

4 Mechanische Eigenschaften

4.1 Arten der Beanspruchung

1. Kennzeichnen Sie qualitativ die Art der Beanspruchung des Werkstoffes unter folgenden Betriebsbedingungen:
 - a) Stahlseil eines Förderkorbes
 - b) Rotorblatt eines Hubschraubers,
 - c) Gleitlagerschale,
 - d) Generatorwelle (horizontale Lagerung),
 - e) Hüllrohr eines Reaktorbrennelementes,
 - f) Gasturbinenschaufel!
2. Kennzeichnen Sie qualitativ die Beanspruchung des Werkstoffes bei der Fertigung:
 - a) Schneiden eines Werkzeugs bei spanabhebender Bearbeitung
 - b) Walzen beim Kalt- und Warmwalzen,
 - c) Drahtwerkstoff beim Ziehen,
 - d) Werkstoff beim Streck- und Tiefziehen,

4.2 Elastizität

1. Erläutern Sie (Skizze) folgende Begriffe:
 - a) linear elastisches Verhalten,
 - b) Gummielastizität,
 - c) Viskoelastizität,
 - d) Elastizitätsgrenze!
2. Eine Al-Legierung hat die Dehngrenze $R_{p0,2} = 300 \text{ MPa}$, den Elastizitätsmodul $E = 72.000 \text{ MPa}$ und die Querkontraktionszahl $\nu = 0,34$. Wie groß ist
 - a) der elastische Verformungsgrad,
 - b) Gesamtverformungsgrad,bei einachsiger Zugbeanspruchung mit $\sigma = R_{p0,2}$ parallel und senkrecht zu dieser Beanspruchungsrichtung bei Isotropie?

3. Wieviele Konstanten sind zur Beschreibung eines isotropen Werkstoffes notwendig und welches sind die vier in der Technik benutzten Konstanten?
4. Berechnen Sie den E-Modul eines Faserverbundwerkstoffes parallel und quer zur Faserrichtung:
 $E_{\text{Duromer}} = 50 \cdot 10^2 \text{ MPa}$
 $E_{\text{Kohlefaser}} = 50 \cdot 10^4 \text{ MPa}$
 $f_{\text{Kohlefaser}} = 0,2 \text{ (Volumenanteil)}$
5. Beschreiben Sie das elastische Verhalten von grauem Gusseisen mit lamellarem Graphit!

4.3 Formänderung

1. Beschreiben Sie die mikrostrukturellen Vorgänge bei der Verformung eines kristallinen Werkstoffes!
2. Bis zu welchem nominellen Verformungsgrad ϵ kann auf die Anwendung der wahren Verformung ϕ verzichtet werden, wenn 1% Genauigkeit verlangt wird?
3. Die Querkontraktionszahl beträgt $\nu = 0,33$ für einen Stahl mit der Streckgrenze $R_p = 300 \text{ MPa}$. Wie groß ist die Volumenänderung unter einer Zugspannung von $\sigma_a = 0,8 R_p$ ($E = 215 \cdot 10^3 \text{ MPa}$)?
4. Wie unterscheiden sich die Querkontraktion bei plastischer Verformung von der bei elastischer Verformung?
5. Wie groß ist die Volumenänderung bei einer plastischen Verformung von $\phi = + 2$?
6. Definieren Sie die Begriffe:
 - a) elastische Verformung,
 - b) plastische Verformung,
 - c) Gleichmaßdehnung,
 - d) Bruchdehnung,
 - e) Brucheinschnürung!
7. Wie ist der ebene Dehnungs- und wie der ebene Spannungszustand definiert?
8. Welche zwei Möglichkeiten einer thermischen Ausdehnung kennen Sie?
9. Definieren Sie die Begriffe Kriechen und Superplastizität!
10. Nennen Sie Möglichkeiten zur Verbesserung der Kriechfestigkeit!

