

Anlaßtemperatur sinkt mit der Härte die Festigkeit und damit auch die Schlagbiegearbeit auf Werte um 18 kpm/cm². Die Versuche haben außerdem ergeben, daß hinsichtlich der gütemäßigen Beurteilung der Zähigkeit die angegebenen Mindestsollwerte für den Verformungswinkel und für die Schlagbiegearbeit äquivalent sind.

Mit der Frage der hochgekohten Stähle, wie sie in Amerika für gehärtete Bodenbearbeitungswerkzeuge verwendet werden, wird ein interessantes Verschleißproblem angeschnitten. Die Tatsache, daß ein niedrig gekohlter Stahl nach DIN 11100 um so verschleißfester ist, je höher dessen Vickershärte ist, darf als bewiesen gelten. Ebenso gilt die Einschränkung, daß ein solcher Stahl im vergüteten Zustand, also nach hohen Anlaßtemperaturen, trotz höherer Härte (300 bis 400 VE) verschleißmäßig ungehärteten, perlitischen Stählen gegenüber kaum einen besseren Verschleißwiderstand aufweist, oftmals sogar unterlegen ist. Eine Wärmebehandlung („Vergütung“) solcher Stähle auf Härten unter 500 VE ist deshalb aus verschleißtechnischen und damit auch wirtschaftlichen Gründen abzulehnen.

Neben diesen bekannten Zusammenhängen zwischen Härte, Gefüge und Verschleiß deutet sich aber auf Grund eines Verschleißtestes (Bild 21) eine neue Einflußgröße auf den Verschleißwiderstand der gehärteten Scharstähle an: daß nämlich im Härtebereich um 500 VE und darüber hochgekohten Stähle bei derselben Härte verschleißfester sind als niedrig gekohlte Stähle. Danach wäre im martensitischen Gebiet neben der Härte auch ein Einfluß des Kohlenstoffgehaltes auf den Verschleißwiderstand vorhanden. Wie groß dieser Einfluß ist, und ob er die Möglichkeit zu einer weiteren Verschleißminderung der Bodenbearbeitungswerkzeuge einschließt, muß erst durch entsprechende Verschleißversuche erhärtet werden. Die gütemäßige Beurteilung der auf dem Markt befindlichen Bodenbearbeitungswerkzeuge, wie sie am Beispiel der Pflugschare vorgenommen wurde, wird dadurch nicht beeinflusst.

Schrifttum

- [1] Wellinger, K., u. H. Uetz: Einfluß der Schweißbedingungen auf das Verschleißverhalten von Auftragsschweißungen. Schweißen und Schneiden **11** (1959) S. 458/74.
- [2] Becker, E.: Hartmetall-armierte Pflugschare. Landtechn. Forsch. **12** (1962) S. 129/31.

- [3] Becker, E.: Organische und mineralische Stoffe zur Herstellung und Beschichtung von Pflugscharen und Pflugstreichblechen. Landtechn. Forsch. **13** (1963) S. 29/32.
- [4] Normblätter über Bodenbearbeitungswerkzeuge u. ä., die Werkstoffangaben enthalten:
- DIN 11090 Eggenzinken für Saat- und Ackereggen (Januar 1962).
- DIN 11100 Bodenbearbeitungswerkzeuge, Werkstoff und Gütevorschriften (Februar 1949).
- DIN 11112 Gänsefußmesser für Vielfachgeräte und Hackmaschinen
- DIN 11120 Schare für Pflugkörper (März 1950). (Juli 1958).
- DIN 11121/5 Streichbleche für Pflugkörper (Mai 1950).
- DIN 11127 Anlagen für Pflugkörper (März 1950).
- DIN 11129 Streichschienen für Pflugkörper (März 1950).
- DIN 11130 Grubberschare für Federgrubber (April 1956).
- DIN 11176 Hohlschutzscheiben (Juni 1958).
- DIN 11201 Rechenzinken (November 1954).
- [5] Stoppel, Th.: Einfluß der Härte auf den Verschleiß von Bodenbearbeitungswerkzeugen am Beispiel der Eggenzinken. Grndl. d. Landtechn. Heft 17. Düsseldorf 1963 S. 56/67.
- [6] Daeves, K.: Zustandsschaubild der unlegierten Stähle. Düsseldorf 1960. S. 32.
- [7] Burns, J. L.; T. L. Moore u. R. S. Archer: Quantitative hardenability. Trans. Am. Soc. Metals **26** (1938) pp. 1/36.
- [8] Wellauer, E. J.: Improving the durability of large industrial gears. Metal Progr. **37** (1940) p. 657.
- [9] Sisco, F. T.: Modern metallurgy for engineers. 2d ed., 1948, 499 pp. New York: Pitman Publishing Corporation.
- [10] Crafts, W., u. J. L. Lamont: Härtbarkeit und Auswahl von Stählen. Berlin/Göttingen/Heidelberg: Springer 1954. S. 81.
- [11] Stoppel, Th.: Zähnharte Werkzeugstähle für die Bodenbearbeitung. Techn. i. d. Landw. **25** (1944) S. 81/90.
- [12] Stoppel, Th.: Über die Güte, den Verschleiß und die Schneidenform fabrikneuer Pflugschare. Grndl. d. Landtechn. Heft 13. Düsseldorf 1961. S. 25/43.
- [13] Schmidt, Max: Werkzeugstähle. Düsseldorf: Verlag Stahl-eisen 1943. S. 32.
- [14] Kloth, W., G. Schmidt u. H. Lischke: Erfahrungen aus den Scharkontrollen der DLG. Techn. i. d. Landw. **15** (1934) S. 273/80.
- [15] Houdremont, E.: Handbuch der Sonderstahlkunde. 3. Aufl. Berlin/Göttingen/Heidelberg 1956. S. 535.
- [16] Kloth, W.: Die Haltbarkeit der Bodenbearbeitungswerkzeuge. Techn. i. d. Landw. **11** (1930) S. 332/36.
- [17] Kortschagin, P. A.: Automatische Fertigungsstraßen zur Herstellung meißelförmiger Schlepperpflugschare. Selchomachina Moskau (1953) H. 6, S. 22/24. In: Zur Konstruktion und Technologie des Pflugschares. Schriften d. Verl. Technik Bd. 183. Berlin 1954. S. 56/61.

