

Wasserstoffversprödung an Zündnadeln

Die Entwicklung der Feuerwaffen begann mit der Erfindung des Schwarzpulvers, einer Mischung aus Kaliumnitrat (als Sauerstoffspender), sowie Schwefel und Kohle als Energieträger. Dieses Pulver ist leicht entzündbar; es reicht dazu der sprichwörtliche Funke aus. Im Jahre 1867 entwickelt Alfred Nobel das Dynamit, indem er Kieselgur mit Nitroglycerin tränkte. Nun wird zur Zündung eine Vorexpllosion („Initialzündung“) benötigt, die der Zünder bereitstellt. Hierbei handelt es sich um einen kleinen Schlagapparat.

Ein dünner Stab wird einseitig angespitzt. Diese „Zündnadel“ wird gegen eine umhüllende Feder gespannt und dann durch eine Klinke festgehalten. Löst man die Sperre, schlägt der Stab auf einen leicht entzündlichen „Initialsprengstoff“, beispielsweise Knallquecksilber oder Bleiazid.

Den Zünder schraubt man erst in die Granate/Bombe ein, wenn die gewünschte Explosion in zeitliche Nähe gerückt ist. Umgekehrt gilt ein solches Gerät als dann entschärft, wenn es gelungen ist, den Zünder zu entfernen.

Ein Betrieb der DDR stellte Handgranaten nach einer russischen Lizenz her. Das war viele Jahr reibungslos erfolgt, als die Zünder die Neigung entwickelten, von allein hoch zu gehen. Es krachte im Werk, auf dem Transport oder erst im Munitionslager. Gebrochen war immer die Zündnadel.

Technische Daten:

Stahl: C 35Q, gehärtet auf 32-42 Rockwell (300-400 Vickers)
Durchmesser: 3,5 mm

Angeliefert wurden eine Schadprobe (A) und eine intakte Nadel. Letztere wurde im Schraubstock festgespannt und per Hand gebrochen, was erst nach stärkerer Verbiegung gelang (Probe B).

Die Untersuchung im REM ergab Folgendes:

Das Schadteil ist glatt durchgebrochen. Auf dem Mantel finden sich die Spuren von Härteeindrücken. Der Laborgewaltbruch ist erkennbar verformt (Bild 1).

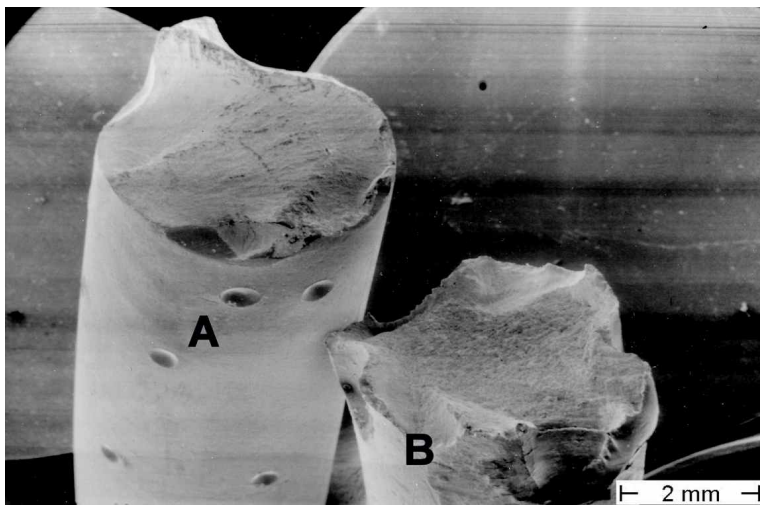


Bild 1:
Übersicht der
beiden Proben

Probe A
(Dienstbruch) glatt
durchgebrochen

Probe B
(Laborbruch),
Bruchfläche mit
Verformung

Auf der Bruchfläche der Schadprobe zeigten sich drei Anrisse, zwei größere und ein isolierter kleiner. Am Rand war oben und unten jeweils eine Einkerbung zu sehen. Die Risse hatten ihren Ausgang jedoch an der glatten Nadeloberfläche genommen (Bild 2).

