

Fachhochschule Augsburg

Ausbildungsrichtung Technik

Fachbereich: Maschinenbau

Studiengruppe:M2A

Praktikum: Werkstofftechnik

Hauptbericht/Nebenbericht Arbeitsgruppe: 19

Arbeitstag: 15.06.98 Bearbeiter dieses Berichtes: Michael Franz

Einlief.-Tag: 22.06.98 Mitarbeiter: Oliver Deißer

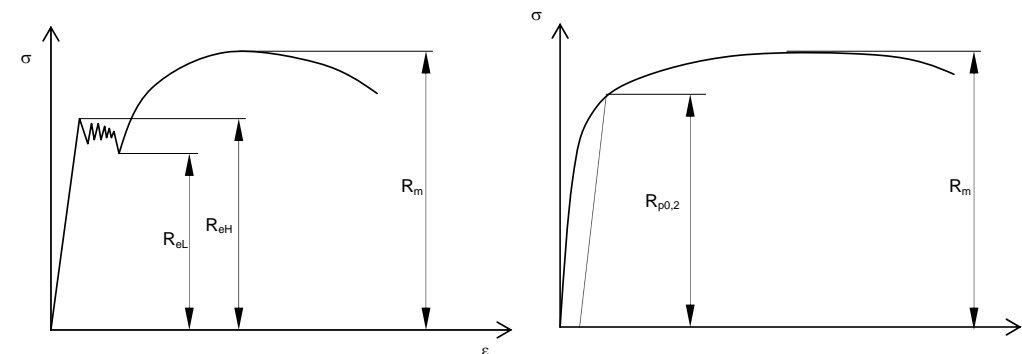
.....
Unterschrift

Versuchsaufgabe: Zugversuch und Rasterelektronenmikroskop (Versuch Nr. 1)

1 Zugversuch

1.1 Grundlagen

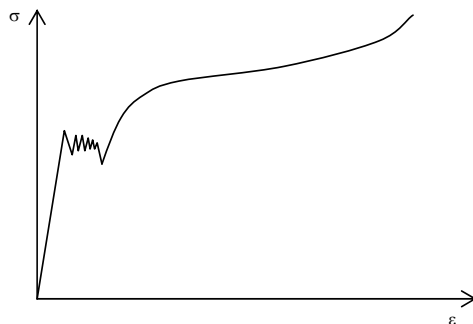
Jede Belastung eines Bauteils mit Kraftereinwirkung führt zu einer Verformung des Bauteils. Nimmt das Bauteil nach Entlastung seine alte Form wieder an, war die Verformung elastisch. Bleiben dagegen nach der Entlastung Formänderungen zurück, so nennt man die Verformung bleibend oder plastisch. Läßt man die Beanspruchung als Zugkraft einwirken und drückt man die Belastung als Kraft pro Fläche aus, also als Zugspannung, ergibt sich je nach Material ein bestimmter Grenzwert, die Dehn- oder Streckgrenze R_e , bis zu dem elastische, oberhalb dessen bleibende Verformung stattfindet. Erhöht man die Spannung weiter, wird sich die Probe irgendwann einschnüren und abreißen. Die maximale Spannung, die Werkstoff aushält, bevor sie wieder abnimmt und der Werkstoff reißt, wird Zugfestigkeit R_m genannt. Um diese Kennwerte für ein bestimmtes Material festzustellen, verwendet man den Zugversuch. Er ist nach DIN EN 10002 in Durchführung, Versuchsbedingungen und Auswertung genormt. Dabei wird eine Proportionalprobe nach DIN EN 10002 in die Prüfmaschine eingespannt. Durch ein mechanisches oder hydraulisches Werk belastet man die Probe auf Zug. Durch die so erzeugte Zugspannung längt sich der Werkstoff. Nun wird die Spannung erhöht, wobei laut Norm die Zunahme 30 N/mm^2 pro Sekunde nicht überschreiten darf. Die Dehnung ϵ wird dabei gemessen und aufgezeichnet. Die Maschine erstellt ein Diagramm, bei dem die Kraft über der Werkstückverlängerung aufgetragen wird. Rechnet man dieses in ein Spannungs-Dehnungs-Diagramm um, ergibt sich je nach Werkstoffart eine charakteristische Kurve, aus der man die Werte R_e und R_m herauslesen kann. Bei Spannungen unterhalb von R_e befinden wir uns dabei also im elastischen Bereich. Diesen erkennt man am annähernd linearen Ansteigen von Spannung und Dehnung, der sogenannten Hook'sche Gerade. Die Steigung in diesem Bereich wird als Elastizitätsmodul E bezeichnet. Erhöht man die Spannung weiter, geraten wir in den Bereich der plastischen Verformung, das Material beginnt zu fließen, das heißt, es dehnt sich ohne weitere Spannungserhöhung. In der Kurve endet die mehr oder weniger gleichmäßige Steigung der Hook'schen Geraden. Am Knickpunkt befindet sich die Streckgrenze R_e . Oft ergeben sich durch interne Verschiebungen im Material schwingende Verhältnisse im Bereich von R_e . Dann wird zwischen dem höchsten R_e -Wert R_{eH} und dem niedrigsten R_{eL} unterschieden. Manche Stoffe, zum Beispiel hochfeste Stähle besitzen keine ausgeprägte Knickung an diese Stelle, so daß sich R_e schwer definieren ließe. In diese Fall verwendet man den Ersatzwert $R_{p0,2}$. Dieser Wert ist als der Kurvenpunkt definiert, bei dem die Abweichung von der Hook'schen Geraden genau $0,2\%$ beträgt.¹⁾ Die Kraft steigt danach weiter an, erreicht einen Maximum, um dann wieder abzufallen und sehr kurz danach die Probe mit einem Knall zum Zerreißen zu bringen. Beim Maximum befinden wir uns bei R_m . Nachfolgend zwei schematische Beispiele, links z.B. für Baustahl St37, rechts für hochfesten Stahl ohne ausgeprägte Streckgrenze.



¹⁾ Für bestimmte Anwendungen wird auch der Wert $R_{p0,01}$ oder R_{p1} verwendet.

Anhand der plastischen Verformung beim Bruch läßt sich die Bruchdehnung errechnen. Die Bruchdehnung ist das prozentuale Verhältnis zwischen dem Längenzuwachs des Prüflings nach dem Bruch zur Länge vor dem Bruch. Entnimmt man dem Spannungs-Dehnungs-Diagramm diesen Wert, so ist zu berücksichtigen, daß sich nach dem Bruch die Länge, die im Diagramm als letztes aufgezeichnet wurde, um den elastischen Anteil wieder verkürzt. Praktisch legt man eine Parallele zur Hook'schen Gerade durch den Endpunkt der Kurve und liest am Schnittpunkt mit der Dehnungsachse den Wert für die Dehnung ab. (vgl. Versuchsdurchführung 1.2.3)

Man wundert sich möglicherweise bei Betrachtung der Diagramme, daß die Spannung bei den obigen Diagrammen scheinbar nach dem Zugfestigkeitswert R_m abzufallen scheint, bevor die Probe schließlich reißt. Das liegt daran, daß das Prüfgerät nicht wirklich die Spannung als Kraft pro Fläche messen kann, sondern nur die aufgewendete Kraft bezogen auf den Anfangsquerschnitt. Wenn man aber dabei bedenkt, daß sich die Probe vor dem Bruch einschnürt, dadurch die Fläche kleiner wird und die Probe dadurch leichter und schneller bei geringerem Kraftaufwand zum Bruch hinfortschreitet, werden die Diagramme verständlich. Moderne Prüfgeräte sind teilweise durchaus in der Lage, diesen Faktor zu berücksichtigen, so daß sich dann der reale Spannungsablauf ergibt. Auch aus einem herkömmlichen Spannungs-Dehnungs-Diagramm läßt sich ein korrigiertes Diagramm erstellen, sofern der Querschnitt an der Bruchstelle bekannt ist. Zu beachten ist, daß sich der Querschnitt erst nach Überschreiten von R_m *uneinheitlich*²⁾ ändert (der Prüfling beginnt sich einzuschnüren), sich das Diagramm also bis zu diesem Punkt nicht ändert. Dies sieht dann wie folgt aus:



1.2 Versuchsdurchführung und Auswertung

Bei unserem Versuch wurde eine vollautomatische Prüfmaschine verwendet. Bei diesem Modell einer Universalprüfmaschine (Zwick 1485) wird nach dem Einlegen der Probe und Anlegen der Längenprüfeinheit der Versuch vollautomatisch nach Programm gefahren. Die Parameter sind vorher einzugeben. Als Ergebnis erhält man das unkorrigierte Nennspannungsdiagramm und gesondert die expliziten Werte für R_m , R_e und Bruchdehnung A .

1.2.1 Ausmessen der Probe

Es handelte sich um einen nicht näher bezeichneten Baustahl mit ausgeprägter Streckgrenze $d_0=20$ mm und $L_0=100$ mm. Also eine kurze Proportionalprobe A_5 mit zylindrischen Einspannflächen.

1.2.2 Durchführung

Die Probe wurde in die Aufnahme eingelegt und die Keilbackenhalter vorgespannt (sie verstärken selbsttätig die Spannkraft während des Versuchs). Die Längenmeßhalter wurden angelegt, sie waren vorher bereits justiert worden. Der Versuch wurde gestartet und bis zum Bruch durchgeführt.

²⁾ der Querschnitt verringert sich bereits vorher, allerdings bis zum Erreichen von R_m einheitlich über der Gesamtlänge

1.2.3 Auswertung

Zunächst wurde durch die tatsächliche Länge der gebrochenen Probe die Bruchdehnung ermittelt mit $A=34,4\%$. Dieser Wert wurde nochmals überprüft anhand der Verlängerung, die im Kraft-Verlängerungs-Diagramm (vgl. Anhang A) an der Bruchstelle nach Abzug des elastischen Anteils ermittelt wurde. Hier ergab sich ein Wert von $A=34\%^{3)}$. Der exakte Wert laut Computerausdruck betrug $A=34\%$ (vgl. Anhang C). Anhand des Kraft-Verlängerungs-Diagramms (vgl. Anlage A) wurden als nächstes die Werte für R_m und R_e errechnet. Wir erhielten $R_m=427 \text{ N/mm}^2$ und $R_{eH}=337 \text{ N/mm}^2$ (bei $F_m=134 \text{ kN}$ und $F_{eH}=106 \text{ kN}$)²⁾, während wir aus dem Spannungs-Dehnungs-Diagramm herauslasen: $R_m=430 \text{ N/mm}^2$ und $R_{eH}=335 \text{ N/mm}^2$ (vgl. Anhang B)²⁾. Die exakten Werte laut Computer betragen $R_m=426,0 \text{ N/mm}^2$ und $R_{eH}=336,1 \text{ N/mm}^2$ (bei $F_m=133,8 \text{ kN}$ und $F_{eH}=105,6 \text{ kN}$) (vgl. Anhang C).

Wir berechneten ferner die theoretische tatsächliche Spannung kurz vor dem Bruch bei einem Bruchdurchmesser von $d_B=10,9 \text{ mm}$ und einer Bruchkraft von $F_B=85 \text{ kN}$. Sie betrug $\sigma_B=911 \text{ N/mm}^2$, und trugen diese in das Spannungs-Dehnungs-Diagramm in Anlage C ein.²⁾, um das korrigierte zu erhalten. Die Linie wurde nach R_m bis zu diesem Wert frei Hand eingetragen. Es ist zu bemerken, daß die Werte in diesem Bereich kurz vor dem Bruch einer hohen Streuung unterworfen sind, so daß die korrigierte Kurve eine hohe Unsicherheit aufweist. In der Praxis spielt dieser Bereich keine Rolle, da die wichtigen Materialkennwerte in den davor liegenden Bereichen ermittelt werden

Kommentar: Nicht erforderlich!

1.2.4 Ergebnis

Es handelte sich vermutlich bei der in diesem Versuch verwendeten Probe um S235 mit den nach [6] normierten Werten von $R_m=340 \text{ N/mm}^2$, $R_e=225 \text{ N/mm}^2$ und $A=26\%$, obwohl der Stahl die geforderten normierten Mindestgrenzen mit den ermittelten Werten teilweise erheblich überschreitet und auch die gemessene Bruchdehnung von der geforderten stark abweicht⁴⁾. Dieses Ergebnis kann in der Praxis jedoch nicht ohne weitere Versuche akzeptiert werden. Es müßten, um dieses Ergebnis zu verifizieren und weitere Kennwerte zu ermitteln, noch Überprüfungen auf die Härte und das Kerbschlagverhalten des Materials durchgeführt werden.

1.3 Ausblick

Der Zugversuch ist ein wichtiger Teil der modernen Werkstofftechnik. Heutige Universalprüfmaschinen ermöglichen einfache und kostengünstige Messungen auch an ganzen Baugruppen. Die Verfahren sind dabei durch den Einsatz von Rechenmaschinen so vereinfacht worden, daß sie auch von nicht speziell ausgebildeten Mitarbeitern zuverlässig durchgeführt werden können.

1.3.1 Kritik

Die Verwendung nicht normgerechter Proben schränkt die Gültigkeit der Ergebnisse ein. Laut Norm müßte die Zugprobe eine polierte Oberfläche ohne Kerben aufweisen, was hier nicht der Fall war. So ist in Frage gestellt, ob sich mit diesen Werten überhaupt Rückschlüsse auf den Werkstoff ziehen lassen. Mit Rücksicht auf den Kostenfaktor könnte hier das Beifügen der Ergebnisse und Diagramme einer einzigen polierten Zugprobe der gleichen Abmessungen Abhilfe schaffen. So könnte jeder selbst überprüfen, in wie weit der Oberflächeneinfluß hier eine Rolle spielt.

³⁾ Sämtliche Werte, die aus den Diagrammen ermittelt wurden, sind mit einer großen Unsicherheit verbunden, da durch den kleinen Maßstab und die große Strichbreite nur ungefähre Rechenwerte abzulesen sind.

⁴⁾ Dies liegt vermutlich daran, das die Mindestwerte vom Hersteller garantiert werden müssen, so daß zur Sicherheit die tatsächlichen Werte darüber liegen müssen.

2 Rasterelektronenmikroskop

Wohlwissend, daß der Bericht hierüber nicht erforderlich ist, gebe ich dennoch hier frei nach [5] eine kurze Erläuterung der Methodik des Elektronenmikroskopierens und erweiterter Verfahren.

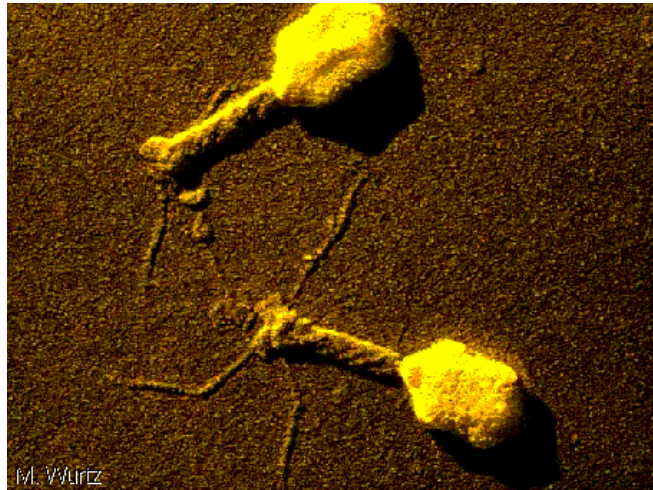
Kommentar: Schöne Grüße an Herrn Prof. Dr. Tautzenberger!

2.1 Herkömmliche Rasterelektronenmikroskope

Die Vergrößerungsleistung eines Lichtmikroskops ist durch die Wellenlänge des Lichtes begrenzt. Bei einem Elektronenmikroskop werden Elektronen zur „Beleuchtung“ des Gegenstandes eingesetzt. Bildlich gesprochen haben Elektronen wesentlich kleinere Wellenlängen als Licht. Deshalb können sie auch wesentlich kleinere Strukturen auflösen. Die kleinste Wellenlänge des sichtbaren Lichtes beträgt etwa 400 nm. Die Wellenlänge der Elektronen in Elektronenmikroskopen beträgt meist etwa 0,05 nm.

Bestimmte Bauteile findet man in allen Elektronenmikroskopen. Sie haben einen Elektronenstrahler zur Erzeugung der Elektronen. Weil die in Lichtmikroskopen verwendeten herkömmlichen Linsen mit Elektronenstrahlen nicht funktionieren, lenken und fokussieren magnetische „Linsen“ den Elektronenstrahl. Einen wichtigen Bestandteil des Elektronenmikroskops bildet das Vakuumsystem. Elektronen werden leicht von den Molekülen der Luft gestreut. Deshalb muß im Inneren eines Elektronenmikroskops ein Hochvakuum herrschen. Schließlich benötigt ein Elektronenmikroskop auch eine Vorrichtung zur Fixierung und Darstellung der mit den Elektronen erzeugten Bilder.

