

論文

UDC 669.14.018.8 : 669.15'26'295'786-194.57-416 : 539.52 : 539.4

Ti 添加低 C, N-17%Cr ステンレス鋼薄板の加工性*

沢谷 精**・清水 邦彦**
 中山 正***・平井 卓**

The Formability of Ti Stabilized Low C, N-17%Cr Stainless Steel Sheets

Tadashi SAWATANI, Kunihiko SHIMIZU,
 Tadashi NAKAYAMA, and Takashi HIRAI

Synopsis:

Press formability of Ti-stabilized low C, N-17% Cr stainless steel is evaluated by various model forming experiments in comparison with SUS430 and SUS304.

Ti-stabilized steel is superior to SUS430 but inferior to SUS304 in ductility, deep drawability, and secondary formability. Ti-stabilized steel achieves deep drawability almost equal to that of SUS304 when a new ester type synthetic lubricant is applied.

Ti-stabilized steel is very superior to SUS430 in ridging but this steel is not immune from surface wrinkle after pressing because there is a tendency of easy grain coarsening. The surface wrinkle appears as a result of simultaneous occurrence of ridging and orange peel and increases linearly as the equivalent strain of the deformed part increases. The tendency is improved by a single cold rolling process with high cold reduction.

1. 緒言

フェライト系ステンレス鋼板の加工性はおもに r 値によつて支配されることはよく知られている¹⁾。前報²⁾において、低 C, N-17%Cr ステンレス鋼に Ti 添加することにより r 値が著しく改善され、 r 値改善に関する製造条件の影響および集合組織的検討結果について報告した。本報で、Ti 添加低 C, N-17%Cr ステンレス鋼の加工性について SUS 430 および SUS 304 と比較しながら検討した結果について報告する。

2. 実験

2.1 実験試料

(1) 化学成分

Ti 添加量を変えた実験室真空溶解材の化学成分を、Table 1 に示す。Ti 添加材を含めて現場製造材の化学成分を Table 2 に示す。

(2) 熱延板製造条件

真空溶解材は高周波炉にて 45 kg の鋼塊を溶製し、1100°C で 1 h 均熱後 110 mm 角の鋼塊からくり返し 2 回の熱延で 3.8 mm の板厚の熱延板とした。現場製造材

Table 1. Chemical analyses of vacuum melted stainless steel sheets (wt%).

Samples	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ti	N
VF-0%Ti	0.004	0.03	0.05	0.013	0.002	16.4	Tr	0.0058
VF-0.2%Ti	0.006	0.4	0.41	0.019	0.007	16.5	0.17	0.0037
VF-0.4%Ti	0.006	0.4	0.41	0.019	0.007	16.5	0.40	0.0038
VF-0.8%Ti	0.006	0.4	0.41	0.019	0.007	16.5	0.64	0.0040

Table 2. Chemical analyses of commercial stainless steel sheets (wt%).

Materials	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Ti	Al	N
Ti-LC, N-17%Cr	0.006	0.21	1.39	0.027	0.008	0.10	16.66	0.26	0.049	0.0075
SUS 304	0.070	0.66	0.99	0.029	0.011	8.75	18.51	-	-	0.0173
SUS 430	0.051	0.59	0.49	0.027	0.005	0.14	16.76	-	0.061	0.0250

もおもに 3.8 mm の板厚の熱延板を使用したが、肌荒れ性改善を目的とした実験の場合一部 5.5 mm の板厚の熱延板を用いた。

(3) 冷延板製造条件

* 昭和 51 年 9 月 8 日受付 (Received Sep. 8, 1976)

** 新日本製鉄(株)光製鉄所 (Hikari Works, Nippon Steel Corp., 3434 Shimada Hikari 743)

*** 新日本製鉄(株)生産技術研究所 (Process Technology R & D Laboratories, Nippon Steel Corp., Kitakyushu 805)

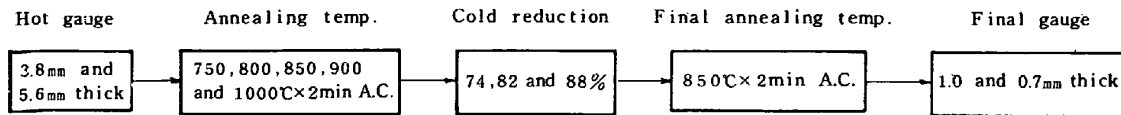


Fig. 1. Single cold rolling processing.

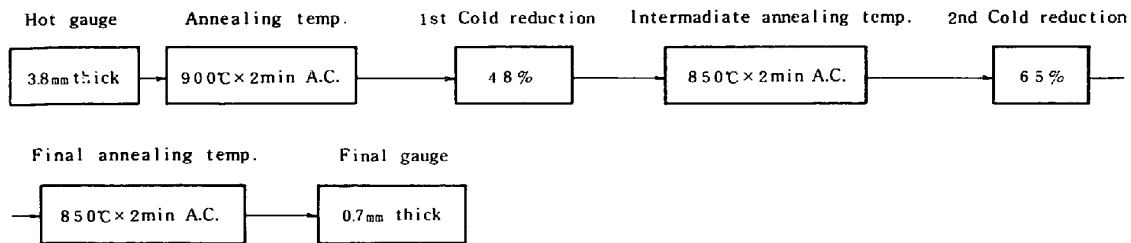


Fig. 2. Double cold rolling processing.

1 段冷延条件を Fig. 1 に示す。板厚は 0.7 mm および 1.0 mm を用いた。

2 段冷延条件を Fig. 2 に示す。板厚は 0.7 mm を用いた。本実験で用いた SUS 430 はすべて Fig. 2 に示す条件で 2 段冷延された現場製造材である。

肌あれの改善を目的とした実験においては 1 段冷延条件を基準として熱延板焼鈍条件を 750~950°C で 2 min, および冷延率を 87% まで変えて検討した。

2.2 実験方法

(1) 引張試験

インストロン型 10 t 万能引張試験機を用い、JIS 13号 B 型試験片を用いた。

r 値は 15% 引張後、おおよそリジングは 20% 引張後測定した。リジングは、小坂式触針粗度計 (触針先端半径 5μ) を用いた。

(2) 模型成形性試験

自動型万能深絞り試験機 (東京試験機製作所製) を用い、エリクセン試験は JISZ 2247 により 1 号試験片、A 法で、潤滑剤はグラファイトグリースを使用した。コニカルカップ試験は JISZ 2249 により 打抜き円板試験片、工具 17 型で潤滑剤はマシン油 1 号 (JISK2214) を試験片両面に塗布して行つた。

(3) 成形限界曲線の測定法

菊間らの方法³⁾に従つて、Fig. 3 に示すブランク幅のことなる短冊形試験片を用い潤滑剤を変えてそれぞれの変形径路の最大伸び (e_x) およびそれに直角方向の伸び (e_y) を 1/4" 径のスクライブドサークルを用いて測定し成形限界曲線を求めた。

(4) 絞り性試験

Table 3 に示す試験条件によつて、角筒絞り、円筒絞り、および 2 次成形性試験を行つた。

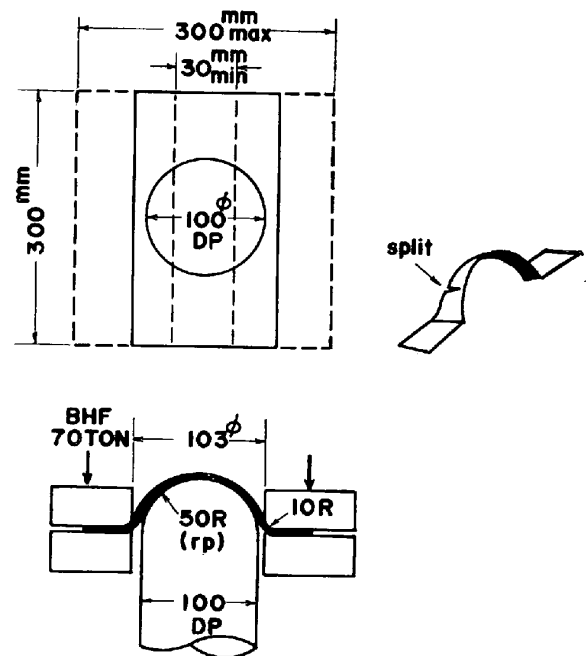


Fig. 3. Experimental method for forming limit diagrams.

