

ENCYCLOPAEDIA CINEMATOGRAPHICA

Editor: G. WOLF

E 1150/1967

Voreutektoidische Ferritausscheidung in Widmannstätten-Struktur bei Chrom-Stahl

Mit 8 Abbildungen

GÖTTINGEN 1972

INSTITUT FÜR DEN WISSENSCHAFTLICHEN FILM

Voreutektoidische Ferritausscheidung in Widmannstätten-Struktur bei Chrom-Stahl

A. ROSE und H. P. HOUGARDY, Düsseldorf

Allgemeine Vorbemerkungen¹

Umwandlungen im Kristallgitter während der Abkühlung bestimmen weitgehend die Eigenschaften der metallischen Werkstoffe, insbesondere des Eisens. Der Zustand bei Raumtemperatur kann durch die mikroskopische Abbildung einer angeschliffenen und geätzten Fläche sichtbar gemacht werden. Die Umwandlungsvorgänge selbst werden im allgemeinen untersucht durch die Messung geeigneter physikalischer Größen. Alle derartigen Größen ändern sich bei einer Veränderung des Kristallgitters, d. h. des Gefüges. Die Beobachtung von Phasenänderung im Gefügebild ist Gegenstand dieses Filmstreifens; sie ist nur unter ganz besonderen Bedingungen möglich.

Beobachtungs- und Aufnahmeverfahren

Der Heiztisch, der ein Aufheizen der für die Gefügeuntersuchung polierten Proben ohne wesentliche Oxydation gestattet, erlaubt über ein Metallmikroskop die Beobachtung von Umwandlungsvorgängen ohne Ätzung, wenn diese zu einer Veränderung des Oberflächenreliefs führen. Solche Änderungen treten besonders dann auf, wenn die Phasenumwandlungen infolge behinderter Diffusion in bestimmten Vorzugsrichtungen des Ausgangskristalles (bei Stahllegierungen des „Austenits“) ablaufen und die neue Phase durch die Volumenänderung sich selbst aus der Umgebung heraushebt oder sie deformiert. Dies gilt allgemein bei Legierungen des Eisens für die Umwandlungen im Bereich des Martensits, der Zwischenstufe sowie für Ferrit und Zementit in Wid-

¹ Angaben zum Film und kurzgefaßter Filminhalt (deutsch, englisch, französisch) s. S. 9 u. 10.

mannstättenscher Anordnung. Im Gegensatz dazu reichen bei diesen Untersuchungsverfahren die durch die voreutektoidischen Ausscheidungen auf den Austenitkorn Grenzen und die Perlitbildung verursachten Oberflächendeformationen für eine Beobachtung nicht aus.

Oberflächenspannung und bevorzugte Verdampfung lassen auch die Korngrenzen des Austenits als Gräben sichtbar werden. Diese Markierung erfordert jedoch eine gewisse Zeit, so daß die sichtbaren Gräben nicht immer den gerade vorhandenen Korngrenzen entsprechen. Bei Arbeiten mit dem Heitztisch ist allgemein zu beachten, daß Oberflächenerscheinungen untersucht werden, die nicht in allen Fällen den Vorgängen entsprechen müssen, die im Innern ablaufen. In diesem Sinne sind die in dem Film gezeigten Umwandlungen nicht quantitativ zu bewerten.

Die Versuche wurden mit einem Leitz-Mikroskop-Heiztisch 1750 durchgeführt. Die Erwärmung der Proben erfolgte in einer Schutzgas-Atmosphäre von Reinstargon.

Über dem Metallmikroskop mit dem Heiztisch war eine Normalfilmkamera Askania-Z angeordnet. Je nach Bildfeldbreite wurden die Leitz-Objektive 10x/0,18 oder H 32x/0,60 in Verbindung mit einem 5fachen Photokompensokular verwendet. Zur Beleuchtung diente eine 100 Watt NV-Speziellampe. Weder im Beleuchtungs- noch im Abbildungsstrahlengang befanden sich Farbfilter.

Als Filmmaterial fand der 35 mm Kodak Double-X-Film Verwendung. Die Aufnahmefrequenzen lagen bei 24 B/s und 48 B/s.