Man unterscheidet zwei Grundtypen von Elektronenmikroskopen: das Durchstrahlungselektronenmikroskop (Transmissionselektronenmikroskop, TEM) und das Rasterelektronenmikroskop (REM). Beim Durchstrahlungselektronenmikroskop wird ein Elektronenstrahl auf das zu vergrößernde Objekt gerichtet. Einige der Elektronen werden von der Probe absorbiert oder gestreut, andere durchdringen die Probe und erzeugen hinter ihr ein vergrößertes Abbild. Die Probe muß dabei äußerst dünn geschnitten sein. Normalerweise ist eine solche Probe nur einige hundert Nanometer dick. Zur Aufzeichnung des vergrößerten Abbilds wird hinter der Probe eine fotografische Platte oder ein Leuchtschirm angebracht. Mit einem Durchstrahlungselektronenmikroskop kann man Gegenstände bis zum Einmillionenfachen vergrößern.



Elektronenmikroskop-Aufnahme

Diese elektronenmikroskopische Aufnahme zeigt einen Bakteriophagen, der nur Bakterien infiziert, in diesem Fall nur *Escherichia coli*. Phagen können sich nicht selbst vermehren und veranlassen Bakterien, dies für sie zu tun. Sie heften sich mit den hier sichtbaren Schwanzfasern an die Zellwand des Bakteriums. Der Schwanz kontrahiert sich und injiziert den Inhalt des Kopfes, das Genmaterial (DNA), in den Wirt. Das Bakterium wird jetzt darauf programmiert, Virennachwuchs zu erzeugen. Das Bakterium platzt auf und setzt etwa 100 neue Bakteriophagen frei.

M. Wurtz/Universität Basel/Science Source/Photo Researchers, Inc.

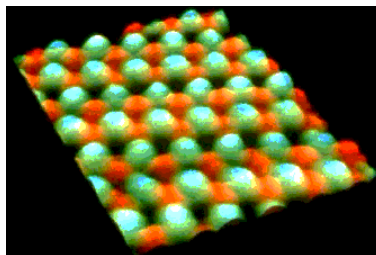
Ein Rasterelektronenmikroskop erzeugt ein vergrößertes Abbild der Oberfläche eines Gegenstandes. Bei diesem Verfahren muß die Probe nicht dünn geschnitten sein, sie braucht nur wenig oder gar keine Aufbereitung. Anders als ein Durchstrahlungselektronenmikroskop, das einen verhältnismäßig großen Teil der Probe auf einmal erfaßt, tastet ein Rasterelektronenmikroskop die Oberfläche der Probe schrittweise ab. Ein stark gebündelter Elektronenstrahl bewegt sich ähnlich dem Elektronenstrahl, der beim Fernsehen das Bild auf den Schirm „schreibt“, über die gesamte Probe. Die Elektronen des gebündelten Strahles können direkt von der Oberfläche der Probe gestreut werden oder die Emission (Abstrahlung) von Sekundärelektronen aus der Probenoberfläche bewirken. Diese gestreuten oder Sekundärelektronen werden in einem Kollektor gesammelt und von einem neben der Probe eingebauten elektronischen Zähler erfaßt. Jeder abgetastete Punkt der Probe entspricht einem Pixel auf einem Fernsehbildschirm. Je mehr Elektronen der Zähler feststellt, desto heller wird das Pixel am Bildschirm. Während sich der Elektronenstrahl über die Probe bewegt, entsteht auf dem Bildschirm ein vollständiges Abbild der Probe. Rasterelektronenmikroskope erreichen eine 100.000fache und höhere Vergrößerung. Sie sind im Gegensatz zu Durchstrahlungselektronenmikroskopen und starken Lichtmikroskopen besonders dazu geeignet, die Oberfläche eines Gegenstandes realistisch und dreidimensional abzubilden.

Es wurden noch verschiedene andere Elektronenmikroskope entwickelt. Das Raster-Transmissions-Elektronenmikroskop verbindet Durchstrahlungs- und Rasterelektronenmikroskop. Mit diesem Mikroskoptyp hat man sogar einzelne Atome bzw. Atomgruppen abbilden können. Ein Elektronenstrahl-Mikroanalysator ist ein Elektronenmikroskop, das mit einem Gerät für die Röntgenspektalanalyse ausgerüstet ist und die hochenergetischen Röntgenstrahlen untersuchen kann, die eine Probe aussendet, wenn sie mit Elektronen bestrahlt wird. Moleküle oder Atome lassen sich anhand der von ihnen ausgesandten Röntgenstrahlen identifizieren. Daher liefert ein Elektronenstrahl-Mikroanalysator nicht nur wie herkömmliche Elektronenmikroskope ein vergrößertes Abbild der Probe, sondern auch Informationen über ihre chemische Zusammensetzung.

2.1.1 Sondenrastermikroskope

Einige Mikroskope tasten die Oberfläche der Probe mit einer Sonde ab. Sie erzeugen ein dreidimensionales Abbild des Netzwerkes von Atomen und Molekülen. Die Sonde ist eine äußerst feine Metallspitze, die im Abstand von nur wenigen Atomdurchmessern über die Probe gefahren wird. Eine wichtige Form dieser Mikroskopart ist das Rastertunnelmikroskop. Es wurde 1981 erfunden und basiert auf einer quantenphysikalischen Erscheinung, die als Tunneleffekt bezeichnet wird. Kurz angemerkt: Der Tunneleffekt beschreibt ein Teilchen in einem Energiebereich (hier Elektron), in dem es sich nach den Gesetzen der klassischen Physik nicht aufhalten darf - es durchdringt oder „durchtunnelt“ diesen Bereich. Während die Sonde über die Probenoberfläche fährt, wird eine niedrige Spannung an Probe und Sonde angelegt. Da sich die Sonde sehr nahe an der Oberfläche der Probe befindet, treten die Elektronen an der Lücke über (durch den Tunneleffekt) und erzeugen einen Strom.

Das Rastertunnelmikroskop nutzt diesen Tunneleffekt zur Erzeugung dreidimensionaler Abbilder von Stoffen mit elektrischer Leitfähigkeit (Elektrizität). Die Stärke des erzeugten Stromes hängt vom Abstand zwischen Probe und Sonde ab. Nähert sich die Sonde der Oberfläche, wird der Strom stärker, entfernt sie sich, nimmt der Tunnelstrom ab. Der Abtastmechanismus des Mikroskops führt die Sonde über die Oberfläche der Probe und paßt dabei den Abstand so an, daß die Stärke des Tunnelstromes immer gleich bleibt. Durch Aufzeichnen dieser kleinsten Anpassungsbewegungen erhält man ein Abbild der Oberflächenkonturen. Nach Abschluß der vielen Abtastbewegungen von einer



Sichtbar gemachte Atome

Obwohl der Durchmesser von Atomen im Bereich von milliardstel Millimeter liegen kann, lassen sich einzelne Atome mit Hilfe von Rastertunnelmikroskopen sichtbar machen. Die Aufnahme zeigt die Oberfläche eines Germaniumkristalls.

IBM Research/Peter Arnold, Inc.

Seite der Probe zur anderen errechnet dann ein Computer das genaue dreidimensionale Abbild der Oberfläche.

Das Rasterkraftmikroskop arbeitet ebenfalls mit der Abtastung durch eine Sonde. Allerdings spielt der Tunneleffekt hier keine Rolle, daher können auch nichtleitende Proben untersucht werden. Die Elektronen der Metallsonde werden von den Elektronenwolken der Atome innerhalb der Probe abgestoßen. Das Mikroskop paßt den Abstand der Sonde zur Probenoberfläche ständig an. Dadurch ist die auf die Sonde wirkende Abstoßungskraft immer gleich groß. Die Bewegungen der Sonde werden mit einem Fühler aufgezeichnet und mit einem Computer zu einem dreidimensionalen Abbild der Probenoberfläche verarbeitet.

2.2 Kritik

Es ist schade, daß die Mikroskopie im Allgemeinen und die Elektronenmikroskopie im Besonderen so wenig Erläuterung innerhalb der Praktika von Werkstofftechnik und Physik erfährt. Die hohe Bandbreite der Möglichkeiten, die dem Ingenieur durch die Ausnutzung der Methoden offen stehen und auch in vielen Branchen des Maschinenbaus und Teilbereichen der Physik angewandt werden, bleibt so der Mehrheit der Studenten verborgen. In diesem Zusammenhang möchte ich auch auf die didaktischen Möglichkeiten im Bereich der Schlißbildmikroskopie zur Aufbereitung der Gefügearten hinweisen, die dadurch in hohem Maße aufgelockert werden könnten. Leider stehen hier der hohe Aufwand und die damit verbundenen Kosten entgegen. Wünschenswert und im Rahmen des möglichen wären jedoch Diaserien, die in groben Zügen diese Bereiche anschaulicher machen könnten, da die kopierten Bilder ebenso wie die gedruckten in werkstofftechnischen Fachbüchern doch recht unanschaulich sind. Ich denke dabei an eine Aufbereitung im Stil der – man verzeihe mir diesen Ausdruck – „Sendung mit der Maus“, wo das Allgemeine in mehreren Bildern bis ins Detail verfeinert wird.

Quellennachweis:

1. Vorlesung Prof. Tautzenberger
2. Vortrag Hr. Rett/Dipl. Ing. Gelfert
3. Bargel, H., Schulze, G.: „Werkstoffkunde“, 6. Auflage, Düsseldorf 1994, VDI-Verlag, Seiten 91ff
4. Fischer, U.: „Fachkunde Metall“, 51. Auflage, Nourney 1992, Europa Lehrmittel Verlag, Seiten 288f
5. Microsoft® Encarta® 97 Enzyklopädie
6. Roloff/Matek: „Maschinenelemente, Tabellen“, 13. Auflage, Braunschweig/Wiesbaden 1995, Verlag Vieweg

Fachhochschule Augsburg

Ausbildungsrichtung Technik

Fachbereich: Maschinenbau

Studiengruppe:M2A

Praktikum: Werkstofftechnik

Hauptbericht/Nebenbericht Arbeitsgruppe: 19

Arbeitstag: 08.06.98 Bearbeiter dieses Berichtes: Michael Franz

Einlief.-Tag: 15.06.98 Mitarbeiter: Oliver Deißer

.....
Unterschrift

Versuchsaufgabe: Härteprüfung (Versuch Nr. 2)

1 Grundlagen

Härte ist der Widerstand eines Stoffes gegen das Eindringen eines anderen Körpers. Bei einem Härteprüfverfahren wird also ein Körper in einen anderen gedrückt, wobei eben dieser Widerstand gemessen wird. Die Art dieser Meßmethode ist dabei von der Art des Prüfverfahrens abhängig. Daher ergeben sich auch unterschiedliche Meßergebnisse je nach Verfahren. Um Vergleiche anstellen zu können, müssen zum einen die Prüfmethoden genormt werden, um für jede Messung gleiche Verhältnisse zu schaffen. Zum anderen muß bei jeder Härteangabe die Art des Härteprüfverfahrens angegeben werden, mit der der Wert ermittelt wurde. Für bestimmte Materialien sind Umrechnungen von Härtewerten verschiedener Verfahren nach Normtabellen DIN 50150 teilweise erlaubt. Da dies stets mit Ungenauigkeiten verbunden ist, muß die Umrechnung bei Härtewerten, für die dieses Verfahren angewandt wurde, stets mit angegeben werden.

1.1 Härteprüfung von Metallen

Grundsätzlich kann die Härte von Metallen mit unterschiedlichen Möglichkeiten ermittelt werden:

- Ritzen der Oberfläche (Grundlage der Mohsschen Härteskala)
- Eindringen eines Prüfkörpers unter statischen Belastung
- Eindringen eines Prüfkörpers unter dynamischer Belastung
- Rückprall infolge des elastischen Verhaltens des Prüfstücks

In der Technik finden nur die letzten drei Verfahren Verwendung, wobei sich die letzten zwei dynamischen Verfahren teilweise überschneiden. Die dynamischen Härteprüfverfahren haben den Vorteil, daß die Prüfgeräte wesentlich kleiner sind und dadurch auch Messungen an der fertigen Konstruktion möglich sind. Am häufigsten wird der *Baumann*-Hammer eingesetzt. Hierbei schlägt ein Spannbolzen mit einer bestimmten Kraft eine Kugel in ein Werkstück. Über die Größe des Abdrucks wird mit einer Meßlupe anhand einer Vergleichstabelle die *Brinellhärte* bestimmt. Das Ergebnis ist der statischen *Brinellhärtemessung*, die ich später genauer erläutern werde, gleichzusetzen, aber ungenauer, ebenso wie das ähnliche Verfahren mit Hilfe des *Poldi*-Hammers. Bei diesem wird gleichzeitig eine Kugel in das Prüfstück und in ein Vergleichsstück bekannter Härte eingeschlagen. Durch die Verhältnisse der Eindruckgrößen läßt sich die gesuchte Härte ermitteln. Bei diesen beiden ist die Messung in jeder Lage möglich. Bei den sogenannten Rückprallverfahren nicht. Je nach Gerät können genau waagerechte oder senkrechte Flächen gemessen werden. Gemessen wird hier die Rücksprunghöhe eines Fallgewichts. Da hier jedoch härteunabhängige Faktoren mit einspielen, läßt dieses Verfahren bestenfalls Vergleichsmessungen an einer Konstruktion zu.

Bei den statischen Methoden, die im Maschinenbau ausschließlich eingesetzt werden, wird die Prüfkraft beim Eindringen des Prüfkörpers in das Werkstück hingegen stoßfrei aufgebracht und wirkt eine vorbestimmte Zeit ruhend auf den Werkstoff ein. Je nach Prüfverfahren wird entweder a) nach dem Entlasten die Fläche des bleibenden Eindruckes gemessen und der Quotient aus Prüfkraft und Eindruckfläche berechnet oder es wird b) während des Eindringens die Eindringtiefe gemessen und unmittelbar in die entsprechenden Härtewerte umgewandelt. *Brinell* und *Vickers* verwenden Verfahren a), während bei *Rockwell* b) angewandt wird. Bei allen Prüfverfahren ist grundsätzlich ein genormter Mindestabstand zwischen Eindruck und Probenrand beziehungsweise anderem Eindruck einzuhalten. Auch muß berücksichtigt werden, daß sich das Prüfstück unter der Messung nicht verformen darf, es ergeben sich also bestimmte vorgeschriebene Mindestdicken, die aus Normtabellen abzulesen oder zu berechnen sind. Für dünne Materialien und Beschichtungen finden zum Teil besondere Verfahren Verwendung, die jedoch auf den hier beschriebenen Methode basieren.

1.1.1 Härteprüfung nach Brinell

Eine Kugel bestimmten Durchmessers D aus gehärtetem Stahl oder Hartmetall wird mit der gewählten Prüfkraft F in die Probe eingedrückt. Nach einer bestimmten Einwirkdauer wird die Kraft zurückgenommen. Der Durchmesser der bleibenden Eindruckfläche sei d (wird aus dem arithmetischen Mittelwert zweier Messungen an einem Eindruck ermittelt, normalerweise wird ein optisches, vergrößerndes Meßgerät benutzt). Somit erhält man die Brinellhärte HB mit:

$$HB = \frac{0,102 \cdot 2F}{\pi \cdot D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

In der Praxis werden dazu Tabellen herangezogen, fehlende Werte linear interpoliert. Die so ermittelte Härte ist unabhängig von Prüfkraft und Kugeldurchmesser, solange der Eindruckdurchmesser d zwischen $0,24D$ und $0,6D$ liegt. Um dies zu gewährleisten, werden die Werkstoffe in verschiedene Belastungsgrade eingeteilt und entsprechend Prüfkraft und Kugeldurchmesser gewählt. Stahl beispielsweise besitzt den Belastungsgrad 30 und mit der Formel $[\text{Belastungsgrad}] = 0,102 \cdot F/D^2$ kann man die korrekte Kraft und den richtigen Kugeldurchmesser auswählen. Werden diese Belastungsgrade nicht berücksichtigt, können sich falsche Härtewerte ergeben, die nicht mehr direkt vergleichbar sind. Es erfolgt eine Härteangabe vom Typ

$$[\text{Brinellhärte}] \text{ HB[S oder W]} [D]/[F/0,102]^1,$$

wobei S für eine gehärtete Stahlkugel und W bei Verwendung einer Hartmetallkugel angegeben wird. Beispiel: gemessene *Brinellhärte* von 315 bei Stahlkugeldurchmesser 2,5mm und einer Prüfkraft von 1840N \Rightarrow 315 HBS 2,5/187,5

Weicht die Einwirkdauer von den normalen 10-15s ab, so ist es hinter der Bezeichnung mit anzugeben. Die *Brinellhärteprüfung* ist nach DIN EN 10003 genormt und nur für weiche Werkstoffe bis höchstens 450 HB geeignet. Die Mindestprobendicke beträgt das 17fache der Eindringtiefe. Genauere Werte auch für die zulässigen Abstände zum Probenrand und zu anderen Prüfstellen gemäß Norm.

1.1.2 Härteprüfung nach Vickers

Kommentar: Weitere Verfahren nicht notwendigerweise so detailliert!

Das Verfahren ist dem Brinellverfahren sehr ähnlich. Der Eindruckkörper besteht nun allerdings aus einer Diamantpyramide quadratischen Grundrisses. Der Flächenwinkel der Pyramide ist mit 136° so gewählt, daß die Werte mit der *Brinellprüfung* vergleichbar werden. Für *Vickers* Härtewerte mit $F > 49\text{N}$ und *Brinell*-Härtewerte bis zum Belastungsgrad 30 gilt nach DIN 50150 bis HV 470: $HB = 0,95 \cdot HV$. Mit dem *Vickersverfahren* lassen sich auch sehr harte Werkstücke noch exakt messen, wobei die Oberfläche nur sehr wenig geschädigt wird.

