

論 文

UDC 669.15'26-194.57 : 620.192.43 : 669.26 : 669.784 : 620.191.35

18Crステンレス鋼板におけるリジング現象と
断面偏析模様について*

鈴木 敬治郎**・浅見 昭三郎***

Etch-Pattern of Transverse Cross-Section and Ridging Phenomenon
in 18Cr Stainless Steel Sheet

Keijirou SUZUKI and Shōzaburou ASAMI

Synopsis:

The correspondence of the unduration of ridging after tensile test to that of microscopic etch-pattern due to the segregation of Cr and C in 18% Cr cold rolled and annealed stainless steel sheet was observed. The results are as follows.

- (1) A laminated etch-pattern is observed at the center layer of transverse cross-section of hot rolled band. This laminated etch-pattern becomes wavy and is observed in the full-thickness of cold rolled and annealed sheet.
- (2) The unduration of wavy etch-pattern nearly corresponds to that of ridging appeared after stretching the specimen to its rolling direction by 20%.
- (3) The height of unduration of ridging is proportional to that of wavy etch-pattern.
- (4) These facts suggest that the wavy etch-pattern to be the origin of ridging phenomenon in this steel sheet.

1. 結 言

フェライト系ステンレス鋼、とくに SUS 430 では成形加工時に圧延方向に平行な帯状の凹凸が激しく生じる。この凹凸すなわちリジング現象は美観を損ねるのみでなく研磨工程の増加をひきおこす。そのためにリジング現象の発生機構の解明と消去対策についての研究は古くから報告されている。従来の報告では発生機構について板面結晶方位あるいは集合組織の差によると考えるものが多く^{1)~13)}、また消去対策ではマルテンサイト変態を利用して板面結晶方位のランダム化を行うことによるものもある¹⁾²⁾¹⁴⁾。

以上のように、リジングの発生については結晶方位的に考えることが多い。そして再結晶集合組織が {111} 板面方位だけであるように Texture Control し、かつ結晶粒を微細化すればリジングは消去できることも述べられている¹⁵⁾。しかし、まったくこのように調整されたフェライト系ステンレス鋼板でも顕著なリジングが観測され

た¹⁶⁾。したがってリジング発生に関し、結晶方位以外の金属的因子を追求することを試みてきた。その一つとして Cr, C の偏析に注目し、C 量が 0.03% から 0.12%, Cr 量が 16% から 18% であるような汎用フェライト系ステンレス鋼においては状態図からわかるように Cr, および C の偏析が生じる。すなわち熱延のように ($\alpha + \gamma$) 二相領域を通過するような処理においては、 α 部で Cr が多くて C が少なく、また γ 部では逆に Cr が少なく C が多くなる。この成分偏析した状態は 2 回冷延 2 回焼なまし後にも消去せず同一板面内に耐食性の異なつた部分を生ぜしめる。そのために冷延焼なまし材の板面を強く腐食すると、圧延方向に沿って平行な縞状の腐食模様が観察される¹⁷⁾。

この腐食模様とリジング現象との形状の類似性から両者の対応を検討したが、その相関は必ずしも満足すべきものではなかつた¹⁸⁾。この原因は、腐食模様を板面のみに観察し、それとリジングとの対応を検討したことにある。また、リジングの大きさは圧延方向に対して直角方

* 昭和 51 年 10 月本会講演大会にて発表 昭和 53 年 12 月 15 日受付 (Received Dec. 15, 1978)

** 東京大学工学部 工博 (Faculty of Engineering, The University of Tokyo)

*** 高砂鉄工(株)志村製造所 (Shimura Works, Takasago K.K. 1-1-1 Shinkashi Itabashi-ku 175)

向に測定することから、圧延方向に対して垂直な断面 (Fig. 1, C断面)での検討も必要であると考えた。従来のいくつかの報告の中には板面のみでなく試料断面での観察から検討を行つているものもあるが、圧延方向に平行な断面 (Fig. 1, L断面)からの検討が主体になっていた⁹⁾、またC断面での検討がなされていてもその観察がリジングの大きさに比べて微視的であると思われる¹⁰⁾。

以上の観点に立ち、Cr および C の偏析帯の分布状態 (以後これを偏析模様とする) とリジングとの関係についてC断面からの観察を中心に検討した。

2. 実験方法および結果

本実験に供した材料は市販されている SUS 430 の熱延後焼なまし酸洗 (以後これを熱延板とする) したものである。厚さは 3.6 mm でその化学成分を Table 1 に示す。

本実験での検鏡面を Fig. 1 に示す。圧延方向に垂直な断面をC断面、C断面を板厚方向に拡大するために斜面としたものをS断面、圧延方向に平行な断面をL断面とした。またリジングは 20% の伸び変形後の板面を圧延方向に対して直角に触針式アラサ計で測定した。

2.1 偏析模様

熱延板の C 断面を 80°C の硝ふつ酸水溶液 (30% $\text{HNO}_3 + 2\% \text{HF} + \text{H}_2\text{O}$) で強く腐食したときの偏析模様を Photo. 1 に、そして板厚中心層におけるその拡大を Photo. 2 に示す。強く腐食された部分 (写真中黒い部分) と腐食されにくい部分 (写真中白い部分) との積層密度は