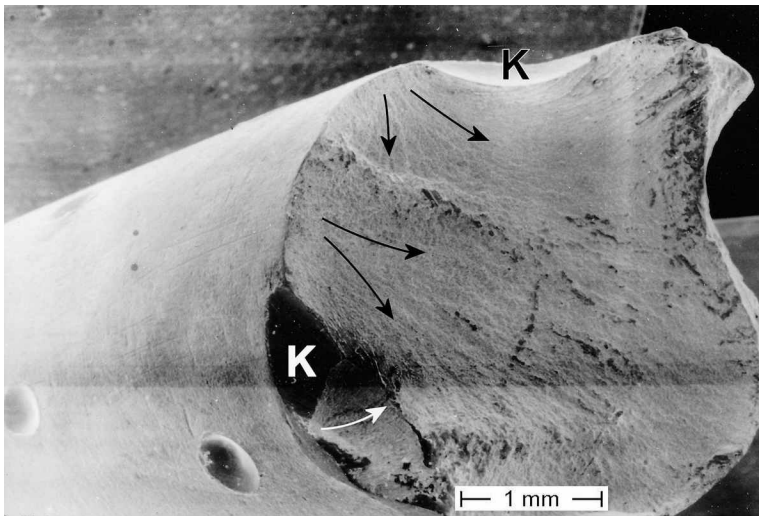


Bild 2:
Schadprobe A,
beidseitige Kerbung
(K) erkennbar;
Start der Risse an der
ungestörten
Mantelfläche
(Ausschnitt aus
Bild 1)

Nach einer Drehung der Probe in die entgegengesetzte Richtung treten die beiden Kerben deutlicher hervor (Bild 3).

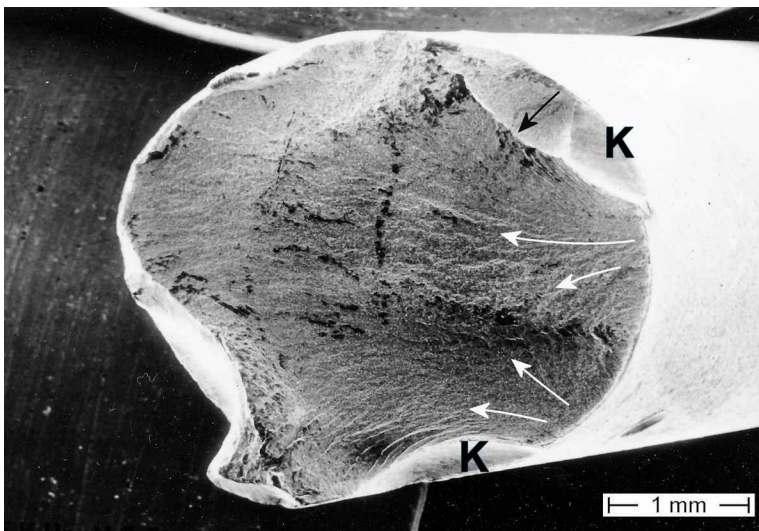


Bild 3:
Schadprobe A,
gegenüber Bild 2 um
180° gedreht
beidseitige Kerbung
(K) deutlicher
erkennbar

Betrachtet wird einer der Hauptrisse an der Stoßstelle zum anderen Riss direkt im Einlauf (Bild 4).

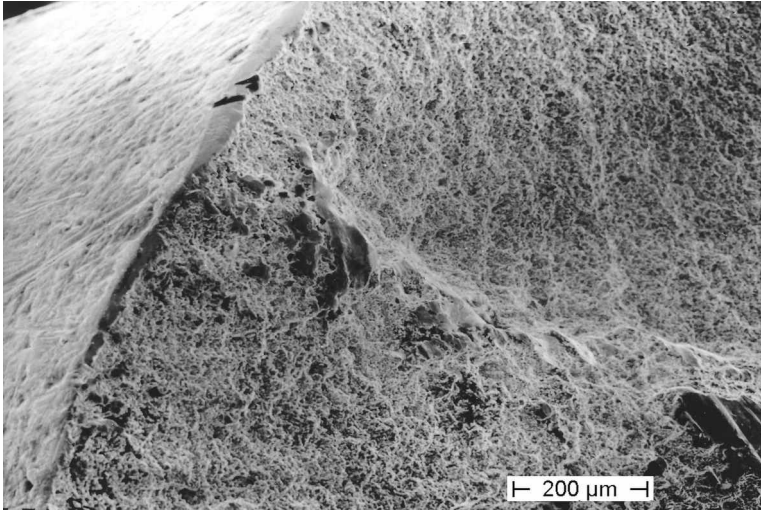


Bild 4:
Stoßstelle der
beiden größeren
Risse unterhalb
der
Nadeloberfläche
(Ausschnitt aus
Bild 2)

Das Bruchgefüge ist körnig ausgebildet (Bild 5).

