

Einsatz von Schraubenmaschinen in der Elektronik

Ing. (grad.) **H. Gottschling**, Ulm

1. Betriebserfahrung und Wartung

Die persönlichen Erfahrungen über den Betrieb von Schraubenmaschinen umfassen einen Zeitraum von ca. 15 Jahren. In dieser Zeit ist auch der technische Fortschritt im Bau von Schraubenmaschinen unverkennbar.

Die Schraubenmaschinen der 50er und 60er Jahre waren zwar technisch ausgereift aber sehr wartungsintensiv.

Z.B. bei zweistufigen Schraubenmaschinen mußte die Ausrichtung der Stufen vom Getriebe her erfolgen, Genauigkeit einhundertstel Millimeter, dann die Ausrichtung des Elektromotors mit Kupplung zum Getriebe; Genauigkeit ebenfalls radial und axial einhundertstel Millimeter. Die Spezialisten kriegten graue Haare bei dieser Arbeit, und bei Meistern oder Betriebsingenieuren der Betreiber machte sich Verzweiflung breit ob dieser Genauigkeit! Die Revisionsarbeiten waren ausnahmslos mit unangenehmen Überraschungen verbunden.

In der Regel mußten einige Gleitlager ausgewechselt werden. Hin und wieder waren die Kanten vom Hauptläufer abgefahren, sodaß neue Läufer besorgt werden mußten. In schlimmen Fällen wurde die gesamte Druckstufe zum Ausmessen und zur Aufarbeitung ins Werk gesandt.

Dadurch kam es zu erheblichen Verzögerungen in der Fertigstellung der Schraubenmaschine und während dieser Zeit brauchte der Betriebsingenieur gute Nerven, da ja beim Ausfall der Schraubenmaschine kein Ersatzaggregat zur Verfügung stand.

Schwachstellen waren und sind (leider!) auch heute noch die sogenannten Rückschlagventile.

Da sie ja ständig von Naßluft beaufschlagt werden, sind sie korrosionsgefährdet. Diese Rückschlagventile sind häufig undicht.

Hier müssten meiner Meinung bessere Materialien verwendet werden und gegebenenfalls bessere Konstruktionen eingesetzt werden.

Hinsichtlich der Steuerung und des Störungstableaus der Schraubenmaschinen kann man sagen, daß sie zuverlässig und genau entsprechend der gewählten Einstellung arbeiten.

Ölpumpen und Magnetabschneider sowie Kühlwasserkreislauf und Mantelkühlung arbeiten bei sorgfältiger Wartung einwandfrei.

Die jetzige Generation der Schraubenmaschinen hat eine deutlich bessere Konzeption. Durch die getrennte Blockbauweise der ND und HD-Stufe als eine Einheit von Haupt- und Nebenläufern und deren Lagerung können in kürzester Zeit defekte Anlagenteile ausgewechselt werden.

Die Verdichterstufen sind im Werk eingestellt und ausgerichtet, sodaß beim Kunden diese langwierigen Arbeiten entfallen. Mit dem Ab- und Anflanschen der Verdichterstufen ist damit schon der schwerste Teil der Arbeit verrichtet.

Die Funktionen der Kugel- und Gleitlager kann durch einen Inspektionsdienst des Herstellers überprüft und entsprechend bewertet werden. Diese Überprüfung hat den Vorteil, daß die Stillstandzeiten der Schraubenmaschinen wesentlich verkürzt werden könnten.

Über die Laufzeiten der Lager ist folgendes zu sagen:

- a) einmal jährlich einen Diagnosendienst
- b) nach 12 000 Betriebsstunden große Inspektion (durch den
Betreiber)
- c) nach 24 000 Betriebsstunden große Inspektion
(durch den Hersteller, Hersteller zieht eine Einsendung
ins Werk bzw. Austausch der Verdichterstufen in Er-
wägung)

Die genannten Fälle a - c sind Empfehlungen des Maschinenlieferanten und werden von uns in dem Umfang nicht wahrgenommen.

Wir haben ca. 12 000 Betriebsstunden erreicht und werden im Laufe der zweiten Jahreshälfte die kleine Inspektion mit dem Diagnosendienst durchführen. Falls diese Arbeiten bis zum September 1984 durchgeführt wurden, wird der Bericht nachgeliefert.

