

討15

高歪速度における炭素鋼の熱間加工組織と変形抵抗

新日鐵 生産技術研究所

○矢田 浩, 松津伸彦
工博渡辺和夫, 時田秀紀
工博中島浩衛

1. 緒言

鋼の圧延はますます高速化して行く傾向にあり、ホットストリップ圧延や線材圧延では数 100S^{-1} の歪速度の圧延が実用化されている。これに対して現在用いられている圧延の変形抵抗式の適用可能な範囲は歪速度 100S^{-1} 程度までであり、このような高歪速度域の基本データは殆んど見当たらない。

また高速の熱間圧延は必ずタンデム圧延であり、圧延のパス間時間は高速化に伴ないきわめて短かく、線材圧延では数 10ms 程度になる(図1)。このように短時間に大きな累積歪を受ける場合については従来の変形抵抗式をそのまま適用するには大きな問題がある。

近年金属の熱間変形挙動について金属物理的考察が進んできており、厚板のコントロールドロワーリング等における変形挙動と圧延圧力などの解析にも応用可能となってきた⁽¹⁾。しかし上記のような高速連続圧延についての考察は殆んど見当たらない。著者らは先にこのような圧延についての基本的考え方を提出したが⁽²⁾、本研究ではこの考え方にもとづき最近開発した熱間加工シミュレーター⁽³⁾と高速圧延機を用いた実験により、炭素鋼および一部の低合金鋼について上記の課題について基本的な検討を行なったものである。

2. 実験

(イ) 供試材: 表1に示す成分組成の現場転炉溶製材を $1200\sim 1250^\circ\text{C}$ で加熱圧延を2回以上行なって $6\sim 15\text{mm}$ 厚の鋼板とし、これから供試材を切り出した。

(ロ) 熱間加工シミュレーター実験: 前報⁽³⁾に示した繰り返し衝撃圧縮型の試験機を用いた。(性能図1参照) 用いた試験片寸法を図2に示す。この試験ではほぼ平面歪状態が得られることはすでに確認した⁽³⁾。

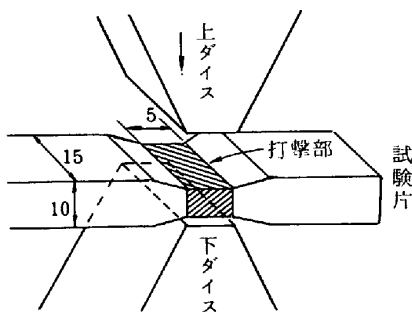


図2. 熱間加工シミュレーターの試験片形状

試験片は原則として 1200°C 加熱3分保定後試験温度まで空冷し、所定の変形プログラムによりほぼ等歪速度で変形させた。加熱は高周波コイルで行い打撃部側面に溶着した熱電対により制御した。歪速度は $4\sim 250\text{S}^{-1}$ の範囲で実験を行なった。変形

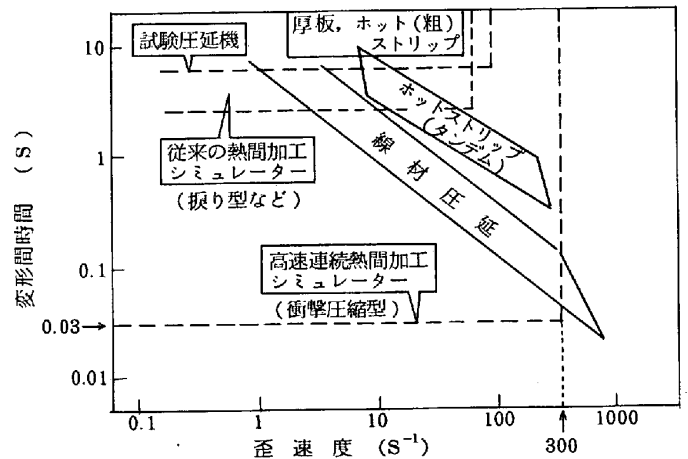


図1. 各種熱間圧延の歪速度と変形時間(連続変形)

表1. 供試鋼の化学成分 (wt%)

