

討15 高純度11~19%Cr ステンレス鋼薄板の加工性と問題点

新日本製鐵(株) 光研究室 澤谷 精, 清水邦彦  
南野 繁, 平井 卓

1. はじめに

最近の製鋼技術の進歩に伴って、低C, Nを特徴とする高純度フェライト系ステンレス鋼が開発された。本報は、現在すでに市販されているTi, Nb, Moを単独あるいは複合添加した低C, N-11~19%Cr ステンレス鋼薄板の加工性をSUS304, SUS430 およびさらに高純化した真空溶解材の加工性と比較した結果について報告する。その他、フェライト系ステンレス鋼薄板の加工性に大きく影響するr値と集合組織、おもにリジングに起因するプレス加工後の肌あれ、およびMo添加鋼の材質特性におよぼすLaves相の影響についてもあわせて報告する。

2. 供試材

供試材の化学成分を表1に示す。現場製造材はいずれも標準工程を用い表2に示す板厚に仕上げられた冷延焼鈍板である。真空溶解材は熱延で3.8mmの熱延板とし、再結晶温度を考慮してNb添加鋼は900℃、他はすべて800℃で2minの焼鈍を行い、0.7mmまで1段冷延して最終焼鈍はすべて850℃の2minで行った。実験方法は本報にその結果の一部を含んでいる前報の方法と全く同様である。<sup>1,2)</sup>

表1. 化学成分 (wt%)

鋼種	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Nb	Ti	N	Al
現場製造材												
LC,N-12Cr	0.016	0.54	0.57	0.027	0.008	-	11.65	-	-	-	0.007	0.038
LC,N-11Cr-Ti	0.018	0.49	0.33	0.019	0.007	-	10.65	-	-	0.30	0.007	0.020
LC,N-17Cr-Ti	0.006	0.21	1.39	0.027	0.008	0.11	16.60	-	-	0.26	0.008	0.049
LC,N-17Cr-1Mo	0.010	0.45	0.52	0.028	0.008	-	16.55	1.22	0.29	0.17	0.013	0.010
LC,N-19Cr-2Mo	0.008	0.10	0.16	0.027	0.008	0.13	18.80	2.01	0.31	0.22	0.008	-
SUS430	0.051	0.59	0.49	0.027	0.005	0.14	16.76	-	-	-	0.025	0.061
SUS304	0.070	0.66	0.99	0.029	0.011	8.75	18.51	-	-	-	0.017	-
真空溶解材												
VF11Cr-Ti	0.004	0.01	0.07	0.013	0.005	-	10.85	-	-	0.26	0.004	-
VF13Cr-Ti	0.004	0.04	0.10	0.011	0.006	-	12.66	-	-	0.28	0.003	-
VF15Cr-Ti	0.004	0.05	0.11	0.011	0.007	-	14.73	-	-	0.26	0.003	-
VF17Cr-Ti	0.004	0.05	0.11	0.011	0.006	-	16.51	-	-	0.25	0.003	-
VF17Cr-Ti-Nb	0.014	0.48	0.14	0.021	0.009	-	16.36	-	19	0.24	0.003	-
VF13Cr	0.004	0.04	0.12	0.012	0.006	-	12.95	-	-	0.006	0.004	-

表2. 引張特性と模型成形性

鋼種	引張特性			模型成形性				その他		板厚 (mm)
	Y.P. (kg/cm <sup>2</sup> )	T.S. (kg/cm <sup>2</sup> )	El. (%)	n値	r値	E <sub>r</sub> (mm)	C.C.V. (mm)	G.S. 値	Hv	
LC,N-12Cr	35.4	45.6	30.3	0.18	0.92	10.5	47.6 (0.793)	8.2	147	1.2
LC,N-11Cr-Ti	32.4	43.2	32.0	0.21	1.30	11.3	46.0 (0.767)	7.7	135	1.2
LC,N-17Cr-Ti	31.6	44.8	31.9	0.23	1.69	10.8	45.5 (0.758)	6.2	142	1.0
LC,N-17Cr-1Mo	34.8	51.1	26.1	0.21	1.34	10.2	47.0 (0.783)	8.4	165	1.0
LC,N-19Cr-2Mo	36.6	54.0	25.1	0.21	1.32	10.2	47.3 (0.788)	8.4	177	1.0
SUS430	35.9	52.3	26.1	0.19	1.05	9.9	48.2 (0.803)	9.2	171	1.0
SUS304	26.4	63.1	57.0	0.49	0.99	14.1	45.0 (0.750)	6.8	197	1.0
VF11Cr-Ti	17.5	33.5	37.5	0.25	1.70	11.4	26.4 (0.733)	6.7	-	0.7
VF13Cr-Ti	20.0	36.5	36.5	0.24	1.75	11.3	26.0 (0.722)	6.8	-	0.7
VF15Cr-Ti	22.5	38.7	35.0	0.24	1.85	10.9	紋り込み (0.708)	7.1	-	0.7
VF17Cr-Ti	23.7	39.8	33.7	0.24	1.95	10.6	紋り込み (0.708)	7.3	-	0.7
VF17Cr-Ti-Nb	29.5	49.2	29.8	-	1.62	9.1	28.4 (0.790)	8.6	-	0.7
VF13Cr	24.5	36.3	34.8	0.21	1.17	10.0	27.6 (0.768)	6.8	-	0.7

