
耐リジング性に優れる SUS430 鋼の結晶方位分布解析

Analysis of Orientation Distribution in Type 430 Stainless Steel with Anti-ridging Characteristics

横田 毅(Takeshi Yokota) Myriam Brochu 佐藤 進(Susumu Satoh)

要旨：

リジングは、ステンレス鋼板内に圧延方向に伸びた結晶方位の近い結晶粒群（コロニー）が存在し、各コロニー間の塑性変形挙動の差に基づいて発生すると考えられている。そこで、著者らはコロニーの存在の有無の確認を目的にリジング特性に優れる SUS430 とリジング特性の劣る SUS430 の結晶方位分布を EBSD 法により測定した。その結果、リジング特性の劣る SUS430 の ND 面には幅約 100 ㈬ の {111}, {011}, {001} 方位コロニーが存在することが確認された。また、RD 面にもクラスター状の結晶粒群の存在が確認された。一方、リジング特性に優れる SUS430 では、ND 面、RD 面ともに比較的ランダムな結晶方位分布を示した。今回の測定結果と従来のリジングモデルとの比較検討を行った。

Synopsis：

Ridging is a serious problem which occurs in ferritic stainless steels after tensile deformation in the rolling direction. Many researchers have suggested that the grain colonies of long distance order lattice orientation in a sheet could be responsible for ridging. In this study, the local orientation measurement on two samples of type 430 stainless steel was performed by using orientation imaging microscopy and the grain orientations of RD and ND planes on areas covering more than 5 mm² was analyzed. The experimental results prove the existence of grain colonies bands in the ND plane of the sample with severe ridging. However, the texture maps detected in the RD planes were not appropriate to explain the mechanism of ridging in accordance with the previously proposed theories.

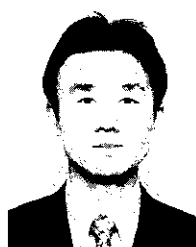
(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

耐リジング性に優れる SUS430 鋼の結晶方位分布解析*

川崎製鉄技報
30 (1998) 2, 115-117

Analysis of Orientation Distribution in Type 430 Stainless Steel with Anti-ridging Characteristics



横田 毅
Takeshi Yokota
技術研究所 ステンレ
ス鋼研究部門



Myriam Brochu
École Polytechnique
de Montréal, Universi-
té de Montréal



佐藤 進
Susumu Satoh
技術研究所 ステンレ
ス鋼研究部門長・工博

要旨

リジングは、ステンレス鋼板内に圧延方向に伸びた結晶方位の近い結晶粒群（コロニー）が存在し、各コロニー間の塑性変形挙動の差に基づいて発生すると考えられている。そこで、著者らはコロニーの存在の有無の確認を目的にリジング特性に優れる SUS430 とリジング特性の劣る SUS430 の結晶方位分布を EBSD 法により測定した。その結果、リジング特性の劣る SUS430 の ND 面には幅約 100 μm の $\{111\}$ 、 $\{011\}$ 、 $\{001\}$ 方位コロニーが存在することが確認された。また、RD 面にもクラスター状の結晶粒群の存在が確認された。一方、リジング特性に優れる SUS430 では、ND 面、RD 面ともに比較的ランダムな結晶方位分布を示した。今回の測定結果と従来のリジングモデルとの比較検討を行った。

Synopsis:

Ridging is a serious problem which occurs in ferritic stainless steels after tensile deformation in the rolling direction. Many researchers have suggested that the grain colonies of long distance order lattice orientation in a sheet could be responsible for ridging. In this study, the local orientation measurement on two samples of type 430 stainless steel was performed by using orientation imaging microscopy and the grain orientations of RD and ND planes on areas covering more than 5 mm² was analyzed. The experimental results prove the existence of grain colonies bands in the ND plane of the sample with severe ridging. However, the texture maps detected in the RD planes were not appropriate to explain the mechanism of ridging in accordance with the previously proposed theories.

