

Werkstofftechnik

Praktikum „Bruchverhalten/Kerbschlagbiegversuch“

Inhalt:

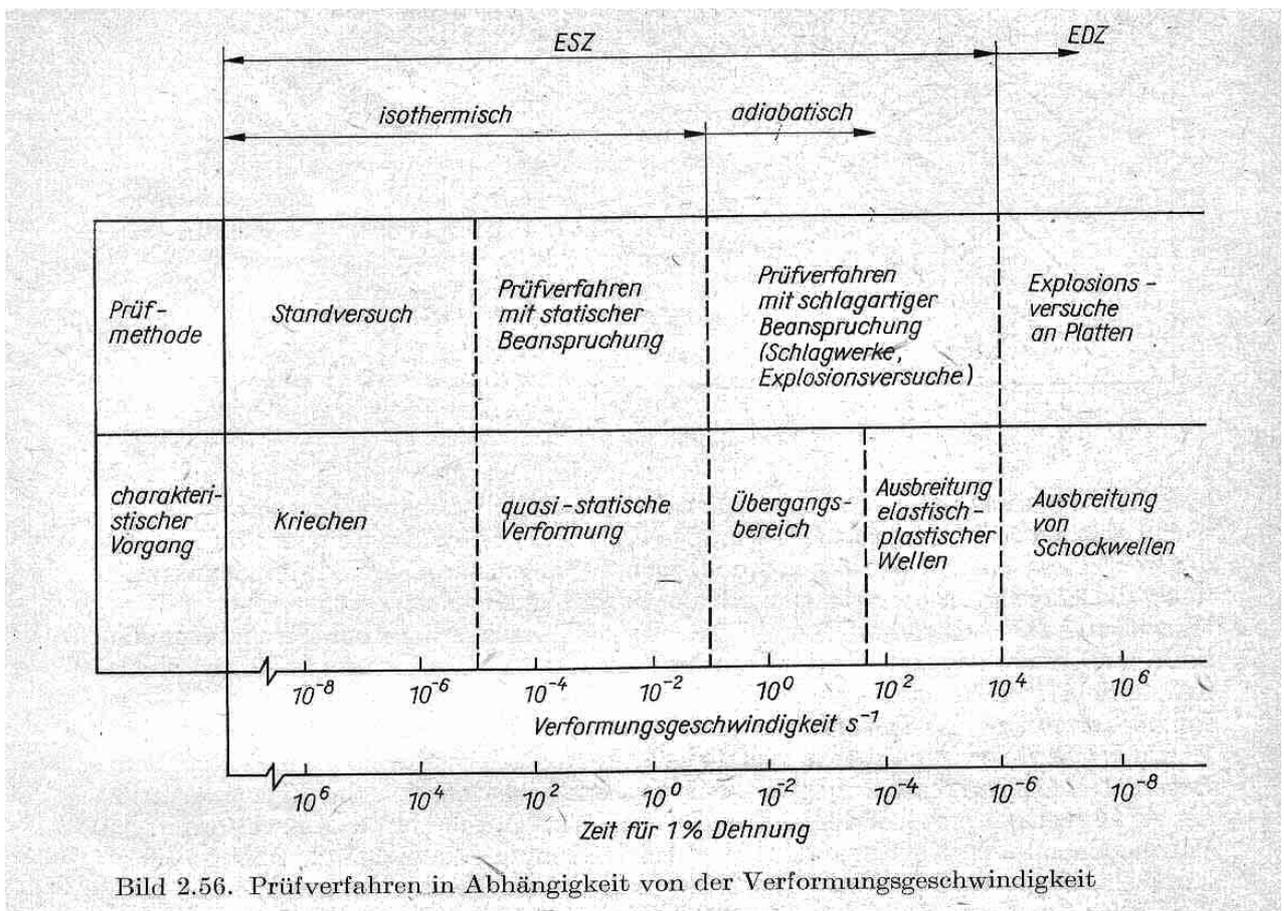
- 1. Grundsätzliches zur Dimensionierung von Bauteilen**
- 2. Spröbruchfördernde Bedingungen**
 - 2.1. Werkstoffverhalten bei hoher Verformungsgeschwindigkeit**
 - 2.2. Einfluß des Spannungszustandes (Mehrachsig)**
 - 2.3. Bedeutung der Beanspruchungstemperatur**
 - 2.4. Einfluß der Fertigungsversuche**
 - 2.5. Werkstoffzustand**
- 3. Rißbildung, Rißwachstum, Bruch (Brucharten)**
- 4. Kerbschlagbiegversuch**
 - 4.1. Probenform, Durchführung**
 - 4.2. Kerbschlagarbeit – Temperatur – Schaubild**
 - 4.3. Bestimmung von Übergangstemperaturen**
 - 4.4. Instrumentierter Kerbschlagbiegversuch**
- 5. Messungen des Einflusses von Werkstoffzustand und Temperatur auf das Bruchverhalten von Werkstoffen im Kerbschlagbiegversuch**
- 6. Anfertigen des Protokolls**

