

FK INDUSTRIEOFENBAU +
SCHUTZGASTECHNIK GMBH

Durchlaufofen mit Drahtglieder-Förderband und Schutzgasausrüstung

Sonderdruck aus:
DRAHT, Coburg
Band 21, Nr. 11, Seiten 928-934

Durchlauföfen mit Drahtglieder-Förderband und Schutzgasausrüstung

Von T. F. Kohlmeier, Hagen

Einleitung

Die zunehmende Rationalisierung und Automatisierung bei der thermischen Behandlung von Kleinteilen führte zur Entwicklung von Durchlauföfen mit Drahtglieder-Förderband. Die kontinuierliche Betriebsweise ermöglicht besonders den Einbau derartiger Ofenanlagen in eine Fertigungslinie. Für das Schutzgas-Hartlöten ist der Durchlauföfen nicht mehr wegzudenken. Diese Bedeutung erlangten die Hartlötanlagen, weil das Lötgut den Ofen völlig blank, also oxyd- und fettfrei, verläßt und ohne weitere Behandlung sofort lackiert oder einer anderen Oberflächenvergütung unterzogen werden kann.

Weiterhin eignet sich der Förderband-Durchlauföfen besonders für das Blankglühen von Stahl, Edelmetallen, Buntmetallen und deren Legierungen. Natürlich muß die Schutzgasatmosphäre des Ofens auf den jeweiligen Verwendungszweck abgestimmt werden.

Als Schutzgas kommt Exogas, Endogas (I), Ammoniak-Spaltgas (II) oder Reinstwasserstoff (III) in Betracht. Wenn bei der Wärmebehandlung bereits feuchtes Schutzgas als Ofenatmosphäre ein zufriedenstellendes Resultat bewirkt, kann die Schutzgaserzeugung direkt im Ofenraum erfolgen. Durch den Einbau des Schutzgasgenerators in den Ofen wird die Wirtschaftlichkeit der Anlage gegenüber Ausrüstungen mit separatem Schutzgas-erzeuger etwas günstiger. Es muß jedoch berücksichtigt werden, daß die Erzeugung von Schutzgas eine Zuführung oder Ableitung von Wärme erfordert. Die eingebaute Schutzgasanlage beeinflusst deshalb die genaue Temperaturregelung des Ofens.

Oft können die Ofenanlagen für Behandlungstemperaturen bis 1100° C ausgelegt werden. Neben Kleinteilen können vorteilhaft auch Stangen, Rohre und Bleche durchgesetzt werden. Selbst sehr lange Rohre mit Abmessungen bis 10 m können erfolgreich geblüht werden. Die Durchsatzleistung beträgt in der Regel 50 bis 500 kg/h netto.

Der nachfolgende Bericht befaßt sich mit einem neu entwickelten Durchlauföfen mit Drahtglieder-Förderband, der es ermöglicht, Chrom-Nickel-Stähle blank zu glühen. Die Blankglühanlage wurde in einem Betrieb zur Fertigung von Rohrheizkörpern mit Edelstahlmantelrohr errichtet. Die Maßnahmen zur weitgehenden Automatisierung, die sich ergaben, werden dargestellt. An Hand dieses Beispiels sollen die mannigfaltigen Einsatzmöglichkeiten der Ofenanlagen mit Drahtglieder-Förderband aufgezeigt werden.

Aufgabenstellung

Die Glühanlage soll im Fertigungsfluß bei der Fabrikation von Rohrheizkörpern eingeordnet werden. Folgende Verfahrensschritte umfaßt der gesamte Fertigungsfluß:

- Einziehen des Heizleiters in das Mantelrohr;
- Füllen der Rohre mit Isoliermasse (MgO) und Verschließen der Rohrenden mit Stopfen;
- Komprimieren der gefüllten Rohre durch Reduzierwalzwerk;
- Glühbehandlung;

Anschlußteile anbringen und Befestigungsstücke auflöten;

Biegen der Rohrheizkörper;

Prüfen und Stempeln.

Durch die Glühbehandlung sollen die Spannungen und Verfestigungen von der vorhergegangenen Verformung beseitigt werden. Die Rohrheizkörper dürfen sich durch die thermische Behandlung nicht verziehen und müssen den Ofen blank verlassen. Beim Glühvorgang sollen die Verschlußstopfen verbrennen, wobei Rückstände an den Rohrheizkörpern nicht vorkommen dürfen. Die Oberfläche der Heizelemente muß nach dem Glühen derartig oxydfrei sein, daß die Befestigungsstücke ohne weitere Behandlung aufgelötet werden können. Für das Biegen der Rohrheizkörper in die jeweils erforderliche Form ist es wichtig, daß das Mantelrohr weichgeglüht ist und nicht zurückfedert.

Die zum Glühen vorbereiteten Heizkörper haben einen Durchmesser von 8 mm und eine Länge von 400 bis 2000 mm. Der Werkstoff für das Mantelrohr ist rostfreier Stahl mit folgenden Legierungskomponenten

$$C \leq 0,1, Si \leq 1,0, Mn \leq 2,0,$$

$$Cr 18 \%, Ni 9 \%, Ti < 5 \times 10^{-2} \%$$

Die netto Durchsatzleistung für Rohrheizkörper soll 130 kg/h entsprechend etwa 500 m/h betragen.

Zur Aufgabenstellung gehört die vollautomatische Beschickungs- und Entnahmevorrichtung. Die einzeln, mit einer bestimmten Taktfolge, vom Reduzierwalzwerk kommenden Heizkörper werden in der Beschickungsvorrichtung gespeichert und dann satzweise auf das Förderband weitergegeben. Das behandelte Glühgut verläßt den Ofen satzweise und muß von der Entnahmevorrichtung im vorgegebenen Takt wieder vereinzelt werden.

