



DEUTSCHE
GESELLSCHAFT FÜR
ZERSTÖRUNGSFREIE
PRÜFUNG E.V.

ZfP-Sonderpreis der DGZfP beim Landeswettbewerb Jugend forscht

BREMEN



Entwicklung eines einfachen Reometers

Thomas Brede

Maximilian Weick

Tim Jung

Schule:

Gymnasium Osterholz-Scharmbeck
Loger Strasse 7
27711 Osterholz-Scharmbeck

Entwicklung eines einfachen Rheometers

2. Einleitung:

Wir erfuhren von einem uns bekannten Mitarbeiter der QKW des Daimler-Chrysler-Werkes in Bremen, dass es bei der Verklebung der Automobile durch Klebroboter Schwierigkeiten gibt. Die Klebstoffe werden in Fässern angeliefert, die nach der Anlieferung in einer Halle gelagert werden. Durch das Wechselspiel der Temperaturen altert der Klebstoff unterschiedlich schnell, was sich in der Viskosität (3.1.1) der Klebstoffe widerspiegelt. Die Roboter können die Klebstoffe allerdings nur bis zu einer bestimmten Viskosität verarbeiten. Zum besseren Verständnis, erläutern wir die Funktionsweise eines solchen Klebroboters bei 3.1.3. Wenn die Viskosität zu hoch ist, können die Klebstoffe nicht mehr durch die Leitungen der Roboter fließen. Die Viskosität der Klebstoffe muss folglich vor dem Einsatz überprüft werden. Dies geschieht bisher nur im Labor, da die Gerätschaften sehr kompliziert und empfindlich sind. Aufgrund der Komplexität der verwendeten Geräte, werden diese Messungen nur von speziell ausgebildetem Laborpersonal durchgeführt. Damit jeder Angestellte in der Werkshalle überprüfen kann, ob mit den Klebstoffen gearbeitet werden darf, benötigt man ein einfach bedienbares Rheometer. Daher haben wir es uns zum Ziel gemacht, solch eines zu entwickeln.

3.0 Hauptteil:

3.1 Viskosität:

Die Viskosität eines Stoffes beschreibt sein Fließverhalten. Je höher die Viskosität ist, desto zähflüssiger ist ein Stoff. Je zähflüssiger ein Stoff ist, desto stärker sind die Teilchen aneinander gebunden. Deswegen spricht man auch von der inneren Dichte. Bei Feststoffen wird der Begriff der Viskosität nicht verwendet. Es gibt zwei verschiedenen Viskositäten. Die kinematische Viskosität ($[\nu] = m^2s^{-1}$) und die dynamische Viskosität ($[\eta] = Nsm^{-2}$).

Definition der Viskosität:

Man stelle sich eine bewegliche und eine statische Platte mit der Fläche A und Abstand s voneinander vor. Zwischen den Platten befinden sich Flüssigkeitsschichten. Die jeweils erste haftet an den Platten. Die bewegliche Platte wird mit der Kraft F auf die Geschwindigkeit v gebracht. Die zwischen den Platten liegenden Flüssigkeitsschichten werden durch die Adhäsionskräfte beschleunigt. Da die Platten an ihren benachbarten Flüssigkeitsschichten haften,

muss nur die Reibung zwischen den Schichten (innere Reibung) betrachtet werden.

Die Kraft die nötig ist, um die bewegliche Platte zu bewegen, ist proportional zur Fläche A und zur Geschwindigkeit v und indirekt proportional zum Abstand der Platten s .

Daraus folgt: $F \sim \frac{\eta A v}{s}$

Als Formel kommt die dynamische Viskosität als Konstante hinzu: $F = \eta \frac{vA}{s}$.

Ein Stoff hat die Viskosität 1n , wenn bei einer Größe der Platten von 1m^2 und einem Plattenabstand von 1m eine Kraft von 1N benötigt wird, um die Platten mit einer Geschwindigkeit von $1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ zu verschieben.

Die kinematische Viskosität ist die dynamische Viskosität geteilt durch die Dichte der Flüssigkeit.