3. 実験結果および考察

3.1. 加工性

3.1.1. 引張特性と模型成形性

供試材の引張特性と模型成形性をまとめて表2に示す。高純度フェライト系ステンレス鋼の引張特性と模型成形性はいずれもSUS430よりもすぐれているが、中でもTi単独添加鋼が最もすぐれている。市販鋼は真空溶解により高純化することによりさらに引張特性および成形性を

改善することが出来る。例えば、伸びはVF11Cr-Tiが37.5%で最もすぐれているが、SUS304の57%にはおよばない。この傾向はn値やエリクセン値にも同様に認められる。コニカルカット値はr値の最もすぐれているVF17Cr-Tiが最もすぐれており、高純化することによりSUS304よりもすぐれた深絞り

性を示すようになる。

高純度フェライト系ステンレス鋼はTi添加により著しくr値が改善されると同時に降伏点が低下する。TiはC, Nを強く固定しマトリックスを純化するため、降伏点の結晶粒度依存性も小さくする。<sup>1)</sup>

### 3.1.2. 成形限界曲線

現場製造材の成形限界曲線を図1に示す。SUS304が最もすぐれた成形性を示し、次いでTi単独添加鋼, Mo添加鋼と劣化し、SUS430が最も成形性が劣る。しかし、実際のプレス品の変形径路はさらに複雑であり、複合された変形径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が、本報で用いたシミュレート試験および上述の模型成形性試験の結果も成形限界曲線での結果とほぼ同様の順序を示した。

### 3.1.3. 角筒絞り試験

100 mmの角筒絞り試験を図2に示す。角筒絞り性もSUS304が最もすぐれ、他の鋼種の順位も成形限界曲線の結果と良く対応している。

角筒絞り性におよぼす潤滑の影響を図3に示す。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J.W.700#, J.W.120#, J.W.120# + マシン油(1:1)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SUS430およびLC, N-12Crを除いて高純度フェライト系ステンレス鋼もSUS304と同程度の深絞りが可能となる。

最近、温水器等に広く使用されようとしているMo添加鋼は伸びも加工性もSUS304に比べてかなり劣るので、上述の潤滑の影響を含めて加工条件を十分に配慮する必要がある。限界絞り比におよぼすポンチ形状の影響を図4に示すが、ポンチ肩半径の影響が大きいことがわかる。

### 3.1.4. 2次加工成形性

薄鋼板の2次加工成形性とは、最初にある加工をう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。

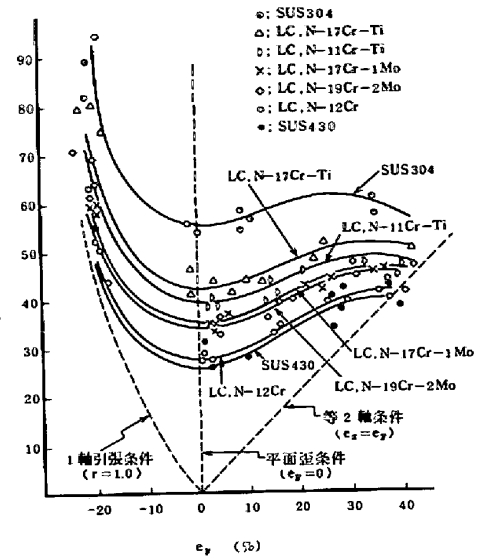


図1. 成形限界曲線 (サークル径: 1/2 inch)