Reaktionsbetrachtung

Zur Vermeidung der unerwünschten Oxydation der Rohrheizkörper muß das Glühen unter Schutzgasatmosphäre durchgeführt werden. Da nichtrostende Stähle auch gegen Aufkohlung empfindlich sind, weil hierdurch die Korrosionsbeständigkeit verringert wird, kommt Ammoniak-

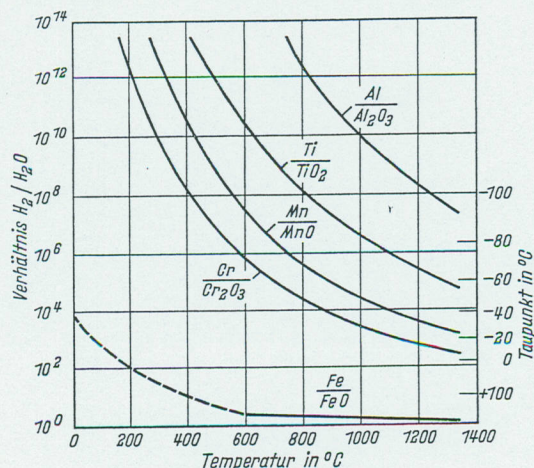


Bild 1 Temperatur-Taupunkt-Funktion verschiedener Metall/Metalloxid-Gleichgewichte

Spaltgas als Ofenatmosphäre in Betracht. Das Schutzgas muß sehr trocken sein, um eine Oxydation zu verhindern. Der zulässige Gehalt an Wasserdampf im Spaltgas wird durch die Gleichgewichtsbeziehung zwischen den Verhältnissen von H_2/H_2O und Metall/Metalloxyd bestimmt. Der Taupunkt muß niedriger sein als das aktivste Element des legierten Stahles. In Bild 1 sind die verschiedenen Gleichgewichtsbedingungen als Taupunkttemperatur-Funktion dargestellt.

Die Rohrheizkörper aus austenitischem Chrom-Nickel-Stahl sind mit Titan stabilisiert und deshalb besonders schwierig blank zu glühen (IV). Titan weist eine erheblich größere Affinität zum Sauerstoff auf als Chrom. So ist im Bereich, in dem das Chromoxyd bereits instabil ist, noch die Bildung einer Oxydschicht durch das TiO_2 möglich. Bei einer Glüh-temperatur von $1100^\circ C$ ist ein Taupunkt von $-20^\circ C$ ausreichend, um die Bildung von Chromoxyd zu verhindern; dagegen erfordert die Vermeidung von Titanoxyd bei dieser Behandlungstemperatur bereits einen Taupunkt von $-80^\circ C$. Mit fallender Glüh-temperatur nimmt die Möglichkeit einer Reaktion zwischen Wasserdampf und den Metallen zu, so daß bei einer Temperatur von $800^\circ C$ ein Taupunkt von $-50^\circ C$ bzw. $-100^\circ C$ erforderlich wird. Der Reaktionsablauf wird jedoch mit geringerer Temperatur träger. Bei etwa $300^\circ C$ ist die Oxydationsgeschwindigkeit durch den im Wasserdampf gebundenen Sauerstoff derartig gehemmt, daß eine Oxydation praktisch nicht mehr vorkommt. Freier Sauerstoff aus der Luft wirkt über $180^\circ C$ oxydierend auf das Glühgut. Die Rohrheizkörper müssen deshalb im Ofen bis zu einer Temperatur von $150^\circ C$ unter Schutzgasatmosphäre abgekühlt werden.

Ausschlaggebend für das Erzielen einer möglichst blanken Oberfläche beim Glühen von Heizkörpern aus titanstabilisierten Chrom-Nickel-Stahl ist der Taupunkt des Schutzgases, die Höhe der Glüh-temperatur sowie die Geschwindigkeit für das Aufheizen und Abkühlen des Glühgutes. Um ein zu starkes Anwachsen der Oxydschicht und die daraus resultierende Verfärbung der Rohrheizkörper zu vermeiden, muß die Ofenatmosphäre extrem trocken sein und gleichzeitig sollten eine hohe Glüh-temperatur sowie kurze Aufheiz- und Abkühlzeiten erstrebt werden. Eine Oxydschicht ab etwa $250 \text{ \AA}$ Stärke wird bereits durch mattes oder verfärbtes Aussehen der Oberfläche sichtbar.

Durchlauföfen mit Drahtglieder-Förderband

Der Durchlauföfen ist eine gasdichte, für den Betrieb mit Ammoniak-Spaltgas als Schutzgasatmosphäre geeignete Ofenkonstruktion. Die Anlage besteht aus dem Beschickungstisch mit Förderband-Antriebsstation, der Einlaufschleuse, dem beheizten Ofenteil, der Kühlzone, der Auslaufschleuse, der Band-Umlenkstation mit Entnahmevorrichtung und der Regel- und Schaltanlage. Bild 2 und Bild 3 zeigen einen Längs- bzw. einen Querschnitt durch die elektrisch beheizte Ofenanlage.

Die Rohrheizkörper werden an der Einlaufseite durch eine Beschickungsmaschine vollautomatisch auf das Förderband aufgelegt und kontinuierlich durch die gesamte Ofenanlage transportiert. In Abhängigkeit von der Belegungsdichte auf dem Förderband muß die Geschwindigkeit des Transportbandes verändert werden können. Der Antriebsmotor ist deshalb mit einem stufenlos regelbaren Getriebe (im Bereich von 5 bis 30 m/h) ausgerüstet,

so daß die erforderliche Verweilzeit der Rohrheizkörper im Ofen eingestellt werden kann. In der Antriebsstation hat die angetriebene Rolle einen besonders großen Durchmesser. Auf diese Weise wird die Spannkraft, die die Mitnahme des Bandes auf der Antriebstrommel gewährleisten soll, klein gehalten. Für die Mitnahme ist weiterhin der Reibungsfaktor zwischen Trommel und Band maßgebend. Zur Erzielung eines günstigen Verhältnisses ist die Lauffläche der Trommel mit Gummi beschichtet.

