



aus JENA

Applikationsinformation

Mikroskopie

Metallographische Analyse orientierter Gefüge mit Hilfe des Gefügeanalysators "Epiquant" und der Rechentechnik

1. Arten orientierter Gefüge

Ein einphasiges polykristallines Gefüge ohne Vorzugsorientierung (Bild 1) stellt das einfachste Grenzliniensystem in der (Schliff-) Ebene bzw. Grenzflächensystem im Raum dar. Ein solches Gefüge bezeichnet man als isotrisch.

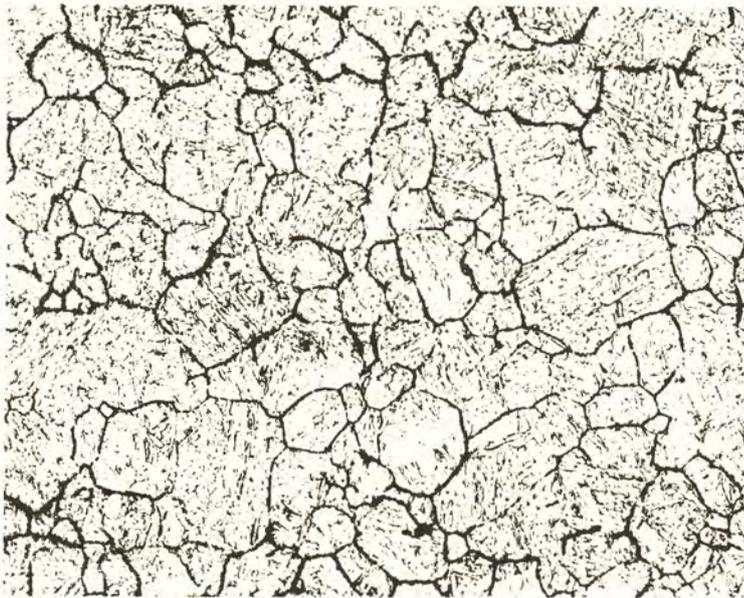


Bild 1: Einphasiges austenitisches Gefüge ohne Vorzugsorientierung (Pikrinsäure + Wofacutan; 250x)

JENOPTIK JENA GmbH · DDR

Das Hauptmerkmal der Isometrie ist eine statistisch konstante Anzahl der Schnittpunkte zwischen den Grenzlinien und Schnittgeraden in jeder beliebigen Richtung. Im allgemeinen sind Gefüge jedoch nicht isometrisch, sondern orientiert, d.h. die Gefügeelemente sind in einer Richtung bzw. in einer Ebene geordnet. Bild 2 zeigt ein Beispiel für ein orientiertes Gefüge.

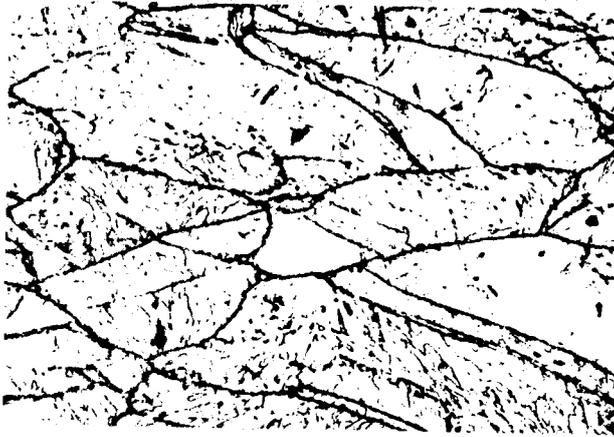


Bild 2: Teilweise orientiertes austenitisches Gefüge
(Pikrinsäure + Wofacutan; 250 x)

Saltykov unterscheidet vier verschiedene Grundtypen von Orientierungen /1/.

