittelpunkt steht, war es bei Ofenanlagen für die Wärmebehandlung bisher der Durchsatz in kg pro Stunde. Die Wärmebehandlung wurde in einer Zentralschmelzerei zusammengefaßt oder sogar an eine Lohnhärterei vergeben mit der

Begründung, daß dafür Spezialkenntnisse erforderlich sind, die nur schwer in einen taktgesteuerten Fertigungsablauf einzubringen sind.

Als Nachteile des Konzepts "Zentralschmelzerei" werden die zusätzlichen Transportwege, die notwendigen Teilepuffer und neuerdings die Komplikationen bei der Verwirklichung der vollständig automatisierten Fertigung (CIM) angeführt. Die Frage Zentral- oder Linienhärterei kann jedoch nicht grundsätzlich entschieden werden, weil sie von der notwendigen Wärmebehandlungsdauer abhängt. In der Übersicht nach Bild 1 wurde die Trennung bei einer Behandlungsdauer von einer Stunde vorgenommen, wobei nach der schon angeführten Einteilung eine Großserienfertigung mit Taktzeiten unterhalb einer Minute angenommen wurde.

Produktion: >60 Teile/h (Taktzeit <1 min)

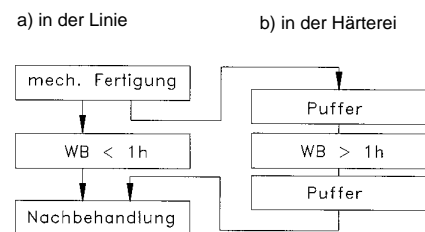


Bild 1. Wärmebehandlung (WB) von Serienteilen im Fertigungsablauf Fig. 1. Heat treatment of high series components

Wenn unter diesen Voraussetzungen die Wärmebehandlung länger als eine Stunde dauert, muß eine Zentralschmelzerei in Betracht gezogen werden, weil beim Anfahren des Ofens oder bei Störungen der Taktablauf der Fertigungsstraße beeinträchtigt wäre. Eine Kompromißlösung sind in solchen Fällen automatische Chargenöfen (sogenannte Wärmebehandlungsautomaten), die in der Nähe der Fertigungslinie aufgestellt werden und mit einem vor- und nachgeschalteten Puffer ausgestattet sind.

Diese Überlegungen zeigen deutlich, daß für die Wärmebehandlung in der Linie in kurzer Taktfolge arbeitende Öfen mit einer Behandlungsdauer im Minutenbereich am besten geeignet wären.

2 Minuten-Wärmebehandlung durch Anordnung der Teile in einer Lage

Bei der Randschichtwärmebehandlung mit energiereichen Strahlen im Bereich von Sekunden verzichtet man im allgemeinen auf ein wärmeisoliertes Ofengefäß, weil die Abstrahlverluste bei so kurzen Zeiten nicht ins Gewicht fallen. Wenn dagegen die

* Vorgetragen von J. Wünnig auf dem 45. Härterei-Kolloquium, 4.-6. Oktober 1989 in Wiesbaden.

Wärmebehandlung einige Minuten dauert, kommt nur eine Ofenerwärmung in Frage.

Für die konvektive Erwärmung muß das Ofengas von den Brennern oder Heizelementen zur Charge strömen oder umgewälzt werden. Gestapelte Chargen sollten durchströmt werden. Die Wärmeübertragungskoeffizienten aK liegen überwiegend zwischen 20 und 100 W /m² K, abhängig von der Anströmungsgeschwindigkeit, der Temperatur und den Abmessungen der Teile.

Durch Strahlung kann Wärme nur übertragen werden, wenn zwischen den Teilen und den Heizelementen sowie den Ofenwänden "Sichtkontakt" besteht, was z. B. auf Teile innerhalb eines Stapels nicht zutrifft. Obwohl die as -Werte zwischen 100 und 300 W /m² K wesentlich höher liegen, kann ein Teil durch allseitige Strahlung sehr gleichmäßig erwärmt werden.

