

- als, 9 (1956) 4, 420~424
- 7) J. H. Stoll: Blast Furnace and Steel Plant, 46 (1958) 6, 595~605
- 8) Iron & Coal Trades Review: 172 (1956) 22, 1039~1041
- 9) D. J. Carney: Gases in Metals, ASM (1953) 111
- 10) C. A. Zapffe: Metals Handbook, ASM (148) 1208
- 11) M. M. Karnauchov and A. N. Morozov: Vodik a dusik v oceli, SNTL (1953) 40
- 12) Iron & Coal Trades Review: 174 (1957) 10, 1075~1077
- Foundry Trade J.: 103 (1957) 2142, 527
- 13) K. C. Taylor: Report on the meeting for Stream Degassing Unit.

中炭素鋼の顕微鏡組織と機械的性質および 超音波透過性との関係について*

西原 守**・中野 平**・牧岡 稔**

Effect of the Normalized Structure in Medium Carbon Steel on Mechanical Properties and Ultrasonic Transmissibility.

Mamoru Nishihara, Taira Nakano and Minoru Makioka

Synopsis:

With the aid of a lot of materials picked up at the production plant as samples for microphotography, an investigation was made to try to study statistically the relation between the microstructure and the mechanical properties (ductility and toughness) to clarify the effect of acicular pearlitic structure recognized in normalized medium carbon steel on its mechanical properties. The results were summarized that the mechanical property varied according to the microstructure and the microstructure, in the course of becoming coarse, made both its ductility and toughness decreased and the standard deviation of the impact value increased.

At the same time the ultrasonic transmissibility was investigated on various microstructures made by the laboratory treatment by which the relation between the microstructure and the apparent ultrasonic attenuation coefficient became ascertained.

I. 緒 言

中炭素鋼の焼準組織を観察すると、針状性フェライトを含む粗大なパーライト組織の認められる場合がしばしばある。一般に、このような針状性の組織は、オーステナイト結晶粒度の粗い場合や、オーステナイトからの冷却速度がある範囲内にある場合に発生しやすいことが知られているが¹⁾、この種の組織が材料の機械的性質におよぼす影響や、最近鋼材の品位判定上重要視されるようになった超音波透過性との関係について、具体的に試験されたデータが比較的少ないように見受けられるので、著者らは、鋼材の品質管理の際検出した種々の顕微鏡組織を示す材料を現場的に求め、顕微鏡組織が機械的性質や超音波透過性におよぼす影響について調査を行った。

II. 実 験 材

実験材は、塩基性 10 t 電気炉で熔製した 2.5 t 鋼塊を直径 200 mm 程度の丸棒に鍛伸後、850°C / 5 h 空冷、620~670°C / 8 h 空冷の処理を行った焼準→低温焼鈍材で、Table 1 に示す成分範囲の材料である。このような同一製作履歴のものでも、チャージによつては、均一微細パーライト、針状性フェライトを含む粗大パーライトあるいはこれらの混在した組織を示すものが現われたので、実験に都合のよいチャージ約 20 チャージを選択して、実験材とした。供試材の代表的な顕微鏡組織は、

* 昭和33年10月本会講演大会にて発表

** 神戸製鋼所，神戸研究部

Photo. 1のごとくである。なお、機械試験、超音波透過性試験は、すべて200mmφ鍛造材の外周部、軸方向について実施した。

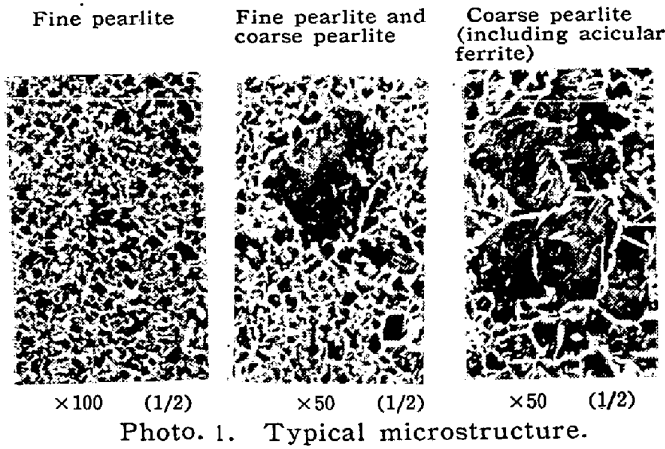


Table 1. Chemical composition range of specimens tested.