Sie werden nach ihren geometrischen Merkmalen bezeichnet als

- isometrisches Grenzflächensystem (Bild 3a)
- linienhaft orientiertes Grenzflächensystem (Bild 3b)
- flächenhaft orientiertes Grenzflächensystem (Bild 3c)
- linien- und flächenhaft orientiertes Grenzflächensystem (Bild 3d)

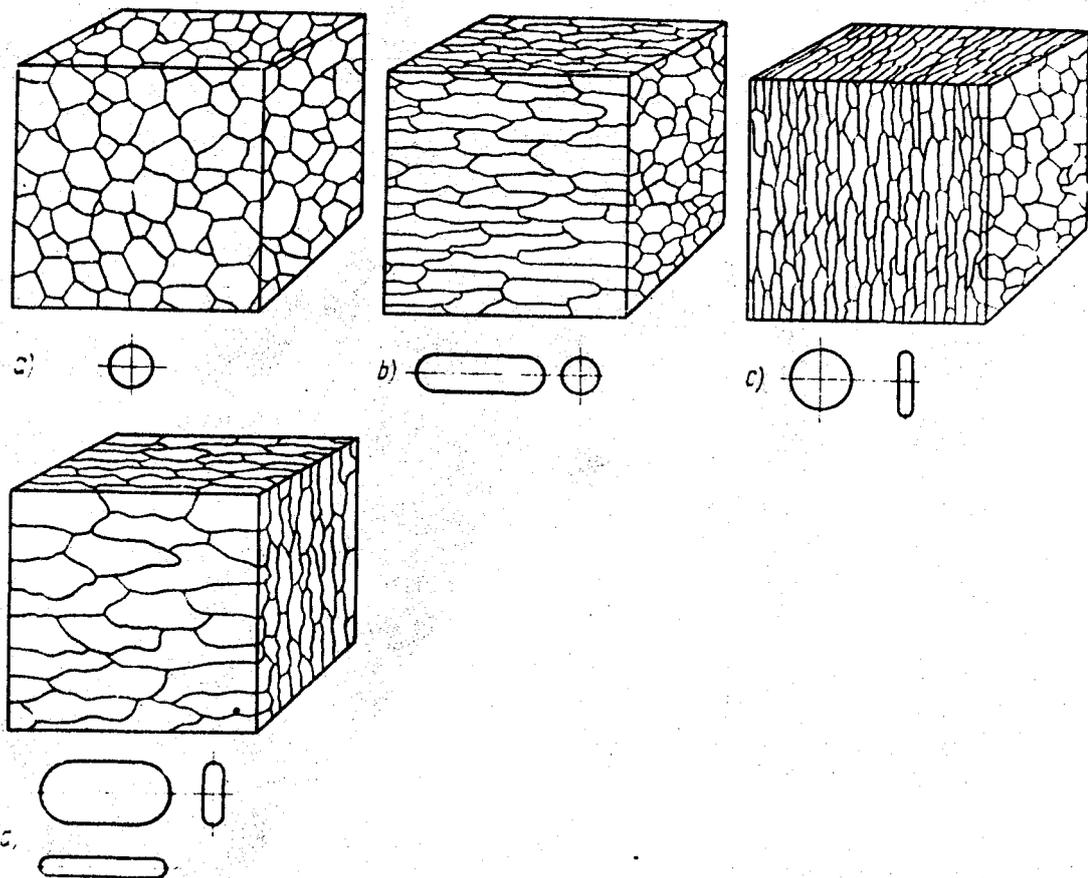


Bild 3: Schematische Darstellung der Orientierung von Grenzflächensystemen im Raum (nach Saltykov /1/)

- a) isometrisch
- b) linienhaft orientiert
- c) flächenhaft orientiert
- d) linien- und flächenhaft orientiert

Ein Grenzflächensystem wird grundsätzlich durch die Art der Orientierung, die spezifische Grenzfläche und den Orientierungsgrad vollständig charakterisiert. Unter der spezifischen Grenzfläche versteht man die Summe der Grenzflächen im Einheitsvolumen mit der Dimension $[\text{mm}^2 \cdot \text{mm}^{-3}]$.