Abschnitt 2)

- 2 Spröbruchfördernde Faktoren: ⇒ hohe Verformungsgeschwindigkeiten
 ⇒ niedrige Temperaturen
 ⇒ mehrachsige Spannungszustände
 ⇒ hohe Eigenspannung
 ⇒ Spannungskonzentrationen an Kerben und Rissen

2.1

- Belastungsgeschwindigkeit $\sigma = \dot{\epsilon} * E$
 → bei Verformungsgeschwindigkeit von 1/10 bis 10 1/s beginnt schlagartige Beanspruchung
 → oberhalb von 10^2 1/s Ausbreitung elastisch plastischer Wellen
 → Versuchsablauf wird zunehmend adiabatisch, da die bei der Verformung auftretende Temperatur nicht mehr so schnell abgegeben werden kann
 → bei Verformungsgeschwindigkeiten über 10^4 s⁻¹ kommt es zu Schockwellen
 → die Zunahme der Verformungsgeschwindigkeit führt zu Anstieg der Fließspannung (Erhöhung der Festigkeit)
 → Verringerung des Zähigkeit, Begünstigung eines Spröbruches



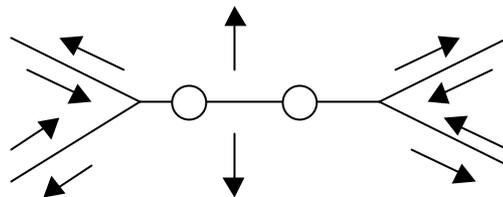
Abschnitt 3)

Rißbildung

- bereits während der Fertigung möglich
- ⇒ Urformen (Heiß-, Kaltrisse)
- ⇒ Wärmebehandlung (Härterisse)
- ⇒ spanlosen und spanhebenden Bearbeitung (Schmiede- bzw. Schleifrisse)
 - ⇒ Schweißen oder Löten
- ist meist mit der Wirkung von Eigenspannung verbunden
- oder sie entstehen während des Betriebes als Folge der irreversiblen Formänderung
- der Aufstau (pile up) von Stufenversetzungen an einer Korngrenze ist mit Spannungskonzentration verbunden
 - ⇒ aufreißen
- auflaufen eines Gleitbandes auf einen Zwilling, kreuzende Gleitbänder oder Ausscheidungen an Korngrenzen, im Inneren
- durch inhomogene Versetzungsverteilung gebildeten Risse ⇒ Versetzungsrisse
- nach mikroskopischer Anrißbildung ⇒ Ausbreitung zunächst in einzelnen Körnern auf Spaltebenen ⇒ bis Korngrenzenüberschreitung bis zum makroskopischen Riß bzw. Bruch führen
- in metallischen Werkstoffen wird kein Spalten beobachtet, da hier wegen der vielen Gleitsysteme und der starken Neigung zum Quergleiten ⇒ immer günstige Voraussetzungen für plastische Verformung
- in krx – Strukturen wird die Bewegung der Versetzung vorallem bei hohen Verformungsgeschwindigkeiten und niedrigen Temperaturen erschwert ⇒ können Spaltbrüche auftreten
- in Fällen, bei denen Korngrenzengleiten als überwiegender Verformungsmechanismus, entstehen interkristalline Spaltbrüche



- besonders häufig keilförmige Risse
- bei duktilen Werkstoffen häufig über die Entstehung und Vereinigung von Hohlräumen im Korninneren oder in den Korngrenzen



- Hohlräume entstehen auch an Ausscheidungen oder Einschlüssen ⇒ im Verlauf der Verformung werden die Grenzflächen Teilchen – Matrix aufgerissen
- Einfluss einer zweiten Phase auf die Rißbildung, bei globulitischer Form, mittlere Größe und hoher Grenzflächenfestigkeit zur Matrix den Widerstand der Rißbildung erhöht, in Plättchen oder Faserform, bei niedriger Festigkeit der Grenzfläche und kleinem oder großem Durchmesser aber die Rißbildung erleichtert