Nach Wegnahme der Prüfkraft werden die Diagonalen d_1 und d_2 des Eindrucks gemessen und daraus der arithmetische Mittelwert d gebildet. Wir erhalten die Vickershärte HV aus Tabellen oder nach

$$HV = \frac{0,189 \cdot F}{d^2}.$$

¹⁾ Die Härteskalen wurden zu einer Zeit aufgestellt, in der die Kraft noch in kPond angegeben wurde. Der Faktor 0,102 dient zur Umrechnung von N in kPond, um die normierten Skalen beibehalten zu können.

Je nach zu messendem Material wird die Prüfkraft gemäß Norm variiert. Man unterscheidet den Makrobereich für Werkstoffe von HV 5 bis HV 100 mit einer Prüfkraft von 49,03N bis 980,7N, den Kleinlastbereich von HV 0,2 bis HV 5 mit einer Prüfkraft von 1,96N bis 49,03N und den Mikrobereich mit Werten darunter. Die Bezeichnung lautet folgendermaßen:

$$[\text{Vickersh\u00e4rte}] \text{HV} [\text{Pr\u00fcfkraft}\cdot 0,102]$$

Beispiel: gemessene Vickersh\u00e4rte von 640 bei einer Prüfkraft von 294,2N \Rightarrow 640 HV 30. Weicht die Einwirkdauer von den normalen 10-15s ab, so diese hinter der Bezeichnung mit anzugeben. Die *Vickersh\u00e4rtepr\u00fcfung* ist nach DIN 50133 genormt. Die Mindestprobendicke betr\u00e4gt das 10fache der Eindringtiefe. Genauere Werte auch f\u00fcr zul\u00e4ssige Abst\u00e4nde zum Probenrand und zu anderen Pr\u00fcfstellen gem\u00e4\u00df Norm.

1.1.3 H\u00e4rtepr\u00fcfung nach Rockwell

Anders als bei den vorhergehenden Pr\u00fcfverfahren wird bei *Rockwell* die Eindringtiefe des Pr\u00fcfk\u00f6rpers gemessen. „Eine Pr\u00fcfvorkraft F_0 , die den Zweck hat, einen sicheren Kontakt zwischen Pr\u00fcfst\u00fcck und Eindringk\u00f6rper herzustellen und Spiel in der Me\u00dfeinrichtung auszuschalten, erzeugt eine Eindringtiefe t_0 , der eine Bezugsebene f\u00fcr die H\u00e4rteskala zugeordnet wird. Durch eine Pr\u00fcfkraft F_1 , die mindestens vier mal so gro\u00df ist wie F_0 , wird eine bleibende Eindringtiefe t_b erzeugt. Das Pr\u00fcfg\u00e4r\u00e4t, das die Eindringtiefe mi\u00dft, erlaubt dabei ein unmittelbares Ablesen der H\u00e4rtewerte, wobei eine gr\u00f6\u00dfere Eindringtiefe eine geringere H\u00e4rte bedeutet.“ [Quelle 3] Es wird dabei zwischen mehreren Rockwell-Pr\u00fcfverfahren unterschieden. Die beiden wichtigsten sind das *Rockwell-C*- und *B*-Verfahren (*HRC* und *HRB*). Die Pr\u00fcfvorkraft F_0 betr\u00e4gt bei allen 98 ± 2 N, wobei eine H\u00e4rteeinheit $2\mu\text{m}$ Eindringtiefe entspricht. Bei *Rockwell-C* verwendet man einen Diamantkegel (120° Spitzenwinkel, abgerundete Spitze) bei einer Pr\u00fcfkraft von $F_1=1373$ N. Dadurch eignet sich das Verfahren auch f\u00fcr sehr harte Materialien, w\u00e4hrend *Rockwell-B* durch den Einsatz einer Stahlkugel ($D=1,5875$ mm) auf die Messung mittlerer H\u00e4rten begrenzt ist (*35HRB* bis *100HRB*). Die Rockwellh\u00e4rtepr\u00fcfung hat gegen\u00fcber dem *Vickers*- und dem *Brinell*-Verfahren den Vorteil eines geringeren Zeitaufwands und die M\u00f6glichkeit einer einfachen automatischen Me\u00dfwerterfassung. Andererseits ist sie ihnen durch elastische Verformung und Aufbiegungsvorg\u00e4nge an Genauigkeit unterlegen. Sie ist nach DIN 50103 genormt. Hierin sind auch Werte zur Mindestprobendicke sowie die zul\u00e4ssigen Abst\u00e4nde zum Probenrand und zu anderen Pr\u00fcfstellen enthalten.

1.2 H\u00e4rtepr\u00fcfung von Kunststoffen

Die bei Metallen angewandten *Brinell*- und *Vickersverfahren* sind bei Kunststoffen nicht einsetzbar, da dort die H\u00e4rte aus der plastischen Verformung bestimmt wird. Kunststoffe verformen sich jedoch haupts\u00e4chlich elastisch und ver\u00e4ndern sich im Laufe der Zeit durch Kriechvorg\u00e4nge. Die H\u00e4rte kann daher nur unter Last gemessen werden. Zum Einsatz kommen bei geringen Anforderungen an Genauigkeit und Reproduzierbarkeit bei Messung von Elastomeren die H\u00e4rtepr\u00fcfungen nach *Shore A* oder *Shore D* gem\u00e4\u00df DIN 53505. Diese Art der H\u00e4rtemessung ist sehr kosteng\u00fcnstig und schnell durchf\u00fchrbar. Sie wird in Zusammenhang mit Versuch 6 (Kunststoffversuch) ausreichend erl\u00e4utert und soll daher hier nicht n\u00e4her beschrieben werden. Genauere Werte lassen sich durch den Eindruckversuch beziehungsweise den Kugeleindruckversuch f\u00fcr weichere Kunststoffe ermitteln. Nat\u00fcrlich sind auch bei Kunststoffh\u00e4rtepr\u00fcfungen Mindestabmessungen und Mindestabst\u00e4nde vom Probenrand und von anderen Pr\u00fcfstellen vorgeschrieben.

1.2.1 Eindruckversuch nach DIN 53456²

Der Eindruckversuch nach DIN 53456 ist für alle Polymere bis hin zu Hartgummi geeignet. Zum Einsatz kommt dabei eine gehärtete Stahlkugel ($D=5\text{mm}$), die über eine Vorkraft von $F_0=9,81\text{N}$ auf die Probe gedrückt wird. Sie wird nach etwa 5s innerhalb von 2s um die Prüfkraft F_1 , die in vier Normstufen so gewählt wird, daß die Eindringtiefe zwischen 0,15 mm und 0,35 mm liegt, gesteigert. Davon abhängig wird unter Last aus der Eindringtiefe nach 30s die Härte berechnet. Sie ist bei modernen Geräten direkt abzulesen oder über Tabellen oder Rechnung zu bestimmen. Gegebenenfalls ist eine Aufbiegung des Prüfgerätes zu berücksichtigen. Anders als bei den bisherigen Prüfverfahren ist die Prüfdauer stets anzugeben und der Härtewert mit der Einheit N/mm^2 zu versehen. Laut Norm ist für einen korrekten Härtewert wegen der hohen Streuung der Mittelwert über 10 Messungen anzugeben. Es ergibt sich folgende Syntax:

$$H [\text{Prüfkraft}] / [\text{Einwirkdauer}] = [\text{Härtewert}] \text{ N}/\text{mm}^2$$

Beispiel: gemessene Härte $89\text{N}/\text{mm}^2$ bei einer Prüfkraft $F_1=358\text{N}$ und einer Einwirkdauer von 30s $\Rightarrow H 358/30=89 \text{ N}/\text{mm}^2$.

1.2.2 Kugeldruckversuch nach DIN 53519

Für weichere Kunststoffe mit gummielastischem Verhalten ist der Eindruckversuch ungeeignet. Hier wird der Kugeldruckversuch nach DIN 53519 angewandt. Gemessen wird die Eindringtiefe einer Kugel unter einer festgelegten Gesamtkraft von 5,7N nach 30s Einwirkdauer. Die hierbei meßbaren Kunststoffe werden in zwei Gruppen eingeteilt (weich oder normal), nach denen sich Kugeldurchmesser und Dicke der plattenförmigen Probe richten. Die Härte wird als *Internationaler Gummihärtegrad (IRHD)* angegeben.

2 Versuchsdurchführung und Auswertung

Als erstes wurde das Prüfstück auf seine Oberfläche (laut Norm polierte Oberfläche) untersucht. Es durften keine offensichtlichen Inhomogenitäten oder Beschädigungen in der Nähe der Meßstelle vorhanden sein, die das Ergebnis verfälschen könnten. Dann wurde es so in das Prüfgerät eingelegt, daß der Abstand der Prüfstelle zu den Werkstückkanten beziehungsweise zu benachbarten Messungen den vorgeschriebenen Mindestmaßen genügte. Je nach Prüfverfahren wurde danach das Meßgerät entsprechend eingestellt und betätigt, sowie nach dem Abwarten der Einwirkdauer abschließend die Prüfergebnisse abgelesen oder ausgemessen. Aus Tabellen wurde daraufhin der Härtewert ermittelt und notiert. Es wurden folgende Versuche durchgeführt:

- 1) Brinellprüfung einer unlegierten, normalgeglühten Stahlplatte ($t=10 \text{ mm}$)
- 2) Rockwell-C-Prüfung eines gehärteten und angelassenen Stahlblechs ($t=2,5 \text{ mm}$)
- 3) Brinellprüfung einer Messingplatte ($t=10 \text{ mm}$)
- 4) Vickersprüfung im Makrohärtebereich einer Stahlplatte aus St12 ($t=1 \text{ mm}$), Überprüfung der maximal zulässigen Prüfkraft abhängig von der Eindringtiefe³
- 5) Eindruckprüfung an Polymerprobe

Die Ergebnisse und Versuchsparameter sind in die Tabellen aus dem vorbereiteten Skriptum eingetragen und als Anlage A nachzulesen.

²) Diese Norm ist bereits veraltet und wurde durch eine DIN EN-Norm ersetzt.

³) Die Länge der Diagonale darf gemäß DIN höchstens das eineinhalbfache der Probendicke betragen.

3 Ausblick

Die genaue Messung von Härtekennwerten der Werkstoffe sollte dem Fachmann überlassen werden. Denn es ist schwierig, sämtliche Einflußgrößen, die eine Rolle spielen, zu beachten, selbst wenn alle Normen und Vorschriften bei der Messung beachtet werden. Darüber hinaus spielen nämlich noch weitere Faktoren eine Rolle. Prüftemperatur, Werkstückoberfläche, Lagererscheinungen, Kriechen des Werkstoffs, Wulstbildung oder Nachziehen des Materials, etc., dies alles kann unter Umständen Härtekennwerte verfälschen oder deren Ermittlung erschweren, auch wenn heutige Geräte die Messung an sich immer einfacher gestalten. Viel Erfahrung ist nötig, um mit diesen Faktoren richtig umgehen zu können.

3.1 Kritik

Die Verwendung von teilweise nicht normgerechten Proben und Prüfmitteln schränkte die Gültigkeit der Versuche ein, was jedoch der didaktischen Vermittlung und des Kennenlernens der Prüfmethoden nicht zum Nachteil gereicht. Lediglich die unsymmetrisch geschliffene Diamantpyramide beim Vickersversuch gibt Anlaß zu Kritik.

Quellenangabe: 1. Vorlesung und Vortrag Prof. Tautzenberger
2. „Werkstoffkunde“ von H. J. Bargel und G. Schulze
3. „Fachkunde Metall“ vom Europa Lehrmittel Verlag

Fachhochschule Augsburg

Ausbildungsrichtung Technik

Fachbereich: Maschinenbau

Studiengruppe:M2A

Praktikum: Werkstofftechnik

Hauptbericht/Nebenbericht Arbeitsgruppe: 19

Arbeitstag: 18.05.98 Bearbeiter dieses Berichtes: Michael Franz

Einlief.-Tag: 25.05.98 Mitarbeiter: Oliver Deißer

.....
Unterschrift

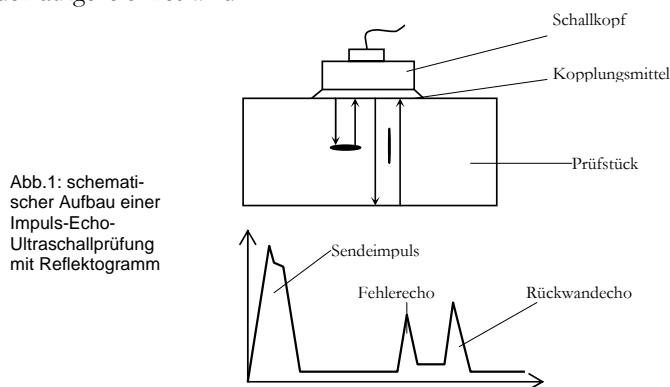
Versuchsaufgabe: Ultraschallprüfung (Versuch Nr. 4)

1 Grundlagen

Durch die Ultraschallprüfung von Werkstücken können zerstörungsfrei innere Unregelmäßigkeiten, sogenannte Ungängen, sowie die Dicke des Materials festgestellt werden. Ungängen müssen nicht notwendigerweise Fehlstellen wie Risse oder Lunker sein.

Es werden hauptsächlich Frequenzen ab 0,5 bis maximal 10 MHz verwendet. Dies liegt zum einen daran, daß sich hohe Frequenzen besser bündeln und richten lassen, zum anderen am Auflösungsvermögen des Systems, das um so besser wird, je kleiner die Wellenlänge ist. Das maximale Auflösungsvermögen beträgt unbeeinflussbar ungefähr $\lambda/2$ und wird durch Beugung verursacht. Bei einer Schallgeschwindigkeit in Stahl von $c = 6000\text{m/s}$ und einer mittleren Frequenz von etwa $f = 10\text{MHz}$ ergibt sich nach $c = \lambda \cdot f$ eine Wellenlänge von $\lambda = 0,6\text{mm}$ und damit ein maximales Auflösungsvermögen von $0,3\text{mm}$. Es lassen sich also Fehlstellen ab einem Durchmesser von mindestens $0,3\text{mm}$ senkrecht zur Schallrichtung aufspüren.

Ultraschallwellen werden normalerweise durch den piezoelektrischen Effekt erzeugt. Dabei wird an einen Kristall wie beispielsweise Quarz, Natrium-Kalium-Tartrat oder Ethylen-Diamin-Tartrat eine Wechsellspannung angelegt, woraufhin der Kristall zu schwingen beginnt und Longitudinalwellen gleicher Frequenz wie die der angelegten Spannung aussendet. Der Effekt wird durch die Verschiebung von Ionen in Kristallen mit nichtsymmetrischen Einheitszellen verursacht und ist auch umkehrbar, das heißt, wenn der Kristall in Schwingungen versetzt wird, erzeugt er eine Wechsellspannung der gleichen Frequenz und kann so auch als Empfänger dienen. Die so erzeugten Ultraschallwellen dringen in das Metallprüfstück ein, durchlaufen es, bis sie an einer Grenzfläche zu einem anderen Medium reflektiert werden, es entstehen Echos.¹ Dies passiert ebenso an Fehlstellen im Material wie Rissen oder Lunkern (Fehlerecho) als auch an der Rückwand des Prüfstücks und bewußten Aussparungen im Material (Rückwandecho). Um das Echo, das natürlich auch beim Übergang von der Schallsonde in das Material entsteht, möglichst gering zu halten, wird zwischen Sender und Metalloberfläche ein Kopplungsmittel aufgetragen (Wasser oder Öl). Da sich der Schall mit einer konstanten Geschwindigkeit ausbreitet, kann man durch Messung der Laufzeit vom Beginn des Sendepulses bis zur Rückkehr des reflektierten Strahls den Ort des Reflektors ermitteln (Impuls-Echo-Verfahren). Dazu werden von einem Schallkopf kurze Schallimpulse ausgesandt. In der Zeit zwischen den Impulsen arbeitet es als Empfänger. Zur Messung wird ein Oszilloskop verwendet, auf dem der Sendepuls und gegebenenfalls seine Echos als Reflektogramm dargestellt werden. Die Laufzeit auf der x-Achse entspricht der Tiefenlage der Reflexionsschicht im Material, an der der Impuls reflektiert wird. Auf der y-Achse ist der Meßwert des Stromimpulses zu sehen, der durch den Sendepuls bzw. seine Echos am Schallkopf zur Zeit t nach dem Senden aufgezeichnet wird.



¹) Schallwellen werden an der Grenzfläche zweier Medien im Verhältnis ihrer Schallwiderstände reflektiert. Beim Übergang von Metall in Luft tritt bereits praktisch Totalreflexion ein, selbst wenn der Luftspalt nur 10^{-6} mm beträgt.