中心層と表面層で異なり、中心層では強い縞状の偏析模様となり表面層では明確でない。そしてそれらの偏析模様の形状を観察すると、表面層では等軸状であり、中心層では Photo. 2 から明らかなように層状のうねりとなつていた。

このような熱延板を通常の 2 回冷延 2 回焼なまし処理したものの C 断面の偏析模様を Photo. 3 に示す。このときの各冷延率は 60%、焼なましは 800°C で 10 min とした。この C 断面の偏析模様を見ると、腐食された部分と腐食されない部分との間隔は熱延板に比較してきわめて小さく、その密度が高いことがわかる。そのために偏析模様が明確に観察されないが、Photo. 4 と Photo. 5 に示した S 断面の偏析模様を見ると明らかなように、熱延板の C 断面中心層に見られたような層状のうねりが冷延焼なまし後にも見られた。縞状の偏析模様の積層密度は C 断面で均一に観察され、熱延板のように中心層と表面層との差は観察できなかつた。また偏析模様の形状は Photo. 3 に見られるように、Fig. 2 (a) のようなうねりの方向が試料断面ですべて同一の場合と、Photo. 4 で見られるように Fig. 2 (b) のようなうねりの方向が同一断面内で変化する場合とが観察された。

2.2 偏析模様とリジング

熱延板を 2 回冷延 2 回焼なましした材料の C 断面における偏析模様とリジングの凹凸との対応について検討した結果を Fig. 3 に示す。横軸は冷延焼なまし時の C 断面における偏析模様のうねりの高さで、その測定方法は Photo. 6 に示した。h はうねりの高さ、w はうねりの幅

Table 1. Chemical composition of steel used.

(wt%)						
C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
0.07	0.40	0.50	0.026	0.007	0.10	16.26

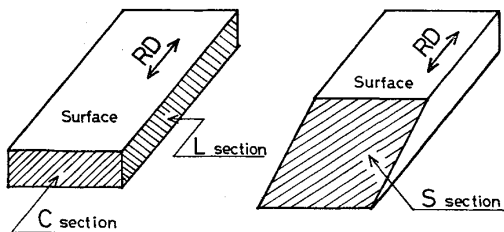


Fig. 1. Cross-sections for microscopic observation.
C Section : The section transverse to rolling direction (RD)
S Section : The sloped section transverse to RD
L Section : The section parallel to RD

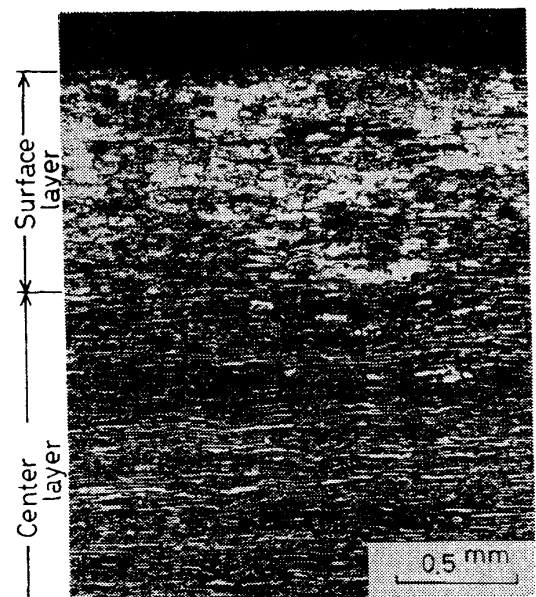


Photo. 1. Etch-pattern in C section of hot rolled and annealed band ; etched in ($\text{HNO}_3 + \text{HF} + \text{H}_2\text{O}$) solution at 80°C.

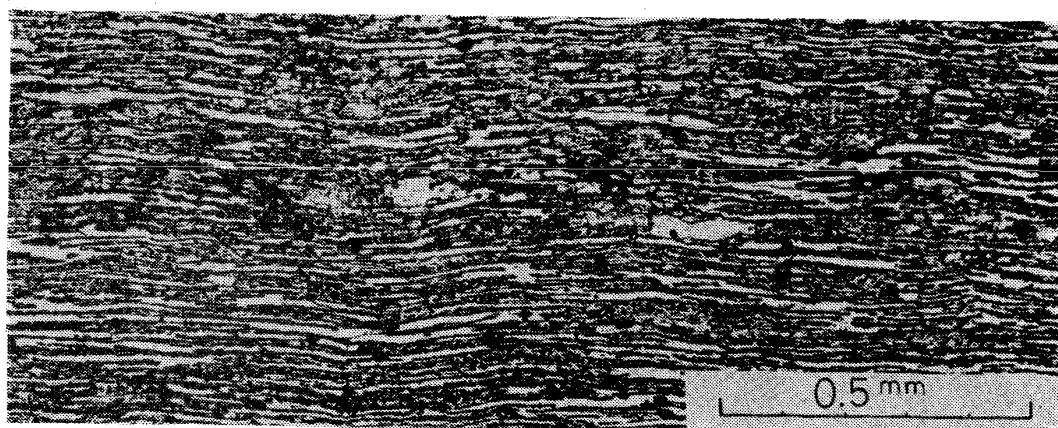


Photo. 2. Etch-pattern in the center layer of C section of hot rolled and annealed band.

