

Masterklausur

„Werkstofftechnik der Stähle“

23.03.2018

Name, Vorname:

Matrikelnummer:

Erklärung: Ich fühle mich gesund und in der Lage an der vorliegenden Prüfung teilzunehmen.

Unterschrift:

| Aufgabe | Punkte: | Erreichte Punkte: | Punkte nach Einsicht (zusätzliche Punkte) |
|---------|---------|-------------------|--|
| 1 | 11,5 | | |
| 2 | 7,5 | | |
| 3 | 9 | | |
| 4 | 8 | | |
| 5 | 6 | | |
| 6 | 8 | | |
| 7 | 10 | | |
| 8 | 10 | | |
| 9 | 7 | | |
| 10 | 12 | | |
| 11 | 5 | | |
| 12 | 6 | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| Summe | 100 | | |

Zum Bestehen der Klausur werden 44 % der Punkte benötigt

Aufgabe 1**Zugversuch (Kripak)****11,5 Punkte**

Der Zugversuch ist das Standardverfahren zur Ermittlung der mechanischen Eigenschaften.

- a) Spannung-Dehnung-Kurven werden aus experimentell ermittelten Kraft-Zeit-Kurven berechnet werden. Geben Sie die für diese Umrechnung zusätzlich erforderlichen Ausgangsinformationen sowie die formelmäßigen Zusammenhänge zur Berechnung der (i) unteren Streckgrenze, (ii) der Dehnung, (iii) des Elastizitätsmoduls und (iv) der Brucheseinschnürung an. (4,5 Punkte)
- b) Skizzieren Sie in ein Diagramm den Verlauf der Spannung über der Dehnung für einen unlegierten Baustahl mit einer unteren Streckgrenze von $R_{eL} = 460 \text{ MPa}$.
- (i) im normalgeglühten Zustand, langer Proportionalstab
- (ii) im normalgeglühten Zustand, kurzer Proportionalstab
- und begründen Sie die Kurvenverläufe stichpunktartig. (3 Punkte)

- c) Wie werden Fließgrenze und Verfestigung ($d\sigma/d\varepsilon$) durch die Temperatur beeinflusst? Erklären Sie dieses anhand des Fließkurvenverlaufs für unterschiedliche Temperaturen für einen kubisch-flächenzentrierten Werkstoff und einen kubisch-raumzentrierten Werkstoff. (4 Punkte)

Aufgabe 2**Heißzugversuch (Kripak)****7,5 Punkte**

- a) In Abbildung 1 und Abbildung 2 sind die mechanischen Kennwerte verschiedener Heißzugversuche als Funktion der Prüftemperatur für zwei verschiedene Werkstoffe aufgetragen. Beschriften Sie für jeden der beiden Werkstoffe beide Y-Achsen. Welchen der beiden Werkstoffe hat eine bessere Strangvergießbarkeit? Begründen Sie Ihre Antwort? (3 Punkte)

