

Bruchflächenanalyse

Diese Unterlagen dienen gemäß § 53, 54 URG ausschließlich der Ausbildung an der Hochschule Bremen.

1. Einleitung

Die Bruchflächenanalyse ist ein Hilfsmittel zur Aufklärung von Bruchursachen hinsichtlich Beanspruchungsart (statisch, dynamisch), Höhe der Beanspruchung, Belastungsart (Zug, Biegung etc.) und Grad der makroskopischen Verformung (Spaltbruch, Gleitbruch etc.). Sie findet im Schadensfall Anwendung und wird optisch vergrößert (mit dem Makroskop) oder ohne Vergrößerung durchgeführt.

2. Grundlagen

Der Entstehung eines Bruchs geht immer eine plastische Verformung voraus. Dabei wird die Streckgrenze des Werkstoffs überschritten und es kommt zu Versetzungsbewegungen. Im Idealfall ist die konstruktive Auslegung des Werkstücks so gewählt, dass die Betriebslast die Streckgrenze nicht überschreitet. Doch Fehler bei Werkstoffauswahl, Werkstoffverarbeitung und Wärmebehandlung, Dimensionierung, Montage oder im Material selbst (Lunker, Poren etc.) können zum Bruch führen. Um die ausschlaggebenden Fehlerquellen zu bestimmen, bedient man sich der Bruchflächenanalyse. [3]

Die Analyse zeigt, um welche Art des Bruchs es sich handelt. Dabei unterscheidet man den Gewalt- und den Dauerbruch. Beim Gewaltbruch geht eine einmalige Belastung dem Bruch voraus. Ein Dauerbruch entsteht durch eine sich wiederholende Belastung (schwellend, wechselnd), wie sie beispielsweise bei einer Getriebewelle zu finden ist. Die meisten Bauteile von Maschinen, Geräten, Fahrzeugen usw. sind häufig sich wiederholenden Beanspruchungen ausgesetzt. In der Praxis nimmt deshalb die Anzahl der Dauerbrüche den weitaus größten Anteil unter den Brüchen ein.

3. Entstehung eines Gewaltbruchs

Das Gewaltbruchverhalten eines Werkstoffs hängt von den Gleitmöglichkeiten seiner Versetzungen ab. Man unterscheidet hier zwischen Gleit- und Spaltbruch.

Der Gleitbruch tritt bei Werkstoffen mit vielen Gleitsystemen (zähe Werkstoffe) auf. Im Fall des einachsigen Zugs kommt es bei steigender Belastung schließlich zur Einschnürung. Das ist der Beginn der plastischen Verformung durch intensive Versetzungsbewegung. Die Versetzungen werden durch Schubspannungen angetrieben. Diese sind nach dem Schmid'schen Schubspannungsgesetz unter einem Winkel von 45° zur Richtung der äußeren Belastung maximal. Deshalb gleitet der Werkstoff unter diesem Winkel ab.

Der Spaltbruch tritt bei Werkstoffen mit wenigen oder gar keinen Gleitsystemen (spröde Werkstoffe) auf. Im Fall der einachsigen Zugbelastung kommt es bei steigender Belastung zu einer geringen bis gar keinen Einschnürung. Durch das Fehlen von Gleitsystemen findet nur eine geringe bis gar keine Versetzungsbewegung statt. Ein Gleiten unter einem Winkel von 45° zur äußeren Belastungsrichtung ist nicht möglich. Somit spaltet sich der Werkstoff senkrecht zur größten Normalspannung.

In Abb. 1 sind die Erscheinungsformen von Gleit- und Spaltbrüchen in Abhängigkeit von der Belastungsart dargestellt.

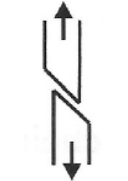
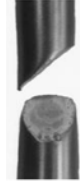


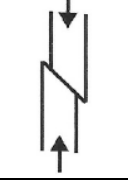
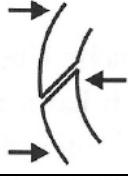



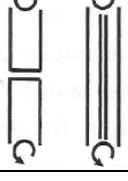



Belastungsart	Gleitbruch $\parallel \tau_{max}$		Spaltbruch $\perp \sigma_{max}$	
	Schema	Reales Bild	Schema	Reales Bild
Zug				
Druck		nicht vorhanden	nicht möglich	nicht möglich
Biegung				
Torsion				

Abbildung 1: Gleit- und Spaltbrüche in Abhängigkeit von der Belastungsart [1] [4]

In der Praxis ist häufig eine Kombination der beiden Brucharten anzutreffen. Bei diesem sogenannten Mischbruch erkennt man in der Mitte der Bruchfläche einen Spaltbruch und am Rand einen Gleitbruch. Aufgrund der Form der beiden Bruchhälften wird dieser Bruch als Teller-Tasse-Bruch (cup and cone fracture) oder allgemeiner auch als Trichter-Kegel-Bruch bezeichnet. In Abb. 2 ist dieser dargestellt.