鋼種	C	Si	Mn	P	S	Al	その他
A	0.05	0.01	0.32	0.017	0.008	0.001	
B	0.09	0.02	0.92	0.017	0.010	0.04	
C	0.10	0.25	0.86	0.015	0.004	0.072	Cr 0.84 Mo 0.29
D	0.14	0.46	1.30	0.016	0.004	0.042	
E	0.16	0.10	1.18	0.019	0.007	0.017	Nb 0.024
F	0.44	0.23	0.62	0.019	0.013	0.023	
G	0.57	0.22	0.70	0.019	0.018	0.019	
H	0.81	0.25	0.77	0.016	0.012	0.029	

後熱間加工組織の観察のため0.2S以内に水冷を行なった。冷却速度は1000℃/S程度であった。ハンマー変位と変形荷重はウェーブメモリーで記録し、これから変形応力-歪曲線を求めた。

(イ) 高速圧延実験：既報の2Hi高速圧延機⁽²⁾(ロール径400mm)を用いて行なった。試料寸法は4~6^t×30~50^w×300~1000^{mmℓ}のものを用いた。供試材は電気炉でN₂雰囲気中で700~1200℃に加熱し5分保定後直ちにあるいはさらに他の電気炉で保定を行なったのち0.2~2秒以内に圧延を行なった。また一部の圧延は放冷中に、予じめ求めた試料の冷却曲線に基いた所定の温度で行なった。

ロール回転数は120~1600RPMで最大70%まで行なった。図3に示したように最高800S⁻¹までの平均歪速度が得られた。供試材は圧延後原則として水中に投入し熱間加工組織の観察を行なった。

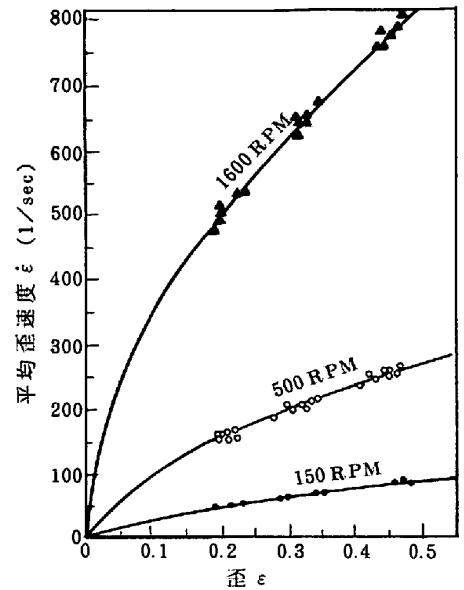


図3. 実測平均歪速度

3. 実験結果

(イ) 熱間加工シミュレーターによる基礎実験結果

オーステナイト域の応力歪曲線の歪速度・温度による変化の例を図4に示す。

変形応力は歪0.2~0.5で極大を示し、その後やや低下してほぼ一定となるが、この挙動は高歪速度でも変わらない。変形応力と歪速度との間には、

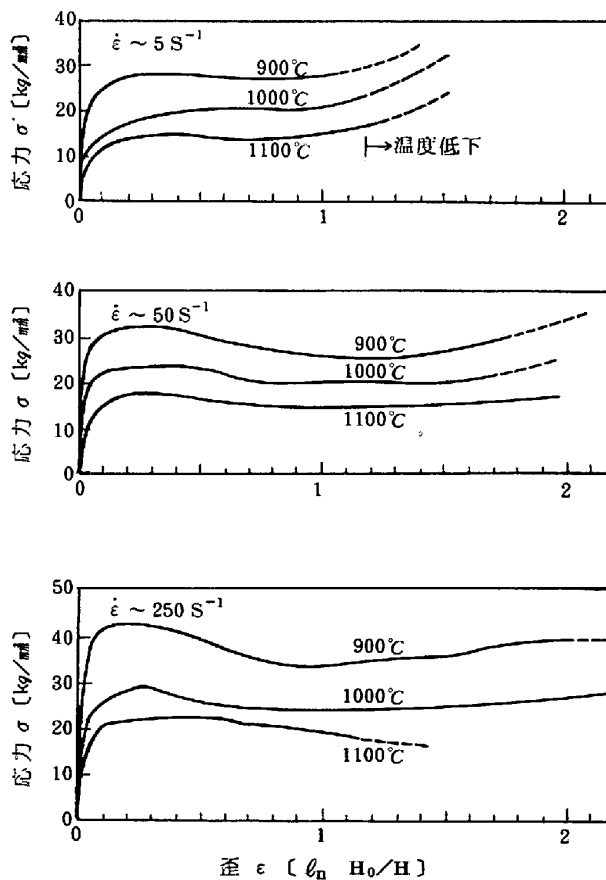


図4. 高温の応力歪曲線の例(鋼H)

$$Z = \epsilon \exp \frac{Q}{RT} = AF(\sigma)$$

$$F(\sigma) = \sigma_s^S \text{ or } \sigma_M^M \text{ 仮定}$$

$$\sigma_s = \left(\frac{Z}{A}\right)^{1/S} \text{ or } \sigma_M = \left(\frac{Z}{A}\right)^{1/M}$$

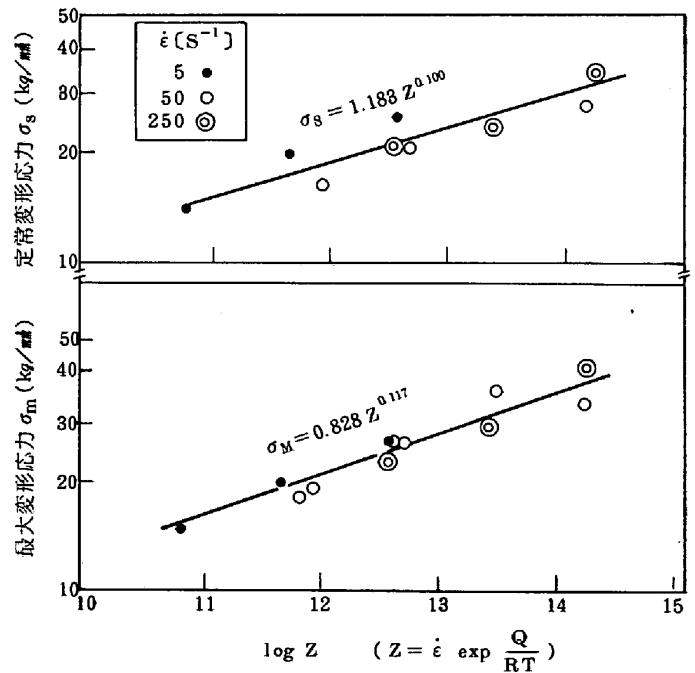


図5. 等価歪速度と変形応力(鋼H)

通常言われているように、両対数プロットにおいてはほぼ直線関係が成立する。さらに温度変化を含めた等価歪速度 $\dot{\epsilon}$ に対しても、図5に示したように同様の関係が成立する。この図で定常変形応力については低歪速度のデータが全体として高目になるが、これは図4にも示されているように温度低下の影響によるものと思われる。

以上の結果は他の鋼種についても同様で、成分の影響はあまり大きくない。変形応力に対するCの効果を図6に示す。

以上の変形状態に対応する変形組織の例を図7(a)に示す。歪0.2程度から再結晶粒が現われ0.6程度で全面再結晶となる。この再結晶挙動は応力-歪曲線とよく対応しており、これまでの低歪速度の場合と同様動的再結晶による軟化として説明することができそうである。

以上の大歪までの変形を多数回に分割した実験の、応力歪曲線を図7(b)に、対応する変形組織を図7(c)に示す。分割した変形の応力歪曲線の累積歪に対する応力は1回変形の歪に対する応力とほぼ同様の挙動を示し、変形組織も両者はよく似ている。このように時間間隔の小さい連続変形は累積歪を考えれば1回変形と同様に扱えることが分る。