3. 実験結果および考察

3.1 引張特性および模型成形性

3.1.1 引張特性におよぼす Ti 添加の影響

引張特性におよぼす Ti 添加の影響を Fig. 4 に示す。Ti 添加量の増大に伴い引張強さは上昇する。降伏点は Ti 無添加材に比べて 0.2%Ti 添加材で一たん低下し、それ以上の Ti 添加で再び上昇する。伸びは Ti 無添加材よりも 0.2%Ti でやや改善されるが、それ以上の Ti 添加で劣化する。

Fig. 4 に結晶粒度もあわせて示すように、Ti 無添加材の強度が低く伸びが高いのは結晶粒度が大きいことも影響していることがわかる。再結晶率と硬度の温度による変化におよぼす Ti 添加の影響を Fig. 5 に示す。熱処

Table 3. Testing condition for various formabilities.

Formability test	Punch dimension			Die dimension		Blank size (mm)	Blank holder force (TON)	Lubricant
	punch dia. (mm)	shoulder rad. (mm)	bottom shape	die dia. (mm)	shoulder rad. (mm)			
Rectangular cylinder drawing	100φ	10r	flat	103φ	5r	210×210	7~60	Johnson wax 122#: machine oil 1# = 1:1
Circular cylinder drawing	100φ	10r	round	103φ	10r	190~230φ	20	J.W.122#: machine oil 1#=1:1
	100φ	5r	round	103φ	10r	190~230φ	5	J.W.122# J.W.700#
	100φ	5r	flat	103φ	10r	190~230φ	5	Ester type synthetic lubricant
Double stage forming	<1st.>50φ	5r	flat	53φ	3r	120φ	1	Ester type synthetic lubricant
	<2nd.>68φ	10r	flat	71φ	5r	120φ	20	No lubricant

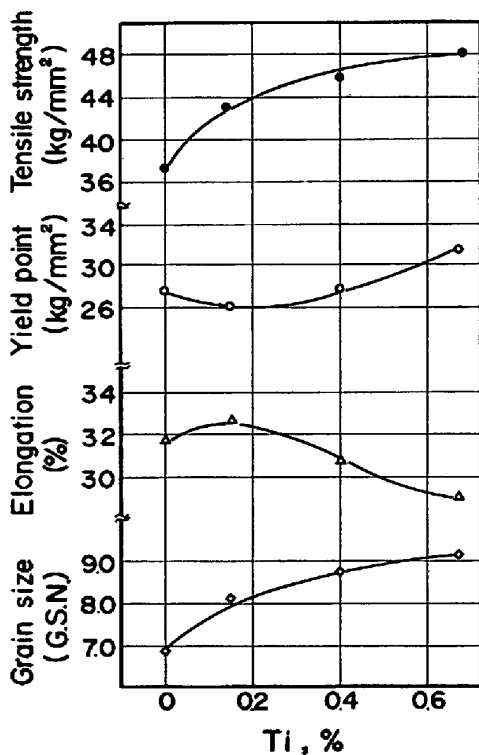


Fig. 4. Effect of Ti addition on tensile properties and grain size of low C, N-17%Cr stainless steels. (Single cold rolling)

理条件としては各温度での 2 min 保定を用いた。この結果から、本実験で使用した 850°C の最終焼鈍温度では 0.4% 以上の Ti 添加材は完全に再結晶を終了していないことがわかる。再結晶がいずれの Ti 量でも完了する 900°C での硬度を $[Ti]_{free} = (\%Ti) - 4 \times (\%C) - 3.86 \times (\%N) - 1.5 \times (\%O + \%S)$ で整理すると Fig. 6 のようになり、引張強さに換算して約 10 kg/mm²/(%Ti) の固溶体硬化が認められる。

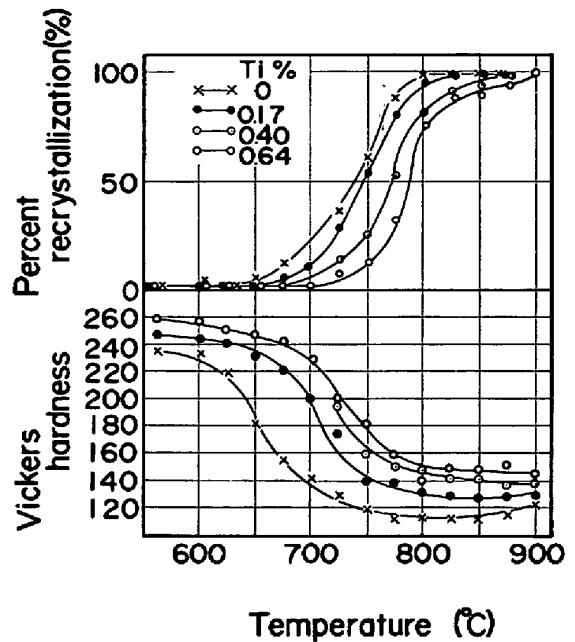


Fig. 5. Effect of Ti addition on hardness and recrystallization temperature of low C, N-17%Cr stainless steels. (Other variables based on the single cold rolling of Fig. 1)

3.1.2 降伏点におよぼす Ti 添加の影響

種々の製造条件を用いて結晶粒度を変化させた材料について、結晶粒径と降伏点の関係を Fig. 7 に示す。多結晶鉄の結晶粒径と降伏点 (σ_y) との関係は Petch の関係⁴⁾ としてよく知られている

$$\sigma_y = \sigma_0 + k_y d^{-1/2}$$

なる式でよく整理される。ここで、 σ_0 は転位の運動に対する摩擦力、 k_y は定数、 d は平均結晶粒径である。Fig. 7 より、Ti 添加材は無添加材に比べて k_y の値が小

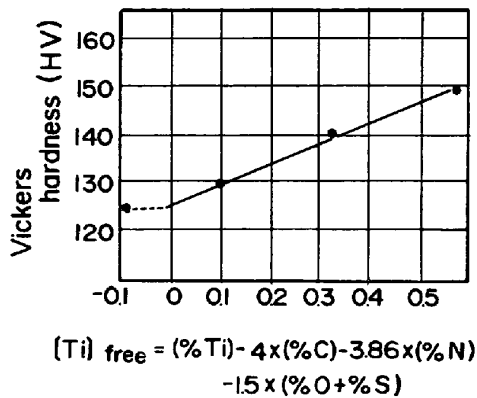


Fig. 6. Effect of $[Ti]_{free}$ on Vickers hardness of low C, N-17%Cr stainless steel with Ti. (Recrystallization temperature: 900°C)

