



Doctoral Thesis

Zur Frage des Steilabfalls der Kerbzähigkeit von Stahl

Author(s):

Felix, Werner

Publication Date:

1954

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000300513> →

Rights / License:

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

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Prom. Nr. 2358

Zur Frage des Steilabfalls der Kerbzähigkeit von Stahl

VON DER

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
IN ZÜRICH ZUR ERLANGUNG DER WÜRDE EINES
DOKTORS DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN

GENEHMIGTE

PROMOTIONSARBEIT

VORGELEGT VON

WERNER FELIX

von Parpan (Kt. Graubünden)

Referent: Herr Prof. Dr. E. Brandenberger

Korreferent: Herr Prof. Ed. Amstutz



Zürich 1954 Dissertationsdruckerei Leemann AG.

3. Bei in der Tieflage geschlagenen Proben mit Jzodkerbe fanden sich in den noch nicht angerissenen Proben keine, in den angerissenen Proben längs der Reißkante jedoch sehr zahlreiche Zwillinge (Abb. 4.27 und 4.28).

Wenn auch durch diese Beobachtungen die Rolle der Zwillingsbildung bei sprödem Bruchverhalten keineswegs voll abgeklärt wird, so können dazu doch für den untersuchten Stahl einige bemerkenswerte Folgerungen gezogen werden:

Zunächst, daß die Zwillingsbildung keine notwendige Voraussetzung für die Entstehung eines Trennbruches bedeutet, da bei den in der Tieflage geschlagenen Proben mit Scharfkerbe eine Spaltung der Kristalle bevorzugt ohne Zwillingsbildung stattfindet.

Aus der Beobachtung, daß bei den Proben mit Jzodkerbe Zwillinge bedeutend zahlreicher auftreten als bei den Proben mit Scharfkerbe, kann gefolgert werden, daß mit abnehmender Gleitbehinderung (abnehmende Kerbschärfe) die Zwillingsbildung eher erleichtert wird. Diese wirkt, da ja gleichfalls eine plastische Verformung gestattet, der Bildung eines völlig spröden Bruches zwar entgegen, indessen ist die durch Zwillingsbildung mögliche Formänderung einmalig und damit so beschränkt, daß sie nie den gleichen Spannungsabbau wie die Gleitung bewirken kann, so daß trotz vorangegangener Zwillingsbildung ein sprödes Brechen nach der Würfelebene erfolgen muß, indem auch jetzt die Spannung normal zu dieser Ebene die Trennfestigkeit früher oder später erreichen wird. Dabei wird je nach ihrer Orientierung in einzelnen Kristallen die Schiebung zum Zwilling der Anrißbildung voraneilen, in anderen Kristallen möglicherweise erst nach erfolgtem Bruch eintreten. In der Tat sind denn auch beide Arten von Zwillingen: durchgehende, also primär vor dem Aufreißen entstandene, als auch an den Spaltflächen absetzende, somit erst nach der Spaltung gebildete im Gefüge zu beobachten.

Aber auch in einem größeren Zusammenhang betrachtet, entsprechen die hier über den Verlauf von Bruchvorgängen an Kerbschlagproben gemachten Feststellungen durchaus den bisher gefundenen, allgemein gültigen

Gesetzmäßigkeiten über Brucherscheinungen an metallischen Werkstoffen (siehe [25]), S. 105ff., sowie [30], S. 315/324).

So wird in Metallkristallen, handle es sich um freie Einkristalle oder im Haufwerkverband stehende, unter dem Einfluß äußerer Kräfte entweder Gleitung, Schiebung unter Zwillingsbildung oder sprödes Reißen eintreten, je nach dem, ob dabei zuerst die in der Ebene und Richtung der Gleitung resultierende Spannung den Wert der kritischen Schubspannung σ_0 , die für die Auslösung der Schiebung maßgebende Spannungskomponente den entsprechenden kritischen Wert τ_0 , oder endlich der senkrecht zur Reißfläche wirkende Spannungsanteil die kritische Normalspannung ν_0 erreicht bzw. überschreitet. Ob der Kristall gegenüber einem nach Richtung und Größe gegebenen Spannungsfeld sich so oder anders verhält, wird bestimmt:

Zunächst von seiner relativen Orientierung zum fraglichen Spannungsfeld, dazu vom Verhältnis der drei kritischen Spannungswerte $\sigma_0 : \tau_0 : \nu_0$, damit aber auch durch die Art, wie dieses Verhältnis seinerseits von Temperatur und Verformungsgeschwindigkeit abhängt, und endlich davon, ob und in welchem Ausmaß der eine Prozeß den andern beeinflusst, beispielsweise eine eingeleitete Gleitung eine spätere Schiebung begünstigen kann. Da mit sinkender Temperatur und zunehmender Verformungsgeschwindigkeit die kritische Schubspannung allgemein größer wird, während sich andererseits die kritische Normalspannung nur unwesentlich ändert, müssen tiefere Temperatur und schlagartige Beanspruchung zwangsläufig ein Spalten oder sprödes Reißen nach bestimmten Kristallebenen in dazu geeignet orientierten Kristallen befördern und damit ein echt sprödes Brechen mindestens einzelner Kristalle begünstigen. Solches wird in erster Linie für Metalle mit kubisch innenzentrierten und solche mit hexagonalem Gitter zutreffen, während bei den kubisch flächenzentrierten Metallen infolge der hier besonders zahlreichen Gleitsysteme auch bei tiefen Temperaturen die Verformung durch Translation weitgehend erhalten bleibt, wie denn auch in diesem Falle ein Steilabfall der Kerbzähigkeit bisher nicht beobachtet wurde (siehe hierzu auch *A. Kochendörfer* [31]).

5. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde an einer Reihe handelsüblicher Stähle mittels einer großen Zahl, insgesamt über 500, systematisch durchgeführten Kerbschlagversuchen mit scharfgekerbten Schlagproben nach *Schnadt* die Temperaturabhängigkeit, insbesondere der Steilabfall der Kerbzähigkeit untersucht, um die ausgewählten Stähle zunächst nach ihrer „Spröbruchtemperatur“ beurteilen zu können. Dabei ergab sich, daß diese Temperatur von metallurgischen Faktoren maßgeblich beeinflusst wird, wobei sich im besonderen mit einer Erhöhung des Verhältnisses Mn : C sowie durch die Erzeugung eines feinen Kornes durch Desoxydation mit Al und eine zweckmäßige Wärmebehandlung eine Erniedrigung der Spröbruchtemperatur und damit eine Verringerung der Neigung zu spröden Brüchen bei schlagartiger Beanspruchung herbeiführen läßt.

Entsprechende Untersuchungen am Material eines im Betrieb zerstörten Druckleitungsrohres führten zur Feststellung, daß in diesem Falle der betreffende Stahl infolge natürlicher Alterung in einen Zustand ausgesprochener

Spröbruchempfindlichkeit gelangt war, was zusammen mit ungünstigen konstruktiven Umständen und Mängeln bei der Ausführung des geschweißten Bauwerkes die eingetretene Zerstörung bewirkte.

Anschließend wurde die Schlagprobe mit eingepreßter Scharfkerbe als solche einer eingehenden Prüfung unterzogen, wobei sich zeigte, daß das Material im Kerbgrund eine wesentliche bleibende Verformung und entsprechende Verfestigung erfährt, deren Ausdehnung und Ausmaß vor allem von der Schärfe des zur Erzeugung der Kerbe verwendeten Messers abhängt, und die ihrerseits das Ergebnis der Schlagversuche wesentlich beeinflusst.