Daraus folgt: $\nu = \frac{\eta}{\rho}$.

3.2 Klebstoffe:

Da es in unserer Arbeit letztendlich um das Messen der Viskosität von Klebstoffen geht, folgt hier nun die Beschreibung von Klebstoffen. Da in der Autoindustrie unterschiedliche Klebstoffe verwendet werden, gehen wir im Anhang näher auf die verschiedenen Arten ein (Anhang, 5.1).

Es gibt Klebstoffe auf der Basis von anorganischen Verbindungen (z.B. Zement), aber hauptsächlich verwendet man heutzutage Klebstoffe auf Basis organischer Verbindungen.

Nach DIN EN 923: „Ein Klebstoff ist ein nichtmetallischer Werkstoff, der Füge­teile durch Flächenhaftung (Adhäsion) und innere Festigkeit (Kohäsion) verbinden kann“

Polymere und Polymerisation:

Klebstoffe bestehen aus Polymeren, d.h. sie sind chemische Verbindungen, die aus Ketten- oder verzweigten Molekülen (Makromolekülen) bestehen. Sie bestehen aus gleichartigen Einheiten, den sogenannten Monomeren.

Polymerisation ist der Vorgang, bei dem sich Monomere zu langkettigen Polymeren zusammenschließen, es gibt verschiedene Arten der Polymerisation wie z.B. Polykondensation oder Polyaddition. Kunststoffe wie Polystyrol (Styropor) oder PVC sind Polymere.

3.3 Klebroboter:

Der Klebstoff wird mit einer Tellerpumpe aus den Fässern gepresst. Der Teller wird zur besseren Verarbeitbarkeit des Klebstoffes auf 60° C erhitzt. Er wird durch eine Schlauchanlage in die Düse gepresst und von dort aus auf das Präparat aufgespritzt. Die Düse ist meist an einem beweglichen Arm montiert.

3.4 Kapillarviskosimeter

Mit einem Kapillarviskosimeter misst man einen Druckabfall längs einer Kapillare. Da dieser proportional zu Viskosität ist, misst man mit einem Kapillarviskosimeter also indirekt die Viskosität.

Dabei wird die zu testende Flüssigkeit in ein höher gelegenes Reservoir gesaugt. Aufgrund der Schwerkraft fließt die Flüssigkeit nun das untere Reservoir. Dabei wird die Zeit gemessen, die ein vorher bestimmtes Volumen braucht um ein bestimmtes Stück Kapillare zu passieren.

3.5 Kugelfallviskosimeter:

Eine Röhre wird mit der zu testenden Flüssigkeit gefüllt. Nun wird eine Kugel, deren Durchmesser leicht kleiner ist als der inneren Durchmesser der Röhre, durch diese fallen gelassen. Dabei wird die Zeit gemessen, die die Kugel braucht um eine vorher festgelegte Strecke zu überwinden. Aus der gemessenen Zeit lässt sich mit Hilfe einer Formel die Viskosität errechnen: $\eta = K \cdot (d_1 - d_2)^2 \cdot t$

3.6 Vom Kugelfallviskosimeter zur Konstruktion des elektromagnetischen Stahlzylinderfallviskosimeters:

Nachdem wir wie oben genannt unser Thema ausgewählt hatten, haben wir zuerst Nachforschungen und Experimente zum Thema Viskosität angestellt, um einen guten Lösungsweg für das Problem zu finden.

Als erstes stellten wir Überlegungen mit einem klassischen Kugelfallviskosimeter an, da es eine einfache Konstruktion ist, und man mit ihm auch hohe Viskositäten messen kann, wenn man den Rohrdurchmesser und die Größe und Dichte der Kugel entsprechend wählt.

Auf der Basis dieser Überlegungen bauten wir ein einfaches Kugelfallviskosimeter, um erste Versuche durchzuführen. Wir testeten verschiedene niedrigviskose Klebstoffe und Eichöle, wobei wir feststellten, dass

die Viskosität stark temperaturabhängig ist. Wie man an den Messergebnissen im Anhang, 5.2 erkennen kann gibt es nicht unbeträchtliche Änderungen in den Werten sobald die Temperatur nur geringste Schwankungen im Bereich von 1°C erfährt.

