

Werkstoffwissenschaftliches Grundpraktikum

24.05.2009

Versuch: Gefügeumwandlung in Fe-C-Legierungen (FE)
 Versuchsdatum: 19.05.2009
 Gruppe: 6
 Betreuerin: Nina Sitz

1. Einleitung

Bei diesem Versuch werden die unterschiedlichen Gefüge eines Werkstoffes bei unterschiedlicher Abkühlung nach einer Wärmebehandlung untersucht. Dazu werden drei C45 Stahlproben bei 1000°C ca. 15 Minuten erhitzt und anschließend jeweils eine Probe in Wasser, in Öl und an der Luft abgekühlt. Aufgrund der unterschiedlichen Abkühlgeschwindigkeiten entstehen verschiedenartige Gefügeausbildungen (Martensit, Troostit und Sorbit). Nach dem Schleifen (500er, 1000er, 2500er und 4000er Körnung), Polieren mit Tonerde und Ätzen mit 1% Nital (Ätzdauer 80s) der Proben können diese Gefüge unter einem Lichtmikroskops sichtbar gemacht werden. Außerdem haben die drei Proben auch unterschiedliche Härtewerte, die mit einer Vickershärteprüfmaschine bestimmt werden.

2. Grundlagen/Theorie

Mit Hilfe des Fe-C-Diagramms kann man die Umwandlungsvorgänge im Gefüge einigermaßen gut erklären. Die Umwandlungen erfolgen im thermodynamischen Gleichgewicht, d.h. sie erfolgen mit extrem langsamen Abkühl- und Aufheizgeschwindigkeiten. Da aber im Versuch deutlich höhere Geschwindigkeiten vorherrschen, muss man zusätzlich zum Fe-C-Diagramm das sogenannte Zeit-Temperatur-Umwandlungs-Diagramm (ZTU) hinzuziehen, um alle Vorgänge erklären zu können. Aus dem ZTU-Diagramm kann man den Zeitpunkt des Austenit zerfalls und der Martensitbildung als Funktion der Temperatur ermitteln. Je nach Kohlenstoffgehalt ändert sich die Form des ZTU-Diagramms.