4.4 Zugversuch

1. Erläutern Sie die Begriffe (Gleichungen):
 - a) Elastizitätsmodul,
 - b) Querkontraktionszahl,
 - c) Streckgrenze,
 - d) Zugfestigkeit!
2. Erläutern Sie das Auftreten einer maximalen Zugkraft F_{\max} beim Zerreißversuch eines verfestigenden Werkstoffs!
3. Definieren Sie
 - a) den Verfestigungskoeffizienten,
 - b) den Verfestigungsexponenten!
4. Skizzieren Sie die Spannungs-Dehnungs-Kurve von Werkstoffen mit folgenden Eigenschaften (Beispiel):
 - a) ideal spröde und linear elastisch,
 - b) spröde und nicht-linear elastisch,
 - c) niedrige Streckgrenze und bei plastischer Verformung stark verfestigend,
 - d) hohe Streckgrenze und bei plastischer Verformung wenig verfestigend,
 - e) ideal plastisch!
5. In einem Zugversuch wurden folgende Werkstoffkennwerte ermittelt:

Elastizitätsgrenze	$R_e = 750 \text{ MPa}$
Zugfestigkeit	$R_m = 1.100 \text{ MPa}$
E-Modul	$E = 210.000 \text{ Mpa}$
Gleichmassdehnung	$\epsilon_g = 6 \%$
Bruchdehnung	$A_5 = 11 \%$

 - a) Welcher Werkstoff wurde geprüft?
 - b) Wie hoch ist die Dehnung bei Belastung bis zur Elastizitätsgrenze?
 - c) Was sagt Ihnen A_5 ?
 - d) Was passiert mit der Probe bei Dehnungen größer ϵ_g ?
 - e) Was passiert mit der Probe, wenn sie auf eine Spannung $R_e < \sigma < R_m$ belastet und dann vollständig entlastet wird?
 - f) Angenommen, mit der nach e) behandelten Probe wird erneut ein Zugversuch durchgeführt. Ist die hierbei gemessene Elastizitätsgrenze gleich der ursprünglichen oder hat sie sich verändert?

4.5 Härtungsmechanismen

1. Erklären Sie mit Hilfe von Gitterversetzungen (Skizze) das Entstehen von Gleitstufen!

2. Erläutern Sie die Ursache einer ausgeprägten Streckgrenze bei vielen Bau-
stählen (z.B. S 235)!
3. Welche Möglichkeiten zur Erhöhung der Streckgrenze von Metallen (Här-
tungsmechanismen) gibt es?
4. Berechnen Sie die Festigkeitssteigerung $\Delta\tau_T$ durch eine Dispersion von klei-
nen Teilchen nach der Orowan-Beziehung ($G = 28.000 \text{ MPa}$, $b = 0,4 \text{ nm}$ D_T
 $= 0,2 \text{ nm}$)!
5. Definieren Sie die theoretische Schubfestigkeit τ_{th} und die theoretische Reiß-
festigkeit σ_{th} ! Wie können diese beiden Werte abgeschätzt werden?
6. Welche Bedingung muß erfüllt sein, um die theoretische Schubspannung τ_{th}
in Metallkristallen erreichen zu können?
7. Wovon hängt es ab, ob ein Kristall bei Belastung spröde reißt oder vorher
abgleitet?

