

Praktikum Zugversuch

1. Elastisches und plastisches Werkstoffverhalten

1.1 Elastische Dehnung, Hooksches Gesetz

° sind Kraft und Verformung in Wechselwirkung, so liegt linear-elastisches Werkstoffverhalten vor

° Zusammenhang von Spannung und Verformung beschreibt das:

Hooksche Gesetz

$$s = e \cdot E$$

$$t = ? \cdot G$$

s = Normalspannung (Zugspannungen als positiv, Druckspannung als negativ angenommen)

e = Dehnung

t = Schubspannung

? = Schiebung

E = Elastizitätsmodul

G = Schubmodul

° elastische Konstanten E und G sind verbunden durch

$$E = 2G(1+\nu)$$

ν = Poissonsche Konstante oder Querkzahl,

Verhältnis von elastischer Längs- zu Querdehnung im längsbelasteten Stab

° elastische Verformung beruht auf Verschiebung der atomaren bzw. molekularen Bausteine aus ihrer Gleichgewichtslage. E und G sind ein Maß für den aus dem Bindungsgerüst resultierenden Widerstand.

° Hooksche Gesetz für einachsige Belastungen

° bei mehrachsiger Belastung bilden 9 Komponenten die Spannungsmatrix

$$S = \begin{pmatrix} s_{xx} & s_{xy} & s_{xz} \\ s_{yx} & s_{yy} & s_{yz} \\ s_{zx} & s_{zy} & s_{zz} \end{pmatrix}$$

° wenn Nebenglieder der Spannungsmatrix Null sind, dann wird die vorliegende Normalspannung werden als Hauptspannungen s_1 , s_2 , s_3 und die zugehörigen Dehnungen e_1 , e_2 , e_3 als Hauptdehnungen bezeichnet

1.1 Plastische Verformung, Verfestigung und Bruch

° plastisches Verhalten ist durch Auftreten bleibender Verformungen nach überschreiten einer Belastungsgrenze (Elastizitätsgrenze) gekennzeichnet

° wichtigster Mechanismus der plastischen Verformung in kristallinen Strukturen ist das von Schubspannung hervorgerufene Abgleiten von Atomschichten auf kristallographischen Ebenen längs der Richtung, die als Gleitebenen bzw. -Richtungen bezeichnet werden und das Gleitsystem bilden

° Abgleiten erleichtert durch Bewegung von linienförmigen Gitterfehlern „Versetzungen“

° im Bereich der Versetzungslinie, bei der, der Burgers-Vektor senkrecht steht heißt „Stufenversetzung“

° verläuft der Burgers-Vektor parallel „Schraubenversetzung“

° reine Schraubenversetzungen können die Gleitebene durch Quergleiten wechseln

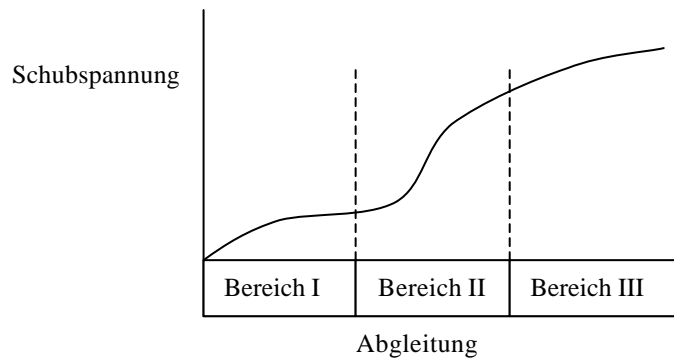
° bei Stufenversetzung setzt das Verlassen der Gleitebene die weg- und zudiffusion von Atomen im Versetzungskern voraus

° dieses „Klettern“ ist stark temperaturabhängig

° Quergleiten und Klettern erleichtern der Versetzung Hindernisse z.B.: Ausscheidungen zu umgehen

° verschiedene Mechanismen der Versetzungsmultiplikation führen bei weiterer Verformung zum Anstieg der Versetzungsdichte ?