Die seit 1980 betriebene Schraubenmaschine ist ein zwei-stufig verdichtender Trockenläufer von P max 10 bar Ue und 1000 m³/h, angetrieben von 132 KW. Der Verdichter arbeitet zuverlässig und ist sehr wartungsarm.

Der Maschinenraum wird nur zur Aufnahme der Betriebswerte betreten, ansonsten läuft die Schraubenmaschine Betrieb ohne Beobachtung.

Der Reparaturaufwand umfaßt Maschinenelemente der Peripherie wie Kontaktthermometer, Druckwächter, Strömungswächter und ist als geringfügig anzusehen.

2. Qualitätsansprüche an die Druckluft

Die Fertigung in der Elektronikbranche stellt hohe Anforderungen an die Qualität der Druckluft. Alle Partikel sind als Verunreinigung zu betrachten und daher weitgehend zu entfernen.

Da ist zunächst das Wasser in Tropfenform zu entfernen, anschließend kommt das Wasser in Dampfform an die Reihe. Danach, vor Eintritt in das Betriebsnetz, werden die Feststoffpartikel entfernt.

Die Filtrationsschärfe für Partikel beträgt 0,1 Mikrometer absolut.

Große Bedeutung kommt auch der Reinhaltung der Druckluft von Kohlenwasserstoffen zu. Diese Substanzen sind in ihren Auswirkungen unangenehm, sie gefährden alle Prozesse und haben große Ausbeuteverluste zur Folge. Daher gilt als oberster Grundsatz nichts in die Druckluft hineinzubringen, was später mühsam wieder entfernt werden muß.

Damit ist auch erklärt, warum in der Elektronik nur trockenlaufende Schraubenmaschinen und ebensolche Kolbenverdichter im Einsatz sind.

Die Frage der Ölverschmutzung stellt sich auch mit der zunehmenden Verunreinigung der Atmosphäre durch Abgase, Stickoxyde und dergleichen. Wir hoffen daher, daß durch die Verschärfung der zulässigen Emissionswerte der allgemeinen Luftverschmutzung entgegengewirkt und über Jahre gesehen ein Rückgang zu verzeichnen ist.

3. Anwendungsbereiche in der Elektronik

Die Anwendung von Druckluft in der Mikroelektronik ist so universell wie in anderen Industriezweigen vertreten. Sie ist ein wesentlicher Bestandteil von Rationalisierung, Arbeitserleichterung, Steuerung, Regelung und Automatisierung.

Im Einzelnen werden damit folgende Maschinen betrieben: Stanzen, Pressen, Schneiden, Transportieren, Reinigen, Schützen, Kühlen.

Viele elektronische Bauelemente haben als Kern ein metallisches Skelett, welches in kleinen Stanzmaschinen als Streifen durchläuft und auf die gewünschte Form ausgestanzt wird. Die Stanzen arbeiten teils automatisch mit endlosem Streifen oder von Hand. Hier werden die Metallstreifen vom Bedienungspersonal eingelegt und entnommen. Eine andere Art der Anwendung der Druckluft ist die Verwendung als Transportmittel. Hier werden nach dem Prinzip des Luftkissens Scheiben in Belackungsautomaten oder Belichtungsgeräten weitertransportiert. Mit dieser Art des Transportes lassen sich die empfindlichen Silizium-Scheiben von 100 - 200 Mikrometer und 4 - 6 Zoll Durchmesser sanft und zerstörungsfrei transportieren.

Ein wesentliches Anwendungsgebiet der Druckluft in unseren Fertigungsbereichen ist die Verwendung zur Präzision und Ausrichtung von Meßgeräten, Sensoren, Repeatern und hochsensiblen Zeichengeräten.

Um die heute üblichen feinsten Strukturen in der Mikroelektronik herstellen zu können ist die optische Übertragung mit ihrer Auflösung zu grob geworden.

Die erforderlichen sogenannten Muttermasken werden im Einstrichverfahren gezeichnet, d.h. daß ein Kathodenstrahl, durch Koordinationspunkte gesteuert, mit Lichtgeschwindigkeit die Linien, welche dann als Fertigungsraaster erscheinen, in einer Strichstärke von 0,25 Mikrometer und Zeilenabstand von zwei Mikrometer, erstellt.

Dieses Zeichengerät ist erschütterungsfrei aufgestellt und wird durch einen Faraday'schen Käfig gegen Ablenkungen abgeschirmt. Mit einem Präzisionsklima, dessen Toleranz $\pm 0,25^{\circ}\text{C}$ beträgt und der Reinraumklasse 1000 wird gegen Verunreinigungen und Längenausdehnung gewirkt, mit Druckluft in sogenannten Luftlagern wird dieser hochsensible Zeichentisch auf seine Stellung fixiert.

