

## 討21

## 線材の圧延条件と直接パテンティング性能

住友金属工業(株)小倉製鉄所

藤田通孝・西田和彦  
宇野克洋 溝口卓夫  
三原輝義

## 1. 緒言

制御圧延は低温靱性のすぐれた鋼材を圧延のままで得る手段としてあるいは焼準処理代替鋼として主に鋼板を対象として種々の角度から検討されてきた。線材・棒鋼製品については、BISRAの棒鋼ミルにて基礎研究されたが、最終製品までの間に塑性加工、熱処理、等が加えられることもあって、鋼板のように、圧延のまま材のすぐれた特性を十分に活用でき難い面がある。しかし最近国内で線材・棒鋼においても、二・三次加工工程の一部を省略しうる冷間加工性を付与した棒鋼あるいは線材が開発されているが、これらはいずれも加熱温度・圧延温度、および仕上後の冷却条件を調整した制御圧延鋼材と考えられる。線材の圧延は (1)連続ラインになつてること、(2)仕上圧延後調整冷却がなされること、など鋼板の連続熱間圧延に類似するか、熱間圧延に比し、(1)仕上圧延速度は1~2桁速い、(2)仕上圧延後直接パテンティング用の風冷ラインを有する、などの特徴がある。

ステルモア風冷ラインにより直接パテンティング処理する場合、そのパテンティング性能を支配する要因の1つにオーステナイト結晶粒径がある。このオーステナイト結晶粒の制御を目的として (1)高压下率・高速圧延下でのオーステナイト粒の再結晶およびその成長挙動の調査、(2)オーステナイト粒径の差による高炭素鋼の変態挙動に与える影響について検討を加え、直接パテンティング処理高炭素鋼線材の機械的性質向上に関する若干の知見を得たので以下に報告する。

## 2. 実験項目

## 2-1 オーステナイトの再結晶挙動

- (1)仕上圧延ラインによる再結晶挙動調査
- (2)室内実験(熱間衝撃圧縮)によるオーステナイト結晶粒成長挙動
- (3)ステルモアライン冷却開始時の再結晶の粒測定

## 2-2 パテンティング効果に及ぼす前オーステナイト粒度の影響

## 2-3 オーステナイト粒成長促進法による線材の品質特性

## 3. 実験結果および考察

## 3-1 オーステナイトの再結晶挙動

## (1)仕上圧延ラインによる再結晶挙動調査

供試鋼は表1表に示す40Cおよび60Cの粗粒鋼および細粒鋼を用いた。仕上圧延入口材料温度を900, 1000, 1100, 1200℃に変えて、仕上圧延機前方2ヶ所に設置された水冷管内にストッパーを設け圧延後水冷管内で水冷した。圧延後水冷管内に到達するに要する時間は仕上り線速(5.5', 50%)からN0.1水冷管までは0.06<sup>s</sup>, N0.2水冷管までは0.4<sup>s</sup>である。なお加工度は90%である。

表1 供試鋼の化学成分(Wt.%)

鋼種	C	Si	Mn	S&P
40C-粗粒	0.47	0.24	0.49	0.001
40C-細粒	0.47	0.26	0.51	0.031
60C-粗粒	0.63	0.22	0.61	0.001
60C-細粒	0.63	0.25	0.60	0.035

試験結果をまとめて図1に示す。これらの結果から次のことか見える。圧延前材料加熱温度と圧延後の再結晶オーステナイト粒度とは強い相関があり、材料加熱温度が高くなるにつれて、 $\delta$ 粒も粗大化する。そして900を加熱の場合 #7.4~9.8であったものが1200℃加熱になるとほぼ #4~#5になる。NO.1水冷管とNO.2水冷管での圧延後の再結晶オーステナイト粒度を比較すると後者の方が大きく、特に900~1100℃で明瞭な差が認められ、仕上圧延後焼入れされるまでの極めて短い時間のちがい(0.4-0.06=0.34秒)で再結晶オーステナイト粒径に差が生ずることは注目される。また本実験の範囲内では、C量(40C, 60C)あるいは細粒鋼、粗粒鋼による圧延後の再結晶オーステナイト粒の差は特に認められない。

なお、オーステナイト粒は写真1に示すように圧延後0.06秒後でも完全に再結晶した整粒になっており、再結晶そのものが極めて短時間に終了することを示している。

(2)熱間衝撃圧縮試験によるオーステナイト結晶粒成長挙動

以上に述べた工場実験は、テスト条件に制約があり、再結晶後の保熱又は加熱による $\delta$ 粒の成長の変化、あるいは加工度による変化等に関する試験を比較的速い歪速度の得られる落重試験機を用いて検討した。

