

Ti添加極低炭素冷延鋼板の 材質に及ぼすCu, Ni, Cr, Snの影響

山田 輝昭*・織田 昌彦*・秋末 治*²

Effects of Cu, Ni, Cr and Sn on Mechanical Properties of Ti Added Extra Low C Steel Sheet

Teruaki YAMADA, Masahiko ODA and Osamu AKISUE

Synopsis : The effects of Cu, Ni, Cr and Sn addition on the mechanical properties of Ti-added extra low carbon continuously annealed steel sheet were studied. Following results were obtained :

- (1) Cu or Cr addition up to around 0.2% raised tensile strength, and decreased total elongation and r value.
- (2) When slab reheating temperature was lowered to 1050°C, tensile strength was decreased and total elongation and r value were increased at the same 0.2% Cu or 0.2% Cr content.
- (3) Ni addition up to 0.12% did not give a significant effect on tensile properties or r value.
- (4) Sn addition up to 0.085% increased tensile strength, and decreased total elongation and r value. In the case of Sn, lowering slab reheating temperature did not improve total elongation and r value.
- (5) The effects of Cu, Ni, Cr and Sn content on mechanical properties are proportional to the difference in atomic radius between iron and those impurities.
- (6) The effect of impurity content on r value is different between the group of Cu, Ni and Cr, and Sn. In the case of Cu, Ni and Cr whose atomic radius are slightly bigger than that of iron, r value can be improved with lowering slab reheating temperature. However, in the case of Sn whose atomic radius is significantly bigger than that of iron, the effect of slab reheating temperature is very small.

Key words : alloying element ; continuous annealing ; cold rolled steel ; Cu, Ni, Cr, Sn ; low carbon steel ; texture ; grain size ; recycle.

1. 緒言

地球環境問題の技術的対応の一環として、鉄鋼のリサイクルの促進が大きな課題になっている。ところが、市中の鉄屑にはCu, Ni, CrおよびSnを多量に含有するものも多く、これらの元素を経済的に除去することは困難であるといわれている。

そこで、これらの元素の品質に及ぼす影響を明らかにし、その許容量を決定する必要がある。これまでに低炭素鋼の材質に及ぼすCu, Ni, CrおよびSnの影響については多くの報告がなされており^{1)~6)}、Ni, CrおよびCuの0.5%以下の含有では引張試験値に及ぼす影響は極めて少ない^{1)~3)5)}こと、およびSnは0.1%の含有で引張強さ30~50MPaの低下があること¹⁾²⁾⁴⁾が報告されている。また、箱焼鈍を前提にして再結晶集合組織に及ぼすCu, Ni, CrおよびSnの影響についても多くの報告がなされている^{7)~12)}。しかし、連続焼鈍された冷延鋼板の材質に及ぼすCu, Ni, CrおよびSnの影響についての報告は著者等の報告¹³⁾を除いて見当たらない。

本報告では、連続焼鈍による深絞り用冷延鋼板に用いら

れるTi添加極低炭素冷延鋼板の材質に及ぼすCu, Ni, CrおよびSnの影響を検討した。

2. 実験方法

Table 1に供試材の化学成分を示す。これらは市販の高純度鉄を原料にし、1チャージ30kgの実験室高周波真空溶解炉を用いて溶製したTi添加極低炭素鋼であり、厚み60mmの10kgインゴットに3分注した。鋼種Cu-1~Cu-3は同一チャージで注入時にCuの添加量を0.099%, 0.168%, 0.220%と3水準変えて鋳造した。鋼種Ni-1~Ni-3は、同一チャージでNiの添加量を0.03%, 0.09%, 0.12%と3水準変化している。なお、このチャージはC含有量が0.0012~0.0015%と他のチャージのC含有量の0.0022~0.0030%に比べ低くなっている。鋼種Cr-1~Cr-3は、同一チャージでCrの添加量を0.09%, 0.17%, 0.21%と3水準変化している。鋼種Sn-1~Sn-2は、同一チャージでSnの添加量を0.042%, 0.085%と2水準変化している。鋼種Baseは鋼種Sn-1~Sn-2と同一チャージで、鋼種Cu, Cr, Sn系の基準鋼として実験に供し

平成4年10月20日受付 平成5年3月5日受理 (Received on Oct. 20, 1992 ; Accepted on Mar. 5, 1993)

* 新日本製鉄(株)広畑技術研究部 (Hirohata R & D Lab., Nippon Steel Corp., 1 Fuji-cho Hirohata-ku Himeji 671-11)

* 2 新日本製鉄(株)鉄鋼研究所 (Steel Research Laboratories, Nippon Steel Corp.)

Table 1. Chemical composition of steels used (wt%).

Steel	C	Si	Mn	P	S	solAl	N	Ti	Cu	Cr	Sn	Ni
Cu-1	0.0026	0.02	0.13	0.009	0.005	0.045	0.0015	0.054	0.099	0.00	0.001	0.01
Cu-2	0.0022	0.02	0.13	0.010	0.005	0.046	0.0015	0.055	0.168	0.00	0.001	0.01
Cu-3	0.0027	0.02	0.13	0.009	0.005	0.043	0.0014	0.055	0.220	0.00	0.001	0.01
Cr-1	0.0022	0.02	0.14	0.009	0.005	0.058	0.0010	0.057	0.012	0.09	0.001	0.01
Cr-2	0.0023	0.02	0.13	0.009	0.005	0.059	0.0010	0.057	0.012	0.17	0.001	0.01
Cr-3	0.0027	0.02	0.13	0.009	0.005	0.059	0.0010	0.057	0.012	0.21	0.001	0.01
Base	0.0027	0.04	0.15	0.009	0.005	0.051	0.0011	0.053	0.005	0.00	0.001	0.01
Sn-1	0.0026	0.04	0.15	0.009	0.005	0.053	0.0012	0.054	0.005	0.00	0.042	0.01
Sn-2	0.0030	0.04	0.15	0.009	0.005	0.048	0.0012	0.054	0.005	0.00	0.085	0.01
Ni-1	0.0015	0.02	0.13	0.009	0.005	0.042	0.0013	0.054	0.012	0.00	0.002	0.03
Ni-2	0.0012	0.02	0.13	0.009	0.005	0.043	0.0011	0.055	0.006	0.00	0.001	0.09
Ni-3	0.0014	0.02	0.13	0.010	0.005	0.042	0.0014	0.055	0.006	0.00	0.002	0.12