Es ist zu erwarten, daß in wenigen Jahren derartige Maschinen mit noch geringerer Strichstärke und Zeilenabstand in der Mikroelektronik benötigt, gebaut und eingesetzt werden.

Eine weitere Anwendungsform ist die Verwendung als Schutzgas. Bei Zwischenlagerung von Scheiben werden in kleinen Boxen mit Luftdüsen die Scheiben vor Verschmutzung bewahrt. Zur Erklärung sei angefügt, daß die in der Atmosphäre fliegenden Staubpartikel größer sind, als der Zeilenabstand der integrierten Schaltungen.

Da die Elektronik bei der Herstellung ihrer Produkte auch immer stärker elektronische Geräte mit hohen Packungsdichten einsetzt, wurde es notwendig, diese Geräte wegen ihrer hohen Wärmeerzeugung mit Druckluft zu kühlen. Nach der Fertigstellung der Dioden, Opto's, IC's, werden dann die Streifen in Automaten geschnitten, sortiert und verpackt. Diese Maschinen arbeiten elektro-pneumatisch. Selbstverständlich ist auch die Verwendung der Druckluft mittels Pistole zum Reinigen in vielhundertfacher Ausführung.

4. Anlagenkomponenten der Druckluftherzeugung

Um den vielfältigen Anwendungsbereichen sowie den Qualitätsnormen gerecht zu werden, kann eine Schraubenmaschine nur mit sorgfältig ausgewählten Anlagenkomponenten unterstützt werden.

Das beginnt mit der mechanischen Filterung der angesaugten Luft vor dem Verdichter. Auf diesem Filter findet man nicht nur Staub, sondern auch Ruß, Insekten und Blütenpollen.

Nach dem Verdichtungs Vorgang findet im Nachkühler die Ausfällung vom Kondensat statt. Ein störungsfreies Arbeiten dieses Anlagenteiles ist besonders wichtig, weil nachgeschaltete Anlagen durch Feuchtüberflutung ebenfalls erheblich gestört werden können.

Die 100 % gesättigte Luft wird anschließend durch einen Hochleistungs-Zyklonenabscheider geführt. Hier werden Feuchtigkeitsnebel und Aerosole in der Größenordnung 3 - 5 Mikrometer vollständig abgeschieden. Dieser Abscheider arbeitet derart, daß über ein Leitschaufelsystem mit ausgeklügelten Umleitungen die Luft mit ca. 30 m/s Geschwindigkeit strömt und die feinen Tröpfchen wegschleudert. In der Beruhigungszone ballen sich die kleinen Tröpfchen zu großen Tropfen zusammen und werden kontinuierlich vom Kondensatabscheider entfernt.

Danach kommt die Druckluft in die sogenannten Trockner. In unserem Werk beträgt der Trocknungspunkt - 80°C Atmosphäre, das entspricht einen Wassergehalt von 0,000 5 g/m³ oder 0,5 ppm (Parts per million).

Man unterscheidet die Trockner in kalt- und warmregenerierte Anlagen.

In allen Fällen sind es kontinuierlich arbeitende Doppelturm Anlagen, welche automatisch über Zeit oder Qualitätssteuerung entsprechend ihrer Kapazität gefahren werden.

Die warmregenerierten Anlagen sind mit Molekularsieb gefüllt. Das Molekularsieb besteht hauptsächlich aus Metall-Alumina-Silikate mit einer dreidimensionalen netzförmigen Struktur aus Kieselsäure und Tonerdetetraedern. Die Porenöffnungen haben einen Durchmesser von $4,1 \text{ \AA}$ in denen, ähnlich wie bei den Zeolithen, die Flüssigkeit zurückgehalten wird. Die Sättigungsgrenze dieses Molekularsieves liegt bei 28 % des Eigengewichtes und sollte tunlichst nie erreicht werden. Wird sie dennoch erreicht, ist der totale Durchbruch der Feuchte ins Netz nicht zu vermeiden. Für diesen Fall sollte ein Reservetrockner sofort einsatzbereit sein.

