

Werkstofftechnik

Werkstoffe - Eigenschaften - Prüfung - Anwendung

Bearbeitet von
Wolfgang Seidel

6. Auflage 2005. Buch. 416 S. Hardcover
ISBN 978 3 446 22900 6
Format (B x L): 16,2 x 22,9 cm
Gewicht: 697 g

[Weitere Fachgebiete > Technik > Werkstoffkunde, Mechanische Technologie](#)

Zu [Inhaltsverzeichnis](#)

schnell und portofrei erhältlich bei


DIE FACHBUCHHANDLUNG

Die Online-Fachbuchhandlung beck-shop.de ist spezialisiert auf Fachbücher, insbesondere Recht, Steuern und Wirtschaft. Im Sortiment finden Sie alle Medien (Bücher, Zeitschriften, CDs, eBooks, etc.) aller Verlage. Ergänzt wird das Programm durch Services wie Neuerscheinungsdienst oder Zusammenstellungen von Büchern zu Sonderpreisen. Der Shop führt mehr als 8 Millionen Produkte.

HANSER

Werkstofftechnik

Wolfgang Seidel

Werkstoffe - Eigenschaften - Prüfung - Anwendung

ISBN 3-446-22900-0

Leseprobe

Weitere Informationen oder Bestellungen unter
<http://www.hanser.de/3-446-22900-0> sowie im Buchhandel

3 Eisen-Kohlenstoff-Legierungen

3.0 Überblick

Als Eisen-Kohlenstoff-Legierungen bezeichnet man in der Metallkunde alle *Stahlarten* und *Gusseisensorten* (Eisenwerkstoffe). Ihre Eigenschaften, ihre Vielfalt und ihre kostengünstige Herstellung verschaffen dieser Werkstoffgruppe eine Spitzenstellung in der Wirtschaft. Hochbau, Schiffbau, Maschinen-, Fahrzeug-, Anlagen- und Gerätebau usw. – in diesen Industriezweigen wird von allen metallischen Werkstoffen, meist von allen Materialien überhaupt, mengenmäßig am meisten *Stahl* verwendet. So erfahren die Eisenwerkstoffe auch im vorliegenden Lernbuch eine besondere Betonung. Nachdem Sie gelernt haben, was man unter *Legierungen* versteht, kommt nun mit Eisen-Kohlenstoff ein wichtiges Zweistoffsystem hinzu. Zunächst werden Sie sich mit den Komponenten Eisen und Kohlenstoff näher befassen. Aus deren Beziehungen zueinander resultiert ein so genanntes *Dualsystem*. In diesem Kapitel erfahren Sie, unter welchen Bedingungen sich das metastabile System Eisen-Eisencarbid ($\text{Fe-Fe}_3\text{C}$) bzw. das stabile System *Eisen-Graphit* (Fe-C) ausbildet. Die *Zustandsdiagramme* werden besprochen und durch Abkühlverläufe bestimmter Zusammensetzungen veranschaulicht. Praktisch von Interesse ist die Zuordnung der Gefügearten (Aufbau, Eigenschaften und bildliche Darstellung). Dieses Kapitel hilft Ihnen, Stahleigenschaften besser zu verstehen. Es vermittelt Ihnen außerdem Grundlagen für die Wärmebehandlung der Eisenwerkstoffe.

Lernziele

Der Lernende kann ...

- Grundlagen der Legierungslehre am System Eisen-Kohlenstoff anwenden,
- das Eisen-Kohlenstoff-Diagramm erklären,
- die Systeme $\text{Fe-Fe}_3\text{C}$ und Fe-C (Dualsystem) unterscheiden,
- die wichtigsten Gefügearten nennen sowie deren Aufbau und Eigenschaften erläutern,
- technisch wichtige Werkstoffe (Einsatzstahl, Vergütungsstahl, Werkzeugstahl, Gusseisen usw.) richtig zuordnen.