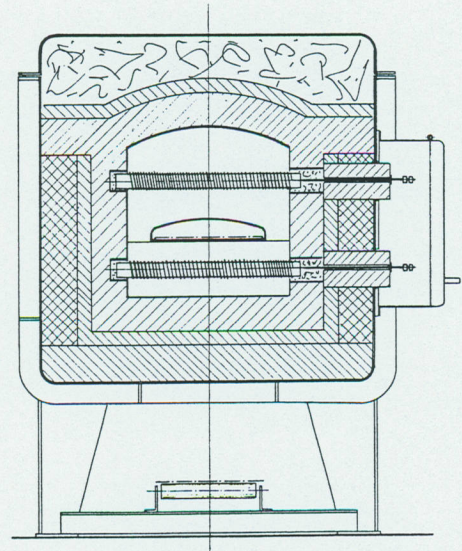


Bild 3 Querschnitt zu Bild 2

Der größten Beanspruchung in der Anlage ist das Förderband ausgesetzt. Es wird beim Durchlaufen der Heizzone auf $1100^\circ C$ erhitzt und in der anschließenden Kühlzone auf etwa $100^\circ C$ abgekühlt. Beim Rücklauf des endlosen Bandes unter dem Ofen kühlt das Band schließlich auf Raumtemperatur ab, bevor es wieder in den Ofen gelangt. Man kann bei durchgehendem Betrieb der Anlage damit rechnen, daß das Band in einem Jahr etwa 3000 mal durch den Ofen läuft. Die Verzunderung des Bandes ist gering, da im Ofen ständig eine stark reduzierende Atmosphäre ist. Wichtigste Eigenschaft für die Haltbarkeit des Drahtglieder-Förderbandes ist die Warmfestigkeit, d. h. die Belastbarkeit bei der zur Anwendung kommenden Temperatur.

Als Fördergurt wurde ein Gliederband aus Runddraht mit gewellten Querstäben und Rinnenkante gewählt. Durch die Wellung der Querstäbe liegen die Drahtspiralen nicht dicht an dicht, sondern werden um ein bestimmtes Steigungsmaß auseinandergehalten. Eine Breitenverringerng des ursprünglich 400 mm breiten Bandes im Laufe der Betriebszeit konnte dadurch weitgehend verhindert werden. Zur Verbesserung der Laufeigenschaften trug die Verwendung von wechselweise links und rechts geflochtenen Spiralen bei, so daß das seitliche Wanderungsspiel in engen Grenzen gehalten wurde. Das Band erhielt beidseitig eine 20 mm hohe Rinnenkante aus gestanzten Blechgliedern, die es ermöglichten, die volle Bandbreite zu belegen ohne Risiko für ein Abwerfen der Rohrheizkörper. Zur Veranschaulichung zeigt Bild 4 ein Runddrahtgliederband mit gewellten Querstäben.

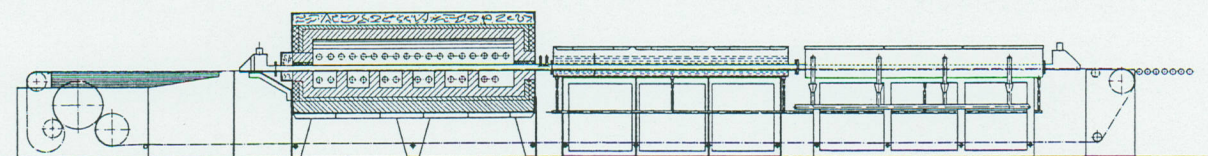


Bild 2 Schnittbild eines elektrisch beheizten Durchlaufofens mit Drahtglieder-Förderband

Auf Grund der hohen Forderung bezüglich Reinheit der Ofenatmosphäre ist der Ofen mit einer gasdichten Muffel ausgeführt. Damit wird der schädliche Einfluß des Mauerwerks von dem Schutzgas ferngehalten. So wird verhütet, daß das in den feuerfesten Steinen enthaltene Fe_2O_3 vom Wasserstoff reduziert wird und durch Wasserdampfbildung den Taupunkt des Schutzgases unzulässig verschlechtert. Wenn beispielsweise vom Mauerwerk nur 1 gr H_2O abgegeben wird, würde sich dadurch der Taupunkt von etwa 100 Nm^3 Schutzgas von -90° auf -55° C verschlechtern.

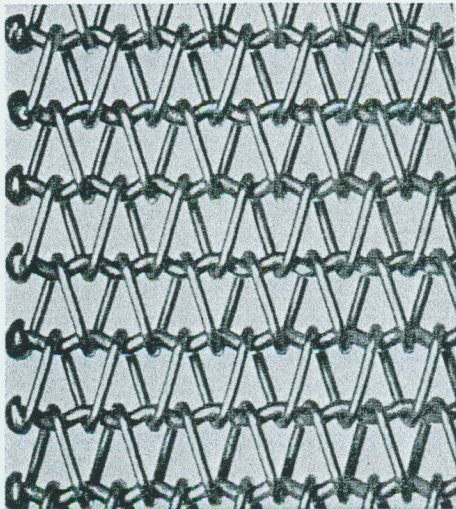


Bild 4 Förderband aus Runddrahtglieder

Durch den Einbau der Muffel ergibt sich weiterhin der Vorteil, daß der gasgefüllte Ofenraum gering bleibt. Ammoniak-Spaltgas besteht aus 75 Volumen-% Wasserstoff und kann mit Luft explosive Gemische bilden. Bei dem kleinen Ofenraumvolumen besteht jedoch keine Gefahr durch das Schutzgas, selbst wenn durch ein Versagen der Sicherheitsausrüstung im Ofen ein Gemisch aus Wasserstoff und Luft entsteht, das sich entzündet.

Die Muffel ist aus einer hitzebeständigen Chrom-Nickel-Legierung gefertigt und mit einem verstärkten Boden versehen. Stützbänke in der Ofenausmauerung verhindern ein Durchbiegen der Muffel. Sicken in der oberen Hälfte der Muffel erhöhen die Stabilität. Zur freien Wärmeausdehnung ist die Muffel lediglich mit der Kühlzone gasdicht verschraubt und kann sich durch die Einlaufschleuse unbehindert ausdehnen. Es konnte beim Aufheizen eine Verlängerung der Muffel von über 50 mm beobachtet werden.