Die Ferritbildung in Widmannstätten-Anordnung

Die meisten Stahllegierungen bestehen bei Temperaturen um 900 °C aus dem kubisch-flächenzentrierten Mischkristall Austenit mit einer großen Löslichkeit für Kohlenstoff. Mit sinkender Temperatur zerfällt der Austenit im allgemeinen unter Ausscheidung von Ferrit und Zementit. Häufig erfolgt dieser Zerfall am eutektoidischen Punkt so, daß sich die beiden Phasen Ferrit und Zementit lamellar nebeneinander anordnen. Diese Gefügeausbildung wird als Perlit bezeichnet. In untereutektoidischen Stählen, d. h. bei Stählen, deren Kohlenstoffgehalt niedriger als der des eutektoidischen Punktes ist, läuft der eutektoidischen Umwandlung eine voreutektoidische Ausscheidung von Ferrit voraus, in übereutektoidischen Stählen eine solche von Zementit. Je nach Legierungszusammensetzung und Wärmebehandlung kann sich der Ferrit in drei verschiedenen Formen ausscheiden:

1. als Ferritausscheidung auf den Austenitkorn Grenzen,
2. als körniger Ferrit,
3. als Ferrit in Widmannstätten-Anordnung.

Die Umwandlung des Austenits in Ferrit und Zementit läuft im allgemeinen über einen Diffusionsmechanismus, d. h. vor der Umwandlung diffundiert im wesentlichen der Kohlenstoff im austenitischen Bereich so, daß die Bildung des Ferrits durch eine Kohlenstoffverarmung bzw. die des Zementits durch eine Kohlenstoffanreicherung vorbereitet werden. Die Umwandlung selbst, d. h. die Umordnung der Atome aus dem einen Gitterverband in den anderen erfolgt durch Diffusionsschritte der einzelnen Atome. Das bedeutet, daß die Umwandlung um so mehr Zeit benötigen, je tiefer die Zerfallstemperatur ist. Bei sehr hohen Abkühlungsgeschwindigkeiten können daher diese diffusionsgesteuerten Umwandlungsvorgänge nicht ablaufen, der Austenit wird unterkühlt. In diesen Fällen kann es zu einer Umwandlung kommen, indem bestimmte Atome durch Bewegungen, die kleiner als ein Diffusionsschritt sind, sich so umlagern, daß ein neuer Gittertyp entsteht. Diese Art Umwandlung ist als martensitische Umwandlung bekannt. Aus der Natur dieses Umklappmechanismus ergibt sich, daß bei dieser Art der Umwandlung ein Oberflächenrelief entsteht. Bei Unterkühlungstemperaturen, bei denen zwar die Eisenatome nicht mehr, jedoch noch die Kohlenstoffatome diffundieren können, entsteht der Ferrit in Widmannstätten-Anordnung durch eine teilweise Diffusion des Kohlenstoffs in Richtung auf eine Ferritbildung und anschließende Keimbildung nach einem Umklappmechanismus, die Kristalle wachsen in dem Maße fort, wie der Kohlenstoff in den restlichen Austenit abgedrängt werden kann. Wächst eine Ferritplatte parallel zur Oberfläche, so erkennt man zunächst ein kleines nadelförmiges Relief, das in Richtung der Nadelspitze weiter und allgemein breiter wächst. Ferritplatten, die senkrecht oder unter einem spitzen Winkel zur Oberfläche wachsen, können in ihrer gesamten Breite die Oberfläche erreichen und scheinen dementsprechend schlagartig zu entstehen. Das Relief ist meist weniger ausgeprägt. Das Reaktionsgeschehen und die Reliefbildung entsprechen denen der Ferritbildung in der Zwischenstufe.

Filmbeschreibung¹

Für die Darstellung der Ferritbildung in Widmannstätten-Anordnung in einem Film wurde ein Chromstahl 15 Cr 3 nach DIN 17 210 mit 0,19% C, 0,46% Mn, 0,15% Si und 0,75% Cr ausgesucht. Die Bildfeldbreite beträgt 600 bzw. 200 μm . Um bei dieser höchstmöglichen Vergrößerung des Heiztisches das Oberflächenrelief gut erkennen zu können, war es erforderlich, grobe Ferritnadeln zu erzeugen. Dies wurde durch eine überhitzte Austenitisierung erreicht, die zu einem groben Korn

¹ Die *Kursiv*-Überschriften entsprechen den Zwischentiteln im Film.