(二) 圧延実験結果

図8(a)は圧延実験結果の1例であり、図中に示したように1200℃加熱後各温度に保定し出炉後直ちに圧延し

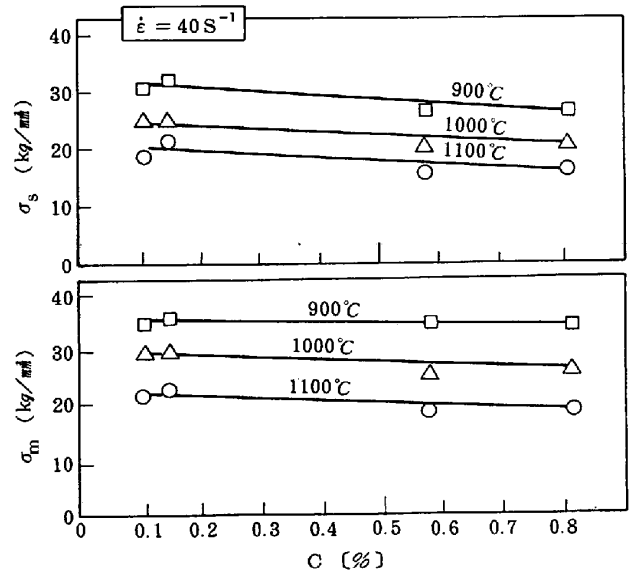
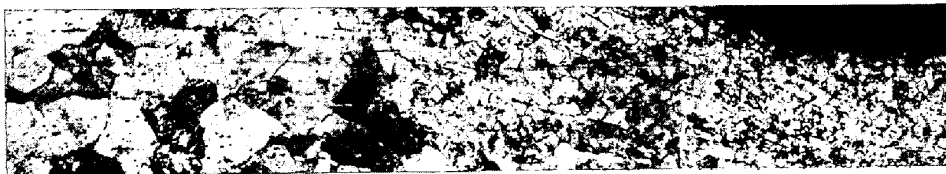


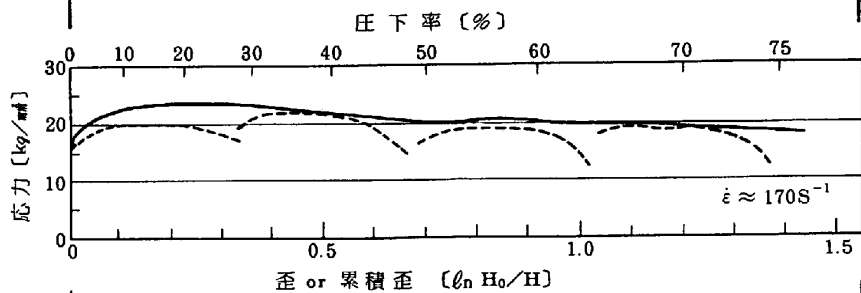
図6. 変形応力の炭素量依存性

(a) 1回加工後の変形組織

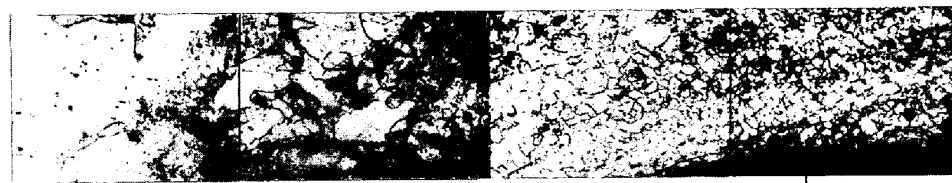


各位置の歪は下の応力-歪曲線に対応

(b) (a), (c)に対応する応力歪曲線



(c) 4回加工後の変形組織



各位置の累積歪は上の応力-歪曲線に対応

図7. 変形組織と応力-歪曲線の例(鋼G, 1200℃加熱1100℃加工後WQ)

た場合である。従来用いられている変形抵抗式の1例として、志田の式⁽⁴⁾が高歪速度域まで適用できたとして計算した値を参考のため同図中に示した。オーステナイト域で両者の差が大きく、実測値はかなり小さい値を示し、温度依存性・歪速度依存性もやゝ小さい。一方フェライト域では志田の式は比較的近い値を与える。

図9は通常的小型試験圧延機による圧延実験のデータを含めたもので、歪速度指数 m としては0.05~0.10程度の値が得られている。

4. 考 察

熱間加工シミュレーター実験による応力歪曲線はほぼ低歪速度域と同様の形状を示し、動的再結晶域(定常応力域)の開始が高歪側へ移動する傾向はそれほど顕著ではない。また変形間隔が小さいと、歪は殆んど累積歪で記述できるようになる。従って前報で指摘したように⁽²⁾、パス数の多い高速連続圧延の少くとも後段においては、変形応力・組織ともに等価歪速度 Z のみで決定される動的再結晶またはこれと実質的に同等の状態になっていると考えられる。

熱間加工シミュレーター実験の変形応力から求めた平均変形抵抗は、従来の低歪速度域の実験で得られた傾向とはほぼ一致していた。これに対して圧延実験から得られた変形抵抗の値は、オーステナイト域では予測より一般に小さく、歪速度依存性も小さかった。この理由の1つに圧延中の温度上昇の寄与が考えられる。さきに圧延直後の熱間加工組織は、塑性加工熱等による温度上昇を考慮すると統一的によく説明できることを報告したが⁽²⁾、変形抵抗に対応する実態温度についてはより詳細な検討が必要であろう。しかし実用的な噛み込み温度と圧延荷重との関係は圧延実験の結果をもとに定式化して差支えないものと考えられる。

参考文献

- (1) 例えば大内, 大北: 日本金属学会報, 18(1979), p.432.
- (2) 矢田, 松津, 関根, 松村, 三浦: 鉄と鋼, 65(1979), S880.
- (3) 矢田, 松津, 関根, 二村: 同誌, 66(1980), S992, および松津, 矢田, 下橋: 同誌, 66(1980), S993.
- (4) 志田: 日立評論, 47(1965), p.57.

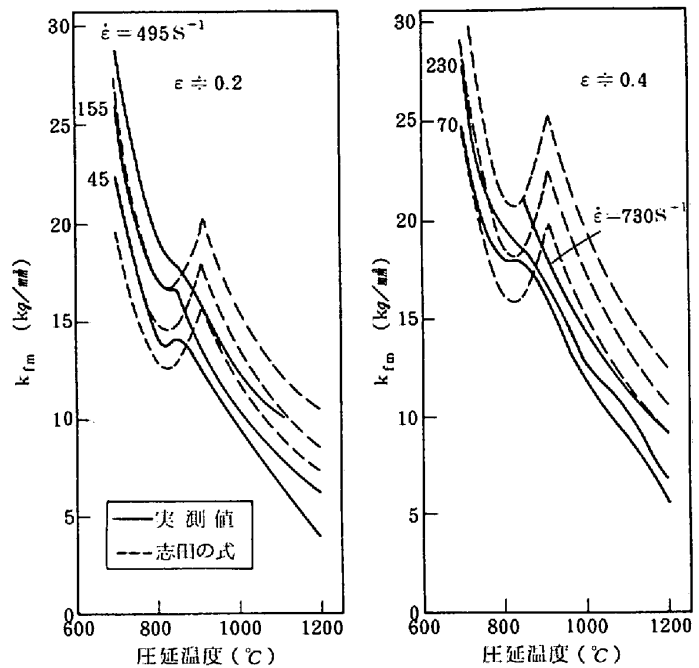


図8. 高速圧延実験による鋼Aの変形抵抗の温度依存性

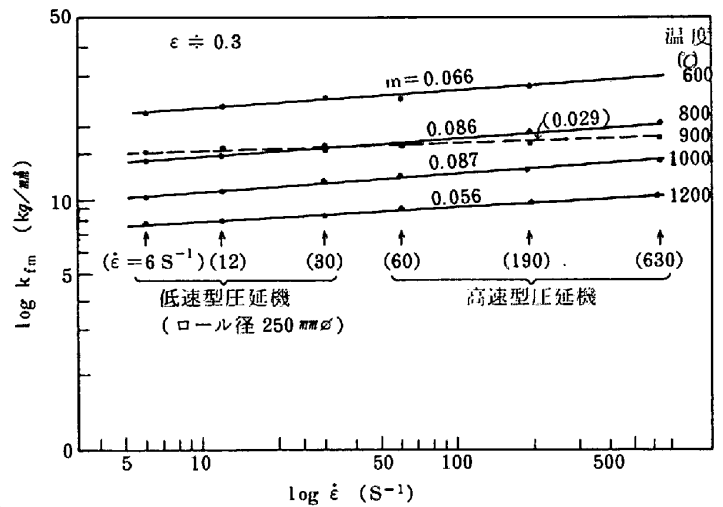


図9. 圧延実験で得られた変形抵抗の歪速度依存性(鋼A)