Die ungünstigsten Verhältnisse liegen vor, wenn ein Chargen-Stapel in einen vorgeheizten Ofen eingefahren wird und die Außenteile einseitig mit as angestrahlt werden, dagegen die Innenteile mit dem sehr viel kleineren aK . Dies kann nur vermieden werden, indem der Ofen mit der Charge aufgeheizt wird.

In Bild 2 wurde die Anordnung der Teile während der Erwärmung in drei Gruppen nach der Behandlungsdauer eingeteilt. Die eindimensionale Anordnung (1D) auf einer Linie ist typisch für die Kurzzeitverfahren. Für die Erwärmung von Teilen aus Stahl bis zu einer Wanddicke von etwa 50 mm im Minutenbereich empfiehlt sich die zweidimensionale Anord-

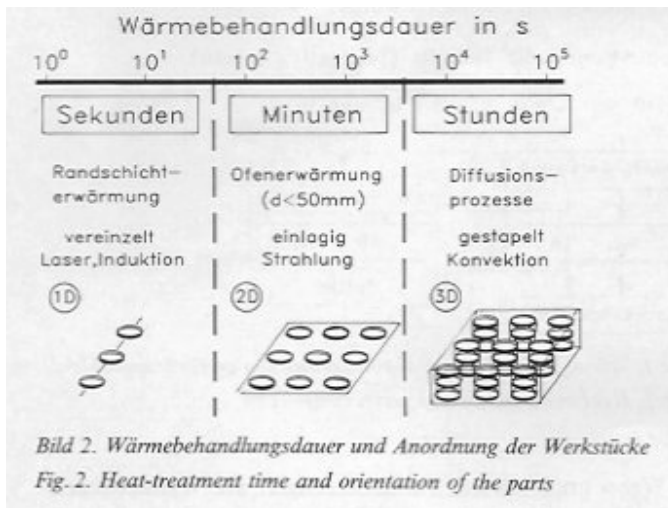


Bild 2. Wärmebehandlungsdauer und Anordnung der Werkstücke
Fig. 2. Heat-treatment time and orientation of the parts

nung (2D) auf einer Fläche mit Strahlungseinwirkung von oben und unten. Für Diffusionsprozesse, die mehrere Stunden dauern, müssen die Teile gestapelt werden (3D-Anordnung), damit die Investitionskosten und Wandverluste der Ofenanlagen in vertretbarem Rahmen bleiben.

Die relative Aufheizdauer in Minuten pro Millimeter Wanddicke von Stahlteilen auf 860 °C wurde für drei Fälle

berechnet und in Bild 3 dargestellt. Bei reiner Konvektion mit $aK = 40$ W /m² K z. B. im Stapel sind 4,5 min/mm notwendig. Bei zusätzlicher Strahlungseinwirkung von allen Seiten (2D-Anordnung) dauert das Erwärmen 1,5 min/mm, wobei der Emissionskoeffizient $E = 0,3$ für Schutzgasbetrieb angenommen wurde. Eine weitere Steigerung ist durch kontrollierte Übertemperatur beim Erwärmen möglich. Bis zu einer Wanddicke von 20 mm beträgt der Temperaturunterschied im Teil weniger als 3 % des Temperaturunterschieds zwischen Ofen und Teil.