Ein isometrisches Grenzflächensystem ist in geglähten Metallen anzutreffen. Orientierte Gefüge kommen in technischen Legierungen häufig vor, z.B. in der Regel bei kaltverformten, teilrekristallisierten und texturbehafteten Zuständen ein- oder mehrphasiger Legierungen.

Die linienhafte Orientierung kommt z.B. im gezogenen Draht vor. In durch Stauchen verformten Metallen läßt sich die flächenhafte Orientierung nachweisen, wogegen in gewalzten Blechen Gefüge zu finden sind, die Merkmale des linien- und flächenhaften Grenzflächensystems aufweisen.

Aus dem Bild 3 geht hervor, daß zur eindeutigen Beschreibung des Grenzflächensystems im Raum mindestens zwei senkrecht aufeinanderstehende Schliffebene geprüft werden müssen (in der Regel Längs- und Querschliff). Zum Beispiel hat ein Schnitt durch ein linienhaft orientiertes System senkrecht zur Orientierungsachse das gleiche Aussehen wie ein Schnitt durch ein isometrisches System. Fehlerurteile sind somit nur durch sinnvolle Schliffebeneauswahl auszuschließen.

Oft steht die Aufgabe, die genannten Gefügestände quantitativ zu beschreiben, d.h. geeignete stereometrische Parameter zu ermitteln.

Für die Gewinnung von Primärdaten für derartige Untersuchungen ist der automatische Gefügeanalysator "Epiquant" des VEB Carl Zeiss Jena sehr gut geeignet.

2. Ermittlung der bezogenen Schnittpunktzahl

Die Art eines Grenzflächensystems kann man an sinnvoll ausgewählten Schliffebene experimentell feststellen. Dazu ist es notwendig, die Anzahl der Schnittpunkte zwischen den Korngrenzen und einer geraden Meßlinie, die in abgestuften Winkeln zur Symmetrie- bzw. Orientierungsachse über die Schliffebene geführt wird, zu ermitteln. Die auf diese Art und Weise erhaltenen und auf die Längeneinheit bezogenen Schnittpunktzahlen ergeben in Abhängigkeit vom Schnittwinkel, dargestellt im Polarkoordinatensystem, die sogenannte Schnittzahlrose.

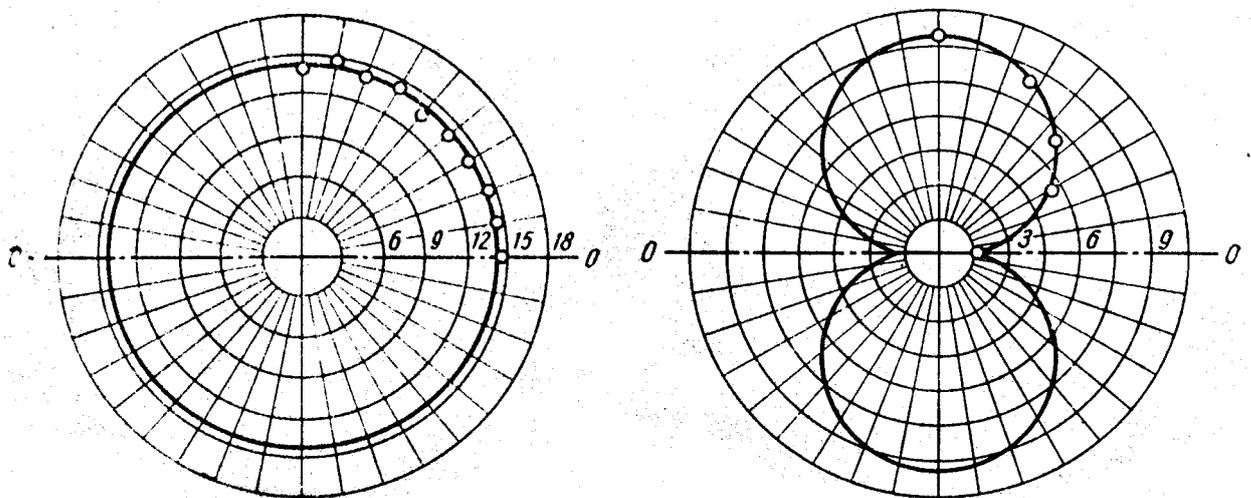


Bild 4: Schnittzahlrose (nach Saltykov)

