

# Flocken in Stahl nach Entschwefelung und Vergießen im Block

Schwefel löst sich praktisch nicht im erstarrenden Eisen und bindet sich stattdessen mit Eisen und Mangan zum Sulfid ab. Diese Einschlüsse werden beim Walzen verflacht und schwächen den Stahl in Dickenrichtung der Platte, auch als Z-Richtung bezeichnet.

Weiterhin bieten die Einschlüsse dem Wasserstoff einen Ort zur Speicherung und – durch Entfaltung eines Innendruckes – auch eine gewisse Kerbwirkung. In Zusammenhang mit einer Aufhärtung beim Schweißen kommt es an Kehlnähten zur Ausbildung sogenannter Unternahtrisse.

In den 1970er Jahren war man international zur Tiefstentschwefelung übergegangen. In die gefrischte Stahlschmelze werden Calciumverbindungen (Kalk oder Calciumcarbid) eingeblasen und der Schwefel als Calciumsulfid gebunden. Der Schwefelgehalt lässt sich damit um eine Größenordnung senken (von 0,02 auf 0,002 %). Dies ist Bestandteil der „Sekundär- oder Pfannenmetallurgie“ (z.B. Thyssen-Niederrhein-Verfahren).

In der DDR ergab sich ebenfalls das Bedürfnis nach solcherart gereinigten Stählen (z.B. [1] und [2]), und man schritt entsprechend zur Tat. Von Interesse war der Feinkornstahl H 60-3, eine Entsprechung des St 450, der sich im beim Bau von Behältern und Fördergeräten stark eingeführt hatte.

Der Stahl wurde im Siemens-Martin-Ofen erschmolzen und in Kokillen als Blöcke abgossen.

An den tiefstentschwefelten Walzprodukten wurden Proben in Dickenrichtung (Z-Proben) entnommen. Damit man sie mit der Zugprüfmaschine fassen konnte, mussten teilweise Verlängerungen angeschweißt werden. Man stellte auch entsprechende Kerbschlagproben her. Die Zugproben wiesen feinstrukturierte Defekte auf, die Kerbschlagproben jedoch nicht. Näher untersucht wurden deshalb nur Zugproben.

## Fraktographische Darstellung einer Zugprobe

Aufgrund ihrer samtigen Struktur heben sich die Gebiete A...C vom körnig ausgebildeten Gefüge des Gewaltbruches ab (Bild 1).

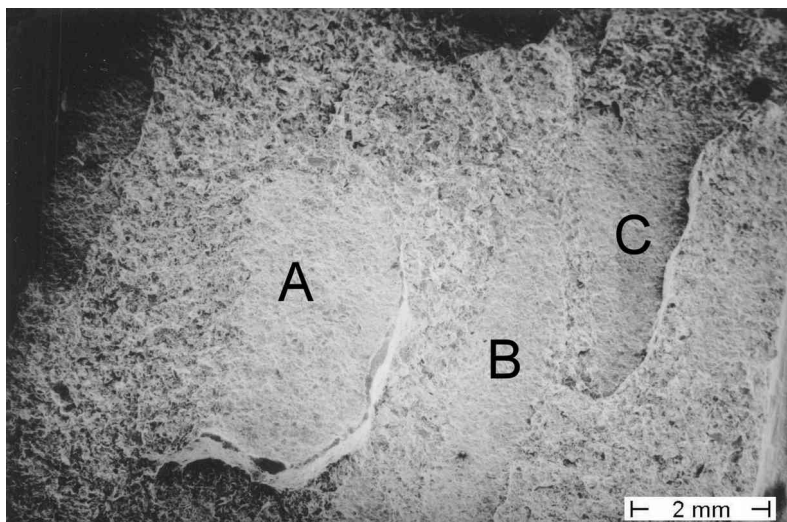


Bild 1:  
Übersichtsaufnahme:  
drei eben-samtige  
Inseln (A...C) im  
größeren  
Grundgefüge  
(Gewaltbruch)

Betrachtet wird der linke Rand der Zone B:  
 Eine feine Facettenstruktur findet sich für Zone B; das Grundgefüge (G) ist durch klare Spaltflächen geprägt (Bild 2).