C	Si	Mn	P	S
0.39~0.42	0.15~0.35	0.60~0.80	<0.03	<0.03

III. 試験結果ならびに考察

炭素鋼の顕微鏡組織と機械的性質との関係については W. S. Owen²⁾, G. Burns³⁾, J. H. Gross⁴⁾, 井上氏⁵⁾らの研究があり、オーステナイト粒度、あるいは、フェライト粒度と衝撃遷移温度との間には密接な関係があつて、粒度の粗大化は遷移温度を上昇させることが認められている。しかし、これらの研究は、いずれも微細なパーライト組織を示す材料を人為的にオーステナイト粒度を変化させて実験を行つたもので、現場的に認められる種々の顕微鏡組織材を統計的に取纏めた研究報告は、少ないように見受ける。著者らは同一製作履歴でありながらチャージにより顕微鏡組織の異なる材料を、分類上均一微細パーライト材（フェライト粒度9以上）と粗大パーライト材（粗大なパーライトが30%以上微細パーライト中に混在しているもの）との2つに大別し、引張試験を行つた際の伸び、絞り、およびシャルピー衝撃値を統計的に比較することを試みた。

試験結果は Fig. 1 および Fig. 2 のごとくで、抗張力は、すべて55~65 kg/mm²の範囲に入るものである。Fig. 1 は引張試験により求められた降伏点、伸び、絞りと顕微鏡組織との関係、Fig. 2 はシャルピー衝撃値と顕微鏡組織との関係を、いずれもヒストグラムにより示した。そしてこれらを纏めて Table 2 に示した。表からわかるように微細パーライト材と粗大パーライト材の機

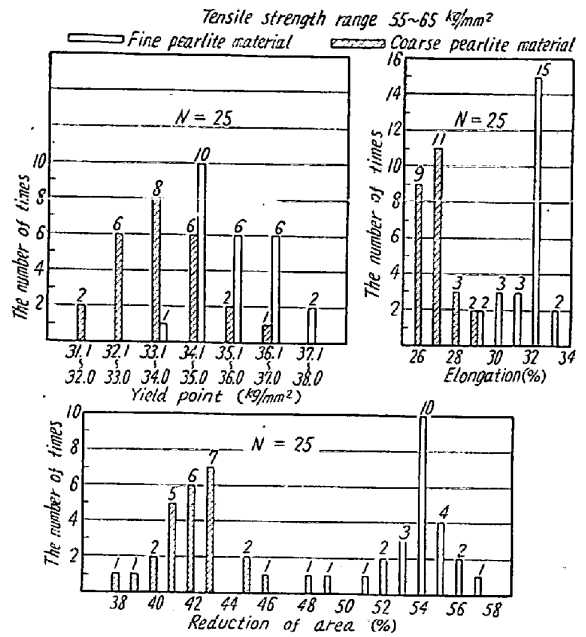


Fig. 1. Effect of microstructure on the tensile property.

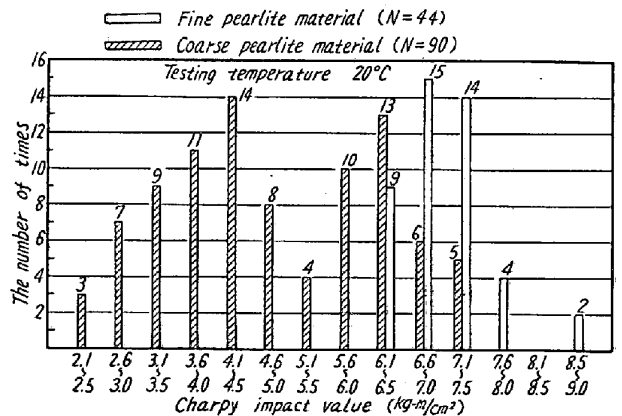


Fig. 2. Effect of microstructure on the impact value.

械的性質を平均値と比較すると、シャルピー衝撃値においては7.1 kg-m/cm²と4.8 kg-m/cm² 降伏点においては34.9 kg/mm²と33.6 kg/mm², 伸びにおいては32%と27% 絞りにおいては54%と42%と、両者の間に明瞭な差異が存在している。一方、バラツキを考えると、降伏点、伸び、絞りにおいては、両者間の差異はほとんど認められないが、衝撃値においては粗大パーライト材のバラツキは、微細パーライト材の約2倍の値を示し、衝撃値に関しては、組織の影響がきわめて敏感であることを物語っている。

以上の結果から、針状性フェライトを含む粗大パーライト組織は、静的機械的性質に好ましくない影響を示すことが明らかとなつたので、さらに進んで Photo. 1 に

Table 2. Effect of microstructure on the mechanical properties.

