

1 Relaxation

4 Punkte

Eine Schraube, die unter erhöhter Temperatur im Einsatz ist, wird auf die Spannung σ_i vorgespannt. Wenn die Spannung auf 80% dieses Wertes abgesunken ist, muss die Schraube gemäss Konstruktionsrichtlinie nachgezogen werden.

$$E = 2.1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$$

$$A = 3.7 \cdot 10^{-5} (\text{mm}^2/\text{N})^5/\text{s}$$

$$\vartheta = 480^\circ\text{C}$$

$$n = 5$$

$$Q = 2.3 \cdot 10^5 \text{ J/mol}$$

$$R = 8.31 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$$

- a) Wie gross darf σ_i sein, wenn das Wartungsintervall 200 Tage betragen soll?
- b) Bezeichnen Sie in der nachstehenden Liste mit "+" die Eigenschaften, dank welcher ein Werkstoff weniger kriecht, mit "-" die anderen.
- Grobkorn
 - Phasengemisch (Ausscheidungen)
 - Grosse Stapelfehlerenergie
 - Überstruktur

2 Spannungsrelaxation**5 Punkte**

Eine Schraube wird auf $\sigma = 70 \text{ MPa}$ vorgespannt. Wenn die Spannung auf 75% dieses Wertes abgesunken ist, muss die Schraube nachgespannt werden.

- a) Nach welcher Zeit ist dies nötig?
- b) Was kann man materialseitig tun, um das Kriechen einzudämmen?

$$E = 2.1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$$

$$A = 3.8 \cdot 10^{-5} [(\text{mm}^2/\text{N})^5/\text{s}]$$

$$T = 460^\circ\text{C}$$

$$n = 5$$

$$Q = 2.2 \cdot 10^5 \text{ J/mol}$$

$$R = 8.31 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$$

3 Kriechen**3 Punkte**

Ein Rundstab soll bei einer Temperatur von 720 °C eingesetzt werden und dabei innerhalb eines Jahres die Kriechdehnung $\epsilon_{zul} = 0.001$ nicht überschreiten.

Wie gross darf die Spannung sein, welcher er unterworfen ist?

Universelle Gaskonstante $R = 8.314 \text{ J/mol K}$

Aktivierungsenergie $Q = 2.25 \cdot 10^5 \text{ J/mol}$

Parameter für das Norton-Gesetz:

Konstante $A = 3.26 \cdot 10^{-5} [(\text{mm}^2/\text{N})^5/\text{s}]$

Kriechexponent $n = 5$

4 Wärmebehandlung**5 Punkte**

Beschreiben Sie für Eisenwerkstoffe die Wärmebehandlungsverfahren

- a) Weichglühen
- b) Rekristallisationsglühen
- c) Anlassvergüten

bezüglich

- 1. Temperatur
- 2. ablaufende Vorgänge
- 3. beabsichtigte Wirkung

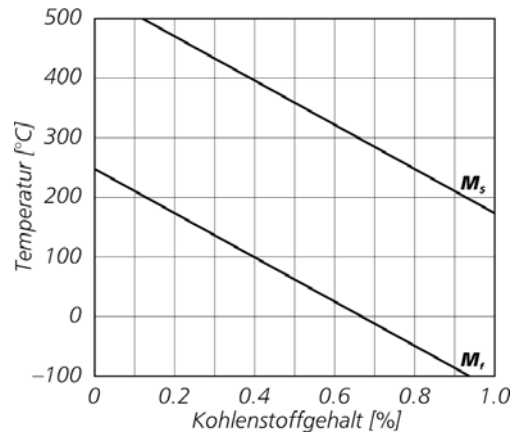
- d) Tragen Sie in der untenstehenden Liste bei jedem Wärmebehandlungsverfahren ein, welchen Einfluss es auf die Festigkeit hat (Senkung, Steigerung, kein Einfluss).

Verfahren	Einfluss auf die Festigkeit
Normalglühen	
Spannungsarmglühen	
Weichglühen	
Härten	
Rekristallisationsglühen	

- e) Welches Glühverfahren schlagen Sie vor, wenn Sie ein Material anschließend kaltumformen wollen?

5 Abschrecken von Stahl

Gegeben ist der Verlauf der Martensit-Start-Temperatur und der Martensit-Finish-Temperatur in Stählen in Abhängigkeit des Kohlenstoffgehalts (siehe Abbildung). Die beiden Stähle A (0.35 % C) und B (0.77 % C) werden aus dem Austenitgebiet schnell auf Raumtemperatur abgeschreckt (keine Bainit-, Perlit- oder Ferritbildung).