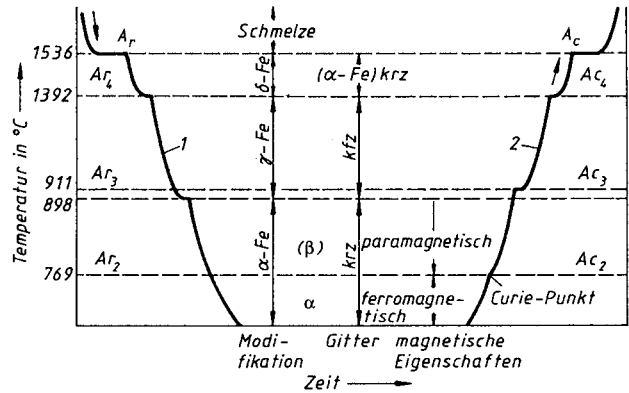
3.1 Reines Eisen

Eisen = *ferrum* (lat.)

Eisen ist ein *polymorphes Metall*. Bei $1536\text{ }^\circ\text{C}$ erstarrt eine reine Eisenschmelze zum krz- δ -Eisen. Kühlt man weiter ab, so wandelt es sich bei $1392\text{ }^\circ\text{C}$ in das dichtere kfz- γ -Eisen und dieses bei $911\text{ }^\circ\text{C}$ wieder in das weniger dichte krz- α -Eisen um. Diese Gitterumwandlungen zeigen sich im Temperatur-Zeit-Verlauf und in der *Dilatometerkurve* (dilatatos = ausdehnen) (Bild 3.1–2).

Eisen

| | |
|--------------|--------------------------------------------------------------------|
| Gitter | s. Bild 3.1–1 |
| Schmelzpunkt | $1536\text{ }^\circ\text{C}$ |
| Dichte | $7,87\text{ kg/dm}^3$ |
| Festigkeit | $R_e \approx 100\text{ N/mm}^2$ $R_m \approx 200\text{ N/mm}^2$ |



Im Abkühlverlauf sind durch frei werdende Wärme (latente Wärme) deutlich Haltepunkte zu erkennen. Die an einem Längenmessgerät aufgezeichnete Temperatur-Längenänderungs-Kurve zeigt sprunghafte Längenänderungen bei den charakteristischen Temperaturen.

Bild 3.1-1 Abkühlungskurve (1) und Erwärmskurve (2) von reinem Eisen (Gleichgewicht, Kurven idealisiert)

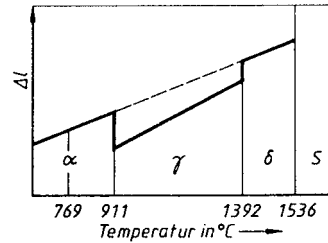


Bild 3.1-2 Lineares Ausdehnungsverhalten von reinem Eisen bei Erwärmung (Dilatometerkurve)

Reines Eisen ist magnetisierbar (*ferromagnetisch*). Diese Eigenschaft geht bei Erwärmung bei 769 °C (*Curie-Punkt*) verloren. Oberhalb dieser Temperatur ist Eisen *paramagnetisch*. Dieser Vorgang ist reversibel (umkehrbar), d. h., bei der Abkühlung wird Fe bei der gleichen Temperatur wieder ferromagnetisch.

Curie-Temperaturen begrenzen die physikalische Eigenschaft des Ferromagnetismus nach „oben“.

- Beispiele: Fe: 769 °C
 Ni: 320 °C
 Fe₃C: 218 °C

Es ist üblich, die Umwandlungstemperaturen zu kennzeichnen. Darüber informiert die Tabelle 3.1-1. Prägen Sie sich diese Bezeichnungen und ihre Bedeutung ein!

- Es bedeuten (franz.):
 A (arrêt) Halte- oder Knickpunkt
 c (chauffage) Erwärmung
 r (refroidissement) Abkühlung
 α_{param} auch β genannt

Tabelle 3.1-1 International übliche Abkürzungen für Fe-Umwandlungstemperaturen

| Umwandlung | Beim Erwärmen | Beim Abkühlen |
|------------------------------------------|-----------------|-----------------|
| Schmelze ↔ δ | A _c | A _r |
| δ ↔ γ | A _{c4} | A _{r4} |
| γ ↔ α | A _{c3} | A _{r3} |
| α _{param} ↔ α _{ferrom} | A _{c2} | A _{r2} |

Übung 3.1–1

Was versteht man unter der Curie-Temperatur (auch Curiepunkt genannt)?

Übung 3.1–2

Welche Gitterarten (Modifikationen) treten bei reinem Eisen auf? Nennen Sie dazu die entsprechenden Umwandlungstemperaturen!