- a) isometrisch in der Ebene
- b) teilweise orientiert in der Ebene

Im Falle eines isometrischen Grenzflächensystems würde man die auf dem linken Teilbild dargestellte Schnittzahlrose in allen Ebenen finden. Ergäbe sich z.B. auf dem Längsschliff eine Schnittzahlrose entsprechend dem rechten Teilbild und auf dem Querschliff ein konzentrischer Kreis mit dem Mittelpunkt im Ursprung des Koordinatensystems (wie im linken Teilbild dargestellt), dann hätte man es mit einem liniehaft orientierten Grenzflächensystem zu tun.

Für die mittlere Schnittpunktzahl gilt allgemein

$$m = \frac{n}{L} = \frac{n}{\text{MPS} \cdot a} \quad /mm/$$

$$M = \frac{n}{L} = \frac{n}{\text{MPS} \cdot a} \quad \text{in mm}^{-1}$$

m bezogene mittlere Schnittpunktzahl

n Anzahl der Schnittpunkte zwischen Phasen-(Korn-)grenzen und Meßlinie

L Länge der Meßlinie in mm

MPS Meßpunktsumme (aus Zähladresse 21...23 "Epiquant")

a Meßpunktabstand in mm

Wie leicht einzusehen ist, muß neben der Anzahl der Schnittpunkte auch die Länge der abgefahrenen Meßlinie bestimmt werden. Für die Ermittlung beider Größen kann sehr effektiv der automatische Gefügeanalysator "Epiquant" eingesetzt werden. Die gesamte Überfahrungslänge L ergibt sich als Produkt aus der Meßpunktsumme, die aus den Zähladressen 21 bis 23 (für Phase A, B und C) des "Epiquant" abgefragt werden kann, und dem Meßpunktabstand a, der von der gewählten Meßfeldgröße abhängig ist.

Von besonderer Wichtigkeit ist die Richtung der Meßlinie bei der Ermittlung der Schnittpunktzahl. Wie aus der folgenden Übersicht hervorgeht, sind mit Ausnahme des isometrischen Grenzflächensystems definierte Richtungen der Meßlinie, relativ zur Symmetrieachse bzw. -ebene des Gefüges einzuhalten.

Grenzflächen- system	Symbol	Lage der Meßlinie
isometrisch		beliebig
linienhaft orientiert		senkrecht zur Symmetrie- achse
		parallel zur Symmetrieachse
flächenhaft orientiert		senkrecht zur Symmetrie- ebene
		parallel zur Symmetrieebene
linien- und flä- chenhaft orien- tiert		senkrecht zur Symmetrie- achse und senkrecht zur Symmetrieebene
		parallel zur Symmetrieachse und zur -ebene am Längs- schliff
		senkrecht zur Symmetrie- achse und parallel zur Sym- metrieebene am Querschliff

Die Richtungen werden mit einem Symbol als Index extra gekennzeichnet.

Beim linienhaft orientierten und beim flächenhaft orientierten Grenzflächensystem liegen die Hauptrichtungen senkrecht bzw. parallel zur Symmetrieachse bzw. -ebene. Beim linien- und flächenhaft orientierten Grenzflächensystem ist es zweckmäßig, die Meßlinie einmal senkrecht zur Orientierungsachse und -ebene, einmal parallel dazu am Längsschliff und zum dritten parallel zur Orientierungsebene am Querschliff zu führen.