た。

鑄造したインゴットを板厚30mmに粗圧延したのち、実験用の熱間圧延機で熱間圧延をおこなった。加熱温度は1200℃と1050℃の2水準で保定時間は約30minとし、2パスで熱延仕上げ温度920℃で板厚6mmに熱間圧延し、強制空冷後、620℃で30min保定後炉冷する巻取相当処理をおこなった。

熱延板を片面1mmずつ研削して板厚4mmにしたのち、圧下率80%の冷間圧延をおこない板厚0.8mmの冷延板とし、10℃/sで500℃まで、5℃/sで775℃まで加熱し、60s保定後、5℃/sで690℃まで、100℃/sで室温まで冷却し、連続焼鈍をシミュレートした熱処理をおこなった。焼鈍後、0.6%の調質圧延をおこなった後、JIS5号試験片による引張試験、小型引張試験片によるr値の測定、金属組織観察およびX線による結晶面強度(板厚中心層:1/2t)の測定をおこなった。

r値の測定は、平行部幅14mm、平行部長さ35mmの小型引張試験片の表裏面に10mm×10mmの格子を罫書き、20%引張をおこない、引張前後の格子寸法を測定して、引張方向および幅方向の格子の歪量からr値を算出し、表裏面のr値の平均値をもってその試験片のr値とした。また、r値は0°、45°、90°方向のr値から求めた。結晶粒径は、100倍の光学顕微鏡のL断面組織写真から、JISの切断法で平均切片長さlを求め、lをASTMの公称粒径に変換し、結晶粒径dとした。

3. 実験結果

3・1 材質に及ぼすCu含有量の影響

Fig. 1 (a) はTi添加極低炭素冷延鋼板の引張試験値に及ぼすCu含有量および加熱温度の影響を示す。

これによると、引張強さはCu含有量が0.005%から0.22%に増加すると約10MPa増加するが、加熱温度が1200℃から1050℃に低下すると、いずれのCu含有量でも引張強さは低下する。伸びはCu含有量が増加するにつれて約2～3%低下するが、加熱温度が1200℃から1050℃に低下すると、いずれのCu含有量でも伸びは向上する。一方、加熱温度が1200℃の場合r値はCu含有量が増加するにつれて大幅に低下するが、1050℃に低下すると、r値は向上し、Cu含有量の影響も

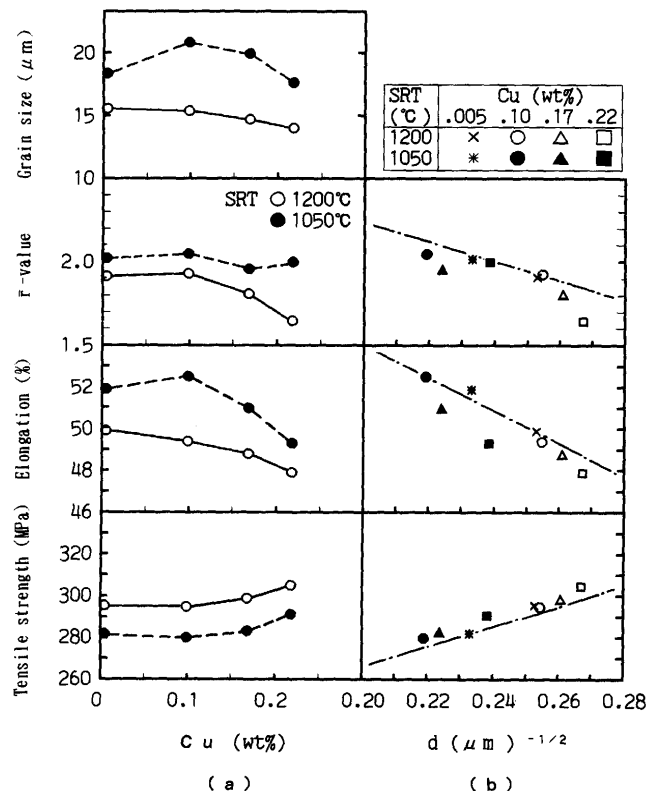


Fig. 1. (a) Effects of Cu content on mechanical properties and grain size of Ti-added extra low C steel sheets. (b) Relationships between grain size of annealed steel sheet and mechanical properties of Ti-added extra low C steel sheets.