Über und unter der Muffel sind die elektrischen Heizelemente freistrahrend angeordnet. Die Widerstandsdrähte sind auf keramische Tragrohre gewickelt, die bei einer Stützweite von 500 mm stark belastet sind. Haarnadelförmig sind jeweils zwei Heizspiralen zusammengefaßt. Diese Doppelheizstäbe können von einer Seite des Durchlaufofens leicht ausgewechselt werden. Ein Austausch der Heizelemente ist auch während der Betriebszeit der Anlage möglich.

Durch die Installation von Heizelementen auch unterhalb der Muffel kann eine große Heizleistung untergebracht werden. Die sinnvolle Anordnung der Heizspiralen ergibt sehr kurze Aufheizzeiten und gleichmäßige Temperaturfelder im Ofenraum. Selbst sehr lange Rohrheizkörper verziehen sich während der Glühbehandlung nicht. Für die Oberflächengüte ist es günstig, wenn die Aufheizgeschwindigkeit möglichst hoch ist. Deshalb ist die Heizleistung an der Einlaufseite besonders konzentriert untergebracht. Die Heizeinrichtung ist in zwei völlig unabhängige Regelzonen aufgeteilt, wobei in der kurzen Auf-

heizzone 45 kW und in der nachfolgenden Haltezone 30 kW angeschlossen sind. Als Heizleiterwerkstoff hat sich die Legierung mit der Zusammensetzung 80 Ni und 20 Cr gut bewährt. Bei 70 V Spannung der Heizelemente ergaben sich große Heizleiterquerschnitte, die selbst bei ungünstigen Betriebsverhältnissen eine lange Lebensdauer sicherstellen. Einer genau arbeitenden Temperaturregelung muß bei der hohen Arbeitstemperatur des Glühofens große Bedeutung beigemessen werden, da die verschiedenen Ofenbauwerkstoffe zum Teil thermisch stark belastet sind.

Als Temperaturfühler wurden Thermoelemente vom Typ PtRh-Pt eingesetzt, weil NiCr-Ni bzw. Chromel-Alumel Thermopaare nicht die erforderliche Genauigkeit und Sicherheit bei Ofenraumtemperaturen über 1100° C gewährleisten. Schwankungen der Raumtemperatur an der Vergleichsstelle haben einen störenden Einfluß auf das Meßergebnis. Es ist deshalb ein Vergleichsstellenkorrektor eingebaut.

Für die Temperatursteuerung wurde die Zweipunkt-Regelung vorgesehen. In den Meßkreisen der Temperaturregler ist zur Anpassung des Reglers auf die Regelstrecke eine elektronische PID-Rückführung geschaltet. Die Schnelligkeit, Stabilität und Genauigkeit der Regelung wird durch das PID-Verhalten erhöht.

Zum Überwachen des Thermoelementkreises dient eine Thermoelementbruchsicherung.

An die beheizte Ofenzone schließt unmittelbar die Kühlzone an. Die Rohrheizkörper müssen bis auf etwa 150° C heruntergekühlt werden, so daß sie beim Austritt an die Luft nicht mehr oxydieren. Beim Abkühlen wird mit geringer werdender Temperaturdifferenz die Wärmeübertragung durch Strahlung aufgehoben. Durch den ungünstigen Wärmeübertragungsvorgang wird die Kühlzone etwa doppelt so lang wie die beheizte Ofenzone.

Die Kühlzone ist in mehrere Sektionen unterteilt, die aus Blechkästen mit einem Doppelmantel bestehen. Zwischen Innen- und Außenwand strömt Kühlwasser, das ständig frisch zugeführt wird. Leitbleche und Ventile zur Verteilung des Kühlwassers sowie Überlaufstellen sind derartig angeordnet, daß die Rohrheizkörper nach dem Glühprozeß besonders schnell abkühlen. Durch die forcierte Kühlung wird die Oberflächengüte der Rohrheizkörper noch verbessert. Der Innenmantel der wassergekühlten Kammern besteht aus rostfreiem Stahl.

Die Ofenanlage ist an Ein- und Auslaufseite mit einer Schleuse versehen. Es sind nicht dichtschießende Kammern, sondern Vorrichtungen mit mehreren hitzebeständigen Vorhängen, die den Ofenquerschnitt abdecken. Weiterhin ist eine in der Höhe verstellbare Tür angebracht. Der Bedarf an Schutzgas ist von dem freien Ofenquerschnitt abhängig, so daß auf eine möglichst gute Abdichtung geachtet werden muß. Das Schutzgas ist um ein Vielfaches leichter als Luft und hat deshalb das Bestreben, schnell nach oben zu steigen. An der Austrittsöffnung der Schleuse dringt die Luft von unten ein und drückt den Schutzgasstrom nach oben. Flache Querschnitte erfordern zur Verhinderung des Lufteintritts daher eine erheblich geringere Schutzgasmenge als hohe Querschnitte mit gleichem Flächeninhalt. Der Schutzgasverbrauch ist also nicht nur von der Anzahl der Flächeneinheiten abhängig, sondern auch vom Verhältnis der Breite zur Höhe des Querschnittes.

Die gesamte Schutzgasmenge wird an einer einzigen Anschlußstelle dem Ofenraum zugeführt. Dieser Punkt liegt zwischen dem beheizten Ofenteil und der Kühlzone. Um eine kontrollierte Verteilung des Schutzgases in Ein- und Auslaufrichtung zu erhalten, besteht die Zuführung aus zwei Leitungen mit Durchflußmengenmesser und Regelventil. Durch Düsen wird das Schutzgas in entgegengesetzter Richtung eingeblasen, so daß zwei Strömungen im Ofenraum herrschen. Eine genauere Betrachtung der