3. Berechnung stereometrischer Gefügeparameter am Beispiel des Austenitgefüges warmgewalzter Bleche

Es bestand die Aufgabe, das Austenitgefüge an Blechen hochfester schweißbarer Baustähle nach thermomechanischer Behandlung bei hoher Temperatur quantitativ zu beschreiben. Zu diesem Zweck wurden zunächst die ehemaligen Austenitkorngrenzen mit einer Ätzmittellösung aus gesättigter wässriger Pikrinsäure und Wofacutan sichtbar gemacht. Anschließend wurde die mittlere Schnittpunktzahl ermittelt. Die graphische Darstellung (Bild 5) weist sowohl am Quer- als auch am Längsschliff deutliche Abweichungen von der Kreisform auf.

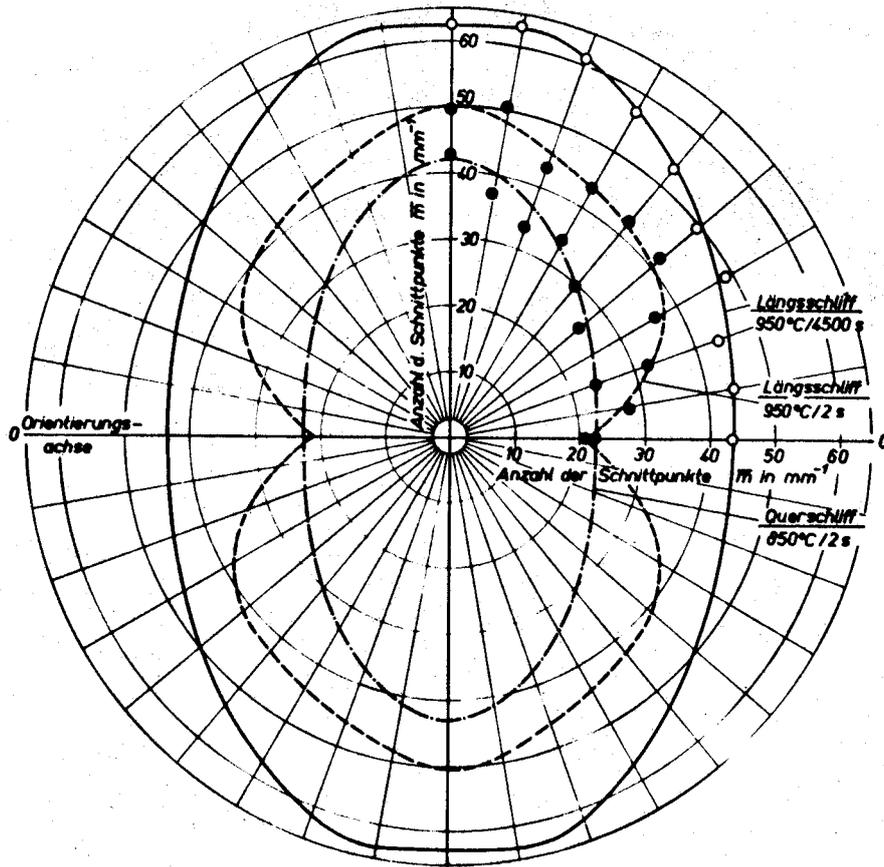
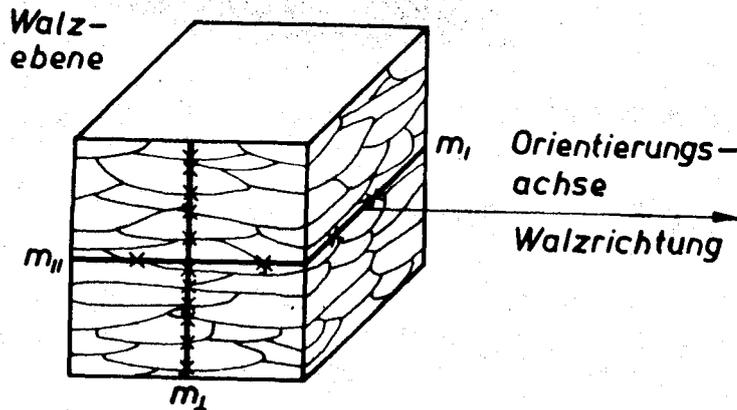


