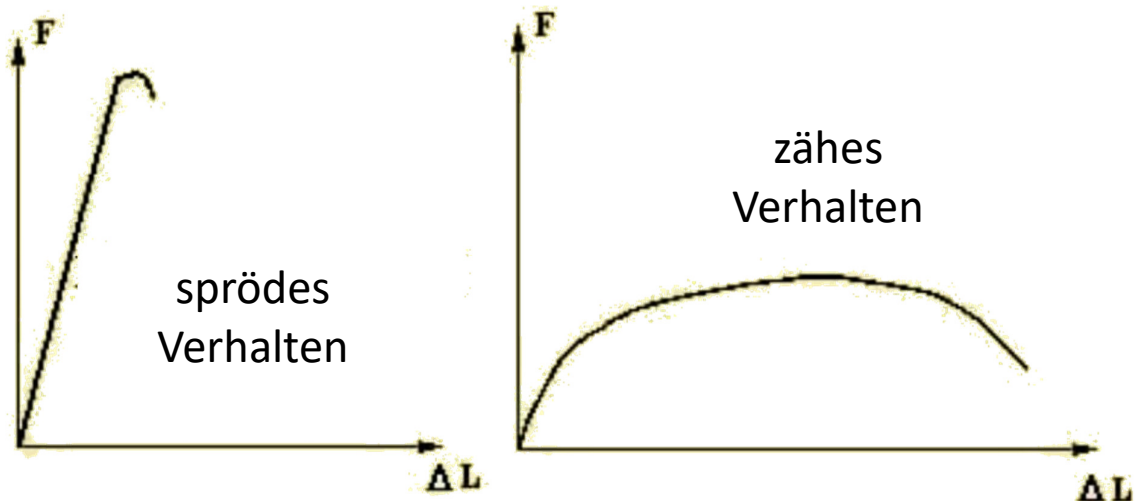


Bruch

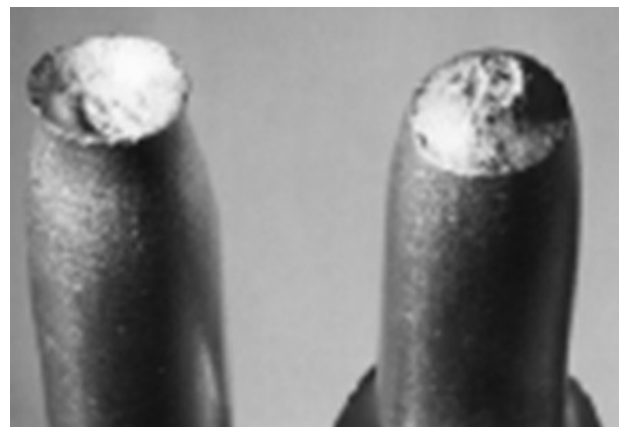
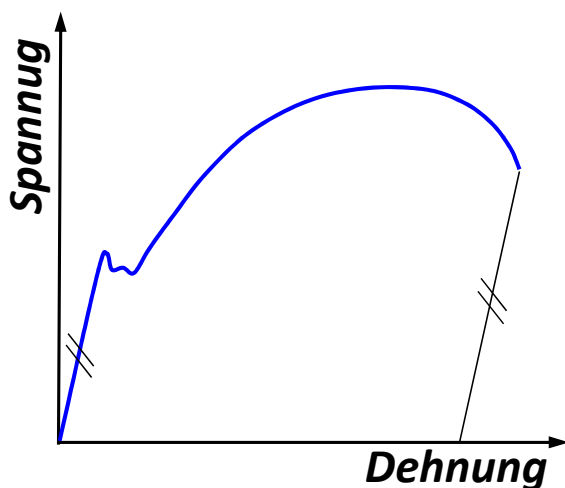
- der Einfluss der Zustandskenngrößen;
(állapottényezők)
- die grundlegende Arten der Brüche, die mechanische und fraktographische Charakteristiken
- die Theorie für linear-elastisches und plastisches Bruchmechanik und
- das Konzept für bruchmechanische Planung kennenlernen.

Die zwei Extremfälle für das Versagen unsere Konstruktionsmaterialien ist der Sprödbbruch und zähes Bruch. Zähes und sprödes Benehmen kann man auch gut auf die Kraft-Verlängerungskurve, bzw. Spannungs-Dehnungskurve der Zugversuche beobachten.



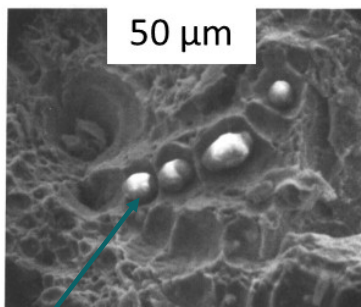
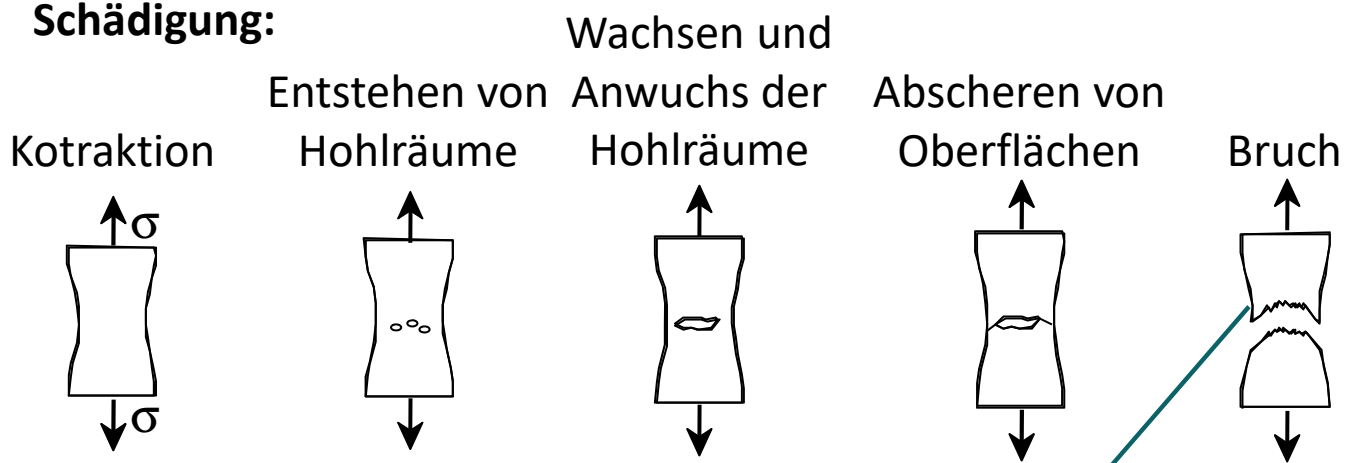
Folie: 3

Beachtliche plastische Deformation vor dem Bruch

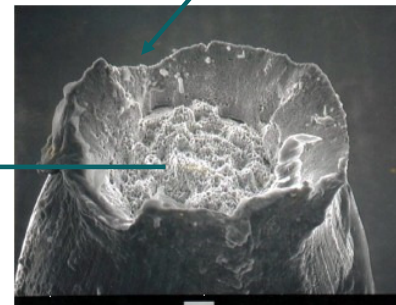


Folie: 4

Schädigung:



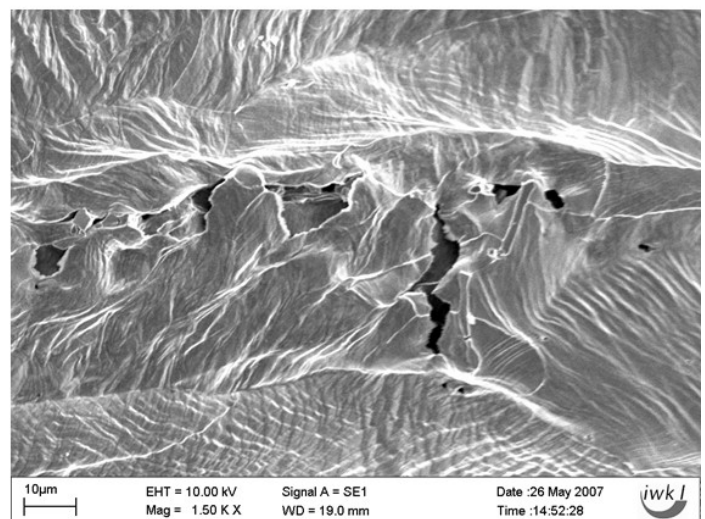
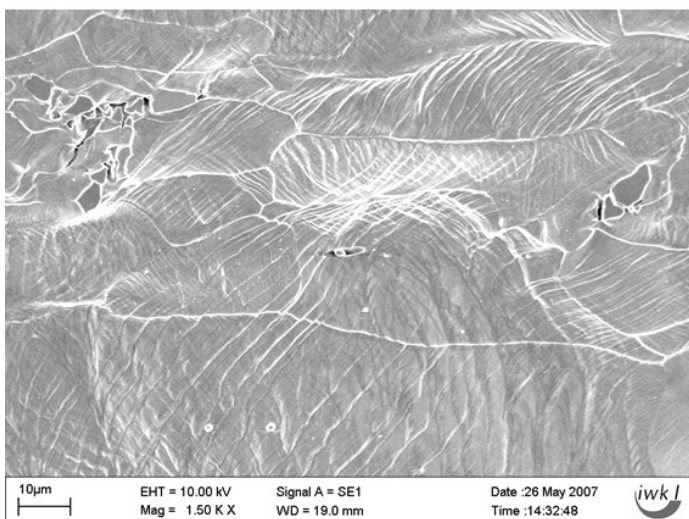
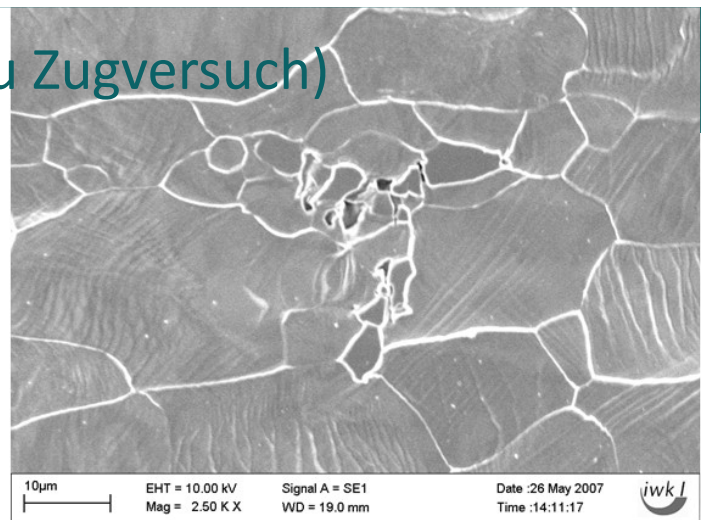
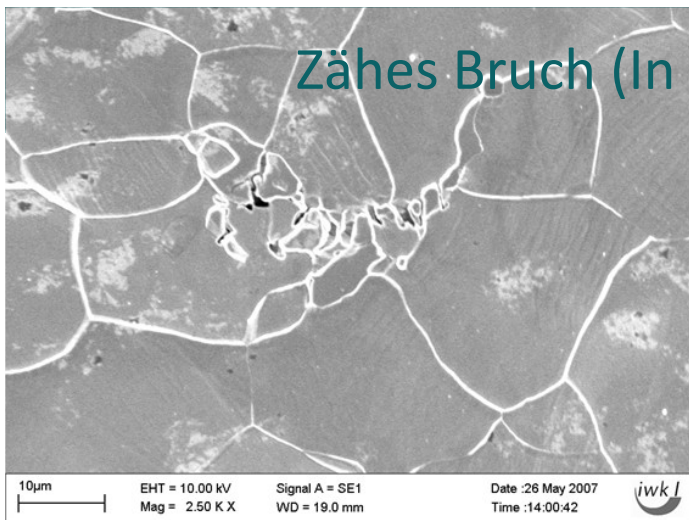
Bruchfläche vom Stahl