Übung 3.1–3

Was bedeuten die Bezeichnungen A_{c3} und A_{r3} ?

3.2 Komponente Kohlenstoff

Der Kohlenstoff existiert in Eisenlegierungen in verschiedenen Formen. Zunächst kann er in den Modifikationen des Eisens α , γ und δ gelöst vorkommen. Die vorliegenden festen Lösungen mit unterschiedlicher Konzentration (C-Gehalt) bezeichnet man als α -, γ - und δ -Mischkristall. Der Kohlenstoff kann gebunden als Fe_3C (Zementit oder Eisencarbid) bzw. als $Fe_{2...3}C$ (ϵ -Carbid) vorkommen. Unter bestimmten Bedingungen liegt der Kohlenstoff frei als selbstständige Phase in Form von Graphit vor.

Fe_3C kristallisiert in einem komplizierten rhomboedrischen Gitter. Die Härte dieser Phase beträgt 1 100 HV 10 (Näheres über die Messung der Härte erfahren Sie im Abschnitt 12.3). Der Schmelzpunkt von Fe_3C ist nicht genau bestimmbar, weil diese Phase beim Erwärmen bereits unter dieser Temperatur in Eisen und Kohlenstoff zerfällt. Im Fe- Fe_3C -Diagramm (Bild 3.4–1) ist die Liquiduslinie für $C > 4,3 \%$ deshalb gestrichelt gezeichnet. Hinsichtlich Gefügebau und -eigenschaften unterscheidet man:

Primärzementit: Primärgebiet \rightarrow Linie DC

Sekundärzementit: Sekundärgebiet \rightarrow Linie ES

(RT: Körner werden schalenförmig umgeben; damit starke Versprödung des Werkstoffes verbunden)

Tertiärzementit: Tertiärgebiet \rightarrow Linie PQ

Die Bildung der Zementitarten entlang der genannten Linien bezieht sich auf das Zweistoffsystem Fe- Fe_3C (Bild 3.4–4).

| Kohlenstoff | Erscheinungsform |
|-------------|----------------------------------------------------------------|
| gelöst | α (krz), γ (kfz), δ (krz); Mischkristalle |
| gebunden | Fe_3C (orthorhombisch); ϵ -Carbid (hex) |
| frei | Graphit (hex) |

Graphitgitter: hexagonal; dichte Atomanordnung in parallelen Ebenen; Schichtgitterstruktur (s. Bild 1.1–11)

Eisencarbid oder Zementit Fe_3C ist eine intermetallische Phase mit 6,67 % C. Einer chemischen Verbindung stark ähnelnd, liegt der Kohlenstoff im Gitter gebunden vor.

Man unterscheidet:

- *Primärzementit*
- *Sekundärzementit*
- *Tertiärzementit*

RT Raumtemperatur

Wir kommen im Abschnitt 3.4 darauf zurück. Im *stabilen System* (es liegt im Werkstoff häufig neben dem metastabilen System vor) liegt Graphit in Form von groben Blättchen, Nestern oder Kugeln vor. Es handelt sich um nichtmetallische Einschlüsse, um ein *heterogenes Gefüge*. Die Sekundärausscheidung des freien Kohlenstoffs trägt den Namen *Temperkohle*. Graphit besitzt ein hexagonales Schichtgitter (Graphit als Schmierstoff!).

Übung 3.2–1

In welchen Formen existiert Kohlenstoff in Fe-Legierungen?

Anmerkung: Diamant ist reiner Kohlenstoff. Seine Elementarzelle entspricht einer kfz-Zelle, bei der jede 2. Achtelzelle zentriert von je einem C-Atom besetzt ist (Bild 3.2–1). Diamant besitzt die größte bekannte Härte.