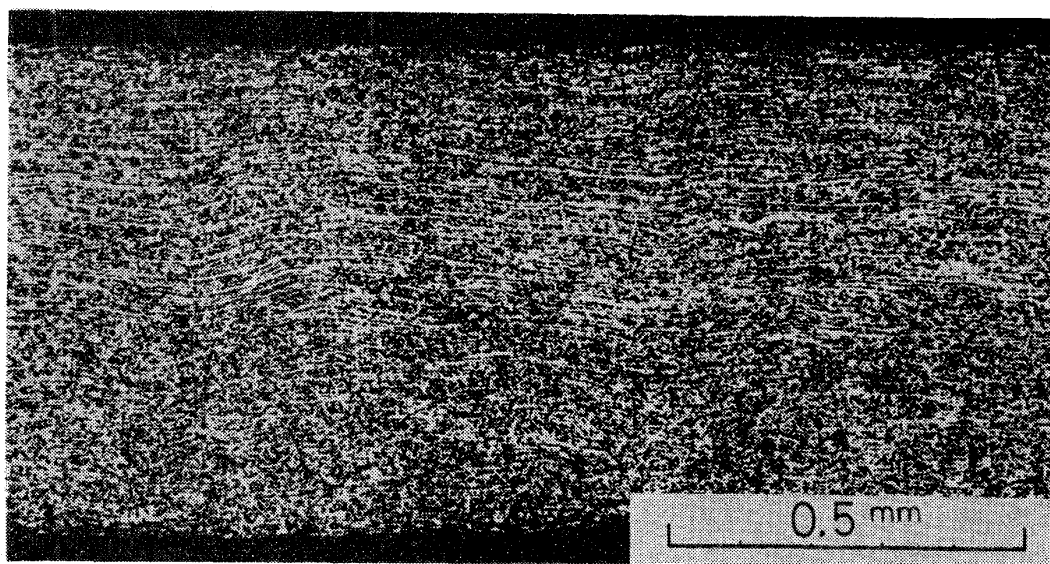


Photo. 3. Etch-pattern in C section of cold rolled and annealed (repeated in twice) sheet.

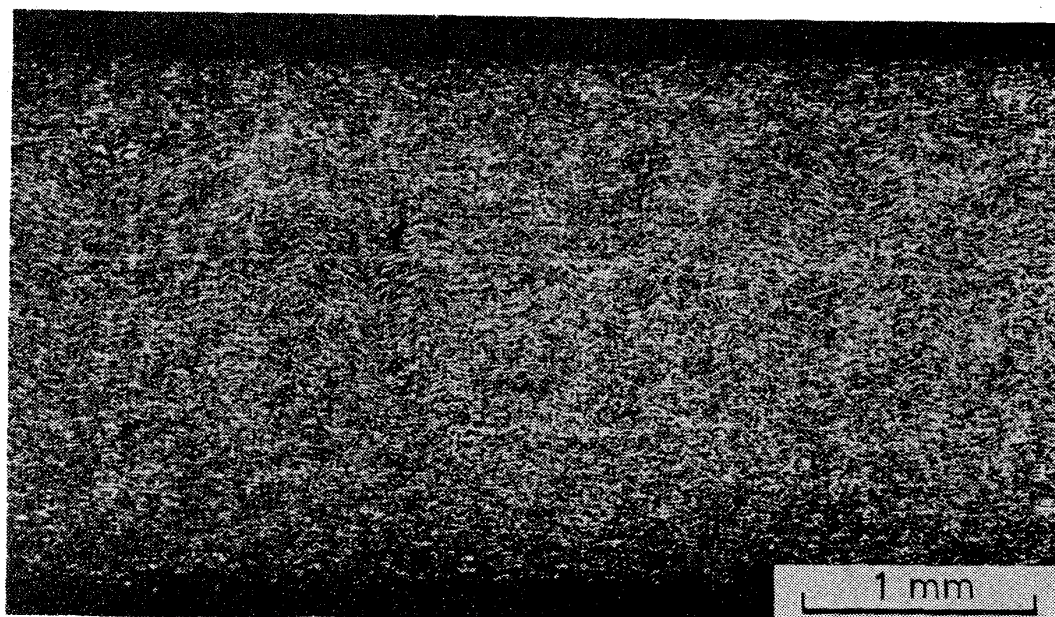


Photo. 4. Etch-pattern in S section of cold rolled and annealed (repeated in twice) sheet.