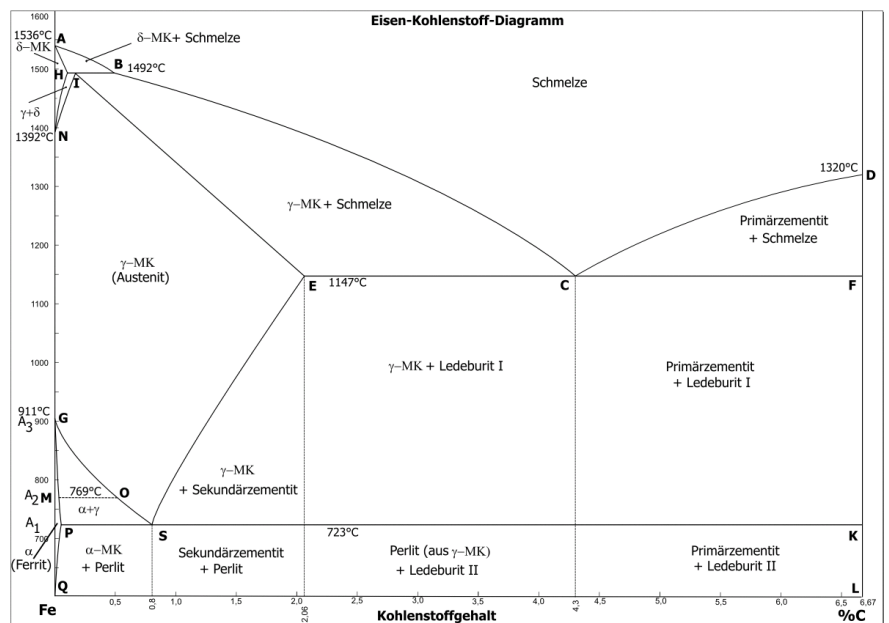


Abbildung 1: Eisen-Kohlenstoff-Diagramm

Der im Versuch verwendete Stahl hat während dem Glühvorgang bei 1000°C, wie aus dem Fe-C-Diagramm ersichtlich, ein austenitisches Gefüge (γ -Mischkristalle). Beim Abkühlen der Probe scheidet sich aus dem austenitischen Gefüge im Zweiphasengebiet (α - γ -Gebiet) ab. Da die Löslichkeit von Kohlenstoff im α -Eisen deutlich geringer ist als im γ -Eisen, erhöht sich der Kohlenstoffgehalt des Restaustenits bis zum sogenannten eutektoiden Punkt (727°C, 0,65 Gew% Kohlenstoff) und es entstehen übersättigter γ -Mischkristall. Bei Abkühlung mit dem Sinken der Temperatur nimmt auch die Löslichkeit des Kohlenstoffs in den γ -Mischkristalle ab. Diese übersättigten γ -Mischkristalle wandeln sich im Eutektoid in Perlit (Ferrit und Zementit) um. Zementit (Fe_3C) bildet dünne Plättchen sogenannte Lamellen im α -Eisen aus. Abhängig von der Legierungszusammensetzung kann natürlich neben Perlit auch noch α -Eisen oder Zementit vorliegen.

Die γ - α Umwandlung beginnt besonders oft an Korngrenzen, da dort sehr viele Störstellen vorhanden sind und diese die Umwandlung begünstigt. Somit werden besonders an Korngrenzen das überschüssige α -Eisen bzw. Zementit ausgeschieden.

Neben der eigentlichen chemischen Zusammensetzung hat die Abkühlgeschwindigkeit einen enormen Einfluss auf das Gefügebild und auf die Feinheit und den Abstand der Lamellen im Perlit. Je nach Abkühlgeschwindigkeit bilden sich unterschiedlich feine Lamellen aus. Bei der Abkühlung an der Luft haben die Kohlenstoffteilchen genug Zeit aus den γ -Mischkristallen herauszudiffundieren. Dieses Gefüge, mit relativ grobe Lamellen und großem Abstand zueinander, nennt man Sorbit. Mit steigender Abkühlgeschwindigkeit beim Abkühlen in Öl werden die Diffusionswege des Kohlenstoffs immer kürzer und die Lamellen immer feiner, es entsteht Troostit. Heutzutage wird aber kaum noch in Sorbit oder Troostit unterschieden. Beide Gefüge werden Bainit genannt. Der verbleibende Restaustenit bildet im weiteren Abkühlprozess Martensit.