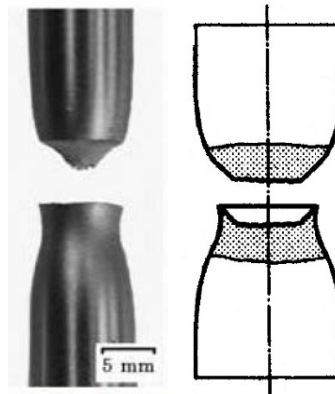


Abbildung 2: Trichter-Kegel-Bruch

4. Entstehung eines Dauerbruchs

Dauerbrüche entstehen, obwohl die Nennspannungen im Bauteil sich unterhalb der Streckgrenze befinden. Bei den meisten Bauteilen ist die Verteilung der Spannungen über dem Querschnitt nicht gleichmäßig. Es entstehen Spannungsspitzen, die oberhalb der Streckgrenze liegen. Durch diese kommt es zur lokalen Verformung durch Versetzungsbewegung an unterschiedlichen Stellen im Querschnitt des Bauteils. Durch die bessere Verformbarkeit an der Oberfläche, hier fehlt die stützende Wirkung des weiter außen liegenden Materials, kommt es hier zu einer starken Versetzungsbewegung auf den Gleitebenen. Durch sich aus der Oberfläche rein- und rausschiebende Gleitbänder (Intrusion und Extrusion) beginnt ein Dauerriss. Dies nennt man Rissinitiierung (siehe Abb. 3). Die in Bezug auf die Entstehung eines Dauerrisses schon ungünstige Situation an der Oberfläche wird noch zusätzlich verschlechtert, da der Werkstoff hier die Möglichkeit hat, chemisch mit der Umgebung zu reagieren. Dadurch entstehen Inhomogenitäten (z.B. chem. Verbindungen, Rauigkeiten) auf und in der Oberfläche, durch deren zusätzliche Kerbwirkung die Spannungen erhöht werden. Dies führt dann noch eher zum Beginn eines Dauerrisses. Durch die fortschreitende Rissausbreitung ins Innere verringert sich der Querschnitt des Bauteils. Wenn der Restquerschnitt der anliegenden Spannung nicht mehr standhalten kann, kommt es zum Gewaltbruch.

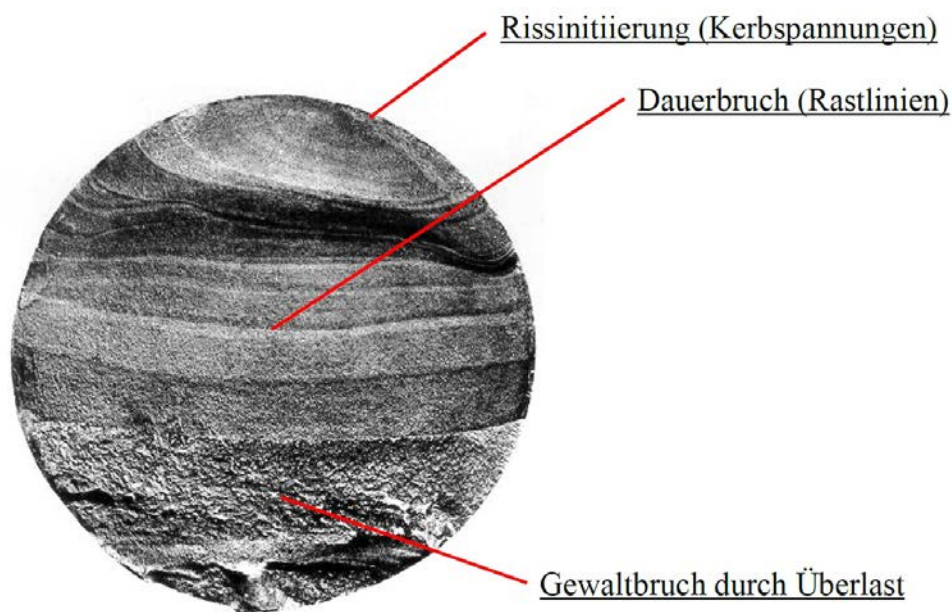


Abbildung 3: Dauerbruchfläche einer Welle

Die Bruchfläche eines unter dynamischer Belastung gebrochenen Bauteils, besteht immer aus einer Dauerbruchfläche und einer Gewaltbruchfläche. Die Dauerbruchfläche ist von Schwingungstreifen bedeckt und kann Rastlinien aufweisen. Die deutlich feineren Schwingungstreifen sind nur unter dem Rasterelektronenmikroskop (REM) sichtbar und entstehen durch Versetzungsbewegungen, die durch Spannungsspitzen hervorgerufen werden. Die Rastlinien können entstehen, wenn die

Schwingbeanspruchung zeitweilig unterbrochen oder reduziert wird. Die Dauerbruchfläche ist meist leicht glänzend, da die beiden Bruchflächen aneinander reiben können. [2]

Die Größe von Dauerbruch- und Gewaltbruchfläche und deren Lagen im Gesamtquerschnitt geben Informationen über Art und Höhe der Belastung (siehe Abb.4).