Verfahren der Gasaufkohlung von Verschleißteilen und die betrieblichen Voraussetzungen

Von J. Wüning und P. Saborosch, Korntal¹⁾

Die Entwicklung der Härtereitechnik hat in den Nachkriegsjahren große Fortschritte gemacht, so daß heute die moderne automatische Serienfertigung auch Eingang in die Wärmebehandlungsbetriebe gefunden hat. Die wichtigsten Vorteile sind neben der Kostensenkung die bessere und gleichmäßigere Qualität der Werkstücke. Die bislang als ungünstig bekannten Arbeitsbedingungen in der Härtereitechnik konnten verbessert werden, was bei den heutigen Personalschwierigkeiten beachtet werden muß.

Selbstverständlich wurden diese neuen Wärmebehandlungsverfahren zunächst in Betrieben mit typischer Serienfertigung eingeführt, wie z. B. in der Kraftfahrzeug-, Schrauben- und Kettenindustrie. Aber auch in der Landmaschinenindustrie werden die Wärmebehandlungsbetriebe modernisiert, nicht nur um die Kosten zu senken, sondern um die vielfältigen Möglichkeiten zur Verbesserung der Werkstückeigenschaften auszunutzen.

Dr.-Ing. Joachim Wüning ist Leiter der Entwicklungsabteilung und Ing. Paul Saborosch ist Leiter der Versuchsabteilung der Firma J. Aichelin, Industrieofenbau, Korntal bei Stuttgart.

Aufkohlungsverfahren

In dem vorliegenden Bericht soll nur auf ein Spezialgebiet der Wärmebehandlungstechnik eingegangen werden, nämlich das der Einsatzhärtung. Bekanntlich kann man dem Stahl durch eine entsprechende Wärmebehandlung zwar die unterschiedlichsten Eigenschaften geben, aber zwischen dem Zustand höchster Härte und dem größter Zähigkeit muß immer ein entsprechender Kompromiß gefunden werden. Mit der Einsatzhärtung wird dem Konstrukteur die ideale Möglichkeit in die Hand gegeben, Teile mit zähem Kern und harter, verschleißfester Oberfläche zu verwenden. Eine ähnliche Kombination der Eigenschaften erzielt man beim Oberflächenhärten oder beim Härten von Verbundstahl. Bei diesen gasaufgekohlten, oberflächengehärteten oder auch aus Verbundstahl hergestellten Teilen (z. B. den Streichblechen der Pflüge) sind wegen des weichen Kernmaterials, das der Träger der Zähigkeit ist, Oberflächenhärten bis zu 800 Vickers (= 64 Rockwell) möglich und

¹⁾ Vorgetragen am 5. 4. 1963 von Dr.-Ing. J. Wüning auf der 21. Konstrukteurtagung in Braunschweig-Völknerode.

zulässig. Eine solche hohe Härte läßt sich bei Verschleißteilen aus durchgehärtetem Vollstahl, der aus Gründen einer genügend hohen Zähigkeit entsprechend hoch angelassen werden muß, nicht erzielen (max. Härte etwa 650 Vickers).

Bei der Einsatzhärtung wird Kohlenstoff in die Oberflächenschicht der schon bearbeiteten Werkstücke aus nicht härtbarem Stahl durch Diffusion hineingebracht. Die Aufkohlungstemperatur liegt im allgemeinen zwischen 850 und 950°C. Darunter ist die Diffusionsgeschwindigkeit zu gering, darüber wird der Verzug der Teile und die Konstruktion der Öfen problematisch. Die Dauer des Aufkohlungsprozesses ist im wesentlichen durch die Diffusionsgeschwindigkeit festgelegt. Nur bei geringen Einsatz-tiefen treten Abweichungen auf, weil dann der Kohlenstoffübergang an der Oberfläche eine Rolle spielt. Man verwendet normalerweise Einsatz-tiefen bis zu 5 mm. (Bei 900°C beträgt z. B. die Kohlungsdauer für 1 mm Einsatz-tiefe rund 6 Stunden.)