Näheres dazu steht im Teil Anhang, 5.2.

Nach einigen weiteren Versuchen haben wir festgestellt, dass diese Art von Viskosimetern nicht die geeignete Lösung für das Problem sein kann, da die Handhabung vor allem mit hochviskoserer Flüssigkeiten lange dauert und nicht eben einfach ist, unter anderem aus dem Grund, dass mit Klebstoffen gearbeitet werden soll, die aufgrund ihrer Makromoleküle nicht sofort nach dem Einfüllen in die Messröhre untersucht werden können, da sich die Moleküle erst ausrichten müssen. Dies dauert aufgrund der hohen Viskosität bis zu 15 Minuten.

Erst danach erhält man bei einem Versuch ein annehmbares Ergebnis. Auch vor einer Wiederholung muss eine entsprechende Zeitspanne gewartet werden. Folglich scheiden Kugelfallreometer in ihrer klassischen Ausführung aus, da eine Handhabung mit ihnen für eine Werkshalle deutlich zu zeitaufwendig ist. Um uns die Funktionsweise von Kapillarviskosimeter zu verdeutlichen und zu erfahren ob sie die Lösung unseres Problems sein könnten, liehen wir ein Exemplar vom IFAM Bremen.

Die Versuchsreihe bestätigte uns zwar, dass die Viskosität stark Temperaturabhängig ist (siehe Anhang, 5.2) und lieferte uns genauere Ergebnisse, aber half uns nicht auf unserem Lösungsweg weiter, da auch ein Kapillarviskosimeter nicht in Frage kommt, aufgrund des hohen Zeitaufwandes und den erheblichen Problemen bei der Reinigung, die uns sogar schon bei niedrigviskosen Testflüssigkeiten mit gerade mal 53 mPas (Vergleichswerte in Anhang, 5.2) auffielen.

Bei den Versuchen mit diesen beiden ersten Viskosimetern wurde deutlich, dass man für ein genaues Ergebnis lange Durchlaufzeiten benötigt, um Messfehler bei dem Nehmen der Zeit auszuschließen. Mit anderen Worten würde eine kurze Messzeit immer nur mit Abstrichen in der Genauigkeit der Messung funktionieren, da kein Mensch eine solch genaue Messung mit einer Stoppuhr durchführen kann, da allein die Reaktionszeit selbst im hochkonzentrierten Zustand 60-80ms beträgt.

Die einzige Lösung hierfür ist die Messungen nicht von Hand durchzuführen. Diese Überlegungen führten uns zur Grundidee unseres Lösungsvorschlages für dieses Problem.

Da für eine elektronische Messung auch der Startzeitpunkt gemessen werden muss entschieden wir uns für ein Fallkörperviskosimeter mit elektromagnetischer Auslösung. Die Zeit wird von einer IR-Lichtschanke gemessen, weshalb es keine Störungen durch anderweitigen Lichteinfall geben sollte.

