

論 文

UDC 669.14.018.5 : 669.15'782-194-122.2 : 548.53 : 548.735.6

溝状粗面ロールを用いる圧延による3%珪素鋼の
再結晶集合組織の変化について*

熊沢増治**・中川恭弘**・本城 修***・関根知雄**

Effect of Cold Rolling by Grooved Rolls upon the Formation of
Recrystallization Texture of 3% Silicon Steels

Masuji KUMAZAWA, Yasuhiro NAKAGAWA, Osamu HONJŌ, and Tomoo SEKINE

Synopsis:

In this experiment, effects of groove-rolling developed by the present authors on the mechanism of recrystallization, on grain growth and on the formation of texture during annealing were studied. The experimental results are as follows.

When the specimens groove-rolled under high rolling reduction were annealed, their (100)[011] texture was favorably maintained in the entire process of annealing, except that a temporary decrease in (100) texture was noted during primary recrystallization. At a 60% groove-rolling reduction or above, a grain size reduction and increase in the fraction of (100) grains were noticed. The reduction by groove-rolling applied during cold rolling is exceedingly effective in the development of annealed texture. In fact, (110)[001] texture was observed to develop at a grooved roll reduction of 40-50%; (100)[hkl] texture at 50-60% reduction; and (100)[011] texture at 70% or above, each on annealing for twenty hours at 1170°C. The (100)[011] texture first formed during cold rolling was further developed on annealing into a higher level of the same texture.

1. 結 言

著者らの一部は冷延集合組織の形式におよぼす溝状粗面ロール圧延の影響を中心に検討をおこない、この方法は(100)冷延集合組織の発達に極めて有効であること¹⁾、それには回転を伴う材料の流れが主要な役割を果たしていることを明らかにした²⁾。また、溝ロール圧延によつて生ずる不規則変形の影響について検討したところ、通常の冷延法による場合と比較して、著しい加工硬化や内部歪の上昇をまねくこと、それらは溝ロール圧延により形成された不均一組織と密接な関係があることを明らかにした。そしてこの場合も、本研究の命題である(100)冷延集合組織の形成と密接な関係にあることを示した。

(100)集合組織の再結晶に関する問題は過去においていろいろと取り上げられて検討が行なわれた。DUNNとWALTERら³⁾⁴⁾によると、この組織が2次再結晶によつて発達するためには、(100)核となる一次粒が存在することが必要であり、粒成長には表面エネルギーが重要な

る役割を果たすことを指摘している。DETERT⁵⁾とBECK⁶⁾らは2次再結晶が行なわれるためには、不純物分散相の適当な分布による異方位粒の発達を抑制する必要があることを示した。

一方、再結晶の基本的な問題点を解明するために、WALTERとKOCK⁷⁾らは(100)[001]方位の単結晶に対して再結晶の問題について検討した。また、(100)[011]方位のものに対してはDUNNとKOCH³⁾、HU⁹⁾、和田¹⁰⁾らにより、(110)[001]方位のものに対してはHU¹¹⁾により検討が行なわれた。その結果によると、冷延集合組織はほぼ素材の初期方位により一義的に決まる場合が多いが、再結晶集合組織の場合にはそのように単純でなく冷延以前の状態、すなわち素材の成分系、熱履歴、組織などによつて影響をうける¹²⁾。そして、多結晶体の場合にも単結晶のときほど極端ではないが同様の影響を受けると言われる。

以上に示したように、一般の冷延法による場合の(100)組織の再結晶に関する問題は、かなり詳細に検討がおこ

* 昭和51年10月7日受付 (Received Oct. 7, 1976)

** 新日本製鉄(株)製品技術研究所 (Products R & D Laboratories, Nippon Steel Corp., 5-10-1, Fuchinobe Sagamihara 229)

*** 新日本製鉄(株)広畑製鉄所 (Hirohata Works, Nippon Steel Corp.)

なわれてきたが、溝ロール圧延法を適用するときの変形様式や再結晶の挙動に関する問題を取上げた研究報告は極めて少ない。本研究では前報で報告した溝ロール圧延を適用したときの変形組織と関連して、焼鈍による再結晶集合組織の形成におよぼす溝ロール圧延の影響を明らかにすることを目的として検討をおこなったものであり、焼鈍による回復と一次再結晶過程、粒成長過程、再結晶集合組織の形成、(100) 集合組織の発達条件について検討をおこなった。

2. 実験方法

2.1 回復および一次再結晶過程の実験

実験には $2.3 \times 25 \times 100$ mm の大きさの 3% Si-Fe 合金の熱延板を素材として使用し、2 mm ピッチの直交溝ロールにより 40~80% 圧下率の範囲の溝ロール圧延と引続き 0.35 mm の板厚まで平滑化圧延を実施した。このときの圧延は前報と同一の条件によった。これらの冷延板に対して、400~1100°C の温度範囲で保持時間 30 min の焼鈍をおこない、試料の表面と中心部に対して MoK α 特性 X 線 (40kV-200mA) により、(100)、(111)、(112) と (110) 面の反射強度を測定した。同時に反転極点図を作成し集合組織に対する影響について検討を行なった。

2.2 結晶粒度と (100) 粒の面積率の測定

それぞれ 6 mm, 3 mm と 2 mm ピッチの直交溝ロールを使用し、前回と同一条件で冷延をおこなった。そして、これらに対して、1170°C の一定の温度で 0.5, 2.5, 10, 20 h の再結晶焼鈍を実施した。

焼鈍した試料を 10×10 mm の大きさに切断した後樹脂に埋込み、表面研磨の後ナイタルで腐蝕し、 35 mm^2 の総視野面積に対して 127 倍の顕微鏡写真を撮り、これから平均粒径を求め粒度を決定した。また、(100) 面積率の測定には塩化第一鉄を主成分とする腐蝕液により、エッチピットを現出した後、同様顕微鏡写真を撮りプランメータにより (100) 面積を測定した。

2.3 極点図の作成

本実験では 6 mm と 2 mm ピッチの直交溝ロール、縦溝と横溝ロールを使用して冷延をおこなった後、引続き 0.35 mm の板厚まで平滑化圧延を実施したものについてさらに 1170°C \times 20 h の再結晶焼鈍後、(200) 極点図を作成して溝ロールの形状と圧下率の影響を調べた。

測定は理学電機製極点図作成装置を使用し、Decker-Harker 法¹³⁾により (200) 極点図を書かせた。対ランダム比を一倍以上のものについて記録することにし、また通常の方法では $\alpha = 2 \sim 4^\circ$, $\beta = 20^\circ$ にとるのに代り、 α