Teile der Oberfläche eines Werkstückes können vor der Aufkohlung durch geeignete Deckschichten geschützt werden, so daß diese Stellen nach der Härtung relativ weich bleiben. Der Konstrukteur sollte aber auf diesen aufwendigen Arbeitsgang möglichst wenig zurückgreifen. In manchen Fällen läßt sich durch partielles Weichglühen nach dem Härten derselbe Effekt erzielen. Die Härtung erfolgt am einfachsten direkt aus der Kohlungstemperatur, was normalerweise nur bei geeigneten Stählen möglich ist. Üblicherweise liegt nämlich die Einsatz-temperatur für die Härtung zu hoch. Es genügt auch nicht, die Temperatur auf die Härtetemperatur abzusenken, weil dabei das Austenitgefüge erhalten bleibt. Man muß eine Zwischenumwandlung vornehmen und dafür das Material auf 500 bis 600°C abkühlen und anschließend zur Härtung wieder erwärmen. Sollen vor dem Härten Operationen wie Einsatzdrehen usw. durchgeführt werden, dann müssen die Teile ganz abgekühlt werden. Die Doppelhärtung mit der jeweils richtigen Härtetemperatur für Kern und Rand wird selten angewandt.

Da man die Form der gehärteten Teile nur noch durch Richten oder Schleifen — beides teure Arbeitsgänge — geringfügig verändern kann, sind Maßnahmen zur Beeinflussung des Härteverzugs sehr wichtig. Vermeiden kann man ihn nicht, weil der Spannungszustand die Voraussetzung für die Härtesteigerung ist. Man versucht, den Verzug u. a. durch geeignete Konstruktion, richtige Anordnung der Teile im Aufkohlungs-Ofen, gleichmäßige Aufkohlung, gerichtetes Abschrecken und Auswahl des Abschreckmediums einzuschränken. Härtepressen oder Quetten sind nicht immer anwendbar. Die modernen Aufkohlungsverfahren bieten vor allem den Vorteil des gleichmäßigen Verzuges durch die absolut gleichartige Behandlung jedes einzelnen Teiles, so daß man ihn schon bei der Bearbeitung vorgeben kann.

Unter den Einsatzstählen nimmt die Bedeutung der direkt aus der Kohlungstemperatur härtbaren Chrom-Molybdänstähle (z. B. 20 Cr Mo 4) zu. Der Mehrpreis gegenüber den Chrom-Mangan-Stählen (z. B. 20 Mn Cr 5) wird durch die Vereinfachung des Verfahrens ausgeglichen. Einige große Automobilwerke haben deshalb viele Teile auf Cr-Mo-Stähle umgestellt.

Der Legierungsgehalt eines Einsatzstahles wird im wesentlichen durch die gewünschten Kerneigenschaften bestimmt. Die Härte und Verschleißfestigkeit der Oberfläche wird davon kaum beeinflusst. Lediglich bei unlegierten Materialien (z. B. C 10) und Wandstärken über ca. 8 mm wird bei der häufig verfahrensbedingten Ölhartung nicht mehr die volle Martensithärte erreicht.

Will man aus Kostengründen nicht zu legiertem Material übergehen, muß man in diesen Fällen das Karbonitrierverfahren anwenden, bei dem neben Kohlenstoff auch Stickstoff in die Oberfläche eindringt. Dadurch wird die Härte wesentlich gesteigert. Das Karbonitrieren kommt nur für geringe Einsatz-tiefen in Frage, weil sich nach längeren Zeiten spröde, nitridhaltige Oberflächenschichten bilden, die leicht abplatzen. Man karbonitiert deshalb Teile, die vornehmlich auf Verschleiß beansprucht werden. Für die Landmaschinenindustrie dürfte dieses billige Verfahren von großem Interesse sein, weil karbonitrierte Teile einen zusätzlichen Vorteil haben; sie rosten ohne Korrosionsschutz wesentlich langsamer.

Bei den bekannten Aufkohlungsverfahren wird der Kohlenstoff entweder von Pulver, einem flüssigen Salzgemisch oder einem Gasgemisch geliefert. Obwohl die Verfahren in diesem Sinne eingeteilt werden, sind die Eigenschaften des Kohlenstoffs in der Einsatzschicht von der Herkunft unabhängig. Auch die Diffusionsgeschwindigkeit des Kohlenstoffs ist konstant, so daß, abgesehen von geringen Einsatz-tiefen, die Kohlungszeiten bei entsprechenden Temperaturen gleich sind. Dagegen ergeben sich wesentliche Unterschiede in der Verfahrensweise.

Bei der Pulveraufkohlung, dem ältesten Verfahren, werden die Teile in Kohlungspulver eingebettet erwärmt. Das Ergebnis hängt u. a. von der Pulvermischung, der Art des Einpackens und damit von der Erfahrung des einzelnen ab, was für eine moderne Fertigung als Nachteil angesehen werden muß. Während des Verfahrens kann in den Aufkohlungsprozeß nicht mehr eingegriffen werden, die Direktabschreckung ist nur schwierig möglich, die Blankabhärtung überhaupt nicht. Neben dem Einsatzgut muß das Pulver und der Einsatzkasten aufgeheizt werden, was wärmewirtschaftlich ungünstig ist. Dagegen können Öfen einfachster Bauart verwendet werden.

