

CHEMIE-INGENIEUR-TECHNIK

Zeitschrift für technische Chemie, Verfahrenstechnik und Apparatewesen

37. Jahrgang 1965

Nr. 1

Seite 53-56

Verlag Chemie GmbH · Weinheim/Bergstr.

Elektromagnetische Spiral-Induktionspumpe für Flüssigmetalle als Laboratoriumsgerät

DIPL.-ING. H. TRATZ UND PROF. DR.-ING. U. GRIGULL

Institut für Technische Thermodynamik der Technischen Hochschule München

Es werden Wirkungsweise und Aufbau einer Spiral-Induktionspumpe beschrieben, mit der flüssige Metalle gefördert werden können. Sie ist besonders für Laboratoriumszwecke geeignet, da sie bei verhältnismäßig kleinen Fördermengen hohe Förderdrucke erreicht und mit Drehstrom aus dem Netz betrieben werden kann. Kennlinien und Wirkungsgrad wurden für Quecksilber ermittelt.

Bei elektromagnetischen Pumpen wird die Kraftwirkung eines Magnetfeldes auf einen stromdurchflossenen Leiter zum Pumpen flüssiger Metalle ausgenützt. Der Leiter ist hierbei das flüssige Metall selbst, da dessen spezifischer elektrischer Widerstand meist klein ist.

Alle Arten dieser elektromagnetischen Pumpen kann man in zwei Hauptgruppen einreihen¹⁾. Bei der einen Gruppe ruht das Magnetfeld, der zum Pumpen notwendige Strom wird von einer außerhalb liegenden Stromquelle geliefert und über Elektroden der Flüssigkeit zu- und abgeführt; bei der anderen Gruppe bewegt sich das Magnetfeld und induziert dabei den Strom, ähnlich wie bei einem Asynchronmotor, in der Flüssigkeit selbst.

Pumpen der zweiten Gruppe haben den Vorteil, daß außer der zur Erzeugung des wandernden Magnetfeldes notwendigen Stromquelle, meist Drehstrom, keine weiteren Stromquellen erforderlich sind.

In der Kerntechnik dient bei schnellen Brütern flüssiges Metall als Wärmetransportmedium; dort werden elektromagnetische Pumpen verwendet^{2,3)}. Da sie keine beweglichen Teile haben, arbeiten sie verschleißfrei und können lange Zeit ohne Wartung bleiben, was sie für den Reaktorbetrieb besonders geeignet macht. Das Fehlen beweglicher Abdichtungen, die in einem Reaktorkreislauf offene Stellen bedeuten, sind ein weiterer entscheidender Vorteil. Pumpen dieser Art werden im Ausland bereits auf dem Markt angeboten.

In Laboratorien werden für Versuche mit flüssigen Metallen elektromagnetische Pumpen gebraucht, die bei einer geringen Fördermenge eine große Förderhöhe bringen und mit Netzstrom betrieben werden können.

In Frage kommen hierfür die Wechselstrom-Konduktionspumpe und die Spiral-Induktionspumpe, wobei die letztere (allerdings bei schlechterem Wirkungs-

grad) die größere Förderhöhe und einen nicht pulsierenden Förderstrom liefert.

Leider sind solche kleinen Spiral-Induktionspumpen zur Zeit nicht auf dem Markt erhältlich. Aus diesem Grunde waren wir gezwungen, die folgende Pumpe selbst zu entwickeln und zu bauen.

Aufbau und Arbeitsweise einer Spiral-Induktionspumpe

Eine Spiral-Induktionspumpe ist ähnlich einem Drehstrom-Asynchronmotor aufgebaut¹⁾; der Stator hat die gleiche Dreiphasenwicklung wie dieser. Sie unterscheiden sich nur darin, daß der Rotor, in diesem Fall der Kern, feststeht und das flüssige Metall selbst die Leitung des induzierten Stromes übernimmt; es entspricht den Stäben des Käfigläufers eines Asynchronmotors.

Das flüssige Metall wird in einem flachen, rechteckigen Kanal geführt, der eine Schraubenlinie zwischen dem Stator und dem Kern beschreibt. Er wird gebildet durch einen dünnwandigen Stahlzylinder und den dünnen Stahlmantel des Kernes, auf den eine steile, schmale Schraubenwendel geschnitten ist, welche den Kanal seitlich begrenzt, Abb. 1.