Erwarten Sie, daß Restaustenit im Gefüge auftritt:

- beim Stahl A?
- beim Stahl B?
- Falls beim beschriebenen Vorgehen in einem Stahl Restaustenit auftritt, wie kann man diesen eliminieren?

Mögliche Theoriefragen:

- Wie heißen die Temperaturen, welche beim Abschrecken unterschritten werden müssen,
 - damit 1% Martensit entsteht
 - damit 100% Martensit entsteht
- Wie hängen diese Temperaturen vom Kohlenstoffgehalt des Stahles ab
- Ist die Menge des gebildeten Martensits von der Abkühlungsgeschwindigkeit abhängig? (Bedingungen angeben)
- Woraus kann das abgeschreckte Gefüge bei Raumtemperatur bestehen?
- Wie wirken sich elastische und plastische Verformungen des Werkstoffes aus?

1 Relaxation

4 Punkte

Eine Stahlschraube, die unter erhöhter Temperatur im Einsatz ist, wird auf die Spannung σ_i vorgespannt. Wenn die Spannung auf 80% dieses Wertes abgesunken ist, muss die Schraube gemäss Konstruktionsrichtlinie nachgezogen werden.

$E = 2.1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$
 $A = 3.7 \cdot 10^{-5} (\text{mm}^2/\text{N})^5/\text{s}$
 $\vartheta = 480^\circ\text{C}$
 $n = 5$
 $Q = 2.3 \cdot 10^5 \text{ J/mol}$
 $R = 8.31 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$

- a) Wie gross darf σ_i sein, wenn das Wartungsintervall 200 Tage betragen soll?
 b) Bezeichnen Sie in der nachstehenden Liste mit "+" die Eigenschaften, dank welcher ein Werkstoff weniger kriecht, mit "-" die anderen.
- Grobkorn
 - Phasengemisch (Ausscheidungen)
 - Grosse Stapelfehlerenergie
 - Überstruktur

Lösung

a)

$$B = A \cdot \exp\left(\frac{-Q}{RT}\right) \quad B = 3.7 \cdot 10^{-5} \cdot \exp\left(\frac{-2.3 \cdot 10^5 \text{ J/mol}}{8.31 \text{ J/mol}\cdot\text{K} \cdot (480 + 273) \text{ K}}\right) = 4.03 \cdot 10^{-21} (\text{mm}^2/\text{N})^5/\text{s}$$

Formel {0.5}_{0.5}, Wert {0.5}₁

$$\frac{1}{\sigma^{n-1}} - \frac{1}{\sigma_i^{n-1}} = (n-1) \cdot B \cdot E \cdot t \Rightarrow \frac{1}{(x \cdot \sigma_i)^{n-1}} - \frac{1}{\sigma_i^{n-1}} = (n-1) \cdot B \cdot E \cdot t$$

$$\sigma_i = \left[\left(\frac{1}{(x)^{n-1}} - 1 \right) \frac{1}{(n-1) \cdot B \cdot E \cdot t} \right]^{\frac{1}{n-1}} = \left[\frac{\frac{1}{(0.8)^{5-1}} - 1}{(5-1) \cdot 4.03 \cdot 10^{-21} \frac{1}{\text{s}} \left(\frac{\text{mm}^2}{\text{N}} \right)^5 \cdot 2.1 \cdot 10^5 \text{ MPa} \cdot 1.73 \cdot 10^7 \text{ s}} \right]^{\frac{1}{5-1}} = 70.5 \text{ MPa}$$

Formel {1.5}_{2.5}, Wert {0.5}₃

b) "+" kleine Kriechneigung, "-" grosse Kriechneigung.

- + Grobkorn {0.25}_{3.25}
- + Phasengemisch (Ausscheidungen) {0.25}_{3.5}
- Grosse Stapelfehlerenergie {0.25}_{3.75}
- + Überstruktur {0.25}₄

2 Spannungsrelaxation**5 Punkte**

Eine Schraube wird auf $\sigma = 70 \text{ MPa}$ vorgespannt. Wenn die Spannung auf 75% dieses Wertes abgesunken ist, muss die Schraube nachgespannt werden.