4.6 Kerbschlagarbeit, Bruchzähigkeit

- 1.a) Wie ist die Kerbschlagarbeit definiert?
b) Was läßt sich über das Bruchverhalten eines Werkstoffes mit einer hohen
oder mit einer niedrigen Kerbschlagarbeit aussagen?
2. Nennen Sie Beispiele, für die Ihnen der Kerbschlagbiegeversuch als ein ge-
eignetes mechanisches Prüfverfahren erscheint!
3. Warum benutzt man beim Kerbschlagbiegeversuch gekerbte Proben und
warum wird dieser Versuch bei unterschiedlichen Prüftemperaturen durchge-
führt?
4. Das Bild F4.1 zeigt eine Kraft-Rißaufweitungskurve, wie sie in einem K_{IC} -
Versuch an einem Vergütungsstahl (55 Cr 3) gemessen wurde. Sie sollen
diesen Versuch auswerten und dabei folgende Fragen beantworten:
 - a) Was versteht man unter der Bruchzähigkeit eines Werkstoffes?
 - b) Geben Sie die allgemeine Gleichung für die Spannungsintensität K an und
erläutern Sie deren Bedeutung!
 - c) Beschreiben Sie die wesentlichen Merkmale des Versuchsaufbaues, der Pro-
benform und der Versuchsdurchführung eines K_{IC} -Versuches!
 - d) Das Diagramm in Bild F4.1 wurde an einer CT (compact tension) - Probe
ermittelt, für die die kritische Spannungsintensität nach folgender Formel be-
rechnet wird:

$$K = \frac{F}{d\sqrt{B}} \cdot \frac{\left(2 + \frac{a}{B}\right)}{\left(1 - \frac{a}{B}\right)^{3/2}} \cdot \left[0,8886 + 4,64 \frac{a}{B} - 1332 \left(\frac{a}{B}\right)^2 + 1472 \left(\frac{a}{B}\right)^3 - 5,6 \left(\frac{a}{B}\right)^4 \right]$$

(nach: ASTM E 399-78).

Geg:

$$a_c = 24,595 \text{ mm}$$

$$D = 12,570 \text{ mm}$$

$$B = 50 \text{ mm}$$

$$R_{p0,2} = 1460 \text{ MPa}$$

Berechnen Sie die Spannungsintensität K_{Ic}

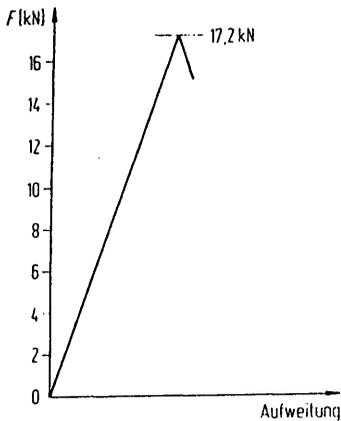


Bild F 4.1

- e) Wie hängt die Spannungsintensität von der Dicke d der Probe ab (Skizze)?
 - f) Überprüfen Sie mit dem Dickenkriterium, ob die in d) ermittelte Spannungsintensität ein Werkstoffkennwert ist!
5. Stellen Sie eine Energiebetrachtung für eine instabile Rißausbreitung nach Griffith an und erklären Sie die Bedeutung der Energiefreisetzungsrates (Rißausbreitungskraft) G !

4.7 Kriechen, Schwingfestigkeit, Ermüdung

1. Geben Sie die drei möglichen dynamischen Belastungsfälle für Laborermüdungsversuche in einem σ - t Diagramm an und kennzeichnen Sie folgende Größen: σ_o , σ_u , σ_m , σ_a und R !

