

Einfluß der Dehngeschwindigkeit auf die an Groß- und Kleinproben ermittelte Kenngröße der linear-elastischen Bruchmechanik.

Eugen Schmidtman und Horst Scherber, T. H. Aachen

Wie in Abb.1 dargestellt, ist neben der Temperatur, der Probendicke und der Kerbschärfe die Dehngeschwindigkeit ein weiterer Parameter der die Bruchzähigkeit eines Werkstoffes bestimmt. Ein bei statischer Belastung ermittelter kritischer Spannungsintensitätsfaktor überschätzt je nach Werkstoffigenschaften mehr oder weniger die Bruchzähigkeit einer dynamisch belasteten Konstruktion und kann i. a. nicht zur Beurteilung dieses Belastungsfalles herangezogen werden. Auch bei makroskopisch statischer Belastung können in mikroskopischen Bereichen hohe Dehngeschwindigkeiten auftreten; so führt das Aufbrechen spröder Phasen oder Einschlüsse stets zu einer dynamischen Beanspruchung der Matrix. Somit sind dynamische Bruchzähigkeitskennwerte von großer Bedeutung.

Nach dem Versuchplan (Abb.2) wurden mehrere ferritische Stähle im Temperaturbereich von Raumtemperatur bis -196°C bei statischer und dynamischer Beanspruchung auf ihr Streckgrenzen- und Bruchzähigkeitsverhalten untersucht. Zur Vereinfachung und Verbilligung der Bestimmung von dynamischen Bruchzähigkeitswerten an Großproben im instrumentierten Schlagbiegeversuch wurden vergleichsweise dazu entsprechende Messungen an Kleinproben mit Ermüdungsanriß (Abb.3) auf einem neuartigen Kerbschlaghammer und einer speziellen Schlagzugapparatur ausgeführt.

Aus den Versuchsergebnissen können folgende Rückschlüsse gezogen werden:

Die aus instrumentierten Kerbschlagbiege- oder Schlagzugversuchen im Bereich des ebenen Dehnungszustandes berechneten K_{Id} -Werte, stimmen mit den Bruchzähigkeitswerten von Großproben überein (Abb.5-9). Die von Irwin vorgeschlagene Korrektur für die plastische Zone an der Rißspitze wurde mit Hilfe eines Iterationsrechenprogrammes gelöst und bei

der Auswertung berücksichtigt (Abb. 4).

Da der Einfluß der Verformungsgeschwindigkeit auf die Bruchzähigkeit den Änderungen der Streckgrenze entspricht (Abb. 5 - 9, 10) und da sich die Höhe der dynamischen Streckgrenze für gegebene Versuchstemperatur und Dehngeschwindigkeit voraussagen läßt (Abb. 11), besteht die Möglichkeit mit der in Abb. 12 gezeigten Konstruktion dynamische Bruchzähigkeitswerte allein aus statischen Messungen zu ermitteln. Ebenso möglich wäre die Voraussage von statischen K_{IC} -Werten aus instrumentierten Kerbschlagbiegeversuchen. Diese Variante ist besonders aus wirtschaftlichen Gründen interessant.

Der Einfluß der Dehngeschwindigkeit auf die Bruchzähigkeit ist umso deutlicher, je höher die dadurch hervorgerufene Streckgrenzenüberhöhung und umso stärker die Temperaturabhängigkeit des K_{IC} -wertes ist. Bei ultra-höchstfesten, spröden Stählen ist demnach nur ein geringer Einfluß der Dehngeschwindigkeit vorhanden.

Diesen Erkenntnissen liegt folgende Modellvorstellung zugrunde:

Ein Trennbruch wird vor dem Korb ausgelöst, wenn die Longitudinalspannung σ_{yy} durch den plastischen Spannungskonzentrationsfaktor K_{pl} die von der Temperatur und Dehngeschwindigkeit unabhängige, kritische, mikroskopische Spaltbruchspannung σ_f^+ erreicht. Das mikroskopische Bruchkriterium ist erfüllt, wenn

$$\sigma_{yy} = \sigma_f^+ = K_{pl} \cdot \sigma_S \quad (1)$$

und ist der makroskopisch instabilen Bruchausbreitung im Gebiet des ebenen Dehnungszustandes gleichzusetzen. Für den Zusammenhang zwischen K_{IC} , σ_S , σ_f^+ und dem Kerbradius ρ ergibt sich mit Hilfe der Gleitlinientheorie, der Tresca'schen Fließbedingung und der bruchmechanischen Berechnung der plastischen Zone

$$K_{IC}(\dot{K}, T) = 2.89 \sigma_S(\dot{\epsilon}, T) \left(\exp. (\sigma_f^+ / \sigma_S(\dot{\epsilon}, T) - 1) - 1 \right)^{1/2} \cdot \sqrt{\rho_0} \quad (2)$$

Daraus folgt, daß die Veränderungen der Bruchzähigkeit durch erhöhte Dehngeschwindigkeit nur durch ihren Einfluß auf die Streckgrenze bestimmt werden.