Rißausbreitung

- Risskeimbildung führt zum Bruch, wenn Riß ausbreitungsunfähig ist
- sind die Bedingungen für Rißausbreitung gegeben, dann geht der submikroskopische Anriß zunächst zu einem Mikroriß (1 µm – 1mm) ⇒ Makroriss (> 1mm) ⇒ Magistralriß ⇒ Bruch
- Rißausbreitung kann instabil (unter Energiefreisetzung) oder stabil (unter ständiger Energiezufuhr)

$$\Rightarrow \text{instabile Rißausbildung: } W_E = - \frac{\Pi a^2 \sigma^2}{E}$$

- a = Rißlänge σ = Zugspannung senkrecht zu Riß
- negatives Vorzeichen besagt, daß mit zunehmender Rißlänge die Verzerrungsenergie abnimmt
- die für die Vergrößerung der Anrißfläche aufzubringende Oberflächenenergie $W_o = 4 a \gamma$ (γ = spezifisch freie Oberflächenenergie)

- instabile Rißausbildung ist nur möglich, wenn $W_E > W_o$ ist

$$\Rightarrow \text{Gleichgewichtsbedingung } \frac{dW}{da} = - \frac{2 \Pi a \sigma^2}{E} + 4\gamma = 0$$

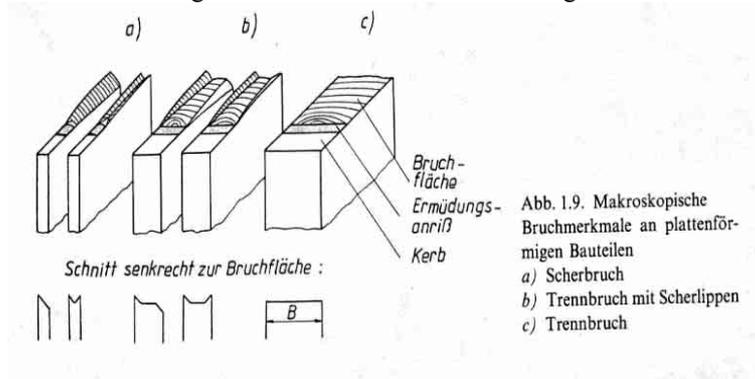
$$\rightarrow \text{Spannung } \sigma_c = \left(\frac{2 \gamma E}{\Pi a} \right)^{1/2}$$

- instabile Rißausbildung führt zu verformungsarmen Bruch, der makroskopisch als Sprödbbruch auftritt
- wird vor Erreichen der zur instabilen Rißausbreitung erforderlichen Spannung σ_c die Streckgrenze überschritten, verformt sich der Werkstoff insgesamt plastisch und die Rißausbreitung kann nur unter ständiger Energiezufuhr (stabil) fortschreiten
- stabile Rissausbreitung unter statischer Beanspruchung ausgehend von Koalizes oder rissartigen Hohlräumen, die von der Spitze eines sich zunächst abstumpfenden Anrisses entstehen
- löst einen zähen (Grübchen-) Bruch aus
- Werkstoff mit krz – Struktur zeigen eine starke Abhängigkeit des Bruchvorganges von der Temperatur
- Bruch verläuft nach plastischer Verformung als Zähbruch
- häufigste Art ist der Ermüdungsbruch, auch hier stabile Rißausbreitung

Brucharten

Mech. Belastung

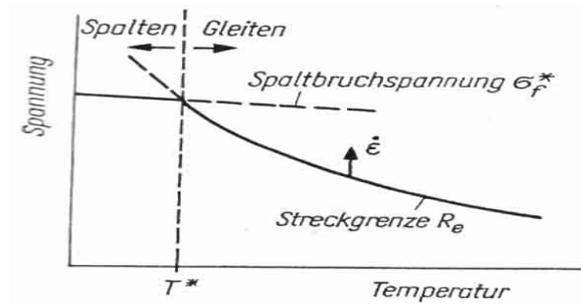
- durch schlagartige bzw. statische Belastung ⇒ Gewaltbrüche
- zyklisch ändernde Belastung ⇒ Schwingbrüche
 - Scherbruch (Folge des ebenen Spannungszustandes) ESZ bei dünnwandigen Bauteilen
 - Trennbruch bei dickwandigeren Bauteilen → ebener Dehnungszustand EDZ