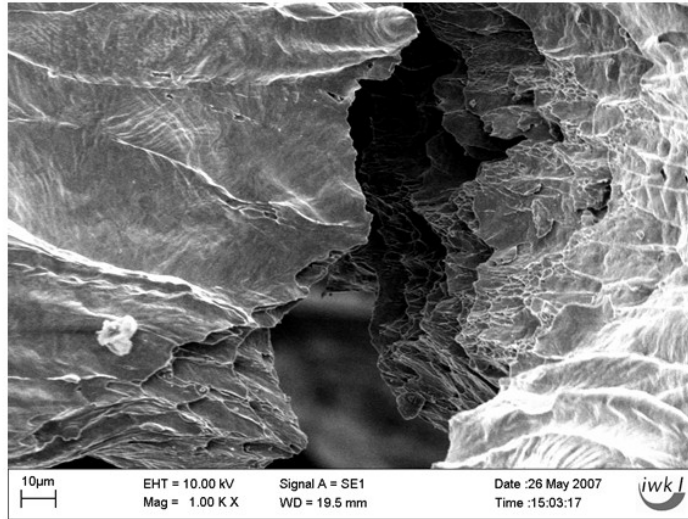
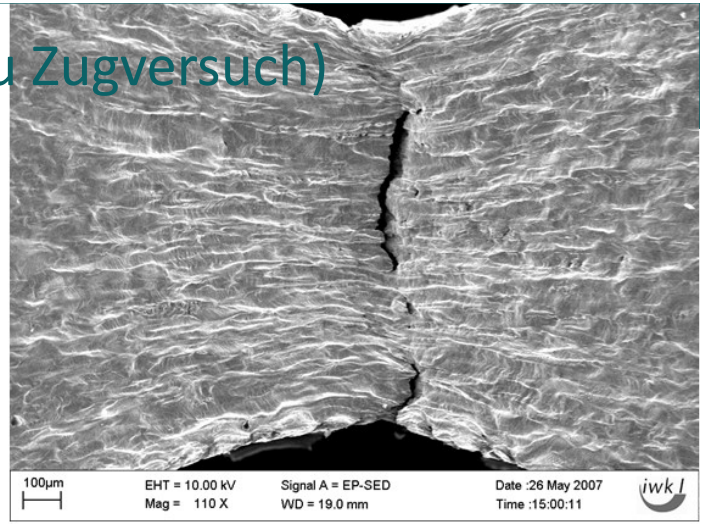
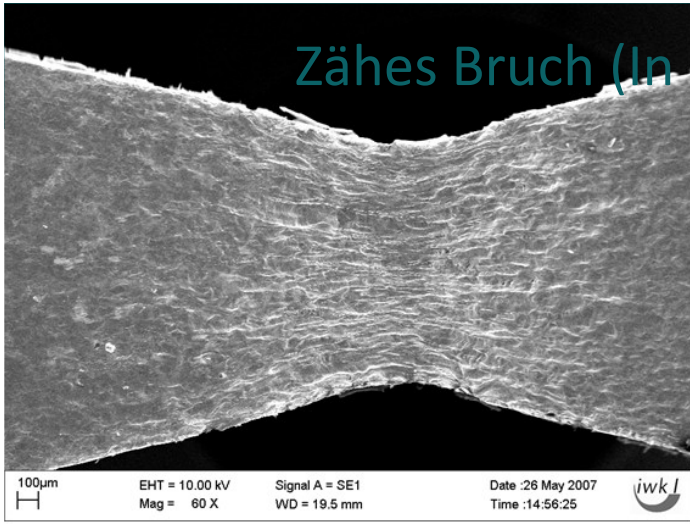
Ausscheidungen zweite Phasen fördern die Entstehung von Hohlräumen

Folie: 5

Zähes Bruch (In Situ Zugversuch)

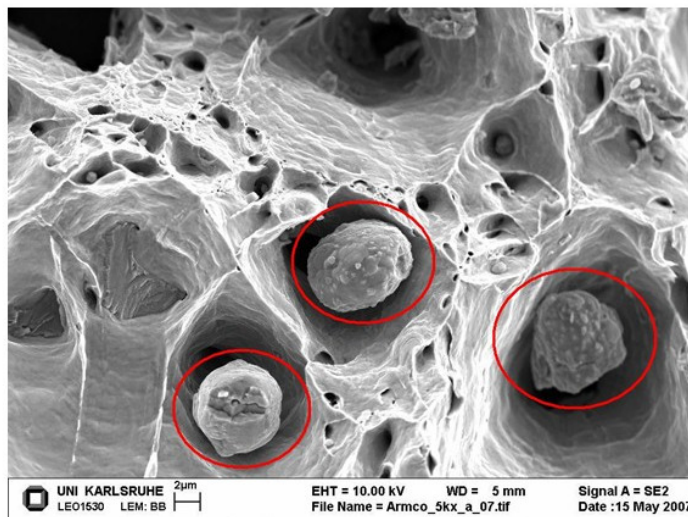
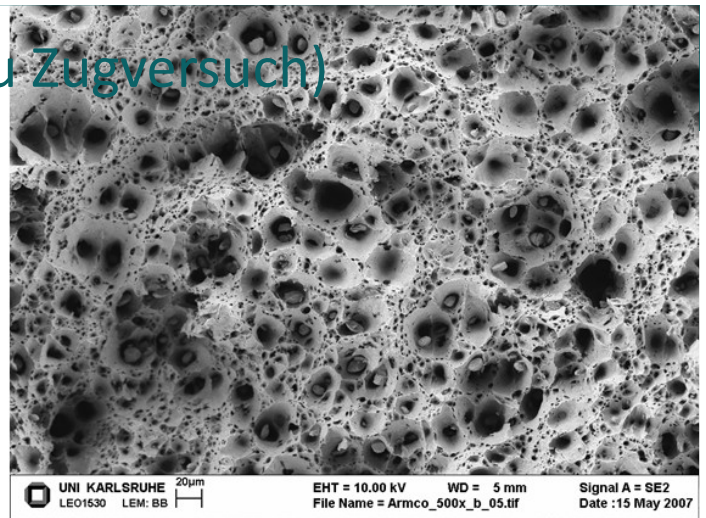
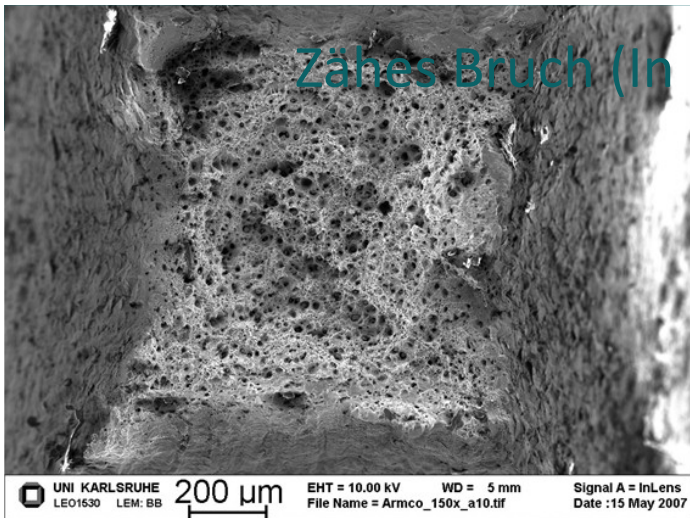


Zähes Bruch (In Situ Zugversuch)

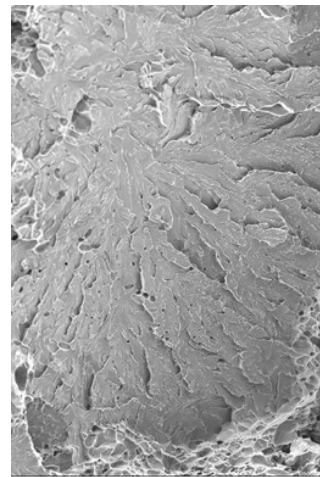
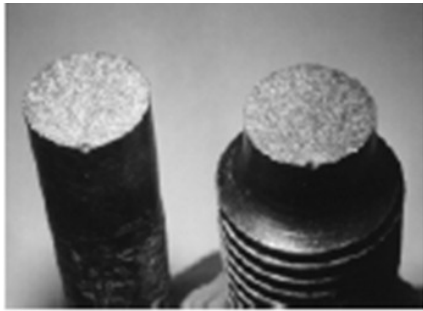


Folie: 7

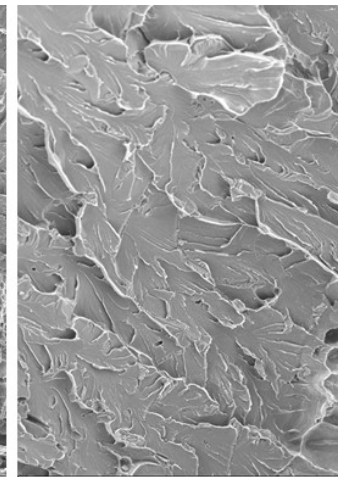
Zähes Bruch (In Situ Zugversuch)



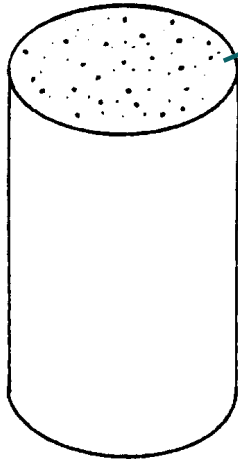
Folie: 8



LSRUHE 10µm
LEM: BB



UNI KARLSRUHE 2µm
LEO1530 LEM: BB



- die Bruchfläche ist quasi senkrecht zur Zugachse,
- keine Kontraktion während der Verformung
- keine makroskopische plastische Verformung
- die Bruchfläche schneidet die Körner durch

Folie: 9

Zähes oder sprödes Benehmen eines Materials ist kein Materialeigenschaft sondern der Zustand des Materials und es wird neben Materialstruktur auch von der Zustandskenngrößen beeinflusst.

Spannungszustand

Die mehrachsige Zugspannungen verschieben das Benehmen des Materials in Richtung spröderes die mehrachsige Druckspannungen in Richtung zäheres Benehmen.

Temperatur

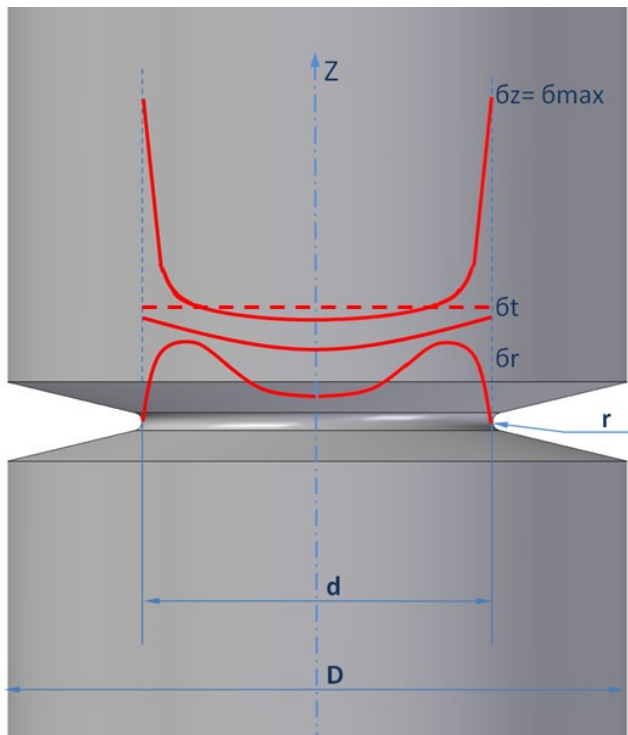
Bei höheren Temperaturen benimmt sich das Material zäher, bei niedrigeren Temperaturen spröder.

Geschwindigkeit der Belastung

Bei größeren Geschwindigkeiten benimmt sich das Material spröder, bei kleineren Geschwindigkeiten zäher.