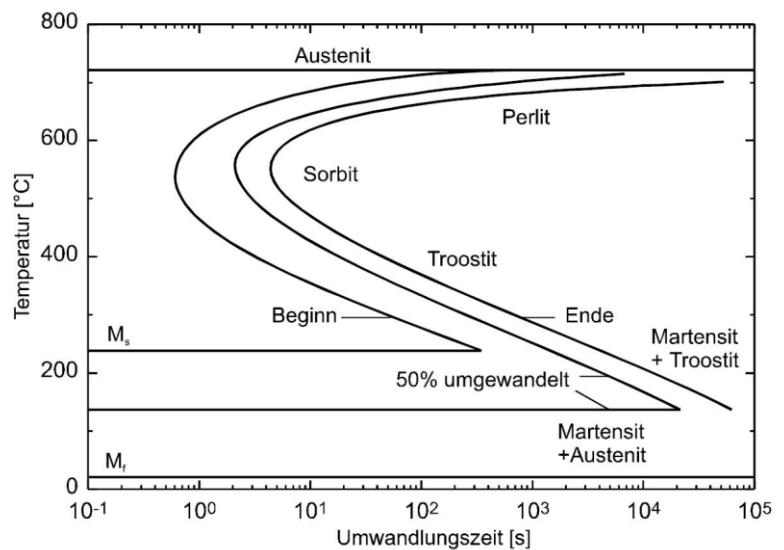


Abbildung 2: ZTU- Diagramm

Beim Abkühlen in Wasser können kaum noch Perlitkeime entstehen und der Wachstumsprozess ist soweit unterdrückt, dass kein eutektoidischer Zerfall mehr möglich ist. Die Kohlenstoffteilchen haben nicht mehr die Zeit aus dem Gitter des Austenits heraus zu diffundieren. Sie bleiben im Gitter des nun stark übersättigten α -Eisen-Gitters „stecken“ und verzerren dieses. Deswegen spricht man bei Martensit auch von tetragonal verzerrten Elementarzellen. Martensit bildet sich unterhalb von 200°C und der Umklappvorgang erfolgt mit nahezu Schallgeschwindigkeit. Es verbleibt aber trotzdem immer eine gewisse Menge an Restaustenit übrig. Das stark übersättigte α -Eisen-Gitter hat eine sehr hohe Härte und eine hohe chemische Widerstandsfähigkeit auf.

Beim Abkühlen in Wasser können kaum noch Perlitkeime entstehen und der Wachstumsprozess ist soweit unterdrückt, dass kein eutektoidischer Zerfall mehr möglich ist. Die Kohlenstoffteilchen haben nicht mehr die Zeit aus dem Gitter des Austenits heraus zu diffundieren. Sie bleiben im Gitter des nun stark übersättigten α -Eisen-Gitters „stecken“ und verzerren dieses. Deswegen spricht man bei Martensit auch von tetragonal verzerrten Elementarzellen. Martensit bildet sich unterhalb von 200°C und der Umklappvorgang erfolgt mit nahezu Schallgeschwindigkeit. Es verbleibt aber trotzdem immer eine gewisse Menge an Restaustenit übrig. Das stark übersättigte α -Eisen-Gitter hat eine sehr hohe Härte und eine hohe chemische Widerstandsfähigkeit auf.

Probenbearbeitung:

Um die Gefüge der unterschiedlich abgeschreckten Proben sichtbar zu machen, muss man diese vor dem Betrachten unter einem Lichtmikroskop Schleifen und anschließend Ätzen. Beim Schleifen beginnt man mit relativ grobem Schleifpapier und steigert die Körnung bis letztendlich mit dem Polieren mit Tonerde eine sehr glatte Probenoberfläche entsteht. Um die unterschiedlichen Bestandteile eines Gefüges unter dem Lichtmikroskop sichtbar zu machen muss nach dem Schleifen noch geätzt werden. Dabei werden bevorzugt Stellen hoher Energie, in diesem Fall die Korngrenzen angegriffen (Korngrenzenätzung). Somit sind die Korngrenzen klar unterscheidbar von den Körnern, da sie nun eine andere Oberfläche haben und das Licht anders brechen.

Härtemessung:

Durch die Gefügeumwandlungen in der Folge der Abkühlung kann man unterschiedliche Härtewerte ermitteln. Je höher die Abkühlgeschwindigkeit ist, desto härter sollte das Material sein. In diesem Versuch werden die Härtewerte mit Hilfe einer Vickershärteprüfmaschine ermittelt. Dazu werden von jeder Probe 10 Härtemessungen durchgeführt.

Bei der Vickers-Kleinkraftprüfung wird eine Diamantenpyramide mit einer bestimmten Prüflast von 2000 gf (19,61 N) und einer Prüfdauer von 10s in die Probe gedrückt. Die Diagonalen des entstandenen Probeneindrucks werden gemessen und anschließend mit Hilfe der Härteformel nach Vickers den Härtewert berechnet.

$$HV = \frac{P}{O} = \frac{2P \sin 68^\circ}{d^2} = \frac{1,8544P}{d^2} \left[\frac{\text{kp}}{\text{mm}^2} \right]$$

P ist die Eindringlast und O entspricht der Oberfläche, wobei d die Diagonale des Härteeindrucks ist.