Auch im Bereich der Anlaßtemperaturen können die Teile in 2D-Anordnung bei allseitiger Strahlung, wenn erforderlich

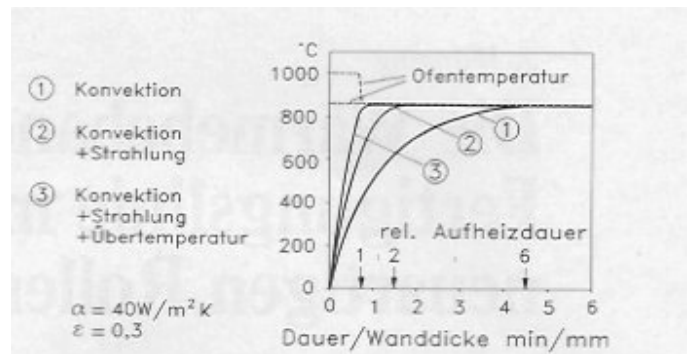


Bild 3. Erwärmen von Stahlteilen auf 860°C (Wanddicke < 20 mm)
Fig. 3. Heating up of iron parts up to 860°C (wall-thickness 20 mm)

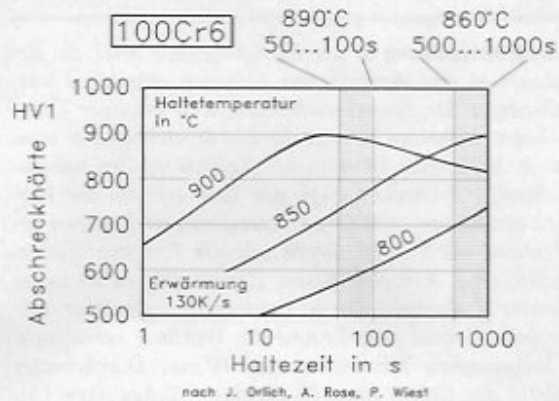


Bild 4. Abschreckhärte als Funktion der Haltezeit
Fig. 4. Hardness as quenched as a function of soaking time

mit Übertemperatur, sehr schnell und gleichmäßig erwärmt werden.

Die nach dem Aufheizen vorgesehene Haltezeit berücksichtigt die angestrebte Gefügeumwandlung. Bei der konventionellen Wärmebehandlung wird sie großzügig bemessen und beinhaltet teilweise auch die Zeit bis zum vollständigen Temperaturausgleich. Dagegen wird sie bei den Kurzzeitverfahren (Induktion, Laser) meist unterdrückt und durch eine entsprechende Übertemperatur kompensiert.

Für die Minuten- Wärmebehandlung wird ein Mittelweg vorgeschlagen mit kurzer, aber definierter Haltezeit. Bild 4 zeigt das Beispiel des Härtens von Kugellagerstahl 100 Cr 6.

Nach J. Orlich, A. Rose und P. Wiest [1] liegt die maximale Abschreckhärte bei 860 °C bei einer Haltezeit von 500 bis

1000 Sekunden, bei 890 °C dagegen bei nur 50 bis 100 se

kunden.

3 Neuartiger Rollenherdofen ROLLMOD@I

Bandöfen haben bei der Einzelerwärmung folgende Nachteile:

- Das Band und die Bandaufgabe behindern die Strahlung von unten.
- Der Verschleiß des Bandes verursacht mit zunehmender Temperatur hohe Kosten. Für Temperaturen über 1100 °C gibt es derzeit keine Bänder.
- Der Schnellaustrag der Teile am Ofenende für die Einzelhärtung ist nicht gelöst.

Rollenherdöfen haben diese Nachteile nicht, wurden jedoch insbesondere bei kleinen Ofeneinheiten bisher als zu aufwendig und kompliziert in der Wartung angesehen. Außerdem

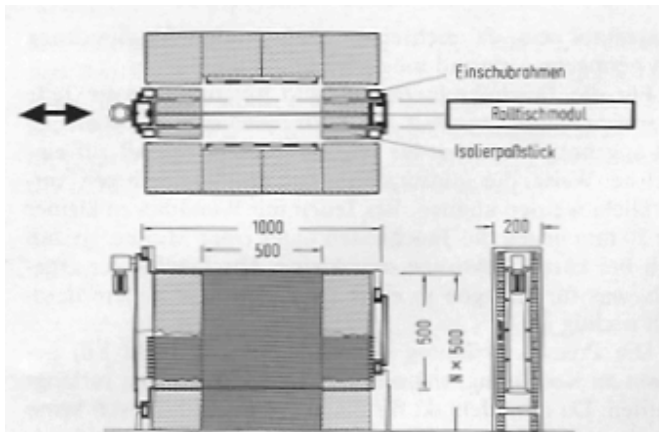


Bild 5. Prinzip des ROLLMOD®-Ofens
Fig. 5. Principle of the roller-hearth furnace