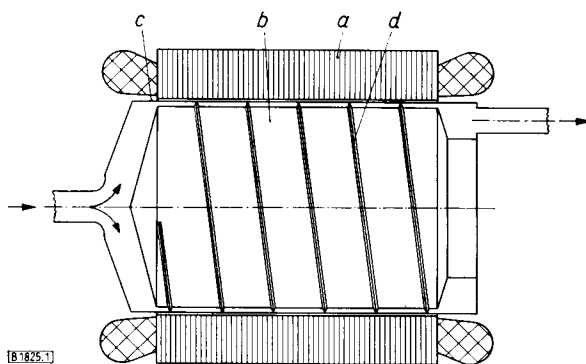


Abb. 1. Schemazeichnung einer Spiral-Induktionspumpe
a Stator mit Dreiphasenwicklung, b Kern, c Stahlzylinder, d Schraubenwendel

In der Dreiphasenwicklung des Stators entsteht ein magnetisches Drehfeld, das mit Netzfrequenz umläuft. Dieses Drehfeld induziert in dem zwischen Stator und Kern befindlichen flüssigen Metall Spannungen, die einen Strom in die bzw. entgegen der Achsrichtung fließen lassen. Hierbei dienen die Ringräume auf der Saug- und Druckseite des Kernes, wie beim Drehstrommotor, als Kurzschlußringe.

Bei manchen Ausführungen sind statt dieser Ringräume an den Enden des Kernes starke Kupfer-Ringe angebracht, die dann als Kurzschlußringe arbeiten.

Aus der Rückwirkung dieses Stromes auf das magnetische Drehfeld ergibt sich eine Kraft in Umfangsrichtung, welche das flüssige Metall in Rotation versetzen würde. Durch die Schraubenwendel erhält diese Bewegung eine axiale Komponente, die den gewünschten Druckanstieg zwischen Saug- und Druckseite der Pumpe ergibt; er wird bei gegebener elektrischer Leistung um so größer, je geringer die Steigung dieser Schraubenwendel ist. Allerdings nehmen auch die hydraulischen Verluste mit der Kanallänge zu.

Die elektromagnetische Spiral-Induktionspumpe kann ähnlich wie ein Drehstrom-Asynchronmotor mit einem großen Luftspalt berechnet werden. Dabei sind jedoch die zusätzlichen elektrischen Verluste in dem dünnwandigen Stahlzylinder, dem Stahlmantel des Kernes und die Wirbelstromverluste im flüssigen Metall zu berücksichtigen.

Beschreibung der gebauten Spiral-Induktionspumpe

In dem Gehäuse a (Abb. 2) von 246 mm Innendurchmesser und 8 mm Wanddicke, das aus einem nahtlos gezogenen Stahlrohr gefertigt wurde, sitzt der Stator b mit der Dreiphasenwicklung. In zwei Ebenen sind je vier Nasen innen an das Gehäuse geschweißt, die den Stator zentrieren. Damit ein guter Paßsitz gewährleistet ist, sind an beiden Enden des Stator-Blechpaketes Stahlringe aufgeschraubt. Einer davon hat einen Bund, an dem durch vier Schrauben der Stator mit dem Gehäuse fest verbunden ist.

Vor dem Aufschrubben der Ringe wurden deren Innenflächen mit Silicone-Harz lackiert, damit sie die Statorbleche nicht kurzschließen. Das Blechpaket hat 200 mm Außendurchmesser, eine Bohrung von 121 mm und eine Länge von 130 mm. Es ist aus Einzelblechen von 0,5 mm Dicke gefertigt.

Die Dreiphasenwicklung des Stators liegt in den 36 Nuten des Blechpaketes, wobei in jeder Nut 60 lackisolierte Kupferdrähte von je 1,05 mm Dmr. eingezogen sind. Da zwei dieser Drähte immer parallel geschaltet sind, ergibt dies je Nut 30 wirksame Leiter. Der Stahlzylinder c aus St 37 mit einem Boden auf der einen und einem Flansch auf der anderen Seite paßt genau in die Bohrung des Stators und hat dort, wo er von ihm umschlossen wird, 0,25 mm Wanddicke. Er ist aus einem nahtlos gezogenen Stahlrohr gedreht, nachdem vorher Boden und Flansch angeschweißt wurden. Die Mantelfläche ist mit Silicone-Harz lackiert, damit auch hier die Statorbleche nicht kurzgeschlossen werden.

Der Kern d hat 118 mm Dmr. und besteht aus einem Blechpaket aus Transformatorenblech von 0,5 mm Einzelblechdicke, einem Stahlzylinder aus St 37 von 0,2 mm Wanddicke, auf den eine Schraubenwendel geschnitten ist, einem Deckel mit Zentrieransatz, der die Einlaßbohrung enthält, einem Ringkörper mit dem Auslaßkanal und einem Zuganker mit Stützscheibe.