潤滑剤: J.W. 700<sup>F</sup>

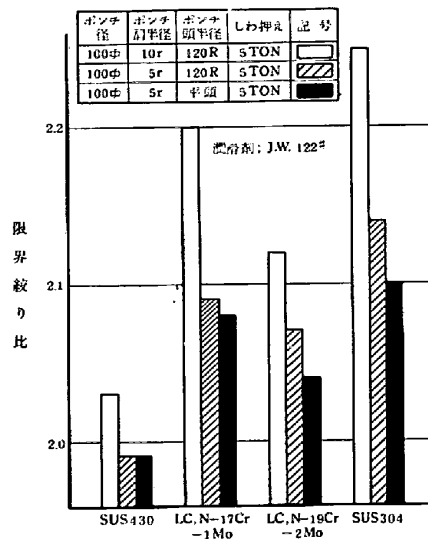


図4. 限界絞り比におよぼすポンチ形状の影響

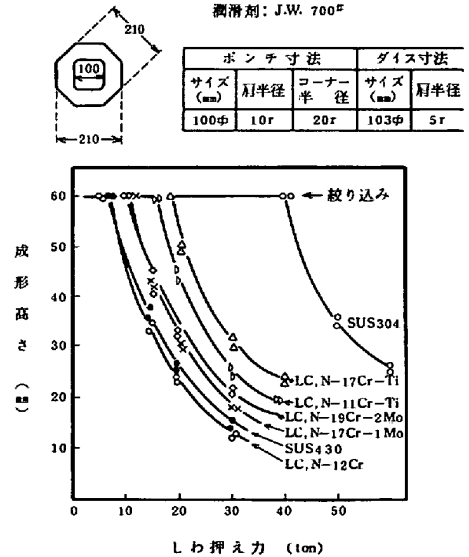


図2. 角筒絞り試験結果

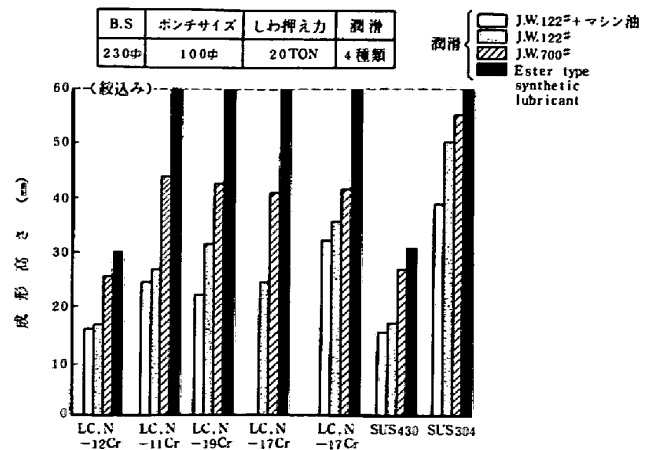


図3. 角筒絞りにおける潤滑剤の影響

2次加工限界曲線を図5に示す。SUS304は1段絞りが大きいほど2段絞りの成形限界が増加する特徴を有し、フェライト系ステンレス鋼に比べて著しく2次加工成形性がすぐれている。各鋼種の2次加工成形性の順序も成形限界曲線でのそれと等しい。高純度フェライト系ステンレス鋼の2次加工成形性はSUS430よりもすぐれているが、SUS304に比べれば劣っており、ほとんどリストライクを必要としないプレス加工法を工夫すべきである。

3.2. r値と集合組織

3.2.1. r値

LC,N-17Cr-TiおよびLC,N-19Cr-2Moのr値におよぼす冷延率の影響を図6に示す。LC,N-17Cr-Tiに比べてMo添加鋼はr値が低い。冷延率82%における各鋼種のr値を図7に示す。LC,N-13Crのr値は低く、Ti添加鋼ではCr量の増加に伴ってr値が向上する。しかし、Mo添加鋼のr値は低下する。

3.2.2. 集合組織

LC,N-17Cr-Tiの熱延板から出発して冷延率による冷延および再結晶集合組織の変化は前報<sup>2)</sup>で示したが、30%冷延では{554}<225>方位が生ずるが、再結晶すると特定の方位への再結晶は生じない。50%冷延では{554}<225>方位から{111}<110>方位が生じ、再結晶するとそのまま再結晶されたような{554}<225>+{111}<110>方位のドーナツ状の集合組織となる。82%冷延では強い{112}<110>方位の集積が生じ、再結晶するとそれから{110}軸まわり35°の回転関係にある{554}<225>方位への再結晶が急速に進み{554}<225>の強い集積を有する再結晶集合組織