Streckgrenzeuntersuchungen		Bruchzähigkeitsuntersuchungen	
Normalsproben		Kleinsproben mit Ermüdungsanriß	
statisch	dynamisch	statisch	dynamisch
Zugversuch	Schlagversuch	Schlagversuch	Schlagversuch
$\dot{\epsilon} = 10^{-3} s^{-1}$	$\dot{\epsilon} = 250 s^{-1}$	$K = 40$	$K = 10$
$\rho = 10^{-3} mm$	$\rho = 10^{-3} mm$	$\rho = 10^{-3} mm$	$\rho = 10^{-3} mm$
Kraft-Zeit-Diagramm	Kraft-Zeit-Diagramm	Kraft-Zeit-Diagramm	Kraft-Zeit-Diagramm
$\sigma_{max} = f(T)$	$\sigma_{max} = f(T)$	$K_{IC} = f(T)$	$K_{IC} = f(T)$
$\sigma_{S, dyn} = f(T)$	$\sigma_{S, dyn} = f(T)$	$K_{IC} = f(T)$	$K_{IC} = f(T)$

Abb. 2:

Versuchsplan

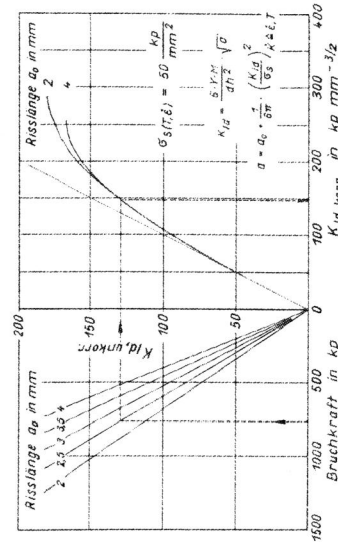


Abb. 4: Normogramm zur Ermittlung des Einflusses der plastischen Zone

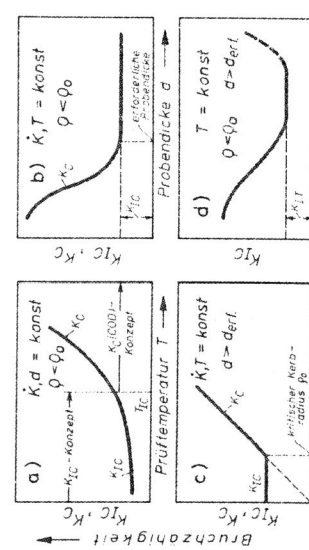


Abb. 1: Einfluß der Prüftemperatur a) der Probendicke b) des Kerbradius c) und der Dehngeschwindigkeit d) auf die Bruchzähigkeit