Bei der Salzbad-aufkohlung werden die Teile in eine Salzschnmelze eingehängt, wobei die Erwärmung außerordentlich rasch und gleichmäßig erfolgt. Die Kohlungswirkung des Bades kann laufend kontrolliert und durch entsprechende Zusätze verändert werden, was jedoch empirisch geschieht und nicht automatisiert werden kann. Wärmewirtschaftlich ist das Verfahren ungünstig, weil die Salzoberfläche beträchtliche Wärmemengen abstrahlt. Es können ausschließlich Tiegelöfen angewendet werden, von denen mehrere in einer Reihe aufgestellt werden, wenn eine gewisse Mechanisierung angestrebt wird. Die Teile werden dann taktweise umgehängt. Zunehmende Schwierigkeiten bereitet die Beseitigung der cyansalzhaltigen Abwässer, weil die entsprechenden gesetzlichen Vorschriften immer strenger werden. Dagegen ist die partielle Aufkohlung, z. B. von Wellen und Hebeln an einem Ende, nur im Salzbad möglich. Ebenso hat dieses Verfahren in der Einzelfertigung unbestrittene Vorteile, weil in einem Bad gleichzeitig Teile mit unterschiedlicher Einsatz-tiefe behandelt werden können. Der Kapitalaufwand für einen einzelnen Tiegelofen ist relativ gering.

Die Vorteile der Gas-aufkohlung können wie folgt zusammengefaßt werden:

1. Sie bietet ofenbautechnisch die größten Möglichkeiten. Sämtliche gasdichten Ofentypen mit den verschiedensten Transportsystemen können eingesetzt werden, wodurch sich eine ideale Anpassung an die Fertigung ergibt. Die Entwicklung der modernen automatischen Aufkohlungsanlagen wurde dadurch überhaupt erst möglich.
2. Die Kontrolle der Kohlungsatmosphäre sowie deren Regelung kann automatisch erfolgen, wodurch der Prozeß unabhängig von den Erfahrungen des Bedienungs-personals wird.
3. Die Behandlung kann vollkommen unter Luftabschluß durchgeführt werden, so daß die Teile blank bleiben.
4. Das Verfahren ist, von der Einzelfertigung und Sonderfällen abgesehen, billiger als die beiden anderen.

Allerdings haben nicht alle Gas-aufkohlungsanlagen sämtliche angeführten Vorteile, aber die Anpassungsfähigkeit an die jeweiligen Notwendigkeiten unter Berücksichtigung des vorhandenen Kapitals ist gegeben.

Gas-aufkohlung

Schon die Herstellung der Kohlungsatmosphäre zeigt dies deutlich. Zwischen der aufwendigen Trägergasmethode mit automatischer Regelung des Kohlenstoffpotentials und der Direktbegasung durch Leuchtgas liegt ein weiter Spielraum.

Am einfachsten ist es, ein kohlenwasserstoffhaltiges Gas, wie Leuchtgas, Erdgas, Propan usw. direkt in den Ofenraum einzuführen, das sich dort spaltet und dabei Kohlenstoff abgibt. Man bezeichnet die Gas-aufkohlung ohne getrennten Gaserzeuger als Direktbegasung. Leider fällt der größere Teil des bei der Spaltung freiwerdenden Kohlenstoffs als Ruß aus, der nicht nur

die Reinigung der Teile erschwert, sondern auch die gleichmäßige Aufkohlung beeinträchtigen kann. Man setzt deshalb dem Kohlengas sauerstoffhaltige Stoffe zu, um den überschüssigen Kohlenstoff als Kohlenmonoxyd (CO) abzubinden. Dadurch kann auch das Kohlenstoffpotential im Ofen in gewissen Grenzen beeinflusst werden. Zur Karbonitrierung wird zusätzlich Ammoniak (NH₃) beigemischt.

Die Tropfaufkohlung mit Alkohol gehört ebenfalls zu den Direktbegasungsverfahren. Da die Alkohole selbst Sauerstoff in Form von OH-Gruppen enthalten, arbeitet man entweder mit Mischungen von Alkoholen mit verschiedenem Kohlenstoff-Sauerstoff-Verhältnis (z. B. Methylalkohol und Propylalkohol) oder ebenfalls mit Luft als Zusatz.

Als Vorteile der Direktbegasungsverfahren sind die Einfachheit und die relativ niedrigen Anschaffungskosten zu nennen; weiterhin die intensive Kohllegungswirkung, so daß bei Chargen mit großen Oberflächen kürzere Aufkohlungszeiten erzielt werden als beim Trägergasverfahren. Nachteilig wirkt sich die geringe Gasmenge aus, wodurch nur dichte Retortenöfen in Frage kommen. Öfen mit Schleusen eignen sich für die Direktbegasung wegen des fehlenden Spüleffekts nicht. Die Steuerung des Kohlenstoffpotentials im Ofen ist nur beschränkt möglich und mit einfachen Mitteln nicht zu automatisieren. Da die Spaltung der Kohlenwasserstoffe erst bei Temperaturen über 700°C stark zunimmt, können bei schweren Chargen mit entsprechend langen Aufheizzeiten Schwierigkeiten durch Oxydation entstehen. Dasselbe gilt für die Abkühlung.

Beim Trägergasverfahren kommen sämtliche Vorteile der Gasaufkohlung voll zur Geltung. Das Trägergas besteht aus Wasserstoff (meist 20 bis 40%), Kohlenmonoxyd (meist 15 bis 25%) und Stickstoff als Rest. Daneben sind Spuren von Wasserdampf (H₂O) und Kohlendioxyd (CO₂) vorhanden. Das Kohlenstoffpotential des Trägergases kann über das Verhältnis (CO)²/CO₂ und den damit gekoppelten Wasserdampfgehalt (% H₂O oder Taupunkt) genau eingestellt werden, **Bild 1**.