3. Experimentalteil

Die drei Proben werden bei 1000°C 15 Minuten lang im Ofen ausgelagert. Anschließend erfolgte das Abkühlen von jeweils einer Probe in Wasser, Öl und an der Luft. Danach werden die Proben mit immer feiner werdendem SiC-Schleifpapier auf Rotationsschleifmaschinen geschliffen und am Ende noch mit Tonerde (Al₂O₃) poliert. Nach dem Schleifen sollte eine extrem glatte und ebene Probeoberfläche entstehen, damit man die Gefüge unter dem Lichtmikroskop gut betrachten kann. Bei der Korngrenzenätzung werden die Proben für 80 Sekunden in 1% Nital (alkoholische Salpetersäurelösung) gehalten und anschließend gut mit Wasser abgespült.

Die Gefüge wurden unter einem Lichtmikroskop sichtbar gemacht und mit Hilfe eines PC Gefügebilder erstellt.

Die Härtewerte werden mit einer Vickershärteprüfmaschine automatisch ermittelt und berechnet. Je Probe werden 10 Härtemessungen durchgeführt.

4. Ergebnisse

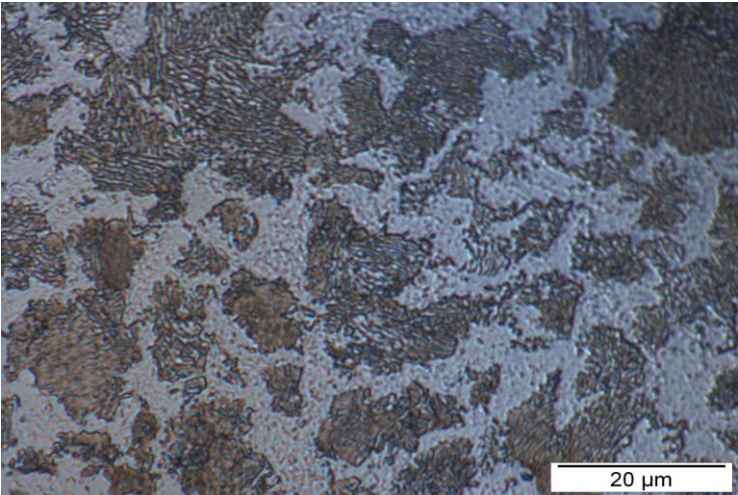


Abbildung 3: Probe 1

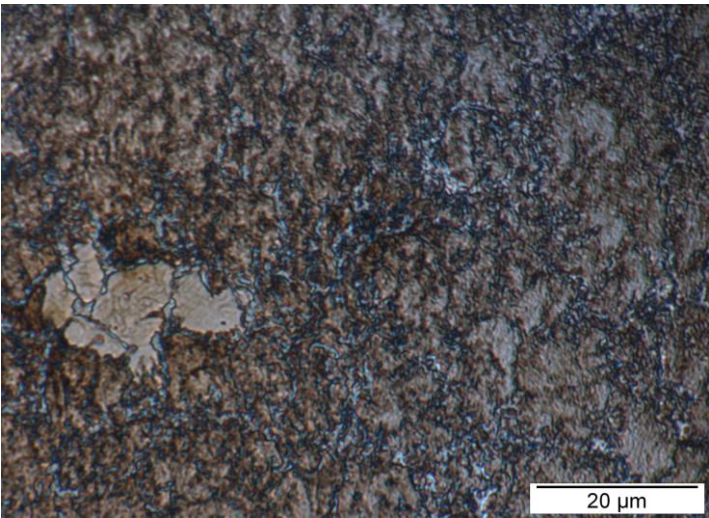


Abbildung 4: Probe 2

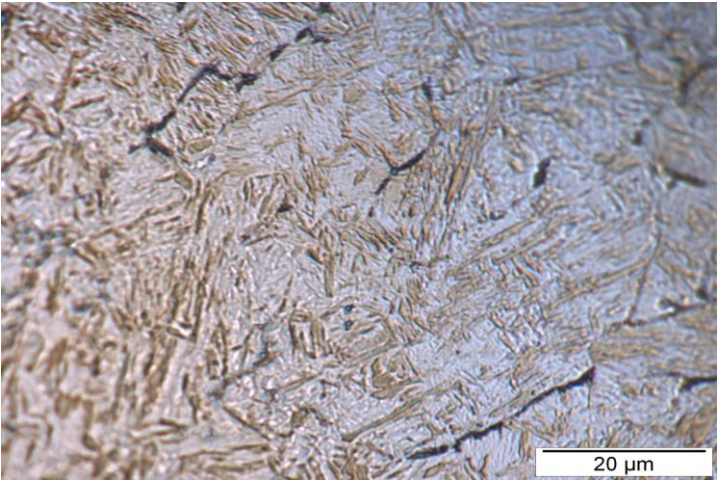


Abbildung 5: Probe 3

Tabelle 1: Härtewerte

	Probe 1	Probe 2	Probe 3
	HV [-]	HV [-]	HV [-]
	210	286	740
	213	301	805
	205	272	896
	200	278	852
	206	271	854
	205	264	834
	205	266	767
	204	267	836
	211	266	842
	210	271	844
□	206,9	274,2	827

5.Diskussion

Beim ersten Gefügebild kann man deutlich die Bereiche mit α -Eisen (helle Bereiche) erkennen. Bei den dunklen Bereichen mit den Streifen handelt es sich um Zementit, der lamellar im α -Eisen Korn vorliegt. Die Lamellen sind noch relativ breit und der Abstand zwischen den Lamellen noch groß und man das Perlit noch als solches unter dem Lichtmikroskop erkennen.