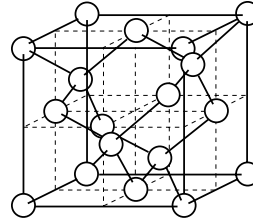


Bild 3.2–1 Elementarzelle von Diamant

3.3 Allgemeines zum System Eisen-Kohlenstoff

Bei hohen Temperaturen ist Kohlenstoff in der Eisenschmelze löslich. Je nach Abkühlgeschwindigkeit und chemischer Zusammensetzung kann die Erstarrung aus homogenen Fe-C-Schmelzen wie folgt ablaufen:

1. Die sich bildenden Gefüge enthalten nur die Komponenten Eisen und Zementit. Man spricht vom *metastabilen System* Fe-Fe₃C. Dieses System gilt für Stahl, Stahlguss und jede Art von weißem Guss-eisen. In der technischen Literatur werden die Gleichgewichtslinien dieses Systems durch ausgezogene Linien dargestellt.
2. Die Gefüge enthalten nur die Komponenten Eisen und Kohlenstoff in Form von Graphit. Man nennt es das *stabile System* Fe-C (Eisen-Graphit). Der Begriff *stabil* deutet darauf hin, dass eine weitere Zerlegung des Kohlenstoffs in Form von Graphit nicht möglich ist. Dagegen zerfällt Fe₃C bei langzeitiger Glühung in Eisen und Temperkohle. Die Gleichgewichtslinien dieses Systems werden meist gestrichelt dargestellt.
3. Es bilden sich Gefüge, in denen neben Eisen sowohl elementarer Kohlenstoff als auch Fe₃C vorliegen. Das metastabile und das stabile System liegen nebeneinander vor.

| | <i>Stabiles System</i> Fe-C | <i>Metastabiles System</i> Fe-Fe ₃ C |
|------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Kohlenstoff | Graphit Temperkohle | Zementit (Eisencarbid) |
| begünstigt durch | langsame Abkühlung carbidgezogene Elemente | rasche Abkühlung carbidgebildende Elemente |

Dieser Zustand bestimmt den Gefügeaufbau technischer Gusseisensorten. Beide Diagramme (metastabil und stabil) gelten für extrem langsame Abkühlung, d. h. bei vollständiger Diffusionsmöglichkeit. Die Entstehung der Zustandsdiagramme erfolgt in gleicher Weise wie die anderer binärer Systeme (Zweistoffsysteme).

Übung 3.3–1

Wodurch unterscheiden sich das metastabile und das stabile System Eisen-Kohlenstoff?

Übung 3.3–2

Welche Faktoren begünstigen das stabile System Eisen-Kohlenstoff (Eisen-Graphit bzw. Eisen-Temperkohle)?

3.4 System Eisen-Eisencarbid (Fe-Fe₃C)

Die Gleichgewichtslinien dieser Zweistofflegierung sind etwas komplizierter als bei den im Abschnitt 2.2 besprochenen Diagrammen (Bild 3.4–1).

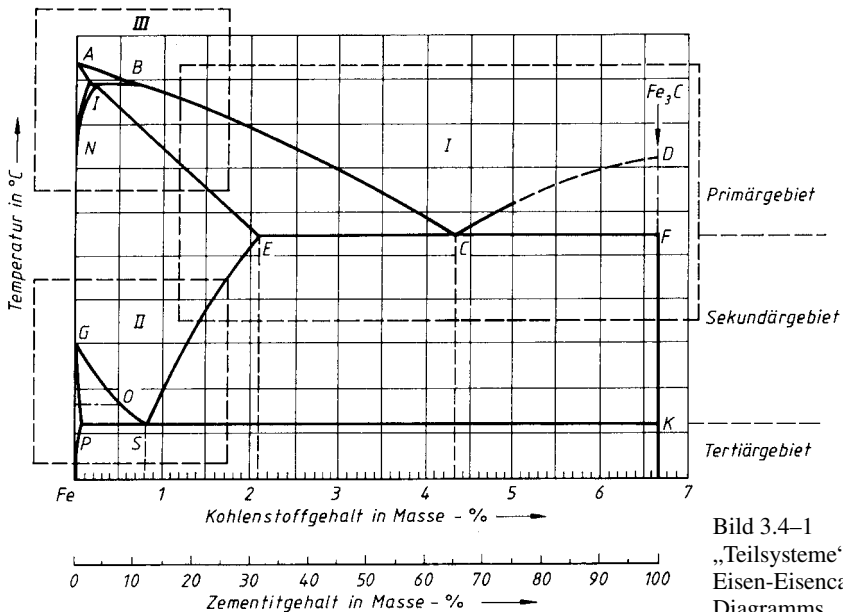


Bild 3.4–1

„Teilsysteme“ des Eisen-Eisencarbid-Diagramms