Da Trägergas bei den Kohllegungstemperaturen keinerlei Ruß abscheidet, solange keine Kohlenwasserstoffe darin enthalten sind, kann man in einen Ofen ohne Beeinflussung des Kohlenstoffpotentials jeweils soviel Trägergas einführen, wie es für die Abdichtung oder Schleusenspülung notwendig ist. Es schützt außerdem beim Aufheizen und Abkühlen die Teile vor Oxydation.

Dieses Verfahren ist nicht nur bei der Aufkohlung oder Wiederaufkohlung von randentkohltem Material vorteilhaft, sondern ermöglicht außerdem eine gleichmäßige Durchkohlung von Teilen bis zu einer Stärke von mehreren Millimetern. Zum Karbonitrieren kann dem Trägergas Ammoniak zugesetzt werden.

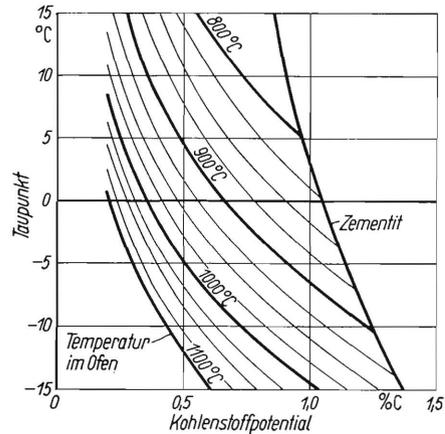


Bild 1. Beziehung zwischen Kohlenstoffpotential, Taupunkt und Temperatur einer Ofenatmosphäre mit 31% H₂ und 23% CO.

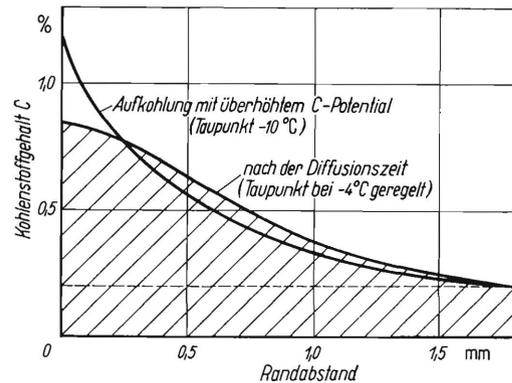


Bild 2. Aufkohlung mit geregeltm Kohlenstoffpotential (bei 900°C).

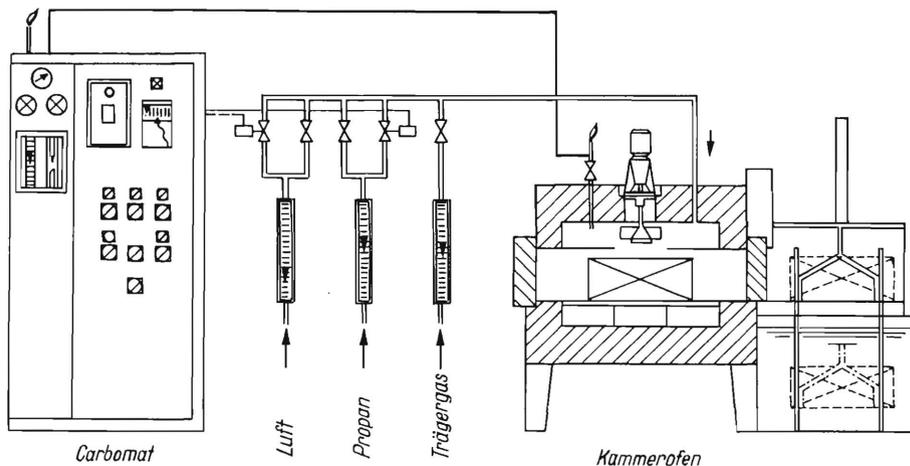


Bild 3. Schema einer Kohlenstoffpotentialregelung an einem Kammerofen mit dem Aichelin-Carbomat.

Während der Aufkohlung wird dem Trägergas zur Verstärkung der Kohllegungswirkung meist Propan bis zu 5% zugesetzt. Nach einer gewissen Zeit entsteht dann eine Randüberkohlung, die aber in der sich anschließenden sogenannten Diffusionsperiode wieder abgebaut werden kann, **Bild 2**. Der gewünschte Randkohlenstoffgehalt wird in dieser Zeit durch Regelung der Ofenatmosphäre eingestellt. Dafür wird die Propanzufuhr entsprechend gedrosselt oder sogar Luft in geringen Mengen dem Trägergas zugesetzt, **Bild 3**.

Die Trägergaszerzeugung war vor einigen Jahren noch problematisch, weil in vielen Fällen als wirtschaftliches Ausgangsgas nur Leuchtgas vorhanden war. Viele Mißerfolge haben die Ausbreitung der eleganten Trägergasmethode behindert. Heute steht überall billiges Propan von gleichmäßiger Zusammensetzung oder Erdgas zur Verfügung. Die Trägergaszerzeuger sind weiterentwickelt worden und können jetzt auch bedenkenlos in kleinen Betrieben eingesetzt werden, selbst wenn sie kein Personal mit Spezialkenntnissen haben.

