

Werkstofftechnik

Mechanismen der Entfestigung

Vorlesung



Mechanismen der Ver- und Entfestigung

Der Begriff Ver- / Entfestigung

Bei der Ver- und Entfestigung handelt es sich um eine Veränderung der Stoffeigenschaften.
Sie teilen sich wie folgt auf:

Verfestigung

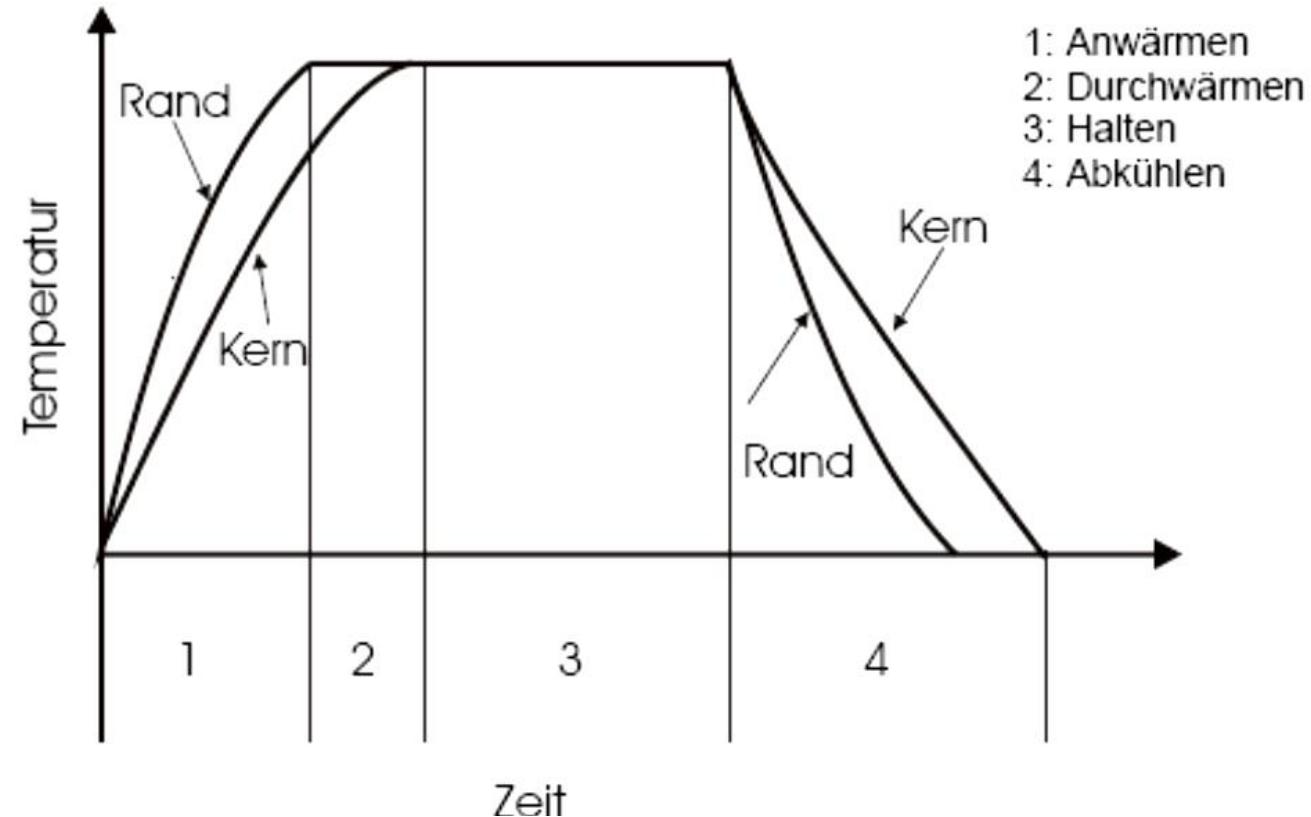
- Kaltverfestigung
- Mischkristallhärtung
- Ausscheidungshärtung
- Dispersionshärtung
- Feinkornhärtung
- **Umwandlungshärtung**

Entfestigung

- Spannungsarmglühen (Erholung)
- Rekristallisationsglühen
- Homogenisieren und Diffusionsglühen

Mechanismen der Entfestigung

Typischer Temperatur-Zeit-Verlauf beim Glühen



Glühen: Besteht aus langsamen Erwärmen, Halten auf Glühtemperatur und langsamen Abkühlen

Mechanismen der Entfestigung

Erholungsglühung

Mechanismen der Entfestigung

Erholungsglühung - Anwendungsfall



Mechanismen der Entfestigung

Erholungsglühung - Anwendungsfall

Zur Verringerung des Eigenspannungszustandes ist eine Erholungsglühung notwendig.