konnten Kleinteile, wie sie in der Serienfertigung typisch sind, wegen des Mindestabstandes der Rollen von 20 mm nicht ohne Unterlagen durch den Ofen transportiert werden.

Durch Rollenherdöfen mit entsprechender Teilung können die Werkstücke ohne Unterlage im Taktbetrieb der Fertigungslinie gefahren werden. Im Vergleich zur Induktionserwärmung sind keinerlei Vorrichtungen notwendig, so dass sehr flexibel auf andere Teile umgestellt werden kann.

Diese Nachteile zu beseitigen war das Ziel der Entwicklung des neuartigen Rollenherdofens mit der Typenbezeichnung ROLLMOD. Gelöst wurde die Aufgabe durch konsequente Modulbauweise (Bild 5). Der Rollenherd ist unterteilt in gleichartige Rollschichtmodule, bestehend aus einer Anzahl von Herdrollen, den seitlichen Lagerbalken und Isolierpaßstücken sowie dem Antriebskasten auf einer Seite. Die Module werden wie Schubladen abwechselnd von rechts und links in einen Rahmen eingeschoben und schutzgasdicht verschraubt. Der Ober- und Unterofen, jeweils mit Gas- oder Elektroheizung werden an den Rahmen oben bzw. unten angeflanscht oder -geschweißt.

Mit der Modulbauweise werden die Konstruktions-, Fertigungs- und Projektierungskosten deutlich gesenkt. Für die Wartung können die Module in weniger als einer halben Stunde ausgetauscht werden, wofür der Ofen nicht vollständig abgekühlt werden muß. Die Leichtisolierung und der Verzicht auf jegliche Einbauten reduziert die Wärmekapazität soweit, daß für das Erwärmen von Raumtemperatur bis auf Betriebstemperatur (z.B. 950°C) weniger als zwei Stunden benötigt werden.

3.1 Keramische Herdrollen

Bei einem Rollendurchmesser von 10 mm und einer lichten Ofenbreite von 500 mm können bei Temperaturen über 800°C wegen der Belastbarkeit nur keramische Rollen verwendet werden. Deren Tragfähigkeit, die bis 1300°C nahezu unabhängig von der Temperatur ist, entspricht etwa der von Rollen aus weichem Stahl bei Raumtemperatur.

In Bild 6 sind Richtwerte angegeben.

Für das Beispiel Rollendurchmesser 10 mm, Rollenteilung 12,5 mm und lichte Ofenbreite 500 mm ergibt sich eine maximale Herdflächenbelastung von 80 kg/m², die bei einlagiger Beschickung nur selten ausgenutzt werden kann. Über einen solchen Herd können Teile mit einer Auflagefläche von 20 mm Durchmesser (10 Pfennig-Stücke) ohne Unterlage transportiert werden. Für Teile ohne diese Auflagefläche, z. B. Wellen, Schrauben usw. können einfache Unterlagen mit

geringer Masse, wie Drahtnetze aus 0,5 mm Draht, benutzt werden.

Ofentemperaturen über 1100 °C bis 1300 °C werden angewendet beim Sintern, Löten und Schnellstahlhärten. Mit zunehmendem Rollendurchmesser steigt bei gleicher relativer Teilung (1,25 d) die Herdflächenbelastbarkeit an, so daß dann auch gestapelte Chargen gefahren werden können. Die Nachteile des heute üblichen Stoßtransports in Kammer und Durchstoßöfen, wie schwere Herdkonstruktion und Tragrost, Verschleiß an Stoßschielen und Rosten sowie Herdrepaturen von mehreren Tagen, wären damit beseitigt. Selbstverständlich können je nach Ofentemperatur und Belastung die Rollen auch aus hitzebeständigem Stahl bestehen.