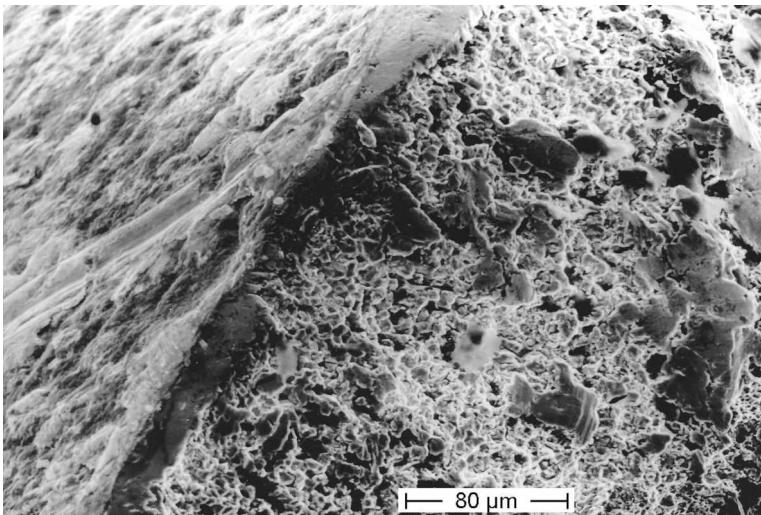


Bild 5:
körnige
Bruchstruktur
(Ausschnitt aus
Bild 4)

Die Korngrenzflächen sind klar erkennbar (Bild 6).

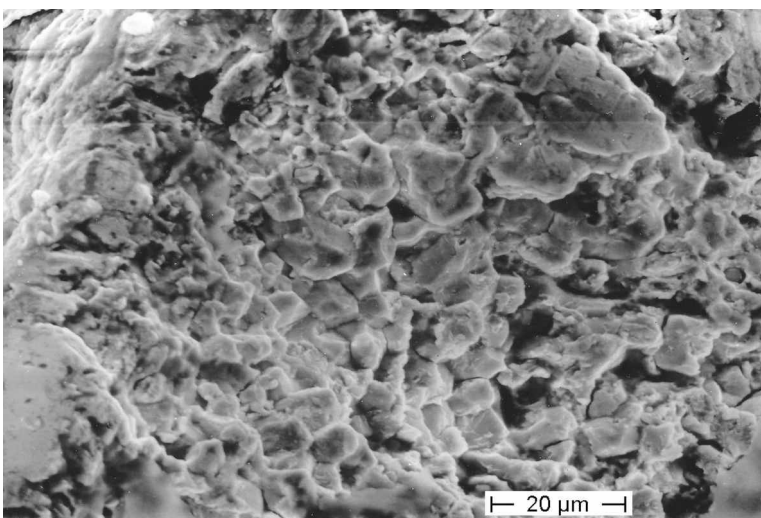


Bild 6:
gut erhaltene
Kornstruktur
ca. 40 µm unter
der Oberfläche
(Ausschnitt aus
Bild 5)

Die Größe der Körner betrug etwa 10 μm (Bild 7).

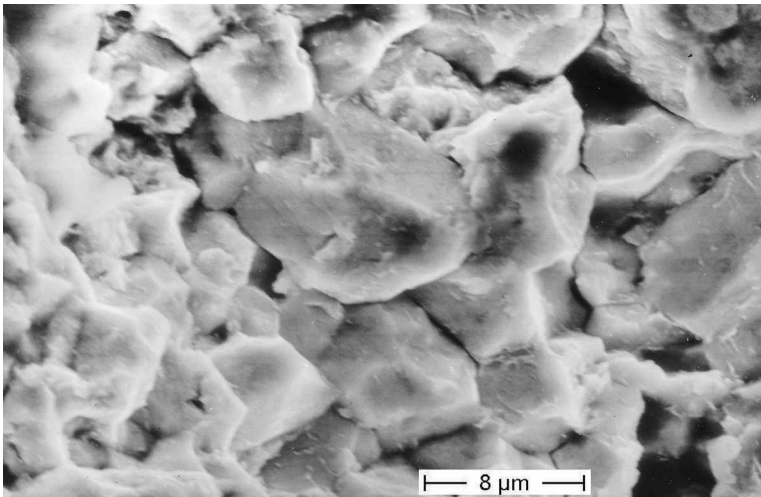


Bild 7:
Korngröße etwa
10 μm
(Ausschnitt aus
Bild 6)

Tiefer im Anriss mischten sich einzelne Waben unter das Korngefüge (Bild 8 und Bild 9).