*Entstehung von Bauteileigenspannungen beim Härteten /
Vergüten von Bauteilen*

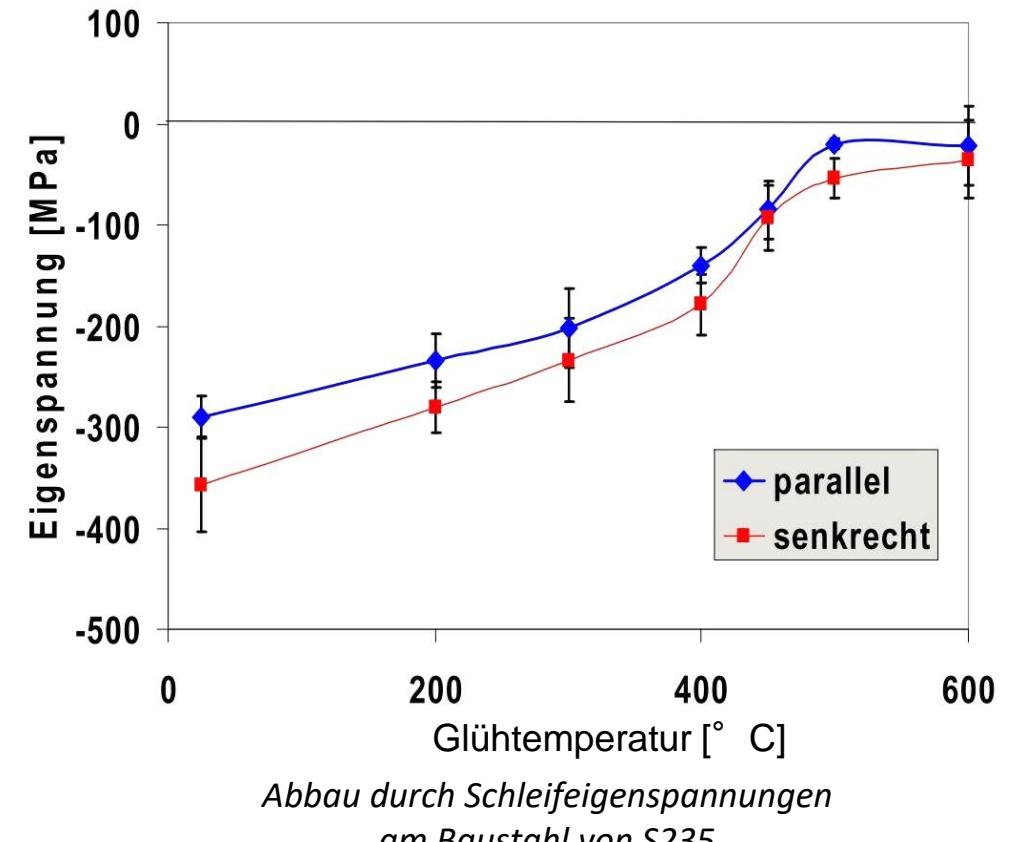


*Entstehung von Schleifeigenspannung aufgrund ungleichmäßiger
Wärmeentwicklung*

Mechanismen der Entfestigung

Auftretende Effekte bei der Erholungsglühung

- Das Erholungsglühen ist eine Wärmebehandlung die unterhalb der Rekristallisationstemperatur des Werkstoffs ($< 0,4 T_S$) erfolgt.
- Die Festigkeit des Werkstoffs wird abgesenkt.
- Der Spannungsabbau erfolgt durch Versetzungsbewegung und kann zu einem Verzug des Bauteils führen.
- Die Abkühlung muss langsam erfolgen, damit keine neuen Spannungen im Bauteil entstehen können (z.B. zwischen dem Kern und der Randschicht des Bauteils).

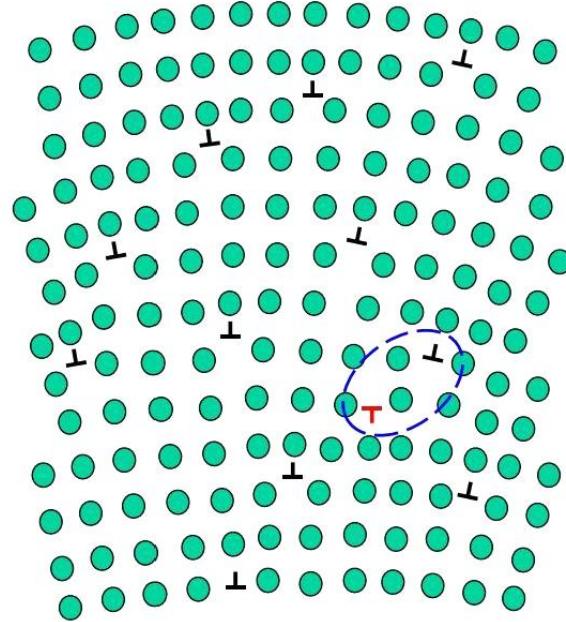


Die Erholung eines Werkstoffs erfolgt ohne im Lichtmikroskop sichtbare Gefügeveränderungen.