ほとんどみられず良好である。また、焼鈍板の結晶粒径はCu含有量が増加するにつれて約3～4μm粒径が小さくなる。

Fig. 1 (b) はCuを含有したTi添加極低炭素冷延鋼板の引張試験値に及ぼす焼鈍板結晶粒径dの-1/2乗およびCu含有量の影響を示す。なお、図(b)中の一点鎖線は、Cu含有量のこれら材質特性値に及ぼす影響について、Cu含有量の増加が焼鈍板の結晶粒径を細粒化する効果とCuの固溶や析出等の存在形態による細粒化以外の効果とを分離するため、後述のFig. 5で求めたCu, Ni, Cr, Snの含有量が少ない鋼およびBase鋼(以下、トランプ元素の少ない鋼と記する)

における結晶粒径 d の $-1/2$ 乗と引張強さ, 伸びおよび r 値との関係(Fig. 5の一点鎖線)を示す。

引張強さは, 同一チャージのCu-1, 2, 3で比較するとCu含有量が0.10%, 0.17%, 0.22%と増加するにつれ低温加熱, 高温加熱共に細粒化し, 引張強さが上昇すると共に, Fig. 5で求めたトラップエレメントの少ない鋼における結晶粒径 d の $-1/2$ 乗と引張強さとの関係を示す図中の一点鎖線からのズレが若干ではあるが大きくなる。また, Fig. 1(a)に示す低温加熱による引張強さの低下は, (b)に示す一点鎖線に沿って軟質化が生じていることから, 低温加熱によって結晶粒径が大きくなった(d の $-1/2$ 乗の値が小さくなった)ことによるものであることがわかる。即ち, Cu含有量が多いと結晶粒径が小さくなり引張強さが高くなると共に固溶強化によっても引張強さが上昇すること, また, 加熱温度が低いと結晶粒径が大きくなる効果によって引張強さが低下する。

伸びは, 引張強さと逆相関の関係にあり, Cu含有量が多いと結晶粒径が小さくなり伸びが低くなると共に固溶強化によっても伸びが減少すること, また, 加熱温度が低い場合は結晶粒径が大きくなる効果によって伸びが高くなる。

r 値は, 引張強さや伸びとは異なったCu含有量依存性を示す。1200°C加熱では, Cu含有量が0.10%, 0.17%, 0.22%と増加するにつれて, トラップエレメントの少ない鋼における結晶粒径 d の $-1/2$ 乗と r 値との関係を示す一点鎖線から離れて r 値は大きく低下する。しかし, 1050°C加熱の場合は, Cu含有量の増加と共に細粒化し単に一点鎖線に沿って r 値が低下する。即ち, r 値に及ぼすCu含有量の影響が1200°C加熱と1050°C加熱とは異なり, Cu添加量の影響は, 加熱温度が1050°Cの場合は結晶粒径の細粒化によってのみ r 値が低下しているが, 加熱温度が1200°Cの場合はCu含有量の増加に伴う細粒化による r 値の低下以上に r 値が大きく低下する。

なお, Ti添加極低炭素冷延鋼板の伸びおよび r 値が加熱温度を低下させると良好になるのは, 熱延板の析出物が粗大化するため¹⁴⁾といわれている。Cu含有鋼の r 値に及ぼすCu含有量の影響が1200°Cと1050°Cの加熱温度で異なるのは, Cuが単に固溶元素として影響を及ぼすのみではなく, Cuの含有は, 1200°Cと1050°C加熱では r 値に影響を及ぼすTiの炭, 硫化物の析出挙動に異なる影響を与えている可能性があると考えられる。

3・2 材質に及ぼすNi含有量の影響

Fig. 2(a)はTi添加極低炭素冷延鋼板の引張試験値に及ぼすNi含有量および加熱温度の影響を示す。これによると, 引張強さはNi含有量が0.12%では10MPa高くなっているが, 加熱温度を変化させてもほとんど変わらない。伸びはNi添加量の増大によって若干劣化する傾向が認められるが, 約52%のレベルで極めて高い値を示している。 r 値もNi含有量および加熱温度の影響は微かで, $r \geq 1.95$ と極めて高い値が得られている。なお, Ti添加極低炭素鋼を低温加熱すると

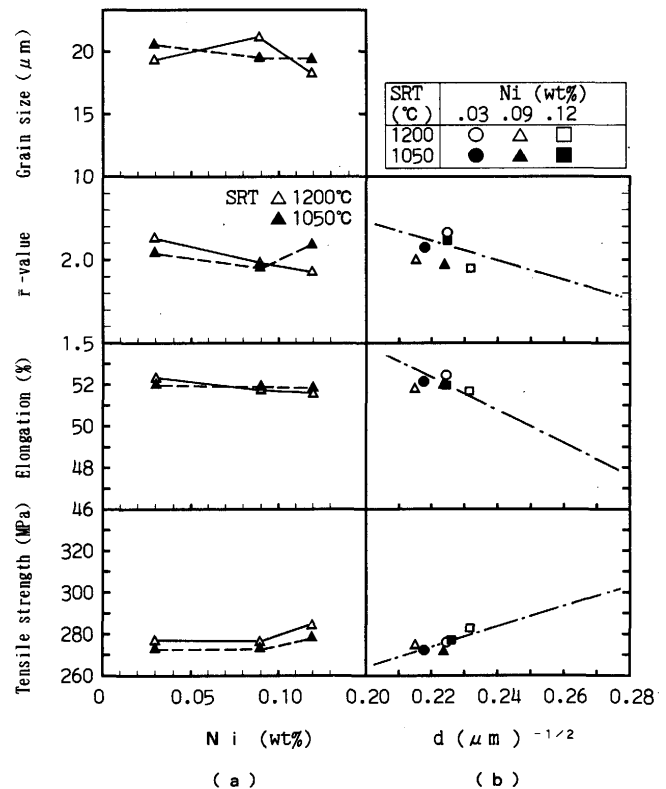


Fig. 2. (a) Effects of Ni content on mechanical properties and grain size of Ti-added extra low C steel sheets. (b) Relationships between grain size of annealed steel sheet and mechanical properties of Ti-added extra low C steel sheets.

r 値やElが向上するのは, 低温加熱時は $Ti_4C_2S_2$ が析出し, その結果, 再結晶焼鈍時に析出し r 値やElを低下させる微細なTiCの源となる固溶状態のC量が少なくなるため¹⁵⁾といわれていることから, C含有量そのものが0.0015%と低かったことが, これらのNi添加鋼において, r 値や伸びに対し, 加熱温度の影響がほとんど認められなかった原因であると推定される。