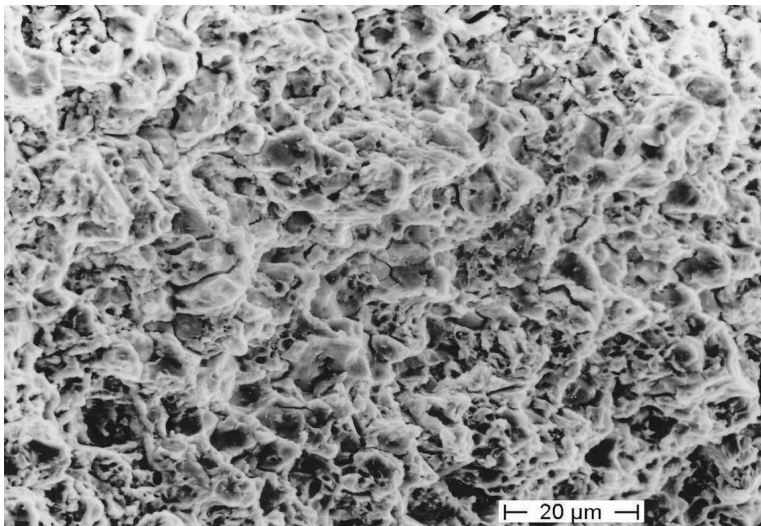


Bild 8:
Bereich tiefer im
Riss, Körnigkeit
abgeschwächt

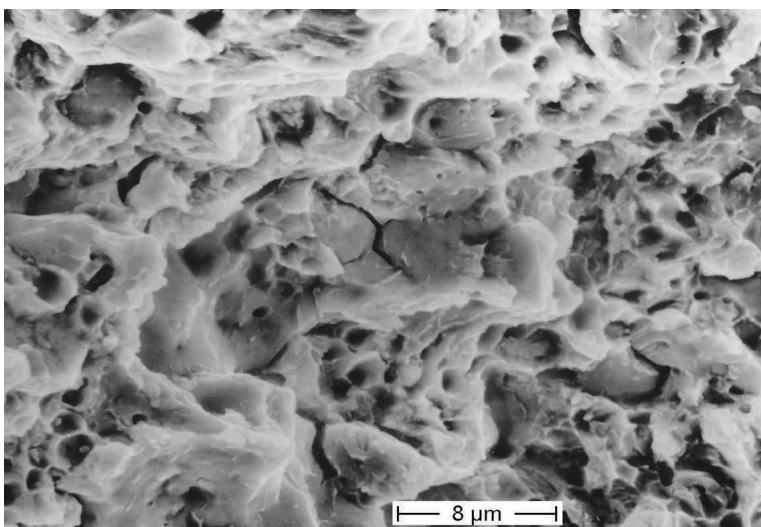


Bild 9:
Korngrenzflächen
durchsetzt mit
Waben
(Ausschnitt aus
Bild 8)

Auf der Bruchfläche der Vergleichsprobe (B) fand sich durchgehend eine ausgeprägte Wabenstruktur (Bild 10).