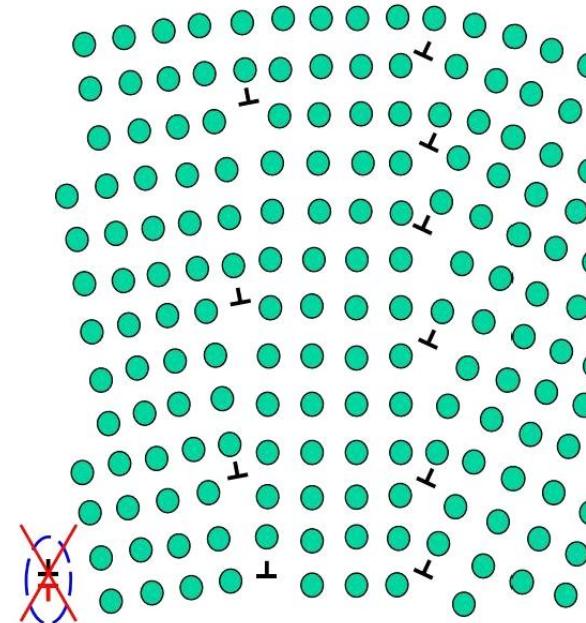
Mechanismen der Entfestigung

Mechanismus der Erholungsglühung

Verformtes Kristallgitter



Zustand nach Erholungsglühung

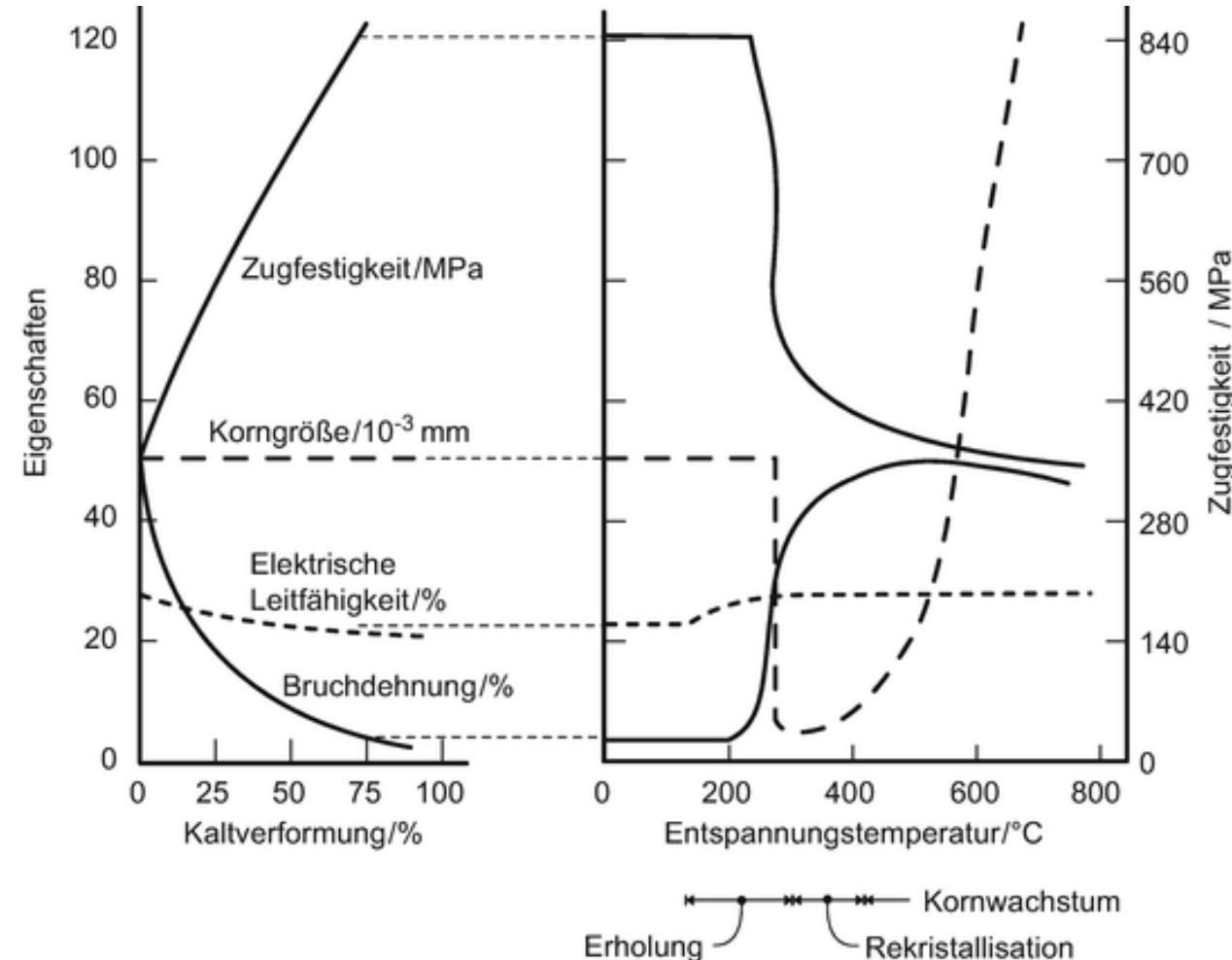


- Abbau von „nulldimensionalen Fehlern“ (u.a. Leerstellen, Zwischengitteratome)
- Abbau bzw. Neuordnung von Versetzungen.
- Es kommt NICHT zur Bildung neuer Körner.