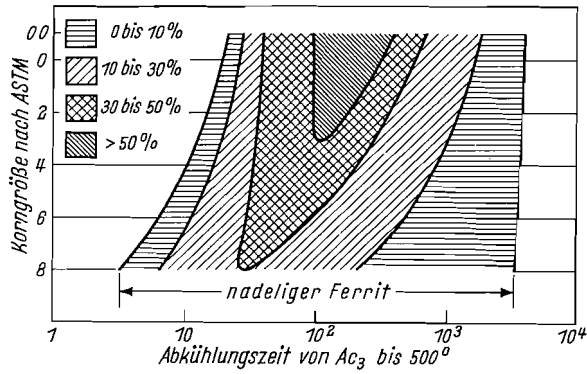


Abb. 1

führt. Ein grobes Korn begünstigt neben einer geeigneten Unterkühlung und Legierungszusammensetzung grundsätzlich die Bildung von Widmannstätten-Ferrit, wie die Abb. 1 zeigt.

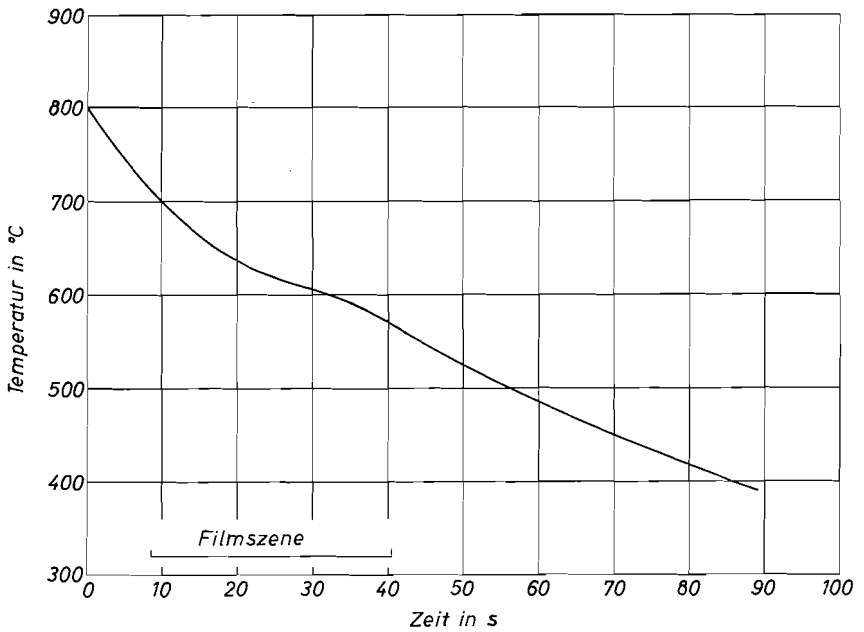


Abb. 2

*Kontinuierliche Abkühlung von 1200°C bis 20°C
Beginn der Filmaufnahmen bei etwa 750°C
Abkühlungsdauer von 800°C bis 500°C etwa 55 s
Bildfeldbreite 600 µm*

Für die Filmaufnahmen wurde die Probe im Heiztisch auf 1200 °C erhitzt. Die Abkühlung erfolgte jeweils durch Abschalten des Heizstromes, so daß immer der gleiche Abkühlungsverlauf erreicht wurde. Der Temperatur-Zeit-Ablauf wurde stets auf einem Schreiber registriert und aus diesen Kurven als Kühlzeit von 800 bis 500 °C 55 Sekunden ermittelt. Die Filmaufnahmen beginnen etwa bei 750 °C und enden 4 Sekunden nach der letzten noch sichtbaren Änderung in der Ausbildung der Ferritplatten bei etwa 570 °C. Abb. 2 zeigt als Beispiel den Abkühlungsverlauf der Probe, deren Umwandlung in der ersten Einstellung des Filmes wiedergegeben ist, im Temperaturbereich von 800 bis 300 °C. Die Zeitzählung beginnt ebenfalls bei 800 °C. An der Abszisse ist der Zeitbereich markiert, den die Einstellung umfaßt. Sie beginnt bei rund 720 °C.

Der Film umfaßt 6 einzelne Einstellungen, von denen die ersten 5 mit 24 B/s aufgenommen wurden. Sie zeigen das Auftreten und Wachsen der Ferritplatten. Ausgangspunkt ist im allgemeinen eine Austenitkorngrenze. Es ist in den einzelnen Fällen gut zu erkennen, daß die Ferritplatten nicht nur in Längsrichtung wachsen, sondern auch breiter werden. Im allgemeinen wird das Längenwachstum an den Austenitkorngrenzen enden. Im Film ist zwar an einigen Stellen zu sehen, daß Ferritplatten über die durch Gräben markierten Austenitkorngrenzen hinwegwachsen. Hierbei ist jedoch zu bedenken, daß die durch thermische Ätzung sichtbar gewordenen Austenitkorngrenzen nicht den zum Zeitpunkt der Umwandlung vorhandenen entsprechen müssen.