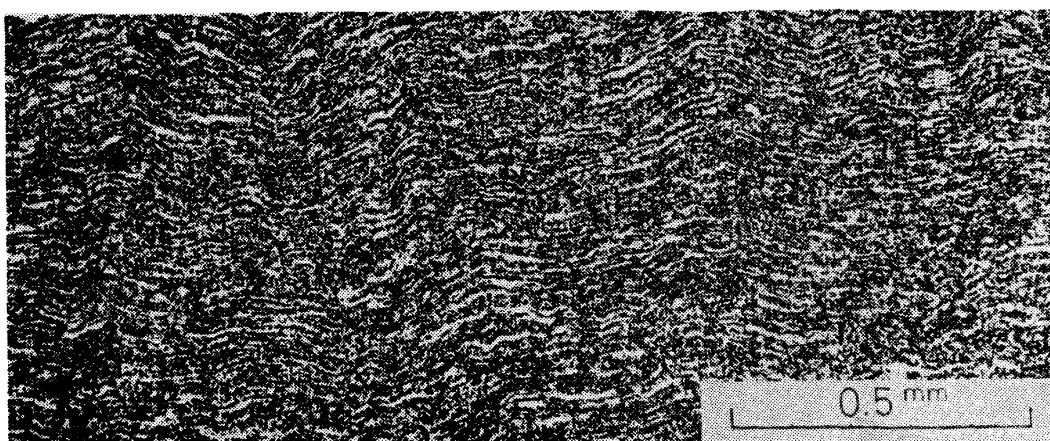


Photo. 5. Etch-pattern in the center layer of S section of cold rolled and annealed (repeated in twice) sheet.

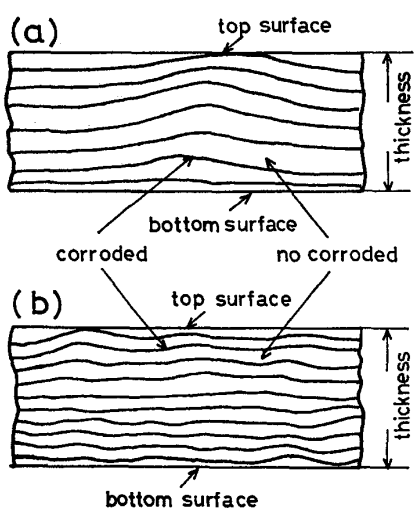


Fig. 2. Illustration of two types of etch-pattern in C section.
 (a) uniform unduration
 (b) irregular unduration

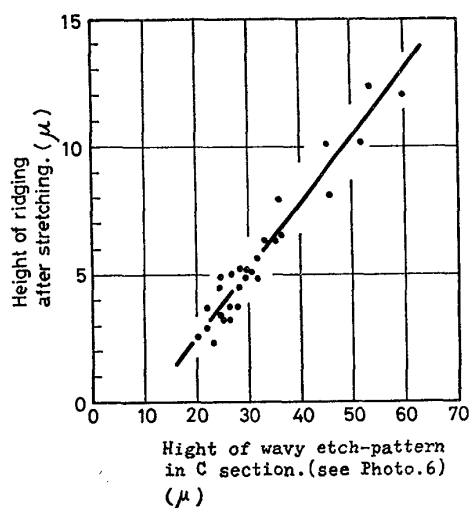


Fig. 3. Correlation between the height of unduration of ridging and that of wavy etch-pattern in C section before tensile test of cold rolled and annealed sheet.

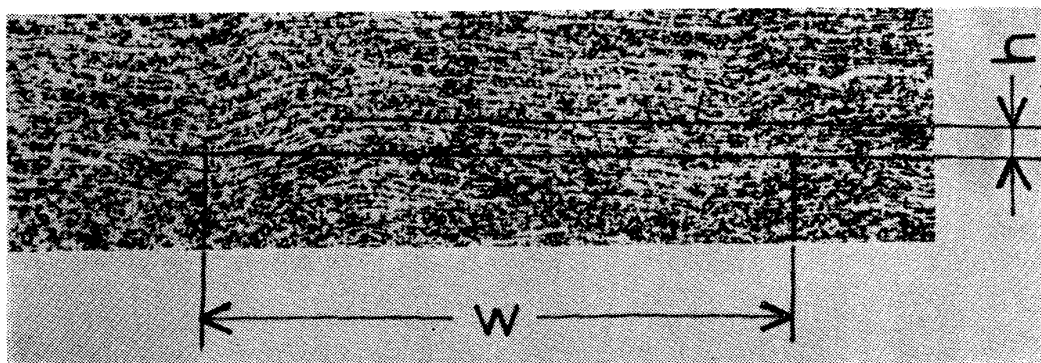


Photo. 6. Measurement of the undulation of wavy etch-pattern.
 h : height of the wave w : length of the wave