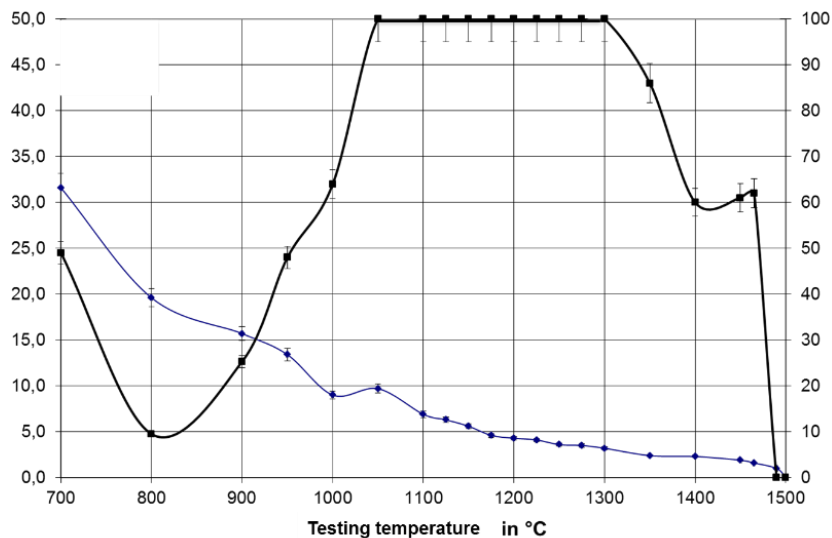


Abbildung 1: Werkstoff A / Material A

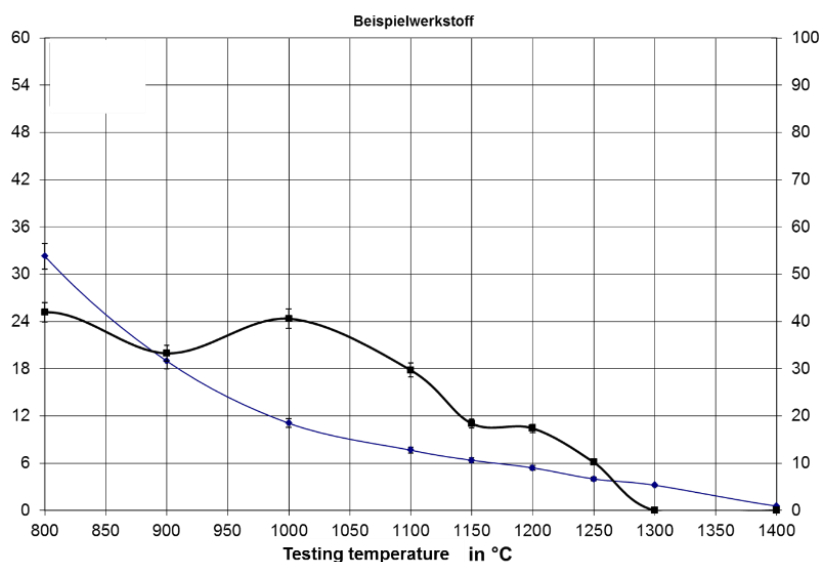


Abbildung 2 Werkstoff B / Material B

Platz für a)

- b) Abbildung 3 zeigt Heißzugproben von Werkstoff A die bei 950°C, 1200°C und 1500°C geprüft wurden. Ordnen Sie die Proben den entsprechenden Prüftemperaturen zu. (1,5 Punkte)