- da dies die weitere Verformung (Bewegung) der Versetzung erschwert, muß zum aufrechterhalten der Gleitprozesse erforderliche mechanische Spannung erhöht werden; es kommt zur Verfestigung des Werkstoffes
- Plastizität polykristalliner Werkstoffe ist durch Mehfachgleiten charakterisiert



- weitgehend ungestörte Bewegung der Versetzung (homogenes Feingleiten) Bereich I
- zunehmende Behinderung – Anstieg der Schubspannung Bereich II
- Bereich III Abflachung durch Quergleiten oder Klettern werden Hindernisse umgangen

Bruch

- Endstadium der mechanischen Beanspruchung
- Ursache ist meist das Ausbreiten von Rissen
- man unterscheidet zwischen : mechanisch, thermisch, korrosiv bedingter Rißbildung
- Kriterium für instabile Ausbreitung von Anrissen ist:

$$\text{Griffith – Gleichung}$$

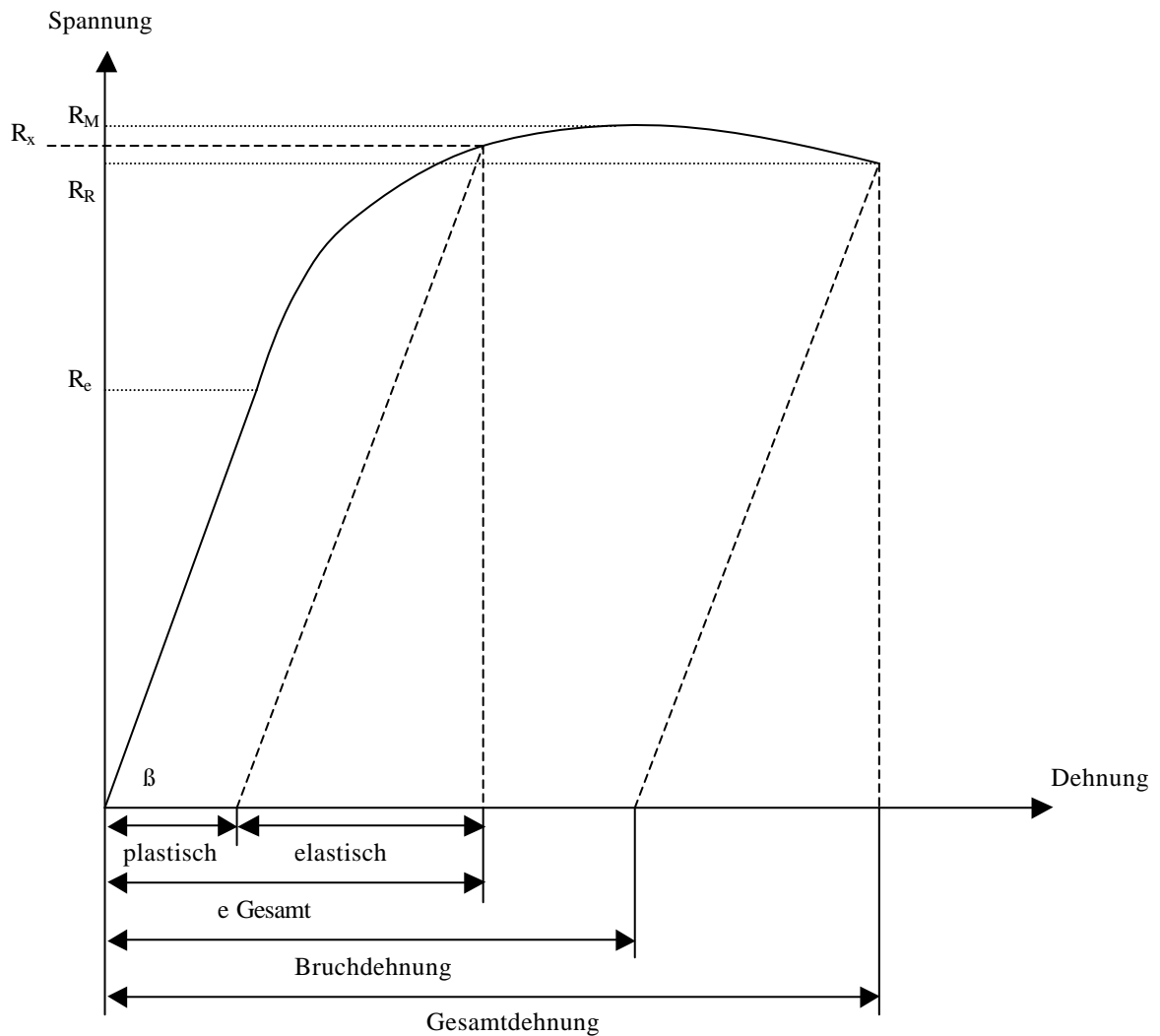
$$s_c = (E^* \gamma / \pi a)^{1/2}$$

s_c = kritische Spannung für instabile Rißausbildung
 γ = spezifische Oberflächenenergie
 a = Rißlänge