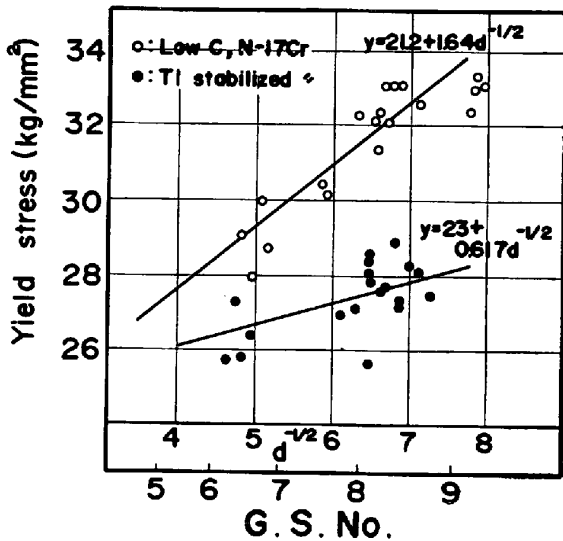


Fig. 7. Relation between grain size and yield stress of Ti stabilized low C, N-17%Cr stainless steel compared with low C, N-17%Cr stainless steel. (d : grain size diameter)

さく下降伏点の結晶粒度依存性が小さいことがわかる。この特徴は Ti 添加した炭素鋼においても認められている⁶⁾。定数 k_y は、粒界近傍に新しく転位を発生させるに要する力が大きいほど大きくなることが知られており、Ti 添加により鋼中の C, N が Ti で強く固定されマトリックスが純化されるため、 k_y が小さくなると考えられる。

一般に、薄鋼板をプレス成形する際加工破断とは別に問題となるベコ、しわ、スプリングバックなどの形状欠陥を防止するためには、降伏点を低くすることが望ましいことが知られている⁶⁾。Ti 添加低 C, N-17%Cr ステンレス鋼は Fig. 7 から明らかなように SUS 430 に比べて降伏点が低く、かつ結晶粒が小さくなるほどその傾向が著しくなることは、この点において望ましいことがわか

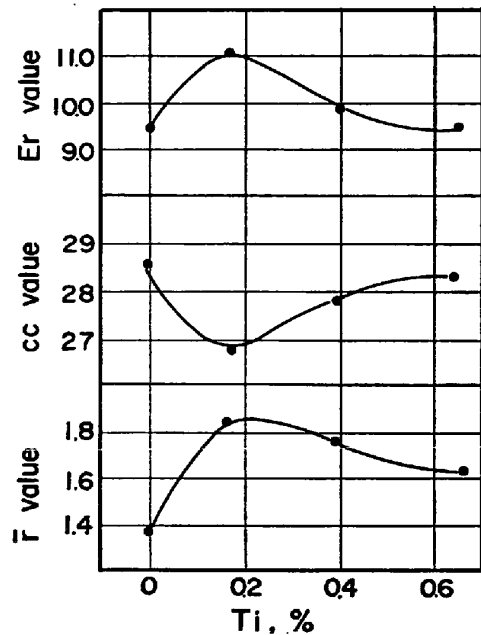


Fig. 8. Effect of Ti addition on Ericksen, conical cup, and \bar{r} value of low C, N-17%Cr stainless steel. (Single cold rolling)

る。

3.1.3 模型成形性におよぼす Ti 添加の影響

エリクセン値およびコニカルカップ値におよぼす Ti 添加の影響を Fig. 8 に示す。図中に \bar{r} 値の変化もあわせて示してあるが、Ti 添加材の模型成形性の向上は \bar{r} 値の向上とよく対応していることがわかる。

3.1.4 Ti 添加量と材質

引張特性、エリクセン値、コニカルカップ値および r 値におよぼす Ti 添加量の影響を検討した結果、また前報で報告した r 値および集合組織におよぼす製造条件の影響を総合的に考察すると、本報で用いた製造条件では Ti 添加量は 0.2~0.3%程度が材質上最も望ましいことがわかる。以下、Ti 添加低 C, N-17%Cr ステンレス鋼の試験出鋼を行い、現場生産設備を用いて製造した広幅の薄鋼板について加工性を SUS 430 および SUS 304 と比較した結果について報告する。

3.2 加工性

3.2.1 機械的性質

実験に用いた薄鋼板の機械的性質、 r 値、模型成形性、粒度などを Table 4 に示す。Ti 添加低 C, N-17%Cr ステンレス鋼は、1 段冷延工程でも 2 段冷延でも製造された SUS 430 に比べて軟質で延性および模型成形性に優れているが、SUS 304 に比べると延性および模型成形性が劣ることがわかる。

3.2.2 集合組織と面内異方性

実験に用いた薄鋼板の板面法線方向についての逆極点

Table 4. Tensile properties, formability, and grain sizes of commercial stainless steel sheets.

Materials	Yield point (kg/cm ²)			Tensile strength (kg/cm ²)			Elongation (%)			n value			r value				Er.	C.C.V.	Grain size	Hardness (Hv)
	L	45°	C	L	45°	C	L	45°	C	L	45°	C	L	45°	C	\bar{r}				
Ti-LCN-17%Cr	29.2	33.1	30.8	43.3	46.1	43.6	33.5	30.0	34.0	0.24	0.22	0.23	1.80	1.36	2.26	1.69	10.8	45.5	6.2	142
SUS304	26.6	26.2	26.5	65.9	61.9	62.7	53.0	58.0	59.0	0.50	0.48	0.50	0.92	1.04	0.96	0.99	14.1	45.0	6.8	197
SUS430	33.4	37.1	35.9	51.2	53.1	51.8	28.0	24.5	27.2	0.19	0.18	0.19	1.10	1.80	1.50	1.05	9.9	48.2	9.2	171

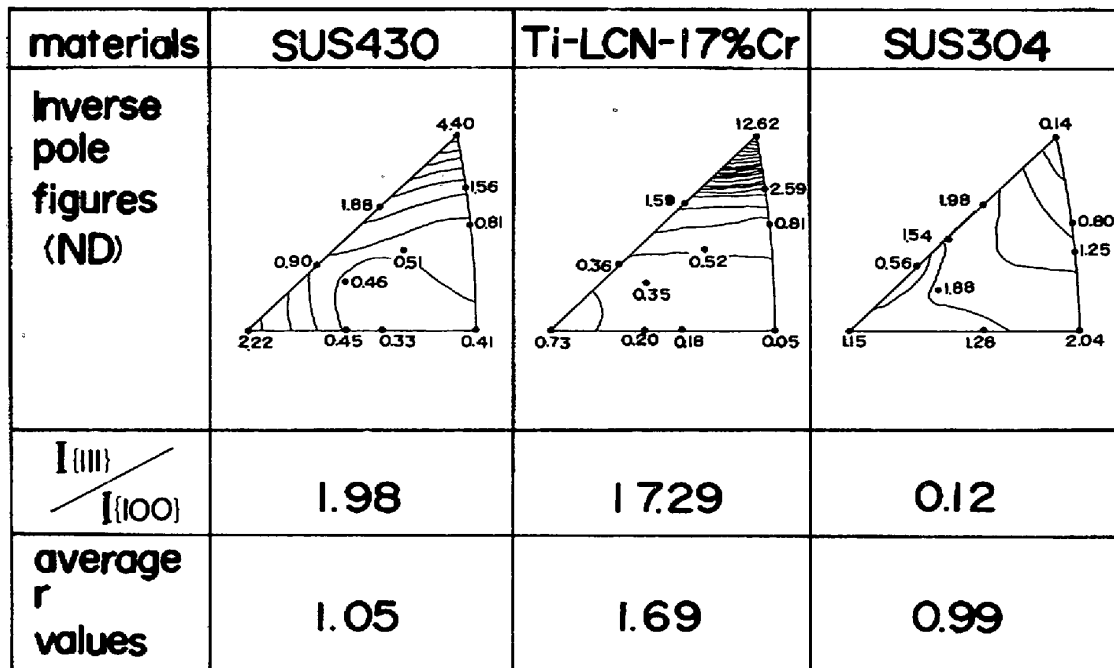
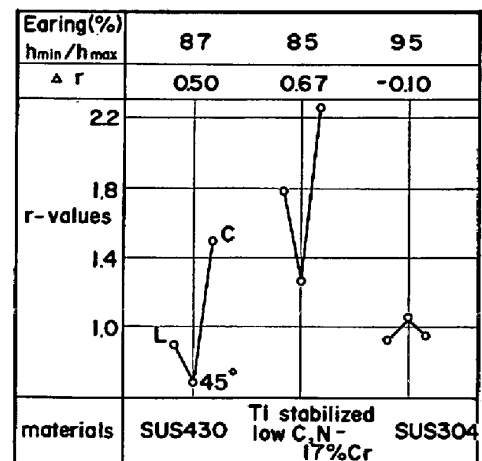