Vorgänge, die sich aus der Strömungsrichtung der Ofenatmosphäre ergeben, zeigt, wie wichtig dieser Faktor für den Blankglühbetrieb ist. Das kalt eingespeiste Schutzgas wird einerseits durch den Glühraum zur Einlaufschleuse gedrückt und andererseits durch die Kühlzone zur Auslaufseite. Entgegen der Förderrichtung des Glühgutes strömt das Schutzgas in die Glühmuffel und wird durch das auf 1100° C erwärmte Förderband und die Rohrheizkörper erhitzt. Das Förderband und die Heizkörper kühlen dabei gleichzeitig ab, bevor sie in die Kühlzone gelangen. Das Schutzgas nimmt in der Glühzone die eingestellte Ofenraumtemperatur an und wirkt reduzierend auf die Chrom-Nickel-Rohrheizkörper. In der Aufheizzone des Ofens werden durch das Schutzgas die Verunreinigungen an Glühgut und Förderband entfernt. Unter Verunreinigung sind neben Ölen, Fetten oder Ziehmittelresten auf den Rohrheizkörpern auch durch Adhäsion anhaftender Sauerstoff und Feuchtigkeit zu verstehen. Auch die Stopfen aus Kunststoff, die seit einem vorausgegangenen Fertigungsschritt die Enden der Rohrheizkörper verschließen, müssen entfernt werden. Sämtliche Verunreinigungen (einschließlich der Stopfen) lösen sich und verdampfen in der Aufheizzone des Ofens durch die **Einwirkung von Temperatur und Ofenatmosphäre**. Es verbleiben keine Rückstände auf der Oberfläche der Rohrheizkörper. Die gasförmigen Verunreinigungen werden

Rollgang wird durch einen berührungslosen Schalter automatisch ausgelöst. In Abhängigkeit zur Länge der Rohrheizkörper kann eine Anschlagklappe auf dem Rollgang verstellt werden.

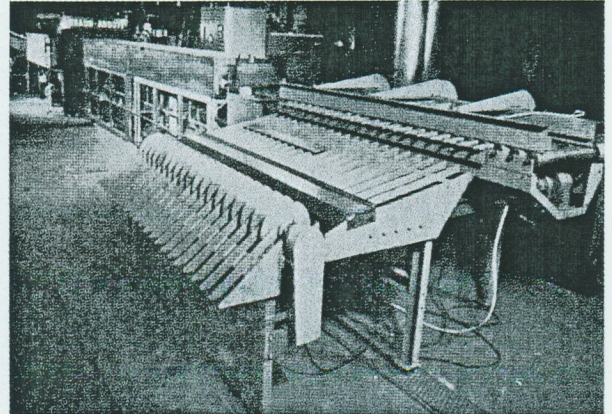


Bild 6 Entnahmeseite des Durchlaufofens
rechts: kipper Rollgang
links: Vereinzlungswalze, im Hintergrund Kühlzone

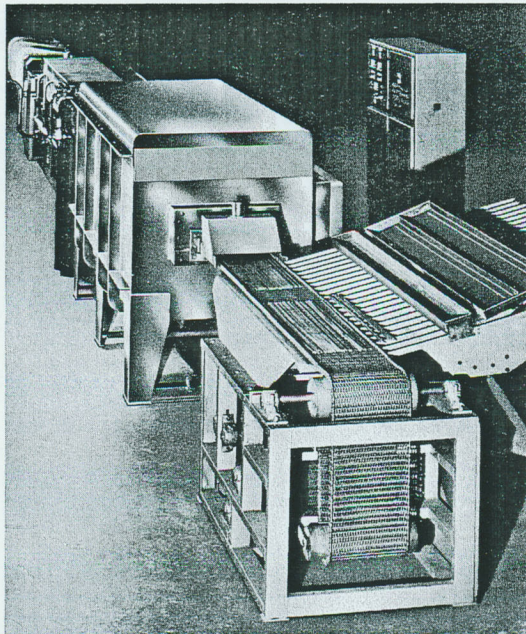


Bild 5 Förderband-Durchlaufofen
Im Vordergrund die Beschichtungsseite mit Antriebsstation und Chargiervorrichtung

von dem Schutzgasstrom mitgerissen, in die Einlaufschleuse geleitet und dort abgefackelt. Der Schutzgasstrom, der durch die Kühlzone zur Auslaufschleuse gerichtet ist, wird durch die Verunreinigungen nicht beeinflusst.

Die extremen Forderungen an die Ofenatmosphäre in der Kühlzone, um ein zufriedenstellendes Blankglühen zu erzielen, können somit erfüllt werden.

An der Auslaufseite der Ofenanlage befindet sich die Umlenkstation für das Drahtgitter-Förderband. Daran anschließend ist eine vollautomatische Entnahmevorrichtung installiert. Die Entnahmevorrichtung besteht aus einem Rollgang, der mittels Getriebemotor angetrieben wird. Durch ein Elektroverstellgerät läßt sich der gesamte Rollgang seitlich abkippen. Weiterhin gehört zur Entnahmevorrichtung ein Speicher und eine Vereinzlungswalze für die Rohrheizkörper. Der Kippvorgang für den

Für die Vereinzlung der auf dem Speicher abgekippten Rohrheizkörper wird die Taktzeit stufenlos geregelt. Ein Zählwerk für die Vereinzlungstakte gibt nach Ablauf einer bestimmten Anzahl einen Impuls zur Steuerung der Beschickungsvorrichtung an der Einlaufseite des Ofens. Zur besseren Veranschaulichung der gesamten Ofenanlage sollen die Bilder 5 bis 7 dienen.

Schutzgaserzeuger

Die Arbeitsweise einer NH_3 -Spaltanlage ist schematisch in Bild 8 dargestellt. Flüssiges NH_3 wird einem Verdampfer zugeführt, in dem die Umwandlung zur Gasphase erfolgt. Dabei entstehen aus 1 kg NH_3 etwa 1,3 Nm^3 Ammoniakgas. Ein Sicherheitsventil verhindert einen unzulässigen Druckanstieg und schützt somit den Verdampfer, wenn die Druckminderer für flüssiges NH_3 nicht einwandfrei arbeiten. Das gasförmige NH_3 wird zunächst durch einen Druckminderer auf einen konstanten Arbeits-

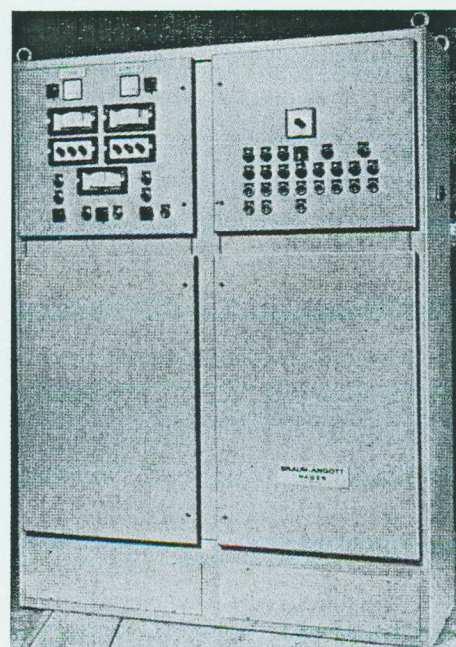


Bild 7 Schaltschrank für Durchlaufofen mit automatischer Transportausrüstung

druck von 0,5 atü reduziert. Das Ammoniakgas wird über ein Magnetventil und Mengenmesser den Reaktionsretorten zugeleitet.