$= 1^\circ$, $\beta = 1^\circ$ にステップを細く区切ることにした。したがって、定量的な強度は明らかでないが、集積の中心がどこにあるかは判断できた。測定には MoK α (40kV-200mA) を使用し、試料としては両面から化学研磨して約 50 μ の厚さのものを使用した。そのときのラインフォーカスの幅は 20 mm \times 20 mm ストロークの積分走査をおこなった。

2.4 トルク曲線の測定

再結晶集合組織と溝ロールの形状と圧下率との関係について、トルク曲線を測定した¹⁴⁻¹⁶⁾。このとき 6 mm と 2 mm ピッチの直交溝ロールと縦溝と横溝ロールにより 40~80% 範囲の冷延と同範囲の平滑化圧延をおこない、最終的に 1170°C \times 20 h の再結晶焼鈍したものに対して測定を進めた。

これらの焼鈍材から直径 20 mm の円板状の試料を打抜き、これに対して 3000 ガウスの磁場でトルク曲線の測定をおこない、最大ピーク値 (T_M)、最小ピーク値 (T_m) およびピーク比 (r) を求めた。

3. 実験結果と考察

3.1 回復と一次再結晶の過程における集合組織の変化

焼鈍の初期において、(1) 溝ロール圧延を適用した冷延材に見られる (100) 立方組織が、焼鈍による回復や一次再結晶の過程でどのように変化するか、(2) 平滑ロール圧延のみを実施したときはどうか、(3) 溝ロール圧延の圧下率と焼鈍温度の効果などを明らかにする目的で実験をおこなった。

Fig. 1 は反射強度が焼鈍温度によつて変化する様子を試料の中心層に対して測定した結果を代表として示した。今回、表面に対して得られる結果は割愛した。図に示しているように、冷延材の反射強度が全般に低い値となつてはいるが、これは回折線のピーク値を強度として現わしたため、ラインブロードニングによる見掛上の誤差が含まれているためである。また、高温焼鈍したものは結晶粒の粗大化によるバラツツキ、あるいは消衰効果による回折線の強度の低下が考えられるので実際の動きはとらえられない。

図中の (1) に焼鈍温度に伴う (100) 反射強度の変化を示す。約 570°C の一次結晶の前の回復過程では、全体に強度の上昇が見られるが、とくに 60% の溝ロール圧延のものが最も強度が高く現われる。これと比較して平滑ロール圧延のみの場合は強度は弱い。40% と 70% の溝ロール圧延のものは、これらの中間の強度水準にあり同じような挙動を示す。一次再結晶後はいずれも強度の低下が見られる。

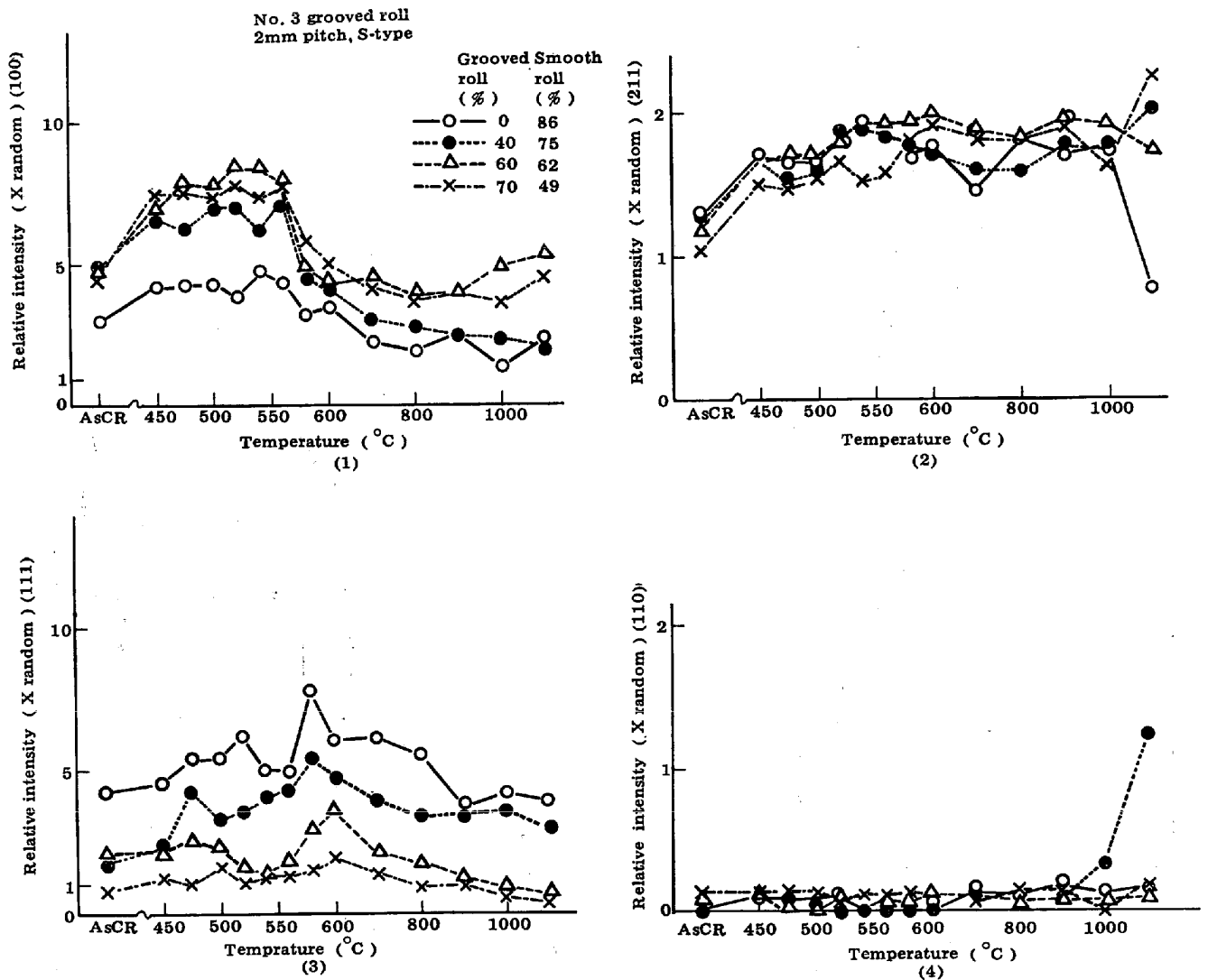


Fig. 1. Effect of annealing temperature on the pole intensities in polycrystalline specimens reduced to 0.35 mm thick by succeeding groove rolling and smooth rolling.

図中の(2)に示すごとく、(211) 反射強度の変化は、再結晶前では平滑ロール圧延のみの場合の強度は大きく、圧下率が70%の溝ロール圧延のものが最も小さい。これは内部より表面で明瞭に現われるし、全体の水準も高かった。一次再結晶後は内部ではあまり強度の変化に対する動きはない。

図中の(3)には(111) 反射強度の変化を示す。いずれの試料についても一次再結晶後に若干の強度の減少が見られ、平滑ロール圧延のもの、溝ロール圧延の少ないものほど強度の水準が高い。

図中の(4)には(110) 反射強度の変化を示す。一次再結晶の前後の強度の水準は全般的にかなり低く、1000°C以上で溝ロール圧延の少ない試料の強度が若干増加の気配が見られる。ガス成分の発生に伴うと思われるものが現われる。

Fig. 2 にそれぞれ 500°, 600°, 800°, 1000°C にお

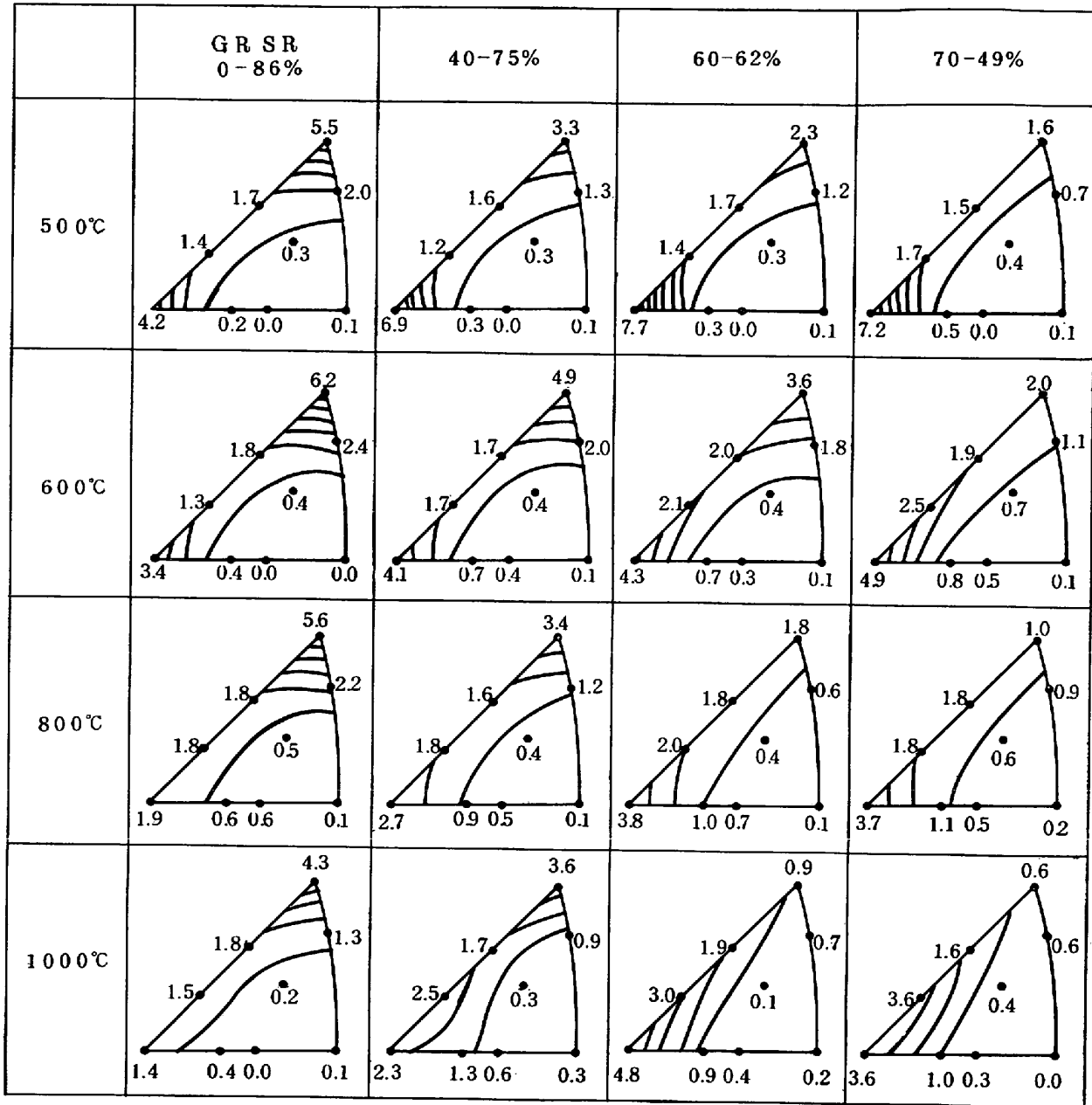
ける反転極点図を示した。これから、

(1) 平滑ロール圧延のみの場合は再結晶前(500°C)の回復過程で(111)が最も強く、(100)が次に強い集積を示しているが、焼鈍がすすむにしたがい(100)が弱くなり(111)が中心となる。

(2) 圧下率40%の溝ロール圧延のものは、再結晶前(111)と(100)に集積があるが、再結晶後は(111)の強度が増加してくる。

(3) 圧下率60%の溝ロールによる圧下量の多いものは再結晶前の(100)が強くなるが、さらに70%と多く圧下量をとるとかえって強度が減少する傾向を示した。

以上に示したごとく、回復や一次再結晶の過程でも高圧下率の溝ロール圧延を行なったものは、冷延のとき見られたと同じよう、(100)に集合組織の優位性が保たれていることが示された。



GR : grooved roll SR : smooth roll

Fig. 2. Inverse pole figures of middle layer showing the effects of reduction by groove rolling and annealing temperature.

3.2 粒成長におよぼす集合組織の影響

Fig. 3 はそれぞれ 1170°C×0.5, 2.5, 10h の焼鈍条件における粒成長に対する溝ロール圧延の圧下率の影響を示す。図に示すように、焼鈍時間の経過により粒成長が行なわれ、最高で約 1mm 前後の大きさとなる¹⁷⁾。しかし、圧下率に関係しては約 60% まで圧下率とともに粒が大きくなるがこれ以上の圧下率から急に減少を示す。

前報においてはこの溝ロール圧延法を適用するとき、圧下率の上昇に伴い残留歪が著しく増加すること、そして、これが焼鈍のとき粒成長に寄与することを述べた。一方、溝ロール圧延による集合組織の変化については、

比較的圧下率の低いとき、(111) と (112) 面が組織の中心であつたものが、圧下率の上昇に伴い次第に (100) 面の組織に移行する。このような変化は約 60% の圧下率を境に行なわれ、これ以上の圧下率では (100) 粒の比率が急に多くなるため、集合組織が粒成長に影響をおよぼすようになると考えられる。

Fig. 4 は溝ロール圧延の圧下率と (100) 粒の面積率との関係を示す。このとき結晶面が板面に対して 10° 以内の傾きをもっているものを対象とした。このとき、溝ロール圧延には 6, 3, 2mm ピッチの直交溝ロールを使用し、焼鈍は 1170°C×20h の条件で行なつた。図に

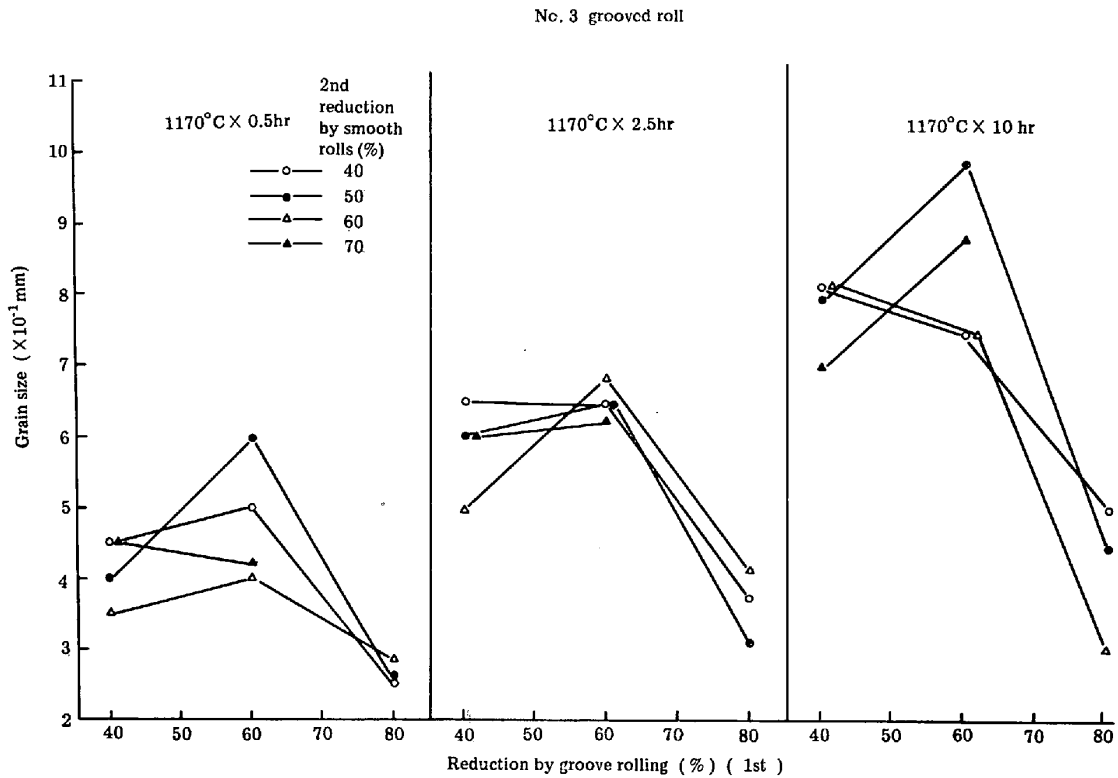


Fig. 3. Effect of the reduction of groove rolling on the grain growth.

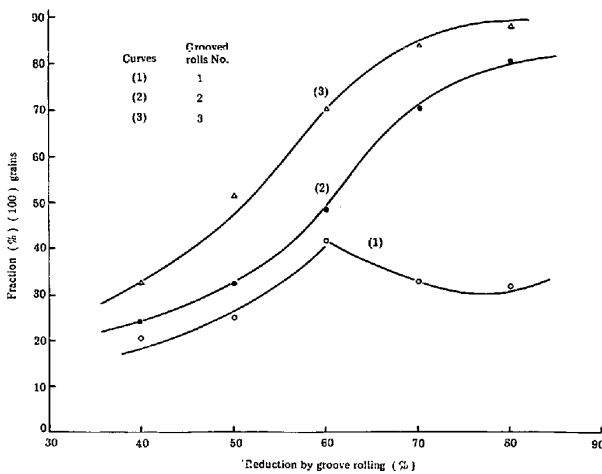


Fig. 4. Effect of pitch of grooved rolls and reduction of groove rolling on the growth of (100) cubic grains. 2nd reduction by smooth rolls to 0.35 mm thickness and annealed for 20h at 1170°C.

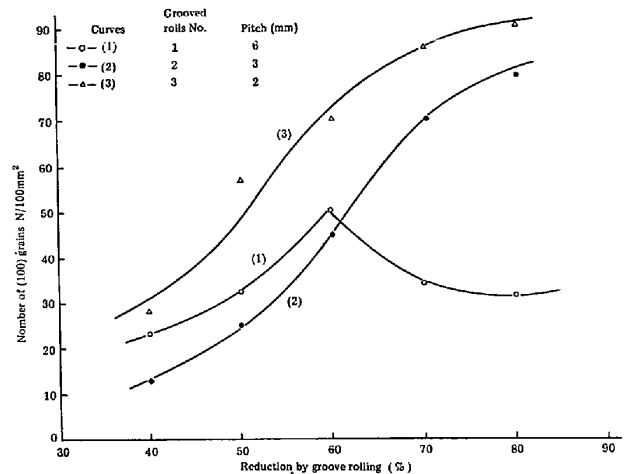


Fig. 5. Change in the number of (100) cubic grains with the reduction of groove rolling. 2nd reduction by smooth rolls to 0.35 mm thickness and annealed for 20h at 1170°C.

示すように、2 mm ピッチのものを使用したとき (100) の面積率が最も大きく、約 60% 以上の圧下率から急に上昇する。そして、約 70% の圧下率で約 80% の面積率を示す。この結果が前回の粒成長に寄与していることがわかる。一方、6 mm ピッチのものを使用するとき、約 60% 以上の圧下率から (100) の面積率が急に減少した。これはガス組織の発達による影響と考えられる。また、Fig. 5 に示すように (100) 粒の数の変化も (100) 粒

の面積率と同じ変化の過程をたどる。Photo. 1 は (100) 粒の成長過程を示す。写真 (1) に (100) 核の発生を示す。

3.3 再結晶集合組織におよぼす影響

3.3.1 冷延条件による影響

前報では冷延の段階で溝ロール圧延と引続き平滑化圧延を適用するとき、(100) 冷延集合組織の発達に極めて効果的となることを明らかにした。今回はこれを焼鈍することによって、より高度に (100) 集合組織が発達し、

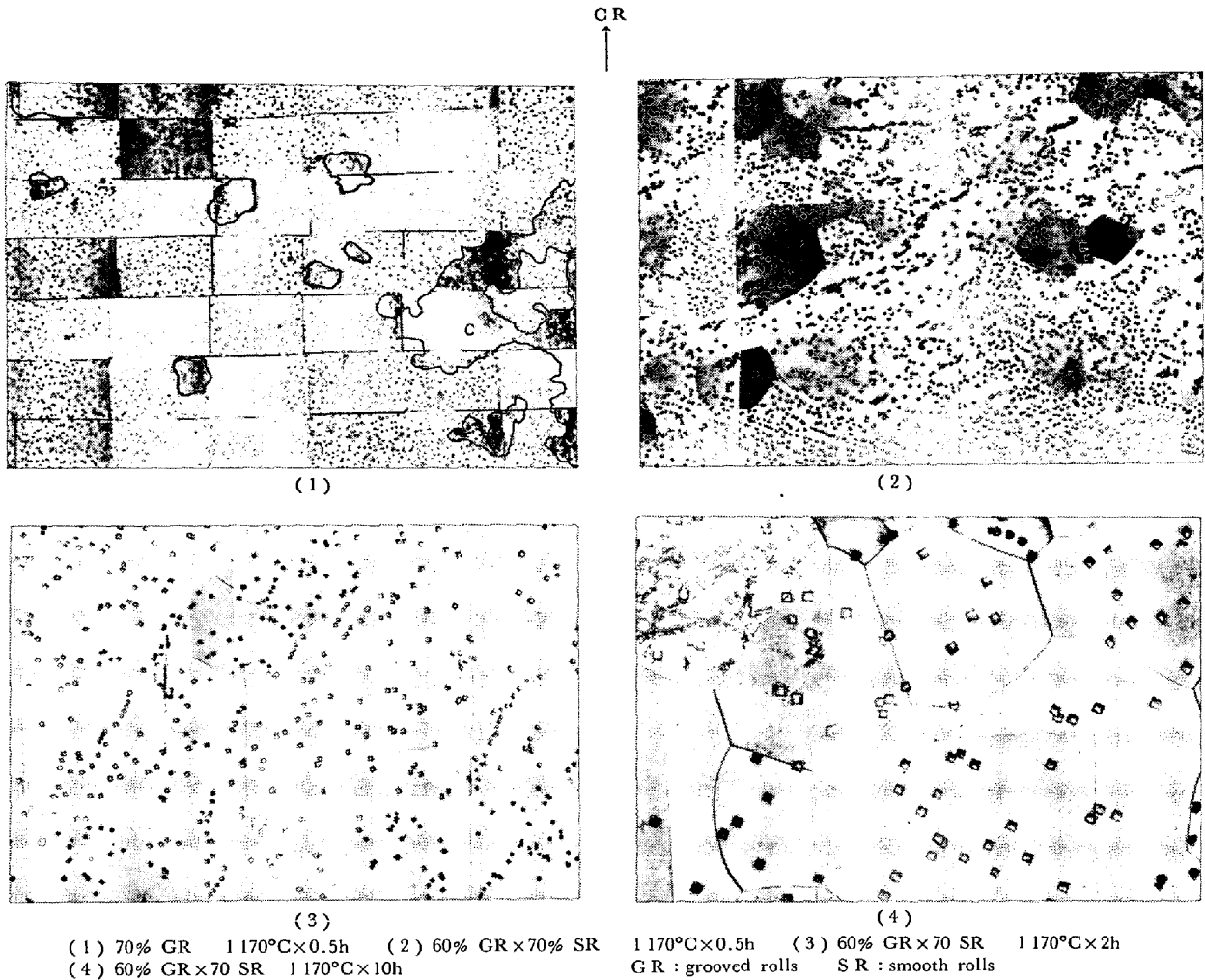


Photo. 1. Microstructure showing the development of (100) cubic grains at annealing process. Specimens cold rolled by No. 3 grooved rolls and smooth rolls.

結果的に磁性の改善につながることを期待して、極点図を作成し再結晶集合組織について検討をおこなった。

Fig. 6 は再結晶集合組織におよぼす溝ロールの形状および圧下率の影響を示す。このとき、冷延材に対して $1170^{\circ}\text{C} \times 20\text{h}$ の焼鈍をおこなった。得られた結果を要約すると次に示すとおりである。

(1) 溝ロールのピッチが 6mm で比較的大きい場合には、図中の極点図(1)に示すように、 $(112)[011]$ を板面法縁の周りに約 15° 回転させた方位に集積の中心があり、これより $\alpha=0^{\circ}$ の中心方向に向った分散が見られる。 $(100)[hkl]$ 成分のものは少ない、圧下率を上げても著しい変化は認められなかつた。

(2) 2mm ピッチの溝ロールを使用して圧下率の小さい場合は、図中の極点図(2)に示すように(1)に加えて $(110)[001]$ の分散した組織が見られるようになる。これは圧延方向の磁性の良いことと対応している。

(3) (2)よりさらに溝ロール圧延を進め、圧下率を 60% とすると、図中の極点図(3)に示すように (100)

$[hkl]$ と $(112)[011]$ に近い方位が現われる。

(4) (3)よりさらに溝ロール圧延を強め 70% とすると、図中の極点図(4)に示すように、分散が大きいが $(100)[011]$ が主体となり、圧延方向と 45° 方向の磁性の向上と対応する。

(5) $(100)[011]$ 集合組織の形成に対しては、図中の極点図(5)と(6)に示すように、横溝より縦溝ロールを使用するとき効果的となる。

以上に示すように、ピッチの小さい直交溝ロールまたは縦溝ロールの適用により高圧下率の冷延と引続き平滑化圧延を行なうとき、焼鈍によつて (100) 組織の集積度の向上がもたらされることが明らかになった。

一般にこのような集合組織が発達するためには2次再結晶の機構による場合と正常粒成長にもとづく場合があり、前者による場合には $1\sim 2\%$ 程度の核となる一次粒を必要とし、また異方位粒の成長を抑制するために適当に析出分散相が分布していることを必要とする。これに対して、溝ロール圧延法による場合には冷延における