Mechanismen der Entfestigung

Einfluss der Erholungsglühung auf die mechanischen und elektrischen Eigenschaften

*Einfluss der Kaltverfestigung
auf die mechanischen
Eigenschaften einer Cu-Zn35
Legierung*



*Einfluss der Glühtemperatur auf die
mechanischen Eigenschaften einer Cu-
Zn35 Legierung mit einem Umformgrad
von 75 %.*

Mechanismen der Entfestigung

Rekristallisationsglühung

Mechanismen der Entfestigung

Rekristallisationsglühen - Anwendungsfall

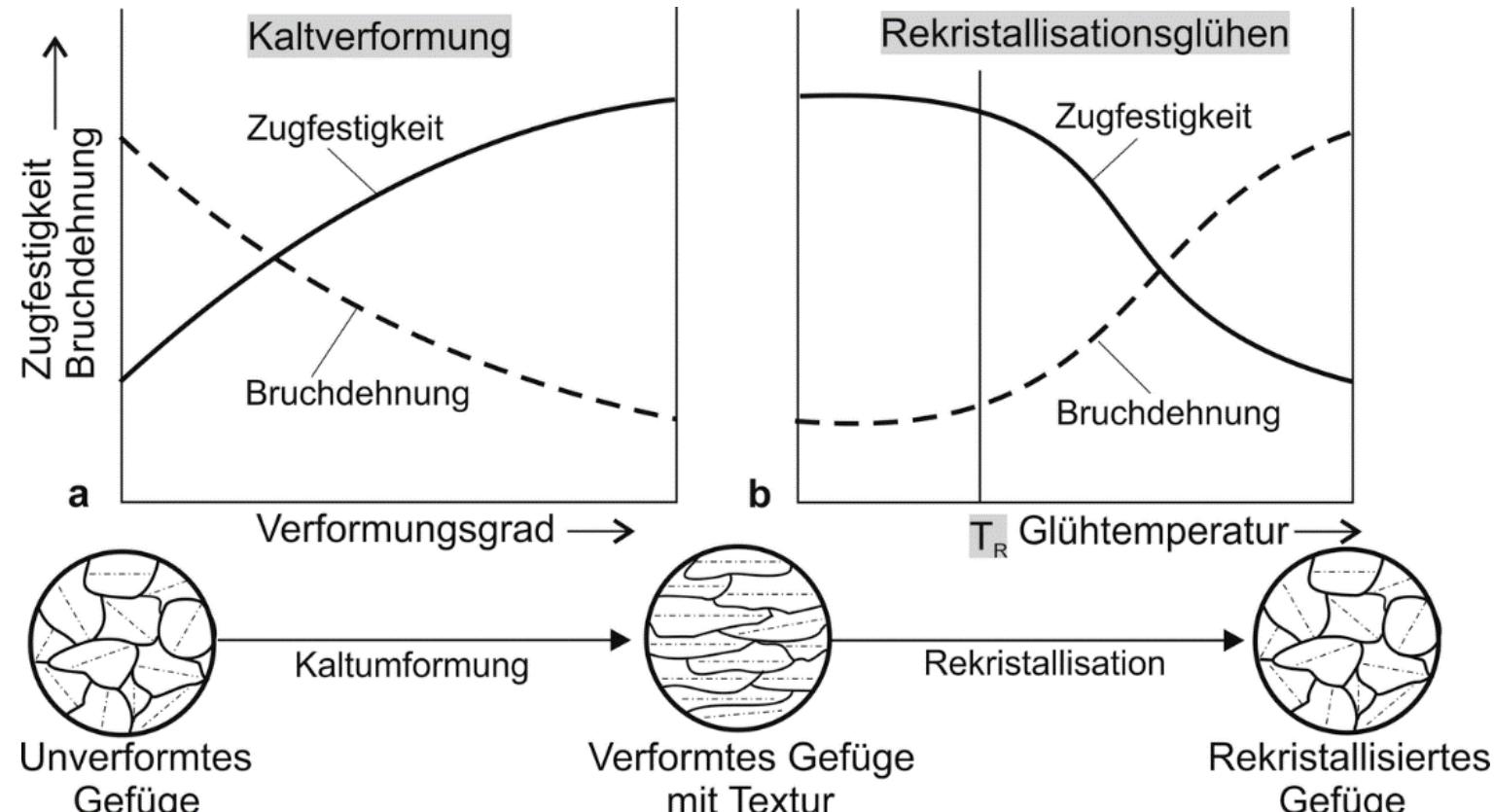
- Während des Kaltumformens besteht die Gefahr einer zu hohen Kaltverfestigung. Das Umformvermögen des Werkstoffs ist daher begrenzt.
- Das Rekristallisationsglühen wird hauptsächlich nach den einzelnen Umformungsstufen beim z.B. Kaltwalzen von Blechen bzw. Kaltziehen von Drähten angewandt.



