



Doctoral Thesis

Ferromagnetic metastable τ -MnAl-C: diffusional-displacive mechanism of formation

Author(s):

Sologubenko, Alla S.

Publication Date:

2005

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005024577> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH No. 16123

Ferromagnetic metastable τ -MnAl-C: diffusional-displacive mechanism of formation

Dissertation submitted to the
Swiss Federal Institute of Technology Zürich

for the degree of
Doctor of Natural Science

presented by
Alla S. Sologubenko
Dipl. Phys. A. M. Gorki University, Kharkov
born December 6, 1966
citizen of Ukraine

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. G. Kostorz, examiner
Prof. Dr. P. Müllner, co-examiner
Prof. Dr. W. Steurer, co-examiner

Summary

In this work, the formation of the ferromagnetic metastable τ -phase in Mn- X at.% Al- Y at.% C alloys ($39 \leq X \leq 48.32$, $0 \leq Y \leq 3.61$) was studied mainly by using transmission electron microscopy (TEM). The τ -MnAl-C-phase forms from the supercooled high-temperature ε -phase by two transformation paths and results in two morphological modifications (“plate-like” and “flower-like”). The two paths may be followed simultaneously, i.e. the modifications can coexist. This study focuses on the detailed description of the displacive mode of the $\varepsilon \rightarrow \tau$ transformation resulting in the plate-like modification. Plate-like τ retains a specific orientation relationship $(0001)\varepsilon \parallel (111)\tau$, $[11\bar{2}]\varepsilon \parallel [\bar{1}10]\tau$ to the matrix ε -phase during the intermediate steps of the displacive transformation mode.

The factors controlling the selection of either of the two transformation paths were found from a metallographic study and energy-dispersive x-ray fluorescence spectroscopy. The important factors are found to be the manganese content [Mn] and the isothermal annealing temperature T . The τ -phase forms from ε during annealing in the temperature range from 300 °C to about 700 °C. For [Mn] \geq 57 at.% and at $T \leq$ 400 °C, plate-like τ dominates. For [Mn] = 60 at.%, only plate-like τ exists. For [Mn] < 57 at.%, the flower-like modification forms preferentially. Annealing at temperatures $T >$ 600 °C yields only flower-like τ . At intermediate temperatures, the Mn concentration is a decisive parameter.

The diffusional-displacive mode of the plate-like τ -phase formation was studied in detail in Mn-39.2 at.% Al-0.8 at.% C and confirmed for crystals of several other compositions, by metallographic study, electron diffraction, conventional and high-resolution transmission electron microscopy (HRTEM). TEM studies show that the diffusional-displacive mode of τ formation is a discontinuous process. The transformation sequence transmits the crystallographic correspondence between ε and τ during the whole process. The intermediate long-range-ordered ε' -phase nucleates and grows coherently within the disordered ε -matrix. Symmetry reduction due to the $\varepsilon \rightarrow \varepsilon'$ transformation yields three orientation variants (structural domains) of ε' . As ε' -domains evolve, elastic strains increase at the ε' -domain interfaces until shear occurs in ε' -domains to reduce the transformation strain. Stacking faults appear between ε' -domain boundaries. Structural ordering of the stacking faults within the ε' -domains results in the formation of internally twinned polytypes. Transformation dislocations bounding the polytype stacking layers are pinned at

ϵ' -domain boundaries. Finally, the magnetic ordering of the magnetic moments on Mn sites triggers structural reordering of the polytype stacking layers. The collective motion of transformation dislocations that overcome the ϵ' -domain boundaries, results in the formation of twinned τ plates. The ϵ' -domain boundaries limit the spatial extension of the transformation during the intermediate steps. Dense nets of antiphase boundaries (APBs) cross the structural domains of ϵ' . The intersections of the APBs with ϵ' -domain boundaries can serve as nucleation sites for the subsequent transformation step.