Die Durchflußmengen können durch Ventile geregelt und an den Mengenmessern kontrolliert werden, so daß eine gleichmäßige Beaufschlagung der einzelnen Retorten gewährleistet ist. Ein Druckwächter schützt die Anlage vor Überdruck und wirkt auf das Magnetventil, so daß die Gaszufuhr automatisch abgesperrt wird.

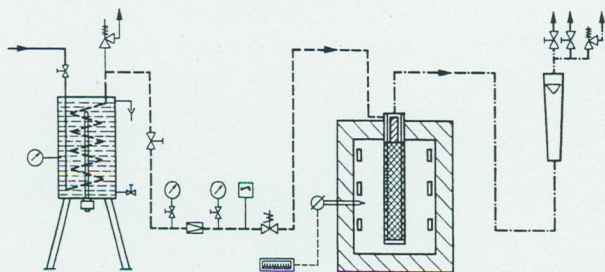
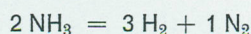


Bild 8 Aufbau einer Ammoniak-Spaltanlage

— NH₃ flüssig
 - - - NH₃ gasförmig
 - · - · Spaltgas { 75 % H₂
 25 % N₂

In den Reaktionsretorten wird das gasförmige Ammoniak endotherm nach der Gleichung



bis zum temperaturabhängigen Gleichgewicht gespalten, wobei sich ein Gas aus etwa 75 Vol.-% H₂ und 25 Vol.-% N₂ ergibt. Die Spaltung erfolgt in Anwesenheit eines Nickel-Katalysators bei einer Temperatur von 1000° C.

Durch die Spaltung verdoppelt sich das Gasvolumen. Die Retorten werden mit elektrischen Widerstandselementen beheizt. Zur Minderung des Stromverbrauches wird die Heizkammer mit einer guten Wärmeisolierung ausgestattet. Die Temperatur in der Heizkammer wird durch ein Thermoelement gemessen und die Heizung über einen Regler gesteuert. Der Temperaturregler ist mit Kontakten für maximale und minimale Arbeitstemperatur ausgerüstet. Nach Austritt aus den Retorten gibt das heiße Spaltgas im Verdampfer den größten Teil seiner fühlbaren Wärme ab, wodurch dem NH₃ die erforderliche Verdampfungswärme zugeführt wird. Das kalte Spaltgas wird über einen Durchflußmengenmesser einer Adsorptions-

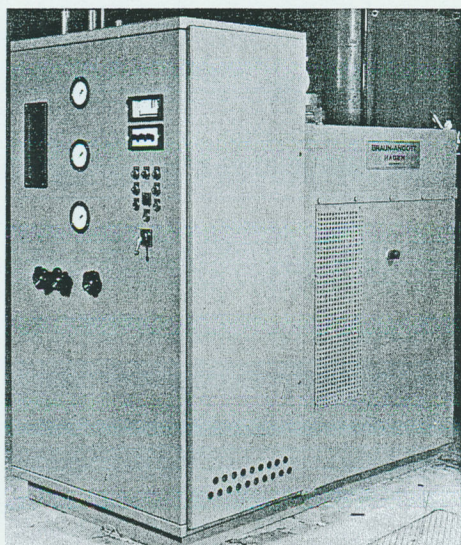


Bild 9 Ammoniak-Spaltanlage

anlage zur weiteren Reinigung und Trocknung zugeleitet. Zwei Absperrventile bieten die Möglichkeit, das Spaltgas auch ins Freie zu blasen, was bei der Inbetriebnahme der Anlage erforderlich ist.

Bild 9 zeigt die Ammoniak-Spaltanlage.

Das theoretische Gleichgewicht vom NH₃-Restgehalt im Spaltgas in Abhängigkeit von der Temperatur zeigt Bild 10. Da die dynamische Reaktion beim Spalten nicht vollständig bis zum temperaturabhängigen Gleichgewicht abläuft, verbleibt ein größerer NH₃-Restgehalt im Spaltgas als der Gleichgewichtswert. Der wirkliche Restgehalt wird vom Gasdruck und besonders von der Verweilzeit im Katalysator beeinflusst. Die moderne Konzeption der Spaltanlage ergab günstige Reaktionsbedingungen, so daß der Restgehalt nur 50 ppm NH₃ betrug.

Der Feuchtigkeitsgehalt im Spaltgas hängt direkt vom Wassergehalt des angelieferten Ammoniaks ab und kann durch den Spaltprozeß nicht verändert werden. Bild 11 zeigt die Abhängigkeit des Wassergehaltes im NH₃ zum Taupunkt des daraus hergestellten ungetrockneten Spaltgases.