Die Einzelheiten der Ultraschallmessung sind sehr komplex. Man muß zum Beispiel beachten, daß jeder Sendepuls von Haus aus mehrere Echos erzeugt, da der Schall mehrmals zwischen Sender und Rückwand beziehungsweise Ungänze reflektiert werden kann. Ist die Reflexionsfläche einer Fehlstelle nicht senkrecht zur Schallausbreitungshaupttrichtung angeordnet, wird das Echo nach dem Reflexionsgesetz von Snellius nicht zum Prüfkopf zurückgesandt werden. Dann kann der Fehler nur durch die überdurchschnittliche Abschwächung des Rückwandechos gegenüber fehlerlosen Bereichen der selben geometrischen Abmessungen festgestellt werden. Kritisch können auch Risse längs der Schallausbreitungshaupttrichtung sein, oder Fehlstellen, die nahe der Oberfläche liegen, da sie mit den Rückwandechos beziehungsweise dem Eintrittsecho zusammenfallen können. Solche Fehlstellen können leicht übersehen werden. Zu beachten sind auch Fehlmessungen durch Seitenwandechos, die dadurch entstehen, daß sich die Schallwellen (vor allem bei Messung schlanker Werkstücke entlang ihrer Längsachse) nicht nur geradlinig, sondern auch zur Seite hin ausbreiten, wo sie an den Seitenwänden reflektiert werden. Ein anderes, verwandtes Prüfverfahren, mit dem ein Teil dieser Probleme umgangen werden kann, ist das Durchschallungsverfahren. Hier sind Sender und Empfänger voneinander getrennt und gegenüber angeordnet. Nachteil: da die Echos nicht ausgewertet werden, kann man keine Aussage über die Fehlertiefe machen. Auch andere Ultraschallprüfverfahren sind bekannt.

2 Versuchsdurchführung einschließlich Auswertung

Verwendet wurde ein Prüfkopf MB2SN im Impuls Echo Verfahren. Je nach Geometrie des zu messenden Bauteils verwendet man unterschiedliche Prüfköpfe. Dadurch kann die Fokussierung des Strahlengangs, der nur in einem bestimmten Bereich optimal ist, den Verhältnissen angepaßt werden. Vor allem Seitenechos können dadurch vermieden werden.

2.1 Messung der Schallgeschwindigkeit

Zunächst muß das Gerät auf die exakte Schallgeschwindigkeit des zu prüfenden Materials eingestellt werden. Falls diese nicht bekannt ist, läßt sie sich auch durch die Apparatur ermitteln. Dazu benötigt man eine fehlerfreie Probe desselben Materials, deren Höhe bekannt ist. Dann durchschallt man diese Probe und stellt den Abstand zwischen zwei Rückwandechos an den Reglern für die Schallgeschwindigkeit und Parallelverschiebung so ein, daß der Abstand zwischen zwei Rückwandechos genau der Werkstückhöhe entspricht (Maßstab am Oszilloskop beachten!). Dazu verwendet man nicht das Eintrittsecho, da dessen Ausschlag einen sehr breiten Fuß besitzt, sondern das zweite und folgende Rückwandecho. Verglichen werden die Flanken aufstriche der Signale oder bei unausgeprägten Flanken deren Spitzen. Das sogenannte Gras wird durch die Verstellung der Nulllinie weggeschnitten. Für die Intensität verwendet man normalerweise 20dB Grobeinstellung. Feineinstellungen können während der Messung vorgenommen werden. Dies ist vor allem bei Messung an unterschiedlichen Materialien oder sehr unterschiedlichen Werkstückabmessungen notwendig. Man justiert so, daß der Großteil der dargestellten Signale gut erkennbar sind. Sind diese Justierungen korrekt durchgeführt worden, kann man die Schallgeschwindigkeit am Regler ablesen.

Auf diese Weise ermittelten wir die Schallgeschwindigkeiten 5920 m/s für gewalzten Stahl und 5900 m/s für vergossenen Stahl.

2.2 Bauteildickenmessung

Gemessen wurden die unterschiedlichen Höhen eines abgestuften Zylinders aus Gußstahl, dessen Stufen durch einen Kunststoffzylinder verdeckt sind (siehe Abb.2). Die Schallgeschwindigkeit war vorher auf 5900 m/s eingestellt worden. Wir suchten durch Verschieben des Schallkopfs den Bereich, wo die Signale gleichmäßig einzeln auftraten. Dort mußte sich eine Abstufung befinden. Das Oszilloskop wurde so eingestellt, daß sich das erste Rückwandecho auf der Nulllinie befand. Bei geeignetem Maßstab und Intensität lasen wir die Position des zweiten Rückwandechos ab. Sie entsprach der Höhe an dieser Stelle. Nach geradlinigem Verschieben des Prüfkopfs quer über die Mittelachse konnten wir die Höhe der zweiten Abstufung messen. Die beiden Höhen wurden wie in Abb.2 dargestellt ermittelt.

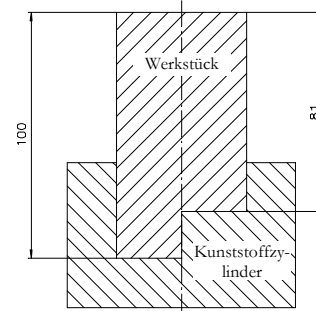


Abb.2: zu prüfendes Werkstück bei 2.1

2.3 Fehlerermittlung

Ein Vierkant-Werkstück wurde in vier Quadranten eingeteilt. Diese Quadranten sollten auf Fehler untersucht werden. Dazu justierten wir zuerst die Apparatur anhand der fehlerfreien Mitte auf Schallgeschwindigkeit und Höhe. Dann verschieben wir den Schallkopf nacheinander auf die Quadranten, bis wir die maximale Intensität für die Fehlerechos erhielten. Nach Parallelverschiebung des ersten Fehlerechos auf Null lasen wir jeweils unter Berücksichtigung des Maßstabs den Abstand bis zum zweiten Fehlerecho als Tiefe der Fehlstelle ab. Es ergaben sich folgende Werte:

1. Quadrant: Fehler in 49 mm Tiefe
2. Quadrant: kein Fehler
3. Quadrant: Fehler in 39 mm Tiefe
4. Quadrant: Fehler in 58 mm Tiefe

2.4 Seitenwandechos

An einem schmalen Werkstück sollten Rückwandechos von Seitenwandechos unterschieden werden. Dazu mußte unbedingt - anders als bei den bisherigen Versuchen - der Bereich zwischen Eintrittsecho und erstem Rückwandecho betrachtet werden. Hier sind in keinem Fall Seitenwandechos enthalten, da jedes Seitenwandecho durch Mehrfachreflexion einen längere Laufzeit besitzt als das erste Bodenecho. Der Maßstab wurde so gewählt, daß mehrere Rückwandechos darstellbar sind. Durch den ungefähren Abstand zwischen Eintrittsecho und eindeutig feststellbarem erstem Rückwandecho konnten die weiteren Rückwandechos ermittelt werden, die jeweils den gleichen Abstand voneinander haben müssen. In der nebenstehenden Abbildung befinden sich also Rückwandechos an den Stellen 2, 4, 6 und 8. Bei maßstabsgerechter Umrechnung erhalten wir eine Werkstückhöhe von 100 mm, was auch tatsächlich der Fall war. Auf diese Weise lassen sich auch Fehlerechos von Seitenwandechos unterscheiden, da ein Fehlerecho auch zwischen Eintritts- und erstem Rückwandecho auftreten müßte. Zu beachten ist auch das letzte dargestellte Seitenwandecho auf der rechten Seite. Es ist größer, also intensiver als das vierte Rückwandecho, da es durch mehrfache Reflexion an den Wänden einen kürzeren Weg hinter sich hat.

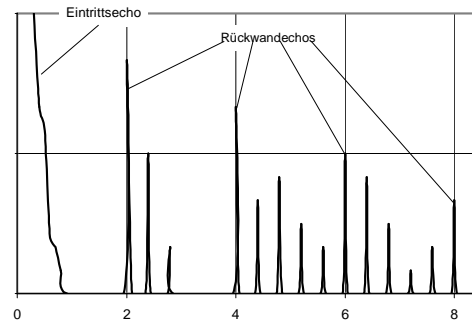


Abb.3: Reflektogramm zu 2.4 im Maßstab 1:50

2.5 Ermittlung der Schallgeschwindigkeiten in Messing, Aluminium und Kunststoff

Bei 2.1 hatten wir bereits mittels des Ultraschallprüfgeräts die Schallgeschwindigkeiten in Gußstahl und Walzstahl gemessen. Diese Methode war jedoch relativ umständlich, da man das Gerät sehr genau justieren mußte. Eine einfachere Methode bietet sich an, wenn man folgende Beziehung betrachtet:

$$\frac{c_x}{c_{\text{eingest.}}} = \frac{l}{l_{\text{gemessen}}} \Rightarrow c_x = \frac{l \cdot c_{\text{eingest.}}}{l_{\text{gemessen}}}$$

c_x gesuchte Schallgeschwindigkeit

$c_{\text{eingest.}}$ am Gerät eingestellte Schallgeschwindigkeit

l tatsächliche Werkstücklänge

l_{gemessen} am Oszilloskop unter Beachtung des Maßstabs abgelesene Werkstücklänge

Mit dieser Gleichung ermittelten wir die Schallgeschwindigkeiten von Messing, Aluminium und Kunststoff. Am Gerät war stets eine Schallgeschwindigkeit von 5920 m/s eingestellt.

Werkstoff	wahre Länge des Prüflings	gemessene Werkstücklänge	errechnete Schallgeschwindigkeit	Schallgeschwindigkeit laut Literatur
Messing	50 mm	67 mm	4418 m/s	3500 m/s
Aluminium	50 mm	46 mm	6435 m/s	5110 m/s
Kunststoff	40 mm	105 mm	2255 m/s	k.A.

Indem wir die errechneten Schallgeschwindigkeiten jeweils am Oszilloskop einstellten und die tatsächliche Länge dadurch nochmals mit der jetzt gemessenen verglichen, konnten wir die ermittelten Schallgeschwindigkeiten überprüfen und Meßfehler ausschließen.

Die Literaturwerte stimmen hierbei mit den errechneten nur in sehr geringem Maß überein. Die Abweichung hierbei beträgt jeweils recht genau 21% bzw. 14% bei den Werten von Stahl (gemessen: 5920 m/s gegenüber Literaturwert 5100 m/s). Dies kann mehrere Gründe haben:

1. Technische Fehler im Meßgerät oder im Prüfkopf.

Dies läßt sich ausschließen, da hierbei bei Messung unterschiedlicher Materialien die absolute oder zumindest die relative Meßabweichung vom Literaturwert konstant sein müßte. Wir haben 21% Abweichung bei Messing und Aluminium, aber 14% bei Stahl.

2. Meßfehler bei der Versuchsdurchführung.

Dies kann durch die Anwesenheit mehrerer Versuchsteilnehmer und die nochmalige Überprüfung der Werte anhand der Werkstücke nahezu ausgeschlossen werden.

3. Die Literaturwerte sind für eine Temperatur von 20°C angegeben. Die Temperatur bei unserer Messung wurde nicht registriert. Die Schallgeschwindigkeit ist aber indirekt proportional zur Wurzel aus der Dichte des durchschallten Materials und damit von der Temperatur abhängig.

Die Dichteänderung von Feststoffen beträgt bei einem Temperaturunterschied von höchstens $\pm 5^\circ\text{C}$ nahezu Null und kann somit nicht für eine so große Abweichung der Schallgeschwindigkeiten verantwortlich sein.

4. Die Literaturwerte sind unter der Bedingung der Schallausbreitung in langen Stäben angegeben. Wir haben keine langen Stäbe beim Versuch verwendet sondern kurze Zylinder bzw. kurze Quader.

Dies könnte möglicherweise eine Quelle der Abweichungen zu sein. Als Erklärung für die geringere Geschwindigkeit in langen Stäben könnte dabei Interferenz und Behinderung unter den Schallwellen dienen. Dies ist jedoch nur eine ungesicherte Vermutung. Man müßte diese These durch Versuche am gleichen Material in Form eines langen Stabes sichern oder entkräften.

5. Werkstoffe besitzen nicht immer die gleiche Zusammensetzung. Durch andere Bestandteile, Verdichtungseigenschaften oder anderer Erstarrungsbedingungen bei der Herstellung können sich andere Schallgeschwindigkeiten ergeben. Möglicherweise sind durch heutige Fertigungsverfahren die Materialien einfach in sich homogener oder reiner und können daher den Schall schneller übertragen. Die Literaturwerte wären also veraltet.

Auch diese Erklärung ist sehr plausibel. Zur Verifizierung wäre eine Meßreihe an Materialien gleicher Abmessungen notwendig. Diese Materialien müßten jedoch von verschiedenen Herstellern bezogen und dabei auf unterschiedliche Weise hergestellt worden sein.

Fazit:

Schallgeschwindigkeiten sind wie andere Werte mit Bedacht und nicht ohne Vorsicht aus Tabellen zu übernehmen. Man muß unbedingt darauf achten, daß gleiche Bedingungen herrschen wie bei der ursprünglichen Ermittlung der Literaturwerte. Falls möglich, sollte der Wert unter Versuchsbedingungen neu ermittelt werden, um kein Risiko einzugehen. Dies ist bezüglich der Schallgeschwindigkeit bei der Ultraschallprüfung möglich und sollte daher tunlichst angewandt werden.

3 Ausblick

3.1 Weitere Anwendungsgebiete

Der Ultraschall wird inzwischen in vielen Bereichen angewandt, so in Physik, Chemie, Technik, Materialwissenschaft und Medizin. Ultraschallwellen nutzt man auch beim Sonar für Forschungs- und Navigationszwecke oder beispielsweise zum Aufspüren von Fischeschwärmen. Zu den physikalischen und technischen Anwendungen zählen die Bestimmung von Materialeigenschaften wie Kompressibilität, Verhältnis von spezifischen Wärmekapazitäten oder Elastizität. Man kann mit ihnen Gegenstände ohne chemische Belastung der Umwelt reinigen. Bestimmte hochzerbrechliche Materialien wie zum Beispiel Bernstein sind nur dadurch bearbeitbar. Ultraschallwellen dienen außerdem zum Erzeugen von Emulsionen, etwa beim Homogenisieren von Milch oder bei der Produktion fotografischer Filme, sowie, wie hier gezeigt, zur Suche nach Materialfehlern in Werkstoffen. Mit Hilfe von Ultraschall mit Frequenzen im Gigahertzbereich kann man im Ultraschallmikroskop noch Details von nur einem Mikrometer Größe erkennen. Akustische Oberflächenwellen haben wichtige Anwendungen bei elektronischen Steuerungseinrichtungen.

In der Medizin ist der Ultraschall inzwischen ein gängiges Hilfsmittel zur Diagnose und zum Zerstören von krankem Gewebe wie auch zum Heilen von geschädigtem Gewebe. Mit Ultraschall kann man beispielsweise behandeln: Schleimbeutelentzündungen, einige Arten rheumatischer Arthritis, Gicht und Muskelverletzungen. Auch Nierensteine können mit Ultraschall zerstört werden. Bei der Diagnose bietet der Ultraschall zuweilen mehr Möglichkeiten als die Röntgenstrahlen. Denn mit Röntgenstrahlen kann man die geringen Dichteunterschiede des Gewebes bei manchen Krebsarten oft nicht erkennen. Während der Schwangerschaft erlaubt der Ultraschall eine sehr schonende Aufnahme des Fötus im Mutterleib. Beim Durchdringen verschiedener Gewebe im Körper werden die Ultraschallwellen jeweils auf eine ganz bestimmte Art gebrochen oder reflektiert, je nach der Dichte und der Elastizität des Gewebes. Mit einem sogenannten Ultraschallskalpell kann der Chirurg z. B. bei Operationen am Hirn (Lobotomie) oder am Ohr sehr viel feinere Schnitte ansetzen als mit einem herkömmlichen Skalpell. Bei diathermischen (wärmedurchlässigen) Vorrichtungen können Ultraschallwellen eingesetzt werden, um im Körperinneren Wärme zu erzeugen (aufgrund des Widerstands bestimmter Gewebearten). Dieses Verfahren nutzt man in der Physiotherapie aus.

Bei allen Vorteilen, die der Ultraschall bietet, darf nicht vergessen werden, daß bei sehr hohen Frequenzen und hoher Intensität Schädigungen des menschlichen Körpers auftreten können. Auch bei verschiedenen technischen Anwendungen wie zum Beispiel im Flugzeugbau sind Ultraschallwellen gefürchtet.

3.2 Kritik

Der Versuch ist sehr interessant und gut zu verstehen. Interessant wäre noch gewesen, Fehlstellen zu analysieren, die so klein sind, daß sie nicht das gesamte Schallfeld reflektieren, so daß auf dem Schirm Fehler- und Rückwandecho zusehen wären. Auch geneigte Fehlstellen, die nicht senkrecht reflektieren könnten von Interesse sein. Leider würde das wahrscheinlich den zeitlichen Rahmen sprengen.

-
- Quellenangabe:
1. Vorlesung Prof. Tautzenberger
 2. Vortrag Prof. Fischer
 3. „Werkstoffkunde“ von H. J. Bargel und G. Schulze
 4. „Fachkunde Metall“ vom Europa Lehrmittel Verlag
 5. Microsoft® Encarta® 97 Enzyklopädie
 6. „Taschenbuch der Physik“ von H. Kuchling

Fachhochschule Augsburg

Ausbildungsrichtung Technik

Fachbereich: Maschinenbau

Studiengruppe: M2A

Praktikum: Werkstofftechnik

Hauptbericht/Nebenbericht

Arbeitsgruppe: 19

Arbeitstag: 11.05.98

Bearbeiter dieses Berichtes: Michael Franz

Einlief.-Tag: 18.05.98

Mitarbeiter: Oliver Deißer

.....
Unterschrift

Versuchsaufgabe: Spektralanalyse (Versuch Nr. 5)

1 Grundlagen

Unter Spektralanalyse versteht man die Analyse der Zusammensetzung von Objekten durch die Auswertung der elektromagnetischen Strahlung, die vom Objekt ausgesendet wird. Die beiden Hauptanwendungen der Spektralanalyse liegen in der Chemie und der Astrophysik.