- a) Nach welcher Zeit ist dies nötig?
 b) Was kann man materialseitig tun, um das Kriechen einzudämmen?

$$\begin{aligned} E &= 2.1 \cdot 10^5 \text{ MPa} \\ A &= 3.8 \cdot 10^{-5} \text{ [(mm}^2/\text{N)}^5/\text{s}] \\ T &= 460^\circ\text{C} \\ n &= 5 \\ Q &= 2.2 \cdot 10^5 \text{ J/mol} \\ R &= 8.31 \text{ J/mol}\cdot\text{K} \end{aligned}$$

Lösung

a)

$$T = 460 + 273 = 733 \text{ K}$$

$$B = A \cdot \exp\left(\frac{-Q}{RT}\right) = 3.8 \cdot 10^{-5} \cdot \exp\left(\frac{-2.2 \cdot 10^5 \text{ J/mol}}{8.31 \text{ J/mol}\cdot\text{K} \cdot 733 \text{ K}}\right) = 7.84 \cdot 10^{-21} \text{ (mm}^2/\text{N)}^5/\text{s}$$

Formel {1}_1 Wert {1}_2

$$\frac{1}{\sigma^{n-1}} - \frac{1}{\sigma_i^{n-1}} = (n-1) \cdot B \cdot E \cdot t \quad \text{Formel \{0.5\}_{2.5}}$$

$$t = \frac{1}{B \cdot E \cdot (n-1)} \cdot \frac{1}{\sigma_i^{n-1}} \cdot \left(\frac{1}{0.6^{n-1}} - 1\right)$$

$$= \frac{1}{7.84 \cdot 10^{-21} \text{ (mm}^2/\text{N)}^5/\text{s} \cdot 2.1 \cdot 10^5 \text{ MPa} \cdot 4} \cdot \frac{1}{70^4 \text{ MPa}^4} \cdot \left(\frac{1}{0.75^4} - 1\right) = 1.367 \cdot 10^7 \text{ s} = 0.433 \text{ a}$$

Formel {1}_{3.5} Wert {1}_{4.5}

b) *Kriechfeste Werkstoffe:*

- *Hoher Schmelzpunkt*
- *Phasengemisch mit feinverteilter Phase (Ausscheidungen), temperaturbeständiges Gefüge.*
- *Kleine Stapelfehlerenergie: Quergleiten und Klettern erschwert.*
- *Grobkorn*

$$4 \times \{0.25\}_{5.5}$$

maximal 5 Punkte

3 Kriechen**3 Punkte**

Ein Rundstab soll bei einer Temperatur von 720 °C eingesetzt werden und dabei innerhalb eines Jahres die Kriechdehnung $\varepsilon_{zul} = 0.001$ nicht überschreiten.

Wie gross darf die Spannung sein, welcher er unterworfen ist?

Universelle Gaskonstante $R = 8.314 \text{ J/mol K}$

Aktivierungsenergie $Q = 2.25 \cdot 10^5 \text{ J/mol}$

Parameter für das Norton-Gesetz:

Konstante $A = 3.26 \cdot 10^{-5} [(\text{mm}^2/\text{N})^5/\text{s}]$

Kriechexponent $n = 5$

Lösung:

$$a) \dot{\varepsilon} = A \cdot \sigma^n \cdot \exp\left(-\frac{Q}{R \cdot T}\right) \Rightarrow \varepsilon_{zul} \geq \varepsilon = \dot{\varepsilon} \cdot t = A \cdot \sigma^n \cdot t \cdot \exp\left(-\frac{Q}{R \cdot T}\right) \quad \text{Basisformel } \{1\}_1$$

$$\Rightarrow \sigma = \left(\frac{\varepsilon_{zul}}{A \cdot t \cdot \exp\left(-\frac{Q}{R \cdot T}\right)} \right)^{\frac{1}{n}} \quad \text{Umformung } \{1\}_2$$

$$\Rightarrow \sigma = \left(\frac{0.001}{3.26 \cdot 10^{-5} \left(\frac{\text{mm}^2}{\text{N}}\right)^{-5} \cdot \frac{1}{\text{s}} \cdot 3.15 \cdot 10^7 \text{ s} \cdot \exp\left(-\frac{2.25 \cdot 10^5 \text{ J/mol}}{8.314 \text{ J/molK} \cdot (720 + 273) \text{ K}}\right)} \right)^{\frac{1}{5}}$$

$$\Rightarrow \sigma = \left(\frac{0.001}{3.26 \cdot 10^{-5} \left(\frac{\text{mm}^2}{\text{N}}\right)^{-5} \cdot \frac{1}{\text{s}} \cdot 3.15 \cdot 10^7 \text{ s} \cdot \exp(-27.25)} \right)^{\frac{1}{5}} = 14.6 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Wert } \{1\}_3$$

....