1 緒 言

SUS430 で代表されるフェライト系ステンレス鋼は成形加工に際してリジングと呼ばれる圧延方向に伸展した凹凸が発生する。リジングの発生機構に関しては、当初熱延板中に存在する変態を経た相と変態を経ない相との変形抵抗差¹⁾や炭化物の配列²⁾の差による説が提唱されていた。ところが、冷延焼鈍板の組織は通常微細なフェライト粒と均一に分散した炭化物とからなっており、微視組織の不揃いからリジングの発生を説明するのは困難とされた³⁾。現在では、ステンレス鋼板内に圧延方向に伸びた結晶方位の近い結晶粒群（コロニー）が存在し、各コロニー間の塑性変形挙動の差に基づいてリジングが発生すると考えられている⁴⁻⁹⁾。しかし、これまでステンレス冷延焼鈍板中に明瞭なコロニーの存在を確認した例はない。

そこで、著者らは EBSD 法¹⁰⁾を用いて SUS430 鋼中の結晶方位分布を 5 mm² 以上の広範囲な領域について測定し、圧延面 (ND 面)

内のコロニーの存在を確認した。また、コロニーの形態をこれまで提案されたリジングモデル⁴⁻⁹⁾と比較検討した。

2 実験方法

コロニーの存在の有無の検証およびリジング特性と結晶方位分布の関係を調査する目的で、リジングのほとんど発生しない高耐リジング性 SUS430 製品板 (430U) とそれに比べてリジング特性の劣る通常の SUS430 製品板 (430S) を実験に用いた。製品の化学組成を Table 1 に示す。なお、同一の化学組成であってもリジング特性が異なるのは製造条件の違いによるものである。

サンプル採取方法の概略を Fig. 1 に示す。製品板から板厚 0.7 mm、幅 20 mm、長さ 150 mm の短冊状試験片を切り出し、さらに短冊を 4 つに分割した。まず、両端の Section 1 と 4 を圧延方向に 25% 引張加工を施しリジングを発生させた。発生したリジングのうち Section 1 から 4 に渡って伸びているものを見つけ、そのリジングの山と谷を含むように Section 2、3 のサンプルを用いて結晶方位分布の測定を行った。RD 面の測定は Section 2 を用い、板幅方向に 2000 μm 以上、板厚方向に約 650 μm の領域について、ND 面の

* 平成10年5月19日原稿受付

Table 1 Chemical composition of type 430 ferritic stainless steel (mass%)

C	Si	Mn	P	S	Al	N	Cr
0.06	0.3	0.6	0.03	0.003	0.01	0.02	16.0

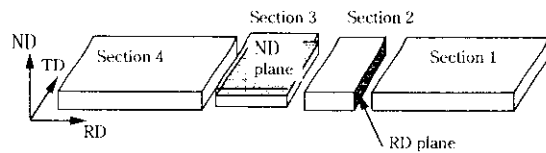


Fig. 1 Schematic representation of the sections constituting the sample (Sections 1 and 4 were stretched parallel to the rolling direction by a strain of 25%; sections 2 and 3 were used in the microtexture analysis)

測定は Section 3 を用い、板厚の 1/4 面について板幅方向に 1200 μm 以上、圧延方向に約 1000 μm の領域について行った。

結晶方位測定および解析は、TSL 社製の orientation imaging microscopy (OIM)¹⁰ を用いて EBSD 法により行った。各測定点の間隔は 4 μm に設定した。

3 実験結果

Section 1 および 4 を用いて測定したリジングプロファイルを図 2 に示す。リジング特性に優れた 430U は細かな凹凸は発生しているものの振幅の大きな山や谷は存在しなかった。一方、リジング特性の劣る 430S は細かな凹凸に加え、幅 1 mm 以上、最大振幅 35 μm の大きな山と谷とからなるリジングが発生していた。板の表裏面で発生したリジングの形態は、武智⁵⁰ が指摘したように表裏面で一定の関係があり、板の表側の山、谷 (凸、凹) が板の裏側の谷、山とほぼ対応している。