Folie: 10

elastische Lösung



Nennspannung

$$\sigma_n = \frac{F}{A}$$

Maximalie Spannung

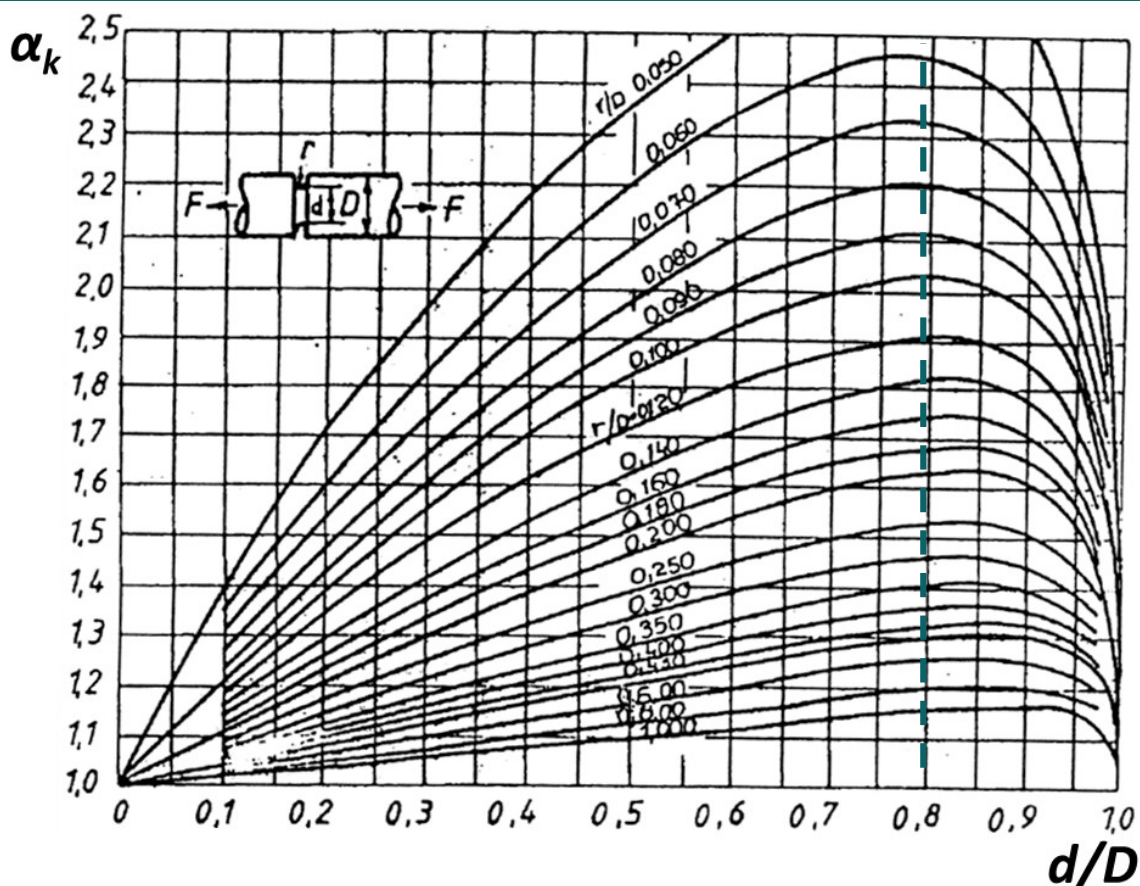
$$\sigma_{max} = \sigma_n \cdot \alpha_k$$

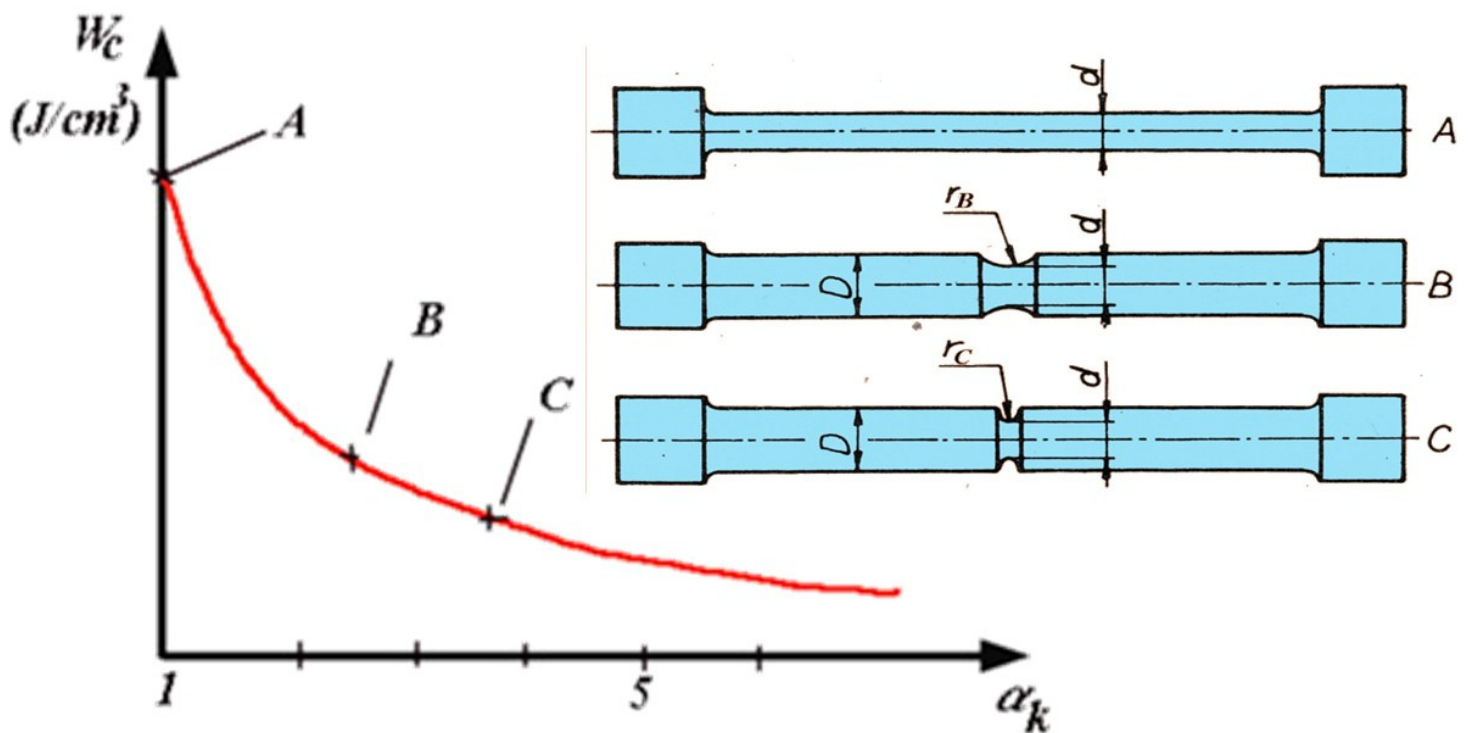
$\alpha_k (K_t)$ – Formfaktor

$$\alpha_k = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_n}$$



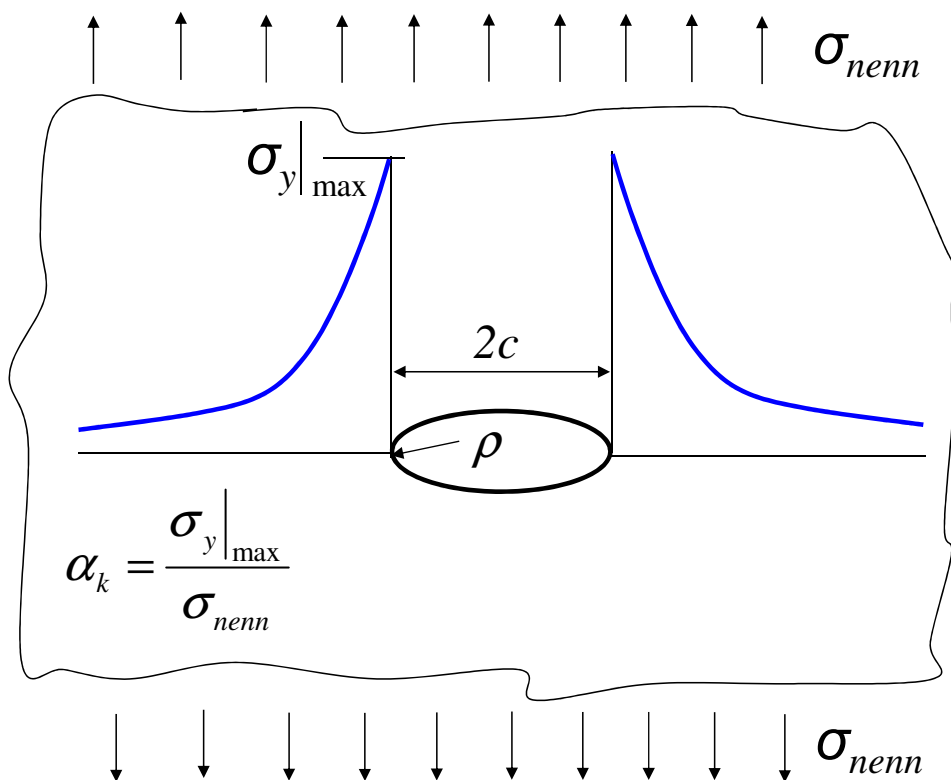
Diagram für die Bestimmung von α_k





Folie: 13

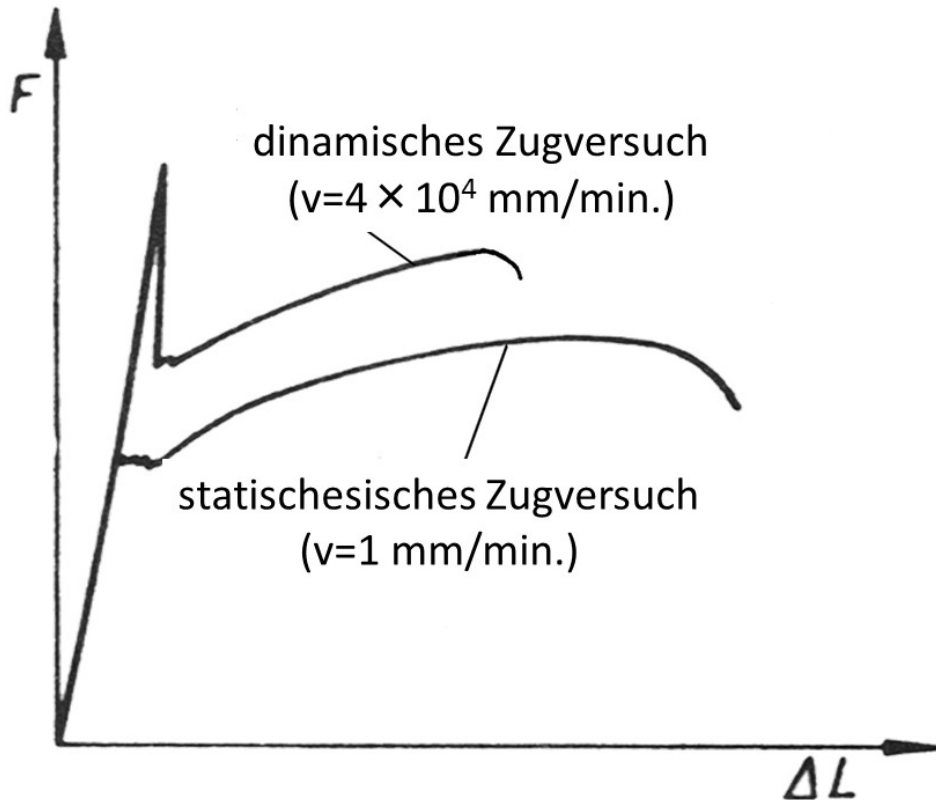
Spannungskonzentration einer Kerbe



$$\alpha_k = 1 + 2\sqrt{\frac{c}{\rho}}$$

Folie: 14

Statische und dynamische Zugversuch von Stahl

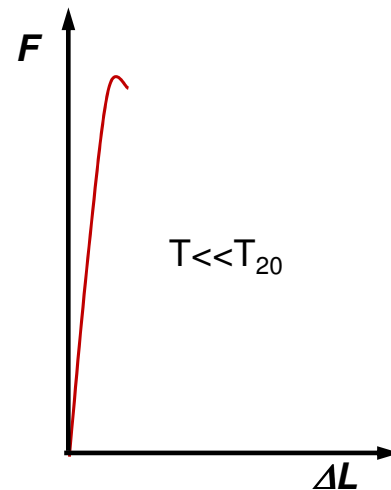
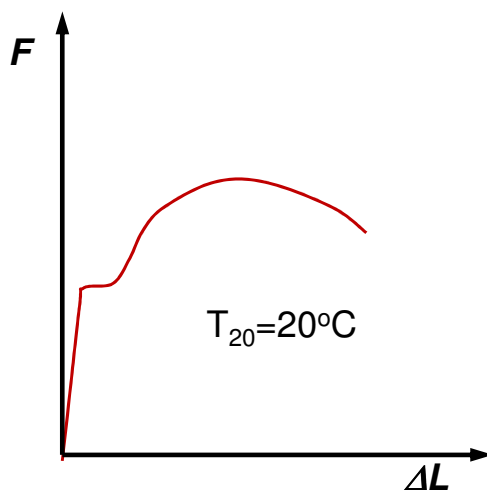