Fig. 2(b)はNiを含有したTi添加極低炭素冷延鋼板の引張試験値に及ぼす焼鈍板結晶粒径 d の $-1/2$ 乗およびNi含有量の影響を示す。なお, Fig. 2(b)もFig. 1(b)と同様に, 後述のFig. 5で求めたトラップエレメントの少ない鋼の結晶粒径 d の $-1/2$ 乗と引張強さ, 伸びおよび r 値との関係を図中に一点鎖線で図示し, Ni含有量のこれら材質特性値に及ぼす影響について比較検討した。

引張強さ, 伸びならびに r 値は0.12%のNiの含有によって結晶粒径 d の $-1/2$ 乗が0.02程度(数 μm 程度)細粒化しその細粒化によって引張強さが高くなり伸びと r 値が低下する。その影響度合いはFig. 5で求めた影響度合いと同じ程度である。

以上のように, Ti添加極低炭素冷延鋼板の引張試験値に及ぼす0.12%までのNi含有量の影響は少ない。

3・3 材質に及ぼすCr含有量の影響

Fig. 3(a)はTi添加極低炭素冷延鋼板の引張試験値に及

ばすCr含有量および加熱温度の影響を示す。これによると、引張強さはCr含有量が0.09%から0.21%に増加すると約10 MPa高くなるが、加熱温度が1200°Cから1050°Cに低下すると、いずれのCr含有量であっても低下する。伸びはCr含有量が増加するにつれてやや低下するが、加熱温度が1200°Cから1050°Cに低下すると、いずれのCr含有量でも高くなる。一方、 r 値はCr含有量が増加するにつれて大幅に低下するが、加熱温度が1200°Cから1050°Cに低下すると高くなり、Cr含有量の影響も小さくなる。また、焼鈍板の結晶粒径はCr含有量が0.09%から0.21%に増加すると約3~4 μm 細粒化する。

Fig. 3 (b)はCrを含有したTi添加極低炭素冷延鋼板の引張試験値に及ぼす焼鈍板結晶粒径 d の $-1/2$ 乗およびCr含有量の影響を示す。なお、Fig. 3 (b)もFig. 1 (b)と同様に、後述のFig. 5で求めたトランプエレメントの少ない鋼の結晶粒径 d の $-1/2$ 乗と引張強さ、伸びおよび r 値との関係を図中に一点鎖線で図示し、Cr含有量のこれら材質特性値の及ぼす影響について、Cr含有量の増加の焼鈍板結晶粒径 d の細粒化効果とCrの固溶や析出等の存在形態による細粒化以外の効果とを比較検討した。

引張強さは、同一チャージのCr-1, 2, 3で比較するとCr含有量が0.09%, 0.17%, 0.21%と増加するにつれ低温加熱、高温加熱共に上昇する。Cr含有鋼はCu含有鋼の場合

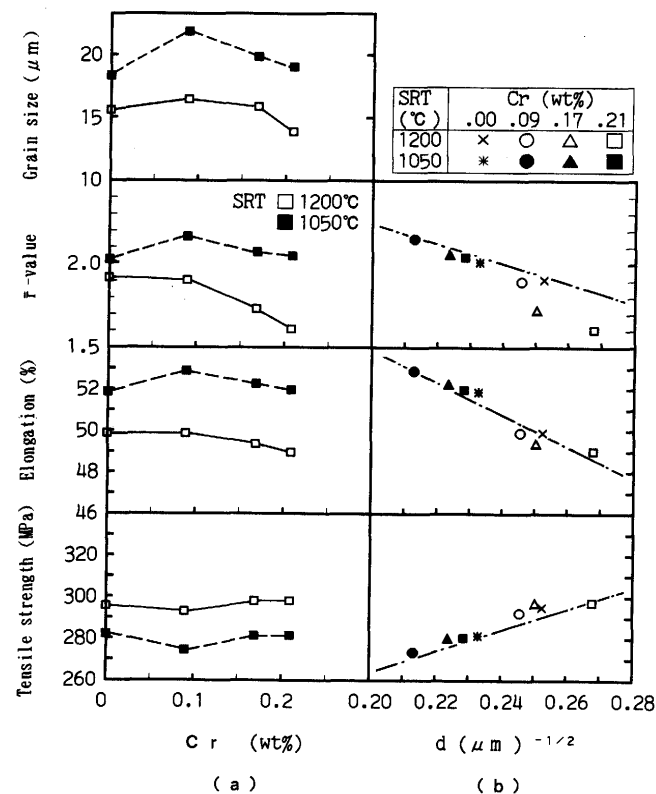


Fig. 3. (a) Effects of Cr content on mechanical properties and grain size of Ti-added extra low C steel sheets. (b) Relationships between grain size of annealed steel sheet and mechanical properties of Ti-added extra low C steel sheets.