- Grundmechanismen: gleiten und spalten
- Gleitbruch mit intensiven Versetzungsbewegungen
- Spaltbruch überwinden der atomaren Kohäsionsfestigkeit

Sprödbruch

- makroskopisch verformungsarmer Bruch
- Bruchaussehen entspricht Trennbruch
- Bruchfläche zeigt bei metallischen Werkstoffen kristalines oder samtartiges Aussehen
- Spaltflächen verlaufen: ⇒ transkristalin durch Zerstörung der atomaren Bindung
⇒ entlang den Korngrenzen
- Spaltsprünge entstehen wenn Mikrorisse sich ausbreiten können, ohne das es zum Abgleiten kommt
- dazu muß die Zugspannung an der Reißkante die Spaltbruchspannung σ_f
- Spaltbruchspannung weitgehend unabhängig von Temperatur und Beanspruchungsgeschwindigkeit



⇒ Bild: Streckgrenze und Spaltbruchspannung in Abhängigkeit von Temperatur und Verformungsgeschwindigkeit

- oberhalb einer Übergangstemperatur T wird Streckgrenze des Werkstoffes erreicht ⇒ Gleitbruch
- durch starke Abhängigkeit der Streckgrenze der Temperatur T tritt unterhalb Spaltbruch auf
- mit steigender Verformungsgeschwindigkeit $\dot{\epsilon}$ wird die Streckgrenze erhöht und die Übergangstemperatur zu höheren Temperaturen verschoben
- an gekerbten Proben Spaltbruch wenn $\sigma_f = \sigma_{\max}$

Zähbruch

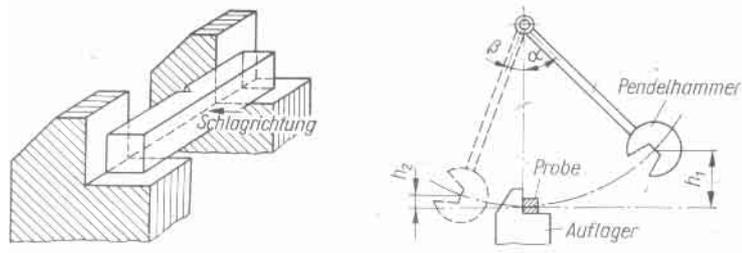
→

Abschnitt 4)

- 4.1.
- es werden gekerpte Proben verwendet
 - durch Kerbe kommt es zur Verhinderung der Querkontraktion → Aufbau eines mehrachsigen Spannungszustandes
 - Konzentration der Verformung am Kerb, hohe örtliche Verformungsgeschwindigkeit

⇒ wird bei duktilen metallischen und hochpolymeren Werkstoffen eingesetzt, um Spröbruchneigung der Konstruktionsstähle, Kontrolle der Qualität, Gleichmäßigkeit von Gefüge- und Behandlungszuständen, Überprüfung von Alterserscheinungen

⇒ Durchführung:



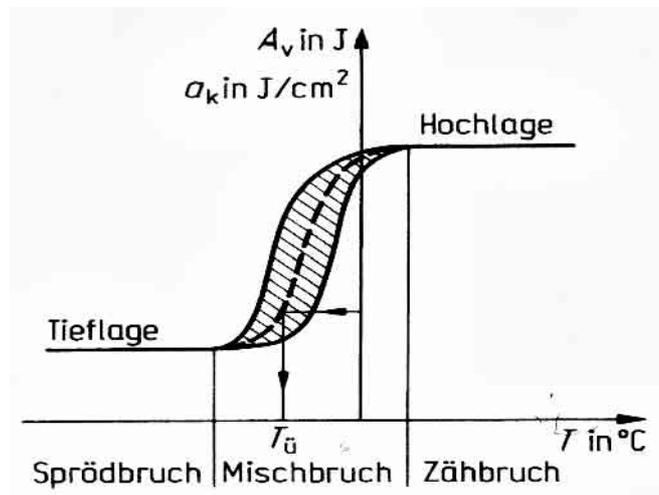
→ gekerpte Probe wird mit Schlag eines Pendelhammers oder anderer Schlagvorrichtung zerbrochen, bzw. soweit gebogen, wie es die Versuchseinrichtung zuläßt

→ Charpy – Anordnung Probestück liegt an zwei Widerlagern an

→ Izod – Anordnung einseitig eingespannt

→ Hammerscheibe beschreibt Kreisbahn und überträgt einen Teil ihrer kinetische Energie am tiefsten Punkt der Hammerbahn

4.2.