*Mehrstufiges Kaltumformverfahren und damit einhergehende Kaltverformung bzw.
-verfestigung des Werkstoffs*

Mechanismen der Entfestigung

Auftretende Effekte bei der Rekristallisationsglühung



Einfluss der Rekristallisationsglühung auf die mechanischen Eigenschaften eines kaltverformten Metalls.

Mechanismen der Entfestigung

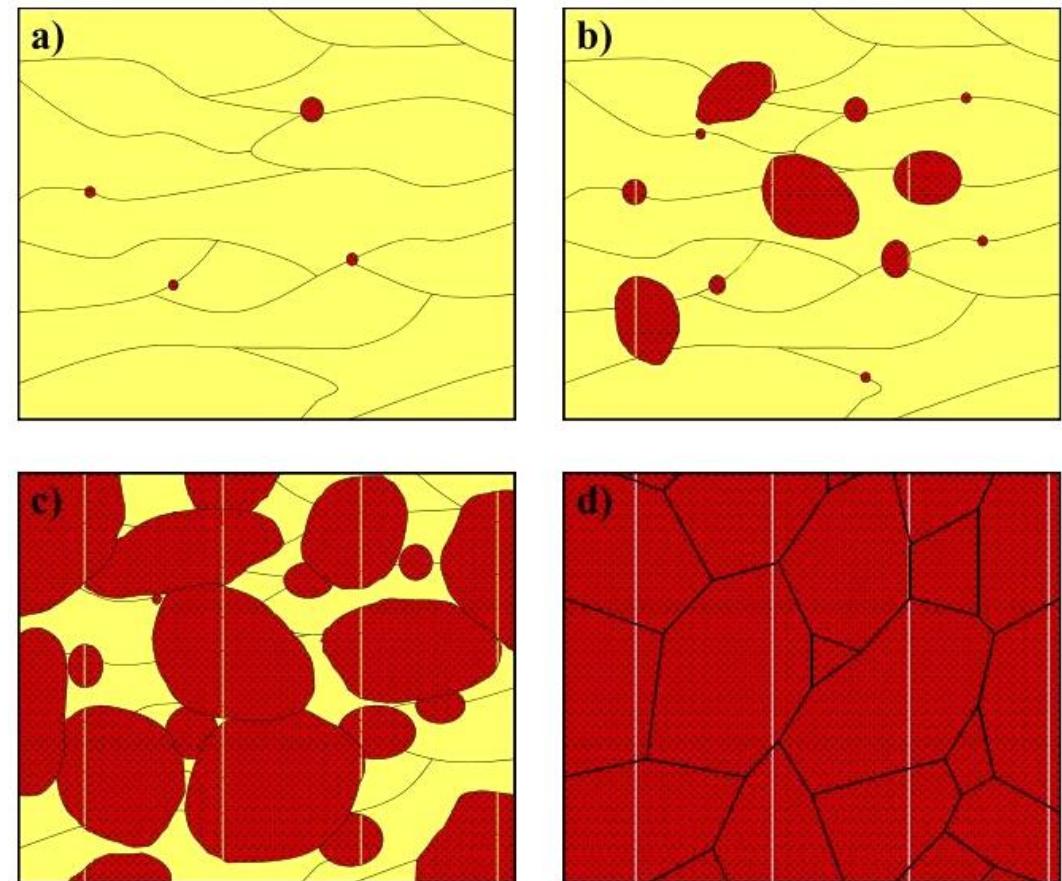
Mechanismus der Rekristallisationsglühung

Folgende Merkmale der Rekristallisation sind zu berücksichtigen:

- Die Rekristallisationstemperatur liegt bei ca. $0,4 T_S$.
- Im Gegensatz zur Erholungsglühung kommt es zur Kornneubildung.
- Der Grad der Kornneubildung ist abhängig vom Verformungsgrad.