Die Innenfläche des Stahl-Zylinders wurde wie in den anderen Fällen mit Silicone-Harz isoliert. Die Nahtstellen zwischen Stahlzylinder, Deckel und Ringkörper sind zugeschweißt, so daß das Blechpaket nicht mit dem flüssigen Metall in Berührung kommt.

Die Schraubenwendel paßt genau in die Bohrung des Stahlzylinders c und hat eine Steigung von 30 mm. Ihr Querschnitt ist der eines Spitzgewindes mit einer Fußbreite von 1 mm und einer Höhe gleich der Kanalhöhe von 1,25 mm; daher berührt sie den Stahlzylinder c nur längs einer Linie, was einen geringen magnetischen Verlust ergibt.

Die Abdichtung e des Ringkörpers gegen den Stahlzylinder c wurde so ausgeführt, daß eine Kegelfläche gegen eine Zylinderkante gepreßt wird.

Diese Art der Dichtung mußte gewählt werden, da in dem vorliegenden Fall kein anderes Material als Stahl mit dem flüssigen Metall in Berührung kommen durfte. Sie hat sich bestens bewährt und war selbst nach oftmaligem Lösen noch dicht.

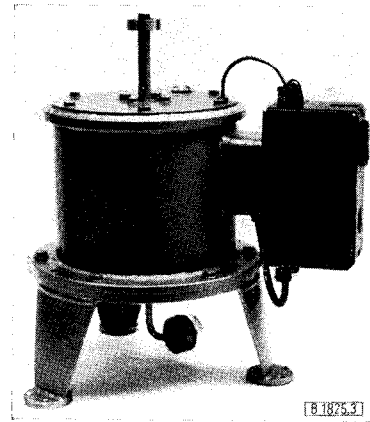
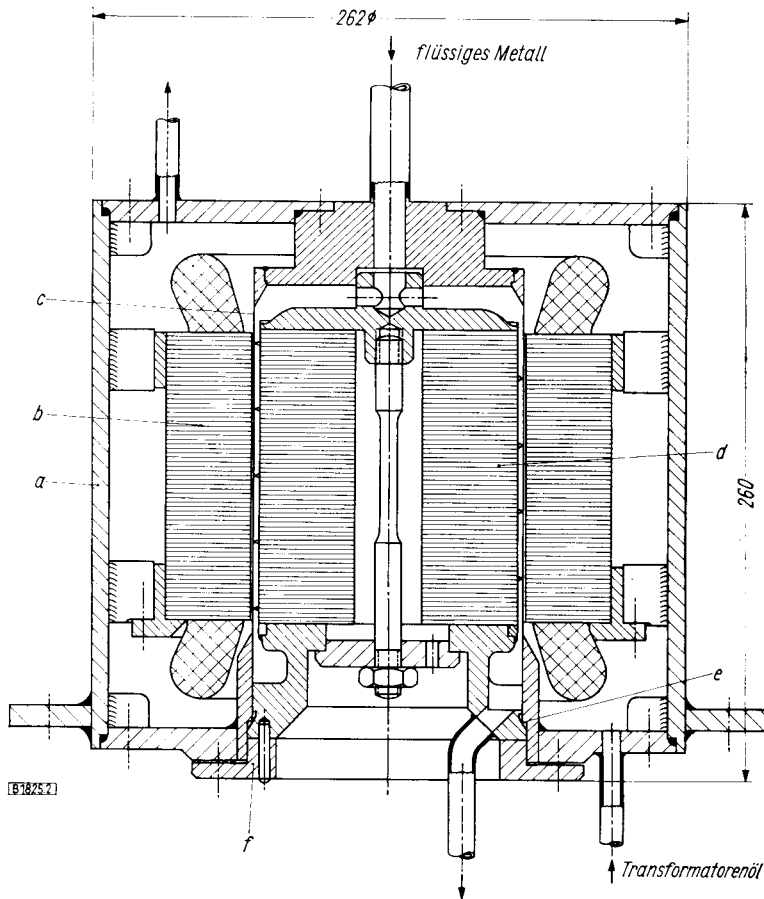


Abb. 3. Ansicht der Spiral-Induktionspumpe

Abb. 2. Schnittzeichnung der Spiral-Induktionspumpe
a Gehäuse, *b* Stator, *c* Stahlzylinder, *d* Kern, *e* Abdichtung, *f* Druckring

Der Druckring *f* überträgt die zum Anpressen notwendige Kraft und sichert durch einen Zylinderstift den Kern gegen Verdrehen.