Hintergrund ist die physikalische Gegebenheit, daß sich die Elektronen in den Atomen nur in ganz bestimmte Energiezustände versetzen lassen, abhängig von deren Ordnungszahl. Wenn dem Atom also Energie zugeführt wird, werden die Elektronen in höhere Energieniveaus versetzt. Man sagt, es wird angeregt. „Fallen“ die Elektronen wieder in ihre ursprünglichen Bahnen herab, wird diese Energie wieder in Form eines Lichtquants oder Photons abgegeben. Je nach Energieniveau ergibt sich ein bestimmter Lichtquant mit einer genau definierten Energie und nach Heisenberg¹ und Planck² exakten Wellenlänge, abhängig von der Atomart. Es ergibt sich, je nach chemischer Zusammensetzung, ein bestimmtes Spektrum, das für jedes Element charakteristisch ist, mit genauso so vielen Spektrallinien, wie Energiezustände möglich sind. Das Elektron des Wasserstoffs zum Beispiel kann neun mögliche Energiezustände einnehmen und damit neun verschiedenen Spektrallinien emittieren. Diese können allerdings sehr eng beieinander liegen, wie z.B. bei der Lyman-Serie, wo die Spektrallinien nicht mehr trennbar sind und als eine einzige erscheinen. (siehe Abb.1) Mit zunehmender Ordnungszahl des Elements sind mehr Protonen und damit auch um so mehr Elektronen und mögliche Energiezustände vorhanden. Es werden also bei Anregung sehr viele Spektrallinien entstehen.³

Natürlich müssen nicht, um ein Element zu analysieren, sämtliche Spektrallinien ausgewertet werden. Es genügt der Nachweis der Existenz der sogenannten charakteristischen Spektrallinien, die normalerweise gleichzeitig die stärksten sind, um das Element nachzuweisen. Sie bilden einen sogenannten „Fingerabdruck des Elements“.

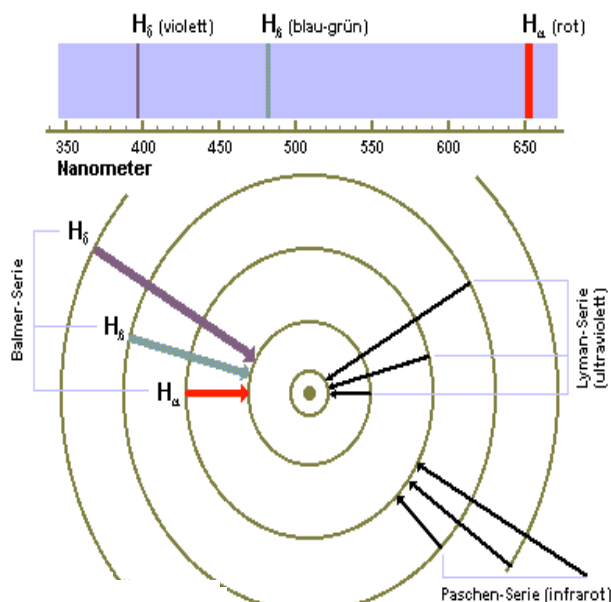


Abb.1: Spektrallinien des Wasserstoffs⁴

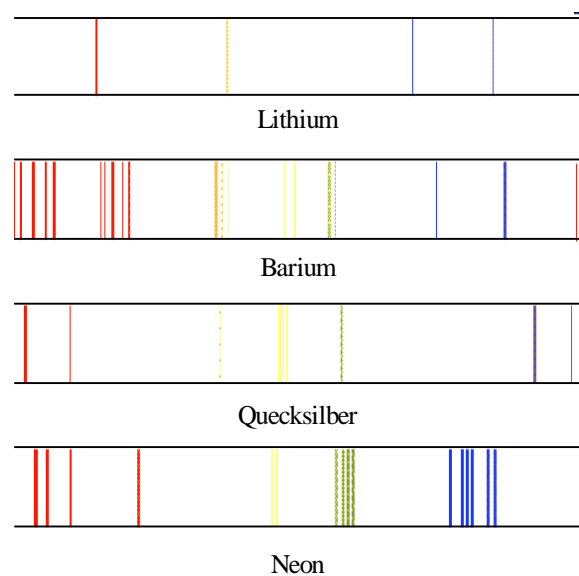


Abb.2: charakteristische Spektrallinien³

¹) Heisenberg, Werner (1901-1976), Physiker und Nobelpreisträger, einer der Begründer der Quantenmechanik.

²) Planck, Max (1858 bis 1947), deutscher Physiker und Nobelpreisträger sowie Begründer der Quantentheorie.

³) Dieser Bericht kann keine vollständige Quantentheorie beschreiben. Die tatsächlichen und exakten Vorgänge im Atom sind wesentlich komplexer und deren Beschreibung würde den Rahmen dieses Berichts bei weitem übersteigen. Dies ist nur als eine kurze Einführung zu verstehen, die allgemein über die Grundlagen der Spektralanalyse informiert.

⁴) Microsoft® Encarta® 97 Enzyklopädie. © 1993-1996 Microsoft Corporation

In der Astronomie, wo durch die Spektroskopie die Zusammensetzung, Geschwindigkeit und noch viele andere Eigenschaften ferner Sterne bestimmt werden, werden die Atome der Sterne ständig durch die darin ablaufende Fusion oder andere Vorgänge angeregt und geben daher laufend Licht (oder Strahlung) bestimmter Wellenlängen ab. In der Metallindustrie, wo die Zusammensetzung einer metallischen Probe interessiert, leuchtet das zu untersuchende Material natürlich nicht von selbst. Wir benötigen dafür einen Lichtbogen, der in unserem Fall über eine Kupferelektrode, die für die Analyse von Stahl- und Eisenprodukten verwendet wird, an das Prüfstück geleitet wird. Der Lichtbogen verdampft durch seine hohe Temperatur Metall, dessen freiwerdende Atome zur Emission ihrer charakteristischen Wellenlängen angeregt werden. Wenn man das emittierte Licht in die Spektrallinien aufspaltet, läßt sich das vorliegende Spektrum mit dem des Reinmetalls vergleichen. Die Linien, die im Spektrum des Reinmetalls nicht vorkommen, müssen von den Legierungsbestandteilen herrühren. Über eine Schautafel kann das jeweilige Element durch Vergleich der Wellenlängen der Spektrallinien (also nach deren Position) identifiziert werden. Die Intensität der Spektrallinien läßt Rückschlüsse auf den Gehalt des dazugehörigen Elements in der Probe zu, da um so mehr Licht ausgesandt wird, je mehr Atome angeregt werden können.

2 Aufbau und Anordnung

Der Lichtbogen, der bei Beachtung der Vorfunk- und maximalen Abfunkzeit, des richtigen Elektrodenabstands und Stromstärke an der Probe entsteht, wird über ein Objektiv auf ein Prisma geleitet, das die einzelnen Spektrallinien aufspaltet. Diese werden durch eine einachsige Linse hindurch auf das Okular gerichtet, wo man die Linien erkennen kann. Gleichzeitig wird zum Vergleich ein Lichtbogen am Reinmetall erzeugt, der über ein anderes Objektiv und einen Spiegel so in das Prisma einfällt, daß seine Spektrallinien exakt unterhalb des Prüfspektrums im Okular erscheint. Das Prisma ist drehbar gelagert und über die sogenannte Dispersionstrommel steuerbar, so daß man je nach Stellung einen bestimmten Teil des Spektrums sehen kann. Die derzeitige Stellung wird über einen Pfeil im Okular und eine Skala auf der Dispersionstrommel angezeigt. Anhand der Schautafel und der Skala bestimmt man die gerade betrachtete Wellenlänge.

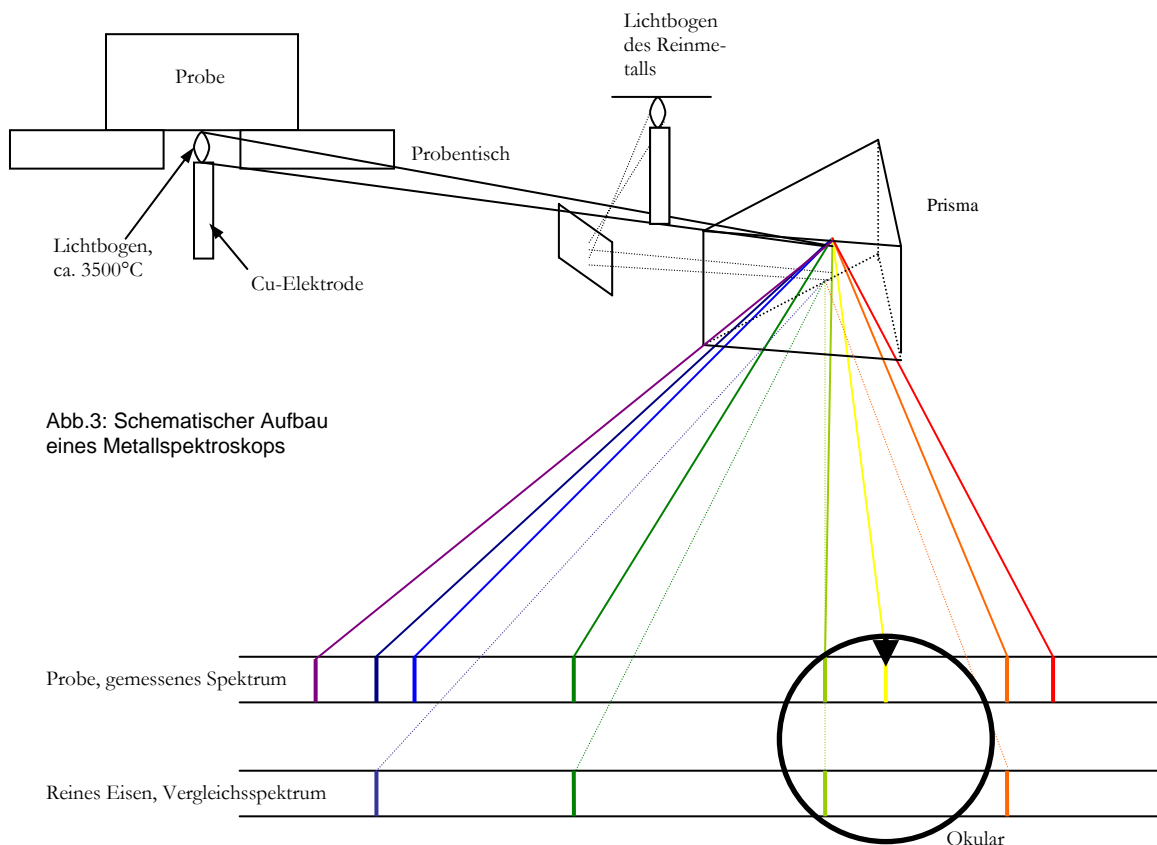


Abb.3: Schematischer Aufbau eines Metallspektroskops

Für spektroskopische Untersuchungen werden sehr häufig auch optische Gitter statt Prismen verwendet. In den heute üblichen Geräten besteht das Gitter häufig aus einer spiegelnden Metall- oder Glasoberfläche, auf der mit einem Diamant eine große Zahl paralleler Rillen eingeritzt worden sind. Ein gutes Gitter hat eine sehr hohe Streukraft und ermöglicht daher eine detailliertere Darstellung. Die Linien des Beugungsgitters können auf einem konkaven Spiegel abgebildet werden, so daß das Gitter auch der Fokussierung des Lichtes dient. Linsen sind daher in einem Gitterspektrometer überflüssig. Das Licht muß keine transparenten Substanzen durchlaufen. Deshalb eignet sich ein Beugungsgitter auch für Apparate, mit denen man den gesamten ultravioletten Bereich bis hinein in den Röntgenbereich spektroskopisch untersucht. Normalerweise müßte man, da die Lichtbrechung von der Wellenlänge abhängt, für solche Bereiche Speziallinsen aus Quarz, Fluorit, Sylvit oder Steinsalz verwenden. Auch konkave Spiegel können Linsen ersetzen. Spezielle fotografische Emulsionen finden Verwendung. Auf diese Weise kann das ultraviolette Spektrum bis zu Wellenlängen von weniger als 60 Nanometer und das infrarote Spektrum bis in Bereiche über 0,1 Millimeter untersucht werden.

3 Versuchsdurchführung

3.1 Qualitative Analyse

Die Probe soll auf das Vorkommen folgender Legierungsbestandteile untersucht werden: Cr₃ bei Skalenteil 32,5, Cr₆ bei 29,8, Cr₈ bei 28,2, Mo₃ bei 23, Mo₄ bei 22,1. Die Zahlen nach dem chemischen Element stehen hierbei für bestimmte Spektrallinien laut Benennung in der Tabelle des Meßgeräteherstellers. Hier sind die charakteristischen Spektrallinien zur Benennung willkürlich numeriert. Eigentlich genügt zur qualitativen Analyse das Bestätigen einer einzigen charakteristischen Spektrallinie. Jedoch könnte unter Umständen die Spektrallinie eines Elements mit der eines anderen zusammenfallen. Deshalb werden meist mehrere Linien nachgewiesen.

Um die geforderten Spektrallinien aufzufinden, wird das Prisma mit Hilfe der Skala auf die ungefähre Stellung laut Tabelle gebracht. Dann prägt man sich das Bild der Spektrallinien an dieser Stelle ein, um im Okular die richtige Linie zu finden. Als Hilfe dient dabei wieder das Vergleichsspektrum des Reinmetalls, da dort die Linien der Legierungsbestandteile nicht auftauchen. Der Pfeil im Okular ist dabei nur von geringem Nutzen, da seine Stellung gegenüber dem Spektrum schwer abzuschätzen ist. Man muß unbedingt das Okular scharf stellen, um auch feine Linien oder Linien, die dicht beieinander liegen, wie bei Mo₄, erkennen zu können. Bei unserem Versuch konnten wir durch sorgfältige Durchführung alle geforderten Linien nachweisen. Der Zeitaufwand für die qualitative Analyse ist relative gering. Für den Nachweis von Kupfer muß eine andere Elektrode verwendet werden.

3.2 Quantitative Analyse

Für die quantitative Analyse wird die Intensität der einzelnen Spektrallinien der Legierungsbestandteile betrachtet. Je stärker die Intensität, desto höher ist der Anteil in der Probe. Um objektive Aussagen erhalten zu können, muß die Spektrallinie des Legierungselements mit einer bestimmten Spektrallinie des Eisens verglichen werden. Sinnigerweise benötigt man zwei Linien, die gleichzeitig im Okular erscheinen. Welche Linien dabei zu vergleichen sind, entnimmt man wieder den Herstellertabellen. Wenn zum Beispiel die Cr₆-Linie mit der Fe₇₀-Linie in der Intensität übereinstimmt, kann man mit Hilfe der Tabelle feststellen, daß die Probe 1,5% Chrom enthält. Solche zwei Linien nennt man ein homologes Linienpaar.

Das Verfahren ist äußerst aufwendig und zeitraubend, vor allem, wenn keine Angaben über die Zusammensetzung des Prüfstücks gemacht werden können. Für die Bestimmung muß zunächst die einzelnen Spektrallinien der Elemente herausgesucht werden. Um deren Anteile im Material zu bestimmen, müssen dann für jedes Element laut Tabelle die Spektrallinien herausgefunden werden, die am ehesten übereinstimmen. Also für jedes Element etwa zehn bis zwanzig Messungen. Ob zwei Linien tatsächlich gleiche Intensität besitzen, ist schwierig abzuwägen und sehr subjektiv. Nur der erfahrene Fachmann kann hier überhaupt Aussagen treffen. Dennoch sind mit diesem einfachen Verfahren keine exakten Zusammensetzungen festzustellen. Auch wir hatten bei unserem Versuch erhebliche Schwierigkeiten bei der Aussage, ob zwei zu untersuchende Linien gleiche Intensität besitzen oder nicht. Außerdem gilt dieses sogenannte Eigenstandard-Verfahren ohne Umrechnungen nur annähernd. Bei dem Vergleich ist nämlich das Grundelement (hier: Eisen) gleich 100% gesetzt, da nur hierauf die Tabellen geeicht sind. In Wirklichkeit müßte man den Vergleich auf den tatsächlichen Gehalt des Eisens im Prüfstück beziehen, der logischerweise unter 100% liegt. Da man aber eben diesen Gehalt vor der Analyse nicht weiß, muß man diese Näherung in Kauf nehmen. Tatsächlich ist der Gehalt der Legierungsbestandteile aber etwas geringer als der ermittelte. Jedoch ist dieser Unterschied für niedriglegierte Elemente vernachlässigbar. Für höher- und hochlegierte Stähle muß man die Ergebnisse umrechnen. Dafür berechnet man die Summe der Anteile der gefundenen Legierungsbestandteile (>100%). Jetzt kann man einfach mit Hilfe des Dreisatzes den tatsächlichen Anteil berechnen, indem man auf 100% bezieht. Beispiel: Anteil an Chrom laut Messung: 5,5%, bezogen auf die Gesamtheit von 128,74% (Summe aller Bestandteile zuzüglich 100% vom Grundwerkstoff). Daraus folgt der tatsächliche Anteil an Chrom mit $5,5\% / 1,287 = 4,27\%$. Nach diesem Schema werden alle anderen Legierungsbestandteile ebenfalls umgerechnet.