$$\dot{\epsilon} = \frac{v}{l} \frac{1}{s}$$

$$v_k = \int_0^{\epsilon_m} \sqrt{\frac{d\sigma / d\epsilon}{\rho}} d\epsilon$$

Die Erhöhung der
Geschwindigkeit
verursacht
kontraktionslose
Bruch (v_k)

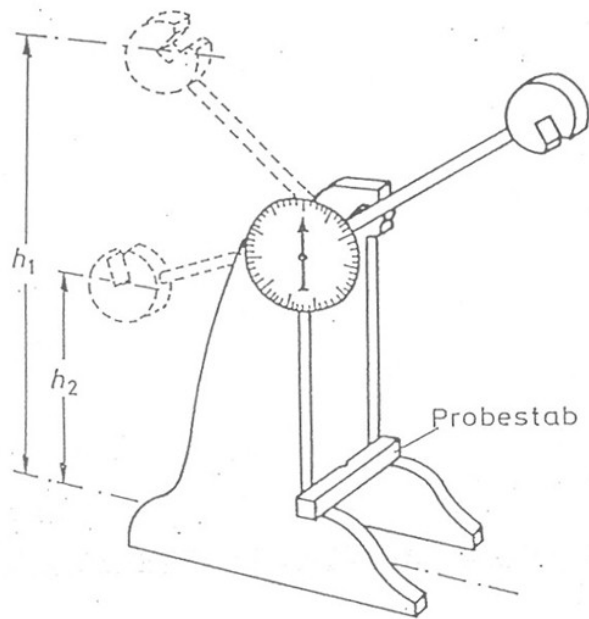
Folie: 15



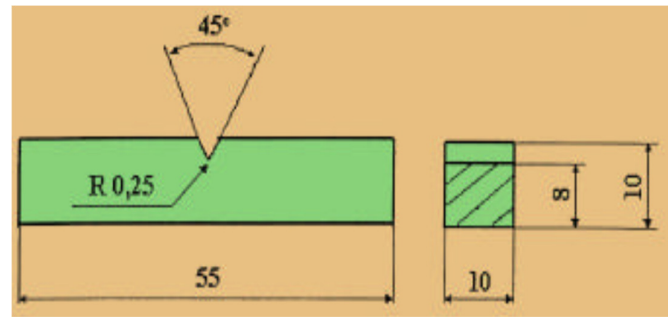
Auf erhöhten Temperatur wächst das Verformungsvermögen des Materials, die Festigkeitswerte sinken.

Mit sinkenden Temperatur sinkt das Verformungsvermögen des Materials und bei gegebenen Temperatur wird völlig erschöpft. Dann wird die spezifische Brucharbeit null. Parallel damit wachsen die Festigkeitskennrößen kontinuierlich.

Folie: 16

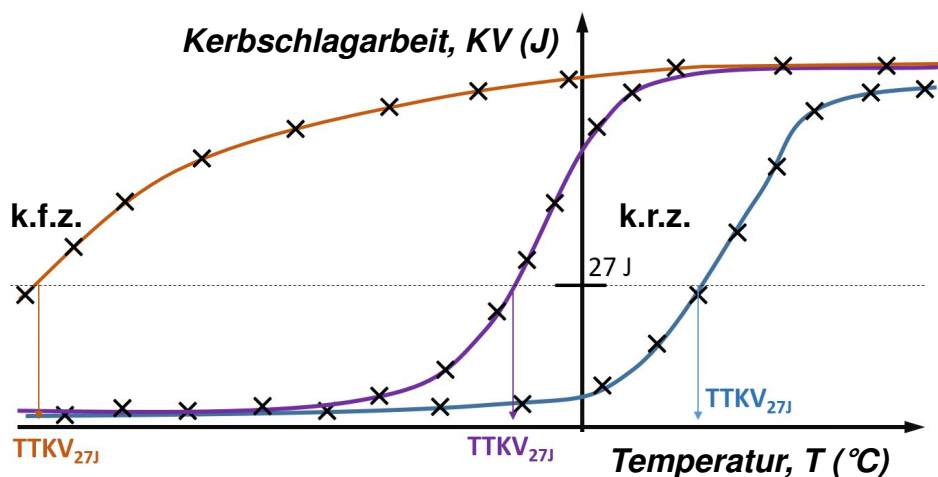
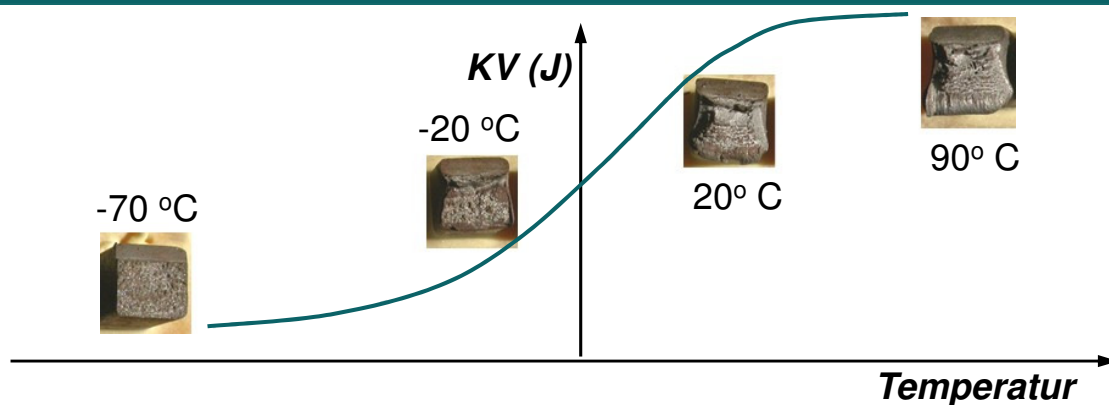


Pendelschlagwerk



Genormte ISO-V Probe

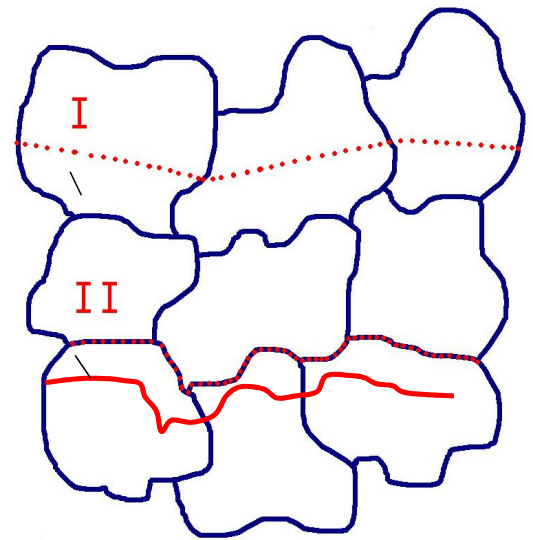
$$KV = m \cdot g \cdot (h_1 - h_2) \text{ (J)}$$



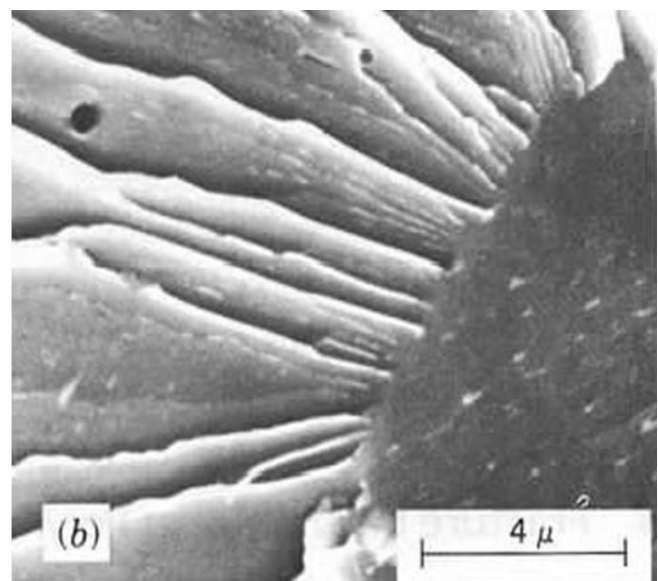
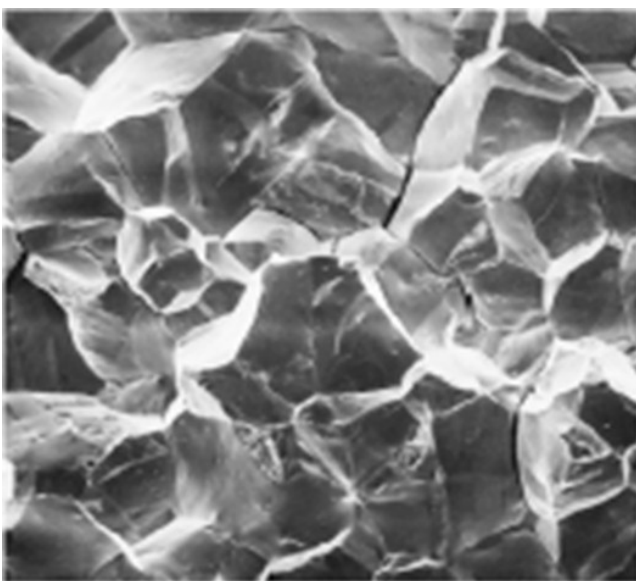
Sprödbbruch: die Brucharbeit wird für die Erzeugung neuer Oberflächen aufgebraucht und der Bruch erfolgt:

- I. Transkristallin, oder
- II. Interkristallin.

Zähbruch: die Brucharbeit wird für die plastische Verformung und für die Erzeugung neuer Oberflächen aufgebraucht. Entstehung und Anwuchs von charakteristisch.