Durch den Hohlraum zwischen Gehäuse *a* und Stahlzylinder *c*, in dem der Stator *b* mit der Dreiphasenwicklung liegt, wird Transformatoröl zur Kühlung der Wicklung gepumpt. Ein Temperaturfühler kontrolliert die Ölaustrittstemperatur und schaltet die Pumpe automatisch ab, wenn die Temperatur 100 °C überschreitet. Hierdurch ist gewährleistet, daß die Wicklung nicht überhitzt werden kann. Eine Ansicht der Pumpe zeigt Abb. 3.

Apparatur zur Bestimmung der Kennlinien der Spiral-Induktionspumpe*)

Die Kennlinien und der Wirkungsgrad-Verlauf dieser Spiral-Induktionspumpe waren für Quecksilber zu ermitteln. Hierfür mußte die in Abb. 4 dargestellte Apparatur gebaut werden.

Die Spiral-Induktionspumpe *a* fördert Quecksilber aus dem Sammelbehälter *b* und leitet es durch den Kühler *c*, das stopfbuchslose Drosselventil *d* in den Meßbehälter *e*. Der Kühler *c* wurde eingebaut, um das in der Pumpe erwärmte Quecksilber auf 25 °C abzukühlen. Das ist die Temperatur, bei der die Füllmenge des Meßbehälters ermittelt wurde.

Vor der eigentlichen Messung steht der Trichter *f* über dem Standrohr des Meßbehälters *e*; das Quecksilber läuft durch dieses, ohne den Behälter zu füllen, zum

Sammelbehälter *b* zurück. Hierbei ist das Absperrventil *g* am Boden des Behälters geöffnet. Nachdem stationärer Zustand eingetreten ist, wird das Absperrventil geschlossen und der Trichter *f* durch einen elektromagnetisch betätigten Kolben in Füllstellung geschossen. Die Zeitspanne zwischen dem Schießen des Trichters und dem Berühren des unter Spannung stehenden Kontaktes *h* wird mit einer elektrischen Stoppuhr gemessen.

Aus der bekannten Füllmenge des Behälters und der gemessenen Zeitspanne kann die gesuchte Fördermenge der Pumpe berechnet werden. Mittels der Mano-

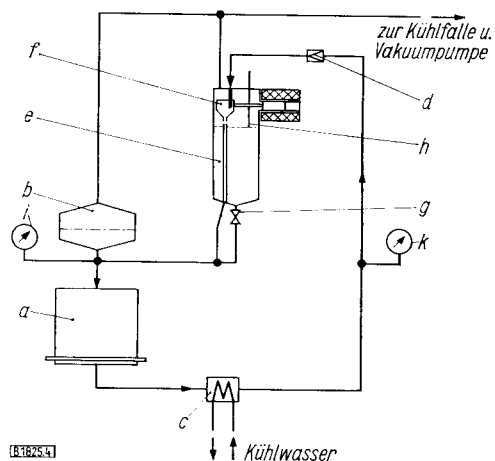


Abb. 4. Apparatur zum Bestimmen der Kennlinien der Pumpe *a* Spiral-Induktionspumpe, *b* Sammelbehälter, *c* Kühler, *d* Drosselventil, *e* Meßbehälter, *f* Trichter, *g* Absperrventil, *h* Kontakt, *i* und *k* Manometer

*) Die Verfasser danken Herrn cand.-ing. *H. Schmücker* für seine Mitarbeit beim Aufbau dieser Apparatur und bei den Messungen.

meter i und k auf der Saug- und Druckseite der Pumpe wird die geodätische Förderhöhe der Pumpe bestimmt. Der Sammelbehälter b und der Meßbehälter e sind durch Rohrleitungen über eine Kühlfalle mit einer Vakuumpumpe verbunden.

Das Quecksilber (Degussa-Industrie-Quecksilber, Sonderqualität II, chemisch rein) wurde unter Vakuum in die vorher ebenfalls evakuierte Anlage eingefüllt, nachdem es nochmals unter Vakuum destilliert wurde. Hierdurch wird vermieden, daß das Quecksilber oxidiert und daß Gas an den Stromübergangsflächen zwischen Quecksilber und Stahl haften bleibt und möglicherweise den elektrischen Übergangswiderstand vergrößert. Während der Versuche war die Vakuumpumpe ständig in Betrieb; damit wurde erreicht, daß alle freien Räume nur mit Quecksilberdampf gefüllt waren.