とは異なりCr含有量が増加しても図中の一点鎖線から離れずCrの固溶強化はほとんど認められない。また、1050°C加熱と1200°C加熱材の引張強さを比較すると、1050°C加熱材は、一点鎖線に沿って軟質化が生じている。従って、Fig. 3 (a)に示す低温加熱による引張強さの顕著な低下は、低温加熱効果により結晶粒径 d が大きくなったことに因るものであることがわかる。即ち、Cr含有量が多くなると結晶粒径が小さくなりその効果で引張強さが高くなるが、固溶強化による引張強さの上昇は少ない。また、加熱温度が低いと結晶粒径が大きくなりその効果により引張強さが低下する。

伸びは、引張強さの逆相関の関係にあり、Cr含有量が多いと結晶粒径が小さくなり伸びが低くなるが、固溶強化による伸びの減少はほとんど無い。また、加熱温度が低いと結晶粒径が大きくなる効果により伸びが顕著に高くなる。

r 値は、引張強さや伸びとは異なったCr含有量依存性を示す。1200°C加熱ではCr含有量が0.09%, 0.17%, 0.21%と増加するにつれ結晶粒径 d の $-1/2$ 乗と r 値の関係を一点鎖線から離れて大きく低下する。一方、1050°C加熱の場合ではCr含有量の増加と共に細粒化し一点鎖線に沿って r 値は低下する。即ち、 r 値に及ぼすCr含有量の影響が1200°C加熱と1050°C加熱とは異なり、加熱温度が1050°Cの時にはCr含有量の影響は結晶粒径の細粒化によって r 値は低下しているが、加熱温度が1200°CではCr含有量の増大に伴う細粒化による r 値の低下以上に大きく r 値が低下する。

なお、Cu含有鋼と同様に、Cr含有鋼の r 値に及ぼすCr含有量の影響が1200°Cと1050°Cの加熱温度で異なるのは、Crが単に固溶元素として影響を及ぼすのみではなく、1200°Cと1050°C加熱では、Crの含有がTiの炭、硫化物の析出挙動に異なる影響を与えている可能性がある。

3・4 材質に及ぼすSn含有量の影響

Fig. 4 (a)はTi添加極低炭素冷延鋼板の引張試験値に及ぼすSn含有量および加熱温度の影響を示す。これによると、引張強さは、Sn含有量が0.001%から0.085%に増加すると約20 MPa高くなるが、加熱温度が1200°Cから1050°Cに低下すると、Sn含有量によらず約10 MPa低下する。伸びはSn含有量が増加するにつれて急激に低下するが、加熱温度が1200°Cから1050°Cに低下すると、Sn含有量が少ないと向上するが、Sn含有量が多いと加熱温度を低下させても向上量が小さい。一方、 r 値はSn含有量が増加するにつれて大幅に低下し、加熱温度が1200°Cから1050°Cに低下するとSn含有量によらずやや向上する。

Fig. 4 (b)はSnを含有したTi添加極低炭素冷延鋼板の引張試験値に及ぼす焼鈍板結晶粒径 d の $-1/2$ 乗およびSn含有量の影響を示す。Fig. 4 (b)もFig. 1 (b)と同様に、後述のFig. 5で求めたトランプエレメントの少ない鋼の結晶粒径 d の $-1/2$ 乗と引張り強さ、伸びおよび r 値との関係を図中に一点鎖線で示し、Sn含有量のこれら材質特性値の及ぼす影響について、Sn含有量の増加による焼鈍板の結晶粒径の細粒化

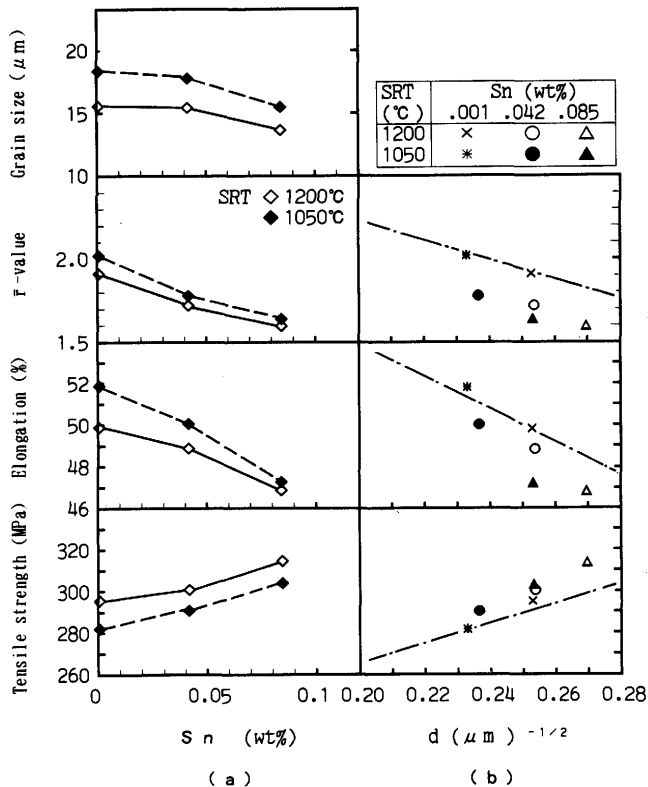


Fig. 4. (a) Effects of Sn content on mechanical properties and grain size of Ti-added extra low C steel sheets. (b) Relationships between grain size of annealed steel sheet and mechanical properties of Ti-added extra low C steel sheets.

の効果とSnの固溶や析出等の存在形態による細粒化以外の効果とを比較検討した。

Sn含有量が0.001%, 0.042%, 0.085%と増加するにつれて低温加熱、高温加熱の両条件において細粒化が生じ、細粒化効果による引張強さの上昇、伸びの低下、 $\bar{r}$ 値の低下も生じるが、併せて、トラップエレメントの少ない鋼の結晶粒径とこれらの特性値との関係を示す図中の一点鎖線から大きく離れ、Snの固溶、偏析、析出等の存在形態による細粒化以外の影響が生じる。また、この細粒化効果以外の影響は1200°Cでも1050°C加熱でもほぼ同程度で大きい。