まず、圧延面の広い情報を持つ Section 3 を用いて EBSD 法により測定した板厚の 1/4 位置の ND 面結晶方位分布解析結果を図 3 および 4 に示す。結晶方位の表示は、 $\langle h k l \rangle // \text{ND}$ 軸および $\langle u v w \rangle // \text{RD}$ 軸に関して 15° 以内のものを同一方位粒として色付けし、3つの方向 ($\langle 001 \rangle$, $\langle 011 \rangle$, $\langle 111 \rangle$) について図示した。ただし、 $\langle 112 \rangle$ 方位については ND または RD 軸に関して 5° 以内

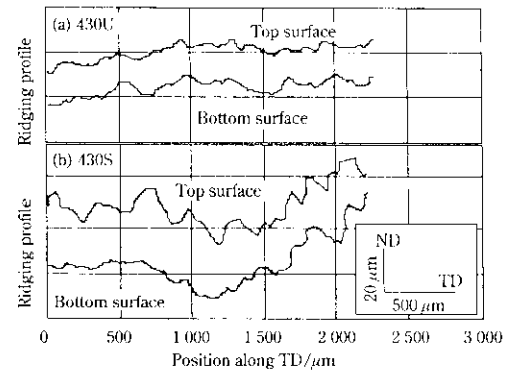
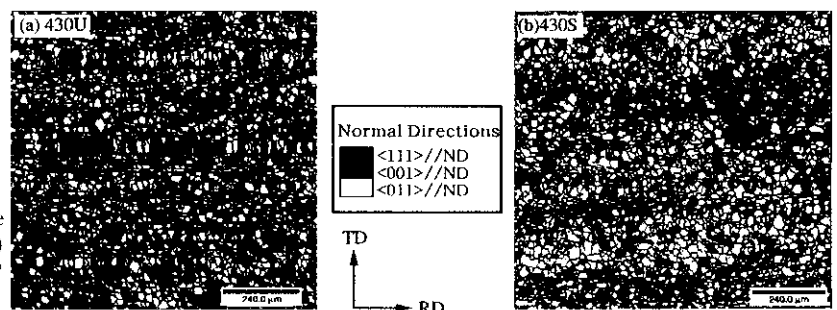
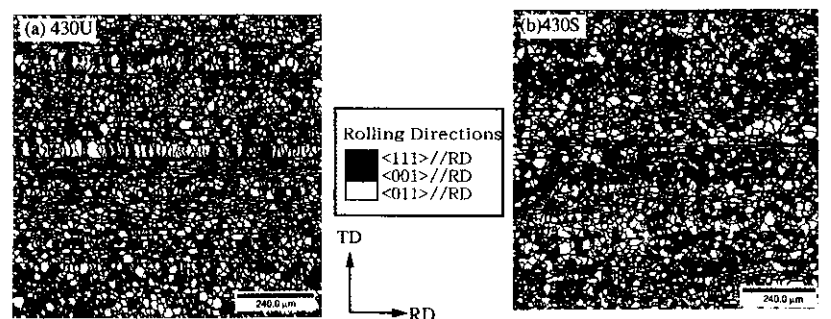


Fig. 2 Roughness profiles of sections deformed by 25% in RD (a) Sample with mild ridging, 430U (b) Sample with severe ridging, 430S

のものを紫色で図示した。また図中の白抜きの結晶は上記 4 方位以外の方位に該当する。

ND 方向に平行な $\langle h k l \rangle$ 方向の法線ベクトルを持つ結晶 ($\langle h k l \rangle // \text{ND}$) の結晶方位分布を図 3 に示す。リジング特性に優れた 430U は $\langle 111 \rangle // \text{ND}$ 方位を主方位に比較的ランダムな結晶方位分布を示した。一方、リジング特性の劣る 430S は幅約 100 μm にわたる明瞭な $\langle 011 \rangle // \text{ND}$ 方位コロニーが存在し、さらに $\langle 111 \rangle // \text{ND}$ および $\langle 001 \rangle // \text{ND}$ 方位粒も圧延方向に伸展したコロニーを形成していた。同様に、Fig. 4 に RD 方向に平行な $\langle u v w \rangle$ ベクトルを持つ結晶粒 ($\langle u v w \rangle // \text{RD}$) の結晶方位分布を示す。430U は $\langle 011 \rangle // \text{RD}$ を主方位に比較的ランダムな結晶方位分布を示した。一方、430S は $\langle 001 \rangle // \text{RD}$ を有する結晶が圧延方向に伸展したコロニーを形成していた。