4 Wärmebehandlung**5 Punkte**

Beschreiben Sie für Eisenwerkstoffe die Wärmebehandlungsverfahren

- a) Weichglühen
- b) Rekristallisationsglühen
- c) Anlassvergüten

bezüglich

1. Temperatur
2. ablaufende Vorgänge
3. beabsichtigte Wirkung

*Lösung*a) *Weichglühen*

1. Meist unterhalb A_{C1} , bei übereutektoiden Stählen Pendeln um A_{C1} {0.5}_{0.5}
2. der lamellare und der Korngrenzen-Zementit bilden Kugeln. {0.5}₁
3. bessere Zerspanbarkeit, (Feinschneidbarkeit) (Umformbarkeit), Härbarkeit. {0.5}_{1.5}

b) *Rekristallisationsglühen*

1. Unterhalb A_{C1} , Mindesttemperatur erforderlich ($0.4 T_S$) {0.5}₂
2. Kornneubildung ohne Phasenumwandlung. {0.5}_{2.5}
3. Aufhebung der Verfestigung durch Kaltumformung {0.5}₃
(Mindestkaltumformung (1-5%), (für erneutes Kaltumformen))

c) *Anlassvergüten*

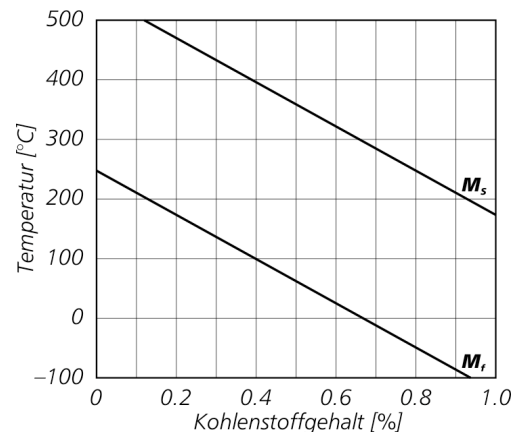
1. Oberhalb A_{C3} (A_{cm}), Abschrecken unter M_S . Erwärmen (auf ca. 400-650 °C) {0.5}_{3.5}
2. Austenitisieren, Bildung von tetragonalem Martensit, Bildung von kubischem Martensit aus diesem und aus Restaustenit. Bildung von ϵ -Karbonid und ev. Sonderkarbiden. {1}_{4.5}
3. Härte und Zähigkeit. {0.5}₅

- | | |
|--------------------------|---------------------|
| d) Normalglühen | Steigerung |
| Spannungsarmglühen | kein Einfluss |
| Weichglühen | Senkung |
| Härten | (starke) Steigerung |
| Rekristallisationsglühen | Senkung |

- e) Für Kaltumformung ist ein *weichgeglühtes* Ausgangsgefüge ideal: es besitzt eine tiefe Festigkeit und hohe Duktilität.

5 Abschrecken von Stahl

Gegeben ist der Verlauf der Martensit-Start-Temperatur und der Martensit-Finish-Temperatur in Stählen in Abhängigkeit des Kohlenstoffgehalts (siehe Abbildung). Die beiden Stähle A (0.35 % C) und B (0.77 % C) werden aus dem Austenitgebiet schnell auf Raumtemperatur abgeschreckt (keine Bainit-, Perlit- oder Ferritbildung).



Erwarten Sie, daß Restaustenit im Gefüge auftritt:

- beim Stahl A?
- beim Stahl B?
- Falls beim beschriebenen Vorgehen in einem Stahl Restaustenit auftritt, wie kann man diesen eliminieren?

Lösung:

- kein Restaustenit
- Restaustenit (M_f liegt unter Raumtemperatur)
- Durch Abschrecken unter M_f oder Anlassen.

Lösung zu den Theoriefragen

- Martensitstart-Temperatur M_S
 - Martensitfinish-temperatur M_F
- Höherer Kohlenstoffgehalt senkt M_S und M_F
- Nein, wenn die Abkühlgeschwindigkeit gross genug ist, dass die Nasen der Diffusionsvorgänge nicht geschnitten werden (dann nur abhängig davon, um wieviel M_S unterschritten wurde);
sonst ja.
- Martensit, (Restaustenit),
allenfalls Bainit (Zwischenstufengefüge) Perlit, Ferrit.
- elastische und plastische Verformungen des Werkstoffes bewirken eine **Erhöhung** der Martensitstarttemperatur.