であり、また Fig. 3 に示したうねりの高さは一個の断面に対して 5ヶ所の平均値である。縦軸は偏析模様を観

察した部分から 20~30 mm 離れた部分を圧延方向に対して平行に引張試験したときのリジングの高さである。

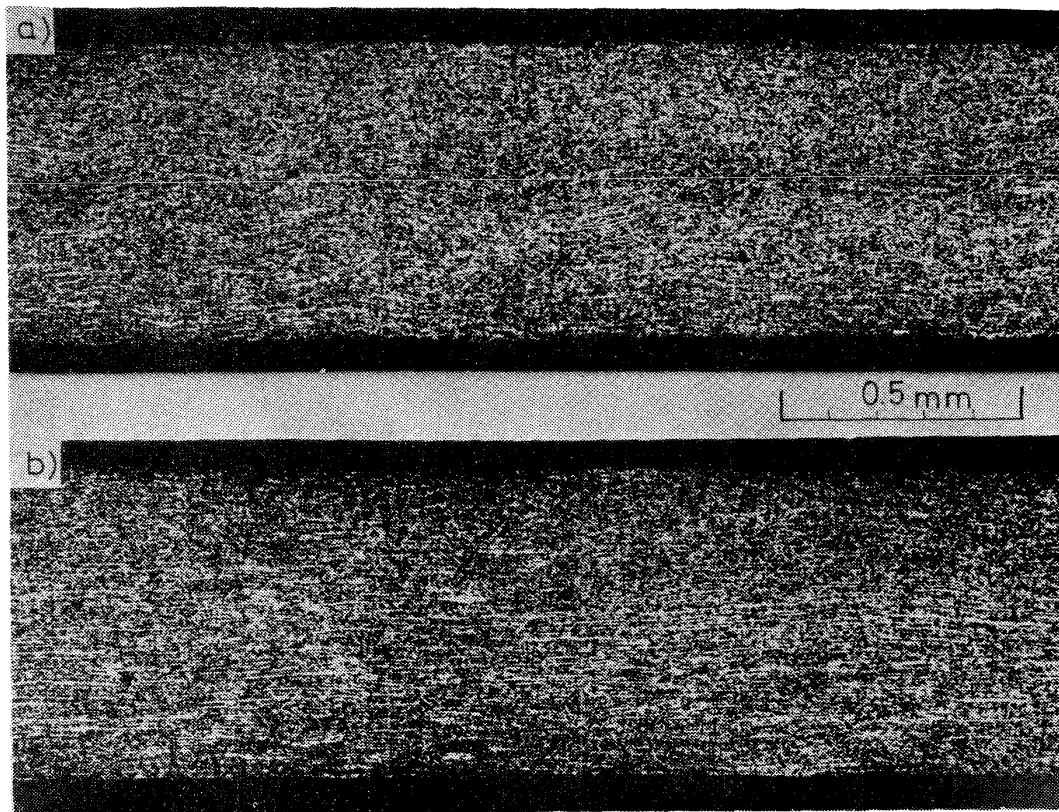


Photo. 7. Etch-pattern in C section of cold rolled and annealed sheet after the tensile test with 20%.

- (a) The stretched direction is parallel to the rolling direction
 (b) The stretched direction is perpendicular to the rolling direction

Fig. 3 から冷延焼なまし後のC断面での偏析模様のうねりの高さが高くなると引張試験後のリジングの高さも比例して高くなることが認められた。

引張試験後のC断面における偏析模様を Photo. 7 に示す。(a)は引張方向が圧延方向に対して平行な場合で、(b)は直角に引張試験を行ったときの結果である。引張方向が圧延方向に対して直角な場合は、平行な場合に比較して偏析模様のうねりはよりゆるやかになっていることがわかる。そこで、各々の場合の偏析模様のうねりの高さや幅を、Fig. 3, Photo. 6 で求めた方法と同様に測定した。引張方向が圧延方向に対して平行な場合、高さは約 55.0μ 、幅が 1021.5μ であり、直角な場合高さは約 40.0μ 、幅が 1515.0μ であつた。

以上のことから、冷延焼なまし時に存在するC断面における偏析模様のうねりの形状が引張加工後のリジングに影響をおよぼし、また引張加工によつて偏析模様の形状も変形することが明らかとなつた。

2.3 冷延焼なましの影響

C断面の偏析模様におよぼす冷延焼なましの影響について検討した。ここで熱延板のC断面中心層における偏析模様のうねりによる影響が考えられるので、熱延板の

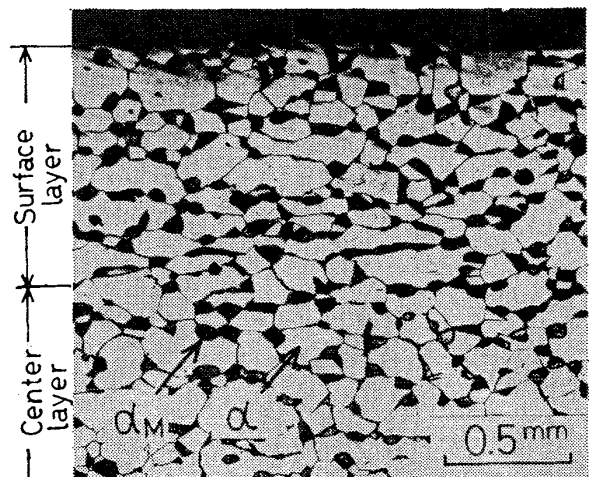


Photo. 8. Etch-pattern in C section of hot rolled and heat treated band; heat treatments are (1) 1200°C for 11h and (2) 800°C for 30min.