Die Einstellungen 1 und 2 wurden mit einer Bildfeldbreite von 600 µm aufgenommen. Sie geben einen Überblick über den Ablauf der Ferritbildung. In Einstellung 1 wachsen zunächst im unteren linken Bildteil einige parallele Ferritplatten, denen an mehreren anderen Stellen andere folgen. Vor allem in Einstellung 2 sieht man, daß einige Platten nicht zu wachsen scheinen, sondern sofort in ihrer endgültigen Größe erscheinen. Dies sind Platten, die nicht parallel sondern schräg oder in einem spitzen Winkel zur Oberfläche wachsen. Abb. 3 zeigt eine Aufnahme aus dieser Einstellung. Nach dem Versuch wurde die Probe aus dem Heiztisch ausgebaut und mit einem Lichtmikroskop die Abb. 4 aufgenommen. Man erkennt hier besser, als bei der beschränkten Auflösung des Heiztisches das Relief. Nach kurzem Abpolieren zum Beseitigen der Oberflächenverformung wurde nach dem Ätzen Bild 5 aufgenommen, das zeigt, daß unter den durch das Relief angedeuteten Stellen tatsächlich Widmannstätten-Ferrit liegt.

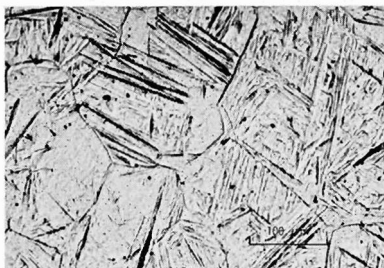


Abb. 3

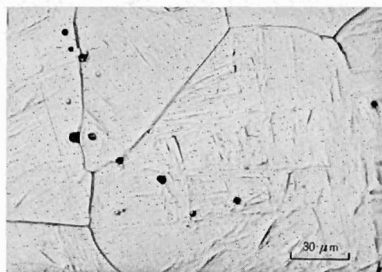


Abb. 6

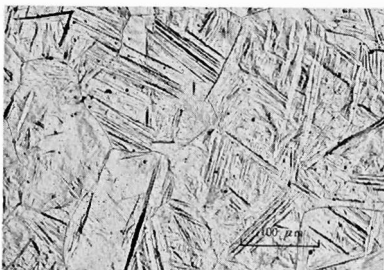


Abb. 4

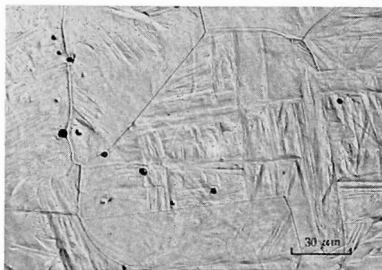


Abb. 7



Abb. 5



Abb. 8

Bildfeldbreite 200 μm

Die Einstellungen 3 bis 5 zeigen bei einer Bildfeldbreite von 200 μm das Wachsen einzelner Platten. In Einstellung 3 entsteht im unteren Bildteil kein Relief. Nach dem Ätzen der Probe zeigte sich, daß hier eine große Ferritplatte parallel zur Oberfläche liegt, die keine Deformation hervorgerufen hat. Damit bleibt sie im Heitzschmikroskop unsichtbar. Vor allem in Einstellung 5 ist im unteren linken Bildteil das Wachsen einzelner Ferritplatten gut zu beobachten.

Die 6. Einstellung wurde mit 48 B/s aufgenommen. Die Vorgänge werden also langsamer wiedergegeben als sie in Wirklichkeit ablaufen. Zunächst wachsen mehrere parallele Ferritplatten ausgehend von einer Korngrenze in Bildmitte nach links. Kurz darauf bewegen sich ebenfalls parallele Platten senkrecht von oben nach unten. Diese beiden Plattenpakete kreuzen sich nach einiger Zeit. Abb. 6 zeigt den Endzustand der Filmeinstellung, Abb. 7 dieselbe Stelle bei Raumtemperatur mit schräger Beleuchtung aufgenommen. Hier erkennt man deutlich die sich kreuzenden Ferritplatten. Nach einem Abpolieren sind, wie Abb. 8 zeigt, im geätzten Zustand die einzelnen Ferritplatten zu erkennen. Die im allgemeinen parallel begrenzten Platten, die senkrecht zur Oberfläche stehen, sind an der Schnittstelle eingeschnürt und bilden einen Winkel von 45° zueinander. Daraus läßt sich in Übereinstimmung mit anderen Untersuchungen schließen, daß die Plattenspitzen den Kreuzungspunkt praktisch gleichzeitig erreichen und übereinander hinwegwachsen. Das Dickenwachstum beider Platten muß nahezu gleichzeitig erfolgen, wodurch der Winkel von 45° entsteht.