次に、板厚方向に幅広い情報を持つ Section 2 を用いて測定した RD 面の結晶方位分布を $\langle h k l \rangle // \text{ND}$ について解析した結果を図 5 に示す。430U は 430S に比べて $\langle 111 \rangle // \text{ND}$ の割合が高く、結晶方位の分布もランダムであった。一方、430S は $\langle 111 \rangle // \text{ND}$, $\langle 001 \rangle // \text{ND}$ 方位を有する結晶が十数個かたまった小さなクラスターを形成していた。 $\langle u v w \rangle // \text{RD}$ の結晶方位分布は 430U, 430S ともに $\langle 011 \rangle // \text{RD}$ を主方位としていた。また、430U は 430S に比べて $\langle 001 \rangle // \text{RD}$ を有する結晶粒の割合が多かった。

Fig. 3 Texture maps for normal direction of the 1/4 thickness ND plane of samples. (a) 430U, (b) 430S. A deviation angle of $\pm 15^\circ$ in each orientation has been comprised.Fig. 4 Texture maps for rolling direction of the 1/4 thickness ND plane of samples. (a) 430U, (b) 430S. A deviation angle of $\pm 15^\circ$ in each orientation has been comprised.

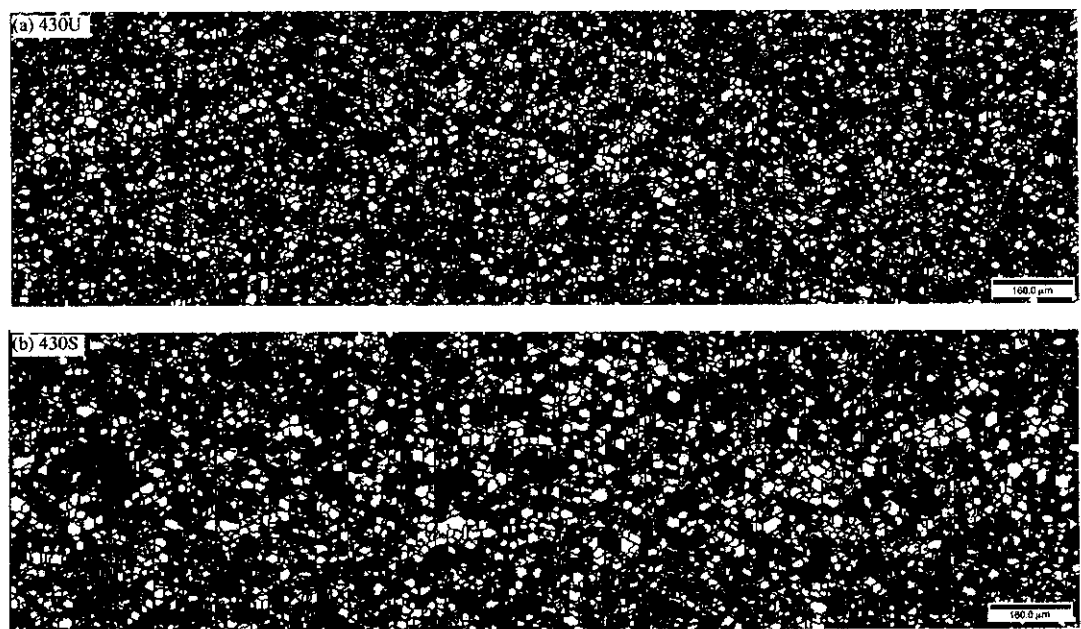


Fig. 5 Texture maps for ND of the RD plane of samples. (a) 430U, (b) 430S. A deviation angle of $\pm 15^\circ$ in each orientation has been comprised.

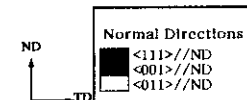


Fig. 5 Texture maps for ND of the RD plane of samples. (a) 430U, (b) 430S. A deviation angle of $\pm 15^\circ$ in each orientation has been comprised.