- instabile Rißausbreitung führt zu spröden makroskopischen verformungsarmen Bruch
- interkristalliner Spaltbruch – entlang den Korngrenzen
- transkristalliner Spaltbruch – im Korn
 - typisch für kubisch raumzentrierte oder hexagonale Strukturen
 - ihr Auftreten wird durch niedrige Temperaturen, mehrachsige Spannungsstände, hohe Beanspruchungsgeschwindigkeiten, sowie verspröden Umgebungsbedingungen gefördert
- Spaltbruch tritt ein, wenn die Normalspannung einer werkstoffabhängige mikroskopische Spaltbruchspannung überschreitet
- andere Möglichkeit ist stabile Rißbildung, d.h. ständigem Energieverbrauch mit Endstadium des Zähbruchs : tritt mikroskopisch als Gleitbruch mit meist wabenförmigen Bruchflächen auf
- bei zyklisch wiederholter Beanspruchung kommt es zum Ermüdungsbruch

2. Durchführung Zugversuch

- dient zur Untersuchung des Werkstoffverhaltens unter einachsiger über Querschnitt gleichmäßig verteilter Zugspannung.
 - wichtige Kenngrößen: E-modul, Dehngrenze, Streckgrenze, Zugfestigkeit, Bruchdehnung, Einschnürung, Arbeitsvermögen, Reißfestigkeit, Reißdehnung
- glatter, ungekerbter Probestab wird in eine Zugprüfmaschine eingespannt und in Richtung der Stabachse mit zunehmender Kraft belastet – bis zum Reiß
- aus dem Versuch erfassten Meßwerten von Kraft und Verlängerung werden die Spannung: $s = F/s_0$ (N/mm²), die Dehnung $e = \Delta l/l_0$
- Verbindung der Punkte im Koordinatensystem ergibt Spannungs-Dehnungsdiagramm
- im ersten Bereichen nimmt Spannung und Dehnung proportional in Gerade zu (Hooksche Gerade), dort ist Werkstoff rein elastisch
- das E-modul kann aus Neigung der Hookschen Geraden bestimmt werden $E = \tan \alpha$



° Zeitpunkt der Verlängerung kann nicht genau bestimmt werden, darum rechnet man mit Punkt, an dem 0,01 % der Verlängerung eintritt und bleibt

- technische Elastizitätsgrenze größer als reale

° Dehngrenze

R_p aus einmaliger Belastung ermittelt bis zur 0,01 % Grenze

R_t Gesamtdehnung

° Streckgrenze

wird erreicht, wenn Elastizitätsgrenze überschritten

ist Spannung wo bei steigender Verlängerung erstmalig die Zugkraft gleich bleibt bzw. abfällt

° Erklärung zu Knick im realen Diagramm

° zuerst wenig bewegliche Versetzungen vorhanden, diese müssen sich mit hoher Geschwindigkeit bewegen, um Werkstoff zu dehnen

° durch Loßreißen von blockierenden Fremdatomen kann sich die Zahl der gleitfähigen Versetzungen sprunghaft vergrößern, was zum Absinken der Gleitgeschwindigkeit führt

° bei Abfall wird in obere und untere Streckgrenze (R_{eH} , R_{eL}) unterschieden

° Streckgrenze kennzeichnet Beginn der überwiegend plastischen Verformung

° Fließgrenze ist Beginn der überwiegend plastischen Verformung

° oberhalb der Streckgrenze strebt die Kurve unter stärkerer Dehnung als vorher einem Höchstwert der Spannung entgegen, der als Zugfestigkeit R_M bezeichnet wird :

$$R_M = F_M / S_0$$

° dann fällt bei weiter zunehmender Dehnung die Spannung ab, bis der Stab bei R_R (Reißfestigkeit) zerreißt

° plastische Dehnung aus Diagramm durch Parallelverschiebung der Hookschen Geraden

° wenn Werkstoff gedehnt und wieder entspannt wird fallen Elastizitäts- und Streckgrenze zusammen

- kann für Verfestigung eingesetzt werden

° kurz vor Erreichen der R_M geht die Gleichmaßdehnung in die Einschnürdehnung über, d.h. Dehnung vollzieht sich nur noch an einer Stelle bis es zum Bruch kommt

- ° Bruchdehnung $A = \Delta L/L_0 \cdot 100\%$
- ° Brucheinschürung $Z = \Delta S/S_0 \cdot 100\%$
- ° spezif. Arbeitsvermögen $W_s = \int \sigma \, d\epsilon$
- ° wahre Spannung $R_w = F/S$
- ° anelastischer Verhalten
 - ° wenn elastische Formänderung gegenüber der Belastungsänderung zeitlich verzögert zu – oder abnimmt, steht anstatt der Hookschen Geraden eine Hystereseschleife
 - ° bei Metall anelastische Verformung
 - ° bei nichtmetallischen Stoffen viskoelastische Verformung