Mechanismus

- a) Rekristallisationskeime im kaltumgeformten Gefüge
- b) Wachsen vorhandener Keime zu rekristallisierten Körnern
- c) Zusammenwachsen rekristallisierter Körner
- d) Neues Gefüge aus unverformten Körnern und Ende der Rekristallisation

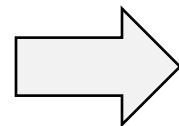


Mechanismus der Rekristallisation

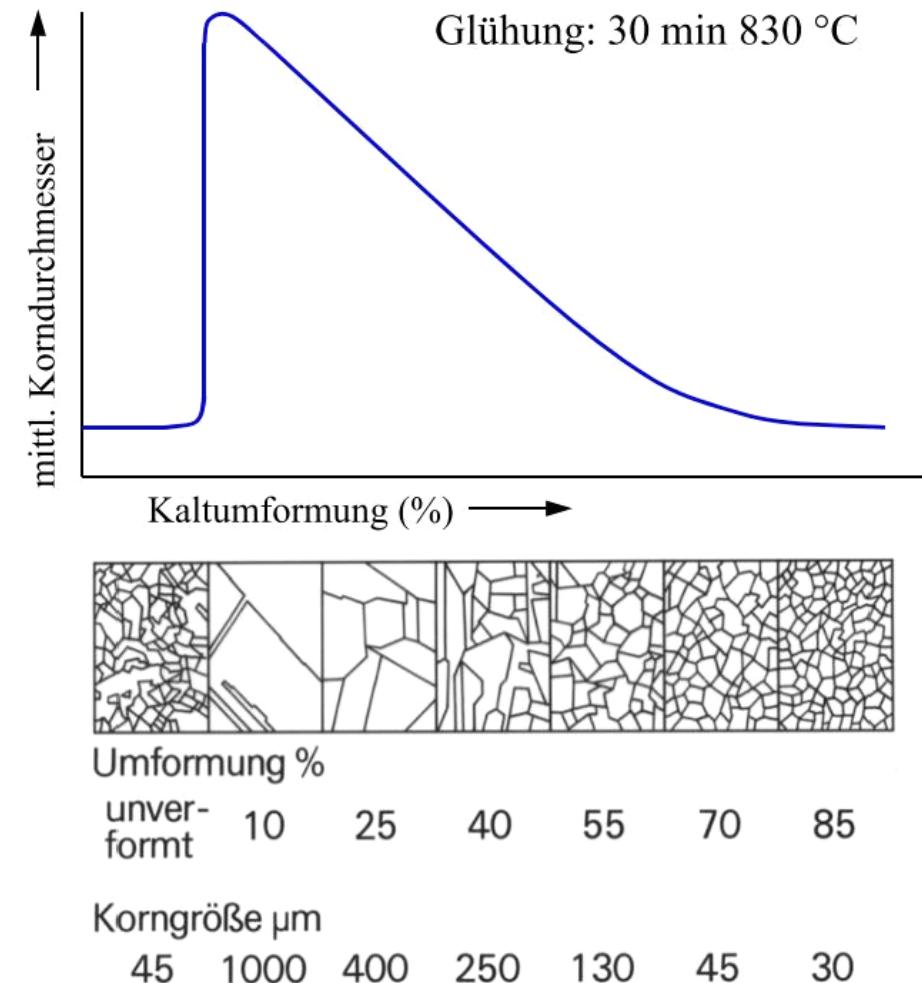
Mechanismen der Entfestigung

Einfluss des Umformgrades auf die Rekristallisation

- Bei sehr geringen Umformgraden findet in der Regel keine Rekristallisation statt.
- Bei kleinen Umformgraden kommt es zur Bildung von sehr groben Körnern, da eine geringe Versetzungsdichte vorliegt.
- Mit zunehmendem Umformgrad kommt es zur Bildung vieler Keime. Diese behindern sich gegenseitig in ihrem Wachstum.



