

ENCYCLOPAEDIA CINEMATOGRAFICA

Editor: G. WOLF

E 1151/1967

Martensitische Umwandlung von Chrom-Nickel-Stahl Martensitpunkt 255° C

Mit 4 Abbildungen

GÖTTINGEN 1972

INSTITUT FÜR DEN WISSENSCHAFTLICHEN FILM

Martensitische Umwandlung von Chrom-Nickel-Stahl Martensitpunkt 255° C

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 Widmannstättenischer Anordnung. Im Gegensatz dazu reichen bei diesen Untersuchungsverfahren die durch die vortektoidischen Ausscheidungen auf den Austenitkorngrenzen 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 Markie-

¹ Angaben zum Film und kurzgefaßter Filminhalt (deutsch, englisch, französisch) s. S. 8 u. 9.

rung erfordert jedoch eine gewisse Zeit, so daß die sichtbaren Gräben nicht immer den gerade vorhandenen Korngrenzen entsprechen. Bei Arbeiten mit dem Heiztisch 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-Speziallampe. Weder im Beleuchtungs- noch im Abbildungsstrahlengang befanden sich Farbfilter.

Als Filmmaterial fand der 35 mm Kodak Double-X-Film Verwendung. Die Aufnahmefrequenz lag bei 24 B/s.

Die Bildung von Martensit

Die Martensitbildung ist als diffusionslose Umwandlung nur möglich, wenn sich alle Atome in dem sich umwandelnden Bereich nach ganz bestimmten Gesetzmäßigkeiten gleichzeitig geringfügig umlagern. Dieser Vorgang ist heute in allen Einzelheiten zu beschreiben. Diese Umbildung des Kristallgitters erfolgt in den jeweils erfaßten Gitterbereichen, den Martensitplatten, etwa mit der Geschwindigkeit der Schallfortpflanzung. Sie hat zur Folge, daß an der Oberfläche einer Probe ein Relief entsteht. Dadurch ist es möglich, die Bildung des Martensits in den Einzelheiten zu verfolgen, die das Oberflächenrelief wiedergibt.

In den Stählen beginnt die Martensitbildung schlagartig nach Unterschreiten einer für jede Legierung bei vorgegebener Austenitisierung kennzeichnenden Temperatur, dem Martensitpunkt Ms. Aus den Bildungsbedingungen des Martensits ergibt sich, daß nach Unterschreiten von Ms nur mit sinkender Temperatur zunehmende Mengen an Martensit entstehen. Erst nach einer Unterkühlung von rd. 300°C unter Ms kann die Umwandlung zu Martensit nahezu vollständig sein. Die Orientierung jeder Martensitplatte ist durch die Orientierung zu dem Austenitkorn gegeben, in dem sie entsteht. Dies führt dazu, daß im Oberflächenrelief und im Gefüge die Martensitplatten vielfach einen Winkel von 60 oder 120° zueinander bilden.

Filmbeschreibung¹

Für die Filmaufnahmen wurde ein technischer Chrom-Nickel-Stahl 56 NiCrMoV 7 nach Stahleisenwerkstoffblatt 250 mit 0,52% C, 0,29% Si,

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

0,7% Mn, 1,09% Cr, 1,72% Ni, 0,43% Mo, 0,23% Cu und 0,14% V ausgesucht, der einen Martensitpunkt M_s von 255°C besitzt. Die Umwandlung des Austenits kann daher bei Abkühlung bis auf Raumtemperatur nicht vollständig ablaufen.