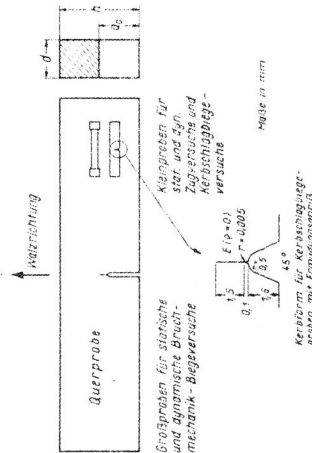


Abb. 3: Probenformen und Probenlagen

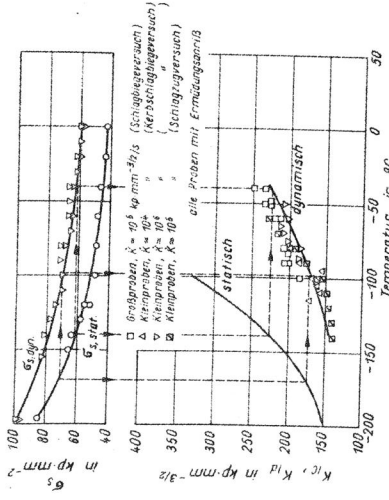


Abb 5: Streckgrenzen- und Bruchzähigkeitsschaubild des Stahles St 52.3

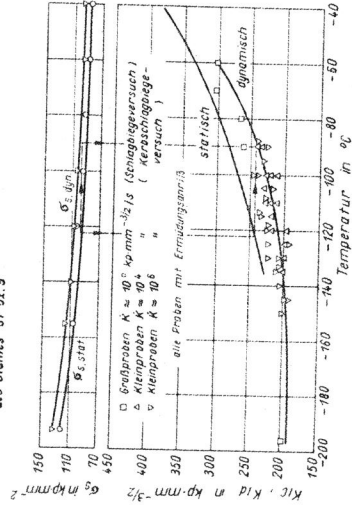


Abb 6: Streckgrenzen- und Bruchzähigkeitsschaubild des Stahles St E70

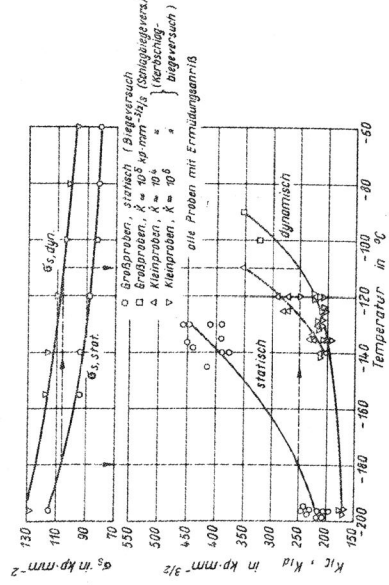


Abb 7: Streckgrenzen- und Bruchzähigkeitsschaubild des Stahles HT 100

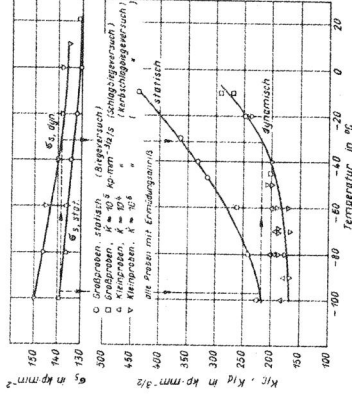


Abb 8: Streckgrenzen- und Bruchzähigkeitsschaubild des metastabilen Stahles HFS A

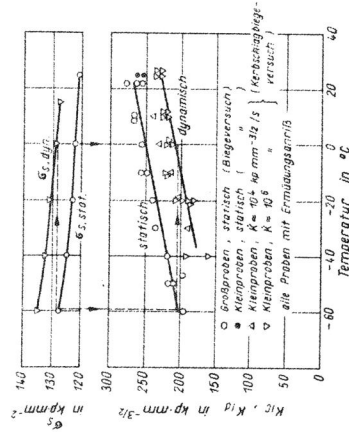


Abb 9: Streckgrenzen- und Bruchzähigkeitsschaubild des hochfesten Stahles HFS D

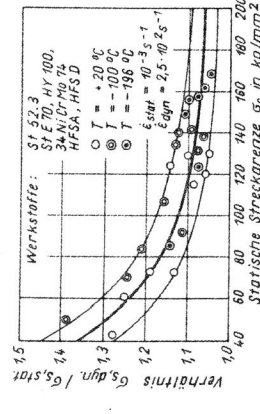


Abb 11: Einfluß der Dehngeschwindigkeit auf unterschiedliche statische Streckgrenzenwerte

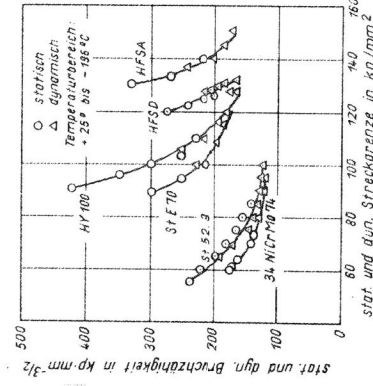


Abb 10: Zusammenhang zwischen Streckgrenze und Bruchzähigkeit hochfester Stähle bei statischer und dynamischer Beanspruchung

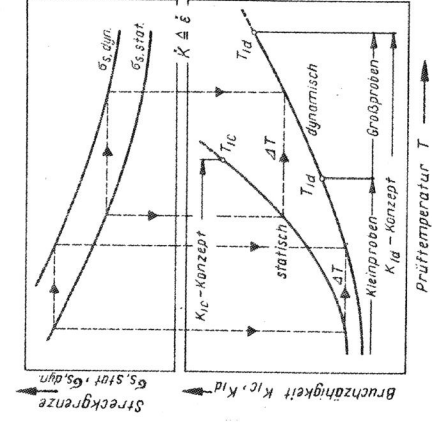


Abb 12: Zusammenhang zwischen den statischen und dynamischen Streckgrenzen und Bruchzähigkeitskennwerten (Schaubild)