

Ein Beitrag zur Kenntnis des Spannungszustandes in scharf gekerbten Scheiben endlicher Dicke

Doctoral Thesis

Author(s):

Prantl, Gustav

Publication date:

1977

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000120394>

Rights / license:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

Diss. Nr. 5944

EIN BEITRAG ZUR KENNTNIS DES SPANNUNGSZUSTANDES IN SCHARF
GEKERBTEN SCHEIBEN ENDLICHER DICKE

A B H A N D L U N G

zur Erlangung
des Titels eines Doktors der Technischen Wissenschaften
der

E I D G E N O E S S I S C H E N T E C H N I S C H E N
H O C H S C H U L E Z U E R I C H

vorgelegt von

G U S T A V P R A N T L
Dipl. Ing. Technische Hochschule Wien
geboren am 13. November 1934
in Wien (Oesterreich)

Angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. T. Erismann, Referent
Prof. Dr. M. Sayir, Korreferent

1977

Zusammenfassung

Die Bruchspannung und das Erscheinungsbild des Bruches von gekerbten Probekörpern sind von der Probengrösse abhängig. In der vorliegenden Arbeit wird ein Aspekt dieses Grösseneinflusses, nämlich die Ausbildung eines ebenen Verformungszustandes im Körperinneren mit zunehmender Dicke behandelt. Zur Beurteilung des Verformungszustandes in der Gegend der Spannungskonzentration dienen die Spannungen normal zur Ebene der Hauptstreckung der scheibenförmigen Körper. Ueber eine kleine Zone an der Kerbwurzel gemittelte Querspannungen werden mittels eines aus dem Mechanismus der Querdehnungsbehinderung abgeleiteten Modells unter der Annahme linear elastischen Werkstoffes in Funktion der Scheibendicke berechnet. Unter Verwendung der in der Bruchmechanik bekannten Rissmodelle, die eine Abschätzung der Grösse der plastischen Zone vor einer Rissfront gestatten, werden auch einige Aussagen für Körper aus elastisch-ideal plastischem Material gemacht. Die bei der rechnerischen Behandlung eingeführten Voraussetzungen beschränken die Anwendung der Theorie auf Teile mit scharfen Kerben, bei denen eine grosse aber örtlich eng begrenzte Spannungskonzentration vorliegt. Die Ausgangsdaten für die Berechnung des räumlichen Problemes liefert der ebene Referenzfall, d.h. eine Scheibe gleicher Abmessungen in ihrer Ebene, gleich belastet, aber von verschwindender Dicke. Unter sonst gleichen Bedingungen bestimmen das Verhältnis der Dicke zur Risslänge und bei elastisch-ideal plastischem Materialverhalten auch das Verhältnis der Nennspannung zur einachsigen Fließspannung die Grösse der Querspannungen. Um die theoretischen Vorhersagen überprüfen zu können, wurden zwei Versuchsreihen zur experimentellen Bestimmung der Querspannungen durchgeführt. Einmal wurden die elastischen Querdehnungen unmittelbar in der Kerbwurzel von tief gekerbten Proben aus einer Aluminiumlegierung mit der Hilfe von Dehnmessstreifen gemessen. Die Querempfindlichkeit der Messstreifen, die unter den besonderen Umständen eine wesentliche Rolle spielt, wurde bei der Auswertung der Messergebnisse berücksichtigt. Durch die Unter-

suchung von sechs Proben verschiedener Dicke konnte das Uebergangsbereich zwischen dem angenäherten ebenen Spannungszustand und dem über einen grossen Teil der Scheibendicke voll ausgebildeten ebenen Verformungszustand erfasst werden. Aus den gemessenen Querdehnungen konnten die Querspannungen nur näherungsweise bestimmt werden, da für eine genaue Berechnung die Kenntnis der Längsdehnungen fehlte.

Als Ergänzung zu diesen Messungen wurden die Querspannungen in der Nähe der Kerbwurzel direkt spannungsoptisch bestimmt. Dazu wurde eine Serie von fünf Aralditproben verschiedener Dicke im Einfrierverfahren untersucht. Diese Proben waren gegenüber den Aluminiumproben dreimal vergrössert, um eine ausreichende Genauigkeit zu erzielen. Neben den Querspannungen wurden hier auch die Spannungen in Belastungsrichtung in Funktion der Dickenkoordinate erfasst.

Der Vergleich der berechneten mittleren Querspannungen mit den gemessenen lokalen Spannungen ist nur mittelbar möglich. Die Gegenüberstellung zeigt, dass das theoretische Modell die Ausbildung der Querspannungen mit zunehmender Dicke im wesentlichen richtig voraussagt.

Die Querverformung in der Kerbebene plastisch deformierter Bleiprobe wurde durch Ausmessen eines Linienrasters vor und nach der Belastung bestimmt, um zusätzliche Informationen über die Dehnungskonzentration in einem Körper mit plastischem Materialverhalten zu bekommen. Wie die Ergebnisse zeigen, sind auch hier dem elastischen Fall durchaus vergleichbare Verteilungen zu erwarten.

Zum Schluss wurden aus der Anwendung der Formeln auf scheibenförmige Teile mit einem Riss einige Folgerungen für das Bruchverhalten gezogen. Insbesondere wurde behandelt:

- Der Einfluss der Nennspannung auf die Ausbildung eines ebenen Verformungszustandes.

- Die zu erwartende Gleitrichtung am Rand und im Inneren dicker Proben.
- Die grösste Dicke, bei der noch ein 45° -Schubbruch quer zur Scheibenebene möglich ist.
- Der Zusammenhang zwischen der Breite der Scherlippen und der Nennspannung beim Bruch.

Abstract

The amount of plane strain in the area of a stress concentration, caused by a sharp notch or a crack, is indicated by the magnitude of the stress perpendicular to the plane of the main dimensions of disk shaped components.

A theoretical model is proposed for the calculation of average values of these out-of-plane stresses, which is applicable in case of linear-elastic materials. In the presence of a plastic zone in front of the crack some limited conclusions can be drawn on the basis of the classical crack models, used in fracture mechanics. The out-of-plane stresses in deeply notched specimens, behaving elastically, are determined in two independent series of experiments. The results are compared to the calculated stresses.

In order to supplement the knowledge of the strain concentration in case of a plastic behaviour of the material, notched bodies made of lead are tested.

Finally, some conclusions are drawn from the theory with respect to the fracture behaviour of components containing a crack. The following problems are treated:

- the influence of external load on the plane strain condition.
- the expected slip directions.
- the limiting thickness for a 45-deg. shear fracture.
- the relation between shear lip width and external load at fracture.