Fig. 9. Inverse pole figures of the recrystallized textures of commercial stainless steel sheets.

図を Fig. 9 を示す. 同じ B.C.C. 結晶構造を有する Ti 添加低C, N-17%Cr ステンレス鋼と SUS 430 比較すると前者は板面に平行な $\{111\}$ 面強度が強く, $\{001\} \sim \{110\}$ の間の面強度が小さく, よく知られているように $I_{\{111\}} / I_{\{001\}}$ の強度比と \bar{r} 値とはよく対応している. Ti 添加材のすぐれた \bar{r} 値は, 前報で示したように強い $\{554\} \langle 225 \rangle$ 方位集積を有する再結晶集合組織に起因する. F.C.C. 結晶構造の SUS 304 の集合組織は B.C.C. の材料とはことなり, $I_{\{111\}} / I_{\{001\}}$ の強度比も \bar{r} 値も低い, SUS 304 の加工性が Ti 添加材よりもすぐれているのは \bar{r} 値ではなくすぐれた延性によつて与えられる⁷⁾.

実際のプレス加工に対して重要な問題は耳の発生である. これは r 値の面内異方性と密接に結びついており⁸⁾ 円筒絞りにおける耳発生と原板の r 値面内異方性を Fig. 10 に示す. r 値の面内異方性は通常 $\Delta r = \{r_{90^\circ} - 2 \times r_{45^\circ} + r_{0^\circ}\} / 2$ で現わされるが, Ti 添加材は他の二者に比べて Δr が大きく, 耳の発生状況もほげしいことがわかる. Ti 添加材の Δr は, 前報で示したように 1 段冷延の冷延

Fig. 10. Relationship between earing and planar anisotropy of r -values of commercial stainless steel sheets.

率を高くすることにより小さくなり, 90%以上では逆にマイナスの値となる. 本実験の試料は冷延率 74% であり, 90% 近くまで冷延率を高めることにより耳の発生

は大幅に改善されよう。

3.2.3 成形限界曲線

成形限界曲線を Fig. 11 に示すように、1軸—平面歪—等2軸引張条件の各領域において SUS 304 が最もすぐれ、次いで Ti 添加材、SUS 430 が最も成形性が劣ることがわかる。しかし、実際のプレス品の変形径路はさらに複雑であり、複合された変形経路の影響を含めて実際のプレス加工の成形限界は決定される。そこで、以下に述べるようなシミュレート試験を実施した。

3.2.4 限界絞り比 (Limiting Drawing Ratio)

深絞りタイプのシミュレート試験の一つとして、円筒の平頭および球頭ポンチを用いて、限界絞り比(L.D.R.)を測定した。各材料の L.D.R. を加工硬化指数で整理した結果を Fig. 12 に示す。これから、L.D.R. は SUS 304 が最もすぐれ Ti 添加材、SUS 430 の順で劣ることがわかる。加工条件の影響としては、平頭より球頭、球頭ではポンチ肩半径が大きいほど L.D.R. が改善されることがわかる。

山田⁹⁾は HILL の平面応力場の不安定条件式より、L. D. R. におよぼす \bar{r} 値および n 値の影響を示す式として

$$\text{球頭ポンチ : L.D.R.} \propto \sqrt{1+2\bar{r}} (2\sqrt{1+\bar{r}})^n \quad (1)$$

$$\text{平頭ポンチ : L.D.R.} \propto \sqrt{(1+\bar{r})/2} \{ (1+\bar{r}) / \sqrt{1+2\bar{r}} \}^n \quad (2)$$

を、球頭および平頭ポンチの場合について導いている。Fig. 12 に示したように、 $\bar{r}=1.69$ の場合 Ti 添加材の L.D.R. を基準として (1) および (2) 式から比例的に算出される値と比較して、Ti 添加材が SUS 430 よりも著しく優れているのはおもに r 値の影響であり、また平頭ポンチでは球頭ポンチほど n 値の寄与が大きくないことがわかる。

SUS 304 の L.D.R. は、Ti 添加材よりも良好であるが、 $\bar{r}=0.99$ の場合 Ti 添加材を基準として (1) および (2) 式から同様に算出される L.D.R. は、球頭で 2.8 および平頭で 2.1 である。これらの値を実測値と比較してみると平頭の場合よく一致するが、球頭の場合予想されるほど n 値の影響が認められない。

3.2.5 角筒絞り試験

しわ押え力を変えた時の成形高さを 100 mm の角筒絞りで比較した結果を Fig. 13 に示す。60 mm の成形高さは材料の絞り込みを示しており、60 mm 以下の成形高さはその位置で材料が破断したことを示している。角筒絞り性も SUS 304 が最もすぐれ Ti 添加材、SUS 430 の順に劣化する。

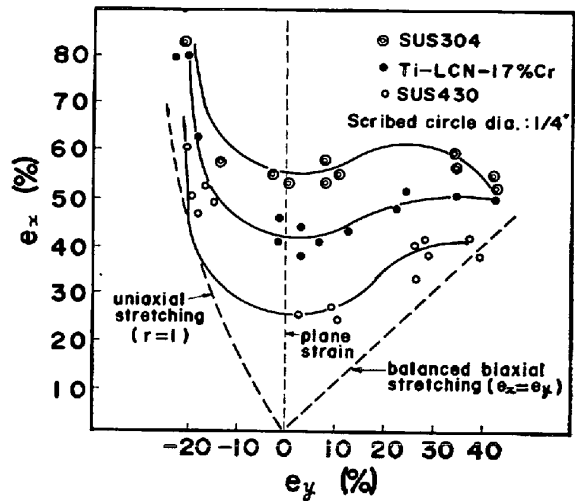


Fig. 11. Forming limit diagrams of commercial stainless steel sheets.