Versuchsergebnisse

Die Ergebnisse der Versuche, bei denen das Quecksilber in der Pumpe eine Temperatur von etwa 60°C hatte, sind in Abb. 5 und 6 dargestellt. Sie zeigen den Zusammenhang zwischen Fördermenge \dot{m} und manometrischem Förderdruck Δp bzw. Fördermenge \dot{m} und Wirkungsgrad η .

Als Parameter wurde in beiden Abbildungen die Spannung zwischen Phase und Nulleiter der in Stern geschalteten Pumpenwicklung gewählt.

Wegen des vorgesehenen Verwendungszweckes wurden die Kennlinien der Pumpe für Quecksilber ermittelt. Ihr Wirkungsgrad ist sicher wesentlich besser, wenn sie Natrium fördert, denn dieses hat einen sehr viel kleineren spezifischen elektrischen Widerstand und eine geringere Viscosität.

Ferner könnten bei Natrium nickel-haltige Stähle für den Stahlzylinder c , Abb. 2, und den Mantel des Kernes d verwendet werden. Diese Materialien haben einen wesentlich größeren spezifischen elektrischen Widerstand als der verwendete Stahl St 37, und es ergäben sich hierdurch geringere Wirbelstromverluste in diesen Teilen.

Die von der Pumpe erreichte Drucksteigerung von 6 at dürfte für viele in einem Laboratorium vorkommenden Aufgaben ausreichen.

Sie kann zum Fördern der meisten technisch interessanten flüssigen Metalle verwendet werden, da der benutzte Stahl zwar einen schlechteren Wirkungsgrad ergibt, aber gegen diese Flüssigkeiten beständig ist. Mit Hilfe des normalerweise zum Kühlen dienenden Transformatorenöls kann sie bei solchen flüssigen Me-

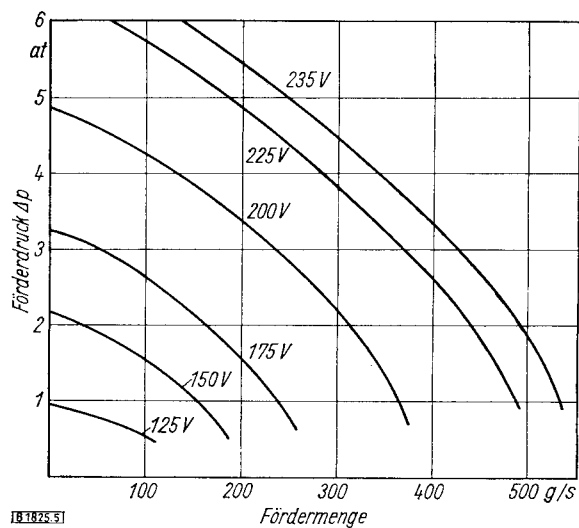


Abb. 5. Kennlinien der Spiral-Induktionspumpe, Förderdruck Δp in Abhängigkeit von der Fördermenge \dot{m}

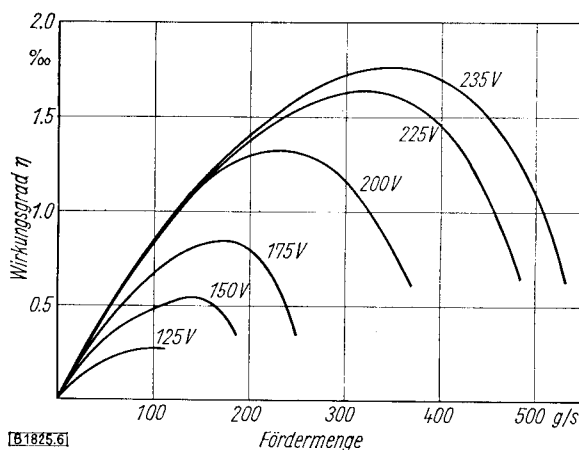


Abb. 6. Wirkungsgrad-Verlauf der Spiral-Induktionspumpe, Wirkungsgrad η in Abhängigkeit von der Fördermenge \dot{m}

tallen vorgeheizt werden, deren Schmelzpunkt über Raumtemperatur liegt.

Zum Betrieb wird die Pumpe an ein normales Drehstromnetz angeschlossen.

Eingegangen am 4. September 1964 [B 1825]

Literatur

- 1) H. Agena, Atomkernenergie 3, 249/55 [1958].
- 2) W. B. Wollen, Nuclear Power, 2, 7; 267/76 [1957].
- 3) J. A. S. Hilditch, Atomic & Nuclear Energy, 9, 4; 125 [1958].
- 4) J. F. Cage, Mech. Engng., 75, 6; 467/71 [1953].