

(討15) パーライトの変形態

東京大学 工学部

五弓勇雄・木原諒二
前沢明広

緒言

高炭素鋼から作られるいわゆるピアノ線は金属材料の中でも実用材料として高強度と実現している。高強度を持たせるために、ピアノ線はなるべく高加工度の伸線として加工硬化によってその必要な強度を得なければならぬ。そこで、線材から中間の熱処理(再パテンティング等)なくどれだけ伸線加工度と与え得るか、また限界伸線加工度においてどれだけ強度と実現することができるといことがまず重要な問題となる。さらにその上にピアノ線はいわゆる強靱性及びしなやかさといったものを必要とし、その性質を保障するためにねん固値が伸線によりどのように変化するかということも無視してはならない問題である。

本報告は、ピアノ線の伸線性と強い関係にある、パーライトあるいはベイナイトの伸線性をしるべ、単純な引張試験値から得られるパラメータ、パーライト又はベイナイトの組織の状態をあらわすパラメータと限界伸線率との関係をもとめ検討するものである。また製品の性質のうち引張強さが限界伸線加工度においてどの程度になり、引張強さの最高値を与える素材と最高の限界伸線加工度と実現した素材との異同について調べた。

実験方法及び実験試料

a) 実験方法

素材の熱処理は次のようにして行った。

- i) オーステナイト化: アルゴン気流中で $950^{\circ}\text{C} \times 2\text{hr}$ の加熱保持を行った。
 - ii) 鉛パテンティング: 450°C より 700°C に加熱した鉛浴中にオーステナイト化終了後焼入れを行った。なお鉛浴中保持時間は各々3分である。
 - iii) 空冷: オーステナイト化終了後、イソライトレンガ上にて放冷した。
 - iv) 炉冷: オーステナイト化終了後、アルゴン気流 ($0.5\text{ml}/\text{min}$) 中で炉の冷却と共に放置した。
- 引板加工はドロベンチで行い、引板速度は $1.2\text{m}/\text{min}$ で潤滑剤としては MoS_2 粉末と主剤とするペーストスプレーを使用した。一回の引板リダクションは 0.05 から 0.25 、限界伸線加工度附近では $0.12 \sim 0.17$ の範囲であった。この引板リダクションは少なくとも総伸線加工率 ($2\ln R/D$, D_0 : 素線径, D : 伸線後の線径) が 1.6 に至るまでは引きほり破断とする伸線リダクションの $1/2$ 以下であることを確かめた。

引板加工の各段階で試料を採取し、引張試験を行い、絞りの変化及び降伏強さと引張強さを求めた。

b) 実験試料

試料は熱間圧延後直ちに空冷によりダイレクトパテンティングされた 5.5mm 線材である。この線材の化学成分を表1に示す。

表1 線材の化学成分

合金元素	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
含有量(%)	0.83	0.25	0.49	0.016	0.007	0.02	0.01	0.01

素材のパーライト組織, 550°C のパテンティングでのパーライト組織, 700°C のパテンティングでのパーライト組織, 空冷材のパーライト組織とそれぞれ写真1から4に示す。空冷材は 950°C より、

600°/minの冷却速度で35秒後に600°Cに至り15秒の間変態に伴う昇熱で約30°C程度の温度上昇を示した後、同程度の冷却速度で空冷されることを確かめた。



写真 1
素材のパーライト組織



写真 2
550°C パテンティング材のパーライト組織

10μ



写真 3
700°Cパテンティング材のパーライト組織



写真 4
空冷材のパーライト組織

これらの材料の組織観察から、パーライト層の平均的フェライト厚みを求めてみると図1に示す如くなる。素材のパーライトが一番微細であり、空冷材が550°Cパテンティング材と600°Cパテンティング材の間に入り、500°Cを除けばパテンティング温度が低い程微細となることがわかる。650°Cパテンティング材と700°Cパテンティング材とのちがいは前者が0.38μ、後者が0.45μでわずかに0.07μである。また炉冷材はとくに組織を調査しなかったが、700°Cパテンティング材よりさらに冷却速度が遅く、異なる組織であると考えられる。

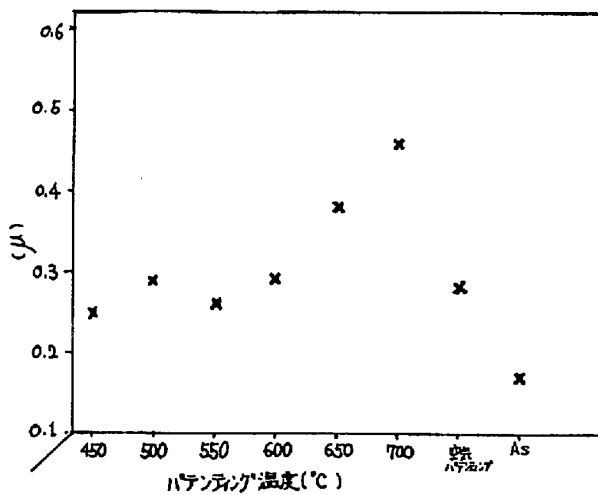


図1
パーライトの平均層間隔と熱処理条件。

実験結果及び考察

① 限界伸線加工度

伸線に成功した最後のパスで得られた線径を D_{min} 、最初の線径を D_0 として、限界伸線加工度を $2 \ln(D_0/D_{min})$ で定義する。