3.2 Prozeßregelung

Die Modultechnik für den Rollenherd, vorzugsweise mit Einzelantrieb jedes Elements, läßt sich vorteilhaft in ein sehr flexibles Konzept der Prozeßregelung einordnen. Ein Prozeßrechner kontrolliert in jedem Ofenabschnitt die Dauer, die Temperatur und, falls erforderlich, das Stoffpotential (Bild 7).

Die Regelgröße für den Zeitablauf ist der Rollenanzug, der kontinuierlich oder taktweise erfolgen kann. Für Stufenprozesse können die Teile im Schnellgang zwischen Zonen mit unterschiedlichen Temperaturen und Stoffpotentialen transportiert werden. Die Temperatur wird über die Gas- oder Elektroheizung geregelt, wobei die Unterbeheizung wegen der Drehung der Rollen im Vergleich zu anderen Ofentypen nicht behindert wird. Eine Wärmestromdichte von

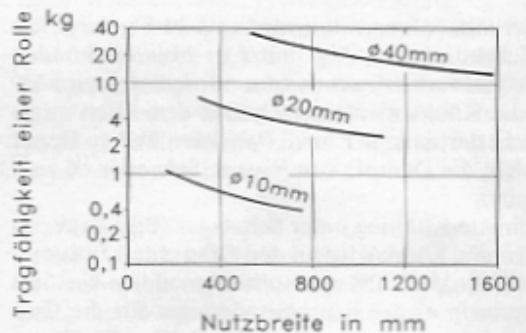


Bild 6. Tragfähigkeit keramischer Herdrollen bei 1300°C
Fig. 6. Carrying capacity of ceramic rollers at 1300°C

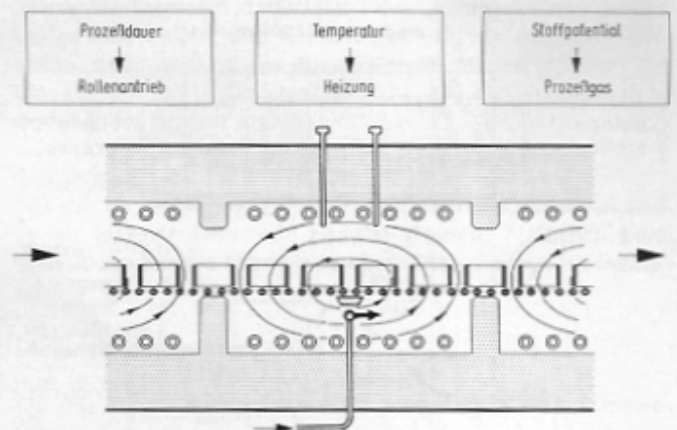
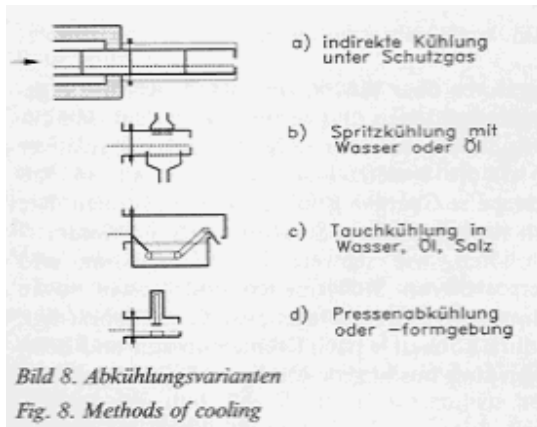