- α : ferrite, (white phase)
 α_M : annealed martensite (austenite at 1200°C), (black phase)

偏析模様を均一に分散させるために二相領域すなわち 1200°C に 11 h 加熱保持したのち空冷したものを 800°C で 30 min 焼なましする処理 (この処理を二相処理

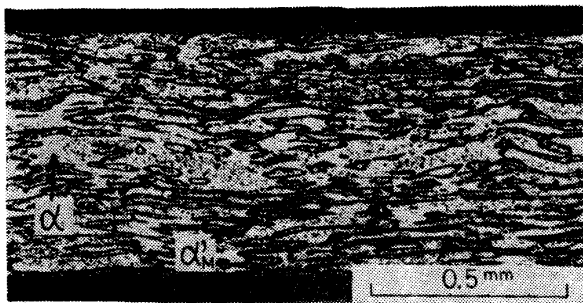


Photo. 9. Etch-pattern in C section of cold rolled and annealed (repeated in twice) sheet which is made of hot rolled and heat treated band shown in Photo. 8
 α : ferrite
 α'_M : cold rolled and annealed α_M

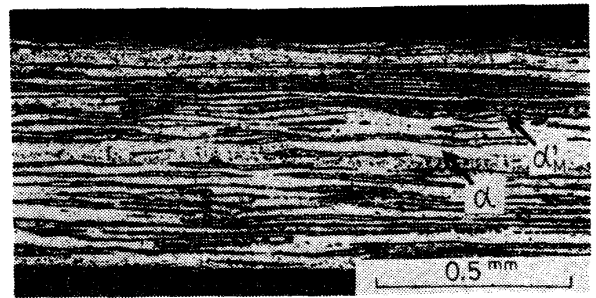


Photo. 10. Etch-pattern in L section of cold rolled and annealed (repeated in twice) sheet which is made of hot rolled and heat treated band shown in Photo. 8

とする)を行つた。二相処理を行つたもののC断面の偏析模様を Photo. 8 に示す。この偏析模様を見ると二相処理により腐食された部分すなわち元オーステナイト部 (α_M) は板厚方向でほぼ均一な分布をしており、また Photo. 2 に見られた偏析模様のうねりが観察できないことから熱延の影響はほとんど消滅しているものと考えられる。

二相処理後通常材と同じ方法で2回冷延2回焼なましを行つた試料のC断面の偏析模様を Photo. 9 に示す。Photo. 8 に示したように冷延前に元オーステナイト部が等軸状に均一な分布をしていたものが冷延焼なまし後は縞状となり、しかも冷延によつて板面が平面となつてい

るにもかかわらず、偏析模様はうねりとなつて観察された。このことから、縞状の偏析のうねりが圧延によつて生じることが明らかになつた。なお断面での偏析模様は Photo. 10 に示すようにC断面に比較してより平行に伸延していた。

つぎに、このように処理した試料についてもC断面における偏析模様とリジングの凹凸との関係を Photo. 11 に示す。Photo. 11 において偏析模様のうねりの方向とリジングの凹凸と一致していることが明りように認められた。

3. 考 察

18 Cr ステンレス鋼板の場合、フェライトとオーステ

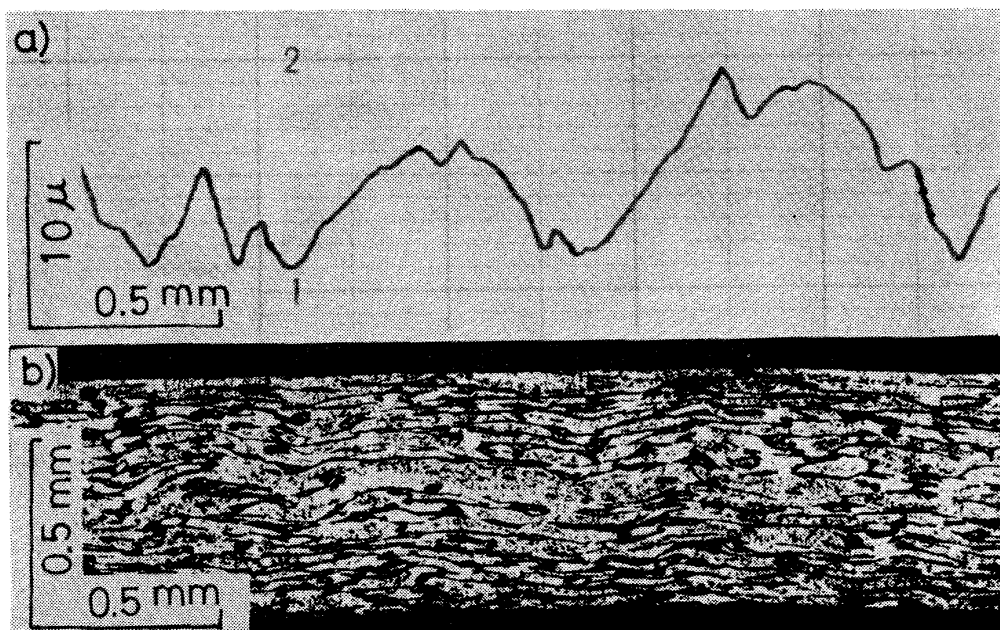


Photo. 11. Correspondence between ridging profile and etch-pattern in C section of cold rolled and annealed (repeated in twice) sheet which is made of hot rolled and heat treated band shown in Photo. 8.
 (a) ridging profile (b) etch-pattern