4 Erweiterte Prüfverfahren

4.1 Spektrograph und Spektralphotometer

Bei diesen Messgerätetypen wird als Ersatz für das Okular oder zusätzlich über ein Linsen- und Spiegelsystem eine photochemisch beschichtete Platte belichtet. Nach dem Entwickeln sind darauf die kompletten Spektren der Probe und des Reinmetalls festgehalten. Die qualitative Analyse ist sinngemäß gleich wie beim einfachen Prüfverfahren. Beim Spektralphotometer wird zusätzlich noch folgendermaßen eine quantitative Analyse durchgeführt: Die belichtete und entwickelte Platte (Schwarzweiß genügt, da von der Position auf die Wellenlänge geschlossen werden kann) wird von einer Seite durchleuchtet. Mit einem photoelektrischen Bauteil, das zuerst unter die Linie des Legierung, dann unter die des zu vergleichenden Reinmetalls gebracht wird, mißt man die Intensität des durchgehenden Lichts elektrisch und exakt. Je nachdem, wieviel Licht beim ursprünglichen Belichten auf die Stelle der Spektrallinie auftraf, wurde die Platte stärker oder weniger stark geschwärzt, und damit tritt jetzt mehr oder weniger Licht durch die Platte an der jeweiligen Spektrallinie. Durch die elektronische Messung ist dieses Verfahren relativ genau, aber immer noch relativ aufwendig.

4.2 Quantitatives Spektrometer

Das quantitative Spektrometer ist die vollautomatische Variante der obigen Verfahren. Hierbei wird statt des Okulars oder der Fotoplatte ein Halbkreis mit photoelektrischen Bauteilen verwendet, die mit einem Rechner verbunden sind. Das Gerät wird einmal durch Kalibrierstücke, deren Zusammensetzungen bekannt sind, eingerichtet. Der Computer mißt und speichert die Intensität der dabei auftretenden Spektrallinien, und kann dann beim Einsatz sofort die jeweilige Konzentration angeben. Außerdem ist er auch in der Lage, zwischen Prozentwerten zu interpolieren. Wenn das quantitative Spektrometer einmal kalibriert ist, mißt es die Zusammensetzung innerhalb weniger Minuten. Durch den sehr hohen Preis ist es jedoch nur für große Gießerei- oder Walzbetriebe geeignet, die durch die hohe Analysegeschwindigkeit in der laufenden Produktion messen und dadurch gegebenenfalls noch korrigieren können. Die einmalig notwendige Kalibrierung ist jedoch noch immer sehr aufwendig und zeitintensiv.

5 Ausblick

Die Spektralanalyse ist neben der herkömmlichen chemischen Analyse mit Chemikalien eine der wenigen Möglichkeiten, die Zusammensetzung von Werkstoffen zu bestimmen. Sie hat den Vorteil, daß vor der Messung nichts über die Zusammensetzung des Metalls bekannt sein muß.

Das einfache Metall-Spektroskop ist vor allem für einfache ungenaue Nachweise der Zusammensetzung bei geringem Zeitaufwand geeignet. Denn auch bei großem Zeitaufwand ist die Genauigkeit der Analyse eher minderer Qualität, sie läßt sich allerdings durch qualifizierte und erfahrene Mitarbeiter verbessern. Bei der erweiterten Version als Spektograph oder Spektralphotometer läßt sich die Genauigkeit weiter erhöhen. Aber erst mit teuren quantitativen Spektrometern können rationelle Messungen durchgeführt werden. Erweiterte sehr komplexe Verfahren sind in der Atom- und Kernphysik im Einsatz. Hier werden zum Beispiel zwei magnetische Verfahren der Spektroskopie im Radiowellenbereich des Spektrums, unterhalb des Infrarotbereichs, zur Gewinnung chemischer Informationen über Moleküle und bei der Ermittlung ihres Aufbaus verwendet. Diese Verfahren sind die Nuklearmagnetische Resonanz (NMR: Nuclear Magnetic Resonance) und die paramagnetische Elektronenresonanz, die auch als Elektronenspinresonanz (ESR: Electron Spin Resonance) bezeichnet wird. Es gibt noch mehr spezifischere Einsatzbereiche und Möglichkeiten für die Spektralanalyse.

Die Entwicklungsmöglichkeiten im Bereich der Spektralanalyse sind noch nicht ausgeschöpft. Durch die Weiterentwicklung der Computer- und Elektrotechnikbranche ist zu erwarten, daß auch quantitative Spektrometer durch die Realisierung einfacherer und kompakterer Aufbauten und automatisierter Kalibrierungsmöglichkeiten wirtschaftlicher und erschwinglicher werden.

Quellenangabe: 1. Skript Werkstofftechnisches Praktikum FHA
2. Vortrag Dipl. Ing. Jedlicka
3. Microsoft® Encarta® 97 Enzyklopädie

Fachhochschule Augsburg

Ausbildungsrichtung Technik

Fachbereich: Maschinenbau

Studiengruppe: M2A

Praktikum: Werkstofftechnik

Hauptbericht/Nebenbericht

Arbeitsgruppe: 19

Arbeitstag: 04.05.98

Bearbeiter dieses Berichtes: Michael Franz

Einlief.-Tag: 11.05.98

Mitarbeiter: Oliver Deißer

.....
Unterschrift

Versuchsaufgabe: Kunststoffversuch (Versuch Nr. 6)

1 Längenänderungen beim Tempern

Kunststoff (Polyethylen) wird bei der Herstellung durch Polymerisation des Ausgangsproduktes Ethylen bei hohen Temperaturen hergestellt. Dabei verbinden sich die Ethylen-Moleküle zu langen Molekülketten. Beim nachfolgenden Strangpressen wird der Kunststoff schlagartig abgekühlt, so daß sich diese Molekülketten wahllos ineinander verschlingen. In diesem Zustand benötigen die Molekülfäden mehr Raum, als wenn sie in geordnetem Zustand erstarren würden. Außerdem können Freiräume, also Fehlstellen im Material entstehen, was die Festigkeit herabsetzt. Durch Tempern, d.h. langandauerndes Erwärmen des Stoffes, können die Verflechtungen und die Fehlstellen abgebaut werden. Tempern ist somit ein notwendiges Verfahren zur Verhinderung einer späteren Formänderung. Allerdings führt der Vorgang zu einer Längenänderung des Werkstoffes, die sich nach folgender Formel berechnen läßt:

$$\varepsilon_l = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot 100\%$$

1.1 Messungen und Auswertung vor und nach dem Tempern

	Kunststoff vor dem Tempern	Kunststoff nach dem Tempern	Änderung
Länge	120,1 mm	119,2 mm	-0,75%
Breite	6,3 mm	6,3 mm	0,00%
Höhe	12,7 mm	12,7 mm	0,00%
Volumen	9,61cm ³	9,54cm ³	-0,75%

(gemäß Anlage B: a)

1.2 Ergebnis

- die Länge nimmt beim Tempern ab
- Breiten und Höhenänderungen sind wegen der mangelnden Parallelität und Ebenheit der Werkstückflächen am vorliegenden Prüfstück nicht meßbar
- theoretisch sollten das Werkstück in Breite und Höhe geringfügig zunehmen, dabei allerdings in der Werkstückmitte mehr als an den Rändern
- das Kunststoffstück strebt beim Tempern eine kleinstmögliche Oberfläche an, einen kugel- oder ellipsenähnlichen Zustand

2 Härtemessung nach Shore

Mithilfe des Shore-Härteprüfverfahrens wird die Härte des Kunststoffes geprüft. man trifft eine Unterscheidung zwischen Shore A für weiche Kunststoffe (Elastomere, z.B. Gummi) und Shore D für harte Kunststoffe (Thermo- und Duroplaste). In diesem Fall erfolgte eine Prüfung eines Kunststoffes nach Shore D.

In den zu prüfenden Werkstoff wird bei Shore D eine genormte Pyramidenspitze mit einer Kraft von 5000 p eingedrückt. Der Randabstand soll dabei mindestens 13 mm betragen. Nach drei Sekunden erfolgt die Ablesung der Shorehärte an der Ableseskala

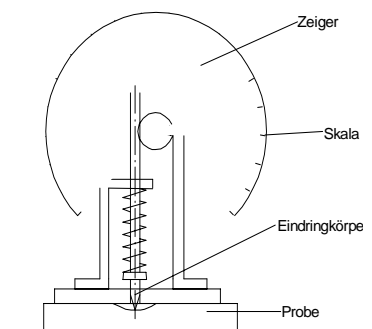


Abb. 1

2.1 Messung und Auswertung

Messung	1	2	3	4	5	Mittelwert
Härte nach Shore D	85	85	85	85	84	84,80

(gemäß Anlage B: b))

2.2 Ergebnis

Die Unterschiede bei den Messungen können von verschiedenen Faktoren wie Messungenauigkeiten, Ablesefehlern, falsche Kalibrierung der Messgeräte u.a. herrühren.

Der Vorteil dieses Prüfverfahrens besteht darin, daß er äußerst kostengünstig durchzuführen ist. Die Prüfbedingungen und der Vorgang selbst sind genormt. Nur Härteprüfungen nach Shore sind vergleichbar.

3 Schlagzähigkeit von Kunststoffen

Dieser Versuch dient der Ermittlung der Zähigkeit von Kunststoffen. Die Schlagzähigkeitsversuche werden auf Pendelschlagwerken durchgeführt. Eine genormte Probe wird dabei mit der schmälere Seite nach unten eingelegt und mit einem Schlag durchbrochen. Über den Schleppzeiger an der Skala wird die verbrauchte Schlagarbeit abgelesen. Anhand der Meßwerte können nun Folgerungen auf die Schlagzähigkeit des geprüften Werkstoffes bei plötzlich auftretender Beanspruchung getroffen werden. Die Schlagzähigkeit nimmt mit steigender Schlagarbeit zu.

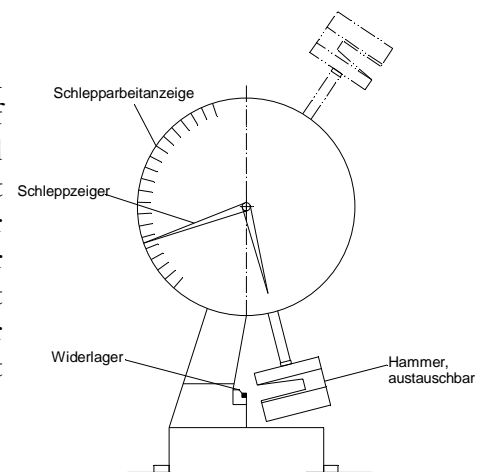


Abb. 2

3.1 Messung und Auswertung

Messung	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mittelwert
Schlagzähigkeit in J	1,62	1,40	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,64	1,23	1,12	1,22
Schlagzähigkeit pro Querschnittsfläche in J/mm ²	0,19	0,17	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,20	0,15	0,13	0,15

$$\text{Querschnitt } A = 1,3\text{mm}^2 \cdot 6,4\text{mm}^2 = 8,32\text{mm}^2$$

(gemäß Anlage B: c))

3.2 Ergebnis

Die Abweichung der Meßergebnisse ist relativ stark. Die hohen Meßabweichungen werden vermutlich durch ungenaue Plazierung und unterschiedliche Oberflächenbeschaffenheit der Kunststoffproben verursacht. Möglicherweise sind die Probenstücke nicht vom selben Strang zugeschnitten worden oder das Material ist sehr inhomogen.

4 Biegeversuch

Zwischen zwei Auflagern mit dem Abstand 100 mm wird eine Kunststoffprobe mit der Breite $b=10$ mm und der Höhe $h=14$ mm eingespannt. Mit einer Vorlast von 20 N drückt der Druckbolzen mittig auf das zu prüfende Stück. Diese Vorlast garantiert, daß der Prüfkörper sowohl am Druckbolzen als auch an den Lagern gut anliegt. Nun wird die Prüfkraft gleichmäßig erhöht und nach jeweils 100 N die Durchbiegung bis zum Bruch abgelesen.

4.1 Messung und Auswertung

4.1.1 Meßwerte

Werte und Diagramm siehe Anlage A: a) und b)

4.1.2 Berechnung der Biegebruchspannung

Maße: $b=10$ mm;

$h=14$ mm;

$L_s=100$ mm;

$F_{\max}=1300$ N;

$$\underline{\underline{\sigma_{b\max}}} = \frac{T_{\max}}{W_b} = \frac{F_{\max} \cdot L_s \cdot 6}{4 \cdot b \cdot h^2} = \frac{1300\text{N} \cdot 100\text{mm} \cdot 6}{4 \cdot 10\text{mm} \cdot (14\text{mm})^2} = \underline{\underline{99,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}}$$

4.1.3 Bestimmung des E-Moduls

Berechnung anhand der Formel für Biegeverformungen von statisch bestimmten Trägern mit konstantem Querschnitt im elastischen Bereich. Wir verwenden für F den Wert von 400N und für $f=1,20$ mm, da dieser Punkt, wie aus dem Diagramm ersichtlich, sehr gut mit der HOOKschen Gerade übereinstimmt.

$$f = \frac{F \cdot l_3}{48 \cdot I \cdot E};$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{E}} = \frac{l^3 \cdot F}{48 \cdot f \cdot I} = \frac{L_s^3 \cdot F \cdot 12}{48 \cdot f \cdot b \cdot h^3} = \frac{(100\text{mm})^3 \cdot 380\text{N} \cdot 12}{48 \cdot 1,20\text{mm} \cdot 10\text{mm} \cdot (14\text{mm})^3} = \underline{\underline{2885 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}}$$

4.2 Ergebnis

Anhand des Diagramms erkennt man, daß die Biegekraft direkt proportional zur Durchbiegung ansteigt. Nach dem HOOKEschen Gesetz erfolgt demnach die Durchbiegung des Kunststoffes. Aus dem Diagramm konnte jedoch keine plastische Verformung festgestellt werden. Folglich besteht dieses Prüfstück aus einem bei Zimmertemperatur sehr spröden Kunststoff.

5 Torsionsschwingungsprüfung von Kunststoffen

Das Verhalten polymerer Werkstoffe (Polyurethan) wird durch Torsionsschwingungsversuche bestimmt. Bei diesen Werkstoffen ist die Temperatur von entscheidender Bedeutung für die mechanischen Eigenschaften. Der Versuch ist nach DIN 53445 in Bezug auf Aufbau, Durchführung und Auswertung einheitlich genormt. Man erhält das Schubmodul und das logarithmische Dekrement, deren Temperaturabhängigkeit durch Prüfung in einem weiten Temperaturbereich ermittelt wird.

5.1 Versuchsaufbau

Der Stab ($\text{Ø}3 \times 50 \text{ mm}$) aus Polyurethan wird in das Torsionsschwingungsprüfgerät eingespannt und mit einer Schwungmasse behaftet. Findet eine Auslenkung dieses Systems aus seiner Ruhelage statt, so entsteht eine gedämpfte Torsionsschwingung, die induktiv mit Hilfe eines Meßverstärkers gemessen wird. Nun nimmt man den zeitlichen Verlauf dieser Schwingungen über ein Oszilloskop auf und läßt diese auf einem Plotter ausdrucken. Daraus können Materialkennwerte aus der Schwingungsfrequenz und den abnehmenden Schwingungsamplituden berechnet werden. Diese Versuche werden bei den folgenden Temperaturen durchgeführt: 20°C , 40°C , 60°C , 80°C . Die berechneten Werte werden meist in einem Diagramm, dem sogenannten Torsiogramm, festgehalten. Hieraus kann man besser den von der Temperatur abhängigen Verlauf der Kennwerte ersehen.

5.2 Messung und Auswertung

Siehe Anlage B: d) e) f) g) h) gemäß Datenblatt Anhang C

5.3 Ergebnis

Durch innere Reibung wird eine Dämpfung der Torsionsschwingung erzeugt. Die innere Reibung steigt gleichzeitig mit der Erhöhung der Temperatur. Die Abklingkonstante wird dabei durch das logarithmische Dekrement bestimmt. Nachdem das logarithmische Dekrement ins Torsiogramm (Anlage B: h)) eingetragen worden ist, erhält man eine steigende Gerade. Das logarithmische Dekrement weist somit eine direkte Proportionalität zur Temperatur auf.

Für das Gleit- und Elastizitätsmodul (logarithmisch eingetragen) fällt die Gerade im Torsiogramm. Sie sind also umgekehrt proportional zur Temperatur.

Fazit: Bei Hochbelastung von Maschinenbauteilen sind Kunststoffe größtenteils ungeeignet, da keine großen Kraft- und Momentenübertragungen stattfinden können und die Festigkeit mit steigender Temperatur rapide abnimmt. Faserverstärkte Kunststoffe bilden hierin eine Ausnahme. Die schwingungsdämpfenden Eigenschaften können jedoch von großem Nutzen sein. Außerdem nehmen sie mit steigender Temperatur zu.