4. 考察

4・1 結晶粒径($d^{-1/2}$)と材質との相関に及ぼす含有元素の影響

Fig. 5は種々の微量元素を含有したTi添加極低炭素冷延鋼板の引張試験値に及ぼす焼鈍板結晶粒径 d の $-1/2$ 乗の影響を示す。引張強さなどの材質特性値と結晶粒径 d の $-1/2$ 乗と比例関係が成りたつことが多いので、Cu, Ni, Crの低含有鋼(それぞれ0.099%, 0.03%, 0.09%)とBase鋼を1200°Cおよび1050°Cに加熱したものについての結晶粒径 d の $-1/2$ 乗と引張強さ、伸びおよび $\bar{r}$ 値との関係の一次式を求め

てFig. 5に一点鎖線で図示した。Cu, Ni, CrおよびSn含有量のこれら材質特性値に及ぼす影響について、これら元素の含有量の増加が焼鈍板の結晶粒の細粒化による材質特性への影響とこれら元素の固溶や析出等の存在形態による細粒化以外の材質特性への影響とを比較検討した。

これによると、引張強さは焼鈍板結晶粒径 d の $-1/2$ 乗と良い相関があり、実験の範囲ではSnやCuを多く含有する鋼板の引張強さは他の鋼板に比べて同じ粒径では高くなっており固溶強化が認められ、固溶強化はSn含有鋼で大きい。伸びは、引張強さに及ぼす影響とは逆相関の関係があり、引張強さへの影響から予測されるように焼鈍板結晶粒径 d の $-1/2$ 乗と良い相関がある。さらに、SnやCuを多く含有する鋼板の伸びは他の鋼板に比べて同じ粒径では低く固溶強化による伸びの劣化が認められSn含有鋼で大きい。 $\bar{r}$ 値も焼鈍板結晶粒径 d の $-1/2$ 乗と相関があるが、Sn, CuおよびCrを多く含有する鋼板の $\bar{r}$ 値は同じ粒径では低くなり特にSn含有鋼でその傾向が強い。

Fig. 6は種々の微量元素を含有したTi添加極低炭素冷延鋼板のX線面強度と焼鈍板結晶粒径 d の $-1/2$ 乗の関係を示す。これによると、結晶粒径 d が大きくなると(222), (200)が強くなり、(211), (110)が弱くなる傾向がみられる。なお、通常結晶粒径 d が焼鈍温度の上昇などで大きくなると(200)面強度は減少するのに対しFig. 6では高くなっている。これはCu, CrおよびSn含有量が少ない鋼は焼鈍板の結晶粒径は大きい熱延板の結晶粒径も大きい。従って、結晶粒

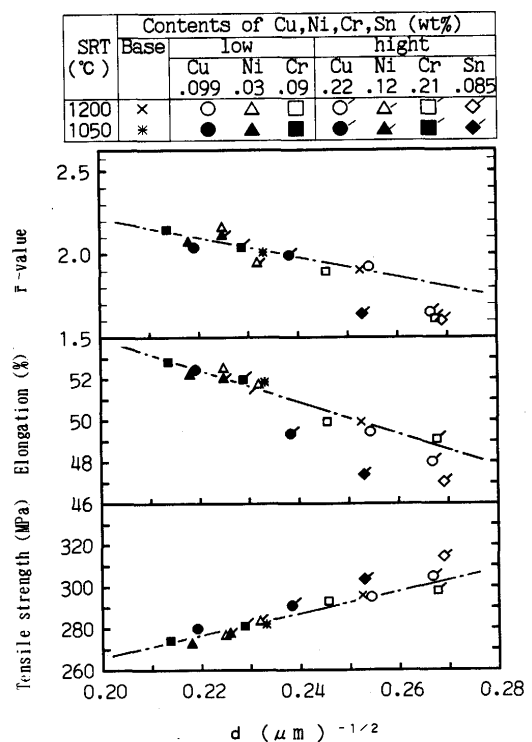


Fig. 5. Relationships between grain size of annealed steel sheet and mechanical properties of Cu, Ni, Cr and Sn-containing Ti-added extra low C steel sheets.

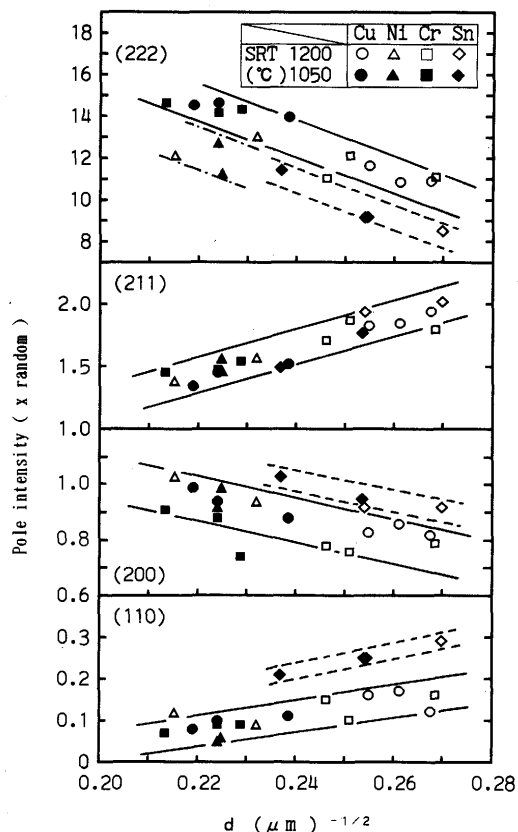


Fig. 6. Relationships between grain size of annealed steel sheet and pole intensities of Cu, Ni, Cr and Sn-containing Ti-added extra low C steel sheets.