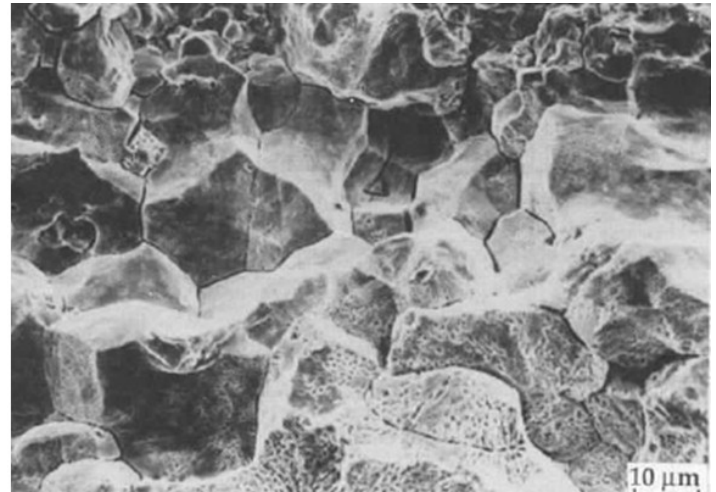
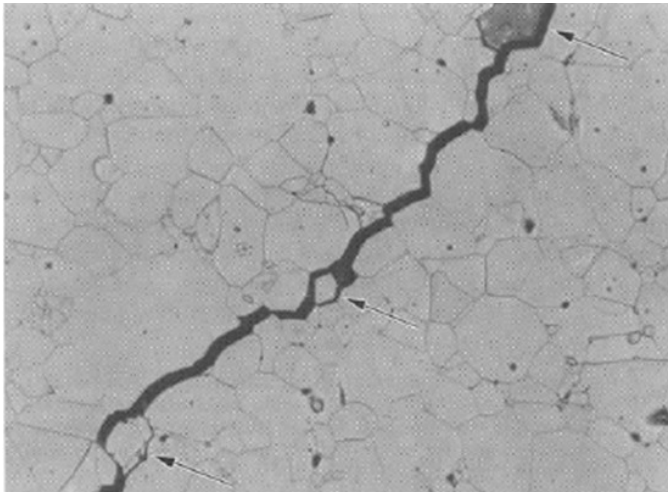


Folie: 19



Der Riss läuft durch die Körner und auf bestimmten Gitterebenen

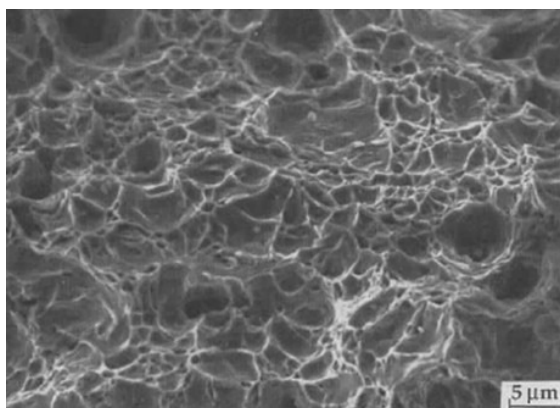
Folie: 20



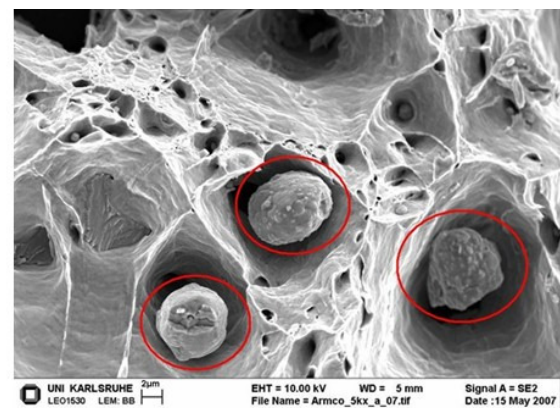
Riss läuft neben der Körner entlang der Korngrenzen.

Folie: 21

Die Bruchfläche ist grubig, matt. Der Bruch erfolgt wegen der Schubspannung verursachte Abscheren.



Anwuchs der Hohlräume



Entstehen der Hohlräume in der Nähe der II. Phase

Folie: 22

- temporäre Überlastung, bzw. Umgebungsfaktoren
- Korrosionsermüdung
- Spannungskorrosion
- H-verursachte Versprödung
- gemeinsames Effekt der Temperatur und mechanische Belastung,
- Kriechriss
- Warmeschock verursachte Riss.



Rissdetektion: mit zerstörungsfreien Untersuchungstechniken

sehr wichtig ! NDT

Folie: 23

Gießerei: Poren, Lunkern, Einschlüsse, Warmrisse können entstehen im Abhängigkeit der Technologieparameter.

Warmverformung: das Verformungsvermögen sinkt , zB. bei Ausscheidungen an den Korngrenzen, Schädigung der Austenitkorngrenzen wegen anisotrope Struktur.

Kaltverformung: wegen der Erschöpfung der Verformungsvermögen.

Wasserstoff: wegen Wasserstoff erfolgende Riss, Ausflockung.

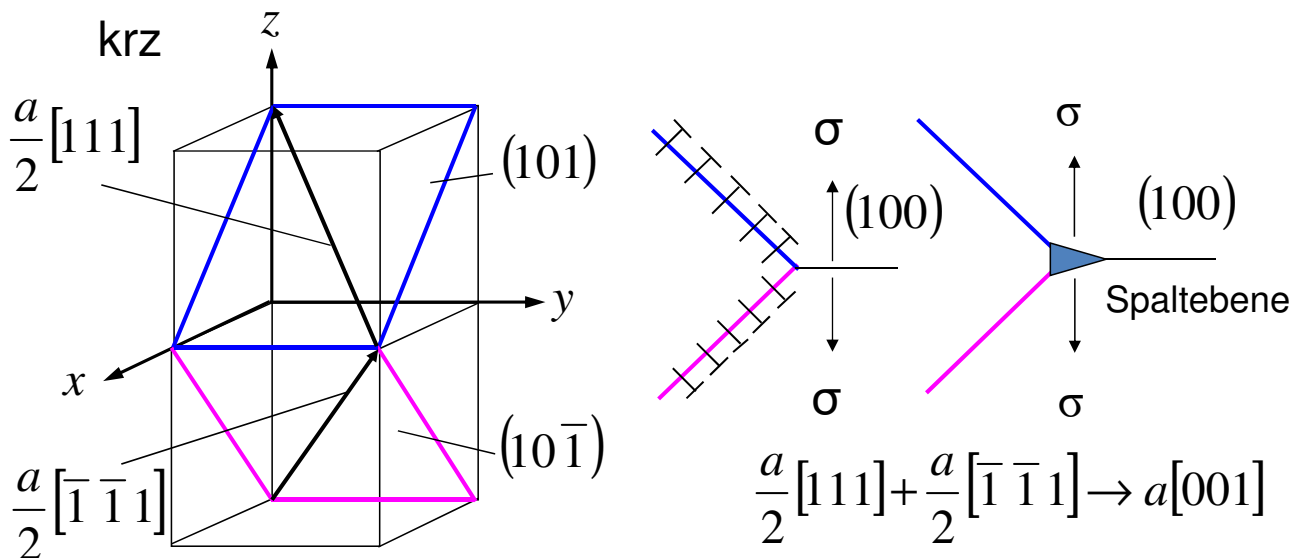
Wärmebehandlung: Härtungsrisse

Schweißen: Warm- und Kaltrisse, Relaxationsrisse.

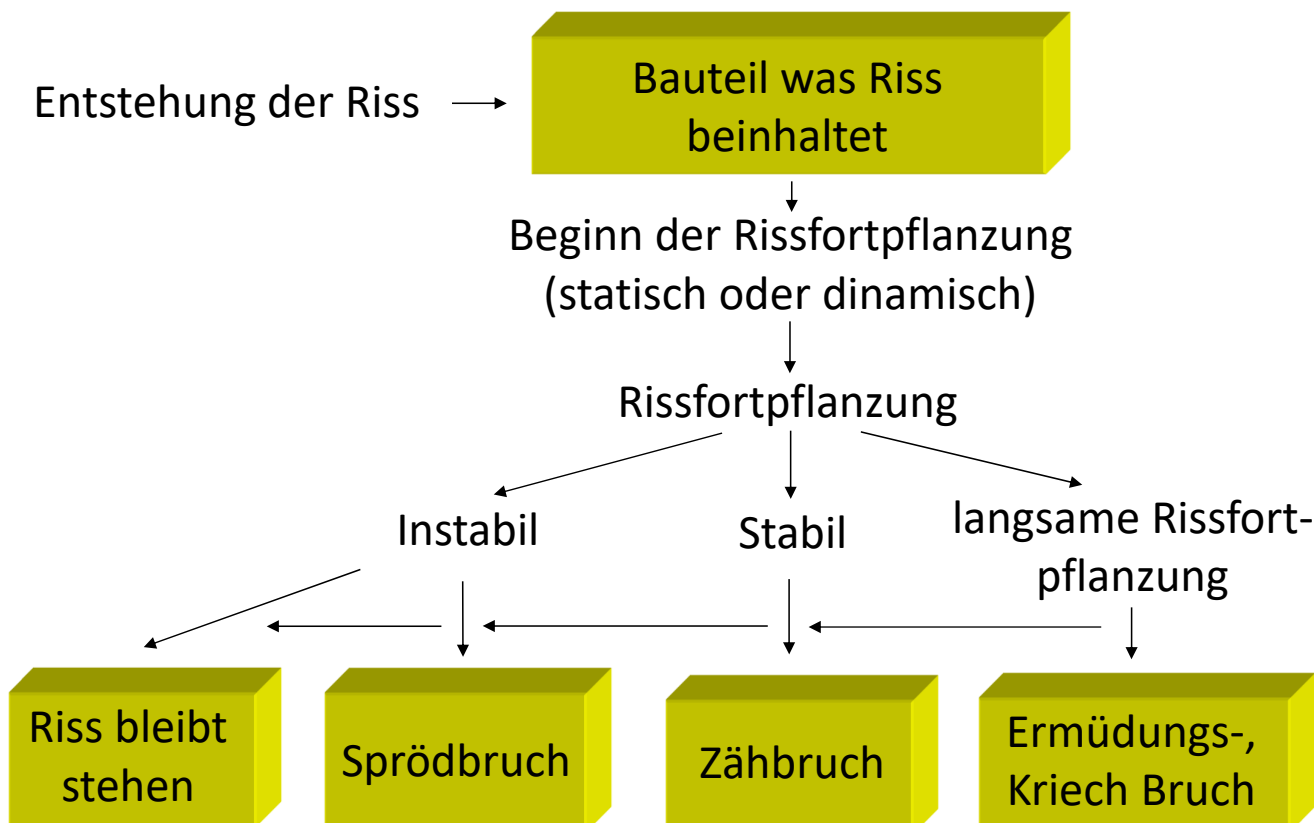
Spanen: unscharfes Werkzeug oder zu große Belastung

Bedingungen der Rissentstehung: plastische Verformung.
Bei plastische Verformung wächst die Versetzungsdichte,
was Hohlräume und Risse verursacht.

Cottrell- „Spalt” Versetzung



Folie: 25



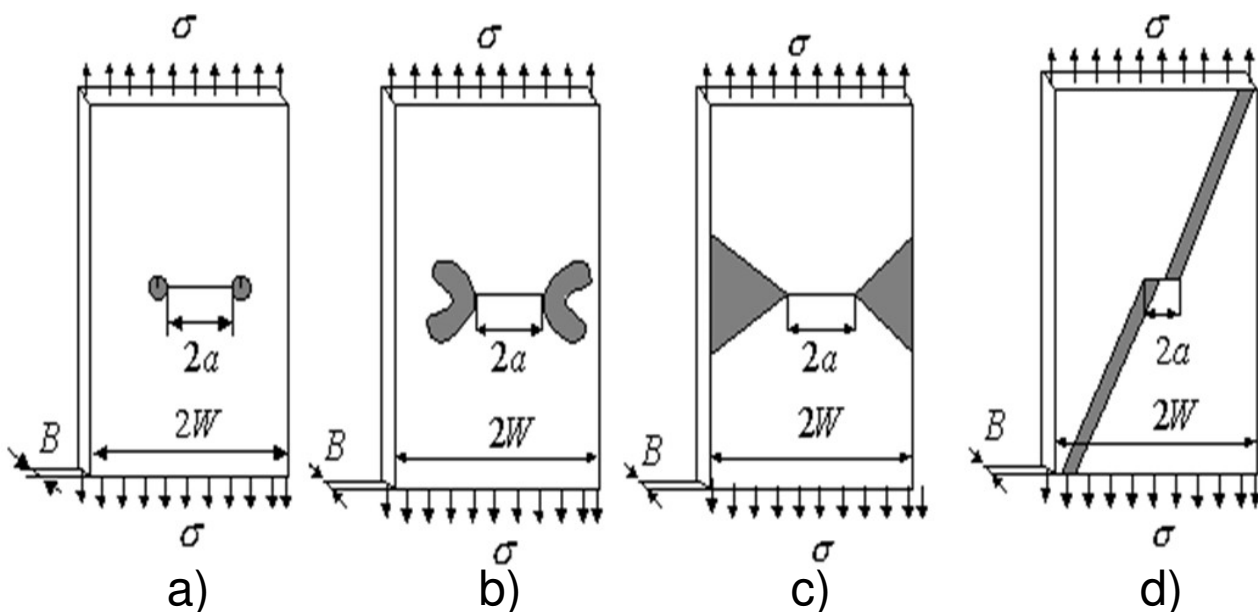
Folie: 26

Stabile Rissfortpflanzung: verbraucht konstante Energie, vor der Spitze des Risses entstehen Hohlräume dann werden sie vereinigt.