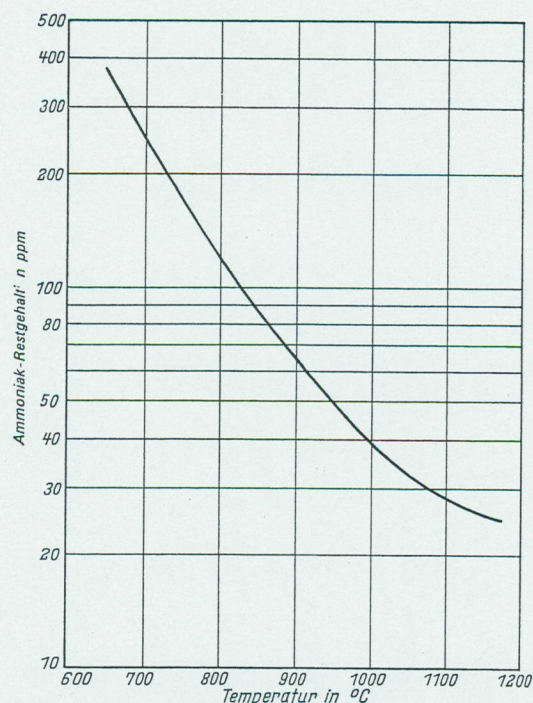


Bild 10 Gleichgewichte für den NH₃-Restgehalt, abhängig von der Temperatur

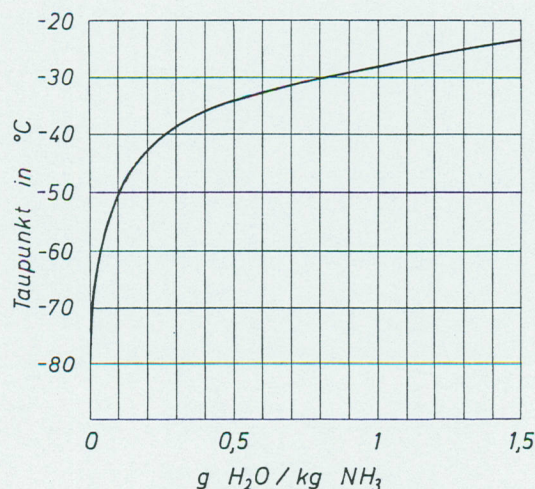


Bild 11 Wassergehalt im flüssigen Ammoniak und Taupunkt des daraus hergestellten ungetrockneten Spaltgases

Das flüssige Ammoniak wird mit einem Feuchtigkeitsgehalt von 0,05 Gew.-% H_2O angeliefert, woraus ein Taupunkt von -34°C resultiert.

Die Reinheit des Ammoniak-Spaltgases für das Blankglühen von titanstabilisiertem Chrom-Nickel-Stahl ist nicht zufriedenstellend, so daß ein Adsorber nachgeschaltet werden muß. Durch den Einsatz von Molekularsieben (V) als Adsorbens kann gleichzeitig H_2O und der NH_3 -Restgehalt entfernt werden.

Bild 12 zeigt den schematischen Aufbau einer Adsorptionsanlage zur kontinuierlichen Trocknung und Reinigung von Ammoniak-Spaltgas. Die Anlage besteht hauptsächlich aus zwei mit Molekularsieben gefüllten Behältern, die mit Vierwegventilen verbunden sind und weiterhin aus dem Regenerationssystem.

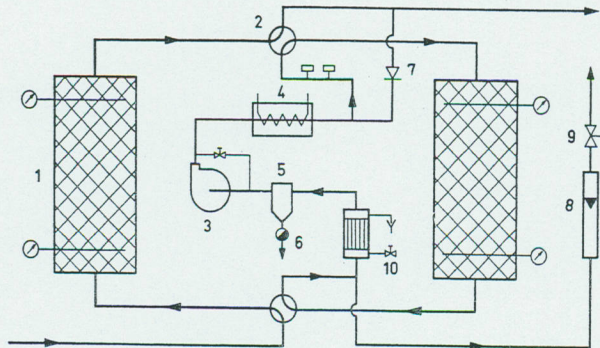


Bild 12 Aufbau einer Adsorptionsanlage

1 Molekularsieb; 2 Vierwegehähne; 3 Gebläse; 4 Heizer; 5 Wasserabscheider; 6 Gaskühler; 7 Rückschlagventil; 8 Mengenmesser; 9 Regelventil; 10 Ventil für Kühlwasser

Während in dem einen Molekularsiebbett das Spaltgas von seinen unerwünschten Gaskomponenten befreit wird, kann das andere Molekularsieb regeneriert werden. Durch automatische Umschaltung der Gasströme in bestimmten Zeitabständen wird eine kontinuierliche Arbeitsweise erreicht.

Unter Regeneration ist ein Aufheizen der Molekularsiebe auf etwa 250°C zu verstehen, wobei die Verunreinigungen desorbiert werden. Nach Erreichen der Regenerationstemperatur wird das Bett mit kaltem, trockenem Gas ge-

kühlt und steht wieder zur Adsorption bereit. Als Spülgas bei der Regeneration wird eine kleine Menge getrocknetes Spaltgas abgezweigt, denn es muß darauf geachtet werden, daß das freiwerdende Ammoniak ausgespült wird. Das Regenerationssystem, in dem Gas zum Heizen bzw. Kühlen zirkuliert, besteht aus Gasgebläse, Heizbatterie, Gaskühler, Wasserabscheider und Kondensatableiter. Für den Kühlvorgang wird lediglich durch ein Zeitrelais die Heizbatterie ausgeschaltet.

Das ausströmende Spülgas wird über einen Durchflußmengenmesser ins Freie geblasen.

Die Adsorptionsanlage zur Trocknung und Reinigung von Ammoniakspaltgas mit automatischer Ventilumschaltung zeigt Bild 13.

Vor der Trocknung beträgt der Feuchtigkeitsgehalt im Spaltgas $0,2\text{ g H}_2\text{O/Nm}^3$, was einem Taupunkt von -34°C entspricht. Der NH_3 -Restgehalt nach der Spaltung ist etwa $0,04\text{ g NH}_3/\text{Nm}^3$ entsprechend 50 ppm. Aus dem Mengenverhältnis der Adsorbate H_2O zu NH_3 wie 0,2 zu 0,04 wird ersichtlich, daß bei der Reinigung das Adsorptionsvermögen für Wasserdampf wesentlich ist.

Bei der Trocknung von Ammoniak-Spaltgas mit Hilfe von Molekularsieben wird ein Taupunkt von weniger als -90°C (unter 0,1 ppm H_2O) erzielt. Gleichzeitig wird in der Adsorptionsanlage der NH_3 -Restgehalt in Spaltgas auf weniger als 1 ppm vermindert.