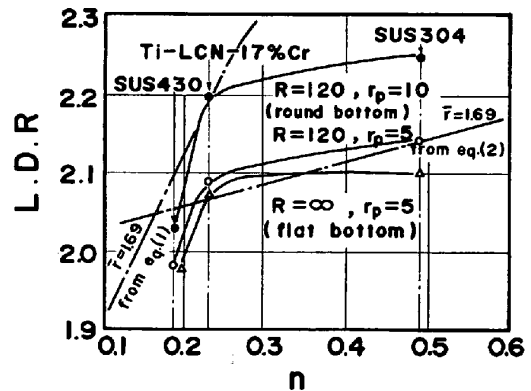


Fig. 12. Effect of work hardening indexes on limiting drawing ratios.

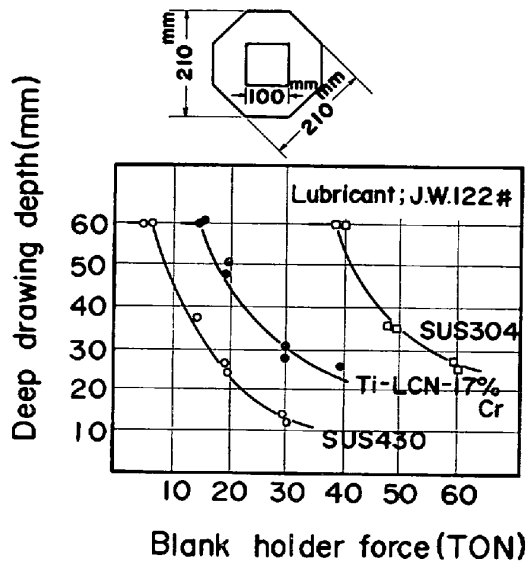


Fig. 13. Rectangular drawing test of commercial stainless steel sheets.

角筒絞り性におよぼす潤滑の影響を検討するために、しわ押え力を 20 t に定めて、潤滑剤を変えて各材料の

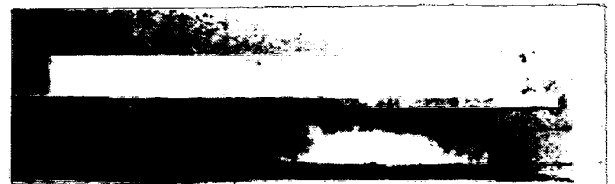
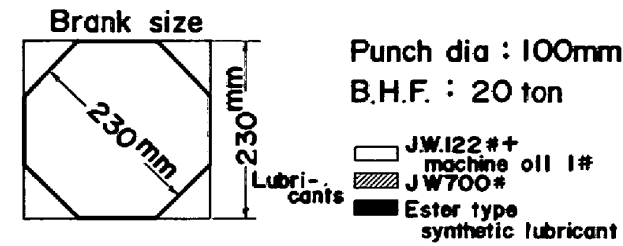


Photo. 1. Deep drawing experiment of one piece sink. (thickness : 0.7 mm)

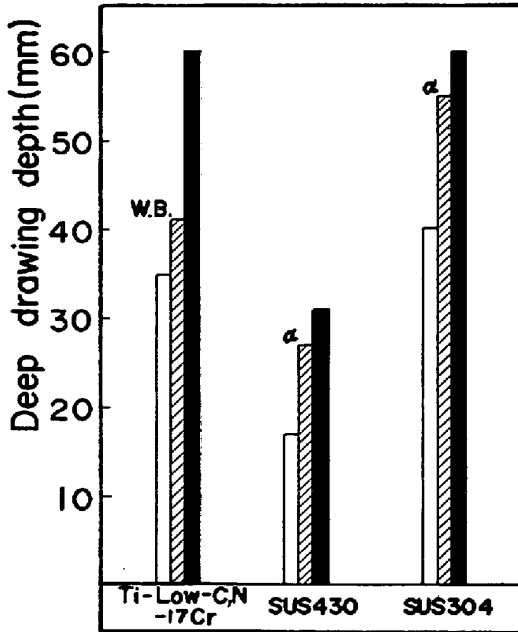


Fig. 14. Effect of lubricants on rectangular deep drawing depth of commercial stainless steel sheets. (W. B. : Wall breakage, α : α breakage)

成形高さを比較した結果を Fig. 14 に示す。これから、潤滑性能の最もすぐれたエステル系合成潤滑剤の成形高さ改善効果は著しく、次いで JW 700#, JW 122#+マシン油の順に成形高さは低下するが、とくにエステル系合成潤滑剤を使用することにより Ti 添加材は SUS 304 と同程度の深絞りが可能であることがわかる。

250 mm の角筒絞り試験でも \bar{r} 値のよい Ti 添加材は低 C, N-17%Cr ステンレス鋼よりも深絞り性がよい¹⁰⁾。さらに従来 SUS 430 ではプレス不可能で SUS 304 を用いてプレス加工されていた 550 mm × 450 mm × 165 mm 深さの一体シンクプレスを行なった結果、Photo. 1 に示すごとくプレス可能であり、Ti 添加材のすぐれたプレス加工性が確認された。

3.2.6 2次成形性

薄鋼板の2次成形性とは、最初にある加工を受けた後に引続いて別種の加工を受ける場合の加工性を指している。実際のプレス加工で最もよくみられるのは深絞り加工を受けた後リストライクで張出し加工を受ける場合などである。このような2次加工の簡単なシミュレート試験として須藤により提案された方法¹¹⁾を用い、それぞれ

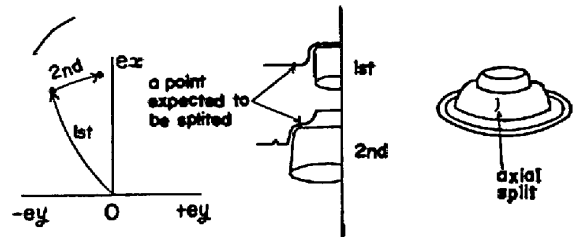


Fig. 15. The strain path of the point expected to be splitted in double stage forming test. (Schematic)

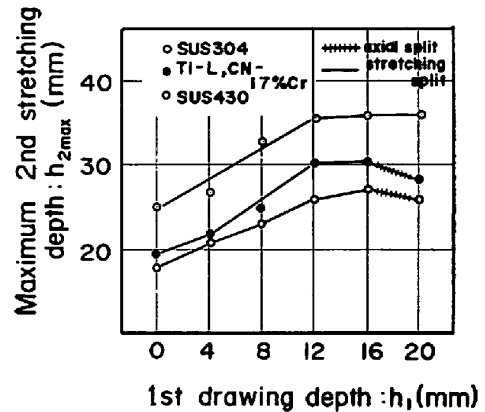


Fig. 16. Relationship between 1st drawing depth and maximum 2nd stretching depth of commercial stainless steel sheets.

の薄鋼板の2次成形性を評価した。本試験法の破断予定部の変形経路を模式的に示すと Fig. 15 のようになり、プレス加工のリストライクでの加工をシミュレートしたものになる。1段絞り高さを h_1 、材料が破断するまでの最高の2段絞り高さを h_{2max} として、各材料の h_1 と h_{2max} の関係を測定すると Fig. 16 のようになる。2次成形性の評価としては h_{2max} の高い材料ほど2次成形性がすぐれていると考えられ、この結果から2次成形性も SUS 304 が最もすぐれ、次いで Ti 添加材、SUS 430 となることがわかる。興味あるのは、フェライト系ステンレス鋼は h_1 を大きくして縮みフランジ変形ひずみが増加して周方向の延性が低下してくると2段絞りで周方向に広げられる時たて割れを発生して h_{2max} が低下して来るが、オーステナイト系ステンレス鋼の SUS 304 ではそのようなたて割れが見られず h_{2max} も非常に高いことである。この関係を変形状態図上で表わすと

Fig. 17 のようになる. このような複合された変形経路の成形限界の検討は中島ら¹²⁾によつてなされている. ここで用いたような変形経路では, 1段絞りが大きいほど2段絞りにおける成形限界は大幅に増大することが中島らによつて見出されているが, 本実験においてもこの傾向は認められ, SUS 304 の2段絞りにおける成形限界の増加は, Fig. 17 に示すようにフェライト系ステンレス鋼と比べて著しい特徴があることがわかる. Ti 添加材の2次成形性は SUS 430 に比べてすぐれているが, SUS 304 に比べれば著しく劣っており, この点は実際のプレス加工上注意すべき点である. なお, ここでたて割れと称しているのは, Photo. 2 に破面の走査型電子顕微鏡の観察結果を示すように, 一般に円筒深絞り容器などの側壁に入る脆性的な割れではなく, それとは全く別の延性破断である.