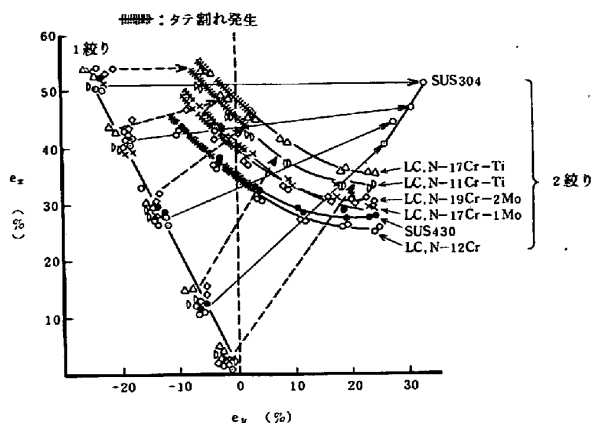


図5. 2次成形限界曲線

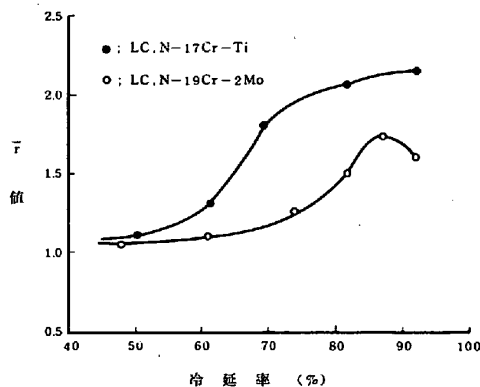


図6. r値におよぼす冷延率の影響

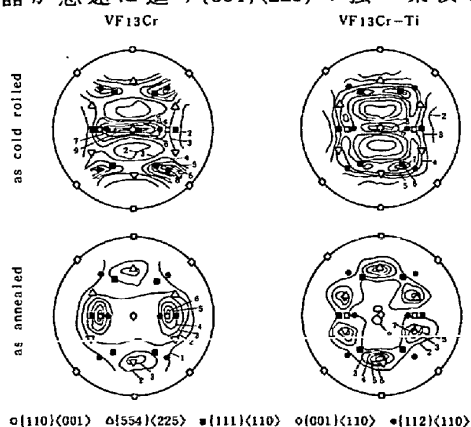


図8. 冷延まゝおよび再結晶集合組織の(200)極点図におよぼすTi添加の影響

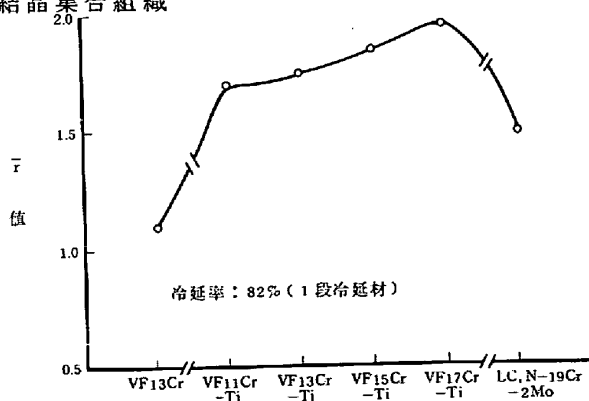


図7. 各種フェライト系ステンレス鋼のr値の変化

となる。92%冷延では{112}<110>方位から{001}<110>方位が生じRD//<110>軸繊維組織となり、再結晶すると主方位の{554}<225>の他に弱い{112}<110>±15°N.D.方位が残存し、r値の面内異方性もV型から45°方向のr値が高くなる逆V型へ変化してゆく。

再結晶集合組織におよぼすTi添加の第1の効果は、SUS430や図8に示すLC,N-13Crで強い集積が認められる{110}<001>方位が認められないことである。Davison<sup>3)</sup>もTi添加18Cr-2Mo鋼で{110}<001>方位成

分は全く認められないことを確かめている。松尾<sup>4)</sup>はAlキルド鋼で{110}<001>方位は微細析出物により最も顕著にひずみ解放が抑制される方位であることを示しているが、Ti添加鋼においても微細なTi(C,N)の存在により同様な抑制効果があらわれたものと考えられる。

Ti添加の第2の効果は強い{554}<225>再結晶集合組織が得られることである。前報<sup>2)</sup>で示したように冷延集合組織で{112}<110>方位の集積が顕著になつて始めて強い{554}<225>再結晶集合組織が得られること、また図8から予想されるが、こゝで省略した別の詳しいデータからLC,N-17Cr-Tiに比べてCr量が低くなると同一冷延率における冷延集合組織の{112}<110>方位への回転が遅れ、再結晶集合組織での{554}<225>方位への集積が弱くなり、その結果として図7に示したように低Cr鋼ほどr値が低くなる。

以上の結果から、Ti添加の効果は冷延前に微細なTi(C,N)析出物を形成し、冷延率を充分高く{112}<110>方位が存在するようになると秋末<sup>5)</sup>が指摘したような粒界近傍の高エネルギー領域に発生する{554}<225>のサブグレインが再結晶集合組織全体を支配するようになり、また微細析出物が{110}<001>方位の再結晶を抑制し、強い{554}<225>型再結晶集合組織を優先的に形成させると考えられる。

3.3. その他の問題

3.3.1. LC,N-17Cr-Ti のプレス加工後の肌あれ

LC,N-17Cr-Tiのリジングの特徴は、SUS430に比べてリジングの凹凸が短く圧延方向に不規則に連らなつた形態となつていることである。松村<sup>6)</sup>はその他に圧延および90°方向よりも45°方向への引張で生ずるリジングの方が大きくなる特徴を報告している。LC,N-17Cr-Tiは加工性がすぐれているためプレス加工後の製品表面に現われるおもにリジングに起因する肌あれが大きくなり実用上大きな問題となる。前報<sup>1)</sup>において、この肌あれの原因を変形径路、結晶粒度および45°方向のリジングの3点から検討し、肌あれの改善には、大橋らの方法と別に熱延板焼鈍温度の影響も重要であることを指摘した。その後、45°方向のリジングを含めて肌あれは温間圧延によりさらに完全に改善されることが速水<sup>8)</sup>により見出された。

3.3.2. LC,N-19Cr-2Mo の材質特性におよぼすLaves相の影響

LC,N-19Cr-2Moの熱延板衝撃値および冷延板引張特性は、LC,N-17Cr-Tiなどことなり冷却速度に著しく影響をうけ、冷却速度が遅くなるとそれらの特性が著しく劣化することを報告した<sup>9)</sup>。その原因はEPMAおよび電子線回折からFe, Cr, Mo, Nb, Tiを含むMnZn<sub>2</sub>Type (a<sub>0</sub>=4.78Å, c<sub>0</sub>=7.83Å)のLaves相であり、写真1に示すように冷延板のマトリックスと(0001)Laves//{110}α; [11̄20]Laves//[1̄11]αの方位関係を有することがわかつた。

今後、Laves相の耐食性への影響も検討する必要がある。

文献：-

- 1) 沢谷他：鉄と鋼，63('77) P.832
- 2) 沢谷他：ibid., P.843 [P.2287]
- 3) P.M. Davison: Met. Trans., 5('74)
- 4) 松尾他：製鉄研究，276('72) P.21
- 5) 秋末：日金誌，40('76) P.206
- 6) 松村他：鉄と鋼，62('76) S.227
- 7) 大橋他：特許公報，49-36521
- 8) 速水他：鉄と鋼，投稿中
- 9) 沢谷他：ibid., 63('77) S.362

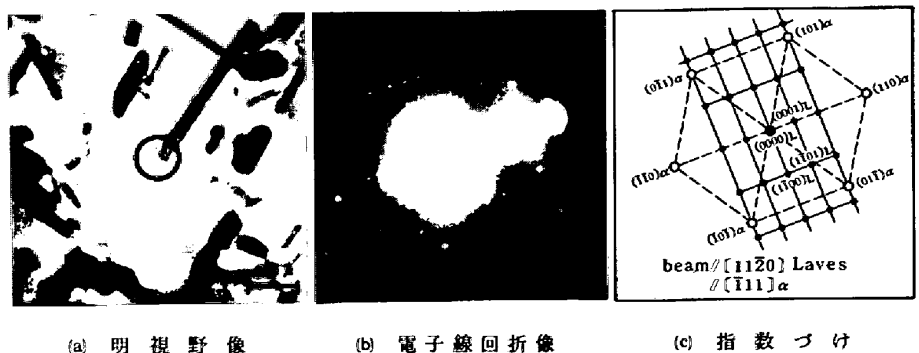


写真1. 冷延焼鈍板中の析出物の同定(Laves相)  
(920℃×1min F.C.)