Im zweiten Bild sind die lamellaren Strukturen schon nicht mehr deutlich zuerkennen. Sie sind zu fein im α -Eisen verteilt und deswegen unter dem Lichtmikroskop nicht mehr unterscheidbar. Leider ist diese Probe nicht deutlich auswertbar, da wohl das Schleifen nicht gründlich genug durchgeführt worden ist. Aber man kann deutlich eine Anhäufung von α -Kristallen am linken Rand erkennen.

Im letzten Gefügebild sind helle und sehr feinverteilte Strukturen erkennbar. Das ist der nadelförmige Martensit. Bei den weißen Bereichen handelt es sich wohl um den Restaustenit. An der Unschärfeverteilung auf dem Bild kann man erkennen, dass der Student die Probe nicht komplett eben bzw. parallel abgeschliffen hat. Somit kann die Kamera nicht auf die ganze Oberfläche richtig fokussieren und manche Bereiche sind unscharf.

Anhand der Härtewerte kann man aber erkennen, dass es sich bei der Probe Nr.1 mit den geringsten Härtewert von durchschnittlich 206 HV um die Probe handeln muss, die an der Luft abgekühlt worden ist. Probe Nr.2 mit 274 HV ist somit mit Öl abgeschreckt worden und die Probe Nr.3 mit 827 HV mit Wasser. Zudem ist der enorme Einfluss der Martensitbildung auf die Härte zu erkennen, da im Vergleich zu den ersten beiden Proben die Härte bei Probe Nr.3 extrem stark angestiegen ist.

6.Literatur

- [1] Praktikumsskript
- [2] Gottstein, Physikalische Grundlagen der Materialkunde , Springer Verlag, Berlin, 2001
- [3] Hornbogen, Werkstoffe - Aufbau und Eigenschaften, Springer Verlag, Berlin, 2002