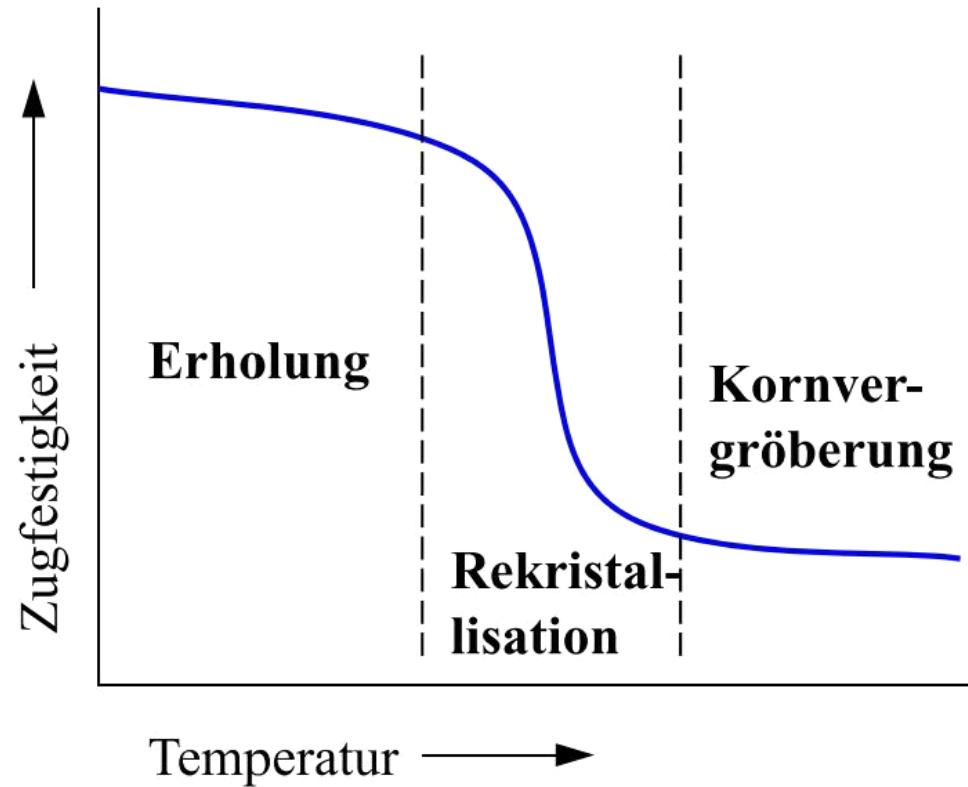
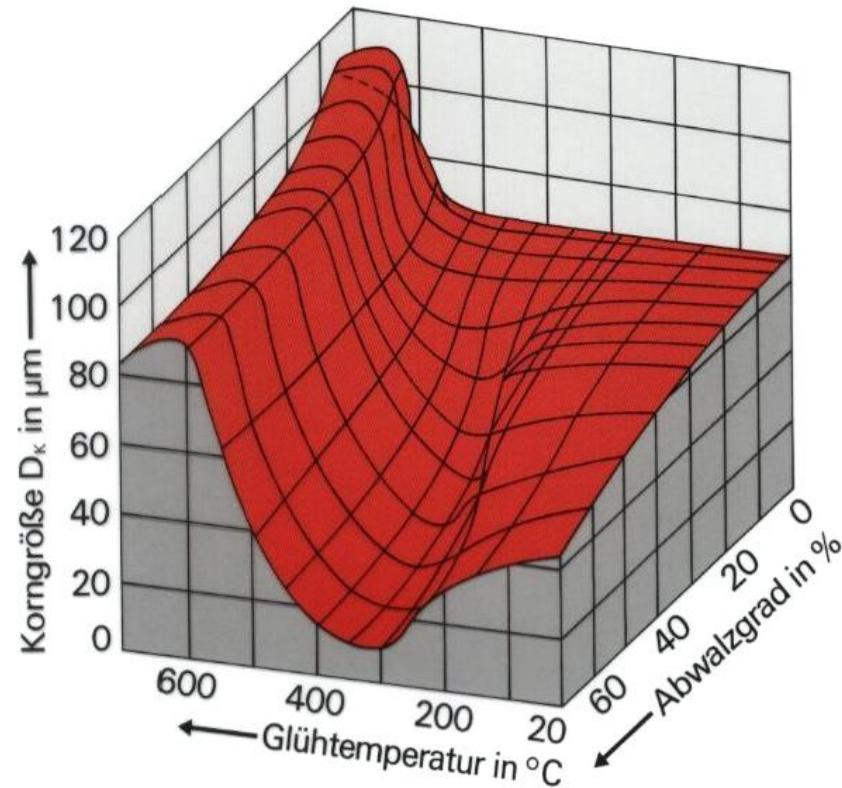
Feine Kornstruktur



Mechanismen der Entfestigung

Einfluss des Umformgrades und der Temperatur auf die Rekristallisation

- Bei der Rekristallisation ist der Festigkeitsabfall deutlich höher als beim Erholungsglühen.
- Sowohl zu hohe Temperaturen als auch geringe Verformungsgrade haben eine Grobkornbildung zur Folge.



Mechanismen der Entfestigung

Dynamische Rekristallisation beim Warmumformen

- Die dynamische Rekristallisation wird bei der Warmumformung eingesetzt. Sie beruht auf dem Effekt, dass Kaltverfestigung und Rekristallisation parallel ablaufen.
- Prozesse in der Warmumformung zeichnen sich durch geringe Umformkräfte und ein höheres Formänderungsvermögen aus. Eine Verfestigung des Werkstoffes findet durch die ständige Rekristallisation nicht statt.
- Nachteilig bei der Warmumformung mit Stahlwerkstoffen ist die erhöhte Zunderbildung und der mögliche Bauteilverzug aufgrund starker Temperaturgradienten.