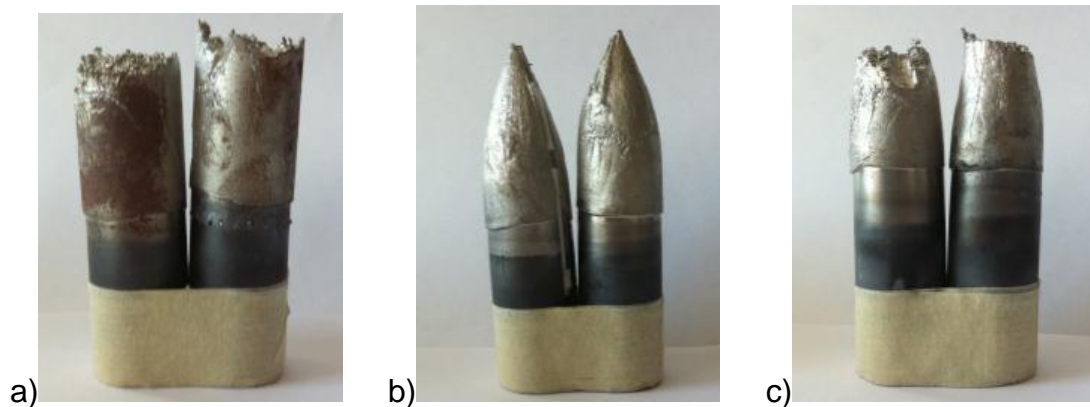


Abbildung 3: Heißzugproben bei verschiedenen Temperaturen

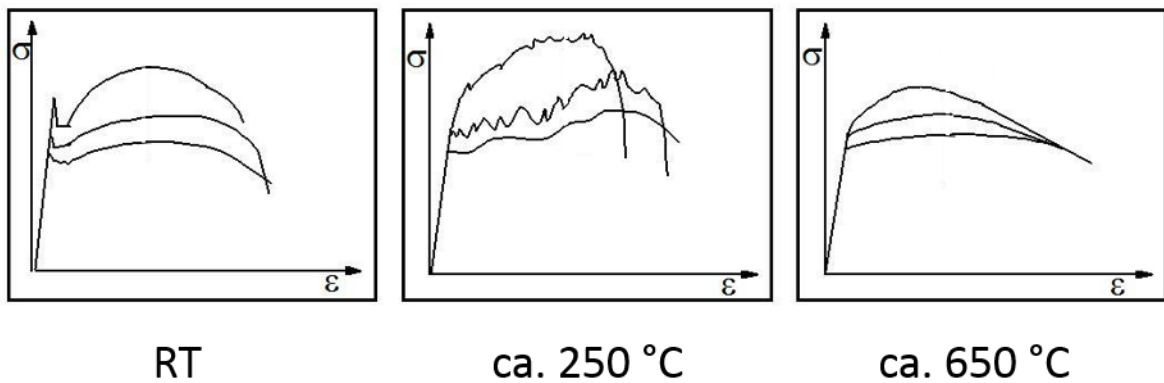
- c) Erläutern Sie warum es in dem Temperaturbereich von 800-900°C zu einem Minimum der Kurve kommt. (1 Punkt)

- d) Benennen Sie die 2 charakteristischen Temperaturen die für Werkstoff B bei 1300°C und 1400°C liegen. Was ist die Konsequenz wenn die Temperaturspanne ΔT zwischen diesen Temperaturen groß ist? (2 Punkte)

Aufgabe 3**Dehnratenabhängigkeit (Kriepak)****9 Punkte**

Bei der Betrachtung der Einflussgrößen auf das Festigkeits- und Fließverhalten von metallischen Werkstoffen ist der Einfluss der Temperatur von entscheidender Bedeutung. In der untenstehenden **Abbildung 1** sind die Spannung-Dehnung-Kurven für drei charakteristische Temperaturbereiche und unterschiedlichen Dehnraten dargestellt.

- a) In jedem der drei Temperaturbereiche in Abbildung 1 sind drei Spannungs-Dehnungskurven aufgeführt. Ordnen Sie für die Spannungs-Dehnungskurven die jeweiligen Dehnraten ($\dot{\epsilon}_1 > \dot{\epsilon}_2 > \dot{\epsilon}_3$) zu. (3 Punkte)

**Abbildung 1/Figure1**

- b) Was ist für den sprunghaften Kurvenverlauf in bei ca. 250 °C verantwortlich?
(2 Punkte)
- c) Erläutern Sie kurz die metallphysikalischen Mechanismen und Vorgänge während der Verformung bei RT und bei ca. 650 °C. (4 Punkte)

Aufgabe 4 Thermomechanische Behandlung (Sharma) 8 Punkte

Durch die Thermomechanische Behandlung können bereits während der Warmumformung gewünschte Materialeigenschaften eingestellt werden.

- a) Nennen und erläutern Sie in Stichworten die metallkundlichen Mechanismen zur Festigkeitssteigerung. Welche Dimension besitzen die Gitterfehler? Wie werden dadurch die Zähigkeitseigenschaften beeinflusst? (5 Punkte)
- b) Mit welchen Legierungselementen wird in thermomechanisch behandelten Stählen ein Bereich des „nicht-rekristallisierenden Austenits“ eingestellt? Wie wirken diese jeweils? (3 Punkte).

Aufgabe 6 **Bruchmechanismen (Novokshanov)** **8 Punkte**

- a) Nennen Sie das werkstoffmechanische Kriterium für Gleitbruch und beschreiben Sie die Stadien beim Gleitbruch! (4 Punkte)
- b) Beschreiben Sie kurz das makroskopische Bruchaussehen von Gleitbruch- und Spaltbruchflächen. (2 Punkte)
- c) Nennen Sie den Unterschied zwischen transkristallinem und interkristallinem Rissverlauf (2 Punkte)

Aufgabe 7 Kerbschlagbiegeversuch (Novokshanov) 10 Punkte

- a) Beschreiben Sie den „normalen“ Kerbschlagbiegeversuch (ohne Instrumentierung). Gehen Sie dabei auf Probenform, Messwerte und sonstige Versuchsrandbedingungen ein. (2 Punkte)
- b) Beschreiben Sie, wie beim Kerbschlagbiegeversuch ohne Instrumentierung die Schlagarbeit ermittelt werden kann. Wie wird, im Gegensatz hierzu, die Schlagarbeit im instrumentierten Kerbschlagbiegeversuch ermittelt? (4 Punkte)

- c) Zeichnen Sie eine Ergebniskurve aus einem instrumentierten Kerbschlagbiegeversuch für eine sehr spröde und eine sehr zähe Stahlgüte. Beschriften Sie die Achsen. (4 Punkte)

Aufgabe 8 Schwingende Belastung (Pöpperlova) 10 Punkte

Der grundlegende technische Ermüdungsfestigkeitsversuch ist der Einstufen-Schwingversuch nach Wöhler.