Bild 5: Experimentell ermittelte Schnittzahlrose für Quer- und Längsschliff durch ein warmgewalztes Blech aus hochfestem schweißbarem Baustahl

Die Orientierungsachse stimmt mit der Walzrichtung überein. Als Orientierungsebene wurde die Walzebene ermittelt. Auf Grund dieser Eigenschaften entspricht das Austenitgefüge im vorliegenden Fall dem linien- und flächenhaft orientierten Grenzflächensystem. Die Körner haben annähernd die Form eines dreiaxigen Ellipsoides.

Nach S.A. Saltykov /1, 2/ kann das linien- und flächenhaft orientierte Grenzflächensystem mit Hilfe folgender Parameter beschrieben werden (Bild 6).



$$\Sigma S_{is} = 2 m_{II} \quad (1)$$

$$\Sigma S_{lin} = \frac{\pi}{2} (m_I - m_{II}) \quad (2)$$

$$\Sigma S_{pl} = m_I - m_I \quad (3)$$

$$\Sigma S_{ges} = m_I + (2 - \frac{\pi}{2}) m_{II} + (\frac{\pi}{2} - 1) m_I \quad (4)$$

$$\alpha_{lin} = \frac{\Sigma S_{lin}}{\Sigma S_{ges}} \quad (5)$$

$$\alpha_{pl} = \frac{\Sigma S_{pl}}{\Sigma S_{ges}} \quad (6)$$

ΣS_{is} Spez. Grenzfläche d. isometrischen Teils

ΣS_{lin} Spez. Grenzfläche d. linienhaft orientierten Teils

ΣS_{pl} Spez. Grenzfläche d. flächenhaft orientierten Teils

ΣS_{ges} gesamte spez. Grenzfläche

α_{lin} Grad der linienhaften Orientierung

α_{pl} Grad der flächenhaften Orientierung

Bild 6: Parameter des linien- und flächenhaft orientierten Grenzflächensystems (nach Saltykov)

- spezifische Grenzfläche des isometrischen Teils der Gesamtgrenzfläche (Gl. (1))
- spezifische Grenzfläche des linienhaft orientierten Teils (Gl. (2))

- spezifische Grenzfläche des flächenhaft orientierten Teils (Gl. (3))
- gesamte spezifische Grenzfläche (Gl. (4))
- Grad der linienhaften Orientierung (Gl. (5))
- Grad der flächenhaften Orientierung (Gl. (6))

Grundlage der Berechnung ist in jedem Fall die experimentell ermittelte Schnittpunktzahl m , bezogen auf die Längeneinheit der überfahrenen Meßlänge. Als vorteilhaft hat sich die Berechnung der stereometrischen Gefügedaten aus den experimentellen Werten mit Hilfe der Rechentechnik erwiesen. Bild 7 zeigt anhand des Flußbildes den prinzipiellen Aufbau des Rechnerprogrammes.

Bild 7: Flußbild zur Ermittlung stereometrischer Parameter orientierter Gefüge

Eingabewerte sind die Anzahl der gezählten Schnittpunkte, der gewählte Meßpunktabstand und die vom "Epiquant" ausgegebene Meßpunktsumme in den vorgegebenen Richtungen. Das Programm ist absichtlich allgemein gehalten und berücksichtigt alle möglichen Fälle. Die Kenntnis der Art des Grenzflächensystems wird vorausgesetzt. Für die Berechnung der stereometrischen Daten des linien- und flächenhaft orientierten Systems werden zusätzlich noch Schnittpunktzahl, Meßpunktsumme und Meßpunktabstand als Eingabewerte gefordert, die am Querschleif parallel zur Orientierungsebene zu ermitteln sind. Alle berechneten Werte werden über eine Schreibmaschine ausgegeben und können sofort der Auswertung zugeführt werden.