供試鋼は表2に示すように70C粗粒鋼を用いた。15<sup>φ</sup>×15<sup>δ</sup>の試片を1000℃×15分アルゴン雰囲気中で加熱後落重試験機を用いて圧縮率47%の加工を与えた後、900, 1000, 1100, 1200℃×10~60秒の保熱後焼入れし、オーステナイト結晶粒度を測定した。圧縮加工後の保熱温度が900-1100℃では図2に示すようにオーステナイト結晶粒の成長速度は小さく、1分程度では殆んど成長していない。更に温度が1200℃と高温になると成長速度はかなり大きくなり1分間で粒度NO.は約半分になる。但しこの場合でも20秒以下ではその成長速度は小さい。圧縮加工直後(約3秒経過)のオーステナイト結晶粒度は6.4であり、この3秒経過以降のオーステナイト結晶粒の成長は1200℃を除くと比較的ゆるやかであるといえる。

次に材料加熱温度を1000~1200℃に圧縮加工度を30~80%に変化させて圧縮加工直後の再結晶オーステナイト粒度を測定した。図3に示すように衝撃圧縮加工

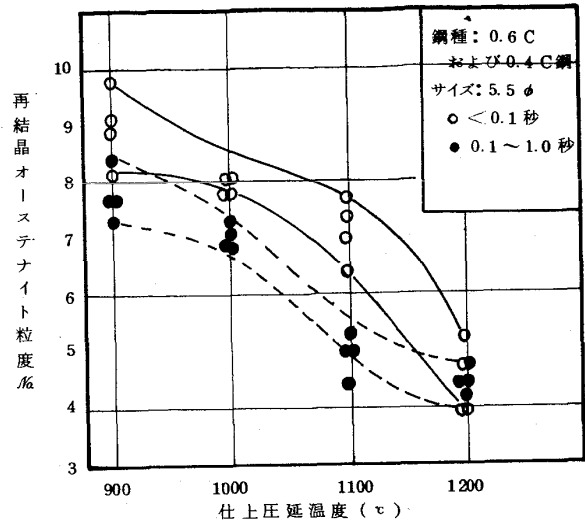


図1 再結晶オーステナイト粒度と仕上温度との関係

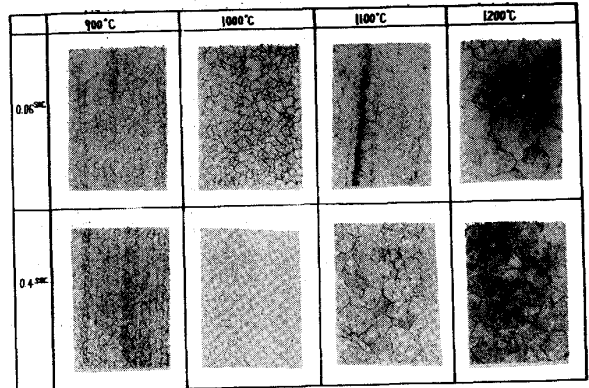


Photo-1 圧延温度、経過時間による再結晶 $\delta$ 粒度の成長挙動の変化 代表例(x230)

表2 供試鋼の化学成分 (wt.%)

鋼種	C	Si	Mn	Sol Al
70C	0.73	0.23	0.49	0.001

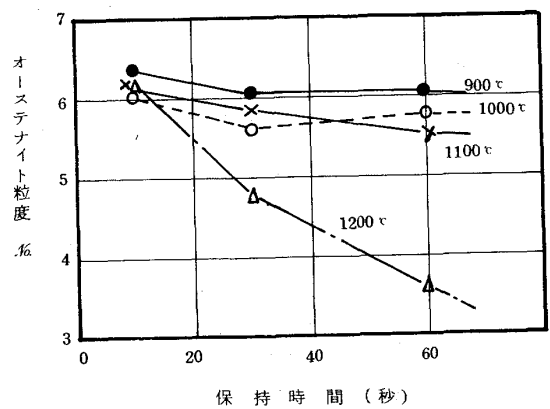


図2 熱間衝撃圧縮後の恒温保持時のオーステナイト結晶粒成長挙動

度と再結晶オーステナイト粒度の関係は材料加熱温度によって層別され、いずれの材料加熱温度の場合についても再結晶オーステナイト粒度は衝撃圧縮加工度に依存することが明瞭に認められる。