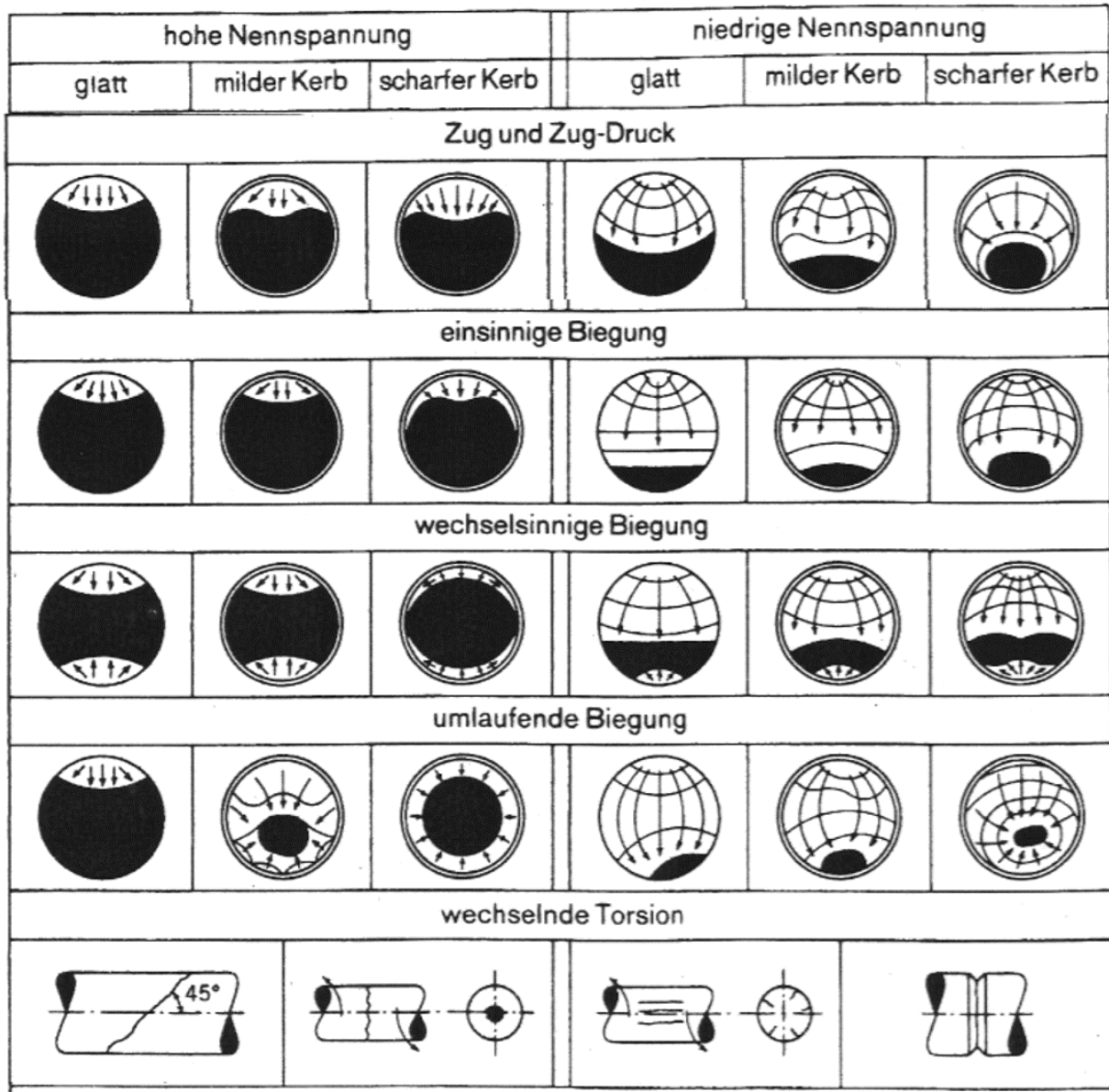


Abbildung 4: Systematik der makroskopischen Ermüdungsbruchflächenausbildung bei ungekerbten und gekerbten Rundstäben [1]