ナイトの二相領域での各組織間に生じる Cr と C の偏析が冷延焼なまし後にも消滅しないことはすでに述べたとおりである¹⁷⁾。このことから Photo. 3, 4, 5 および Photo. 9 に示した 2 回冷延 2 回焼なまし後の C 断面における偏析模様は, Cr および C の偏析に起因する腐食差にもとづくものと思われる。また本実験により 18Cr ステンレス鋼板の C 断面の偏析模様は縞状かつうねりをともなっていることがわかり, その偏析模様のうねりとリジングの凹凸とが形状, 大きさともによく対応することが明らかとなった。

18Cr ステンレス冷延薄鋼板の板面における縞状の偏析模様が圧延方向に沿って平行に観察され, その偏析模様の形状がリジングの凹凸を板面において平面的に見たときの形状によく似ていたことから, 従来よりリジング現象と偏析模様の関係について検討を行ってきた¹⁷⁾。しかし板面に観察される縞状の偏析模様とリジングとを対応させるとおおむねは合致するが, 一部に合致しない部分も観察された。この点については次のように考察できる。すなわち Fig. 4 (a) に示したように C 断面における偏析模様のうねりが板面に対して凸であるような場合には縞状に腐食された部分がより多く板面に観察され, そして偏析模様とリジングの凸部とがよく対応する。しかし断面における偏析模様のうねりが板面に対して凸でありながら Fig. 4 (b) に示したように板面にまで到達していないような場合は, リジングが凸であるにもかかわらず腐食された部分が板面に観察されないことになり, リジングの凹凸と偏析模様とは対応しなくなる現象を生じたものと思われる。

また熱延板におけるリジング現象においては, 中心層

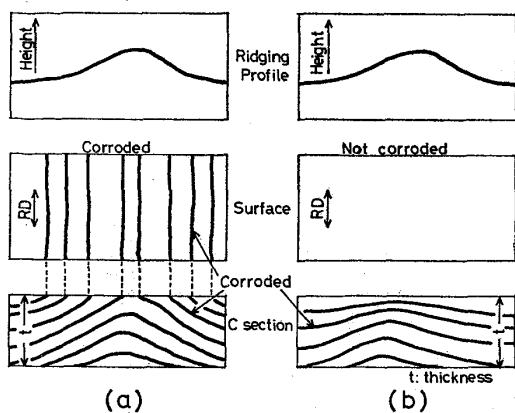


Fig. 4. Illustration of two types of correlation between ridging profiles and etch-patterns observed in the C section and the surface of specimen.

- (a) The case of well coincident
(b) The case of not coincident

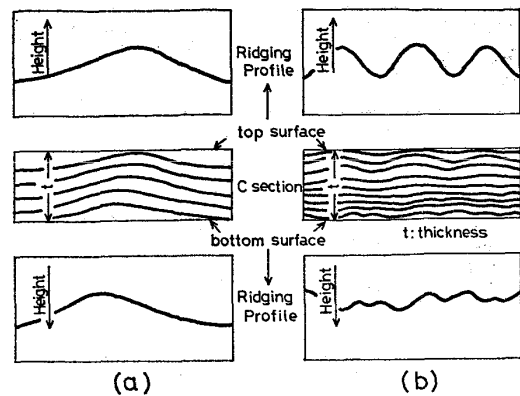


Fig. 5. Illustration of two types of correlation between ridging profiles observed at the top and the bottom surfaces of specimen and etch-patterns in C section.

- (a) The case of well coincident in the profiles of ridging at both surfaces.
(b) The case of not coincident in the profiles of ridging at two surfaces.

と表面層で異なり, 中心層のほうにより激しいリジングが観察されることが知られている⁸⁾。本実験によれば, Photo. 1, 2 から C 断面の中心層に偏析模様のうねりが存在するが表面層にはそのうねりが観察されないこと, また Fig. 3 から偏析模様のうねりの高さの大きいほうがリジングの高さが高いことにより, 偏析模様のうねりが観察される中心層のほうにより激しいリジングを生じることが明らかである。このように冷延板および熱延板のいずれの場合も, C 断面における偏析模様のうねりとリジングとは密接な関係にあることがわかった。

一方, 冷延焼なまし板におけるリジング現象を考えると, 表面と裏面での凹凸の関係が論議されている⁸⁾。Photo. 3, Photo. 4, 5 および Photo. 9 に示した冷延焼なまし後の C 断面における偏析模様のうねりを詳細に観察すると, Fig. 2 (a) に示したようにうねりの方向が板厚方向すべてに同一方向に観察される場合と, Fig. 2 (b) に示したように板厚方向でうねりの方向が部分的に異なつて見られる場合が認められた。しかも Photo. 11 の結果からリジングの凹凸が偏析模様のうねりの方向とよく一致していることから考えると, Fig. 5 (a) のようにうねりの方向が板厚方向全体に同一方向で見られる場合には, うねりが表側 (図示上, 上側) に凸であればリジングは凸であり, 裏側 (図示上, 下側) は表側に対応して凹になるはずである。また Fig. 5 (b) のように偏析模様のうねりの方向が部分的に異なつた方向にある場合, 表側と裏側ではリジングの凹凸は対応しなくなるものと思われる。実際の薄板製品の場合は Fig. 5 の (a) と (b) の状態は混在したものであり, Fig. 5 (a) のよう