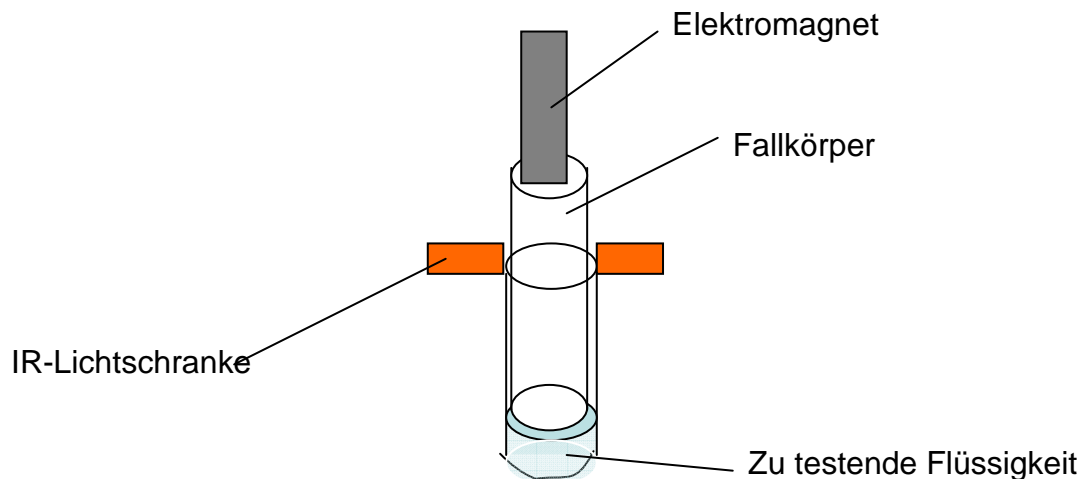
Der Fallkörper wird in einer schmalen Röhre, die nur einen Zentimeter breiter ist als der Fallkörper, direkt auf die Flüssigkeit aufgesetzt und dort von einem Elektromagneten gehalten.

Der Fallkörper hat eine zylindrische Form, da ein Zylinder hier die größtmögliche Fläche gleichzeitig in Kontakt auf den Klebstoff bringt, und so von vorneherein ein gleich bleibender Druck auf die Oberfläche ausgeübt wird. Die Messung beginnt mit dem deaktivieren des Elektromagneten. Nun sinkt der Fallkörper langsam in die Flüssigkeit (bei höheren Viskositäten) und verdrängt sie dabei. Es ist wichtig zu beachten, dass nicht zuviel Flüssigkeit eingefüllt wird, da diese sonst über den Rand des Gefäßes läuft.

Bei unserer Gefäßgröße können höchstens 15 ml verwendet werden.

Das Ende der Messung wird erreicht wenn der Fallkörper aus dem Lichtstrahl der Lichtschranke, die direkt über dem Gefäßrand montiert wird, verlässt, das Relais der Lichtschranke also schaltet.

Der Versuchsaufbau sieht folgendermaßen aus:



4.0 Fazit:

Unsere Zielsetzung war es, ein einfach zu bedienendes Viskosimeter, das gut zum Messen der Viskosität von hochviskosen Klebstoffen zu verwenden ist, zu entwickeln. Wir haben einige andere Viskosimeter, die es schon gibt, getestet (Kapillarviskosimeter, Kugelfallviskosimeter), damit wir schließlich selber eins entwerfen konnten. Letztendlich ist uns dann auch die Idee zu dem Entwurf unseres eigenen Viskosimeters gekommen: Der Aufbau ist relativ einfach und es

ist auch im Endeffekt einfach zu bedienen, theoretisch ist es auf jeden Fall machbar. Bedauerlicherweise konnten wir es bis jetzt noch nicht optimieren, weswegen auswertbare Versuchsergebnisse noch nicht zu erzielen waren. Die Messergebnisse werden aber voraussichtlich bis zum Beginn des „*Jugend forscht*“-Wettbewerbes fertig gestellt und ausgewertet sein.

5.0 Anhang

5.1 Klebstoffarten:

5.1.1 Physikalisch härtende Klebstoffe:

Diese Klebstoffe werden direkt in die Klebefuge eingebracht. Das Polymer liegt also schon als fertiger Klebstoff vor, es wird ein physikalisches Verfahren verwendet, damit es sich im Klebespalt verfestigt, hier einige Beispiele:

Lösemittelhaltige Nasskleber:

Das Polymer liegt in einem Lösemittel gelöst vor, der Klebstoff ist dadurch eine zähflüssige Masse. Wird der Klebstoff aufgetragen, verdunstet das Lösemittel langsam, d.h. der Klebstoff wird hart und hält schließlich durch die physikalischen Wechselwirkungen der Polymerketten.

Dispersionsklebstoffe:

Die Klebstoffbestandteile liegen als Dispersion vor, d.h. es sind zwei Stoffe, die sich kaum ineinander lösen oder chemisch miteinander reagieren. In der Regel dient Wasser hierbei als mobile Phase (Dispersionsmittel), nach Aufbringen auf die zu verklebende Fläche, verdunstet das Wasser, die Dispersion ist also aufgebrochen, wodurch die beiden Stoffe einen Film zwischen den Fügeteilen bilden können.