In Abbildung 4 sind für ungekerbte und gekerbte Rundstäbe die Dauerbruchflächen schematisch aufgezeichnet, die sich bei unterschiedlicher mechanischer Belastung mit unterschiedlich hohen Nennspannungen ausbilden. Die hellen Bruchflächenbereiche sollen dabei den Dauerbruchflächenanteil, die dunklen Bruchflächenbereiche den

Gewaltbruchanteil kennzeichnen. Durch Vergleich realer Bruchflächen kann auf die Beanspruchungsart und -höhe rückgeschlossen werden. [1]

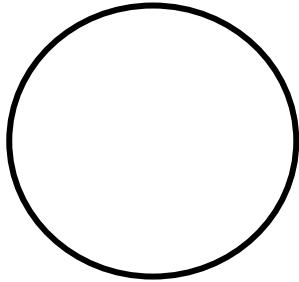
5. Literatur

- [1] Macherauch, E.; Zoch, H.-W.: Praktikum in Werkstoffkunde, Vieweg + Teubner Verlag, Wiesbaden 2011
- [2] Weißbach, W.: Werkstoffkunde, Vieweg + Teubner Verlag, Wiesbaden 2015
- [3] Pohl, E.: Das Gesicht des Bruches metallischer Werkstoffe, Allianz Versicherungs-AG., München 1960
- [4] Pohl, M.: Systematische Beurteilung technischer Schadensfälle, Wiley-VCH Verlag, Weinheim 2014

6. Aufgaben

Bruchflächen sind makroskopisch zu skizzieren und zu beurteilen. Bei der Beurteilung der Bruchflächen sind folgende Punkte zu beachten:

1. Von welchem Werkstück ist die Bruchfläche?
2. Was für eine Bruchart liegt vor?
3. Wie ist die Struktur der Bruchfläche?
4. Wie ist der Glanz der Bruchfläche?
5. Wie sind die Flächenverhältnisse zwischen Dauerbruch und Gewaltbruch?
6. Welche Art der Beanspruchung hat vorgelegen?
7. Welche Aussagen zum Werkstoff können gemacht werden?



Werkstück:

Bruchart:

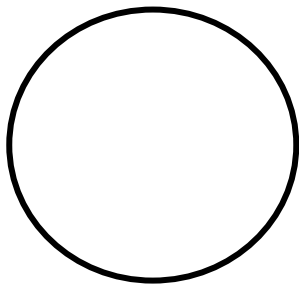
Struktur:

Glanz:

Flächenverhältnis beim Dauerbruch
Dauerbruch / Gewaltbruch:

Art der Beanspruchung:

Werkstoff:



Werkstück:

Bruchart:

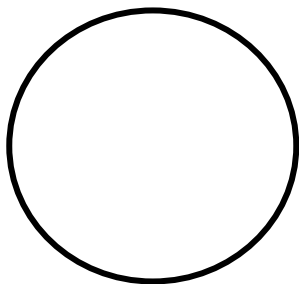
Struktur:

Glanz:

Flächenverhältnis beim Dauerbruch
Dauerbruch / Gewaltbruch:

Art der Beanspruchung:

Werkstoff:



Werkstück:

Bruchart:

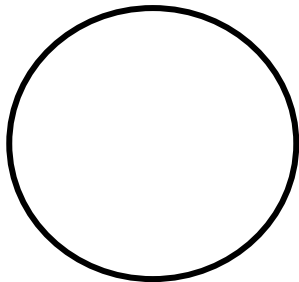
Struktur:

Glanz:

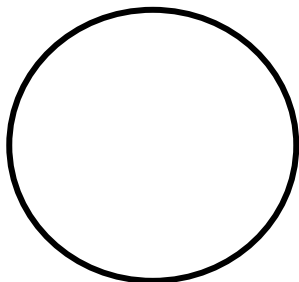
Flächenverhältnis beim Dauerbruch
Dauerbruch / Gewaltbruch:

Art der Beanspruchung:

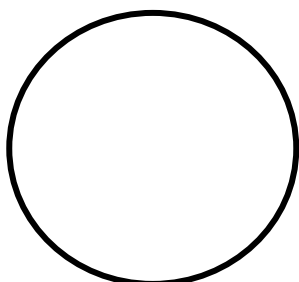
Werkstoff:



Werkstück:
Bruchart:
Struktur:
Glanz:
Flächenverhältnis beim Dauerbruch
Dauerbruch / Gewaltbruch:
Art der Beanspruchung:
Werkstoff:



Werkstück:
Bruchart:
Struktur:
Glanz:
Flächenverhältnis beim Dauerbruch
Dauerbruch / Gewaltbruch:
Art der Beanspruchung:
Werkstoff:



Werkstück:
Bruchart:
Struktur:
Glanz:
Flächenverhältnis beim Dauerbruch
Dauerbruch / Gewaltbruch:
Art der Beanspruchung:
Werkstoff: