

18 Ni マルエージング鋼の機械的性質と 集合組織におよぼす冷間加工および 熱処理条件の影響

細見 広次*・中村 峻之*²・中村 均*³

Effects of Cold Rolling and Annealing on the Anisotropies and Texture Formations in an 18 % Ni (350) Maraging Steel

Koji HOSOMI, Takayuki NAKAMURA and Hitoshi NAKAMURA

Synopsis :

The effects of cold rolling on anisotropies in tensile properties and the second formability have been investigated on an 18%Ni (350) maraging steel. The following results were obtained.

(1) The rate of strain hardening was different among the rolling directions. That is, the plot of the tensile strengths against the longitudinal, 45 degree-declined, and transverse directions, showed a V-shape. This shape almost remained unchanged after aging treatment.

(2) The origin of the anisotropies was considered to be the increase in the density of $\{113\} \langle 110 \rangle$ orientation.

(3) Recrystallization texture was formed by solution annealing after cold rolling. This recrystallization texture was similar to that of α -iron, in spite that the maraging steel had experienced the martensite to austenite reverse, and austenite to martensite transformation. This phenomenon suggested that the specified variants were preferred in the transformations.

(4) The second formability measured by Erichsen test was increased by the development of $\{111\} \langle 112 \rangle$ texture.

Key words : maraging steel ; 18Ni(350) maraging steel ; cold rolling ; anisotropies ; texture ; reverse transformation ; recrystallization.

1. 緒 言

マルエージング鋼は従来のマルテンサイト系またはベイナイト系の焼入れ・焼もどし型高張力鋼に比べ優れた靱性を示す¹⁾とともに加工性・溶接性に優れていることから、固体燃料ロケットのモーターケース²⁾を始めその特性を生かした用途に広く用いられている。マルエージング鋼における冷間加工の強度や靱性におよぼす影響については多くの報告³⁾があり、これらによれば冷間加工による靱性の低下が少ないことからこれを強化の一つの手段として用いられている。しかしながら冷間加工による集合組織と機械的性質の異方性や再結晶集合組織の生

成、集合組織と2次成形性の関係につき検討した例はほとんど見当たらない。

18% Ni マルエージング鋼の再結晶挙動は通常の炭素鋼とは異なり逆変態完了直後の γ 結晶粒界は加熱前の γ 粒界と同じ場所にあり⁴⁾、その後のより高温の処理により再結晶が起こることが知られている⁵⁾⁶⁾。しかし冷間加工後の再結晶について検討した例は見当たらない。

本報告では18% Ni 240 kgf/mm²級マルエージング鋼について冷間圧延集合組織と機械的性質の関係、冷間圧延・熱処理条件と再結晶集合組織の生成、さらに集合組織と2次成形性の関係について検討した結果について述べる。

昭和57年9月・58年4月本会講演大会にて発表 昭和63年2月10日受付 (Received Feb. 10, 1988)

* (株)神戸製鋼所材料研究所 (現:(株)神戸製鋼所筑波事務所) 工博 (Materials Research Laboratories, Now Tsukuba Office, Kobe Steel, Ltd.)

*² (株)神戸製鋼所材料研究所 (Materials Research Laboratories, Kobe Steel, Ltd., 1-3-18 Wakinohama-cho Chuo-ku Kobe 651)

*³ (株)神戸製鋼所材料研究所 (現:(株)コベルコ科研) (Materials Research Laboratories, Kobe Steel, Ltd., Now KOBELCO Research Institute, INC.)

2. 実験方法

2.1 供試材

240 kgf/mm²級の18% Ni マルエージング鋼(18% Ni (350))を真空誘導溶解および消耗電極式真空アーク溶解の真空2重溶解により2t鋼塊を溶製し、その一部を供試材として用いた。化学成分をTable 1に示す。鋼塊を1200°C、48hの均質化処理後熱間鍛造および熱間圧延により40mm厚の板材とした。これを更に1150°C加熱の熱間圧延により6~28mm厚の板材に加工後850°C、1hの溶体化処理を施して素板とし、Table 2に示すような1次冷間圧延、再結晶のための熱処理および2次冷間圧延を与えて0.6mm厚の薄板とした。

本報告において以後は析出物の固溶化を目的とする熱処理を溶体化処理、再結晶を目的とする熱処理を再結晶処理と呼ぶこととする。

2.2 機械的性質の測定

冷間圧延に伴う引張強さの異方性を調べるため0.6mm厚の板から幅5mm、平行部20mmの薄板平滑引張試験片、幅5mm、平行部20mm、応力集中係数 $K_t=3.5$ の薄板切欠引張試験片を用い圧延のままおよび時効処理(510°C、3h)後の引張強さを測定した。

2.3 2次成形性の評価

冷間圧延・焼鈍条件と2次成形性(張出成形性)との関係を明らかにするためJIS Z2247によるエリクセン試験を実施した。試験片は0.6mm厚の板材から直径

90mmの試験片を打抜き加工により製作した。

2.4 集合組織の測定

冷間圧延条件、焼鈍条件と集合組織の関係を明らかにするため、X線集合組織測定装置を用いて透過法および反射法を併用して測定した。集合組織は3次元方位分布関数⁷⁾(ODF)の $\phi=45^\circ$ 断面図により表示した。なお試験片は板厚中心部から切出し電解研磨(研磨液:5%過塩素酸+氷酢酸)して供試した。

2.5 組織観察

冷間圧延条件、焼鈍条件と再結晶挙動との関係を調べるために光学顕微鏡組織観察を行った。光学顕微鏡組織観察用試料の旧オーステナイト粒界の現出にはしゅう酸の10%水溶液中で電解腐食を行った。

3. 実験結果

3.1 冷間加工による強化

18 Ni (350) 鋼を850°Cで溶体化処理後、冷間圧延の加工率を変えて圧延した板材(RD:圧延方向, TD:圧延方向に直角方向, 45°:圧延方向に45°の方向)の引張強さの変化をFig. 1に示す。冷間加工率とともに引張強さは増加するが、TD方向の強度がRD方向の強度より常に大きく、45°方向はこれらに比べ強度の増加率は小さい。0~90%の範囲で1%冷間圧延率当たりの引張強さの増加率はTDとRDで大差なく、約0.4 kgf/mm²であるのに対し45°方向ではこれの約半分の0.2 kgf/mm²程度であり、冷間圧延率の増加に伴い強度の異方性が顕著になってくるのが分かる。これらを時

Table 1. Chemical compositions of steel (wt%).

C	Si	Mn	P	S	Ni	Co	Mo	Ti	Al	O	N
0.003	0.02	<0.01	<0.005	0.001	18.03	12.50	4.03	1.56	0.015	0.0016	0.0023

Table 2. Conditions for cold rolling and intermediate annealing of 18 Ni (350) maraging steel.

Classification	Initial thickness (mm)	1st cold rolling		Recrystallization treatment	2nd cold rolling		Total reduction		
		Reduction (%)	Thickness (mm)		Reduction (%)	Thickness (mm)			
Single step cold rolling	0.86	30	0.60	820°C, 1h	—	—	—		
	1.20	50	0.60						
	2.40	75	0.60						
	6.00	90	0.60						
Double step cold rolling with varied 1st and 2nd rolling reductions and varied total reductions	12.0	90	1.20	820°C, 1h	50	0.60	95		
	24.0	90	2.40					75	98
	4.80	75	1.20	820°C, 1h	50	0.60	88		
	9.60	75	2.40					75	94
	24.0	75	6.00					90	98
	2.40	50	1.20	820°C, 1h	50	0.60	75		
	4.80	50	2.40					75	88
	12.0	50	6.00					90	95
	3.44	30	2.40	820°C, 1h	75	0.60	83		
	8.57	30	6.00					90	93

効処理 (510°C, 3 h) した試料につき同様の測定を行うと、強さの増加および異方性におよぼす加工率の影響は圧延のままの板材の結果と同様であり、冷延材の引張強

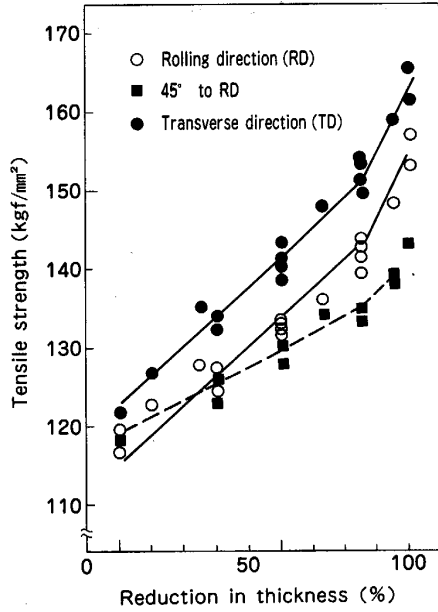


Fig. 1. Effect of the cold rolling reduction on the tensile strength of as cold rolled 18Ni (350) maraging steel.

度に約 120 kgf/mm² 加えた値となった。

3.2 冷間圧延と再結晶処理による集合組織

1150°C 加熱で熱間圧延した熱延板に 850°C, 1 h の溶体化処理を施すと、特定の集合組織はほとんど認められなかつた (集積度 1 ± 0.5 以内). その熱延板に 30~90% の加工率で冷間圧延を行い、加工率に伴う冷延集合組織の変化と 820°C, 1 h の焼鈍を行つた後の集合組織を加工率が 50% と 90% の結果を例にとり Fig. 2 に示す. 圧延のままでは加工率が増すにつれて RD 方向を <110> および板面法線方向を <111> とする回転系列方位が増加し、冷延最終安定方位である {112} <110>, {001} <110> および {111} <110> 方位が増える. これらを再結晶処理すると加工率が 50% 以下の場合にはほぼランダムとなり、加工率が 75% 以上では {111} <112> 方位への集積の増加が見られる.

つぎに冷間圧延後の再結晶処理による組織変化について調べた. 加工率が 50% と 90% の素材に 730~790°C でそれぞれ 5 min の再結晶処理を施し、それらにつき集合組織の測定とオーステナイト粒界を現出する腐食をして再結晶状況の観察を行つた. 90% 冷延材に 730°, 5 min の再結晶処理をしたときの集合組織を冷延集合組織と対比して Fig. 3 に示す. 再結晶処理により若干の方

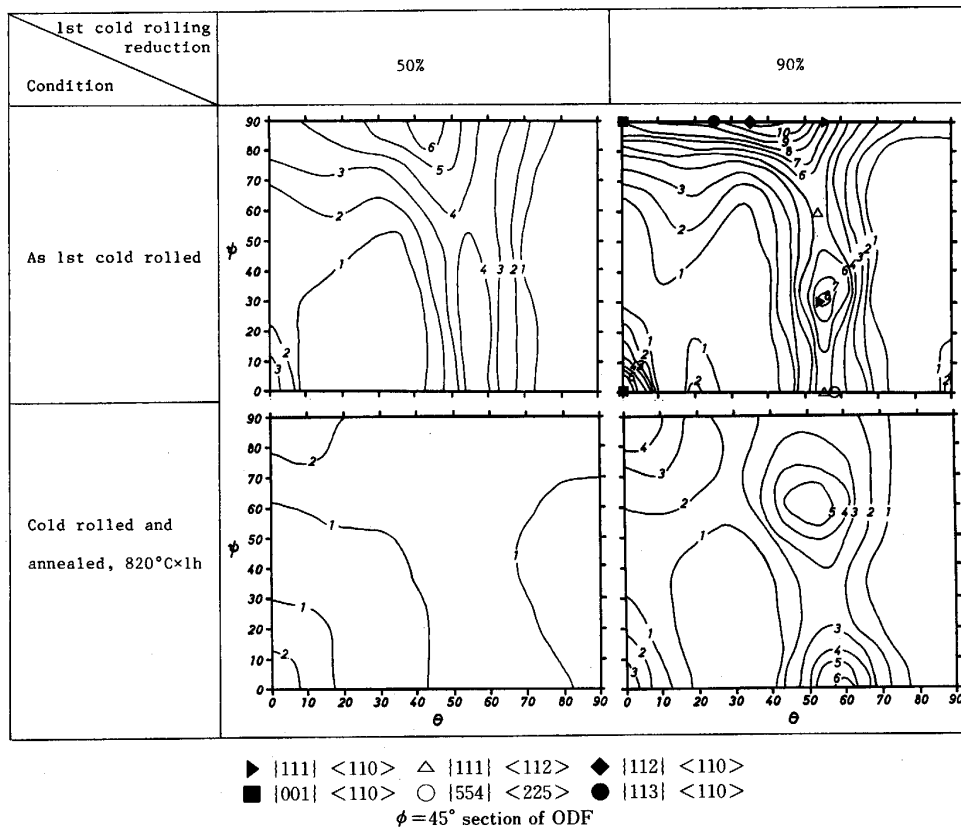


Fig. 2. Fibre structures developed in 18Ni (350) maraging steel after the 1st cold rolling with varied reductions and after intermediate annealing at 820°C for 1 h.

位集積の低下は認められるが冷延集合組織は明らかに残存している。供試材の A_s 点は 640°C 、 A_f 点は 770°C であり 730°C の再結晶処理後の室温では約 35% の残留オーステナイトが認められたので、マルテンサイトでの再結晶はほとんど起こらないと考えられる。再結晶処理による組織変化を観察した結果を Photo. 1 に示す。 730°C の処理では再結晶粒は全く認められないが、かなりの量が逆変態したことにより加工による組織の流れは不明瞭になっている。90% 冷延材を 750°C で再結晶処

理すると部分的に再結晶粒が見られるが、50% 冷延材では未再結晶のままである。 770°C で再結晶処理すると90% 冷延材では再結晶は完了し、50% 冷延材も部分的に再結晶粒が観察される。これらの観察結果から、冷延率の増加による再結晶温度の低下が確認された。

3.3 2次成形性におよぼす冷間圧延条件の影響

3.3.1 2回冷間圧延と再結晶処理による集合組織変化

冷延前の初期板厚を変えて加工率の組合せを自由に選

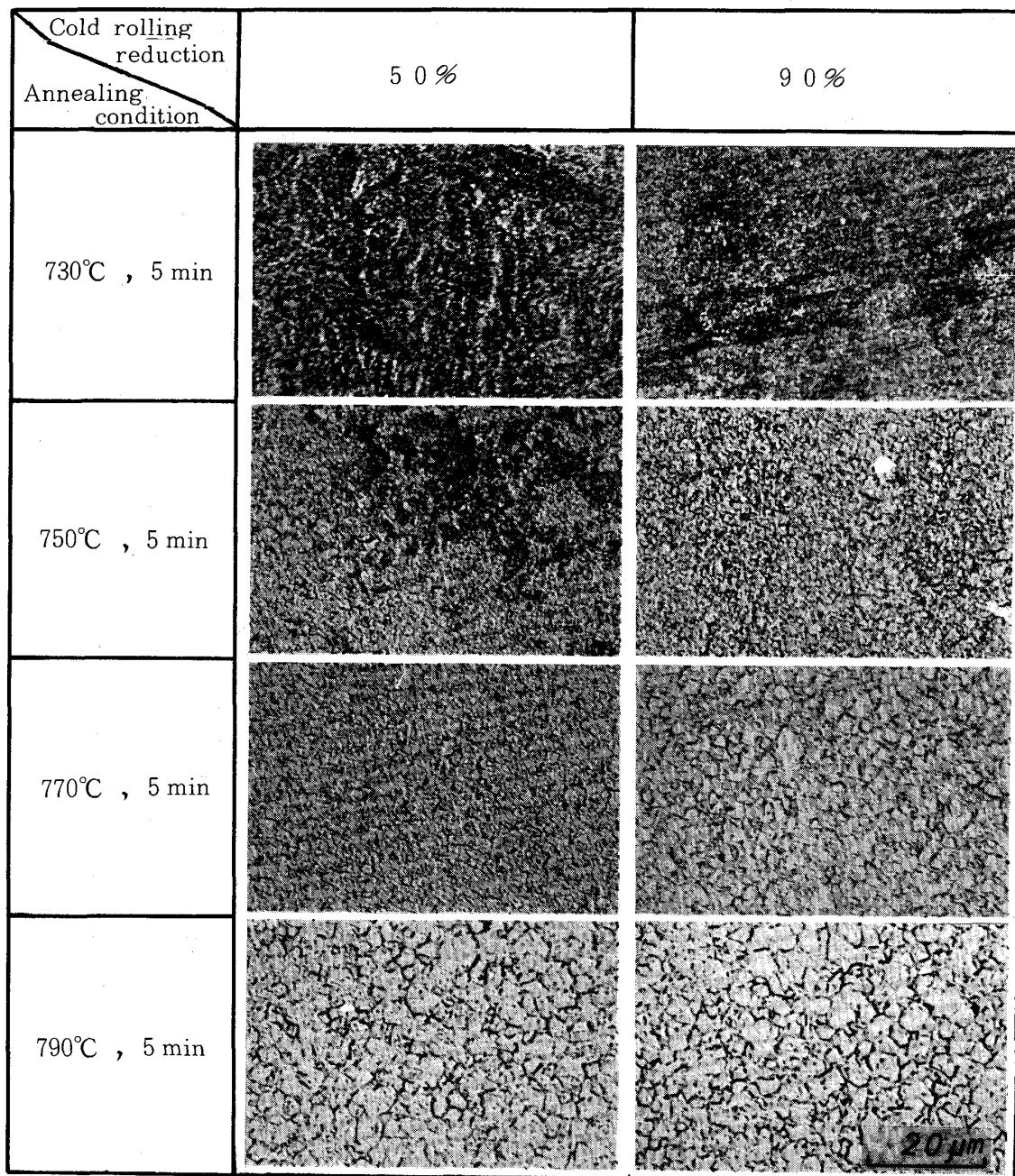


Photo. 1. Optical micrographs of prior austenite grains of 18Ni (350) maraging steel after cold rolling with varied reductions and subsequent reheating treatment at various temperatures. Electrolytically etched in aq. solution of oxalic acid.

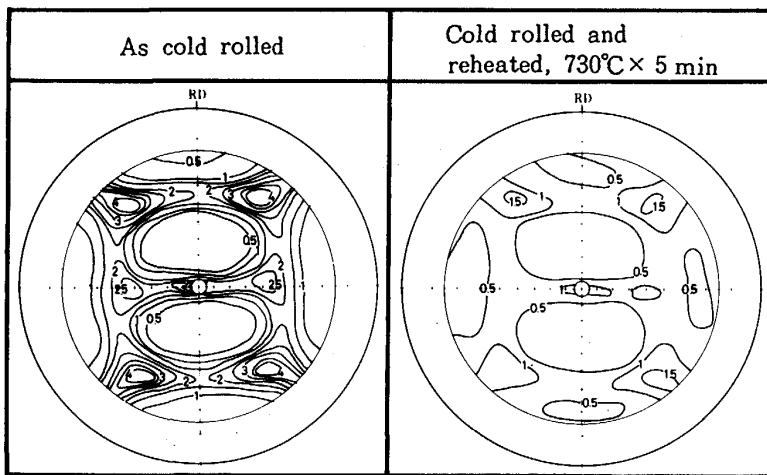
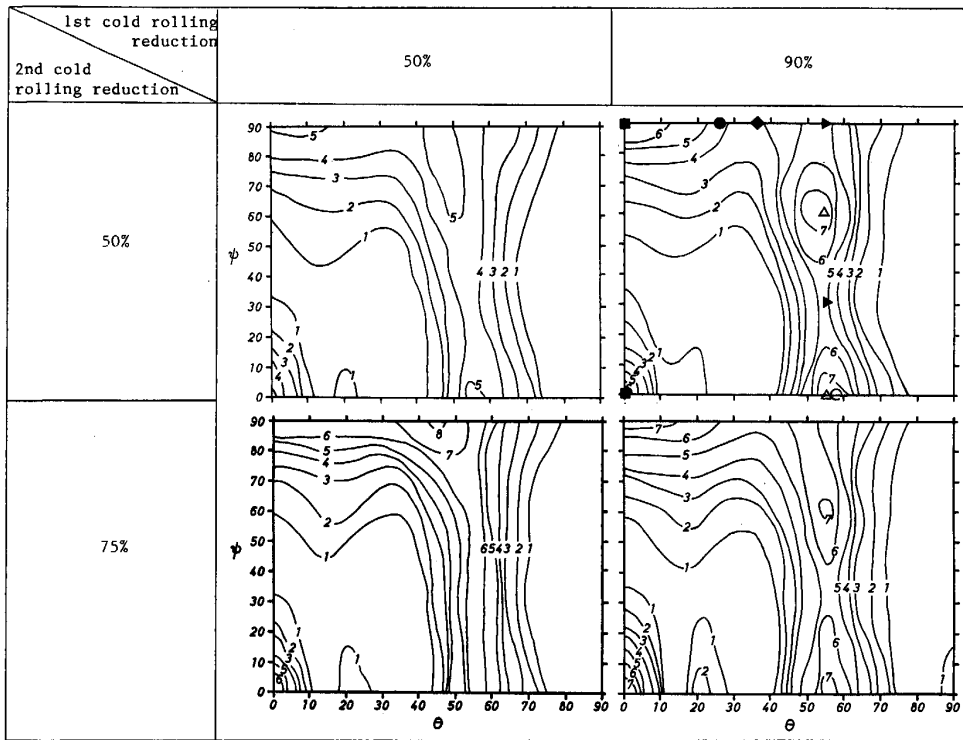


Fig. 3. Fibre structures of 18Ni (350) maraging steel after cold rolling with reductions of 90%, and subsequent reheating at 730°C for 5 min (200) pole figures.



▶ $\{111\} \langle 110 \rangle$ $\triangle \{111\} \langle 112 \rangle$ $\blacklozenge \{112\} \langle 110 \rangle$
 ■ $\{001\} \langle 110 \rangle$ $\circ \{554\} \langle 225 \rangle$ $\bullet \{113\} \langle 110 \rangle$

Fig. 4. Fibre structures developed in 18Ni (350) maraging steel after double step cold rolling with various combinations of the 1st and the 2nd rolling reductions, and with a fixed total reduction of 91%, $\phi = 45^\circ$ section of ODF.

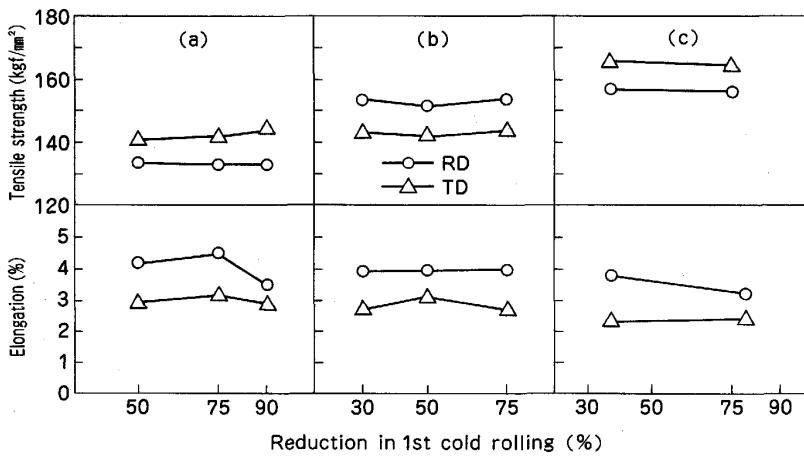
択し、2次冷延後の諸性質におよぼす1次冷延の加工率の影響を調べた。

初期方位がほぼランダムな熱延板を30~90%冷延した場合とこれを820°C、1hの再結晶処理を行ったときの集合組織(ODF)をFig. 2に示した。

冷延率が50%以下の場合強い優先方位は生成されずランダムに近い方位に戻っている。冷延率が75%以上になると再結晶後の集合組織に $\{111\} \langle 112 \rangle$ の優先

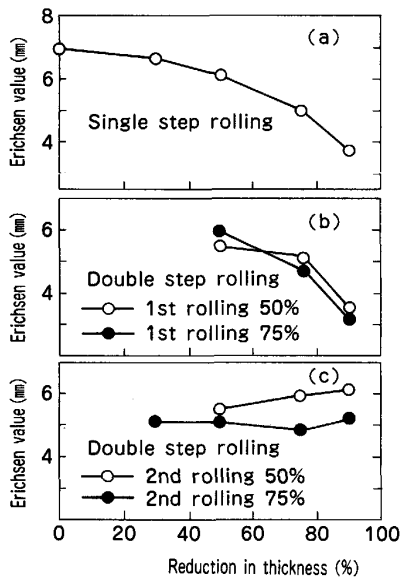
方位が現れる。

これらの焼鈍材を50, 75, 90%の加工率で2次冷延した後の集合組織測定結果の一部をFig. 4に示す。2次冷延率を50%とした場合、冷延前初期方位の影響が強く2次冷延による方位変化は少ない。75%以上の2次冷延を行うと冷延による集合組織の発達が顕著になり、初期方位の影響は弱くなる。しかし、1次冷延率が異なり2次冷延率の等しい集合組織を比較すると方位の



2nd cold rolling reduction : (a) 50%, (b) 75%, (c) 90%

Fig. 5. Effect of 1st cold rolling reduction on tensile properties of 18Ni (350) maraging steel with fixed 2nd cold rolling reductions.



(a) Single step rolling (b), (c) Double step rolling

Fig. 6. Effect of the cold rolling reduction and combination of the 1st and 2nd rolling reductions on the Erichsen values of 18Ni (350) maraging steel.

集積度に若干の差が認められる。

3.3.2 冷間圧延板の機械的性質と2次成形性

冷間圧延のままの試料の平滑引張強さの2次冷延の加工率による変化を調べ2次冷延の加工率を一定としたときの1次冷延の加工率の影響についてプロットした結果を Fig. 5 に示す。これらの結果から機械的性質は1次冷延率によつてほとんど変化せず従つて2次冷延前の集合組織にはほとんど影響されないことが分かる。

冷延板の2次成形性をエリクセン試験により調査した結果を Fig. 6 に示す。(a) は1回冷延の加工率とエリクセン値との関係を示すが、加工率の増加に伴い2次成形性は劣化している。(b) は2回冷延における2次冷延の加工率と2次成形性との関係を示す。この結果は1

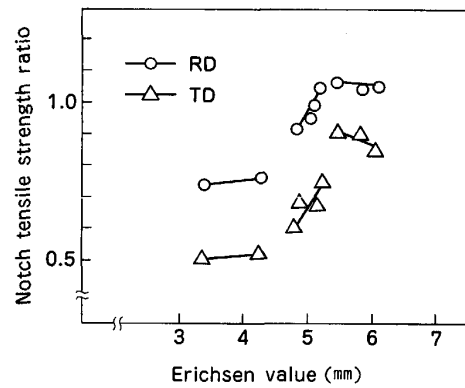


Fig. 7. Relation between notch tensile strength ratio and Erichsen value.

回冷延材の結果と同様である。これらの結果から2次成形前の冷間加工率の増加は2次成形性を劣化させることが分かった。2回冷延法における加工率の組合せ方と2次成形性との関係について調べた結果が(c)である。この図は2次冷延の加工率を50%と75%にした場合の1次加工率の2次成形性におよぼす影響について調べた結果である。すなわち、2次冷延の加工率を50%と一定にすると1次冷延の加工率の増加とともに2次成形性は改善される。また2次冷延の加工率を75%とすると1次冷延の加工率の影響はほとんど消える。そこでこれらの結果と2回冷延材の集合組織との比較を行うと、1次冷延の加工率の増加に伴い再結晶後に{111}<112>集合組織が発達し、2次冷延後の集合組織にこの方位がどの程度残つているかに関係すると考えられる。

つぎに切欠強度比と2次成形性との相関について整理した結果を Fig. 7 に示す。この図から、2次成形性は切欠強度比とも相関を示し、概して切欠強度比が大きい方が2次成形性が優れていることを示している。

以上の結果から2次冷延前に{111}<112>方位の集

積度が高い方が2次成形性は改善され、これは切欠強度比との相関で認められるように靱性の向上と関係があると考えられ、 $\{111\} \langle 112 \rangle$ 集合組織の発達によりクラックの発生および伝播の挙動が変化することによると考えられる。

4. 考 察

4.1 冷間圧延による機械的性質の異方性

冷間圧延に伴う引張性質の異方性は加工率の増加とともに顕著になることを Fig. 1 に示した。このようなマルエージング鋼における冷間圧延に伴う異方性の出現は、RD, TD 方向の強度差として多くの報告⁸⁾⁹⁾があるが、詳細な検討はなされておらずその生成原因については冷延集合組織の発達によるもの²⁾とし、それ以上の説明はなされていない。

板材における機械的性質の異方性と集合組織の関係について、稲垣ら¹⁰⁾は3次元結晶方位解析法と Hosford-Backofen の降伏強度計算法を併用して解析し、 α -Fe の異方性生成原因について明瞭な解釈を示している。この解析はすべり系を $\{110\} \langle 111 \rangle$ に限定し均一歪み変形や等方性硬化などの仮定をして得た結果であり、多少の問題はあるがマルテンサイトの冷延集合組織は Fig. 2 に示したごとく、 α -Fe の冷延集合組織の発達と一致し、すべり系が同一であると考えられることから、マルテンサイトの冷延による異方性生成の解釈にも適用できると考えられる。

そこで Fig. 1 に示した強度異方性の原因を考察するため冷延加工率の変化に対して特定方位の極密度を3次元方位分布関数より求めた結果を Fig. 8 に示す。この図より明らかなように、加工率の増加に伴い RD 方向を $\langle 110 \rangle$ 方向とする回転系列の方位が急激に増加することがわかる。稲垣らの解析結果では RD, 45°, TD の強度において非対称のV字型異方性を示す原因は $\{113\} \langle 110 \rangle$ 近傍の方位の存在によることが示されており、Fig. 2, Fig. 4 の結果でも冷延率の増加に伴うこの方位の増加が著しいことから、異方性の原因は $\{113\} \langle 110 \rangle$ 方位の増加によるものと結論できる。

4.2 変態集合組織の生成

変態における方位変化は Fe 合金において西山の関係¹¹⁾KURJUMOV-SACHS の関係¹²⁾, GRENINGER-TROIANO¹³⁾ の関係が知られており、多くのバリエントが提示されているがすべてのバリエントが均等に働くことは希であり、外部からの応力や歪みはもちろんであるが内部歪みやその他の因子によつて特定のバリエントが優先し、これによつて生成される変態集合組織は種々に変化する¹⁴⁾。

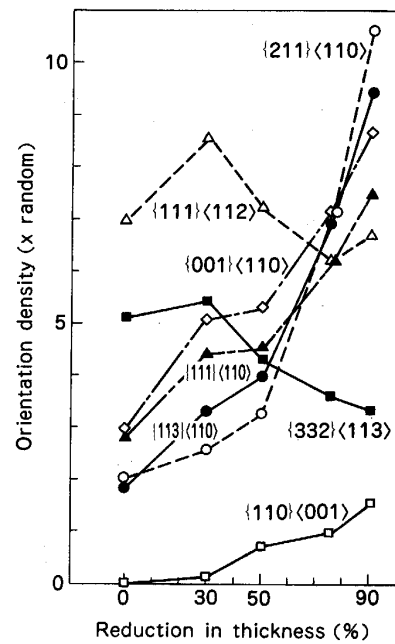


Fig. 8. Effect of the 2nd cold rolling reduction on the orientation densities of 18Ni (350) maraging steel after double step cold rolling.

また、変態の機構がせん断変態¹⁵⁾か拡散型変態¹⁶⁾かによつてもバリエント選択機構も影響され変態集合組織の生成が影響を受けると考えられる。

本実験はこれらの方位変化を伴う正・逆変態の両方が関与しているうえに加工歪みによるバリエント選択や再結晶による方位変化など種々の因子が複雑に関与しているため、その結果を解釈することは困難である。しかし、Fig. 2 および Fig. 4 に示した冷延集合組織と再結晶集合組織との関係が α -Fe のそれと全く同一であることから昇温時の逆変態時には特定のバリエントが働いて歪みを有するオーステナイトの集合組織を形成し、その後オーステナイトでの再結晶による方位変化が起こり、その状態から冷却するとマルテンサイトの正変態時には先に働いたと同一の特定のバリエントが再び働くことによつてあたかも正・逆の相変態を経ずにマルテンサイトの状態で再結晶した場合と同様の挙動を示したものと考えられる。

4.3 2次成形性と集合組織

薄板の2次成形性と集合組織との関係は古くから知られ、多くの解説¹⁷⁾もなされている。張出成形性を調べる方法としてエリクセン試験が一般的であるが、この方法は張出成形性だけでなくある程度の深絞り性も評価できる試験法であることが指摘されている。久保寺¹⁸⁾はエリクセン値とランクフォード値 (r 値), 加工硬化指数 (n 値), 引張強さ (σ_B 値) との関係普通鋼につ

いて調べ、重回帰分析により次の関係式を求めている。

$$\text{エリクセン値} = 1.4r - 1.0n - 0.05\sigma + 11.1$$

ここの r , n および σ_B はそれぞれ素材の各方向の値の平均値を示す。この関係式から明らかなようにエリクセン値の向上には r 値は大きく、 n 値および σ_B は小さい方がよい。この傾向がマルエージング鋼にも適用できると仮定すると、18% Ni マルエージング鋼では加工硬化指数が非常に小さく¹⁹⁾普通鋼のそれ²⁰⁾に比べ1桁小さい値であることから、エリクセン値には有利である。また冷間圧延したマルエージング鋼は加工率に伴って σ_B が上昇するため Fig. 6 に示したように冷間加工率に伴ってエリクセン値が低下することは理解できる。 r 値は集合組織との相関が強くその関係については多くの報告²¹⁾があり板面法線を $\langle 111 \rangle$, $\langle 110 \rangle$ 方向とする方位が多い方が r 値は大きくなる²²⁾。本実験結果において冷延後の焼鈍材で r 値を大きくするには Fig. 2 から明らかなように高い加工率の1次冷延を施した方が再結晶処理後に $\{111\} \langle 112 \rangle$ 方位への集積が高くなり r 値も大きくなると推測される。これに続く2次冷延において高加工率を与えると、Fig. 4 に示したように $\{111\} \langle uvw \rangle$ の方位が発達するが r 値を低減させる $\{100\} \langle uvw \rangle$ 方位の発達も著しく、そのうえ σ_B 値の増大もあり、これらの効果を総合するとエリクセン値は低下の方向にあることが分かる。従って、成形性に優れた薄板を中間焼鈍を挟む2回の冷間圧延法を用いて得るには1次の冷間圧延に高加工率を与え再結晶処理で $\{111\} \langle 112 \rangle$ の優先方位を発達させ、2次の冷間圧延ではこの優先方位をできるだけ損なわない程度の加工率に留めることが望ましい。Fig. 4 から明らかなように2次冷延前の初期方位が冷延後も保たれるには2次冷延率が50%以下である必要がある。以上の結果は集合組織から r 値を大きくする方法として導き出された結果であるが、この効果は Fig. 6 に示したエリクセン試験結果でも認められ、この方法が有効であることを示している。