各熱処理条件に対する限界伸線加工度の変化を図2に示す。これから

550°Cパテンティング及び600°Cパテンティングの二つの材料の場合、限界加工度が4.3に達しており、一方、700°Cパテンティング材と炉冷材はきわめて小さな限界加工度しか得られていないことがわかる。この限界加工度4.3ということは5.5mm径より中温熱処理を行うことと0.65mm径まで伸線できることを示す。また空冷材と650°Cパテンティング材がこれに次ぎ4.1前後になり、以下450°C、500°C各パテンティング材及び素材ということになっている。

限界伸線加工度において破断する場合は、ダイス内において破断が起り、とくに高加工度に達して変形強さが大きくなっている材料の破断に際しては、ダイス入口から後方に材料がはじけ飛ぶという現象がみられた。これから、この限界伸線加工度においては、加工限界は引抜き力が材料強度を上回ることによつて与えられるのではなく、ダイス内での材料の破壊によつて生ずることが確認された。

b) 絞り及びその他の引張試験値と材料の熱処理条件

素材の引張試験を行い、絞りを測定した。また加工度0.64及び2.60の材料についても絞りを調べた。この結果を図3に示す。550°C及び600°Cパテンティング材が最も限界伸線加工度が大きかったが、素材の絞りでは両者の間にかなり差がある。また700°Cパテンティング材は限界伸線加工度が他の1/4から1/3であるにもかかわらず、絞りでは550°C、500°C、450°Cパテンティング材より優れていた。

加工度を0.64与えた材料について絞りをしらべてみると、素材の絞りの優劣が殆んど逆転してしまっておりさらに、その傾向が加工度2.60の場合にも続いている。そして勿論、限界伸線加工度の優劣と対応していないことは明らかである。

一方、引抜き加工の安定度の目安といわれる降伏比を各材料、各加工度毎に調べたが、素材においては最も降伏比の小さい安定度の高い材料が、完全炉冷材、700°Cパテンティング材となり、これを0.64まで加工すると最も降伏比が大きくなり、他の材料より引抜きの安定性が低下するという急激な変化を示す。しかしながら、加工度0.64において降伏比は最低0.85(450°Cパテンティング材)、最高0.92(炉冷材)と限界伸線率が数倍異なるにもかかわらず、わずか0.07の隔りしかない。さらに、加工度1.18及び1.74において降伏比を調べたが、1.18になると700°Cパテンティング材が最低値を示しながら、この材料は図2で示されるごとく、次のパスで破断してしまうのである。このように、絞りについて降伏比も、素材についての値は勿論のこと、ある程度伸線加工度を与えた材料についての値も、限界伸線加工度を予知する指標とはならないことがわかった。