4. Ergebnisse der Mikroanalyse

Abschließend sollen zur Abrundung nur einige wenige Ergebnisse der quantitativen Gefügeanalyse an hochfesten schweißbaren Baustählen vorgestellt werden. Bild 8 zeigt den Verlauf der spezifischen Grenzfläche und des Grades der flächenhaften Orientierung des Austenitgefüges nach abgeschlossener Verformung in Abhängigkeit von der Haltezeitdauer auf Verformungstemperatur.

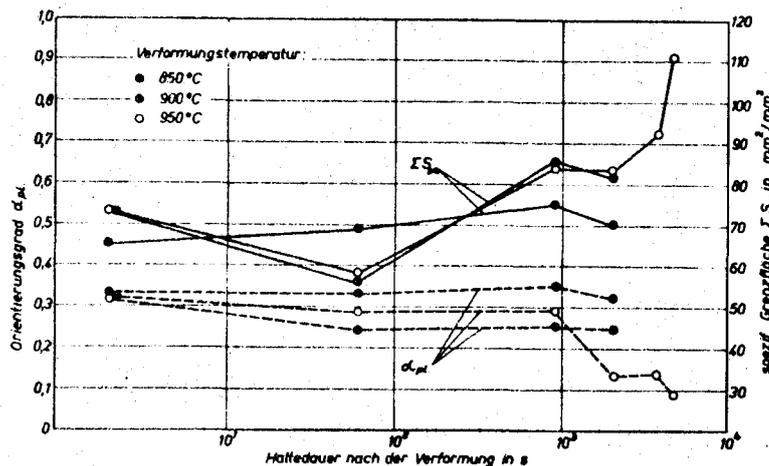


Bild 8: Gesamte spezifische Grenzfläche des Austenits und Grad der flächenhaften Orientierung in Abhängigkeit von der Haltezeitdauer nach der Warmverformung

Bei den niedrigen Verformungstemperaturen von 850 und 900 °C sind im untersuchten Bereich keine eindeutigen Abhängigkeiten erkennbar. Nur bei der höchsten Temperatur werden Veränderungen in der Kornstruktur angezeigt. Wie aus der schematischen Darstellung in Bild 9 hervorgeht, werden diese Veränderungen durch die Rekristallisation des Austenits verursacht.