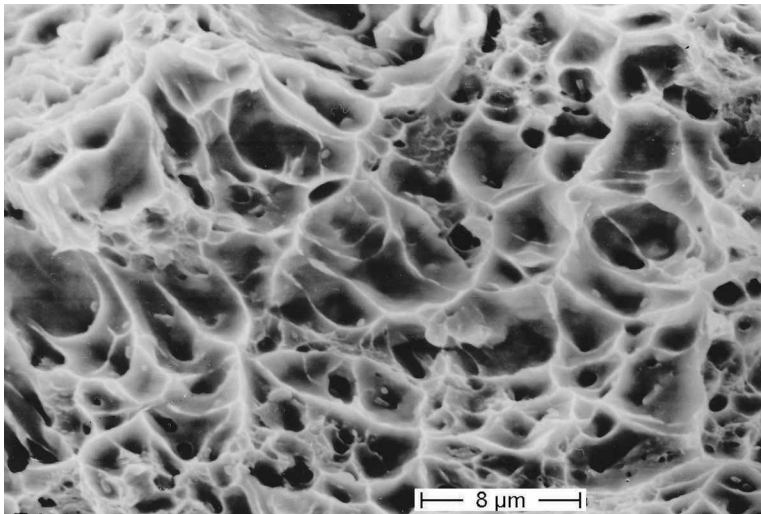


Bild 10:
reine
Wabenstruktur
auf der
Vergleichsprobe

Die Mantelfläche der Nadel wurde mit der energiedispersiven Mikrosonde analysiert. Es ergab sich das Vorliegen einer Zinkschicht. Dazu wurde mitgeteilt, dass die Schicht elektrolytisch aufgebracht worden war.

Diskussion

Die makroskopische Bruchlage war durch zwei Außenkerben vorgegeben; die Risse starteten jedoch an der ungestörten Mantelfläche.

Das Bruchgefüge war in den älteren Bereichen rein körnig ausgebildet. Mit zunehmendem Rissfortschritt mischten sich Waben unter das Korngefüge. Hier war der Riss schneller gelaufen.

Beim Laborbruch fand sich ausschließlich Wabenstruktur. Daraus ergibt sich, dass der Werkstoff von Natur aus duktil war.

Eine zeitweilige Versprödung kennzeichnet die Anwesenheit von Wasserstoff im Stahl.

Stahl wird gegenüber Wasserstoff besonders empfindlich, wenn er einer Härtung unterworfen wurde. Die Schwelle liegt bei einer Festigkeit von 1000-1200 MPa, die der vorliegende Stahl erreichte (vgl. [1], [2]).

Die Zinkschicht war elektrolytisch (galvanisch) aufgebracht worden. Dabei wird die Probe als Kathode geschaltet. Neben dem Metall wird auch Wasserstoff abgeschieden und tritt in den Stahl ein. Die Zinkschicht verhindert ein schnelles Wiederaustreten.

Als Vorbeugung wird der Wasserstoff durch ein Nachwärmen bei 200 °C ausgetrieben. Man konnte annehmen, dass dieser Schritt in den Lizenzunterlagen aufgeführt worden war.

Man gab zu, dass dieses Effusionswärmen tatsächlich vorgeschrieben war und man es auch lange ausgeführt hatte. Weil aber der Sinn dieser Nachwärmung im Dunklen blieb, war man auf die Idee gekommen, sich diesen Schritt zu sparen (Neuerervorschlag).

Vom Kunden wurde gefragt, ob man alle Zünder, welche man seitdem gefertigt hatte, verwerfen müsste.

Wasserstoff verlässt mit der Zeit den Stahl und lässt sich auch durch eine Zinkschicht nicht endgültig daran hindern. Da die Nadeln relativ dünn waren, hielt ich einen Zeitraum von vier Wochen für ausreichend. War bis dahin kein Bruch erfolgt, könne man das Teil ausliefern. Beschwerden gab es keine.

Zusammenfassung

Die Nadeln wurde durch Wasserstoff versprödet, der vom Galvanisieren her stammte und wegen des Unterlassens der Effusionswärmung im Teil verblieben war.

Literatur

- [1] Steinhauser, W.: Die Gefahr des verzögerten Sprödbruches bei hochfesten Stählen. Luftfahrttechnik – Raumfahrttechnik **10** (1964) 4, S. 93-100
- [2] Hirth, F. W.; Speckhardt, H.: Beitrag zur Versprödung von Vergütungsstählen durch Wasserstoff: Schäden an Schraubenwerkstoffen; Ursachen, Mechanismen, Vermeidung RIBE. Blauhefte der Schraubenliteratur 18, Schwabach: Bergner, 1978.

Martin Möser, 30. Oktober 2015

In dieser Homepage finden sich zwei weitere Ausarbeitungen über Fälle, bei denen die Beladung mit Wasserstoff im Zusammenhang mit dem Verzinken erfolgte (beim Beizen zum Feuerverzinken): „Versprödung von Schraubenstahl durch Beizwasserstoff“ und „Bruch von Federplatten“.

Einbausituation: <https://en.wikipedia.org/wiki/RGD-5>