2. Wie ist ein Zeitstandschaubild aufgebaut?
3. Zeichnen Sie ein Wöhlerdiagramm und kennzeichnen Sie folgende Größen: R_m , Wechselfestigkeit, Zeit- und Dauerfestigkeitsbereich!
4. Welche Größen werden in einem
 - a) spannungs- und
 - b) dehnungskontrollierten Ermüdungsversuch konstant gehalten?
5. Zug/Druck-Ermüdungsversuche können spannungs- oder verformungskontrolliert durchgeführt werden. Zeichnen Sie gemäß den Angaben in a-d jeweils ein zyklisches Spannungs-Dehnungs-Diagramm, das den prinzipiellen Kurvenverlauf vom ersten Lastwechsel bis zur Sättigung wiedergibt. Zeichnen Sie zusätzlich für jeden Fall jeweils drei Einzeldiagramme für σ_a , ε_{ges} ($= \varepsilon_{el} + \varepsilon_{pl}$) und ε_{pl} über der Lastwechselzahl N ($\sigma_m = 0$):
 - a) $\sigma_a = \text{konst.}, \varepsilon_{pl} = 0$,
 - b) $\sigma_a = \text{konst.},$ Werkstoff entfestigt,
 - c) $\varepsilon_{pl} = \text{konst.},$ Werkstoff verfestigt,
 - d) $\varepsilon_{ges} = \text{konst.},$ Werkstoff verfestigt!
6. Gegeben ist ein Wöhlerdiagramm für einen warmfesten austenitischen Stahl (X5 NiCrTi 26 15), (Bild F4.2). Welche Restlebensdauer bis zum Bruch ergibt sich nach der linearen Schadensakkumulationshypothese, wenn eine Probe bereits durch zwei Lastkollektive
 - $\sigma_{a1} = 500 \text{ MPa}, n_1 = 10^4 \text{ LW}$,
 - $\sigma_{a2} = 350 \text{ MPa}, n_2 = 4,9 \cdot 10^5 \text{ LW}$
 belastet worden ist und unter der Spannung $\sigma_{a3} = 400 \text{ MPa}$ weitergefahren werden soll?

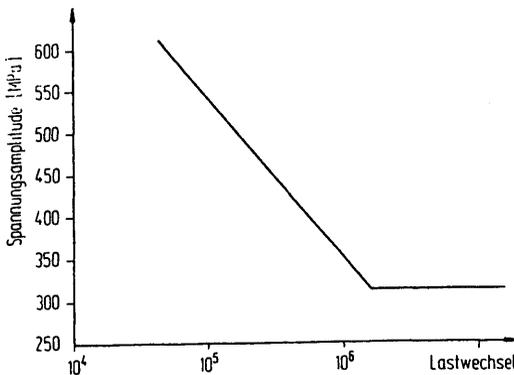


Bild F 4.2

4.8 Bruchmechanismen

1. Beschreiben Sie die einzelnen Stadien bis zum Bruch eines Bauteils, das infolge einer schwingenden Beanspruchung versagt!
2. Warum tritt bei einer schwingenden Beanspruchung eines Bauteils die Rißbildung bevorzugt an der Oberfläche auf?
3. Was versteht man unter Schwingstreifen? Skizzieren Sie ihre Entstehung!
4. Das Bild F4.3 zeigt den typischen Kurvenverlauf eines bruchmechanischen Rißausbreitungsversuchs:
 - a) Wie ermittelt man die Rißgeschwindigkeit da/dN ?
 - b) Ist ΔK während des Versuchs konstant?
 - c) Welche Gleichung beschreibt den nahezu linearen Verlauf der Kurve im Bereich II?
 - d) Gegen welche Grenzwerte strebt die Kurve für eine immer kleiner und immer größer werdende Rißgeschwindigkeit?

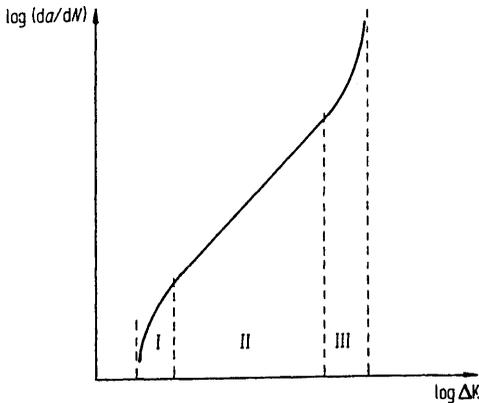


Bild F 4.3

5. Beschreiben Sie die in Bild F 4.4 dargestellten Brüche! Welches Bild zeigt einen duktilen, welches einen spröden und welches einen Ermüdungsbruch?