Micro-structure		Yield point (kg/mm ²)	Elongation (%)	Reduction of area (%)	Charpy impact value (kg-m/cm ²)
Fine pearlite		Heat number: 9 Specimen number: 25 Tensile strength: 55.7~60.2 kg/mm ²			Heat number: 8 Specimen number: 44
	Measurement range	33.2~37.6	29~33	48~57	6.1~8.6
	Average (\bar{x})	34.9	31.5	53.6	7.04
	Standard deviation (σ)	1.08	1.09	2.02	0.60
Coarse pearlite		Heat number: 5 Specimen number: 25 Tensile strength: 58.9~64.0 kg/mm ²			Heat number: 10 Specimen number: 90
	Measurement range	31.2~36.3	26~28	38~46	2.1~7.6
	Average (\bar{x})	33.6	26.9	42.0	4.83
	Standard deviation (σ)	1.24	0.91	1.79	1.42

示した3種の顕微鏡組織材について、小野式回転曲げ疲労試験および衝撃遷移曲線の測定を行った。試験結果はFig. 3およびFig. 4のごとくで、顕微鏡組織の粗大化は、衝撃遷移温度を高温側へ移動せしめること、そして

組織は静的機械性質のみならず、動的機械的性質にも大きな影響をおよぼし、組織の粗大化は疲労強度を低下せしめ、かつそのバラツキを増大せしめる傾向にあることを認めた。

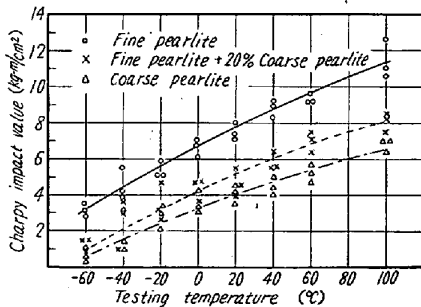


Fig. 3. Effect of microstructure on the Charpy impact transition curve.

2) 顕微鏡組織と超音波透過性との関係

超音波探傷検査は最近鋼材の品位判定上かくべからざるものとなり、鋼材の使用前あるいは、使用中広く活用されている。したがって、超音波検査上、鋼材内部に存在する欠陥を検出し得る感度の高い材料が好ましく、透過性のよい材料が要求される場合がしばしばあるので、顕微鏡組織上の変化と超音波透過性との関係を調べた。

試験材としては Table 3 に示したように、種々の顕微鏡組織のものを得るために、30mmφ材を900~1250°Cの温度範囲でオーステナイト化し、850°Cより現場材(径200mm)とほぼ同一の冷却速度(約7°C/mn)で焼準し、650°Cで低温焼鈍を行って、顕微鏡組織を人為的に変化させたものを使用した。また、このような人

Kind of microstructure	Yield point (kg/mm ²)	Tensile strength σ_B (kg/mm ²)	Elongation (%)	Reduction of area (%)	Fatigue strength σ_w (kg/mm ²)	σ_w/σ_B (%)
Fine pearlite	37.6 36.6	60.0 59.0	32 32	53 53	27.6	46.4
Fine pearlite and 20% coarse pearlite	35.0 33.8	59.9 58.9	29 29	45 46	25.4	42.8
Coarse pearlite	33.4 33.0	60.3 58.9	27 28	41 41	24.0	40.2

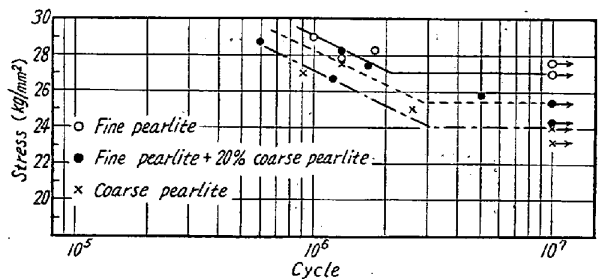


Fig. 4. Ono type rotary bending fatigue test result.