な要素が多い場合には表裏のリジグの形状は対応したものとなり、しかもリジグの高さは高くその間隔は広いものとなり、Fig. 5 (b)のような要素が多ければ表裏のリジグの形状は対応しなくなり、そしてリジグの高さは低くその間隔はせまいものとなることが考えられる。

また冷延焼なまし板の引張試験において引張方向が圧延方向に対して平行方向と直角方向とではリジグの度合に差異を生じることがよく知られている現象である。通常の場合、圧延方向に対して平行に引張を行った場合のほうが直角に引張を行った場合より激しいリジグが観察される。圧延方向に対して平行に引張変形を加えると圧延方向に対して直角方向 (C断面) に幅収縮変形が作用することにより偏析模様のうねりは間隔がせまく、また高さが高くなって強調されるものと思われる。また圧延方向に対して直角に引張変形を加えると圧延方向に対して直角方向 (C断面) に伸び変形を受けるので偏析模様のうねりは引き伸ばされ、その間隔は広くまた高さは低くなるものと思われる。したがって圧延方向に対して平行に引張試験を行った場合はリジグの高さは高く間隔が狭くなり、そして圧延方向に対して直角に引張試験を行った場合はリジグの高さは低くその間隔が広がることを考えられる。また、このように引張方向によってリジグの大きさは異なってくるが、いずれの場合もリジグは圧延方向に平行に発生する。

以上のことから 18Cr ステンレス鋼板におけるリジグ現象はC断面において Cr およびCの偏析模様が縞状かつ層状のうねりと密接な関係にあることがいえる。

4. 結 言

18 Cr ステンレス鋼板に生じるリジグ現象について板面から検討するのでは不十分であるとの観点から、圧延方向と板面に対して垂直な断面での Cr およびCの偏析模様を観察し、リジグ現象との関係について検討を行い次のような結果を得た。

(1) 熱延板の中心層および冷延焼なまし板の板厚方向全体に Cr およびCの偏析模様が観察された。

(2) その偏析模様は層状のうねりをともなっていた。

(3) 偏析模様のうねりは圧延で生じることがわかった。

(4) 偏析模様のうねりの方向と引張試験後におけるリジグの凹凸とがよく一致し、そのうねりの高さと同凸の高さとが相関関係にあった。

(5) 以上のことから、18 Cr ステンレス鋼薄板のリジグ現象は圧延方向に垂直な断面における Cr およびCの偏析模様の形状と密接な関係にあることが明らかになった。

文 献

- 1) 荒川基彦, 清水邦彦, 沢谷 精, 大岡耕之: 鉄と鋼, 58(1972), S480
- 2) 宮地博文, 渡辺 敏: 日本金属学会誌, 39(1976) 2, p. 194
- 3) 大橋延夫: 日本金属学会誌, 31(1967) 4, p. 519
- 4) 五弓勇雄, 鈴木敬治郎, 猪野信吾: 日本金属学会誌, 34(1970), p. 516
- 5) 五弓勇雄, 鈴木敬治郎, 猪野信吾, 清水公二: 日本金属学会誌, 34(1970), p. 520
- 6) 浜崎美智子, 五弓勇雄, 岡村俊一: 日本金属学会誌, 33(1969), p. 1017
- 7) 浜崎美智子, 五弓勇雄, 岡村俊一: 日本金属学会誌, 34(1970), p. 569
- 8) 武智 弘, 加藤 弘, 角南達也, 中山 正: 日本金属学会誌, 31(1967), p. 717
- 9) H. C. CHAO: Trans. ASM, 60(1967), p. 37
- 10) H. C. CHAO: Met. Trans., 4(1973) 4, p. 1183
- 11) 川原浩司: 日本金属学会誌, 38(1974) 5, p. 440
- 12) 川原浩司: 日本金属学会誌, 38(1974) 8, p. 731
- 13) 川原浩司: 日本金属学会誌, 38(1974) 11, p. 1059
- 14) T. THOMPSON and J. L. LAMONT: Proc. Elect. Fur., 19(1961), p. 70
- 15) 鉄鋼協会再結晶部会報告 I (1974), p. 11
- 16) 鈴木敬治郎: 鉄と鋼, 講演概要集, 62(1976), S 226
- 17) 鈴木敬治郎, 浅見昭三郎, 鈴木積善: 鉄と鋼, 63(1977) 5, p. 295
- 18) 鈴木敬治郎, 浅見昭三郎, 鈴木積善: 鉄と鋼, 64(1978) 10, p. 117
- 19) J. D. DEFILIPPI and H. C. CHAD: Met. Trans., 2(1971) 11, p. 209