Solange die Bestimmung des Steilabfalls der Kerbzähigkeit lediglich als eine technologische Prüfung für eine bloß vergleichsweise Kontrolle der Spröbruchneigung betrachtet wird, kann der durch das Einpressen der Kerbe verursachte Eigenspannungszustand der Proben, der eine Verschärfung der Prüfbedingungen bedeutet, in Kauf genommen werden, dabei allerdings vorausgesetzt, daß er bei ein und demselben Material genau reproduzier-

bar erhalten wird und bei verschiedenen Materialqualitäten nicht zu einer grundsätzlichen Änderung des Verhaltens beim Kerbschlagversuch führt. Dagegen muß in jedem Falle eine quantitative Übertragung der Ergebnisse solcher Schlagversuche auf eine Konstruktion selbst, die ja dazu der Annahme eines hypothetischen Spannungszustandes in Probe und Bauwerk bedarf, als unzulässig abgelehnt werden.

Sodann ließ sich nachweisen, daß bei dieser Bestimmung der Sprödbruchobergrenze auf die Verwendung eines Schlagstifts, wie sie *Schnadt* vorsieht und die eine Komplikation bei der Probenherstellung bedeutet, ohne Nachteile verzichtet werden kann.

Schließlich wurde versucht, den eigentlichen Mechanismus des Bruchvorganges in der Hoch- und Tieflage der Kerbzähigkeit anhand einer Kennzeichnung des in der Bruchfläche bestehenden Kristallzustandes mittels Rückstrahl- und Metallographenaufnahmen sowie metallographischer Untersuchungen an Schlagproben näher abzuklären.

Die Versuche ergaben, daß bei Bruch in der Hochlage die Kristalle der Bruchfläche in ihrer Güte so beeinträchtigt werden, wie dies für Verformungsbrüche allgemein typisch ist.

Mit sinkender Prüftemperatur nimmt im Bereich der Tieflage die den Kristallen beim Bruch widerfahrende, innere Störung mit abnehmender Schlagarbeit mehr und mehr ab, bis schließlich in der extremen Tieflage einzelne Kristalle beim Bruch praktisch überhaupt keine röntgenographisch nachweisbare Änderung erfahren, die anderen Kristalle dagegen nur noch einer recht geringen plastischen Verformung unterliegen (nämlich einer solchen, wie sie einer Stauchung um ca. 2% entspricht).

In der Tat ließen denn auch Rückstrahl- und Metallographenaufnahmen an der Bruchfläche des durch Trennbruch zerstörten Druck-

leitungsrohres einen weitgehend ähnlichen Kristallzustand wie im Falle von Schlagproben der extremen Tieflage nachweisen.

Im weiteren ergaben Gefügeuntersuchungen von Schlagproben aus einem vorwiegend ferritischen Stahl, daß in der Tieflage dem eigentlichen Bruch der Probe in einzelnen, dazu besonders günstig orientierten Kristallen ein sprödes Reißen oder Spalten nach der Würfelebene vorangeht und erst bei weiterer Beanspruchung der Bruch mehr und mehr auch die zwischen diesen gerissenen Kristallen bestehenden, noch intakten Gebiete erfaßt, wobei deren Kristalle nunmehr einer gewissen plastischen Verformung unterliegen können.

Was sich so bei der Bildung des ersten Bruchansatzes, der zumeist sprunghaft entsteht, abspielt, gilt hernach auch bei der weiteren Ausbreitung des Sprödbrechens; auch hierbei kommt es in der Reißfront zunächst zu einem lokalen, spröden Aufreißen in einzelnen Kristallen und erst nachträglich zu einem eigentlichen Durchbrechen des ganzen Kristallverbandes. So betrachtet haben die hier untersuchten Sprödbrüche somit als über mikroskopisch kleine Bereiche gemischte Brüche zu gelten: spröde aufgerissene Kristalle wechseln fortgesetzt mit Stellen, in denen die Kohäsion des Kristallhaufwerkes erst nach einer gewissen plastischen Formänderung seiner Kristalle überwunden wird.

Schließlich wurde in der Tieflage im Ferrit in der Umgebung des Bruches auch Zwillingsbildung durch Schiebung beobachtet, die zwar als weitere Möglichkeit zu plastischer Verformung bei behinderter Gleitung unbestreitbar ihre wesentliche Bedeutung hat, indessen für die Entstehung des Bruches selber mindestens nicht allgemein von maßgebender Bedeutung sein dürfte.