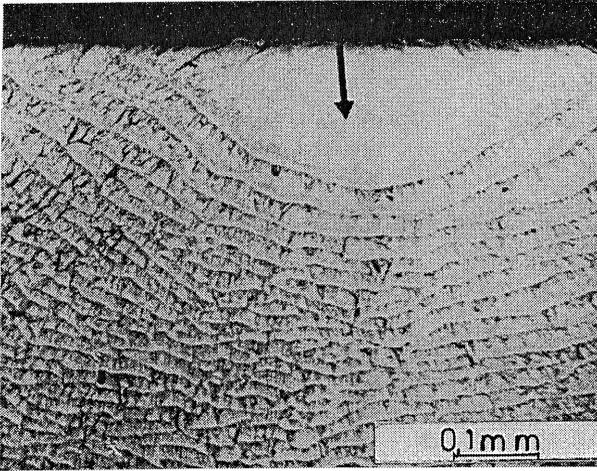


Bild F 4.4 a

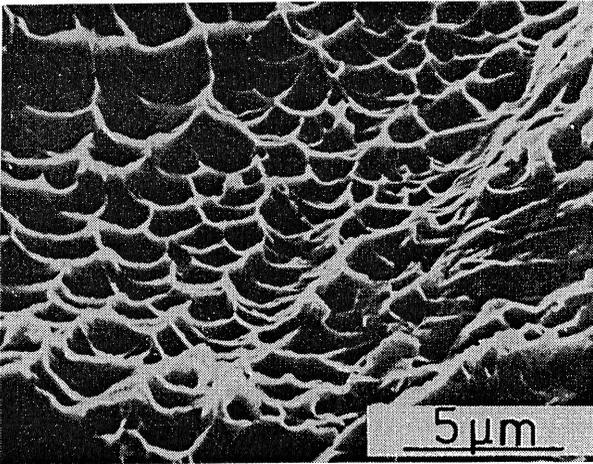


Bild F 4.4 b

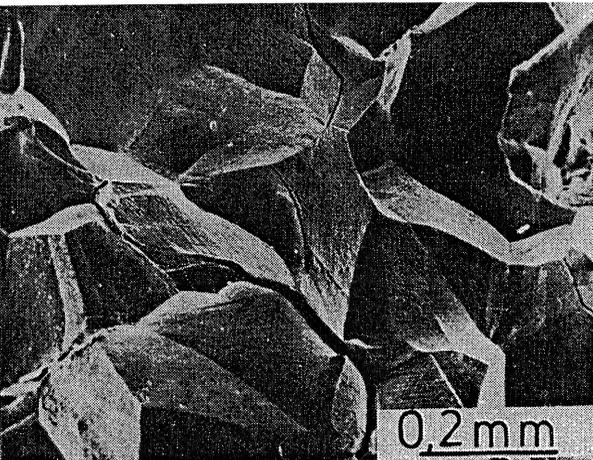


Bild F 4.4 c

4.9 Viskosität, Viskoelastizität

1. Kennzeichnen Sie den Unterschied von viskosem und viskoelastischem Verhalten (z. B. anhand eines Verformungs-Zeit-Diagramms)!
2. Welches Fließgesetz gilt für
 - a) Metallschmelzen,
 - b) Polymerschmelzen,
 - c) nassen Ton?
3. Wie wird die Dämpfungsfähigkeit eines Werkstoffs gemessen?
4. Welches sind die Ursachen der Dämpfung von Schwingungen in Metallen, Hochpolymeren?

4.10 Technologische Prüfverfahren

1. Definieren Sie die Härte eines Werkstoffs!
2. Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Härte und dem Spannungs-Dehnungs-Diagramm?
3. Durch welche drei maßgeblichen Faktoren wird der Reibungskoeffizient bestimmt?
4. Definieren Sie die Begriffe Verschleißsystem, Verschleißrate, Verschleißkoeffizient!
5. Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Härte und dem Verschleißwiderstand?