径が大きくなるにしたがって(200)面強度が大きくなっているのは、熱延板の結晶粒径の粗粒化の影響による(200)面強度の増大の影響と思われる。また、Sn含有鋼は他の鋼板と層別され、同じ結晶粒径 d の $-1/2$ 乗では(222)が弱く、(200)、(110)が高くなっている。このことは、Cu、NiおよびCr含有の影響は主として焼鈍時の結晶粒の成長性に影響を及ぼすが、Sn含有の影響は焼鈍時の結晶粒の成長性のみならず再結晶核生成時の結晶方位にも強く影響していると推察される。なお、このことが熱延板粒界へのSnの顕著な偏析(固溶或いは析出物)による影響とも考えられるが、今後詳細な検討が必要である。更に、Ni含有鋼で(222)面強度が結晶粒径 d の $-1/2$ 乗の割りに低くなっているのは、C含有量が15ppm以下と低いために熱延板の結晶粒径が大きくなったためと推察される。

4・2 材質に及ぼす微量含有元素の違いの影響

Fig. 7は種々の微量元素を含有したTi添加極低炭素冷延鋼板の引張強さ、伸びおよび r 値を各元素の原子(Atomic)%で再整理し、各特性値に及ぼす各元素の影響を示したものである。Fig. 7ではCu、Ni、CrおよびSn含有量以外の溶解チャージ差による成分差の影響を受け、絶対値レベルの差があるものの、微量含有元素の種類により、影響の程度に特徴が認められる。そこで、これらの微量の元素が含有さ

れた時の材質特性値、なかでも特に引張強さに及ぼす固溶元素の影響の程度は、Feの原子半径に対する溶質元素の原子半径差に比例すると考えられるので、Fig. 7から求めた0.1 at.%当たりの影響の程度と微量含有元素の原子半径との関係をFig. 8に示す。

0.1at.%当たりの引張り強さの変化($\Delta T.S$)は、Feの原子半径でゼロとなり原子半径差に比例して高くなる。また、加熱温度が1200°Cでも1050°Cでも同じ $\Delta T.S$ となり溶質元素の原子半径と良い相関がある。各元素の0.1at.%当たりの $\Delta T.S$ は、原子半径が1.25 ÅのCrおよびNiでは共に約4MPa、原子半径が1.28 ÅのCuでは10MPaおよび原子半径が1.41 ÅのSnでは46MPaである。

0.1at.%当たりの伸びの変化(ΔEl)は、Feの原子半径の場合でゼロとなり原子半径差に比例して小さくなる。また、加熱温度が1200°Cでも1050°Cでも同じ ΔEl となり溶質元素の原子半径と良い相関がある。各元素の0.1at.%当たりの ΔEl は、CrおよびNiでは共に約 -0.7% 、Cuでは -2.3% およびSnでは -9.8% である。

一方、0.1at.%当たりの r 値の変化(Δr)は、原子半径がFeに近いグループのNi、Cr、Cuでは共に約1200°C加熱は約 -0.25 、1050°C加熱で約 -0.1 となり、原子半径の大きいSnでは両加熱温度共に約 -0.9 となる。0.1at.%当たりの Δr は、Ni、Crと原子半径の異なるCuが同じ Δr となり、かつ加熱温

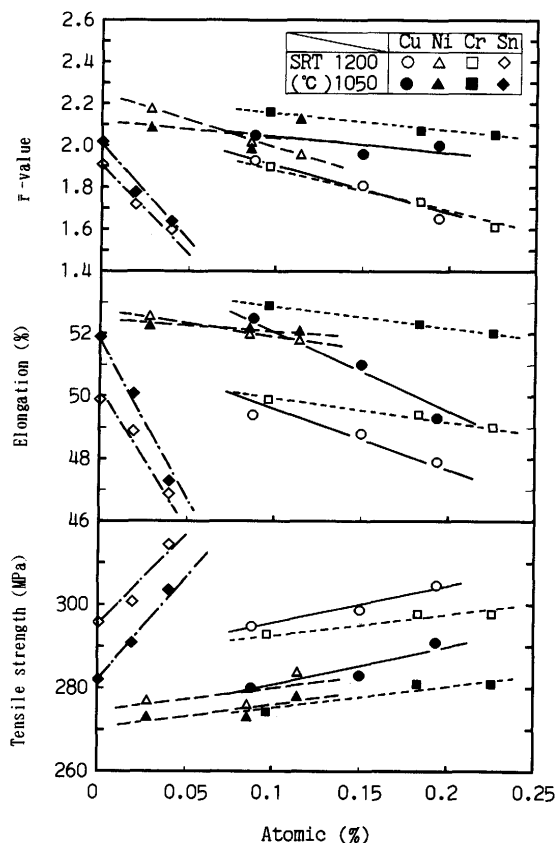


Fig. 7. Relationships between atomic percent and mechanical properties of Cu, Ni, Cr and Sn-containing Ti-added extra low C steel sheets.

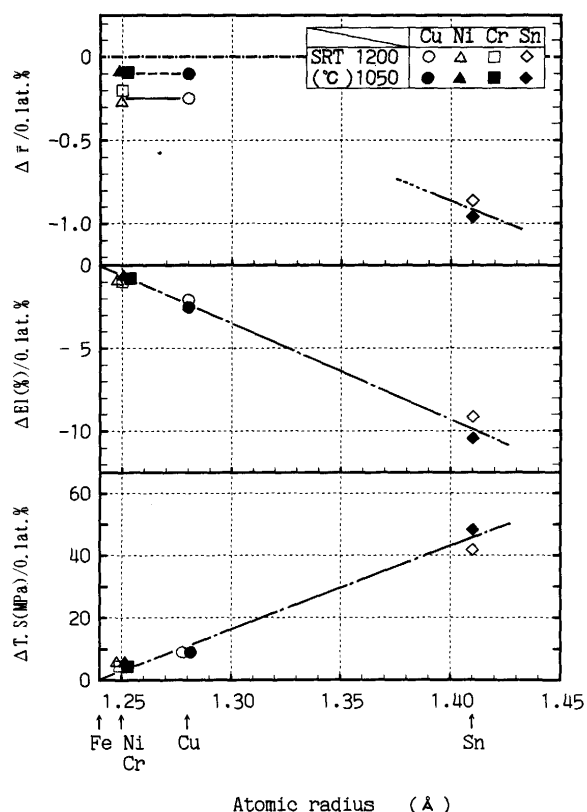


Fig. 8. Relationships between atomic radius of Cu, Ni, Cr and Sn, and changes per their atomic percents in tensile strength ($\Delta T.S$), elongation (ΔEl) and r -value (Δr -value) of Ti-added extra low C steel sheets.