Literatur

- [1] ROSE, A., und A. KLEIN: Der Ferrit in Widmannstädtenscher Anordnung. Stahl u. Eisen **79** (1959), 1901—1912.
- [2] ROSE, A., H. P. HOUGARDY und A. KLEIN: Der Einfluß der Unterkühlung auf die Kritsallisationsformen von voreutektoidisch ausgeschiedenen Phasen und von eutektoidischen Phasengemengen. Forschungsber. des Landes Nordrhein-Westf. Nr. 1419 (1964).

Angaben zum Film

Das Filmdokument wurde 1967 zur Auswertung in Forschung und Hochschulunterricht veröffentlicht. Stummfilm, 16 mm, schwarzweiß, 44 m, 4 min (Vorführgeschw. 24 B/s).

Die Aufnahmen entstanden im Jahre 1966. Veröffentlichung aus dem Max-Planck-Institut für Eisenforschung, Düsseldorf, Prof. Dr. A. ROSE, Dr.-Ing. H. P. HOUGARDY, und dem Institut für den Wissenschaftlichen Film, Göttingen, Dipl.-Ing. K. W. BOSAK, Ing. G. HUMMEL.

Inhalt des Films

Der Film zeigt die Ausscheidung voreutektoidischen Ferrits aus dem Austenit in Widmannstätten-Anordnung in Form der Bildung eines Nadelreliefs auf einer polierten Oberfläche im Heitzischmikroskop an einem Chromstahl mit 0,20% C. Die Grenzen des austenitischen Ausgangskornes werden ebenfalls sichtbar.

Die Filmaufnahmen geben die Abkühlung in der Probe nach einer Austenitierung bei 1200° C, beginnend bei 750° C und endend bei 570° C in einer Zeit von etwa 50 s wieder.

Die ersten Ferritnadeln sind bei etwa 720° C zu erkennen. Man sieht die Nadeln im allgemeinen von der Austenitkorngrenze ausgehend in bestimmten Vorzugsrichtungen häufig parallel nebeneinander wachsen. Die Nadeln als Durchstoßspuren von Platten wachsen sowohl in der Länge als auch in der Breite. Das Ende der Ferritbildung ist im vorliegenden Fall bei etwa 600° C erreicht.

Summary of the Film

The film shows the separation of pro-eutectoid ferrite from the austenite in Widmannstätten arrangement in the form of the development of a needle profile on a polished surface in the hot stage microscope on a chrome steel with 0.20% C. The boundaries of the austenite grains are also visible.

The film shots show the cooling in the sample after an austenitisation at 1200° C, beginning at 750° C and ending at 570° C in a time of about 50 s.

The first ferrite needles may be recognized at about 720° C. The needles are to be seen growing, in general starting from the austenite grain boundary, in certain preferred directions often parallel to each other. The needles grow both lengthways and sideways as intersection tracks of plates. The end of the ferrite formation is reached in this case at about 600° C.

Résumé du Film

Le film montre la séparation de Ferrit proeutectoïde à partir d'Austenit sous forme de la constitution d'un relief d'aiguilles sur la surface polie, au microscope à haute température, sur un acier avec chrome et 0,20% de C. Les joints du grain d'Austenit d'origine sont également visibles.

Les prises de vues reproduisent le refroidissement de l'échantillon après une austénisation à 1200° C, commencent vers 750° C et se terminent vers 570° C en à peu près 50 s.

On peut reconnaître les premières aiguilles de Ferrit à env. 720° C. On voit les aiguilles croître, en général à partir des joints du grain d'Austenit, dans des directions déterminées et souvent parallèlement les unes aux autres. Les aiguilles en tant que traces de percées dans les plaques croissent aussi bien en longueur qu'en largeur. La fin de la formation de Ferrit est atteinte le cas présent à env. 600° C.