*Kontinuierliche Abkühlung von 1150°C bis 20°C
Beginn der Filmaufnahmen bei etwa 300°C
Abkühlungsdauer von 800°C bis 500°C etwa 28 s
Bildfeldbreite $640\ \mu\text{m}$*

Für die Filmaufnahmen wurden die Proben zur Austenitisierung auf 1150°C erwärmt und dort 20 min gehalten. Hierdurch wird der Stahl sehr grobkörnig und bildet bei der Martensitumwandlung sehr lange und breite Platten. Dies erleichtert deren Darstellung in einem Film. Zur Abkühlung wurde der Heizstrom ausgeschaltet, so daß sich für alle Versuche der gleiche Abkühlungsverlauf ergab, der einer Abkühlung von

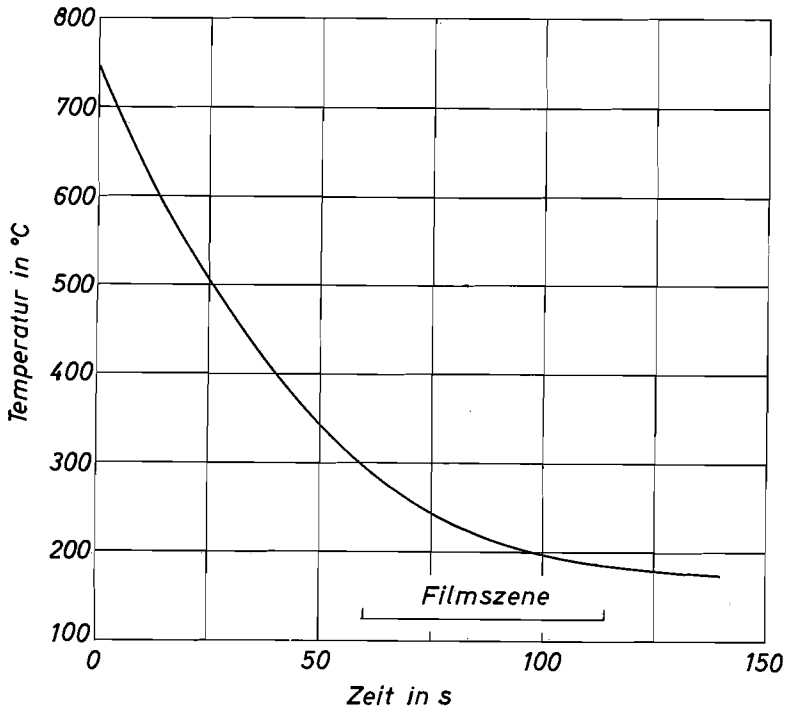


Abb. 1

800 bis 500°C in 28 Sekunden entspricht. Abb. 1 zeigt als Beispiel den Abkühlungsverlauf der Probe, deren Umwandlung in der 1. Einstellung des Films wiedergegeben ist, im Temperaturbereich von 750 bis 150°C. Die Zeitzählung beginnt ebenfalls bei 750°C. An der Abszisse ist der Zeitbereich markiert, den die Einstellung umfaßt. Die Schrumpfung der Proben während der Abkühlung machte es erforderlich, während der Aufnahmen die Schärfe mehrfach nachzustellen. Durch Verändern der Scharfeinstellung wird die Erkennbarkeit einzelner Platten verbessert oder verschlechtert. Dadurch sind diese Stellen im Film von tatsächlichen Änderungen der Platten zu unterscheiden. Die Martensitplatten sind am besten zu erkennen, wenn ihre Hauptvolumenänderung senkrecht zur Probenoberfläche erfolgt. Platten, die ihre Hauptausdehnung parallel oder in einem stumpfen Winkel zur Oberfläche haben, bilden dagegen nur ein schwaches Relief aus.

Der Film umfaßt 5 Einstellungen, die Einstellungen 1 und 2 haben eine Bildfeldbreite von 640 μm . Die Aufnahmegeschwindigkeit beträgt 24 B/s. Die Aufnahmen beginnen jeweils bei einer Temperatur von etwa 300°C und enden eine Sekunde nachdem die Bildung der letzten Martensitnadel beobachtet werden konnte. Dies geschah bei einer Temperatur von etwa 180°C. Unterhalb dieser Temperatur wird die Abkühlung so langsam, daß je Zeiteinheit immer weniger Platten entstehen und damit bei der gewählten Aufnahmegeschwindigkeit praktisch keine Änderungen mehr erkennbar sind. Zudem sind die meisten noch entstehenden Martensitplatten so klein, daß sie von dem Heitzisch-Objektiv nicht mehr aufgelöst werden. Die Temperatur von etwa 180°C, bei der die einzelnen Einstellungen abgebrochen werden, liegt daher höher, als die Temperatur, bei der die Martensitbildung abgeschlossen ist.