Sicherheitsausrüstung

Bei der Glühbehandlung mit Ammoniak-Spaltgas als Ofenatmosphäre müssen sorgfältige Sicherheitsmaßnahmen getroffen werden, damit das Explosions-Risiko nicht mehr besteht. Das stark reduzierende Glühgas mit einem Wasserstoffanteil von 75 Vol.-% kann mit Luft hochexplosive Gemische bilden. Der Explosionsbereich ist mit 4 bis 75 Vol.-% H_2 in Luft besonders breit. Hinzu kommt, daß die untere Grenze für die Zündtemperatur mit 530°C niedrig ist.

Der Förderbandofen hat durch den Einbau der Glühmuffel nur ein geringes mit Schutzgas gefülltes Ofenraumvolumen. Falls sich ein Schutzgas-Luft-Gemisch bilden und zünden würde, führt dies zur sofortigen Verbrennung des gesamten Gemisches. Der resultierende Effekt ist plötzlich Anstieg von Druck und Temperatur. Die Gefahr im Glühofen liegt in der Drucksteigerung, die jedoch durch große Öffnungen mit elastischen Vorhängen an Ein- und Auslaufseite langsam abklingen kann, ohne irgendwelche Beschädigungen zu verursachen.

Es werden zusätzlich einige Verriegelungsvorrichtungen und Sicherheitsschaltungen vorgesehen, die eine überhöhte Sicherheit gewährleisten. Ein Magnetventil in der Zuführungsleitung für Schutzgas läßt sich erst öffnen, wenn im Ofenraum eine Temperatur oberhalb 700°C herrscht. Das zugeleitete Schutzgas verbrennt unter Flammenbildung im Ofen und drückt die Luft aus dem Ofenraum. Weiterhin ist an der Ofenanlage eine vollautomatische Stickstoffspülausrüstung installiert. Eine Flaschenbatterie mit komprimiertem Stickstoff ist derartig angeschlossen, daß bei Störungen am Ofen oder der Schutzgasanlage die Schutzgaszufuhr unterbrochen und Stickstoff zur Spülung des Ofenraumes eingeleitet wird. Das Spülsystem arbeitet auch bei Stromausfall selbsttätig. Auch bei Inbetriebsetzung des Ofens wird durch die Spülung mit Stickstoff vor der Schutzgaszuführung die Sicherheit erhöht.

An Ein- und Auslaufseite wird das austretende Schutzgas abgepackelt. Zur Zündung dienen Sicherheitsbrenner mit automatischer Flammenüberwachung.

Zum Schutz des Ofens sind Kontrollgeräte für die Überwachung der Ofentemperaturregelung und des Kühlwasserflusses installiert.

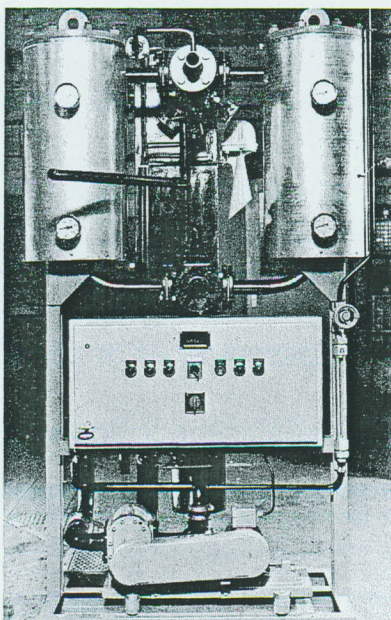


Bild 13 Adsorptionsanlage

Zusammenfassung

Die Rohrheizkörper verlassen die Glühanlage sauber und blank. Weitere Forderungen an das Glühgut, wie beispielsweise das Weichglühen, werden zufriedenstellend erfüllt. Vorbestimmte Werte für die Wärmebehandlung wie Glühtemperatur, Aufheiz- und Haltezeit sowie Kühlgeschwindigkeit werden eingehalten. Die Temperatur der Rohrheizkörper beim Verlassen der Kühlzone beträgt nur 80° C.

Die Nennleistung von 130 kg/h konnte noch um etwa 50 % gesteigert werden. Günstige Verbrauchsdaten werden durch die moderne Konzeption der Glühanlage ermittelt. So ist der spezifische Strombedarf mit 0,4 kW/kg äußerst günstig. Der Kühlwasserverbrauch beträgt etwa 1 m³/h und der Schutzgasverbrauch der Ofenanlage war mit 12 Nm³/h sehr sparsam. Die günstigen Betriebskosten ermöglichen eine einwandfreie Wärmebehandlung der Rohrheizkörper bei optimaler Wirtschaftlichkeit.

Anhand der in diesem Bericht vorgestellten Ausrüstung wurde nachgewiesen, daß sich der Durchlaufofen mit Drahtglieder-Förderband bei extrem reiner Schutzgasatmosphäre auch für das Blankglühen von Chrom-Nickel-Stählen, die mit Titan stabilisiert sind, gut geeignet ist. Die hierfür speziell ergriffenen konstruktiven Maßnahmen wurden dargestellt.

Schrifttum

- [1] T. F. Kohlmeier: Die Erzeugung von Schutzgas für die reduzierende und entkohlungsfreie Wärmebehandlung von mittel- und hochgekohten Stählen. Gaswärme International (1968) Heft 3.
- [2] T. F. Kohlmeier: Schutzgaserzeugung aus Ammoniak. Gaswärme International (1970) Heft 1.
- [3] K. O. Bosse und T. F. Kohlmeier: Erzeugung von Reinst-Wasserstoff in Diffusionsanlagen. Ein neues Verfahren der Schutzgastechnik. Gaswärme International (1965) Heft 4.
- [4] T. F. Kohlmeier und H. J. Pohle: Schutzgase für das Blankglühen von austenitischen Chrom-Nickel-Stählen. Stahl und Eisen (1967) Heft 21.
- [5] T. F. Kohlmeier: Neue Verfahren der Schutzgastechnik zur Erzeugung von Monogas mittels Molekularsieben. Bänder, Bleche, Rohre (1969) Heft 1.