Instabile Rissfortpflanzung: läuft bei ständigen Energiefreiwerden ab, so verursacht es makroskopisches Sprödbruch.

Sukzessive Rissfortpflanzung: für längere Zeitraum ausbreitende Stabile Rissfortpflanzung, charakteristisch für die Brüche verursacht durch *Ermüdung, Kriechen und Spannungskorrosion*.

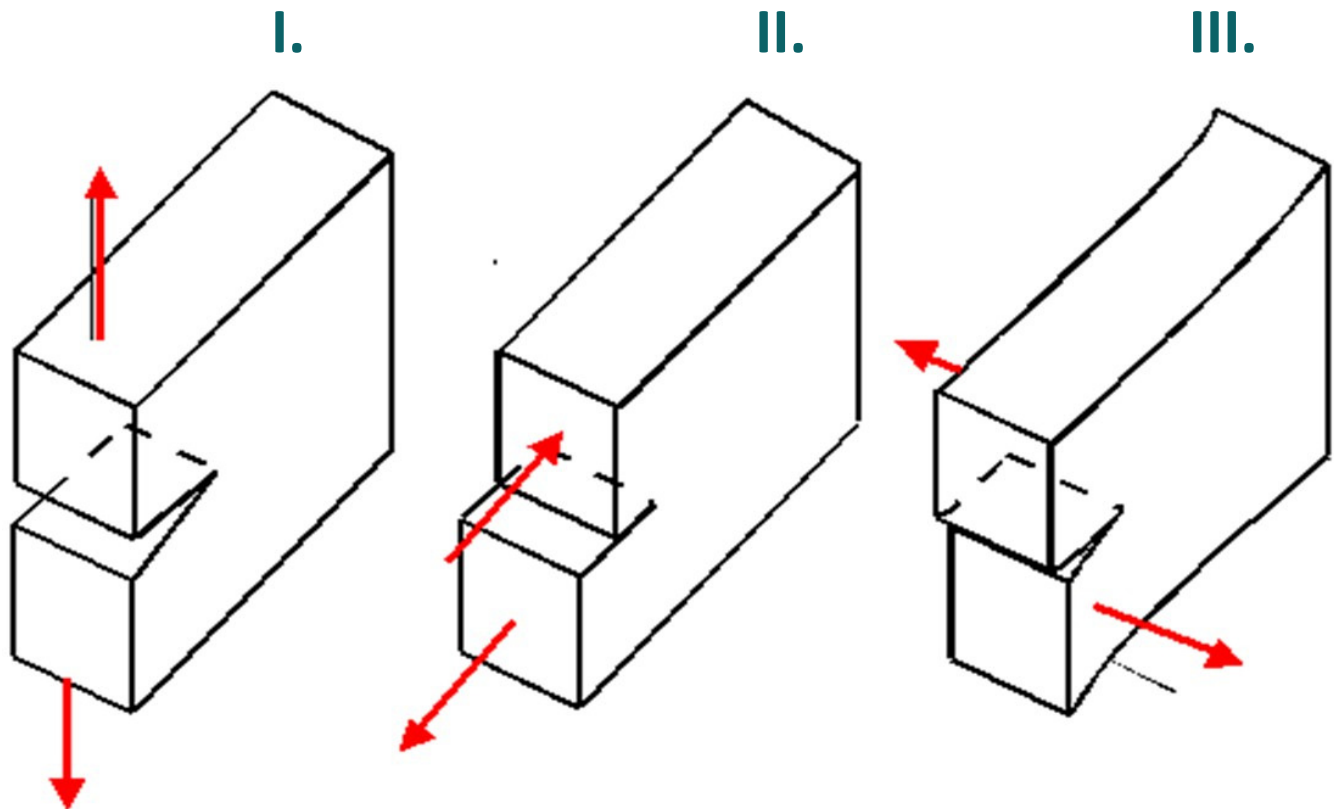
Folie: 27



- a) Linear elastische Verformung
- b) auf kleines Gebiet beschränkte plastische Verformung

- c) elastisch-plastische Verformung
- d) plastische Verformung im ganzen Körper

Folie: 28



Folie: 29

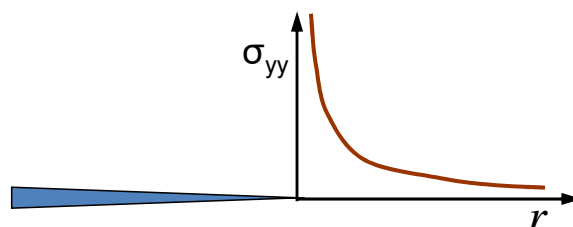
In einen Körper mit allgemeinen Form an der Spitze des Risses entsteht das folgende Spannungsfeld:

$$\sigma_{ij} = \frac{1}{\sqrt{2\pi r}} \left(K_I f_{ij}^I + K_{II} f_{ij}^{II} + K_{III} f_{ij}^{III} \right)$$

wo K_I, K_{II}, K_{III} – Spannungsintensität-Faktor bei verschiedenen Belastungsarten ist, und

$f_{ij}^I, f_{ij}^{II}, f_{ij}^{III}$ – dimensionslose Funktionen sind.

Für I. Belastungsart



$$\sigma_{ij} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} f_{ij}(\theta)$$

Folie: 30

$$\sigma_{xx} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left(1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3}{2} \theta \right)$$

$$\sigma_{yy} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left(1 + \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3}{2} \theta \right)$$

$$\sigma_{xy} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3}{2} \theta$$

Bei Ebene-Spannungszustand $\sigma_z = 0$,

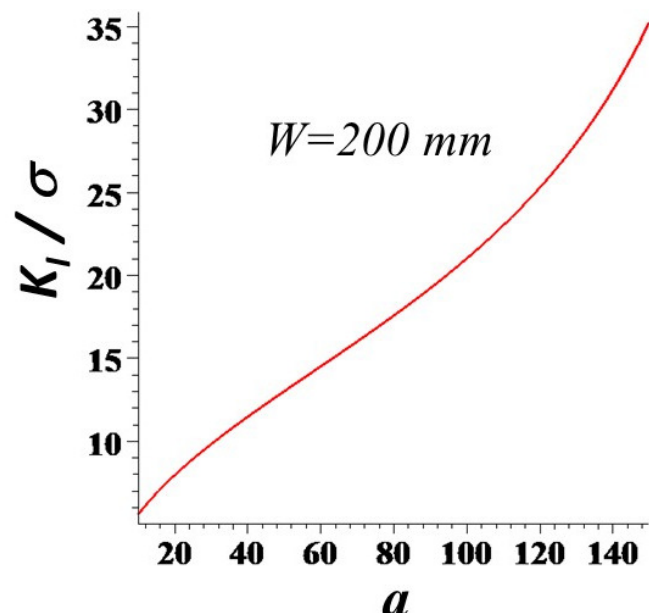
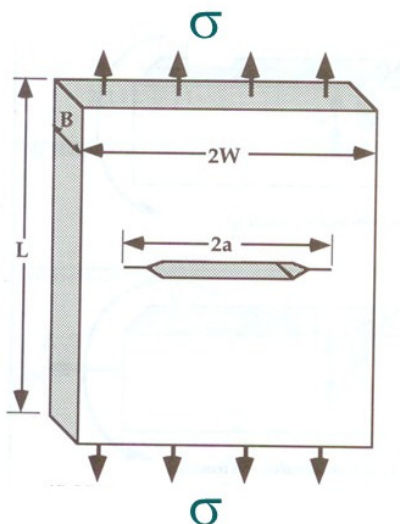
Bei Ebene-Verformungszustand $\sigma_z = \nu(\sigma_x + \sigma_y)$

Bei instabile Rissfortpflanzung $K_I = K_{Ic}$ wenn das bei Ebene-Verformungszustand auftritt, dann $K_I = K_{Ic}$ was Materialkenngröße ist (Bruchzähigkeit).

Folie: 31

$$K_I = \sigma \sqrt{\pi a} \sqrt{\sec \frac{\pi a}{2W} \left(1 - 0.025 \left(\frac{a}{W} \right)^2 + 0.06 \left(\frac{a}{W} \right)^4 \right)}$$

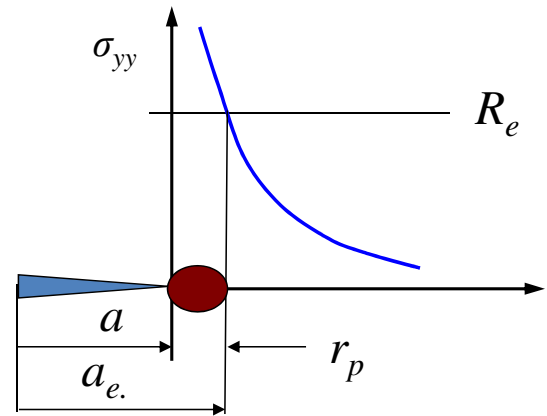
$$W \rightarrow \infty, K_I = \sigma \sqrt{\pi a}$$



Folie: 32

Plastische Zone bei Ebene-Spannungszustand:

$$\sigma_{yy \max} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} = R_e \rightarrow r_p = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{K_I}{R_e} \right)^2$$

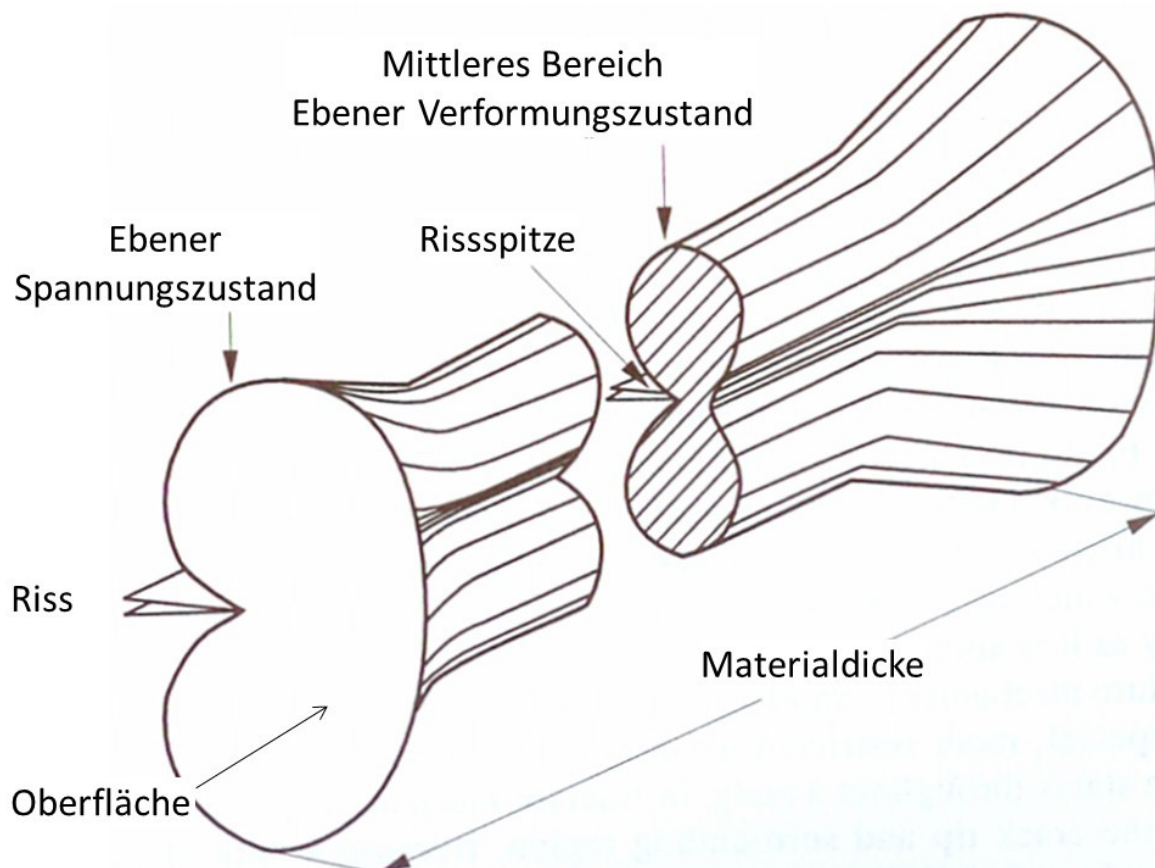


Bei Ebene-Verformungszustand:

$$r_p = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{K_I}{R_e} \right)^2 (1 - 2\nu)^2$$