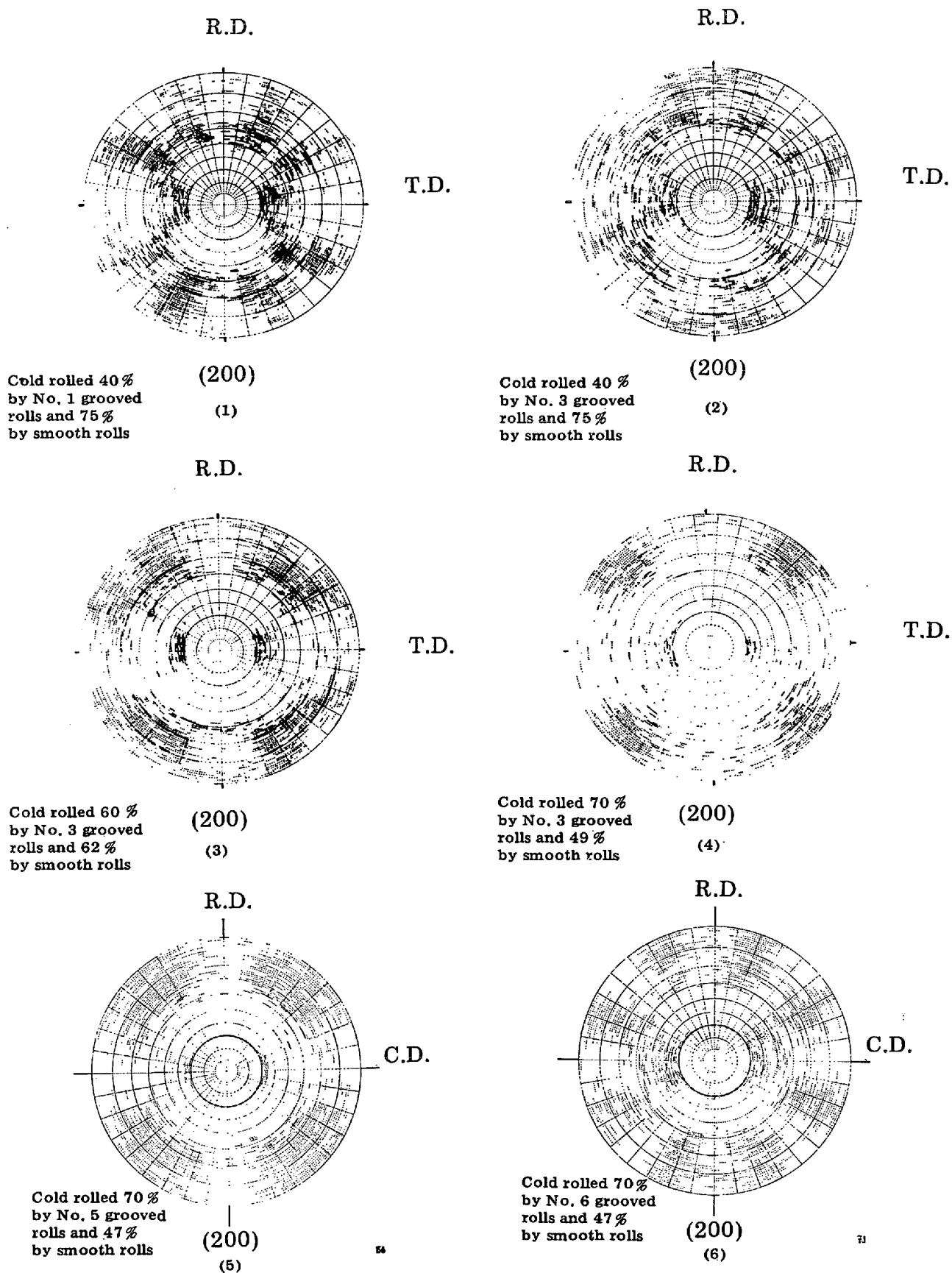


Fig. 6. (200) pole figures of annealing texture of 3% Si-steels cold rolled by succeeding groove rolling and smooth rolling, annealed for 20 h at 1170°C.

(100) 組織がそのまま再結晶組織に発達するところから正常粒成長にもとづく粒成長とも解釈されるが明確ではない。いずれにせよ冷延集合組織との関係が極めて重要である。このように、冷延によつて安定した(100)冷延集合組織が得られ、さらに焼鈍によつて同じ組織を維持し発展させる方法は最も望ましい方法であり、これは従来の冷延によつては実現できないものと考えられる。

3.3.2 集合組織の異方性の発達

今回も再結晶集合組織の発達と溝ロール圧延の冷延条件との関係について取り上げたものであるが、とくに、再結晶集合組織の異方性の発達の過程について、トルク曲線の測定によつて検討を行なつた。

Fig. 7は各種溝ロールにより最高80%の圧下率の溝ロール圧延と引続き同範囲の平滑化圧延をおこなつたものについて、1170°C×20hの焼鈍後、トルク曲線の測定結果を示す。図中の(1)と(2)は6mmと2mmピッチの直交溝ロールを使用したときの結果を示しており後者の場合は40~50%範囲の溝ロール圧延後平滑化圧延を行なつたものに、最大ピーク値(T_M)が約9~12×10⁴ erg/cm²、ピーク比(r)が約0.45の値が得られ

た。これは(110)[001]のゴス組織の発達を意味している。また、溝ロール圧延の圧下率が約60%のとき、その後平滑化圧延によつて $T_M=3 \times 10^4$ erg/cm², $r=0.13$ の値が得られた。このとき(100)[hkl]組織が発達しているとすれば T_M と r が小さくなると言える。圧下率が70~80%の範囲では $T_M=9 \sim 11 \times 10^4$ erg/cm², $r=0.85$ の値となり(100)[011]の集合組織が発達していると言える。これに対して、6mmピッチの溝ロールを使用するときは明確な集合組織は現われない。

次に圧延方向に溝が配列した縦溝ロールを使用するとき、図中の(3)に示すごとく、約50%の溝ロール圧延と平滑化圧延をおこなうとき(110)[001]ゴス組織が、60~70%範囲の溝ロール圧延とその後の平滑化圧延で(100)[hkl]組織が、また70~80%の範囲の圧下率のときに急に(100)[011]組織が発達するのが認められた。すなわち、この場合も2mmピッチの場合と同じ効果もたらされる。このロールの溝の配列が長手方向であるため溝加工が比較的容易であり、実用的にも望ましい型のロールに属する。