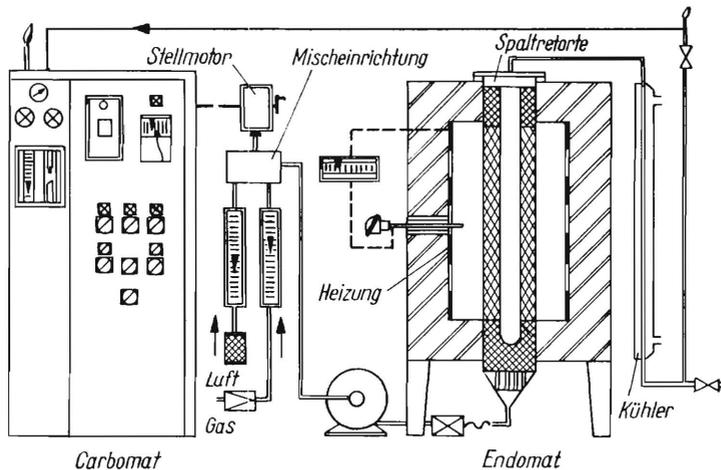


Bild 4. Schema der Regelung eines endothermen Schutzgaserzeugers mit dem Aichelin-Carbomat.

Zur Herstellung von Trägergas wird beispielsweise Propan und Luft in einem bestimmten Verhältnis so gemischt, daß bei der Reaktion die erwünschten geringen Mengen Wasserdampf und Kohlendioxyd, auf der anderen Seite aber auch kein Ruß entsteht. Die Spaltung vollzieht sich in einer mit Katalysator gefüllten Retorte bei etwa 1050°C , **Bild 4**. Da die Reaktion endotherm (wärmeverbrauchend) ist, muß die Retorte von außen beheizt werden, wofür Gas oder Elektrizität als Energie benützt werden kann. Das Kernstück der Anlage ist die Gemischregelung, die im Interesse einer gleichmäßigen Trägergaszusammensetzung und der einwandfreien Funktion der Anlage automatisch erfolgen sollte. In größeren Härtereien werden mehrere Anlagen zu einer Schutzgas-Zentrale zusammengefaßt, **Bild 5**.

Die Kosten der Trägergasherstellung hängen natürlich vom Propanpreis ab. Bei der Spaltung entstehen aus einem Kilogramm Propan $6,5 \text{ Nm}^3$ Trägergas. Bei einem Propanpreis von 30 Pf/kg sind das $4,6 \text{ Pf/Nm}^3$. Für Heizenergie, Kühlwasser,

Überwachung und Ersatzteile muß man ungefähr mit demselben Betrag rechnen, so daß sich die reinen Betriebskosten auf ungefähr 10 Pf/Nm^3 belaufen. Wenn auch die Kapitalkosten berücksichtigt werden sollen, muß man bei einer Anlage mittlerer Größe einen Preis von 20 Pf/Nm^3 Trägergas einsetzen. Im Verhältnis zu den Kosten der Kohlungsmittel Pulver, Salz oder Spezialalkohol ist das nicht viel. Selbst die Direktbegasung mit Propan und Luft lohnt sich nur bei kleinen Anlagen, bei denen die geringen Trägergasmengen spezifisch teurer wären.

Wie schon erwähnt, liegt einer der Vorteile der Gasaufkohlung in der Vielfalt der offenbautechnischen Möglichkeiten. In der Landmaschinentechnik müssen im wesentlichen Getriebeteile, Bodenwerkzeuge und Kleinteile einsatzgehärtet werden. Viele Kleinteile, wie Bolzen und Hebel können zur Erzielung verschleißfester Oberflächen in Schwing- oder Trommelretortenöfen im Gas behandelt und direkt gehärtet werden. Weitere Verfahrensschritte können angeschlossen werden, so daß sich eine automatische Wärmebehandlung von der Aufgabe bis zum fertig gewaschenen und angelassenen Teil ergibt, **Bild 6**.

Für Teile mit größeren Abmessungen und solche, die empfindlich gegen Oberflächenverletzungen sind, kommen nur Ofentypen in Frage, bei denen das Einsatzgut in besonderen Vorrichtungen aufgestapelt wird. Bei einer Durchstoß-Gasaufkohlungsanlage werden einzelne Roste mit den Werkstücken taktweise durch den Ofen und eventuell weitere Anlagenteile befördert. Diese teureren Einrichtungen sind nur bei großen Serien sinnvoll und sind heute hauptsächlich im Kraftfahrzeugbau anzutreffen. Nach einem ähnlichen Prinzip arbeiten die Kammeröfen, in denen sich aber nur jeweils ein Rost befindet. Wegen ihrer Vielseitigkeit finden sie heute auch schon in kleineren Betrieben Eingang. Sie können zum Aufkohlen, Karbonitrieren, Wiederaufkohlen, Blankhärten, Blanknormalisierung usw. benutzt werden. Sie eignen sich aber wegen der angebauten Schleuse nicht zur Direktbegasung und auch nicht für Teile von mehr als 500 mm Länge, die wegen des Verzuges im Ofen hängen müssen.