Mit der gleichwertige Risslänge gerechnet kann die Theorie für elastische Körper verwendet werden:

$$a_e = a + r_p$$



Im gegebene Konstruktion sind Risse Möglich!
Mann muss die instabile Rissvortschreitung verhindern.

$$K_I \leq K_{Ic}$$

Hängt von Konstruktion und Belastung ab

Materiakkonstante

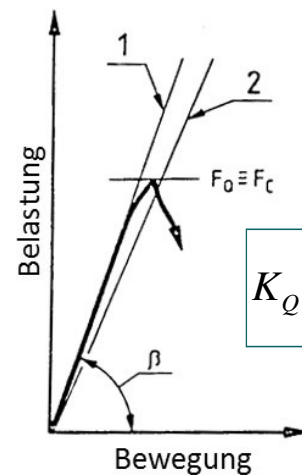
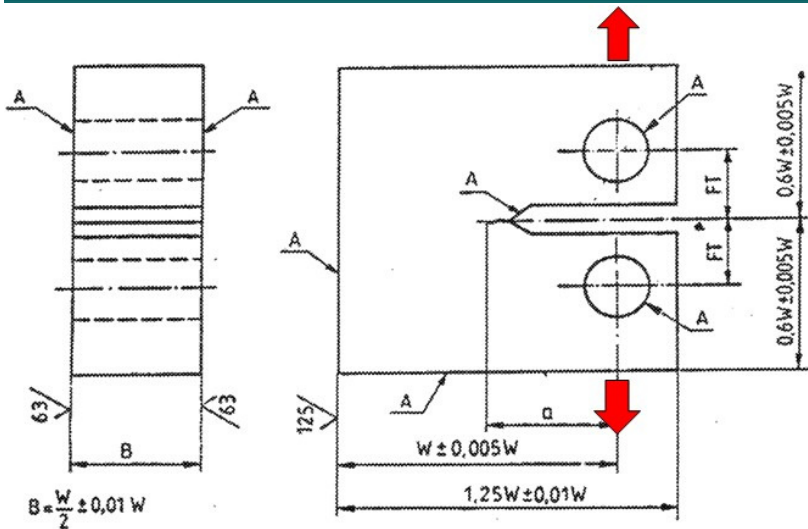
$$K_I = Y\sigma\sqrt{\pi a} \leq K_{Ic}$$

$$\sigma_{\max} \leq \frac{K_{Ic}}{Y\sqrt{\pi a}}$$

$$a_{\max} \leq \frac{1}{\pi} \left(\frac{K_{Ic}}{\sigma Y} \right)^2$$

Folie: 35

Ermittlung der Bruchzähigkeit



$$K_Q = \frac{F_Q}{BW^{0.5}} Y(a/W)$$

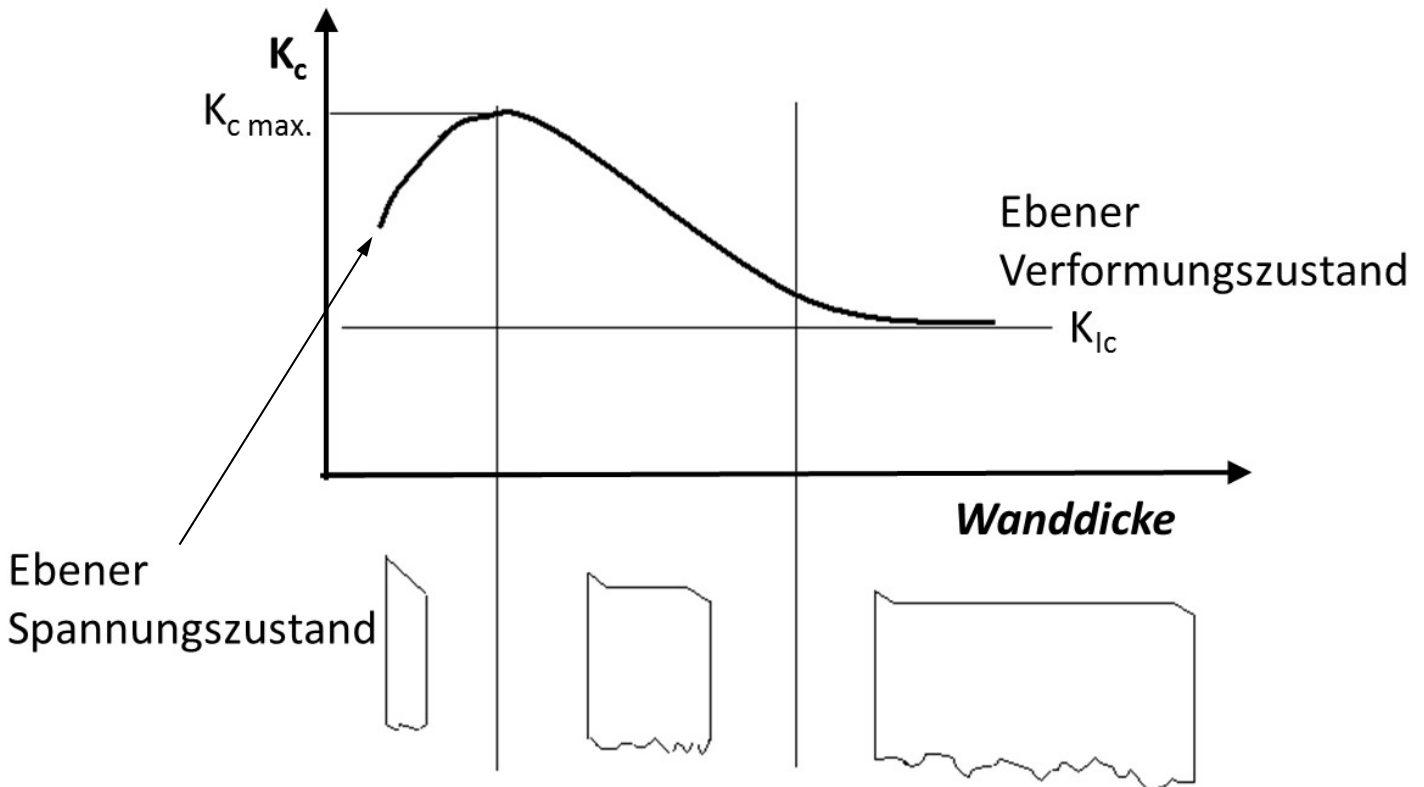
$$Y = 29.61 \left(\frac{a}{W} \right)^{\frac{1}{2}} - 185.5 \left(\frac{a}{W} \right)^{\frac{3}{2}} + 65.5 \left(\frac{a}{W} \right)^{\frac{5}{2}} - 1017 \left(\frac{a}{W} \right)^{\frac{7}{2}} + 638.9 \left(\frac{a}{W} \right)^{\frac{9}{2}}$$

wenn $a, (W - a), B \geq \gamma \left(\frac{K_Q}{R_{p0.2}} \right)^2 \rightarrow K_Q = K_{Ic}$

$$\gamma_{Stahl} = 2,5$$

$$\gamma_{Al} = 4,0$$

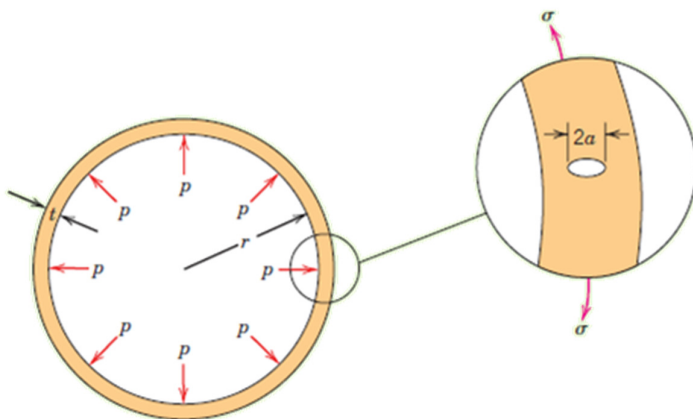
Folie: 36



Ebener Spannungszustand

Ebener Verformungszustand

Folie: 37



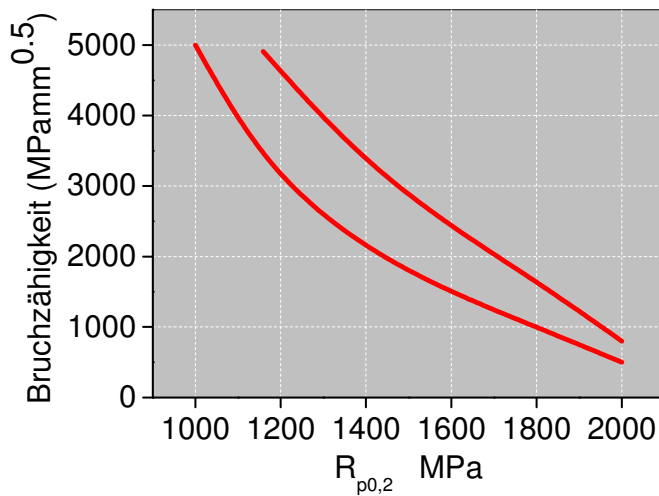
In einer Druckbehälter mit gegebener Geometrie hat man mit zerstörungsfreie Prüfung ein elliptisches Riss mit $2a \times 2b$ Größe erimttelt. Der maßgebende Spannung ist:

$$\sigma = \frac{pr}{2t}$$

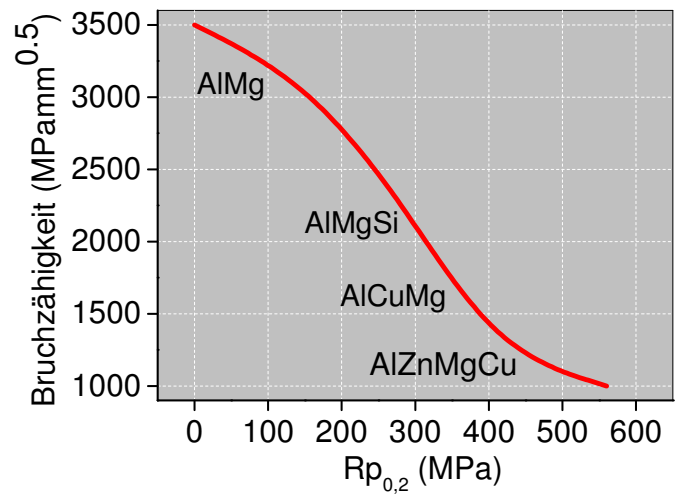
Mit Festigkeitsberechnung kann man der Spannungsintensitätsfaktor an der Spitze dem Riss ermitteln

$$K_I = Y\sigma\sqrt{\pi a} \leq K_{Ic} \rightarrow \text{Der konstruktion ist betriebsfähig}$$