In der 1. Einstellung beginnt die Martensitbildung im linken unteren Bildteil. Es entstehen zuerst wenige große Platten, die fast die ganze Länge eines Austenitkornes bedecken; ihre Zwischenräume werden immer mehr durch Platten aufgefüllt, die zwangsweise immer kleiner werden. Dabei ist auffallend, daß vielfach ganze Pakete von Platten entstehen. Ein Wachsen der Platten kann, wie erwartet, nicht beobachtet werden. Man erkennt deutlich, daß die wesentlichen Mengen an Martensit nach etwa 25 Sekunden, d. h. bei einer Abkühlung auf etwa 180°C entstanden sind. Mit weiter sinkender Temperatur werden sie immer geringer und damit auch schwerer erkennbar. In der 2. Einstellung entstehen die ersten Martensitplatten in dem gezeigten Ausschnitt praktisch gleichzeitig. Die Zwischenräume werden wieder durch kleine Nadeln gefüllt.

Bildfeldbreite 200 μm

Die Einstellungen 3, 4 und 5 haben eine Bildfeldbreite von 200 μm . In Einstellung 3 entsteht zunächst eine große Platte, die quer durch die

Bildmitte läuft. In ihrer Umgebung scheint kein weiterer Martensit zu entstehen. Nach dem Versuch wurde die Probe metallographisch untersucht. Dabei zeigte sich, daß in der Umgebung der ersten großen Platte ebenfalls Martensitplatten entstanden sind, die jedoch so ungünstig zur Oberfläche orientiert waren, daß sie keine nennenswerte Oberflächendeformation erzeugten und dadurch im Heitztisch nicht sichtbar wurden. In Einstellung 4 erkennt man in der Bildmitte die Bildung mehrerer großer Martensitplatten, neben denen wieder Platten mit einem nur schwach ausgebildeten Relief entstehen. In der 5. Einstellung entsteht zunächst wieder nur eine große Platte, die quer durch das Bild läuft. In ihrer Umgebung bleiben zahlreiche Stellen anscheinend frei von einer Martensitbildung. Es fällt auf, daß in dieser Einstellung Martensitplatten anscheinend über eine Korngrenze hinwegwachsen. Das ist nach dem Bildungsmechanismus nicht möglich. Die waagrecht verlaufende Grenze gibt offenbar nur noch den Graben einer ehemaligen Austenitkorngrenze wieder. Abb. 2 zeigt das letzte Bild dieser Einstellung. Nach dem Ausbau der Probe aus dem Heitztisch wurde in einem anderen Mikroskop unter schräger Beleuchtung Abb. 3 aufgenommen, das die einzelnen Platten in gutem Kontrast zeigt. Auf beiden Seiten der großen dunklen Nadel in Bildmitte liegen helle Bereiche, die praktisch keine Strukturen zeigen. Nach dem Abpolieren und Ätzen ergibt sich, wie Abb. 4 zeigt, daß hier die Martensitplatten nahezu parallel zur Oberfläche liegen.