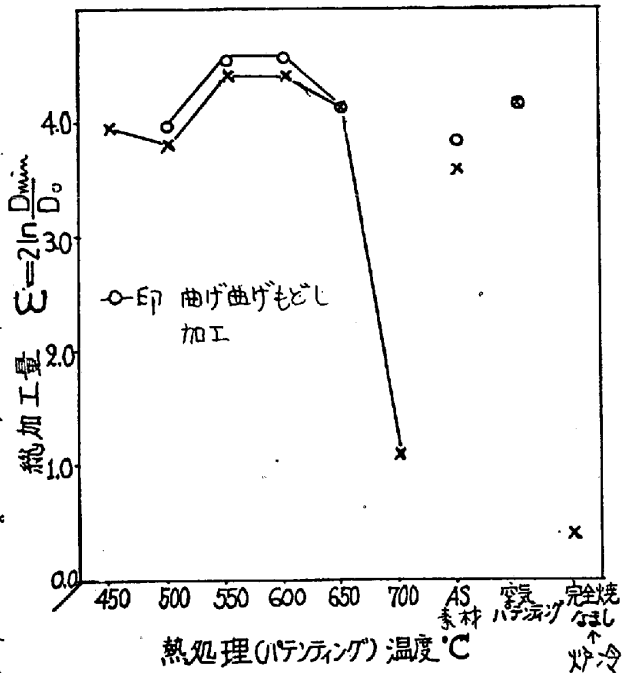


図2 限界加工度と熱処理条件

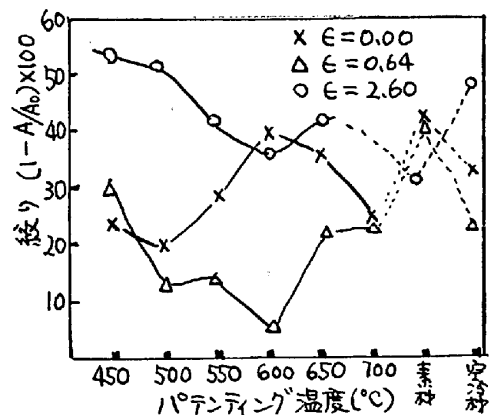


図3 熱処理条件及び伸線加工度に対する絞りの変化

C) 限界伸線加工度とパーライトの微細度との関係

b) において、材料の引張試験値である絞り乃至降伏比が、どのような観点に立っても素材の限界伸線加工度の指標あるいは指標の倍数になり得ないということを確認した。そこで確認されたことは、パーライトがある程度以上疎である材料は、引張試験においてはかなりの程度まで絞りが出るにもかかわらず、引張加工では破壊するということである。図4に、横軸にパーライトの層間隔、縦軸に限界伸線加工度と絞りとをとり、この関係について考察することにする。すでに述べて来たことから明らかに絞りと限界伸線加工度とは対応しない。絞りはパーライトの層間隔に対してははっきりした依存性を示していない。一方限界伸線加工度は、層間隔0.4μ以下の場合ゆるやかな依存性を示し、0.25~0.3μの場合に最も大きな値を示している。限界伸線加工度は550°C及び600°Cならびに空冷材についてほぼ最高値を示しているが、同一層間隔で500°Cの場合やや低い値となっている。500°Cパテンティング材の層間隔が550°C材より大きくなった理由についてはよくわかっていないが、低温でありながら600°Cと同じであるということにパテンティング処理の操作上のミスがあったのではないかと予想される。したがって限界伸線加工度と層間隔との関係を考える場合には500°Cの値を省いてよいと思われる。

図4から示されることは、高い限界伸線加工度と与えるための臨界層間隔というものが存在し、本実験の場合には約0.4μと考えられるということである。図4に見るごとく限界伸線率は層間隔0.4μ以下においてはゆるやかにしか変化していないので問題はこのような臨界層間隔というものが何故絞りに対して存在せずに限界伸線加工度に対して存在するのかということになる。

この問題を定量的に議論することは、現在不可能に近い。パーライト組織ではなく、球状炭化物組織にした場合には、原因はわからないが、少なくとも絞りに関しては、イ) 体積百分率が小さく、且ロ) 炭化物間距離が大きい程²⁾、大きくなることが認められているが、図4からみるように絞りと組織との関係も不明である。

図4に示されたような限界伸線加工度と組織の関係を考察するにあたって、従来共析鋼の伸線に関して、太い線から伸線する程、限界伸線加工度が大きくないといわれて来たことと、伸線の場合のダイス入側における変形様式をとり上げて論ずることにする。すなわち、線材が線引きされる時、どうしてもダイス入側でせん断変形をうけ、セメントナイト層が分断され、この分断量は線材が太ければそれだけ大きくなる。問題はこの破壊されたセメントナイトをどれだけ完全にフェライト層が結合できるかということにかかっており、これに関係して臨界層間隔乃至セメントナイト層の臨界厚みがきまってくると思われる。

- 1) 武智 34: 日本金属学会報 vol.12 (1948) p.845.
- 2) 前沢明弘: 修工論文 (1949-3)

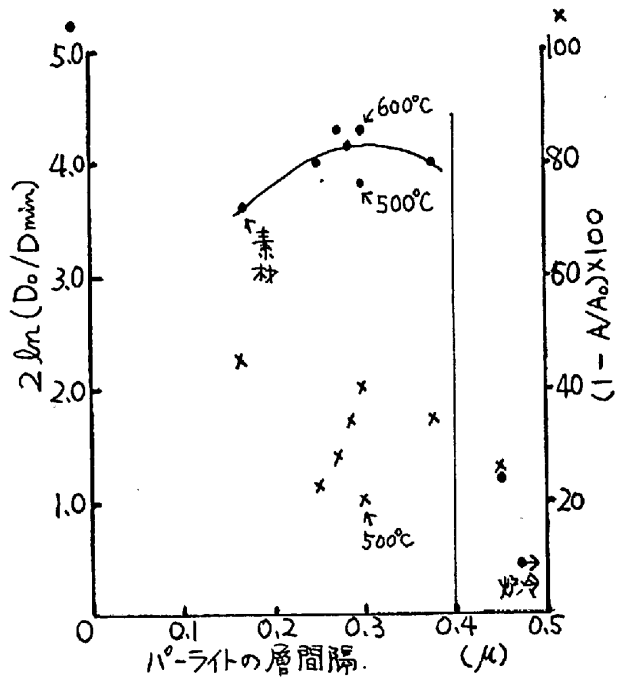


図4. パーライト間隔と限界伸線加工度及び絞りの関係.

限界伸線加工度: $2 \ln(D_0/D_{min})$ • Ep
 絞り: $(1-A/A_0) \times 100$ x Ep