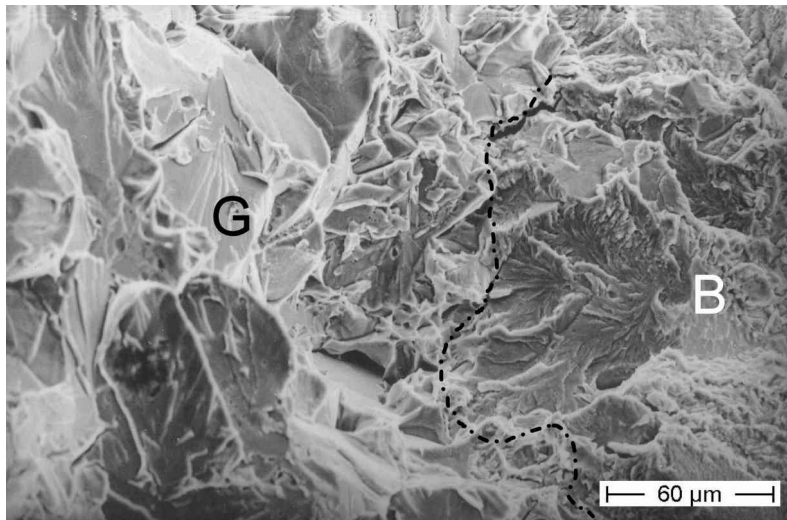


Bild 2:  
 Übergang von  
 Zone B nach  
 links zum  
 Grundgefüge G:

feine Facetten  
 am Rand von  
 Zone B,  
 Spaltflächen in G  
 (Ausschnitt aus  
 Bild 1)

Von einer Fläche mit Verrundungsgefüge (U) ist eine Facette (M) in der Ausdehnung von 60 µm ausgegangen (Bild 3 und Bild 4).

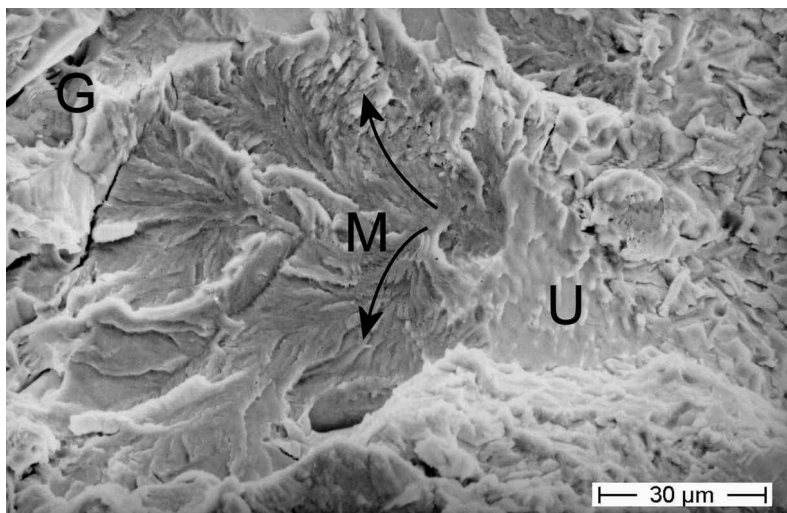


Bild 3  
 Facette M startet an  
 Bereich U mit  
 Verrundungsgefüge  
 (Ausschnitt aus  
 Bild 2)

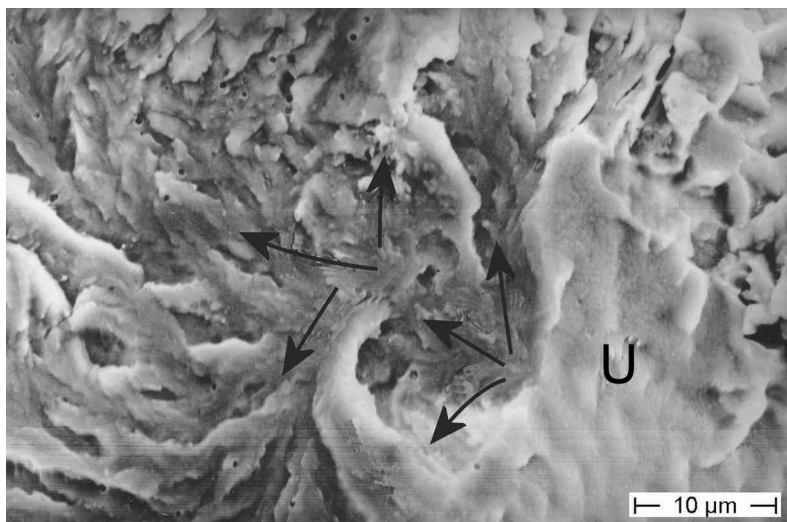


Bild 4  
 Verrundungsgefüge  
 im Bereich U  
 (Ausschnitt aus  
 Bild 3)

Gleichartige Facettenstrukturen fanden sich am Rand von Zone A, ebenfalls ausgehend von Verrundungszonen des Defekts. Als Facettenlänge werden 120  $\mu\text{m}$  erreicht (Bild 5 und Bild 6).