3.3 表面性状

3.3.1 Ti 添加低 C, N-17%Cr ステンレス鋼のリジ

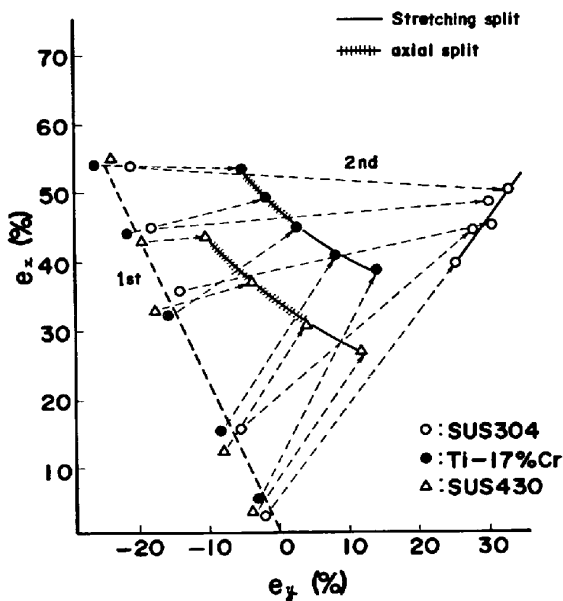


Fig. 17. e_x - e_y diagrams of secondary forming test.

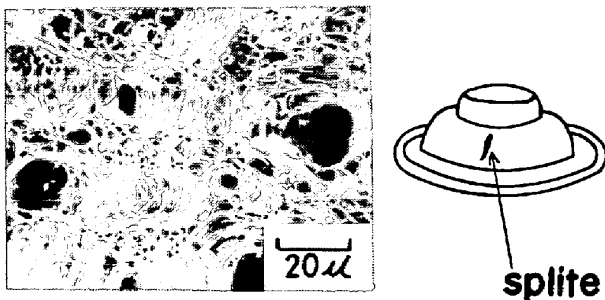


Photo. 2. Scanning microscope observation of axially splitted surface in secondary forming test.

ングの特徴

一般に, フェライト系ステンレス鋼薄板は冷間圧延あるいはプレス加工などの際にリジングと呼ばれる表面欠陥を生ずる. リジングは冷間加工を受けた際に通常圧延方向に平行に現われる板幅方向に凹凸を有する波状の表面欠陥であり, 製品表面の外観を著しくそこなうため, 外観を重要視するステンレス鋼製品の致命的欠陥となる場合があり, 実用上大きな問題となる.

Ti 添加材を標準の2段冷延工程で製造し, 同一工程で製造された SUS 430 のリジングと比較するため触針式表面粗度計を用いて圧延方向に直角の表面粗度を測定した結果を Fig. 18 に示す. Ti 添加材のリジングの特徴は, 波状起伏が SUS 430 に比べて小さいが, 粗度計の先端半径の小さなもの (5μ) を用いると SUS 430 に比べて微小なふれが非常に大きいことがわかる. リジングの形態を Photo. 3 に示すが, SUS 430 のリジングは圧延方向に長く伸びた凹凸の波状起伏が平行に並んでいるのに対して, Ti 添加材は短い凹凸が圧延方向に不規則に連らなつた形態となつている. さらに表面を走査型電子顕微鏡で拡大して観察すると, Photo. 4 に示すよう

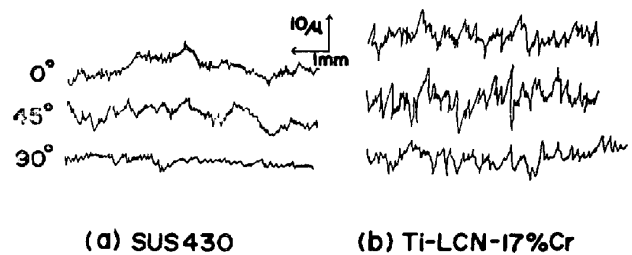


Fig. 18. Surface roughness profiles of 20% tensile specimens of SUS 430 and Ti stabilized low C, N-17% Cr stainless steel. (Double cold rolling)

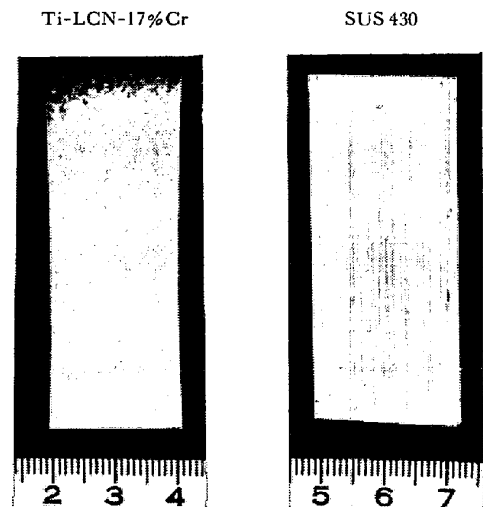


Photo. 3. Optical microscope observations of ridging of 20% tensile specimens.

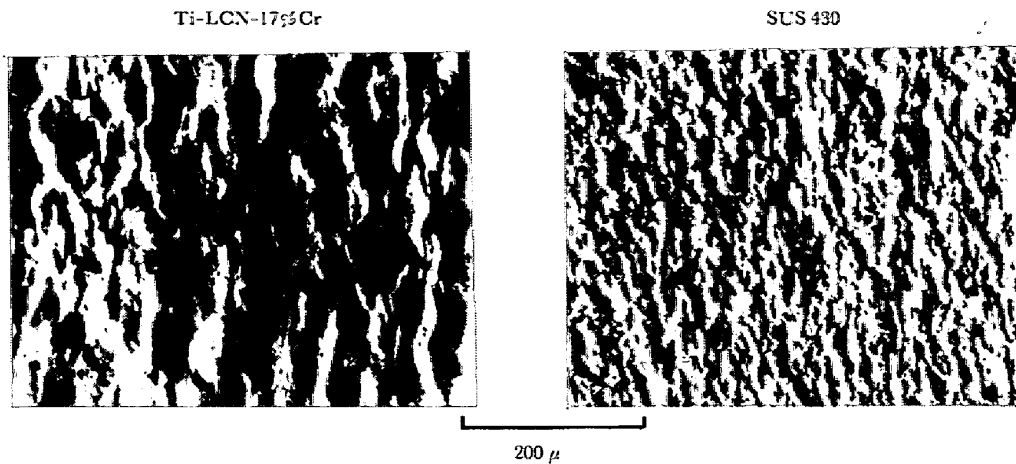


Photo. 4. Scanning microscope observations of surface roughness of 20% tensile specimens.