図中の(4)には胴長方向に溝が配列したロールによる

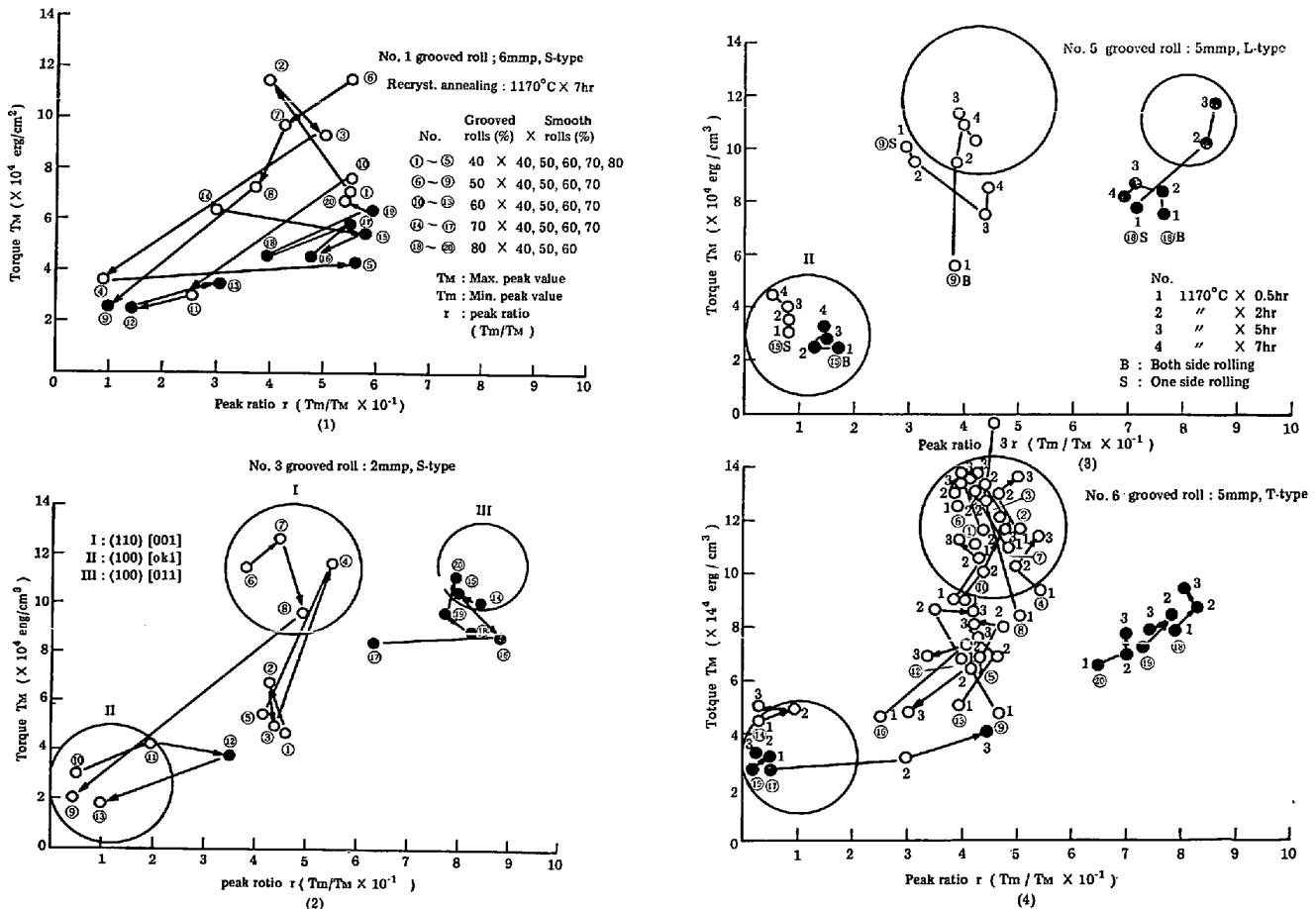


Fig. 7. Effects of groove arrangement and reduction of cold rolling on the development of annealing texture and its anisotropy.

結果を示す。ここで矢印の方向が焼鈍時間の経過を示している。図から明らかなごとく、約50%の圧下率の溝ロール圧下のとき比較的容易に(110)[001]ゴス組織の発達が見られる。これ以上の高圧下率の溝ロール圧延を実施しても、(100)[011]集合組織は明確に現われない。すなわち、この種の溝ロールはゴス組織の発達に有効であると考えられる。

以上に示したように、集合組織の異方性の発達には冷延条件が密接に関係することがわかる。比較的小さいピッチの直交溝ロールまたは縦溝ロールを使用し、60%以上の圧下率の冷延と引き続き平滑化圧延をおこなつたものを、焼鈍するとき(100)組織が発達することは前述の極点図の結果と良い一致を示す。この結果は再結晶集合組織と冷延集合組織との間には密接な関係があることを意味している。したがって、冷延条件を適当に選定するとき集合組織のコントロールが可能となることを示している。

3.4 (100) 集合組織の発達

3.4.1 溝ロール圧延の効果

Fig. 8は(100)集合組織の発達に対する溝ロール圧延の適用の効果について、通常の平滑ロール圧延による結果と比較して示す。図中の曲線の(2)に示すように、平滑ロール圧延によるとき約97%の圧下率に相当する圧延のとき、約0.1mmの板厚となり、焼鈍によつて(100)反射強度が急に上昇する。これに対して、曲線の(1)に示すように、約70%圧下率の溝ロール圧延後引き続き平滑化圧延を行ない、総圧下率で約85%なるようにすると0.35mmの板厚となり焼鈍によつて急に(100)反射強度が上昇する。この程度の圧下率で両者とも冷延材の硬度は $H_v=340$ の値を示すことから、(100)組織の発達にこの程度の加工硬化を必要とすることを意味している。また、両者で圧下率で約67%の差があることから冷延性や成品板厚の点で溝ロール圧延法が極めて有効となる。

3.4.2 中間焼鈍の影響

溝ロール圧延と平滑化圧延との中間で実施する焼鈍の効果について検討した。この方法はゴスの組織の発達に有効な方法として実際に採用されているが、今回は(100)組織の発達に対する効果を調査した。

Fig. 9は中間焼鈍の影響を示す。曲線の(1)と(2)に示すように、溝ロール圧延後 $1100^\circ\text{C} \times 3\text{h}$ と $800^\circ\text{C} \times 3\text{min}$ の中間焼鈍を実施したものは、その後の平滑化圧延の圧下率とともに(100)反射強度が減少した。これに対して、曲線の(3)に示すように、中間焼鈍を実施しない場合には著しい強度の増加が見られた。

この結果は中間焼鈍を実施するとき、(1)溝ロール圧

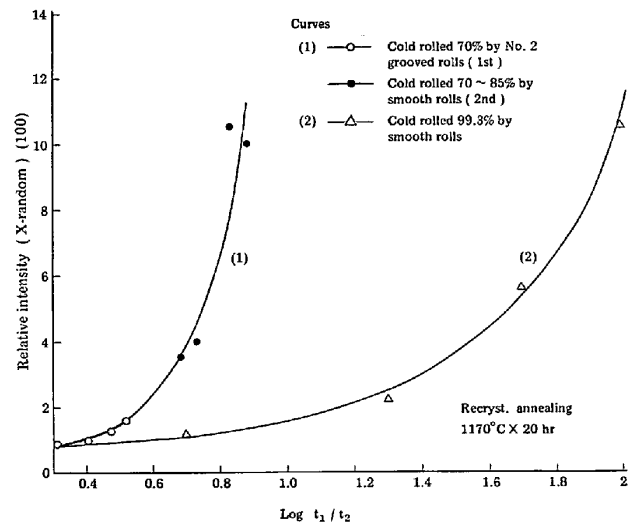


Fig. 8. Effect of groove rolling on the formation of (100) cubic texture as compared with that of smooth rolling. t_1 and t_2 present initial thickness and reduced thickness.