⇒ mit zunehmender Temperatur steigt bei Stählen mit krz – Gitter die Kerbschlagarbeit an und die Größe des Zähbruchbereiches auf der Bruchfläche der Probe nimmt zu; der kristalline Fleck im mittleren Bereich der Bruchfläche nimmt ab. Bei 100 % Zähbruch erreicht die Kerbschlagarbeit die Hochlage.

Die Kerbschlagarbeit ist von vielen Einflußgrößen abhängig und kann insbesondere durch höhere Werkstoffreinheiten, gut Homogenität und besonderen Wärmebehandlungsverfahren (Feinkorn) verbessert werden.

Richtung der Verschiebung des Steilabfalls	Einflußgrößen
	Werkstoff
←→	Chemische Zusammensetzung
←→	Wärmebehandlung
→	Kaltverformung, Alterung
	Prüfbedingungen
→	Zunehmende Schlaggeschwindigkeit
→	Probengröße
→	Kerbschärfe
→	Kerbtiefe

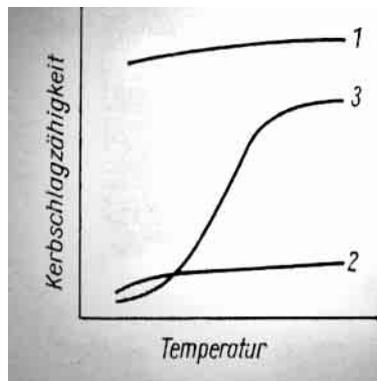
Fragen + Antworten

1. Erläutern Sie den Begriff „Spröbruch“.

Ist das Bruchverhalten eines nicht plastisch verformbaren (spröden) Werkstoff. Bruchfläche liegt senkrecht zur Belastungsrichtung. Beim Zugversuch kommt es zu keiner Werkstoffeinschnürung.

2. Welche Faktoren erhöhen die Spröbruchgefahr? Wie ist deren Wirkungsweise?

3. Welche für die Werkstoffauswahl wesentlichen Informationen können aus dem Kerbschlag – Temperatur – Diagramm entnommen werden?



Kurve 1: Die Abhängigkeit der Kerbschlagzähigkeit von der Temperatur ist gering, der Werkstoff verhält sich auch bei tiefen Temperaturen noch ausreichend zäh. Ein Spröbruch kann nur unter besonderen Umgebungsbedingungen z.B.: bei Neutronenbestrahlung auftreten. Dieses Verhalten zeigen metallische Werkstoffe mit einem kfz – Gitter wie Aluminium, Kupfer, Nickel, austenitische Stähle .

Kurve 2: Bei einer ebenfalls geringen Abhängigkeit von der Temperatur werden in einem breiten Temperaturintervall sehr niedrige Werte der Kerbschlagzähigkeit beobachtet. Dieses Verhalten ist charakteristisch für Werkstoffe mit geringer Eigenzähigkeit, wie Glas, keramische Werkstoffe, hochfeste oder einsatzgehärtete Stähle.

Kurve 3: Die Kerbschlagzähigkeit fällt in einem relativ engen Temperaturintervall von der Hochlage in die Tieflage ab. Während bei metallischen Werkstoffen für die Hochlage ein Zähbruch charakteristisch ist, tritt in der Tieflage der makroskopisch verformungslose Spröbruch auf. Der Verlauf der Kurve ist typisch für metallische Werkstoffe mit krz.- bzw. hexagonalem Gitter. Von großer praktischer Bedeutung ist er für Stähle mit ferritisch-perlitischem Gefüge.

4: Eignet sich der Kennwert „Kerbschlagzähigkeit“ für

- die Bauteildimensionierung
 - eine nur qualitative Beurteilung des Werkstoffes
 - die Umrechnung des an der Laborprobe gewonnen Wertes auf das konkrete Bauteil
- begründen Sie die Antwort.

5: Besteht die Möglichkeit, die Tieftemperaturzähigkeit Werkstoffseitigkeit zu erhöhen.

6: Charakterisieren Sie den Spaltbruch, den transkristallinen plastischen Bruch oder Gleitbruch und den interkristallinen Bruch!

7: Geben Sie die drei Stadien des plastischen Bruchs an und erläutern Sie deren Abhängigkeit vom Gefüge! Welche Schlußfolgerungen ergeben sich daraus für die Werkstoffherstellung?