度で異なる Δr を持つが、大局的に観れば、0.1at.%当たりの Δr はFeとの原子半径差とに相関があるといえる。

なお、0.1at.%当たりの Δr が、Ni, Crの場合とそれらと原子半径の異なるCuの場合において同じになり、かつ加熱温度で異なる Δr を持つのは、1200°C加熱温度の場合はTiC, TiS等の析出が仕上げ圧延中から巻取り相当の熱処理中に生じるので、含有するNi, CrおよびCuはそれらTiC, TiS等の析出に影響を与えた結果である可能性がある。この点については今後の検討が必要である。

5. 結言

市中鉄屑を用いて溶製した鋼にはCu, Ni, CrおよびSnが含有される。そこで、連続焼鈍で深絞り用の冷延鋼板を製造するのに用いられるTi添加極低炭素鋼にCu, Ni, CrおよびSnが含有された場合の材質へ及ぼす影響を明らかにするための研究をおこない以下の結果を得た。

1) Ti添加極低炭素鋼に0.22%までCuを含有させると、引張強さは高くなり、伸びおよび r 値は低下する。加熱温度を1050°Cに低下させることにより、同じCu含有量でも引張強さは低くなり、伸びおよび r 値は向上する。

2) Ti添加極低炭素鋼に0.12%までのNiを含有させても、引張試験値および r 値への影響は少ない。

3) Ti添加極低炭素鋼に0.21%までのCrを含有させると、引張強さは若干高くなり、伸びも若干低下し、 r 値は低下する。加熱温度を1050°Cに低下させることにより、同じCr含有量でも引張強さは低くなり、伸びおよび r 値は顕著に向上する。

4) Ti添加極低炭素鋼に0.085%までのSnを含有させると、引張強さは高くなり、伸びおよび r 値は低下する。Snを含有していると加熱温度を1050°Cに低下させても伸びおよび r 値の改善はわずかである。

5) Ti添加極低炭素鋼の引張強さおよび伸びに及ぼすCu, Ni, Cr, Snの影響の程度は添加元素の原子半径で決まり、Feの原子半径との差に比例する。

0.1at.%当たりの $\Delta T.S$ は、Cu, Ni, Cr, Snにおいてそれぞれ9, 6, 5, 45MPaである。

また、0.1at.%当たりの ΔEl は、Cu, Ni, Cr, Snにおいてそれぞれ-2.2, -0.7, -0.8, -9.8%である。

6) Ti添加極低炭素鋼の r 値に及ぼすCu, Ni, Cr, Snの影響の程度は、添加元素の原子半径差の比較的小さいCu, Ni, Crと原子半径差の大きいSnとは異なる傾向を示し、原子半径差の比較的小さいCu, Ni, Crの場合では加熱温度によって r 値の水準が変わる。0.1at.%当たりの Δr 値は、1200°Cで-0.25, 1050°Cで-0.10となり、低温加熱によりCu, Ni, Crの影響が軽減される。一方、原子半径差の大きいSnは0.1at.%当たりの Δr 値は、加熱温度によらず約-0.9と顕著に r 値が低下する。

文 献

- 1) 沢村 宏：鉄鋼と合金元素(上)(下)(日本学術振興会製鋼第19委員会編), (1971), p.367 [誠文堂新光社]
- 2) 大竹 正, 石崎哲郎, 江口直記：製鉄研究, (1954)212, p.1038
- 3) 今井勇之進, 石崎哲郎：日本金属学会誌, **20**(1956), p.673
- 4) A.B.Shelmerdine and D.A.Robins: JISI, **203**(1965), p.40
- 5) 大竹 正, 村山周治, 江口直記：鉄と鋼, **45**(1959), p.1089
- 6) 三橋鉄太郎, 中川竜一, 吉川克業, 貝塚好文：鉄と鋼, **42**(1956), p.880
- 7) 阿部秀夫：鉄鋼薄板の再結晶および集合組織(鉄鋼基礎共同研究会 再結晶部会編), (1974), p.135
- 8) C.Antonione, G.Della Gatta, A.Lucci, G.Riontino and G.Venturello: Acta Met., **18**(1970), p.1169
- 9) S.R.Goodman: Met. Trans., **2**(1971), p.2051
- 10) 清水峯男, 高橋延幸, 末宗賢一郎：鉄と鋼, **58**(1972), S267
- 11) R.L.Rickett and W.C.Leslie: Trans. ASM., **51**(1959), p.310
- 12) 中島正三郎, 高嶋邦秀, 原勢二郎, 黒木克郎：日本金属学会誌, **55**(1991), p.1274
- 13) 山田輝昭, 織田昌彦, 秋末 治：材料とプロセス, **4**(1991), p.1936
- 14) 佐柳志郎, 河野 彪, 高橋延幸, 秋末 治, 山田輝昭, 織田昌彦：材料とプロセス, **3**(1990), p.1768
- 15) 佐柳志郎, 川崎 薫, 河野 彪：材料とプロセス, **2**(1989), p.2015