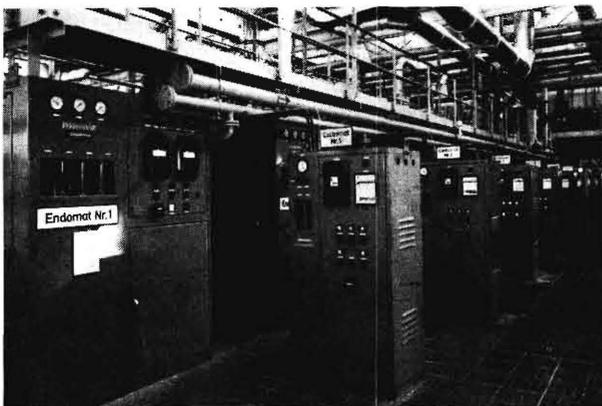


Bild 5. Kuhlungsgaserzeugung in einem Automobilwerk.

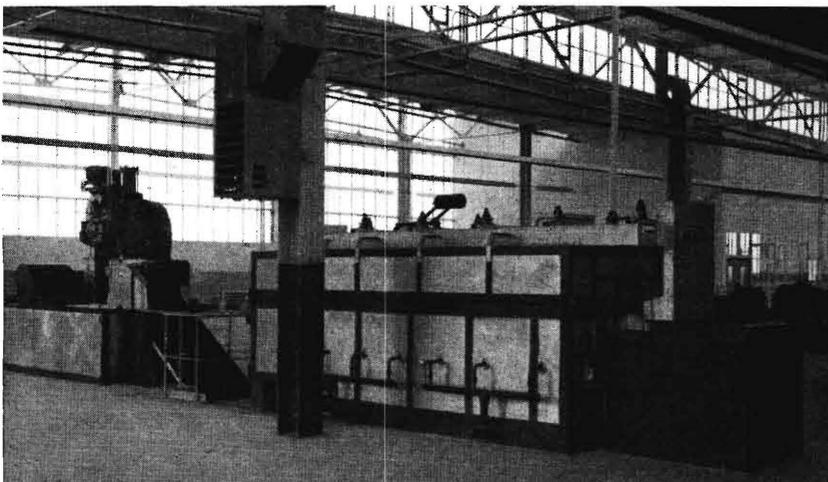


Bild 6. Wärmebehandlungsstraße mit Durchlauf-Schwingretortenöfen, Waschmaschine und Förderband-Anlaßöfen.

Vertikalretortenofen für die Gasaufkohlung

In dieser Hinsicht ist der Vertikalretortenofen, **Bild 7**, dem Kammerofen eindeutig überlegen und soll deshalb hier etwas genauer beschrieben werden. Er ist als Retortenofen schnell betriebsbereit, kann direkt begast werden und ist schon bis zu Tiefen von 4 Metern und Durchmessern von 1,5 Metern gebaut worden. Der unter dem Deckel angeordnete Umwälzer sorgt in Verbindung mit dem Gasleitzyylinder für eine gleichmäßige Bestromung der Charge mit Kohlungsgas, was außerordentlich wichtig ist. Die Beheizung kann mit elektrischer Energie, Gas oder Öl erfolgen. Nach der Einsatzbehandlung kann die Charge hochgezogen und wahlweise in einem Warmbad, in Öl oder Wasser abgeschreckt werden, wobei die geringe Oxydation während des Übersetzens in Kauf genommen werden muß, **Bild 8**. Die Charge kann aber auch mit der Retorte in eine Kühlgrube umgesetzt werden und dort unter Schutzgas vor dem Wiedererwärmen zum Härten ganz oder auch nur zur Zwischenumwandlung abkühlen. Auf diese Weise sind die unterschiedlichsten Wärmebehandlungen durchführbar, selbstverständlich auch Normalisieren, Weichglühen, Anlassen usw.

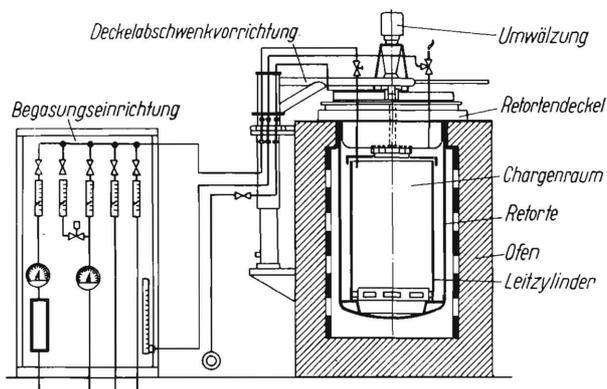


Bild 7. Vertikalretortenofen mit Begasungseinrichtung für Trägergas, Propan und Ammoniak (System Aichelin).

Dagegen muß als Nachteil angeführt werden, daß der Betrieb einer solchen Anlage nur mit einer relativ hohen Kranbahn möglich ist und daß besondere Fundamente notwendig sind. Die Schwierigkeiten, die beim Abschrecken großer Chargen auftreten können, kommen nicht zur Auswirkung, wenn der Retortenofen nur für die Aufkohlung benützt wird und die Härtung z. B. aus einem Drehherdofen in Härtepressen oder Quetten erfolgt.

Auch im Drehherdofen kann mit Trägergas gearbeitet und damit eine Verzunderung und Entkohlung vermieden werden. Der Nachteil, daß eine Retortenofenanlage nicht voll automatisiert werden kann, sollte nicht überbewertet werden, weil die Lohnkosten für das Umsetzen bei Einsatzzeiten von mehreren Stunden kaum ins Gewicht fallen.