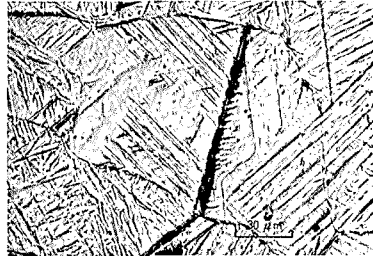


Abb. 2

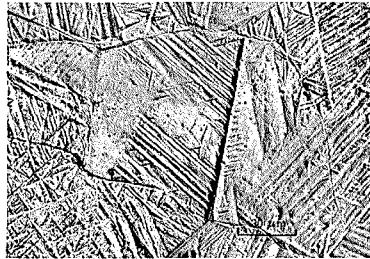


Abb. 3

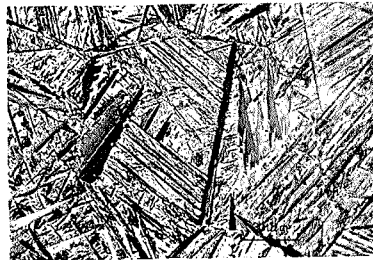


Abb. 4

Nach dem Abpolieren und Ätzen ergibt sich, wie Abb. 4 zeigt, daß hier die Martensitplatten nahezu parallel zur Oberfläche liegen.

Literatur

[1] KURDJUMOV, G. V.: Vorgänge beim Abschrecken und Anlassen von Stahl. Journ. Iron Steel Inst. 195 (1960) Nr. 1, S. 26/48. Physical Properties of Martensite and Bainite. Spec. Report 93 Iron and Steel Inst. 1965.

Angaben zum Film

Das Filmdokument wurde 1967 zur Auswertung in Forschung und Hochschulunterricht veröffentlicht. Stummfilm, 16 mm, schwarzweiß, 59 m, 5 1/2 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. HOUARDY, und dem Institut für den Wissenschaftlichen Film, Göttingen, Dipl.-Ing. K. W. BOSAK, Ing. G. HUMMEL.

Inhalt des Films

Der Film zeigt die Bildung des Martensits aus dem unterkühlten Austenit in dem durch schlagartige Volumenänderung gebildeten Nadelrelief einer polierten Oberfläche eines Chrom-Nickel-Stahles unter dem Heitzisch-Mikroskop. Die Korngrenzen der Hochtemperaturphase des Austenits werden ebenfalls sichtbar.

Die Filmaufnahmen erfolgen während der Abkühlung nach einer Austenitierung bei 1150 °C. Sie beginnen bei etwa 300 °C kurz oberhalb der Ms-Temperatur, dem Anfang der Martensitbildung. Man erkennt, daß die Austenit-Martensit-Umwandlung in Form immer neuer Plattenbildung mit sinkender Temperatur fortschreitet. Der Ablauf der Bildung einer einzelnen Martensitplatte ist wegen der hohen Geschwindigkeit nicht zu erkennen. Die Nadeln liegen innerhalb eines ehemaligen Austenitkornes in bestimmten bevorzugten Richtungen.

Summary of the Film

The film shows the development of the Martensite from the super-cooled Austenite in the needle profile, formed by the sudden change of volume, of a polished surface of a chrome-nickel steel under the heating table microscope. The grain boundaries of the high temperature phase of the Austenite also become visible.

The shots are taken during the cooling off after an austenitisation at 1150 °C. They begin at about 300 °C just above the Ms-temperature, the start of the Martensite formation. It can be seen that the Austenite-Martensite-transformation continues in the form of constantly new plate formation with decreasing temperatures. The development of one particular Martensite plate cannot be observed owing to the high speed. The needles lie within a former Austenite grain in certain preferred directions.

Résumé du Film

Le film montre la formation du Martensit à partir de l'Austenit surfondu dans le relief d'aiguilles formé par suite d'un changement de volume subi qui apparaît sur la surface polie d'un acier au chrome et au nickel, sous le microscope à table chauffante. Les joints des grains de la phase à haute température de l'Austenit sont également visibles.

Les prises de vues sont effectuées pendant le refroidissement après une austénisation à 1150 °C. Elles commencent à env. 300 °C, un peu au-dessus de la température M_s qui marque le début de la formation de Martensit. On reconnaît que la transformation Austenit-Martensit se poursuit sous forme de la constitution répétée de plaques, à mesure que la température s'abaisse. On ne peut pas voir, en raison de la grande vitesse, la formation d'une seule plaque de Martensit. Les aiguilles sont couchées dans une direction déterminée, à l'intérieur d'un ancien grain d'Austenit.