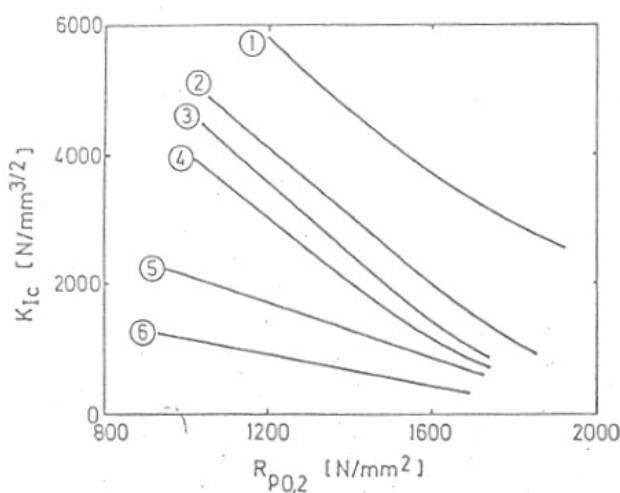
Folie: 38



Legiertes vergütbares Stähl

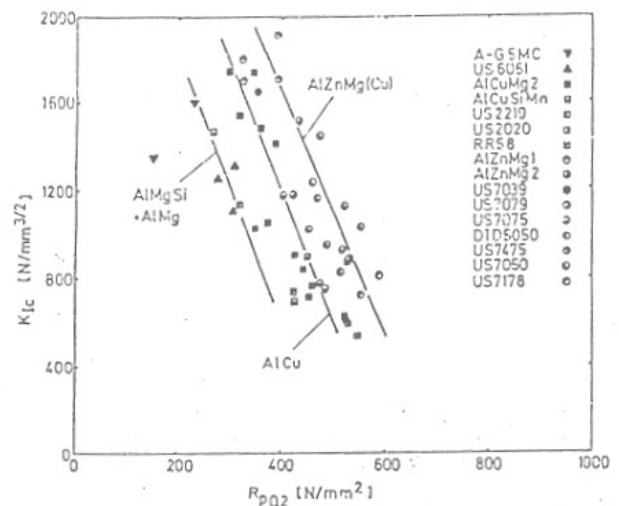


Al-Legierungen

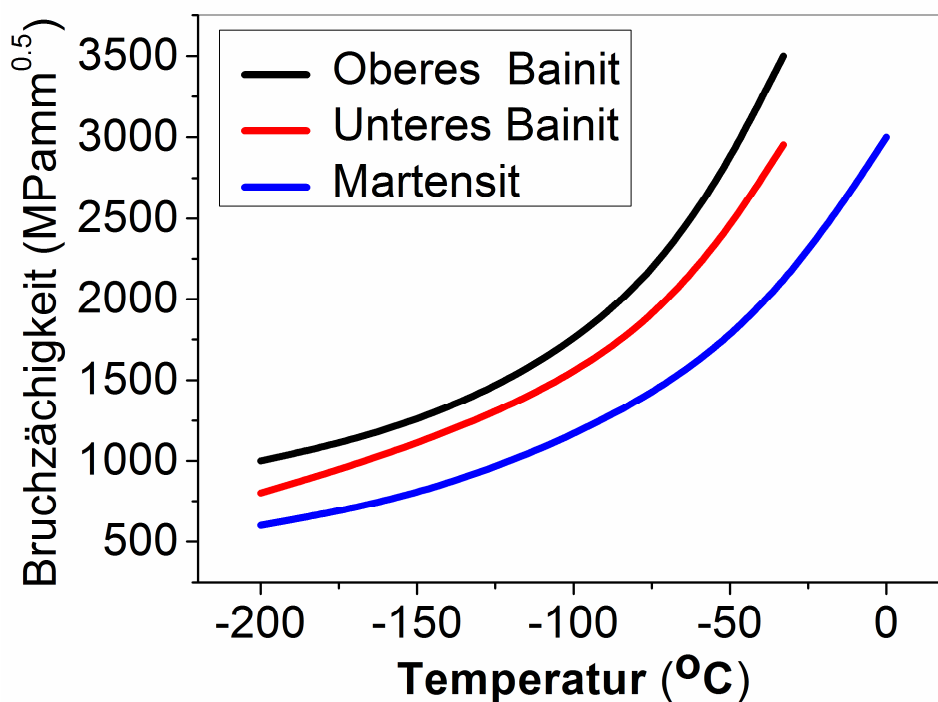


Rißzähigkeiten von Eisenbasislegierungen in Abhängigkeit von der 0,2 %-Dehngrenze

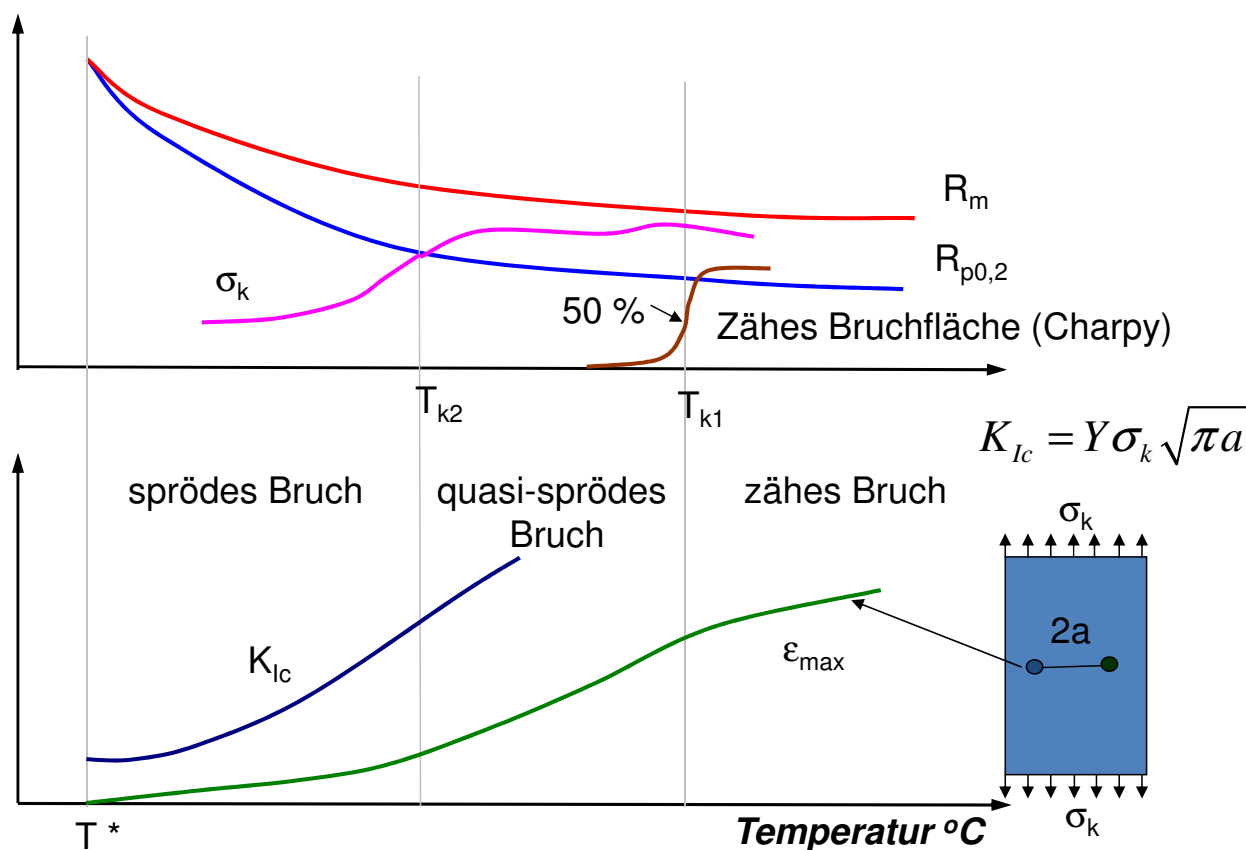
- 1) X 1 NiCoMo 18 7 5
- 2) 37 NiCr 7 3
- 3) 35 NiCr 7 4
- 4) X 44 CrMoV 5 1
- 5) 90 MnV 8
- 6) X 200 Cr 13

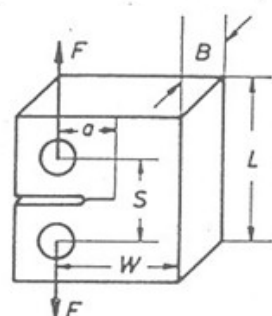


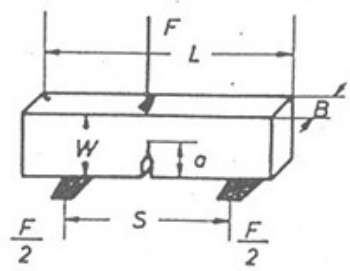
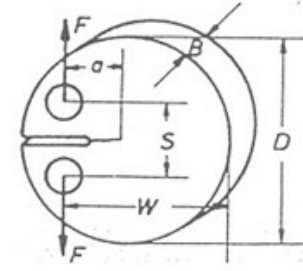
Rißzähigkeiten von Aluminiumbasislegierungen in Abhängigkeit von der 0,2 %-Dehngrenze



NiCrMoV Legiertes vergütbare Stahl



Typ	Kurzbezeichnung	Merkmale	Probenform	Mindestabmessungen
Kompakt-Zugprobe -quadratisch-	CT	Quaderförmige, nahezu quadratisch begrenzte Zugprobe mit einseitigem Kerbgrundriß und symmetrisch dazu angebrachten Kräfteinleitungsbohrungen		$\left. \begin{aligned} a &\geq 2,5 \cdot B \\ B &\geq 2,5 \cdot W \\ W &\geq 5,0 \cdot W \end{aligned} \right\} \left(\frac{K_{IC}}{R_{eS}} \right)^2$ $W = 2 \cdot B$ $L = 2,4 \cdot B$ $S = 1,1 \cdot B$

Typ	Kurzbezeichnung	Merkmale	Probenform	Mindestabmessungen
3-Punkt Biegeprobe	3 PB	Quaderförmige schlanke Biegeprobe mit einseitigem Kerbgrundriß an der längeren Schmalseite		$\left. \begin{aligned} a &\geq 2,5 \cdot B \\ B &\geq 2,5 \cdot W \\ W &\geq 5,0 \cdot W \end{aligned} \right\} \left(\frac{K_{IC}}{R_{eS}} \right)^2$ $S = 4 \cdot W$ $L \geq 4,2 \cdot W$
Kompakt-Zugprobe rund	RCT	Zylinderförmige Zugprobe mit radialem Kerbgrundriß und symmetrisch dazu angebrachten Kräfteinleitungsbohrungen		$\left. \begin{aligned} a &\geq 2,5 \cdot B \\ B &\geq 2,5 \cdot W \\ W &\geq 5,0 \cdot W \end{aligned} \right\} \left(\frac{K_{IC}}{R_{eS}} \right)^2$ $S = 0,4 \cdot D$ $D \geq 2,4 \cdot B$ $L = 0,75 \cdot D$

Wichtige Probenformen und Abmessungen für K_{IC} -Bestimmungen, die nach festgelegten Vorschriften erfolgen (vgl. V54)

Fáradás és törés Fatigue and fracture teljes féléves tárgyak

A tananyag részletesen megtalálható:

William D. Callister, Jr.

Materials Science and Engineering

An Introduction, 7th edition, 2006

Chapter 8 Failure

207-226 pp.

Danke für die Aufmerksamkeit !