Kontaktklebstoffe:

Auf die Fügeteile wird gleichmäßig viel von diesem Klebstoff aufgetragen, danach wird er belüftet bis er nur noch eine geringe Soforthaftung aufweist, d.h. er zieht keine Fäden mehr, wenn man die Fingerprobe durchführt. Nun müssen die Fügeteile korrekt zusammengefügt werden und unter hohem Druck zusammengepresst werden, schon jetzt ist die Klebung belastbar, aber die Endfestigkeit wird erst nach einigen Tagen erreicht. Kontaktklebstoffe können sowohl Lösemittelklebstoffe als auch Dispersionsklebstoffe sein.

Plastisole:

In der Verarbeitungsform sind kleine Polymerkügelchen in einem Weichmacher verteilt, bei Wärmezufuhr nehmen die Polymerkügelchen den Weichmacher auf und werden zu einer homogenen Masse, soll diese sich komplett verfestigen, muss sie einer nochmaligen Wärmezufuhr unterzogen werden. In der Automobilindustrie werden häufig PVC-Plastisole zur Nahtabdichtung oder für den Unterbodenschutz verwendet, es ist zwar nicht sehr dehnfähig, hält aber sehr gut zusammen mit Einkomponenten-Epoxidharzklebstoffen auf beölten Blechen.

5.1.2 Chemisch härtende Klebstoffe:

Bei chemisch härtenden Klebstoffen ist die Molekularstruktur noch nicht vollständig ausgebildet. Aus diesem Grund sind die Stoffe noch flüssig, wenn auch sehr hochviskos. Die wichtigste Abgrenzung zu den physikalisch aushärtenden ist das Fehlen von Lösungsmitteln.

Die Aushärtung ist je nach Klebstoffart unterschiedlich, hier sind einige Beispiele erklärt:

Bei Cyanacrylaten (bekannt als Sekundenkleber), Methylmethacrylaten und Phenolformaldehydharzen setzt eine Polymerisation beim Kontakt mit Wasser oder der Luft ein, je nach gewünschten Eigenschaften. Die Aushärtung durch Polymerisation findet ebenfalls bei strahlenhärtbaren und Anaerob, also unter Ausschluss von Sauerstoff härtenden Klebstoffen statt.

Silicone, Poliamide und Epoxidharze binden durch eine Polykondensation ab. Auch hier sind die Auslöser der Reaktion je nach Art und Verwendungszweck unterschiedlich.

Die letzte Gruppe der chemisch härtenden Klebstoffe sind die Polyurethane, auch bekannt als PU-Klebstoffe. Sie binden während einer Polyaddition ab. Viele dieser Klebstoffe werden auch in der Automobilindustrie verwendet, so zum Beispiel Anaerob härtende Klebstoffe in den Motoren, Phenolformaldehydharze an den Brems- und Kupplungsbelägen und Polyurethane im Karosseriebau, und stellen damit die Basis unserer Untersuchungen.

5.1.3 Wirkungsweise:

Man unterscheidet hierbei wie schon in der DIN EN 923 erwähnt zwischen der Flächenhaftung (Adhäsion) und der inneren Festigkeit (Kohäsion), im Folgenden werden diese beiden Begriffe im Bezug auf Klebstoffe etwas erläutert:

Adhäsion:

Die Flächenhaftung funktioniert in der Weise, dass zwischen den Grenzflächenschichten (bei Klebstoffen die Haftung zwischen Klebschicht und Fügeiteiloberfläche) ein mechanischer Zusammenhalt durch molekulare Wechselwirkungen entsteht.

Kohäsion:

Die innere Festigkeit hält den Klebstoff in sich zusammen. Die Kohäsionskräfte sind für das Fließverhalten und die Zähigkeit des unausgehärteten Klebstoffs und für die Festigkeit des ausgehärteten Klebstoffs verantwortlich.