Warmumformung einer Pleuelstange oberhalb der Rekristallisationstemperatur



Stadienfolge einer geschmiedeten Kurbelwelle

Mechanismen der Entfestigung

Dynamische Rekristallisation

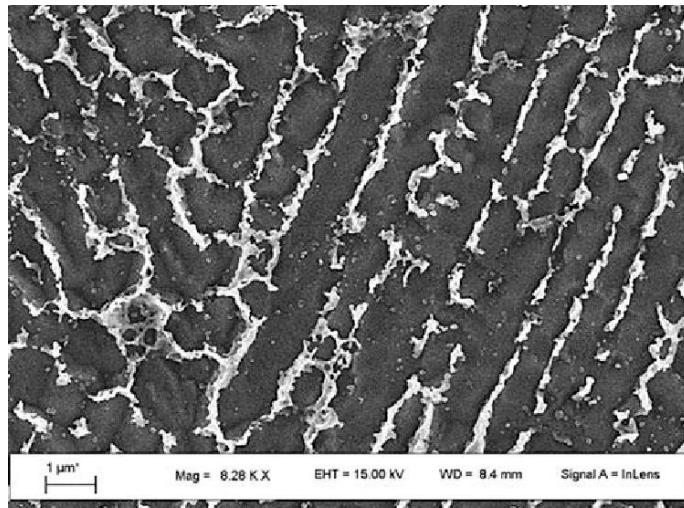


Diffusionsglühung

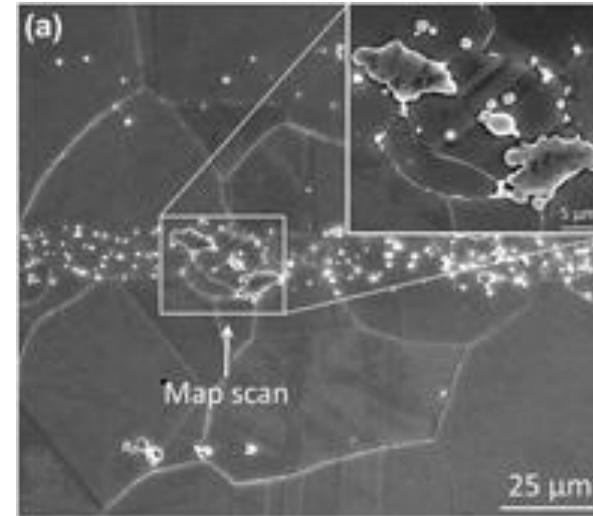
Mechanismus der Entfestigung

Diffusionsglühen und Homogenisieren

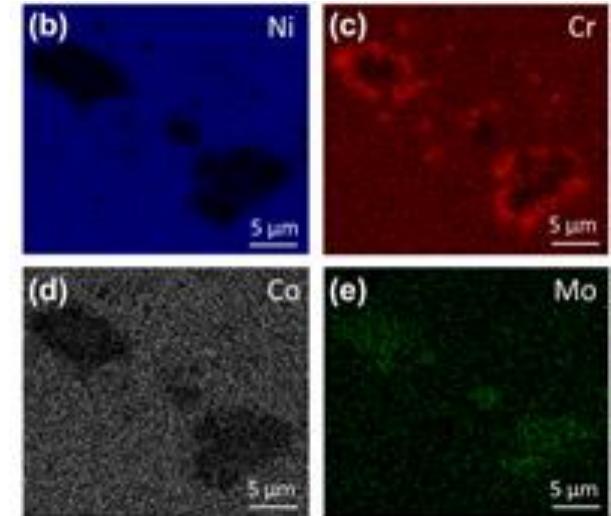
- Beim Homogenisieren handelt es sich um ein Wärmebehandlungsverfahren, welches den Ausgleich von Konzentrationsunterschieden (z.B. Mikroseigerungen) als Ziel hat.
- Temperatur und Glühzeit hängen von den Diffusionskoeffizienten der Legierungen ab und liegen in den meisten Fällen nur knapp unterhalb der Solidustemperatur.
- Das Homogenisieren führt zur einer Grobkornbildung.



Seigerungen in einer additiv (SLM) erzeugten - Inconel 718 Mikrostruktur



Seigerungen in einem Inconel 617 Schweißgut



Mechanismen der Entfestigung

Fragen

- Wir kennen den Unterschied zwischen Rekristallisation und Erholung. Was sind typische Anwendungsfälle dieser Glühverfahren.
- Welche festigkeitssteigernden Mechanismen gibt es?
- Was sind die Voraussetzungen für die Ausscheidungshärtung, wie funktioniert diese und wo wird sie technisch eingesetzt.
- Was zeichnet die Feinkornhärtung aus im Vergleich zu den übrigen festigkeitssteigernden Mechanismen? Was besagt die Hall-Petch Beziehung?
- Bei Reinaluminium ist eine Rekristallisationsglühung durchzuführen. Berechnen Sie die erforderliche Glühtemperatur.
- Welche zwei Möglichkeiten kennen Sie, um bei Aluminium eine Feinkornhärtung zu erzielen.