(3) ステルモアライン冷却開始時の再結晶オーステナイト粒の測定

上述の衝撃圧縮試験の結果から、加工後の再結晶オーステナイト粒の成長はかなりゆるやかであることが判明したが、これを実際のステルモアラインにおいて確認のための試験を実施した。レーニングコン直下でオーステナイト結晶粒度NO.7を示した40℃粗粒鋼と同じくNO.5、4を示した60℃粗粒鋼を用いステルモア入口にて約20秒間保熱のためバーナー加熱を行なった後、14秒後及び20秒後に焼入れを行ない、オーステナイト結晶粒度の変化を調べた。その結果を図4に示す。レーニングコン直下から、20秒経過後までオーステナイト結晶粒度は変化せず上述の衝撃圧縮試験結果とよく一致する。

前述(1)項の実験で明らかになったように、圧延後僅か0.06秒経過後すでに再結晶を完了していることは注目される。動的再結晶の可能性も考えられるが、(1)第3図に示した結果より、各加工温度で再結晶オーステナイト粒度に対する加工度依存性が認められること、(2)第4図に示すように圧延前粒度の依存性が圧延前粗粒側で認められること、(3)圧延後粗粒を示す組織でも特に混粒を示さないこと、などから静的再結晶と判断される。静的再結晶とすればGrange, R.L. Cryderman<sup>9)</sup>が観察しているような潜伏期と歪のない結晶粒の発生と成長の過程が考えられるが、強加工によりこれらの期間が極端に短くなったものと推定される。大森による<sup>10)</sup>熱間圧延した軟鋼の再結晶挙動調査によると、850℃での熱間加工後再結晶完了時間は30%加工の場合約150秒、50%加工の場合約20秒であり本実験の場合、900℃で極く短時間の90%加工であることを考えると十分起りうることである。R.L. Crydermanらの結果でも30%の熱間加工で、1900°F(1037℃)の場合再結晶は0.03秒後から始まり0.35秒後に完了している。

3-2 パテンティング効果に及ぼす前オーステナイト粒度の影響

以上の実験により、仕上げ圧延を含むステルモアラインにおけるオーステナイト粒の再結晶挙動が明確となったので、次にステルモア効果に及ぼすオーステナイト結晶粒度の影響について検討した。

図5に40℃粗粒鋼のオーステナイト化温度(1050℃→850℃, 850℃)を変えた場合のCCT曲線の変化を示す。オーステナイト化温度が高くなり、オーステナイト結晶粒が粗くなると変態時間は長時間側に移り、初析フェライトの析出が阻止される方向への変化、およびヒップライト生成温度の低下が生じパテンティング性の向上が期待される。光学顕微鏡組織にも両者の間に明瞭な差が認められ、7%

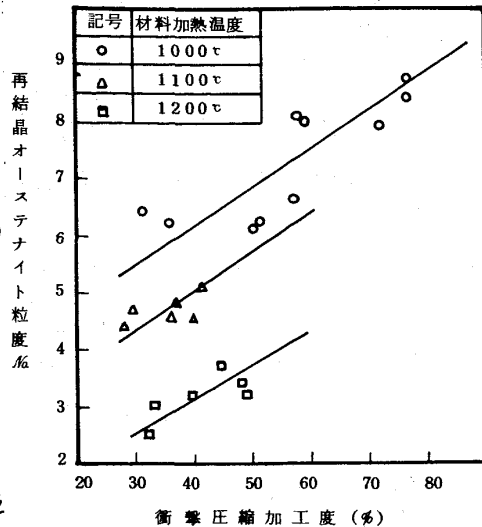


図3 加工度と加工温度、オーステナイト結晶粒径の関係

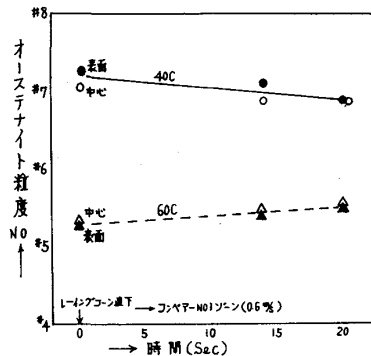


図4 NTミルでの自然放冷時の粒の成長挙動(コンベアー上放置)

の冷却速度においては1050℃をオーステナイト化後では初析フェライトは殆んど認められず850℃オーステナイト化後には比し良好である。

電顕にてパーライトラメラ間隔を測定した結果、冷却速度が大きくなるとラメラ間隔は次第に減少しているがオーステナイト化温度による違いは顕著には認められない。従ってオーステナイト結晶粒径の効果はパーライトラメラ間隔への影響よりも初析フェライト析出阻止効果にある。