Bild 7. Prozeßregelung
Fig. 7. Process control



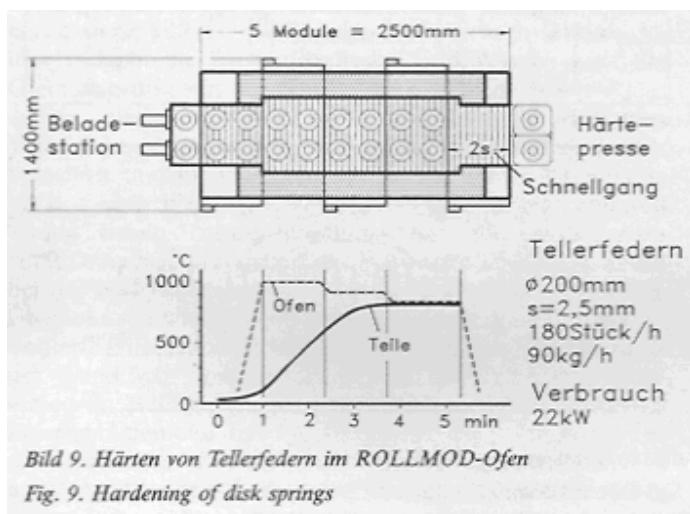
25 kW /m² von unten und oben ist auch bei empfindlichen Erwärmungsvorgängen möglich, was einer Herdflächenleistung beim Härten von Stahl von 200 kg/m² entspricht. In Haltezeiten liegt die Temperaturgleichmäßigkeit im Bereich von ± 2 K.

Für die Regelung der Stoffpotentiale, z.B. Kohlenstoff oder Stickstoffpegel, wird das Prozeßgas über Düsen unter dem Herd zugeführt und damit eine Umwälzströmung hervorgerufen, für die die Rollen als Verteilungsgitter wirken. Der Aufwand sowie die Wartung für mechanische Umwälzer und Muffeln entfällt. Für Stufenprozesse können die einzelnen Ofenabschnitte gut voneinander getrennt werden, weil die Durchlaufhöhe gering ist.

3.3 Abkühlungsvarianten

Die Vielfalt der Abkühlungsarten wird in Bild 8 gezeigt. Da die Teile im Schnellgang mit 250 mm/s in 1 bis 2 Sekunden durch den Ofenhals am Ofenende transportiert werden können, werden die Kühleinrichtungen hinter dem Ofen angeordnet und nicht darunter, wie beim Bandofen üblich. Damit wird es einfacher, die Dämpfe von Wasser, Salz oder Öl vom Ofen fernzuhalten.

Für die indirekte Kühlung unter Schutzgas (Bild 8 a) beim Glühen, Sintern und Löten wird an den Ofen eine Kühlstrecke angeflanscht, die ebenfalls mit Rolltischmodulen bestückt ist. Das Ofenprinzip eignet sich besonders gut für die Gutwärmerückgewinnung mit einer speziellen Längsumwälzung [2]. Die Spritzkühlung unter einer Brause mit Wasser, Emulsion oder Öl nach Bild 8 b wird bisher wenig angewendet, könnte aber bei einlagiger Beschickung und Taktbetrieb sehr



interessant sein, da auch eine unterbrochene Abschreckung mit geringem Aufwand möglich ist.

Für die Tauchabschreckung (Bild 8 c) rutschen die Teile über eine Schräge ins Bad. Bei Taktbetrieb kann der Badspiegel angehoben und wieder gesenkt werden, so daß auf einfachste Weise die günstigsten Abschreckbedingungen verwirklicht werden können. Bei Teilen mit Wanddicken kleiner als 20 mm liegen die Tauchzeiten unter einer Minute, so daß sich bei kurzer Taktfolge sehr kleine Abschreckbäder ergeben, was für Anlagen in einer Fertigungslinie außerordentlich wichtig ist.