に Ti 添加材はリジングの波状起伏の他に結晶粒度の凹凸に起因する orange peel が大きく認められる。この形態上の特徴が、粗度計の結果に現われたものと考えられる。Ti 添加材のリジングのもう一つの特徴として、松村らは圧延方向および 90° 方向のリジングに比べて 45° 方向のそれが大きいことを報告している¹³⁾。

リジングの発生原因は、鑄造組織あるいは熱延中に発達し最終製品まで残留したバンド状組織による結晶の塑性異方性に起因することは多くの研究者の間で一致している¹⁴⁾。Ti 添加材のリジングの形態上の特徴は、現在実験的検証は困難であるがおそらくリジングの発生原因となるバンド状組織が微細化しリジングの波状起伏も微細化されたものに、低 C, N 化のため結晶粒が粗大化され、orange peel が大きくなってリジングの波状起伏に重畳して現われたものと考えられる。また 45° 方向のリジングが特に大きくなる理由は次のように考えられる。リジングの発生機構については現在いくつかの考えがあり、研究者間で一致を見ていない問題であるが¹⁵⁾、最近 THOMSON ら⁶⁾の微小 X 線回折測定で実験的にも支持された武智ら¹⁷⁾のせん断ひずみ説に従って考えると、Ti 添加材は強い $\{554\}\langle 225 \rangle$ 方位の集積を持つ再結晶集合組織を有し、この方位は、武智らがリジング発生原因と考えた $[011]$ 軸組織中の $\{111\}\langle 110 \rangle$ 成分が圧延方向から板面内 30° 傾いた $\{111\}\langle 112 \rangle$ の近傍方位であり、従って 30° に近い 45° 方向で最も大きなリジングが現われたものと考えてよいであろう。事実松村らは 30° 方向で最大のリジングを測定している¹³⁾。しかしながら、リジングの原因と考えられている最終製品のバンド状組織に比べると通常 X 線で集合組織を測定する領域は非常に広く、平均的な集合組織が得られるので、同一の集合組織が得られてもリジングは全く異なって現われる場合が確認されており¹⁸⁾¹⁹⁾、集合組織と結びつけてリジング現象

を論ずる場合に注意すべきである。

Ti 添加材のリジングのこれらの特徴は、次に述べるプレス加工後の製品表面に現われる肌あれと関連して加工性のすぐれた Ti 添加材では実用上重要である。

3.3.2 肌あれとその改善対策

Ti 添加低 C, N-17%Cr ステンレス鋼は、SUS 430 に比べると容易に粗粒化しやすくプレス加工などにおいて製品表面の肌あれが実用上問題となる。ここで肌あれと呼んでいるのは、Fig. 19 に Schematic に示すようにリジングの波状起伏と orange peel による微小な凹凸の両者の寄与を合わせた凹凸を指す。

加工性のすぐれた Ti 添加材は、従来 SUS 430 では不可能であつた一体シンクプレス加工も可能であるが、一体シンクのコーナー部で激しい肌あれが発生し実用上問題となる。この原因を 45° 方向のリジング、変形径路および結晶粒度の 3 点から検討した。プレス加工にシミュレートし、各方向の肌あれが測定しやすいように円筒絞りを用い絞り深さを変えてフランジ部の肌あれを各方向とも圧延方向に直角になるようにして測定した結果を Fig. 20 に示す。これから、 45° 方向の肌あれが 0° と 90° 方向のそれより絞り深さが深くなるとやや大きくなる傾向が認められる。

変形径路の影響を検討するために、表面にスクライブドサークルをエッチングした鋼板を用いて、1 軸引張、円筒絞りおよび角筒絞りをを行い、フランジ部の縦と横方向のひずみを測定し、これら各点の圧延方向に平行な肌あれを相当ひずみで整理した結果を Fig. 21 に示すが、肌あれはこれら加工方法によらず相当ひずみの増加につれてほぼ直線的に増大することがわかる。

結晶粒度の影響を検討するために、製造条件を変えて粒度を変化させ、1 軸引張試験で伸び 20% の時の orange peel を測定した結果を Fig. 22 に示す。

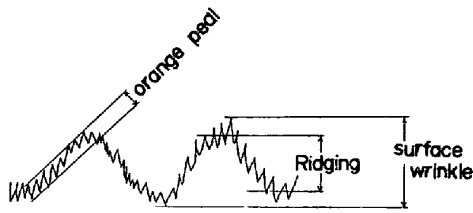


Fig. 19. Schematic view of surface wrinkle, orange peel and ridging on the surface roughness profile.

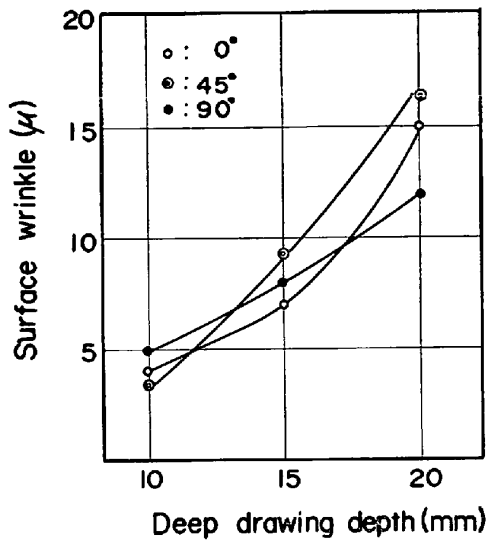


Fig. 20. Variations of surface wrinkles for specimens at 0, 45, 90 deg to the rolling direction in Ti stabilized low C, N-17%Cr stainless steel sheet. (Double cold rolling)

以上の検討結果から、Ti 添加材の肌あれは SUS 430 に比べて粗粒化しやすく、加工性が優れているため深く絞られたこと、また角筒のコーナー部では一部では 45° 方向のリジングが重畳されてより激しくなったものと考えられる。これの改善対策としては、基本的にはリジングを改善し、細粒化してやればよいことがわかる。松村らが指摘するように、45° 方向のリジングは {554}〈225〉再結晶粒のコロニーに起因するとすれば、{554}〈225〉集積の弱い再結晶集合組織にしてやれば、改善されるはずである。

Ti 添加低 C, N-17%Cr ステンレス鋼の肌あれの改善について、大橋ら²⁰⁾も検討しており、最終焼鈍温度を 850°C 以下として、急速加熱により細粒化することにより肌あれが改善されることを報告している。本実験では熱延板焼鈍温度の肌あれにおよぼす影響を 1 段冷延で検討した。その結果を Fig. 23 に示すが、熱延板焼鈍温度は 900°C で肌あれは極小となることがわかる。熱延板焼鈍温度の上昇に伴って冷延焼鈍板のリジングは改善さ

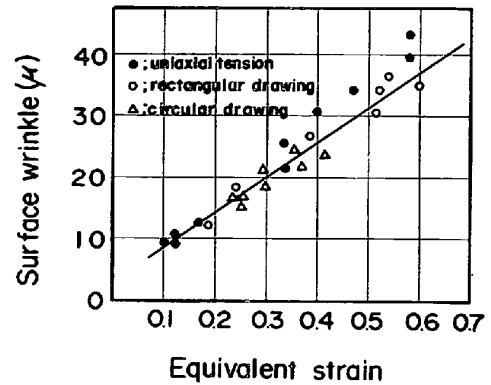


Fig. 21. Effect of equivalent strain on surface wrinkles developed by various deformation processings in Ti stabilized low C, N-17%Cr stainless steel sheet. (Double cold rolling)

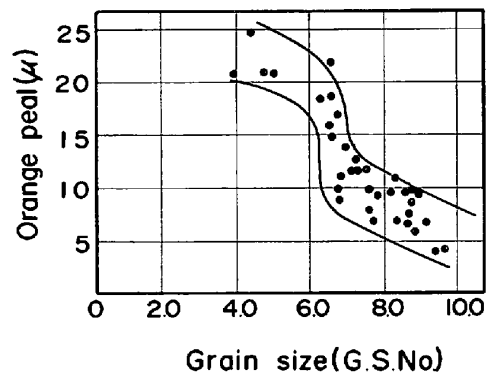


Fig. 22. Effect of grain size on the orange peel of Ti stabilized low C, N-17%Cr stainless steel sheet.