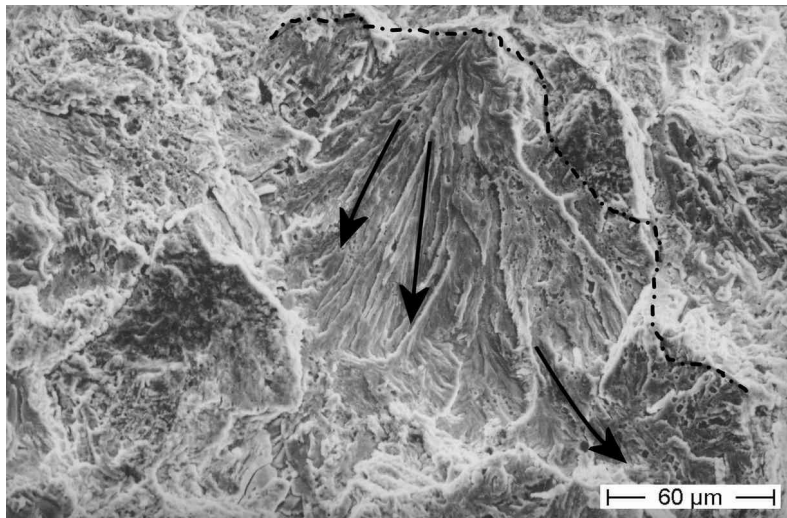


Bild 5  
Facette in der  
Ausdehnung von  
120  $\mu\text{m}$  am  
unteren Rand  
von Zone A  
(Ausschnitt aus  
Bild 1)

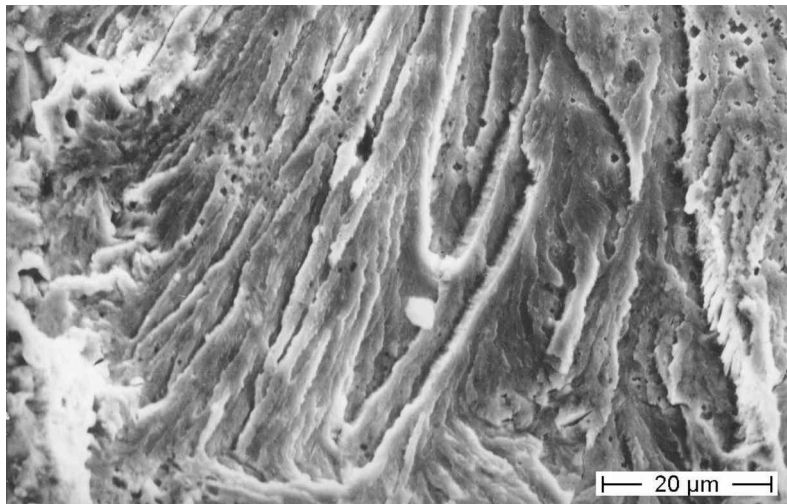


Bild 6  
scharfe  
Abreißgrate an  
Facette  
(Ausschnitt aus  
Bild 5)

Ein weiterer Ausschnitt vom Bereich A ist in Bild 7 zu sehen. Die Randfacette nimmt hier nur einen kleinen Ausschnitt ein. Der Zentrumsbereich erscheint ansatzweise facettiert.

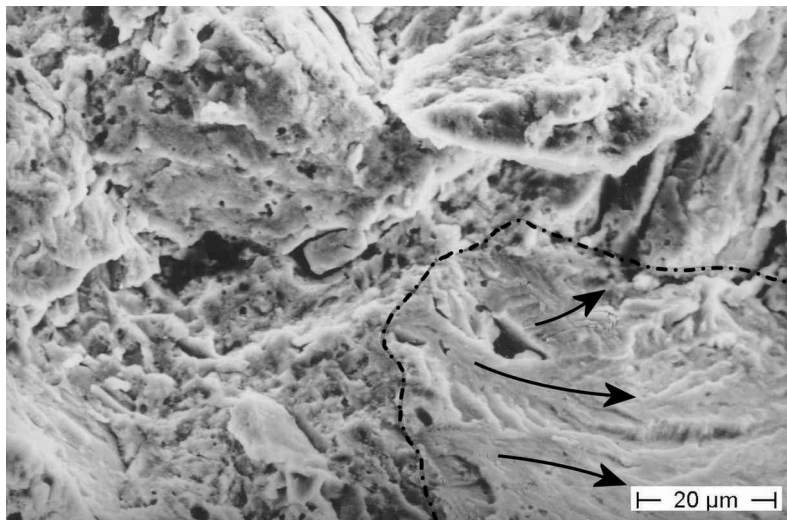


Bild 7  
ein weiterer  
Ausschnitt vom  
Rand des  
Bereiches A:  
kleinere Facette,  
weitgehend  
umgeben von  
Zone mit  
schwach  
facettiertem  
Gefüge