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde die Bildung der ferromagnetischen metastabilen τ -Phase in Mn- X at.%Al- Y at.%C Legierungen ($39 \leq X \leq 48,32$; $0 \leq Y \leq 3,61$) hauptsächlich mit Transmissionselektronenmikroskopie (TEM) untersucht. Die τ -MnAl-C-Phase bildet sich entlang zwei Umwandlungspfaden aus der unterkühlten Hochtemperaturphase ϵ . Dabei ergeben sich zwei morphologisch unterschiedliche Modifikationen von τ („plate-like“ = plattenförmig und „flower-like“ = blumig). Die Bildung von τ kann simultan über beide Umwandlungspfade erfolgen, d.h. beide Modifikationen können nebeneinander auftreten. Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt in der detaillierten Beschreibung des displaziven Modus der $\epsilon \rightarrow \tau$ -Umwandlung, der über mehrere Zwischenschritte abläuft und für die Bildung der plattenförmigen Modifikation von τ verantwortlich ist. Entlang diesem Umwandlungspfad behält die plattenförmige τ -Phase eine spezifische Orientierungsbeziehung $(0001)\epsilon \parallel (111)\tau$, $[11\bar{2}]\epsilon \parallel [\bar{1}10]\tau$ zur ϵ -Matrix bei.

Mittels metallographischer Untersuchungen und Röntgenfluoreszenzanalyse wurden die bestimmenden Faktoren gefunden, die für die Auswahl einer der beiden Umwandlungspfade verantwortlich sind. Die bestimmenden Faktoren sind der Mangangehalt [Mn] und die Auslagerungstemperatur T . Die τ -Phase entsteht aus der ϵ -Phase bei Auslagerung in einem Temperaturbereich von 300 bis ca. 700 °C. In Legierungen mit $[\text{Mn}] \geq 57$ at.% dominiert bei $T \leq 400$ °C plattenförmiges τ . Bei $[\text{Mn}] = 60$ at.% tritt nur plattenförmiges τ auf. Die blumige Modifikation hingegen bildet sich vorzugsweise bei $[\text{Mn}] < 57$ at.%. Bei Auslagerungstemperaturen höher als 600 °C entsteht nur blumiges τ . Bei dazwischenliegenden Auslagerungstemperaturen (400 °C $\leq T \leq 600$ °C) ist der Mangangehalt [Mn] der entscheidende Faktor für die bevorzugte Bildung einer bestimmten τ -Modifikation.

Die Einzelheiten der Bildung von plattenförmigem τ wurden in Mn-39,2 at.%Al-0,8 at.%C mittels metallographischer Analyse, Elektronenbeugung, konventioneller und hochauflösender TEM (HRTEM) detailliert untersucht. Die Resultate wurden mit Untersuchungen an Legierungen mit anderen Zusammensetzungen bestätigt. TEM-Untersuchungen zeigen, dass die Bildung von plattenförmigem τ diskontinuierlich erfolgt. Während der Umwandlungssequenz bleibt die kristallographische Korrespondenz zwischen ϵ und τ erhalten. Die Umwandlung beginnt mit der Keimbildung und dem kohärenten Wachstum der langreichweitig geordneten ϵ' -Phase in der ungeordneten ϵ -Matrix. Infolge der Symmetriere-

duktion während der $\varepsilon \rightarrow \varepsilon'$ -Umwandlung treten drei Orientierungsvarianten (strukturelle Domänen) von ε' auf. Während des Wachstum der ε' -Domänen steigen die elastischen Spannungen an den ε' -Domänen-Grenzflächen, bis Scherung auftritt, um die Spannungen zu reduzieren. Zwischen den ε' -Domänen bilden sich Stapelfehler. Strukturelles Ordnen von Stapelfehlern innerhalb der ε' -Domänen führt zur Bildung von intern verzwilligten Polytypen. Die für diesen Umwandlungsschritt verantwortlichen Versetzungen, welche die Stapelfolgen der Polytypen begrenzen, sind an den ε' -Domänen-Grenzflächen verankert. Schliesslich ordnen sich die magnetischen Momente der Mn-Atome und induzieren neue strukturelle Ordnungsvorgänge der Stapelfolgen der Polytypen. Die korrelierte Bewegung der Umwandlungsversetzungen, die die ε' -Domänen-Grenzflächen durchdringen, ergibt verzwilligte τ -Platten. Die ε' -Domänen-Grenzflächen beschränken die räumliche Ausdehnung des Umwandlungsbereichs während der Zwischenschritte der Umwandlung. Dichte Netze von Antiphasengrenzflächen (APBs) kreuzen die strukturellen Domänen von ε' . Durchschneidungen der APBs mit ε' -Domänen-Grenzflächen können als Zentren für die Keimbildung des folgenden Umwandlungsschrittes dienen.