Die Pressenabkühlung oder -formgebung (Bild 8 d) gewinnt an Bedeutung, wenn hohe Maßgenauigkeiten verlangt werden. Da der Ofentakt für einen optimierten Prozeß keine größere Variation zuläßt, sollte der Pressentakt, evtl. durch Einbau mehrerer Stationen, kürzer sein, so daß bei der Presse immer eine gewisse Wartezeit entsteht. Bei dünnwandigen Teilen wäre die Abkühlung mit Luft- oder Gasprallstrahlen in besonderen Vorrichtungen sehr interessant, weil damit die Abschreckflüssigkeiten und das nachfolgende Waschen vermieden würden.

3.4 Anwendungsfälle des neuen Rollenherdofens

Als Beispiel wird das Härten von Kupplungs- Tellerfedern in Bild 9 gezeigt. Die Federn mit 200 mm Durchmesser und 2,5 mm Wanddicke werden mit geringer Übertemperatur in Zone 1 und 2 in 2,5 min auf 860 °C erwärmt und vor dem Abschrecken 1,5 min auf dieser Temperatur gehalten. Die Federn werden im Takt einzeln versetzt oder paarweise nebeneinander auf den Rollgang aufgelegt, wofür keine Vorrichtungen benötigt werden. Bei einer Länge von 2,5 m ohne Belade- und Abschreckstation und einer Gesamtbreite von 1,4 m ist die Anlage sehr kompakt. Dies wirkt sich auch auf den Energieverbrauch aus, der mit 30 kWh Elektroenergie bzw. 3 m³ Erdgas bezogen auf 100 kg Härtegut sehr günstig liegt. Ein Schnellgang transportiert die Teile in etwa 2 Sekunden in die Härtevorrichtung.

Anlagen für das Härten von Lagerringen arbeiten nach dem gleichen Schema. Auch für schwere Ringe, Hohlräder oder Tellerräder, die vielfach in Drehherdöfen zum Härten erwärmt werden, eignet sich die Anlage bei entsprechender Auslegung der Herdrollen. Bei längeren Ofenzeiten kann es zweckmäßig sein, den Ofen taktweise zu betreiben. Auch hier liegt der Vorteil gegenüber Kammer- und Drehherdöfen in der gleichmäßigen Erwärmung von oben und unten.

Beim Härten von Werkzeugen, z. B. Fräsern und Sägeblättern aus Schnellstahl, wird die hohe Temperaturgrenze des Ofens ausgenutzt, sowie die einlagige Anordnung der Teile mit der Möglichkeit, einen schroffen Temperaturwechsel beim Erwärmen und vor allem beim Abkühlen zu erzielen.

4 Zusammenfassung

Für die Wärmebehandlung in der Fertigungslinie muß die Behandlungsdauer in den Bereich von Minuten abgekürzt werden. Bei allseitiger Strahlungserwärmung und mäßiger Übertemperatur beim Aufheizen beträgt die Erwärmungsdauer etwa eine Minute je Millimeter Wanddicke.

Rollenherdöfen mit enger Rollenteilung zur Direktaufgabe der Teile erfüllen die Voraussetzungen am besten, weil keine Transportvorrichtungen benötigt werden und mit Schnellgängen schroffe Temperaturübergänge möglich sind.

Ein für diesen Zweck neu entwickelter schutzgasdichter Rollenherdofen ist modulartig aufgebaut, womit der Herstaufwand gesenkt und die Wartung vereinfacht wird.

Mit keramischen Herdrollen von 10 mm Durchmesser können, bei Ofentemperaturen bis 1300° C, Teile in der Größe eines 10-Pfennig-Stückes ohne Unterlage transportiert werden. Unter den vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten steht im Vordergrund die automatische Einzelhärtung sowie, wegen der hohen Temperaturen, das Sintern und Löten.