3-3 オーステナイト粒成長促進法による線材の品質特性

以上の検討結果に基づいて、圧延条件および水冷条件等を制御し、オーステナイト結晶粒径の異なる線材を試作し、その性能を比較した。供試鋼は60C粗粒鋼と40C細粒鋼である。

60C粗粒化後のT.S.レベルは $\bar{x} = 102 \text{ Kgf/mm}^2$ が得られ、細粒化に比べ平均4.5  $\text{Kgf/mm}^2$ の上昇が認められる。40C材についても60C材と同様の効果が現われており、組織的にも初析フェライトの減少が認められる。(表3参照)

伸線加工性については単釜伸線にて5.5φ→2.0φまで伸線を行ない絞りの変化を比較した。40C材の結果を図6に示す。また本供試鋼を連続伸線機にて伸線(5.5φ→1.93φ, 7パス)した所、粒度No. 8.0材の断線率は6.5回/ヶ, 粒度No. 6.9材はゼロであった。

4. 結言

線材の直接ポテンティング性能に影響を与える前オーステナイト結晶粒径に注目し①線材仕上ラインでの再結晶挙動と②変態挙動に与える影響を明らかにした。更に伸線加工性についても検討し、強度のみでなく延性改善にも有効であることを示した。

引用文献

- 1) R.W. Vanderbeck: *Welding Res.* March (1958)
- 2) 福田.ほか: *鉄と鋼* 58(1972)13, P 1832. P114-5
- 3) 関根.ほか: *製鉄研究* NO. 289(1976) P43
- 4) W.E. Duckworth: *Jour. of Metals* Aug. (1966)
- 5) 江口.ほか: *鉄と鋼* 59(1973) 11 S 503 P915
- 6) 大野.ほか: *住友金属誌* 31(1979) NO.1 P71
- 7) 西収.ほか: *特殊鋼* 28(1979) 2 P9
- 8) 加藤.ほか: *住友金属誌* (1979) NO.4 掲載予定
- 9) R.L. Cryderman, A.P. Coldren, J.R. Bell & J.D. Grozier: *Trans. ASM* 62(1969) P561
- 10) 大森 : *日本金属学会誌* 30 (1966)12 P 1164

表3 5.5φ 圧延材の引張性質

鋼種	調質冷却開始時のオーステナイト粒径	引張強さ (Kgf/mm <sup>2</sup> )	絞り (%)
60C	5.4	102.0	55.0
	7.5	97.5	52.0
40C	6.9	82.0	56.0
	8.0	75.0	55.0

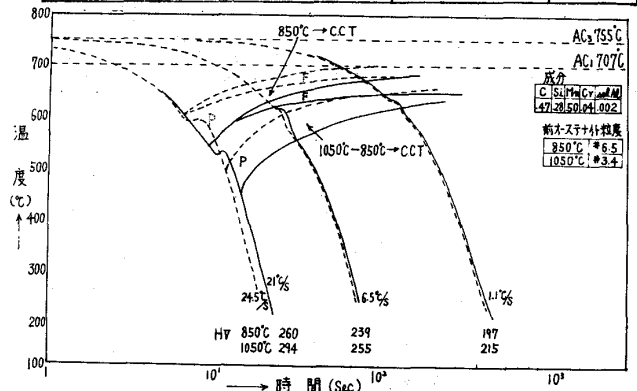


図5 オーステナイト化温度(粒径)によるC.C.T曲線の変化(40C粗粒鋼)

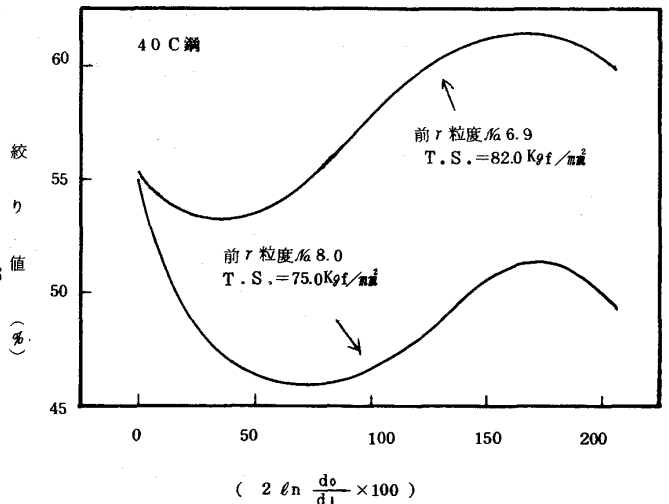


図6 伸線加工時の絞り値に及ぼす前オーステナイト結晶粒径の影響