6 Ausblick

6.1 Möglichkeiten

Kunststoffe finden heutzutage in vielen Industriezweigen Einsatzmöglichkeiten. Die Verpackungsindustrie zählt zu den Hauptabnehmern von Kunststoffen. Ein großer Teil der Polyethylene wird in Rollen als Klarsichtverpackungsfolie verkauft. Auch andere Kunststoffarten werden eingesetzt. Die Baubranche ist ein weiterer Hauptabnehmer von Kunststoffen. Neben Verpackungen und Isolierungen werden hier Kunststoffe auch als Baustoff eingesetzt. Viele andere Branchen, insbesondere die Fahrzeugbauindustrie, benötigen ebenfalls Kunststoffe. Widerstandsfähige technische Kunststoffe findet man in Fahrzeugbauteilen wie Einlaßkrümmern, Benzinleitungen, Auspufftöpfen, Benzinpumpen und elektronischen Geräten. Sie werden auch für Innenverkleidungen, Sitze und Verzierungen verwendet. Auch Teile der Fahrzeugkarosserie werden aus glasfaserverstärktem Kunststoff hergestellt. Aus Kunststoff werden u. a. auch die Gehäuse von Büromaschinen, elektronischen Geräten, Kleingeräten und Werkzeugen gefertigt. Als Neuentwicklungen sind seit kurzem Spezialkunststoffe mit metallischen Fähigkeiten verfügbar. Einer davon, der bereits die Markteinführung geschafft hat ist der sogenannte ORMECON[®]. Das als „organisches Metall“ bezeichnete Material ist korrosionsbeständig wie Edelmetall und könnte somit als Anti-Rost-Beschichtung die aufwendige und umweltbelastende Galvanisierung überflüssig machen. Bei der Beschichtung mit dem neuen Werkstoff kann die Korrosionsgeschwindigkeit auf deutlich unter ein Prozent verringert werden. Er ist trotz seiner unmetallischen Zusammensetzung leitfähig wie Metall, darüber hinaus jedoch vollständig unerschmelzbar und unlöslich.

6.2 Risiken

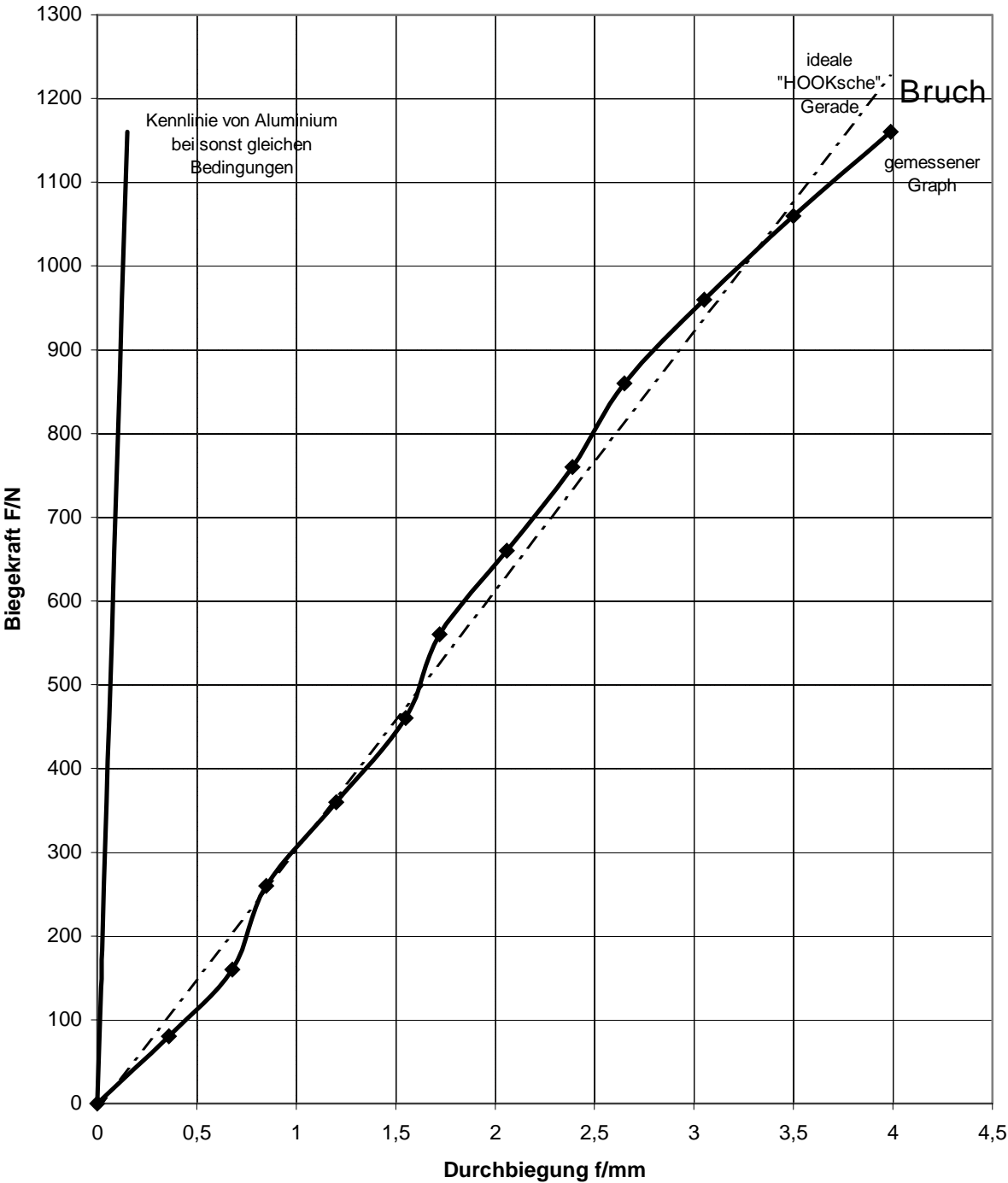
Da Kunststoffe relativ reaktionsträge sind, stellen die Endprodukte normalerweise keine Gesundheitsrisiken für den Hersteller oder den Benutzer dar. Einige der für die Herstellung von Kunststoffen verwendeten Monomere sind jedoch krebserregend.

Die meisten synthetischen Kunststoffe sind biologisch nicht abbaubar. Im Unterschied zu Holz, Papier, Naturfasern oder sogar Metall und Glas verrotten sie nicht im Lauf der Zeit. In jüngerer Zeit sind auch abbaubare Kunststoffe entwickelt worden, die aber normalerweise auf Mülldeponien nicht verrotten. Somit stellt die Entsorgung von Kunststoffen ein Umweltproblem dar. Eine andere Form der Abfallbeseitigung, die Müllverbrennung, produziert bei der Entsorgung von Kunststoffabfällen u. a. giftige Schwermetallverbindungen. Aus chlorhaltigen Kunststoffen können bei der Verbrennung vor allem bei Temperaturen um 300 °C „Dioxine“ entstehen. Deshalb müssen diese Abfälle in speziellen Verbrennungsanlagen verbrannt werden - Dioxine zerfallen bei höheren Temperaturen. Recycling ist eine Problemlösung, an der zur Zeit besonders intensiv gearbeitet wird. Das gilt z. B. für Produkte wie Flaschen aus Polyethenterephthalat, die für kohlenensäurehaltige Getränke verwendet werden. Bei diesen Flaschen ist das Recycling technisch schon gut gelöst. Ein gezieltes Recycling ist allerdings nur mit Hilfe der sicheren Identifikation des Kunststoffes möglich. In den überwiegenden Fällen ist Sortenreinheit Grundvoraussetzung. Gemischte Kunststoffabfälle sind auch für die Zukunft als problematisch einzustufen.

Quellenangabe: 1. Skript Werkstofftechnisches Praktikum FHA
2. Vortrag Dipl. Ing. Jedlicka
3. Microsoft[®] Encarta[®] 97 Enzyklopädie

Anlage A: a)

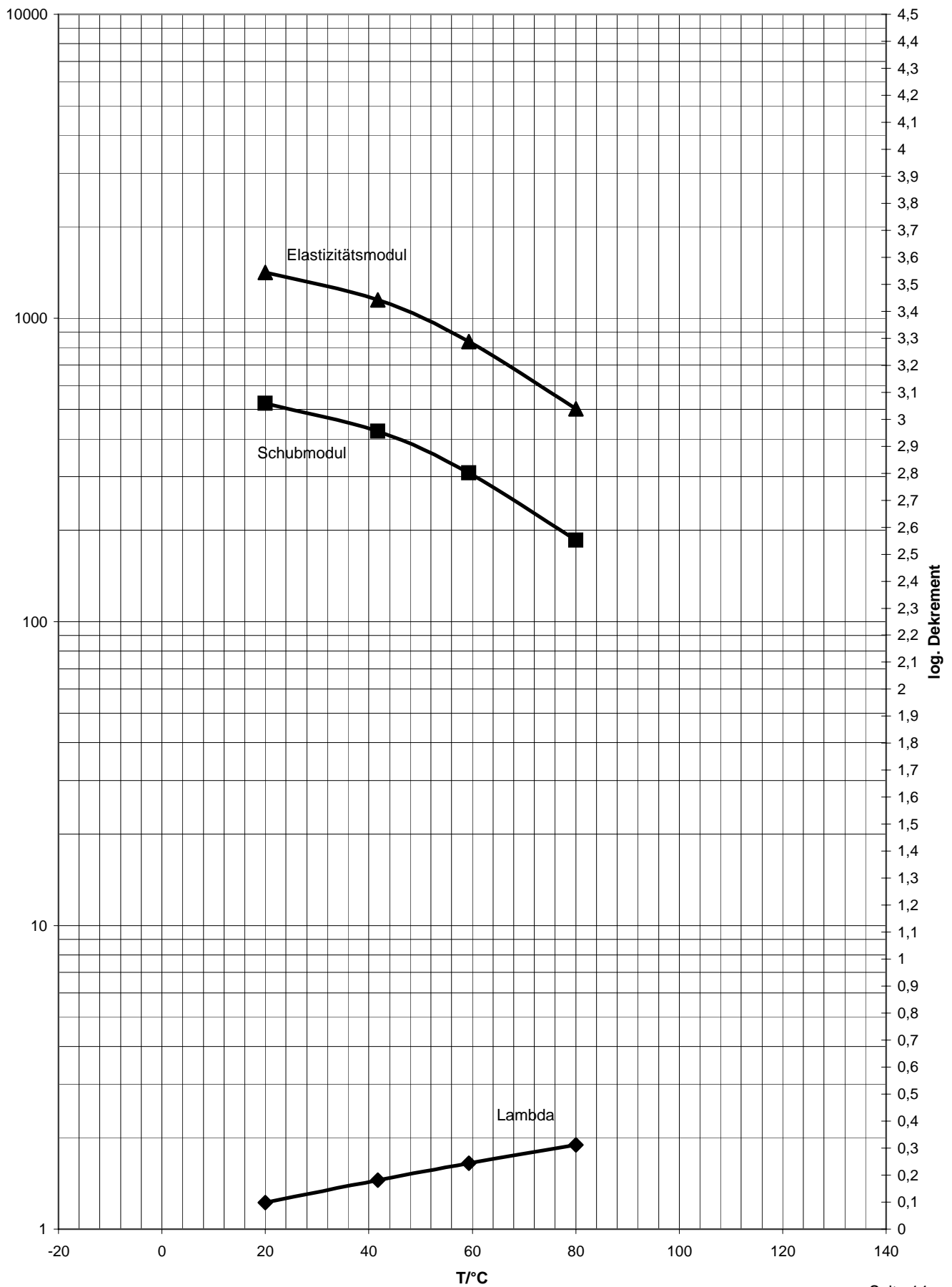
Anlage A: b) Diagramm zu Anlage A: a) 4.2



Anlage B: h)

Torsiogramm

E & G / Nmm⁻²



Fachhochschule Augsburg

Ausbildungsrichtung Technik

Fachbereich: Maschinenbau

Studiengruppe: M2A

Praktikum: Werkstofftechnik

Hauptbericht/Nebenbericht

Arbeitsgruppe: 19 und 13

Arbeitstag: 25.05.98

Bearbeiter dieses Berichtes: Michael Franz

Einlief.-Tag: 02.06.98

Mitarbeiter: Oliver Deißer

Rudolf Halbmeir

Jürgen Loi

.....
Unterschriften

Versuchsaufgabe: Kerbschlagbiegeversuch nach Charpy (Versuch Nr. 3)

1 Grundlagen

Der Kerbschlagbiegeversuch nach Carpy dient dazu, Werkstoffe ergänzend zum Zugversuch auf ihre Sprödbrechneigung hin zu untersuchen.¹ Dies wird vor allem nach Wärmebehandlungen vorgenommen, um deren Erfolg zu überprüfen. Es ist zu beachten, daß aus diesen Versuch keine Rückschlüsse auf die Festigkeitsberechnung gemacht werden können.

Man setzt eine gekerbte Probe mit der ungekerbten Seite zum Pendelhammer hin in ein Pendelschlagwerk gemäß Abbildung 1 ein. Die Art der Kerbung ist dabei wie der gesamte Versuch festgelegt nach DIN EN 10045 (U-Form oder V-Form, weitere Formen in DIN 50115). Sie ist im Versuchsergebnis stets anzugeben. Ein Pendelhammer fällt dann aus einer bestimmten Höhe H mit einer davon abhängigen potentiellen Energie auf einer Kreisbahn herab. Beim Durchschlagen der Probe im Widerlager am tiefsten Punkt wird abhängig von den Eigenschaften des Stoffes kinetische Energie verbraucht. Der Hammer erreicht nicht mehr die gleiche Höhe wie vorher, sondern nur noch h . Die Differenz der potentiellen Energien bei H und h ist die verbrauchte *Kerbschlagarbeit* $K=mg(H-h)$. Sie wird normalerweise an einem Schleppzeiger direkt abgelesen. Abhängig von der Ausgangshöhe H ergibt sich eine maximale Kerbschlagarbeit von 300J. Weicht das Pendelschlagwerk von diesem Wert ab, so ist diese im Versuchsergebnis anzugeben. Auch nicht gebrochene Proben sind im Bericht zu kennzeichnen.

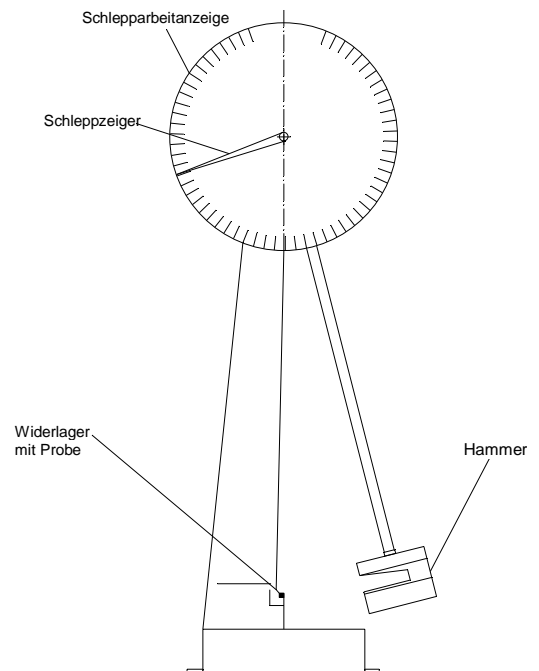


Abb.1: Pendelschlagwerk (schematisch)

Beispiel: $KV=150J$. Das gemessene, mit einer V-Kerbe versehene Bauteil hat also in einem Pendelschlagwerk mit $K_{max}=300J$ eine Schlagarbeit von 150J verbraucht.

Ergebnisse des Kerbschlagbiegeversuchs lassen sich nur begrenzt zu Vergleichszwecken einsetzen. Lediglich die Aussage, daß sich ein Werkstoff mit hohem K-Wert unter mehrachsiger Stoßbeanspruchung günstiger verhalten wird als Werkstoff mit geringerem K-Wert, ist verwendbar. Außerdem dürfen nur Werte an Proben gleicher Kerbung und Geometrie bei der gleichen Temperatur verglichen werden. Vor allem der Temperatureinfluß spielt eine große Rolle, so daß für ein bestimmtes Material normalerweise ein Diagramm der gemessenen Kerbschlagarbeiten über verschiedene Temperaturen aufgestellt wird. Besonders nicht austenitischer Stahl zeigt hier ein charakteristisches Bruchverhalten, das sich in folgender Kurve niederschlägt:

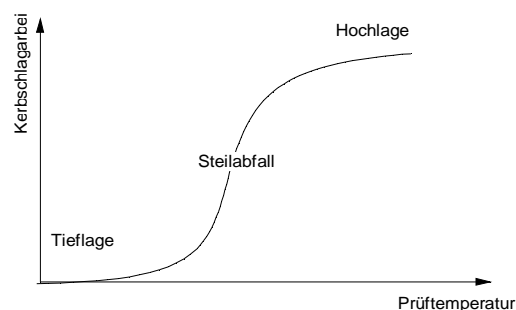


Abb.2: Kerbschlagarbeit-Temperatur-Kurve (schematisch)

¹) Manche Werkstoffe erscheinen duktil nach dem Zugversuch, im Kerbschlagbiegeversuch erweisen sie sich jedoch als spröde, deshalb sind oft noch Kerbschlagbiegeversuche erforderlich. Der Kerbschlagbiegeversuch hat jedoch an Bedeutung verloren.