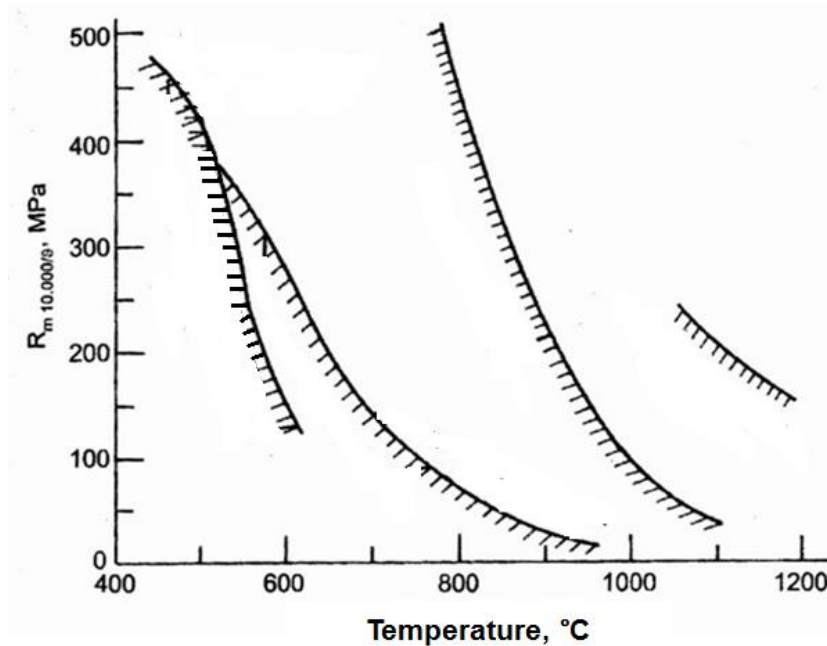
- a) Skizzieren Sie das Ergebnis des Einstufenschwingversuchs im sogenannten Wöhler-Diagramm (beachten Sie die Achsenbeschriftungen) und stellen Sie den Einfluss von drei Mittelspannungen ($\sigma_m < 0$, $\sigma_m = 0$, $\sigma_m > 0$) im demselben dar. Kennzeichnen Sie außerdem die Wechselfestigkeit σ_w . (5 Punkte)

- b) Bei elastisch-plastischer Beanspruchung im Wöhler-Versuch mit ungekerbten Proben tritt ein nichtlinearer Zusammenhang zwischen Spannung und Dehnung auf. Skizzieren Sie (i) eine stabilisierte Hystereseschleife für verschiedene Beanspruchungshöhen und (ii) eine zyklische Spannung-Dehnung-Kurve. Wie wird die zyklische Spannung-Dehnung-Kurve ermittelt? (5 Punkte)

Aufgabe 9 **Hochtemperatureigenschaften (Sharma)** **7 Punkte**

- a) Wie unterscheidet sich die Mischkristallverfestigung bei Raumtemperatur und bei erhöhter Temperatur (~600 °C)? Nehmen Sie Bezug auf die Größe der Legierungselemente! (1 Punkt)
- b) Welche Legierungselemente werden für die Mischkristallverfestigung bei Raumtemperatur bevorzugt? Nennen Sie zwei! (1 Punkt)
- c) Welche Legierungselemente werden für die Mischkristallverfestigung bei erhöhter Temperatur (~600 °C) bevorzugt? Nennen Sie zwei! (1 Punkt)

- d) Ordnen Sie die Legierungen (i-iv) den passenden Zeitstandfestigkeitskurven in Abbildung 1 zu! (2 Punkte)



Abbildung/Figure 1

- e) In modernen Kraftwerksstählen wird bei einem Chromgehalt von ca. 9% ein martensitisches Gefüge eingestellt. Nennen Sie zwei Möglichkeiten eine Gefügestabilisierung bei Kriechbeanspruchung zu erreichen? (2 Punkte)

Aufgabe 10 **Blechprüfung (Wesselmecking)** **12 Punkte**

In der Blechprüfung werden unterschiedliche Prüfverfahren verwendet, um Materialien bei verschiedenen Spannungs- und Dehnungszuständen zu untersuchen.