## Diskussion

Auf der Bruchfläche der Zugprobe fanden sich auffällig ebene Bereiche. Der Restbruch erfolgte als transkristalliner Spröbruch.

Der Rand der ebenen Bereiche war jeweils durch einen Saum von Facetten gegeben. Diese waren deutlich feiner strukturiert als die Spaltflächen des Restbruchs. Ihren Ausgang nahmen die Einzelfacetten von Störstellen, deren Oberfläche verrundet oder ansatzweise facettiert erscheint.

Die Facetten kennzeichnen den Bruch weicher Stähle unter Wasserstoffeinfluss. Die Trennung erfolgt entlang von  $\{110\}$ -Gleitebenen; die Temperatur des Teiles muss unter  $80^\circ\text{C}$  liegen.

An den Störstellen hat sich der Wasserstoff bei der Abkühlung gesammelt und ging in den molekularen Zustand über. Während der Zugprüfung wurde der Wasserstoff dann bruchaktiv.

Über das Entschwefelungsmittel gelangte Wasser in die Schmelze, das thermisch dissoziiert wurde. Eine entsprechende Entgasung (Vakuumbehandlung) hatte man nicht vorgesehen. Mit dem Absenken der Einschlussdichte geht außerdem der Raum verloren, an dem der Wasserstoff harmlos versacken kann.

Hinsichtlich der Störstellen kann man annehmen, dass sie ebenfalls unter Wasserstoffeinfluss entstanden sind, allerdings schon im Stadium der Herstellung, während einer Phase der völligen Auskühlung. Bei den weiteren Walzstichen wurden die Grenzflächen der Risse eingeformt.

Wasserstoffbedingte Risse in Schmiede- und Walzprodukten als Folge eines Wassereintrages über die Schmelze werden in Bezug auf ihr makroskopisches Erscheinungsbild als **Flocken** bezeichnet. Streng genommen gilt der Begriff nur dann, wenn die mechanische Komponente allein durch die Abkühlungsspannungen geliefert wird, also für das Frühstadium der Defekte.

Abschließend soll noch darauf eingegangen werden, warum auf den Bruchflächen der Kerbschlagproben keine Defekte zu sehen waren. Dafür sind zwei Gründe maßgebend: Die Wasserstoffversprödung spricht auf hohe Belastungsgeschwindigkeiten nicht an. Weiterhin ist der Volumenbereich, der von der maximalen Spannung erfasst wird, deutlich kleiner als bei Zugproben.

Wegen dieses Misserfolges beschloss man, mit der Eigenproduktion tiefstentschwefelter Stähle abzuwarten, bis ein Sauerstoffaufblaswerk mit integrierter Pfannenmetallurgie zur Verfügung stand. Es befand sich bereits im Bau (Eisenhüttenstadt).

## **Zusammenfassung**

Die Schmelze des Stahles H 60-3 wurde tiefstentschwefelt, ohne sie nachfolgend zu entgasen. Der verbliebene Wasserstoff induzierte Risse im Stadium der Warmverformung (während einer Auskühlungsphase). Zum Zeitpunkt des Zugversuches war noch genügend Wasserstoff im Stahl vorhanden, um diese Flocken zu erweitern.

## **Literatur**

- [1] Nemetschke, H.: Einsatz des höherfesten schweißbaren Baustahls H 60-3 in überwachungspflichtigen Anlagen der Dampf- und Drucktechnik. Schweißtechnik (Berlin) 30 (1980) 2, S. 52-54
- [2] Schäfer, G.: Zur schweißtechnischen Verarbeitung von höherfesten Baustählen. ZIS-Mitteilungen, Halle/Saale 24 (1982) 1, S. 73-83

Martin Möser, 30. August 2011

Siehe in dieser Homepage auch die Ausarbeitungen:

- Flocken in der Welle eines Turbosatzes (Wasserstoffversprödung)
- Wasserstoffversprödung an Radreifenstahl
- Flocken in Stahl nach Entschwefelung und Vergießen im Strang, Teile I und II