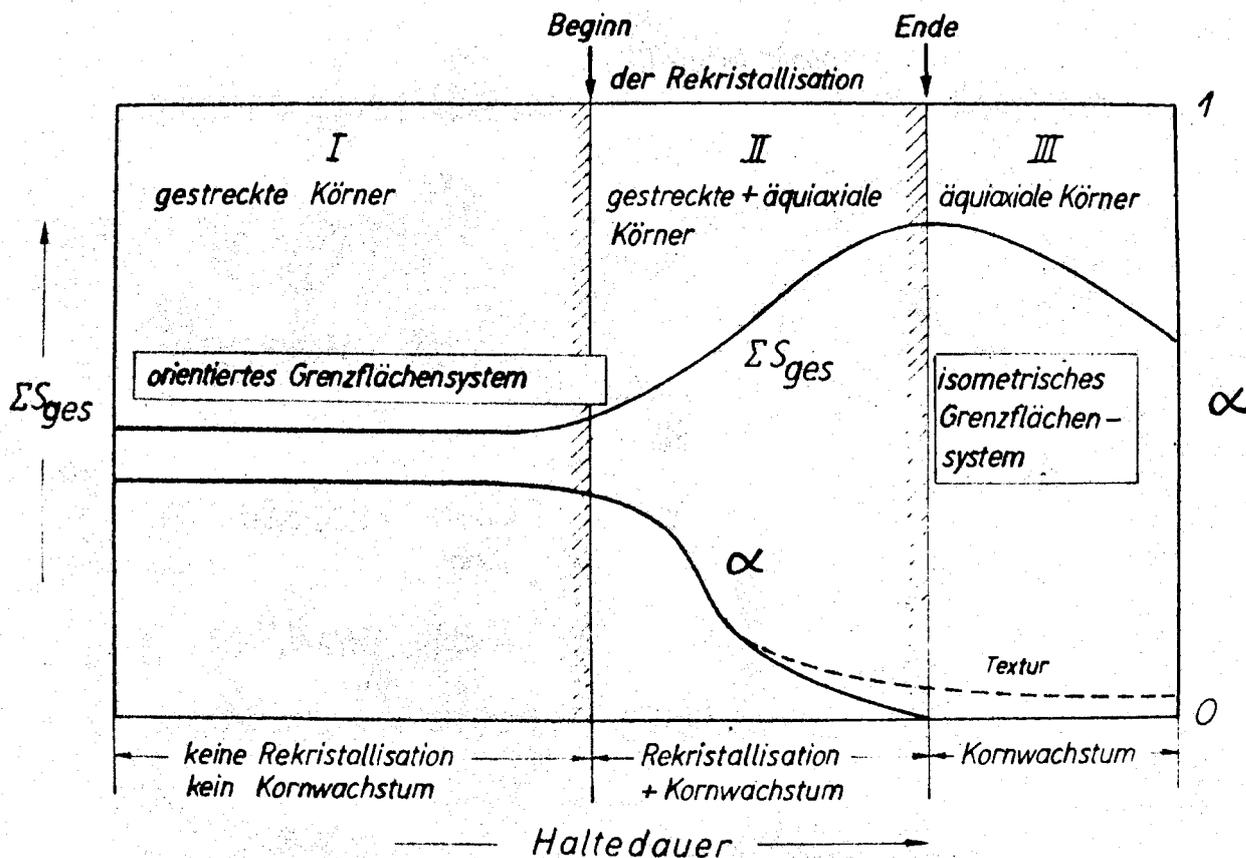


Bild 9: Schematische Darstellung gefügemäßiger Veränderungen im teilweise orientierten Grenzflächensystem in Abhängigkeit von der Haltezeit nach der Warmverformung

Mit zunehmender Haltezeit gewinnt das Kornwachstum der rekristallisierten Körner an Bedeutung.

Aus diesen Ergebnissen konnten Schlußfolgerungen bezüglich der Rekristallisationskinetik und der Entfestigung über Polygonisation des niedriglegierten Baustahls abgeleitet werden.

5. Zusammenfassung

Es kann festgestellt werden, daß jedes beliebige Grenzflächensystem durch die Art der Orientierung, die Größe der spezifischen Grenzfläche und den Orientierungsgrad für praktische Zwecke ausreichend charakterisiert werden kann. Zur Klärung der Eigenschaften des Grenzflächensystems hat sich das Aufstellen der Schnittzahlrose aus Messungen am metallographischen Schliff bewährt. Voraussetzung für die Berechnung der spezifischen Phasengrenzfläche und des Orientierungsgrades ist die mittlere bezogene Schnittpunktzahl. Für die Ermittlung dieser Schnittpunktzahl hat sich der Gefügeanalysator "Epiquant" aus Jena als sehr gut geeignet erwiesen. In Verbindung mit der Anwendung der Rechentechnik zur Verarbeitung der Primärdaten kann rationell geprüft und ausgewertet werden.

Literatur

- /1/ Saltykov, S. A.: Stereometrische Metallographie. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie Leipzig 1974, S. 136 bis 175
- /2/ Saltykov, S. A.: Stereometriceskaja metallografija, Verl. "Metallurgija" Moskau 1976, S. 65 bis 72 und 169 bis 176

Flußbild