Die Trocknertürme haben eine bestimmte Kapazität, welche auf die Leistung der Schraubenmaschine ausgerichtet ist. Der Rythmus besteht aus der Beladungszeit eines Turmes (ca. 2 Std.) und der Ausheiz- und Abkühlungszeit des anderen Turmes (ca. 2 Std.).

Das beladene Molekularsieb wird mit Hilfe einer Elektroheizung von 8 KW Leistung in 2,5 Std. bei einer Temperatur von 300° C getrocknet, 1,5 Std. gekühlt und kann dann erneut mit Feuchtigkeit beladen werden.

Die Regenerationsluftmenge beträgt 4 % der Fördermenge. Diese warmregenerierten Trockner sind sehr stabil, störungsfrei, wartungsarm und wirtschaftlich.

Die kaltregenerierten Anlagen haben ebenfalls zwei Türme mit wechselnden Beladungs- und Regenerationsphasen. Hier entfällt das Ausheizen mit Wärme. Man benutzt das Expansionsgefälle des trockenen Medium und führt es im Gegenstrom über das feuchte Bett.

Dabei wird das Alumina entlastet und der Turm ist wieder aufnahmefähig. Die Trockner haben ein anderes Adsorptionsmittel, nämlich Al_2O_3 , genannt Alumina. Das ist ein Bauxit, mit einer Körnung von 3 - 6 μm und einer Feuchte Aufnahme-kapazität von 33 % des Eigengewichtes. Die Oberfläche pro Gramm Alumina beträgt 360 m^2 , die für Molekularsieb 1100 m^2 .

Eine weitere Komponente zur Druckluft-Versorgung ist der Aktiv-Kohle-Filter. Hier werden Ölanteile, Kohlenwasserstoffe und sonstige Verunreinigungen bis zu einem Restölgehalt von 0,003 mg/m^3 adsorbiert. Dieser Restölgehalt ist so gering, daß er in Praxis als nicht nachweisbar anzusehen ist.

Als letztes wichtiges Anlagenteil ist der Feinfilter zu nennen, welcher den gesamten Luftstrom nochmals reinigt. Es ist in der Hauptsache Abrieb von den Trocknungsanlagen. Der unvermeidliche Staub wird bis 0,01 Mikrometer absolut abgefiltert. Die Filtergröße ergibt sich durch den Luftmengenstrom. Kerzenfilter gibt es sehr viele auf dem Markt. Ihre Filtrationsschärfe liegt bei 0,01 - 100 Mikrometer je nach Anforderung. Die Ausführung kann aus Wickelkerzen, plissierte Kerzen oder Membranfilterkerzen bestehen.

Betriebskosten Stand 1984

Schrauben-				
maschine	8 bar			
Pel	132 KW	Auslastung 100 %		
Q Luft	1040 m ³ /h			
Elt	132 KW	• 0,14 DM/KWh	18,48 DM	
Wasser	5 m ³ /h	• 0,14 DM/m ³ (Eigenw.)	0,70 DM	
Wartung	1 Std/Tag	• 30,--DM/Std	30,-- DM	
Schmiermittel Q05	1/h	• 4,--DM/l	0,20 DM	
Ersatzteile		5,--DM/h	<u>5,-- DM</u>	
			54,38 DM	

$$\text{Erzeugerkosten} \quad 54,38 \quad : \quad 1040 \quad = \quad 0,052 \text{ DM/m}^3$$

Lufttrockner elektrisch

Q Luft	4 h • 500 m ³ /h = 2000 m ³		
Pel	6,5 KWh • 2,5 h • 0,14 DM/KWh		2,28 DM
Regenerat.			
Luft	4 h • 20 m ³ /h • 0,052 DM/m ³		1,04 DM
Wartung	0,1 Std/Tag • 30,-- DM/Std		3,-- DM
Ersatzteile	1,-- DM/Std		1,-- DM
Filter	0,50 DM/Std		<u>0,50 DM</u>
			7,82 DM

$$\text{Erzeugerkosten} \quad 7,82 \quad : \quad 480 \quad = \quad 0,016 \text{ DM/m}^3$$

Lufttrockner pneumatisch

Q Luft 500 m³/h

Regenerat.

Luft 100 m³/h • 0,052 DM/m³ 5,20 DM

Wartung 0,1 Std/Tag • 30,-- DM/Std 3,-- DM

Ersatzteile 1,-- DM/Std 1,-- DM

Filter 0,50 DM/Std 0,50 DM

9,70 DM

Erzeugerkosten 9,70 : 400 = 0,024 DM/m³