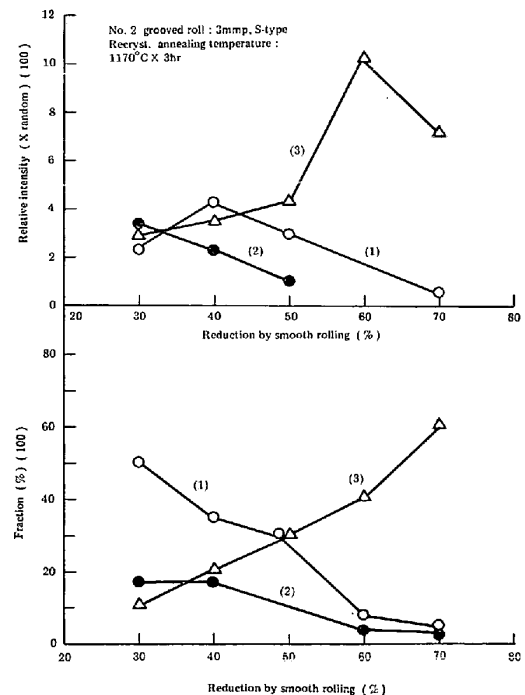


Fig. 9. Effect of intermediate annealing on the formation of (100) cubic grains.

- (1) 70% by grooved rolls, annealed for 3 h at 1100°C and cold rolled by smooth rolls to 0.35 mm thick.
- (2) 70% by grooved rolls, annealed for 3 min at 800°C and cold rolled by smooth rolls to 0.35 mm thick.
- (3) 70% by grooved rolls and cold rolled by smooth rolls to 0.35 mm thick.

延によつて貯えられた蓄積エネルギーが解決される。(2)中間焼鈍によつて粒成長または組織的变化を生ずること、そのため前段の溝ロール圧延の効果が低減したも

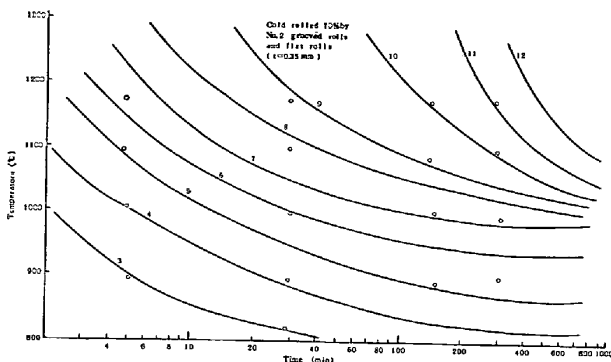


Fig. 10. Effect of recrystallization annealing on the formation of (100) cubic gains. Nos. present relative intensity (100).

のと解釈される。換言すれば(100)集合組織の発達のためには、冷延で極めて高い水準の歪エネルギーの状態が望ましいことを意味している。それが溝ロール圧延法を適用するとき可能となる。

3.4.3 焼鈍条件の影響

Fig. 10は800°~1300°Cの範囲の再結晶焼鈍温度と、(100)反射面強度との関係を示す。図に示すごとく、約70%の溝ロール圧延後引続き平滑化圧延を実施するとき、1100°C以上でできるだけ高温で2h以上の焼鈍をすることが(100)組織の発達を得るのに望ましいことがわかる。

4. 結 言

再結晶集合組織の形成に関する溝ロール圧延の影響について検討をおこない、次に示すような結果が得られた。

(1) 約550°Cの一次再結晶前の回復過程では高压下率の溝ロール圧延後、引続き平滑化圧延を実施したものは(100)優位の集合組織の発達を示す。これに対して通常の平滑ロールにより圧延をしたもの、または低下率の溝ロール圧延を適用するとき、(111)と(112)組織が優位に現われる。

(2) 最初、溝ロール圧延の圧下率の上昇に伴い、粒成長がおこなわれるが、約60%以上の圧下率から急に減少するのが認められた。これは(100)集合組織の変化と対応していることから集合組織による影響と考えられる。

(3) 2mmピッチの直交溝ロールを使用するとき、

40~50%の圧下率の範囲で、その後の平滑化圧延と焼鈍により、(110)[001]ゴス組織が、また約60%の圧下率のとき(100)[hkl]組織、さらに70~80%の圧下率の溝ロール圧延のとき、(100)[011]組織の発達が認められた。この結果は冷延集合組織と密接な関係を持っている。

(4) 中間焼鈍を実施するとき得られる(100)反射強度の水準は低い。これを実施しないものは著しい反射面強度の上昇が認められる。

(5) 2mmピッチの直交溝ロール、または縦溝ロールにより約60%以上の圧延と引続き0.35mmの板厚まで平滑化圧延を実施したものについて、1100°C以上のできるだけ高温で少なくとも5h以上の再結晶焼鈍を実施するとき、集積度の高い(100)組織が発達する。

終りに終始ご懇切なご指導をいただきました東北大学金属材料研究所田中教授、当社製品技術研究所第一研究室長津田部長研究員に深甚な謝意を表す。

文 献

- 1) 熊沢増治, 中川恭弘, 関根知雄: 鉄と鋼, 63 (1977), p. 1828
- 2) 熊沢増治, 岩山健三, 菅 洋三, 鉄と鋼, 63 (1977), p. 1838
- 3) C. G. DUNN and J. L. WALTER: Trans. Met. Soc. AIME, 218(1960), p. 448
- 4) J. L. WALTER and C. G. DUNN: Acta Met., 8 (1960), p. 497
- 5) K. DETERT: "Untersuchungen Über line neve Art der Secundare Kristallization" The Physics of powder metallurgy. Acta Met. in Press
- 6) P. A. BECK: Orientation in recrystallization and grain growth. MacGraw Hill 1951, p. 40
- 7) J. L. WALTER and D. K. KOCH: Trans. Met. Soc. AIME, 233(1965), p. 1209
- 8) C. G. DUNN and P. K. KOCH: Trans. Met. Soc. AIME, 206(1956), p. 1017
- 9) Hsun Hu: Trans. Met. Soc. AIME, 215 (1959), p. 320
- 10) 和田敏哉, 松本文夫, 黒木克郎: 日本金属学会誌, 32(1968), p. 767
- 11) Hsun Hu: Trans. Met. Soc. AIME, 224 (1962), p. 75
- 12) 長島晋一: 金属組織, 日本金属学会, 1966
- 13) B. D. CULLITY: Elements of X-ray Diffraction Addison Wesley Mass. USA
- 14) C. G. DUNN: Acta. Met., 1(1955), p. 163
- 15) 近角聰信: 強磁性体の物理, 裳華堂, 昭和38年
- 16) 五弓勇雄, 阿部秀夫, 伊藤邦夫: 日本金属学会誌, 29(1965), p. 171
- 17) M. F. LITTMANN: J. Appl. Phys., 38 (1967), p. 1104