

Title	Phase Stability of Some Austenitic Stainless Steels at Cryogenic Temperature and under Magnetic Field
Author(s)	Lee, Jae-hwa
Citation	大阪大学, 2009, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/23478">https://hdl.handle.net/11094/23478</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏 名	李 戡 和
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 2 2 9 5 0 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 21 年 3 月 24 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科マテリアル生産科学専攻
学 位 論 文 名	Phase Stability of Some Austenitic Stainless Steels at Cryogenic Temperature and under Magnetic Field (オーステナイト系ステンレス鋼の極低温・磁場下における相安定性)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 掛 下 知 行  (副査) 教 授 森 博 太 郎 教 授 荒 木 秀 樹 准 教 授 福 田 隆

### 論 文 内 容 の 要 旨

In the present study, phase stability of typical austenitic stainless steels (SUS304, SUS304L, SUS316 and SUS316L) under external fields, such as cryogenic temperature, high magnetic field, high stress and their combined environments, had been investigated. The thesis consisted of the following six chapters.

In chapter 1, the background and the present study were described.

In chapter 2, effects of external fields such as cryogenic temperature, high stress and high magnetic field on martensitic transformation in the solution-treated and sensitized stainless steels were described. No athermal martensitic transformation occurred in the examined stainless steels, however, an isothermal  $\gamma \rightarrow \epsilon' \rightarrow \alpha'$  transformation occurred in the solution-treated SUS304L, sensitized SUS304L and SUS304, and an isothermal  $\gamma \rightarrow \alpha'$  martensitic transformation occurred in the sensitized SUS304L and SUS304. Magnetic field-induced martensitic transformation did not occur in the  $\gamma$ -phase even when the pulsed magnetic field of up to 30 MA/m was applied in all the solution-treated and sensitized stainless steels. On the other hand, a deformation-induced  $\gamma \rightarrow \epsilon' \rightarrow \alpha'$  martensitic transformation occurred at 77 K in all the solution-treated and sensitized stainless steels. It was noted for the solution-treated SUS304L, sensitized SUS304 and SUS304L that magnetic field-induced martensitic transformation ( $\epsilon' \rightarrow \alpha'$ ) occurred in isothermally transformed  $\epsilon'$ -martensites, but not in deformation-induced  $\epsilon'$ -martensites.

In chapter 3, the time-temperature-transformation (*TTT*) diagram of successive  $\gamma \rightarrow \epsilon' \rightarrow \alpha'$  martensitic transformation in a solution-treated SUS304L stainless steel had been constructed. The *TTT* diagram showed a C-curve with a nose temperature located at about 103 K. We had found that the successive  $\gamma \rightarrow \epsilon' \rightarrow \alpha'$  martensitic transformation proceeded by an isothermal  $\gamma \rightarrow \epsilon'$  martensitic transformation followed by an athermal  $\epsilon' \rightarrow \alpha'$  martensitic transformation.

In chapter 4, martensitic transformation behavior at cryogenic temperature in a sensitized SUS304 austenitic stainless steel was described. The sensitized specimen exhibited an isothermal martensitic transformation when the specimen was held in the temperature range between 60 and 260 K. The *TTT* diagram showed a double-C-curve with two noses located at about 100 and 200 K. The upper part of the double-C-curve

was attributed to the direct  $\gamma \rightarrow \alpha'$  martensitic transformation in the vicinity of grain boundaries, while the lower part of the double-C-curve was attributed to the successive  $\gamma \rightarrow \epsilon' \rightarrow \alpha'$  martensitic transformation near the center of each grain.

In chapter 5, effect of magnetic field on the C-curve of successive  $\gamma \rightarrow \epsilon' \rightarrow \alpha'$  martensitic transformation in a solution-treated SUS304L stainless steel was described. Nose temperature of the C-curve did not depend on field strength (0.8, 4.0 and 5.6 MA/m), it was located at about 103 K for all the magnetic fields examined. This was due to the fact that  $\gamma \rightarrow \epsilon'$  martensitic transformation, having no concern with magnetic field, proceeded isothermally while  $\epsilon' \rightarrow \alpha'$  martensitic transformation, influenced by magnetic field, proceeded athermally. The C-curve shifted to the side for a short time with increasing the field strength because the magnetic energy difference between the  $\epsilon'$ - and  $\alpha'$ -phases provided a part of energy barrier, which was necessary for the  $\epsilon' \rightarrow \alpha'$  martensitic transformation.

In chapter 6, the results obtained in this study were summarized.

### 論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文は SUS304, SUS304L, SUS316, SUS316L ステンレス鋼の溶体化処理材ならびに鋭敏化処理材におけるオーステナイト相の極低温、強磁場、高応力、ならびにそれらの複合環境下での安定性を系統的に調べたものであり、以下の知見を得ている。

- (1) 溶体化処理を施した、SUS304, SUS316, SUS316L は 4.2K まで冷却してもマルテンサイト変態しないが、SUS304L を低温で保持すると  $\gamma \rightarrow \epsilon' \rightarrow \alpha'$  変態が時間経過とともに進行することを見出し、0.5%の  $\alpha'$  相生成を示す *TTT* 図は等温変態に特徴的な C 曲線を描くことを示している。また、この 2 段階変態過程を光学顕微鏡により直接観察し、2 段階変態のうち  $\gamma \rightarrow \epsilon'$  変態が時間に露わに依存する等温変態であり、 $\epsilon' \rightarrow \alpha'$  変態は時間に露わには依存しない非等温変態であることを明確にしている。
- (2) 鋭敏化処理を施した、SUS316, SUS316L は 4.2K まで冷却してもマルテンサイト変態しないが、SUS304 ならびに SUS304L は結晶粒界付近で  $\gamma \rightarrow \alpha'$  等温変態し、結晶粒内では  $\gamma \rightarrow \epsilon' \rightarrow \alpha'$  等温変態することを示している。また、これら 2 種類の変態様式があるため、0.5%の  $\alpha'$  相生成を示す *TTT* 図は 2 つのノーズ温度を持つことを明らかにしている。
- (3) いずれのステンレス鋼も、応力誘起  $\gamma \rightarrow \epsilon' \rightarrow \alpha'$  変態することを示している。また、熱誘起ならびに応力誘起により生成した  $\epsilon'$  相に磁場を印加すると、熱誘起で生成した  $\epsilon'$  相からは  $\alpha'$  相が誘起されるが、応力誘起で生成した  $\epsilon'$  相からは  $\alpha'$  相が誘起されないことを明確にし、それがサイズ効果に由来することを示している。さらに、 $\gamma$  相に 30MA/m の強磁場を印加してもマルテンサイト変態は誘起されないことを示し、その理由を  $\gamma$  相と  $\epsilon'$  相の磁気的エネルギーを用いて明確にしている。
- (4) SUS304L において  $\gamma \rightarrow \epsilon' \rightarrow \alpha'$  変態の進行を示す *TTT* 図上の C 曲線は磁場印加により短時間側に移動するが、ノーズ温度は磁場強度に依存しないことを示すと同時に、その理由を熱力学的観点から説明している。

以上のように、本論文は、オーステナイト系ステンレス鋼におけるオーステナイト相の極低温、強磁場、高応力、ならびにこれらの複合環境下での安定性を系統的に調査したものであり、学術的にもまたステンレス鋼を今後工業材料として安全に利用して行く上においても極めて重要な知見を含んでおり、材料工学の発展に寄与するところが大きい。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。