5. 結 言

18% Ni 240 kgf/mm² 級マルエージング鋼 (18 Ni (350)) の冷間加工に伴う機械的性質の変化と異方性の出現ならびにその2次成形性におよぼす影響について調べ大略つぎのような結果が得られた。

1) 冷間圧延を行うと加工硬化が起こりその硬化率は圧延方向 (RD 方向)、圧延方向と 45° の方向および圧延直角方向 (TD 方向) で異なり 45° 方向、RD 方向、TD 方向の順に大きくなり V 字型の異方性を示す。この異方性は時効処理後もわずかに軽減されるがほとんどが

残留する。

2) 異方性の出現は圧延集合組織の発達によるものであり、 $\{113\} \langle 110 \rangle$ 方位の増大が主因であると考えられる。

3) 冷間圧延後に再結晶処理を行うと再結晶集合組織が形成される。この場合マルテンサイト/オーステナイト逆変態およびオーステナイト/マルテンサイトの正変態を経ているにもかかわらず α -Fe の再結晶の場合と同一の再結晶集合組織が得られ正・逆変態時にバリエーション選択が起こっていることを示唆している。

4) 2次成形性をエリクセン試験で評価すると $\{111\} \langle 112 \rangle$ 方位が成形性に有利なことが分かった。冷間圧延板の成形性を改善するためには2回冷延法において、1次冷延で強圧下を加え中間焼鈍により $\{111\} \langle 112 \rangle$ 方位の集合組織を発達させて2次冷延はこの優先方位が十分維持される範囲の50%以下の圧下に留めることが望ましい。

文 献

- 1) 河部義邦: 日本金属学会会報, 14 (1975), p. 767
- 2) 松崎明博, 佐藤信二, 奥村健人, 正野 進, 岡崎 洋: 日本金属学会会報, 25 (1986), p. 550
- 3) 例えば, 安中 嵩, 荒木 透, 渡辺 敏: 日本金属学会誌, 32 (1968), p. 1008
- 4) 細見広次, 芦田喜郎, 波戸 浩, 石原和範: 鉄と鋼, 61 (1975), p. 1012
- 5) 牧 正志, 森本啓之, 田村今男: 鉄と鋼, 65 (1979), p. 1598
- 6) 栗林一彦, 堀内 良: 鉄と鋼, 72 (1986), p. 2109
- 7) R. J. ROE: J. Appl. Phys., 37 (1966), p. 2069
- 8) E. B. KULA and C. F. HICKEY, Jr.: Trans. AIME, 230 (1964), p. 1707
- 9) H. W. MAYNOR, Jr. and C. C. BUSCH: Met. Eng. Quarterly, 6 (1966), p. 20
- 10) 稲垣裕輔, 栗原 極, 小指軍夫: 鉄と鋼, 61 (1975), p. 991
- 11) Z. NISHIYAMA: Sci. Rep. Tohoku Imp. Univ., 23 (1934/35), p. 638
- 12) G. KURDJUMOV and G. SACHS: Z. Physik, 64 (1930), p. 325
- 13) A. B. GRENINGER and A. R. TROIANO: Trans. AIME, 185 (1945), p. 560
- 14) 稲垣裕輔: 金属学会セミナー, “集合組織”テキスト (1981), p. 61 [日本金属学会]
- 15) K. HASLAM, T. COLEMAN, D. DALIEN and I. L. DILLAMORE: Proc. 3rd Colloque européen sur les Texture des Deformation et Recrystallization des Metaux et leurs Applications Industries, Pont-a-Mousson (1973), p. 369
- 16) P. L. RYDER, W. PITTSCH and R. F. MEHL: Acta Metall., 15 (1967), p. 1431
- 17) 木原諄二: 鉄と鋼, 58 (1972), p. 501
- 18) 久保寺治朗: 東京大学学位論文 (1968), p. 26, p. 51
- 19) 18% Nickel Maraging Steels, Data Bulletin, International Nickel Co. (1964)
- 20) A. R. ROSENFELD and G. T. HAHN: Trans. Am. Soc. Met., 59 (1966), p. 962
- 21) 大久保忠恒: 第7回西山記念技術講座 (日本鉄鋼協会編) (1970), p. 33
- 22) J. W. BISHOP and R. HILL: Phil. Mag., 42 (1951), p. 414