4 考 察

EBS D 法によって ND 面および RD 面の広範囲な結晶方位分布を測定した結果、リジグ特性の劣る 430S の ND 面内に $\{001\}$, $\{011\}$, $\{111\}$ 方位コロニーが存在することが確認された。ところが、これらの測定結果は $\{111\}$ 方位のマトリックス中に $\{001\}$ 方位の存在を必要とする Wright⁶⁾ のモデルや圧延方向に帯状に $\langle 011 \rangle$ // RD 方位コロニーの存在を必要とする武智⁵⁾ のモデルとは合致しない。Chao のモデル³⁾ も $\{111\}$ 方位コロニーと $\{001\}$ 方位コロニーの共存を前提としており、今回の測定結果と必ずしも一致しない。また、Chao は板の表裏面のリジグの発生形態が Chao のモデルでは説明できないとの指摘に対して、板厚内で $\{111\}$ 方位コロニーと $\{001\}$ 方位コロニーが層状に配列されていれば、板表面のリジグの山谷と板裏面の谷山が一致する可能性があるとして述べている¹²⁾。ところが、430S の RD 面内の結晶方位分布は結晶が十数個かたまったクラスターは存在するものの Chao が予測したような明瞭な層状構造のコロニーは認められなかった。

しかしながら、たとえば今回の測定で多く観察された $\{111\}$

$\langle 011 \rangle$ 方位と $\{001\}$ $\langle 011 \rangle$ 方位について、圧延方向の引張変形が負荷された際の圧延方向と板厚方向のひずみの比 ($\epsilon_{ND}/\epsilon_{RD}$) を計算する⁸⁾ と、それぞれ 0.37 および 1.0 となり板厚方向の変形能に大きな差がある。このような結晶は明瞭なコロニーを形成しなくても層状に重なり合うことによりリジグとなる可能性があり、今後は板厚の断面に着目した解析が重要となると考えられる。

5 結 言

EBS D 法により SUS430 の ND 面および RD 面の結晶方位分布を広範囲にわたって測定し、以下の結論を得た。

- (1) リジグ特性に優れる 430U は ND 面、RD 面ともに比較的にランダムな結晶方位分布を示した。
- (2) リジグ特性に劣る 430S には ND 面に幅約 100 μm の明瞭な $\langle 011 \rangle$ // ND, $\langle 111 \rangle$ // ND および $\langle 001 \rangle$ // ND 方位コロニーが存在した。
- (3) 430S の RD 面には ND 面のような明瞭なコロニーは認められなかったが、 $\langle 111 \rangle$ // ND, $\langle 001 \rangle$ // ND 方位を有する結晶が十数個かたまった小さなクラスターが形成されていた。

参 考 文 献

- 1) H. G. Appel and H. Becker: *Z. Metallk.*, **54**(1963), 724
- 2) L. Nemethy and P. B. Dennis: *Proc. Elec. Fur. Conf.*, (1960), 342
- 3) 大橋延夫: 日本金属学会誌, **31**(1967), 519
- 4) H. C. Chao: *Trans. Am. Soc. Met.*, **60**(1967), 37
- 5) H. Takechi, H. Kato, T. Sunami, and T. Kayama: *Trans. Jpn. Inst. Met.*, **8**(1967), 233
- 6) R. N. Wright: *Metall. Trans.*, **3**(1972), 83
- 7) K. Bethke, M. Hoscher, and K. Luke: *Mater. Sci. Forum*, 157-162 (1994), 1137
- 8) 藤倉政国: 電気製鋼, **40**(1969), 147
- 9) 原勢二郎, 太田同照, 清水 亮, 竹下哲朗: 鉄と鋼, **76**(1990), 118
- 10) B. L. Adams, S. I. Wright, and K. Kunze: *Metall. Trans. A*, **24A**(1993), 819
- 11) D. J. Dingley, V. Randel: *J. Mater. Sci.*, **27**(1992), 4545
- 12) H. C. Chao: *Trans. Am. Soc. Met.*, **60**(1967), 549