Literatur

1. *Orlich, I.; Rose, A.; Wiest, P.:* Atlas zur Wärmebehandlung der Stähle, Band 3, Zeit Temperatur-Austenitisierungs-Schaubilder. Verlag Stahleisen Düsseldorf, 1973.
2. *Wünning, I.:* Durchlauföfen mit Gutwärme-Rückgewinnung. Härterei- Tech. Mitt. 39 (1984) 2, S. 76- 79.

Der Autor dieses Beitrags

Dr.-Ing. J. *Wünning* ist als Geschäftsführer bei der ROLLMOD GmbH, Renningen, tätig.

(11311

Manuskript eingegangen: Juli 1990.

Im Anschluß an diesen Vortrag ergab sich folgende Diskussion:

J. Klix:

Herr Dr. Wünning, in welcher maximalen Baulänge können Sie den Ofen herstellen?

J. Wünning:

Im Prinzip unbegrenzt; besonders interessant sind jedoch kleine Ofeneinheiten, z. B. mit einer Länge von 1,5 m und einer Härteleistung von 100 kg/h.

F. Hengerer:

Sie haben als mögliche Anwendung das Härten mit Übertemperatur genannt. Dann hat man zwar das Problem der Härtezeiten gelöst, aber es bleibt der Flaschenhals des Anlassens mit zwei Stunden. Wie würden Sie dieses Problem angehen ? Auch mit Übertemperatur?

J. Wünning:

Man sollte die Frage der Verkürzung der Anlaßdauer pragmatisch angehen, etwa so, wie es bei der induktiven Vergütung gemacht wird.

F. Hengerer:

Bedeutet das dann Erwärmung mit Strahlung?

J. Wünning:

Die Strahlungserwärmung mit Übertemperatur kann dafür ausgenutzt werden. Daran schließt sich eine Haltedauer bei vorgegebener Temperatur an.

B. Edenhofer:

Herr Dr. Wünning, eine kurze Bemerkung zum ersten Teil Ihres Vortrages. Ich halte die von Ihnen angegebene Grenze der Wärmebehandlungsdauer von einer Stunde für die Möglichkeit der Integration in die mechanische Fertigung für etwas willkürlich gewählt. Sie mag für die Integration in die

Linie vielleicht eine gewisse Berechtigung haben. Es gibt aber viele Fertigungen, die nicht in der Linie arbeiten. Dies sind mechanische Fertigungen mit flexiblen mechanischen Fertigungszellen. In solchen mechanischen Fertigungen lassen sich meiner Meinung nach Chargenöfen, die voll automatisiert sind, mit durchaus längeren Wärmebehandlungsdauern ebenfalls integrieren.

J. Wünning:

Meine Ausführungen bezogen sich auf eine Fertigungslinie mit einem Takt im Minutenbereich. In eine solche Linie kann rn. E. die Wärmebehandlung nur dann sinnvoll integriert werden, wenn deren Dauer etwa eine Stunde nicht überschreitet, wobei dieser Wert selbstverständlich nur als Richtwert anzusehen ist.

B. Edenhofer:

Wenn Sie in einem derartigen Ofen Stoffpotentiale messen und regeln wollen, und der Ofen besteht aus mehreren Modulen, dann speisen Sie doch in jedes Modul getrennt das Gas ein, wie ich das verstanden habe. Müßten Sie dann in jedem Modul separat messen und regeln ?

J. Wünning:

Für die Prozeßregelung kann ein Ofenmodul mit 0,5 m Länge als kleinste Ofenzone benutzt werden. Natürlich kann man auch mehrere Module zu einer Ofenzone zusammenfassen.

Diskussionsteilnehmer :

I. Klix, Daimler Benz AG, Gaggenau.

Dr.-Ing. mont. *F. Hengerer*, SKF Kugellagerfabrik Schweinfurt.

Dr. *B. Edenhofer*, Ipsen Industries Int. GmbH, Kleve. Dr.-Ing. *I. Wünning*, Leonberg-Warmbronn.