れるが、950°C では急激な粒成長が生じそれが冷延焼鈍板の結晶粒度に影響してそれより低温で粒度番号として 9.0 以上であつた結晶粒度が 950°C では 8.5 以下まで粗粒化して orange peel を劣化するため、両者の複合である肌あれは 900°C 附近で極小になるものと考えられる。粗粒化のためには、1 段冷延でその冷延率をできるだけ高くしてやるのが望ましい。熱延板焼鈍温度を 900°C、冷延率を 88%、最終焼鈍温度を 850°C とすることにより 2 段冷延材より細粒化することができた。この製品の肌あれを Fig. 24 に示すが、先に示した 2 段冷延材 (Fig. 18 b) に比べて肌あれが改善されていることがわかる。

一般に、SUS 430 の材質特性は 1 段冷延材に比べてすべての点で 2 段冷延材の方が優れているが、Ti 添加低 C, N-17%Cr ステンレス鋼の 1 段冷延材は適切な製造条件を用いることにより 2 段冷延材に遜色のない材質特性を示し²⁾、本鋼の材質上の弱点である肌あれについては上述の 1 段冷延条件を用いれば 2 段冷延材よりむしろ

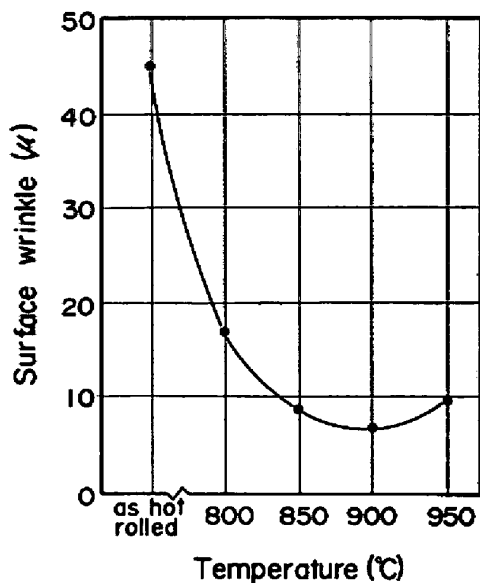


Fig. 23. Effect of annealing temperatures of hot rolled sheet on the surface wrinkle of Ti stabilized low C, N-17% Cr stainless steel sheet. (Single cold rolling, red.=82%, final annealing temperature=850°C)

優れた材質を得ることができ、ここにも本鋼の特徴がある。

4. ま と め

Ti 添加低 C, N-17%Cr ステンレス鋼の加工性および表面性状を検討した結果;

(i) 加工性および表面性状の良好な薄鋼板を製造する条件として Ti=0.2~0.3%, 熱延板焼鈍温度 900°C, 1 段冷延で冷延率はできるだけ高く, 最終焼鈍温度 850°C が望ましい

(ii) 加工性について, 成形限界曲線, 角筒絞り, L. D. R. および 2 次成形性試験で検討した結果, SUS 430 よりはすぐれているが, SUS 304 にはおよばない

(iii) しかし, 潤滑性の非常にすぐれた潤滑剤を使用すると SUS 304 と同等の深絞りが可能である

(iv) 2 次成形性はとくに SUS 304 に比べて著しく劣っており, 同じように深絞りできても, リストライクなど 2 次成形性で実用上注意すべきである

(v) リジングは SUS 430 よりは優れているが, 粗粒化しやすく, プレス加工後の肌あれが実用上問題である。肌あれは加工された部分の相当ひずみ量に応じ

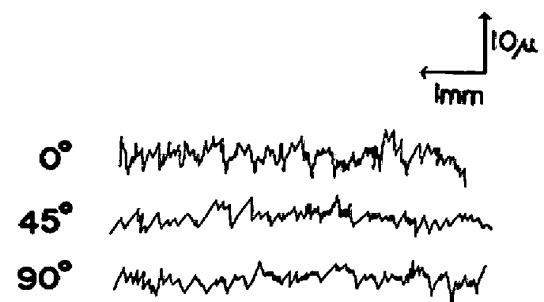


Fig. 24. Surface roughness profiles of 20% tensile specimens of Ti stabilized low C, N-17% Cr stainless steel sheet produced by the highly reduced single cold rolling.

てほぼ直線的に大きくなり, 本鋼種は加工性が優れているため加工後の肌あれがとくに問題となる

(vi) 肌あれはリジングと orange peel が重なって生じたものであり, 高圧下 1 段冷延により改善できるなどが明らかになった。

文 献

- 1) 五弓勇雄, 鈴木敬治郎, 猪野信吾: 金属学会誌, 34 (1970), p. 516
- 2) 沢谷 精, 清水邦彦, 中山 正, 三好正則: 鉄と鋼, 投稿中
- 3) T. KIKUMA, K. NAKAZIMA: Proc. ICSTIS, Suppl. ISIJ, 2 (1971), p. 827
- 4) 福田宣雄: 「Ti 添加鋼による超深絞り用冷延鋼板の製造に関する研究」, (1973), p. 148
- 5) K. YOSHIDA: Sci. Papers Inet. Phys. Chem. Rev. (Tokyo), 59 (1965), p. 87
- 7) 五弓勇雄, 鈴木敬治郎: 金属学会誌, 28 (1964), p. 452
- 8) J. C. WRIGHT: Sheet Met. Ind., 42 (1965), p. 815
- 9) 山田嘉明: 機械学会誌, 67 (1964), p. 524
- 10) 清水邦彦, 山口美紀, 荒川基彦, 石崎寿夫, 沢谷精: 鉄鋼協会第 89 回講演大会 (1975), p. 200
- 11) 須藤忠三: 住友金属, 26 (1974), p. 106
- 12) 中島浩衛, 菊間敏夫, 蓮香 要: 製鉄研究, 264 (1968), p. 38
- 13) 松村 理, 松尾宗次, 大関芳夫, 速水哲博: 鉄と鋼, 投稿中
- 14) J. C. WRIGHT: Sheet Met. Ind., 51 (1974), p. 263
- 15) H. CHAO: Met. Trans., 4 (1973), p. 1183
- 16) T. R. THOMSON and J. M. BAKER: Proc. ICSTIS, Suppl. ISIJ, 2 (1971), p. 887
- 17) 武智 弘, 加藤 弘, 角南達也, 中山 正: 金属学会誌, 31 (1967), p. 717
- 18) 沢谷 精, 荒川基彦, 清水邦彦, 大岡耕之: 鉄鋼協会第 88 回講演大会, (1974), p. 143
- 19) 川原浩司: 金属学会誌, 38 (1974), p. 440
- 20) 大橋延夫他: 特許公報, 49-36521