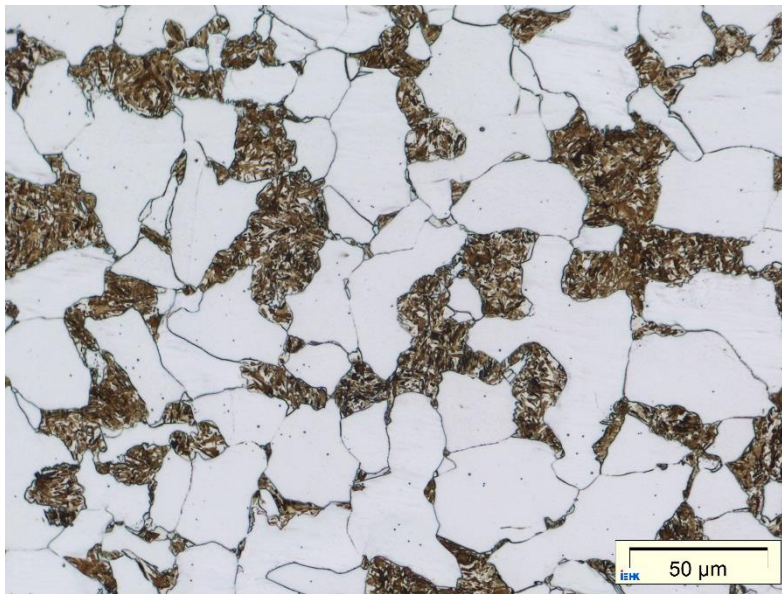
- a) Bitte Skizzieren Sie die Probengeometrie einer Nakajimaprobe und beschreiben Sie wie Sie die Probe anpassen würden, um unterschiedliche Nebenumformgrade zu untersuchen. Wie ändert sich der eingestellte Nebenumformgrad in Folge der von Ihnen genannten Anpassungen. (3 Punkte)
- b) Zeichnen Sie ein exemplarisches Grenzformänderungsdiagramm. Zeichnen Sie die Grenzen des Nebenumformgrads ein, in denen der Nakajimaversuch Gültigkeit besitzt. (2 Punkte)

- c) Welches Verhältnis hat der Haupt- zum Nebenumformgrad beim Bulgetest?
(1 Punkt)
- d) Wie ist das Ziehverhältnis im Napfzugversuch definiert? (1 Punkt)
- e) Zeichnen Sie ein typisches Ergebnisdiagramm des Napfzugversuchs. Welche beiden Parameter werden variiert? In welche drei Bereiche können die Versuchsergebnisse eingeteilt werden? (5 Punkte)

Aufgabe 11**Metallographie (Pöpperlová)****5 Punkte**

Mithilfe der Metallographie können wichtige Erkenntnisse über die Mikrostruktur von Werkstoffen gewonnen werden.

- a) In der Gefüge-Aufnahme (**Abbildung 1**) sehen Sie einen Dualphasen-Stahl (DP-Stahl) nach 5%iger $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ Ätzung. Welche Phasen liegen vor? Beschriften Sie die Phasen richtig im Gefügebild. (2 Punkte)



Abbildung/Figure 1

- b) Wie ist der Kohlenstoff zwischen den beiden Phasen im DP-Stahl verteilt? (1 Punkt)
- c) Was für ein Unterschied ist zwischen einem Dualphasen- und einem Duplex-Gefüge? (2 Punkte)

Aufgabe 12 Elektronenmikroskopie (Pöpperlová) 6 Punkt(e)

- a) In welchem Bereich liegt die Auflösungsgrenze für (i) Rasterelektronenmikroskopie (REM) und (ii) Transmissionselektronenmikroskopie (TEM)? (2 Punkte)
- b) Erläutern Sie kurz die Unterschiede in der Probenpräparation, die sich aus der Funktionsweise der Geräte für REM- und TEM-Untersuchungen ergeben. (2 Punkte)
- c) Sie wollen in Ihrem Probenmaterial Niob-Karbonitride (Größe ca. 4 nm) nachweisen. Welches Mikroskop wählen Sie? Welche Methode (Hellfeld oder Dunkelfeld) kommt zum Einsatz? (2 Punkt)