Vertikalretortenöfen haben sich auch in der Landmaschinenindustrie gut bewährt. Neben Getriebeteilen können wegen des großen Nutzraumes z. B. auch Streichbleche und Pflugschare aufgekohlet werden. Die intensive Gasumwälzung begünstigt die Gleichmäßigkeit des Einsatzes, was für die nachfolgende, spannungsfreie Härtung in der Quette wichtig ist. Zur Erhöhung der Verschleißfestigkeit kann der Randkohlenstoffgehalt bis zur Bildung von Karbiden angehoben worden, wobei deren günstigste Ausbildung durch entsprechende Maßnahmen beeinflusst werden kann. Für den Erfolg der Einsatzbehandlung von Streichblechen sind außerdem die Werkstoffauswahl und das Verhältnis vom Kern zur Randzone maßgebend.

Die Kosten der Gasaufkohlung im Vertikalretortenofen können in weiten Grenzen schwanken. Sie hängen u. a. von der Einsatztiefe, der Ofengröße, der Form der Teile und damit der Ausnutzung des Ofenraumes sowie den Kosten für die Betriebsstoffe ab. Unter normalen Verhältnissen rechnet man bei einer Einsatztiefe von 1 mm mit Gesamtkosten (einschl. Kapitalkosten) in einer Höhe von 0,30 bis 0,50 DM je kg Einsatzgut.

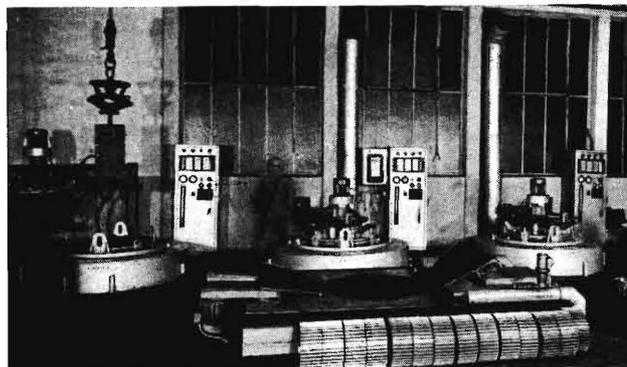


Bild 8. Vertikalretortenanlage.

Um deren Aufgliederung für Vergleiche mit anderen Verfahren zur veranschaulichen, wird eine Kostenrechnung als Beispiel gebracht.

a) Daten der Anlage

Die Aufkohlungsanlage soll aus einem gasbeheizten Vertikalretortenofen (System Aichelin) der Größe 70/100 mit den Nutzabmessungen von 760 mm Durchmesser und 1000 mm Höhe, einem Doppelkühlbehälter mit Wechselretorte und der dazugehörigen Schaltstation bestehen.

b) Aufkohlungsverfahren

Um eine Charge von 400 kg netto bei 900°C 1 mm tief aufzukohlen, wird eine Gesamtzeit (Umsetzen, Aufheizen, Aufkohlen, Diffundieren) von 10 Stunden benötigt. Danach werden die Teile mit der Retorte in den Doppelkühlbehälter umgesetzt, wo sie unter Trägergas vollkommen blank abkühlen.

c) Betriebskosten je 400 kg Charge

300 Nm ³ Leuchtgas	zu je DM 0,12	DM 36,00
15 kWh	zu je DM 0,10	DM 1,50
4 m ³ Kühlwasser	zu je DM 0,40	DM 1,60
25 Nm ³ Trägergas	zu je DM 0,20	DM 5,00
2 kg Propan	zu je DM 0,40	DM 0,80
4 Lohnstunden	zu je DM 4,00 + 150%	DM 40,00
Anteil für Instandsetzung u. Reparatur (1,70 DM/h)		DM 17,00

Betriebskosten je Charge	DM 101,90
Betriebskosten je kg Einsatzgut	DM 0,26

d) Kapitalkosten

Investitionskosten (einschließlich der Fundamente, Kranbau, Montage)	DM 100 000,00
Abschreibungsdauer	5 Jahre
Verzinsung	10%
Betriebsstunden	6000 pro Jahr
Kapitalkosten je Stunde	DM 4,18

e) Gesamtkosten

Gesamtkosten je Charge	DM 143,70
Gesamtkosten je kg Einsatzgut	DM 0,36

Dieses Beispiel bezieht sich auf die reine Aufkohlungsbehandlung, um den Vergleich mit der Pulveraufkohlung zu ermöglichen. Wenn die Werkstücke direkt abgeschreckt werden können, ergibt sich bei der Gasaufkohlung nur eine geringfügige Erhöhung dieser Kosten für den zusätzlichen Betrieb des Abschreckbades.

Zusammenfassung

Unter den modernen Wärmebehandlungsverfahren bietet die Gasaufkohlung besonders interessante Möglichkeiten im Hinblick auf Kostensenkung und Qualitätssteigerung. Ihre Anpassungsfähigkeit an die betrieblichen Verhältnisse ergibt einen weiten Spielraum vom einfachsten Ofen bis zur vollautomatischen Anlage. Als Beispiel wurde eine Vertikalretortenanlage näher beschrieben, weil diese vielseitig verwendbar ist. Wegen der verhältnismäßig geringen Investitionskosten dürfte sie auch bei kleineren Landmaschinenbetrieben in Frage kommen.