Wie alle Materialien bricht das Material mit abnehmender Temperatur leichter. Während bei anderen Stoffen jedoch die Kurve über der Temperatur eher der Form einer Gerade gleicht, besitzt nicht austenitischer Stahl obige Kurve mit dem charakteristischen Steilabfall (Abb.2). Die Werte betragen in der Tieflage ca. 10J und in der Hochlage 100 bis 300 J je nach Werkstoffzustand. Dabei streuen erfahrungsgemäß die Werte beim Steilabfall sehr stark, während in Hoch- und Tieflage geringere Streuungen auftreten. Meist ist nur die eher qualitative Aussage maßgebend, ob das Ergebnis der Hoch- oder Tieflage zuzuordnen ist. Dies ist bereits durch die großen Unterschiede der Kerbschlagarbeit möglich. Aussagen erhält man auch durch das Aussehen der Bruchfläche. Handelt es sich um einen Spröd- oder Trennbruch, befinden wir uns in der Tieflage, während wir bei einem Verformungsbruch von der Hochlage ausgehen können. Dies läßt sich allerdings nicht so einfach nachweisen, da im realen Versuch fast immer Mischbrüche auftreten. Es läßt sich also oft nur eine Tendenz abschätzen.

2 Versuchsdurchführung

Das Pendelschlagwerk PS mußte vor jedem Versuch sorgfältig vorbereitet werden. Zuerst wurde die Tür 1 geöffnet, damit das Pendel angehoben und eingeklinkt werden konnte (Unterbringung in einem Glaskasten zur Unfallverhütung). Anschließend stellten den Meßzeiger auf das Arbeitsvermögen 300J ein. Beim ersten Versuch legten wir keine Probe ein(was durch Türe 2 geschehen würde), um zu überprüfen, ob Lager-, Luft- und Zeigerreibung vernachlässigbar gering sind. Durch Türe 3 wurde das Pendel ausgelöst. Nach einer Schwingung erfolgte die Abbremsung des Pendels. Wir lasen 0,4 J verbrauchte Schlagarbeit ab. Da Werte unter 1,5 J laut Norm vernachlässigbar sind, war das Gerät also ordnungsgemäß kalibriert. Daraufhin machten wir die eigentlichen Versuche mit Proben vom Typ S235-JRG1 (USt37-2k) und X5CrNi18-10 als Normalprobe mit V-Kerbe nach DIN EN 10045. Dieser kaltgezogene, unberuhigte Baustahl besitzt laut Bezeichnung nach Norm DIN EN 10027 bei einer Temperatur von 20°C eine Kerbschlagarbeit von 27 J, wobei jedoch die Kerbungsart unbekannt ist. Es handelt sich um ein α -Mischkristall mit Perlit, eine kubisch raumzentrierte Gitterstruktur mit etwa 0,17% Kohlenstoffgehalt². Der hochlegierte Chrom-Nickel-Stahl hingegen besitzt bei einem Kohlenstoffanteil von 0,05% durch den hohen Nickel und Chromanteil bereits bei Raumtemperatur ein austenitisches, kubisch flächenzentriertes Gitter aus γ -Mischkristallen, was sich in seiner höheren Festigkeit niederschlägt.

Versuche wurden jeweils geführt bei gekühlten Proben aus dem Kühlschrank, bei Raumtemperatur und bei erhitzten Proben aus dem Ofen, wobei jede Probe mit Hilfe einer Schablone mittig eingesetzt wurde. Bei jedem Bruch hatten wir nach ASTM A 370 (American Society of Testing Materials) das Bruchaussehen zu analysieren und über den geschätzten Anteil am kristallinen Fleck F (kristallin aussehender Teil der Bruchfläche, Sprödbruchanteil), auf die Bruchart zu schließen. Bei F=100% kristalliner Bruchfläche handelt es sich um einen reinen Sprödbruch, bei F=0% um einen reinen Verformungsbruch. Dazwischen treten Mischbrüche auf. Es wurde eine normierte Vergleichstabelle zur Abschätzung herangezogen, wobei sich die Verhältnisse entsprechend Anhang A ergaben. Hierin sind auch die Ergebnisse der anderen Versuchsgruppen desselben Tages berücksichtigt.

²) Da der Kohlenstoffgehalt für Baustähle keine charakteristische Größe darstellt, können auch größere Abweichungen auftreten. Der mittlere Gehalt von 0,17% ist Quelle 3 entnommen.

3 Auswertung und Ergebnis

Die so ermittelten Werte wurden zur Veranschaulichung für jedes Material in je ein K-F-T-Diagramm eingetragen (Anhang B). Hieraus kann man bei S235JRG1 anhand der KV-Werte gut Hoch- und Tieflage, sowie den Steilabfall erkennen. Der Steilabfall ist wegen der augenscheinlich sehr hohen Streuung zwischen 70 und 100°C anzunehmen. Die Hochlage beginnt also offensichtlich erst ab etwa 100 bis 120°C. Dies ist erstaunlich, da es bedeutet, daß der Baustahl S235JRG1 offensichtlich in diesem Bereich wesentlich bessere Zähigkeitswerte liefert. Betrachtet man dazu noch die Kurve für F, die gegenläufig zeichnet, läßt sich aus deren Schnittpunkt die Temperatur ermitteln, bei der sich dieser Stahl am günstigsten verhält, das heißt, wo die höchste Arbeit bei geringstem kristallinen Fleck aufgenommen werden kann. In unserem Fall liegt dieser Punkt bei etwa 82°C. wobei dies jedoch sehr ungenau ist, da durch die hohe Streuung im Bereich des Steilabfalls und die geringe Anzahl von Meßwerten keine exakten Kurven zu legen sind.

Betrachtet man hingegen die Kurven für X5CrNi18-10, sieht man den geradlinigen Verlauf der einzelnen Kurven. Man erkennt, daß die Kerbschlagarbeit mit steigender Temperatur ansteigt, während die Spröbruchneigung abnimmt. Hier ist keine Hoch- oder Tieflage zu erkennen, geschweige denn ein Steilabfall.

Fazit: Wir haben die erwarteten Ergebnisse erhalten, nämlich eine Kurve mit Hoch-/Tieflage und Steilabfall für den nicht-austenitischen Stahl S235JRG1, während der austenitische X5CrNi18-10 nicht annähernd eine solche Charakteristik aufweist.

4 Ausblick

4.1 Erweiterte Methoden

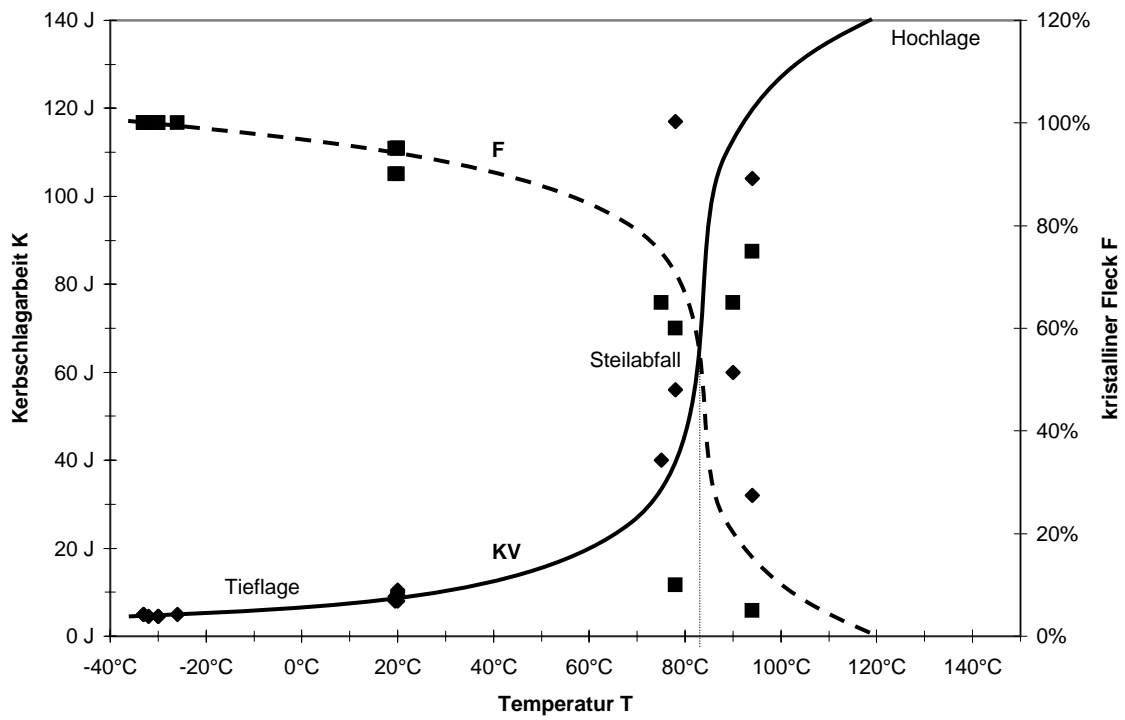
Als erweiterte Meßmethode zur Ermittlung des Zähigkeitsverhaltens ist zunächst der instrumentierte Kerbschlagbiegeversuch anzuführen, bei dem während des Schlagvorgangs der Kraft- und Verformungsablauf gemessen wird. Dadurch läßt sich der Aussagegehalt der Prüfung erhöhen. Außerdem läßt sich damit die für die Ribbildung erforderliche Energie bestimmen, sogar die für die Ribbildung erforderlichen Spannungen und die Bedingungen für die Ribbildung sind ermittelbar.

Darüber hinaus gibt es noch Kompakt-Zugversuch, bei dem eine bestimmte Probe zunächst schwingend unter ganz bestimmten Bedingungen an- und dann im Zugversuch ganz zerrissen wird. Er wird vor allem für Werkstoffe mit höheren Festigkeiten verwendet.

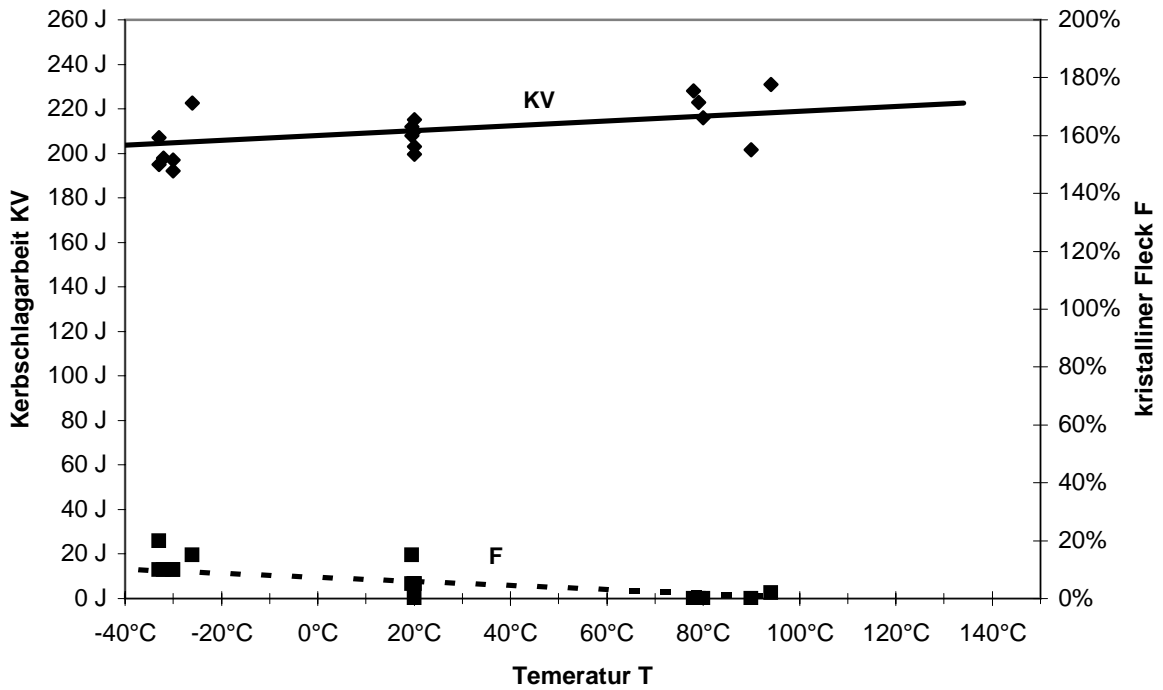
Neben diesen Verfahren existieren noch wesentlich mehr Prüfmethoden zur Ermittlung des Bruchverhaltens. Sie werden häufig für spezifische Einsatzbedingungen angewandt, sogenannte „type-tests“. Sie teilen sich hauptsächlich in zwei Gruppen auf: Ribauslöseversuche und Ribauffangversuche. Alle diese Prüfverfahren sind durch einen sehr hohen Prüfaufwand gekennzeichnet.

Quellennachweis: 1. Vorlesung Prof. Tautzenberger
2. Vortrag Prof. Pribil
3. „Werkstoffkunde“ von H. J. Bargel und G. Schulze

K-F-T-Diagramm für S235 JRG1



K-F-T-Diagramm für X5 CrNi 18-10



Fachhochschule Augsburg

Ausbildungsrichtung Technik

Fachbereich: Maschinenbau

Studiengruppe: M2A

Praktikum: Werkstofftechnik

Hauptbericht/Nebenbericht

Arbeitsgruppe: 19

Arbeitstag: 25.05.98

Bearbeiter dieses Berichtes: Michael Franz

Einlief.-Tag: 01.06.98

Mitarbeiter: Oliver Deißer

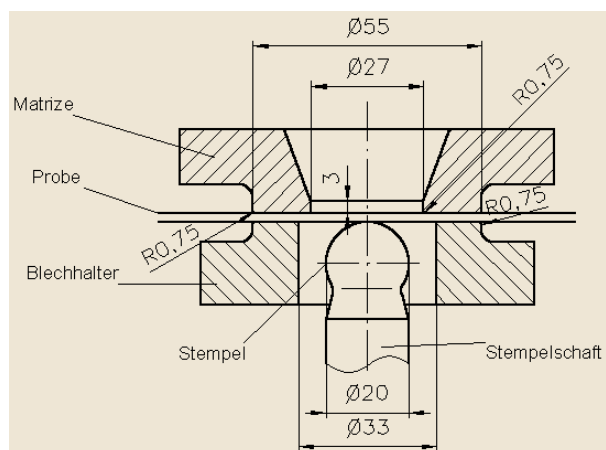
.....
Unterschrift

Versuchsaufgabe: Erichsen Tiefungsversuch (Versuch Nr. 3)

1 Grundlagen

Der Tiefungsversuch nach Erichsen ist unter anderen ein Prüfverfahren zur Bestimmung der Umformeigenschaften von Metallen. Die Kaltumformbarkeit wird an allen Halbzeugen wie Blechen, Bändern, Rohren, Stangen und Profilen, aber auch an Nieten durchgeführt. Dem Tiefungsversuch nach Erichsen kommt besonders für die Ermittlung der Tiefzieheignungsprüfung von Fein- und Feinstblech besondere Bedeutung zu. Das Verfahren ist nach DIN 50101 und 50102 genormt. Dabei wird das fest eingespannte Band mit einem kugeligen Stempel eingebeult, bis es einreißt. Als Prüfungsergebnis dient der Stempelweg bis zum Anriß, die sogenannte *Erichsen-Tiefung IE* (Erichsen-Index). Weitere Meßergebnisse erhalten wir wie in Quelle 3 beschrieben: “[...] Darüber hinaus kann aus der Form des Anrisses die Anisotropie des Bleches beurteilt werden. Da das Blech einer zweiachsigen Zugbeanspruchung unterliegt, ist bei isotropem Werkstoff der Anriß fast zu einem Vollkreis geschlossen. Ein einseitiger Anriß weist auf eine Textur des Bleches hin, das dann zum Tiefziehen weniger geeignet ist. Die Narbigkeit der Oberfläche läßt schließlich Rückschlüsse auf die Korngröße zu. Grobkörnige Werkstoffe sind zum Tiefziehen ungeeignet und erreichen auch meist nicht die geforderten Tiefungswerte. [...]“.

Die beim Erichsen-Tiefungsversuch verwendeten Prüfbleche müssen gemäß DIN 50101 eine Breite von 90 bis 100 mm und eine Länge von mindestens 270 mm haben, wobei Dicken von 0,95 bis 2 mm brauchbar sind.



2 Versuchsdurchführung

Zunächst wurde das Probenblech nach DIN 50101 Teil 1 beidseitig mit Fett eingerieben und mit einer Spannkraft von 10kN eingespannt. Anschließend wurde der Stempel vorsichtig an die Probe gefahren, bis er sie berühre. Nach dem Nullen des Maßstabs drückten wir den Stempel mit Hilfe des Handrades so lange in die Probe, bis sich ein eindeutiger Riß zeigte. Diese Rißbildung ließ sich auch anhand des Newtonmeters durch den Kraftabfall erkennen. Die Eindringtiefe wurde notiert, sowie die Narbung der Oberfläche und der Riß bewertet. Anhand der Normtabelle nach DIN 1623 konnten wir dabei Vergleichen anstellen und Ergebnisse erzielen. In dieser Tabelle sind die Mindest-Tiefungswerte für Stahlbleche verschiedener Stärken zusammengefaßt. Für eine Tiefzieheignung muß der gemessene IE-Wert größer sein als die hierin festgehaltenen Mindestangaben.

-
- Quellenangabe:
1. Vorlesung Prof. Tautzenberger
 2. Vortrag Prof. Fischer
 3. „Werkstoffkunde“ von H. J. Bargel und G. Schulze
 4. „Fachkunde Metall“ vom Europa Lehrmittel Verlag