為的試料と現場から直接入手した材料との相違を知るために、現場より粗大パーライトを15~20%含む混粒材および針状性フェライトを含む粗大組織材2種類を準備した。

超音波試験片の形状は凡て径20mm長さ180mmとし鋼塊の偏析などの影響をさけるため、直径200mm素材の外周部より採取した。試験片は、端面および側面の影響を考慮して全面ペーパー仕上とし、特に端面の平行度を1/100程度として、反射損失を極力小さくした。Table

Table 3. Ultrasonic test specimens.

Specimen No.	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
Heat treatment	As received (fine pearlite)	Austenitizing 900°C / 3 h	Austenitizing 950°C / 3 h	Austenitizing 1000°C / 3 h	Austenitizing 1025°C / 3 h	Austenitizing 1100°C / 3 h
Specimen No.	No.7	No.8	No.9	No. A		No. B
Heat treatment	Austenitizing 1150°C / 3 h	Austenitizing 1200°C / 3 h	Austenitizing 1250°C / 3 h	As received (fine pearlite + coarse pearlite)		As received (coarse pearlite)

Table 4. Testing conditions for ultrasonic transmissibility.

Specimen: Dia 20mm Length 18cm
 (both ends and side is finished by paper)
 Searching machine: Sperry type I
 Frequency: { 2.25MC (sensitivity $V_{17}=20\%$)
 5MC (sensitivity $V_{17}=80\%$)
 Probe: Dia 28mm
 Specimen number: two
 Couplant: machine oil

4に超音波試験条件を示す。周波数は、普通よく使用されている2.25MCおよび5MCの2通りとし、感度は感度検定が正確にでき、しかも組織の差をできるだけ明瞭に把握できる値として、2.25MCに対しては $V_{17}=20\%$ 、5MCに対しては $V_{17}=80\%$ を選んだ。

さて、一般に超音波が物質中を伝播する時、その振幅は透過距離の指数関数として減衰することが実験的に認められている。

$$A = A_0 e^{-\alpha x} \dots \dots \dots (1)$$

- A_0 : 入射波の振幅
- A : 距離 x だけ透過後の振幅
- x : 透過距離
- α : 減衰係数

したがって、振幅の対数値と透過距離の間には直線関係が成立し、この直線の勾配が減衰係数に等しい。

$$\log A = \log A_0 - \alpha x \dots \dots \dots (2)$$

実験結果を横軸に底面反射回数(あるいは透過距離)をとり縦軸に反射パルスの高さの対数値をとつて示すと Fig. 5 および Fig. 6 のごとくになり、予想通りほぼ直線関係が得られた。

よつて、この直線の勾配から減衰係数を求め、顕微鏡組織の効果を定量的に判断することを試みたが、実験上底面における反射損失、水晶と試料間の透過損失(榎木氏ら⁶⁾はこれらの損失が非常に小さいので無視できると報告している。)などを無視しているので、厳密な意味での減衰係数でない。よつて以下には見掛けの減衰係数

Frequency: 5MC sensitivity: $V_{17}=80\%$ probe dia: 28mm
 Specimen: two pair (except No. 2)

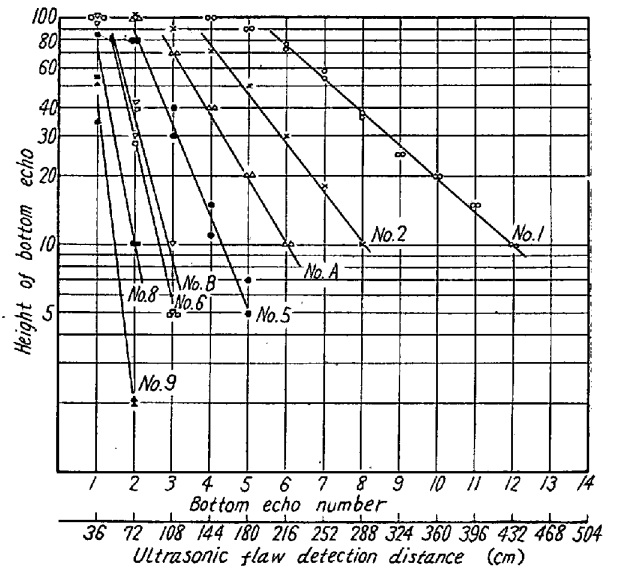


Fig. 5. Ultrasonic flaw attenuation curve (I)

Frequency: 2.25MC sensitivity: $V_{17}=20\%$ probe dia: 28mm
 Specimen number: No. 8 and No. 9→2, another → 1

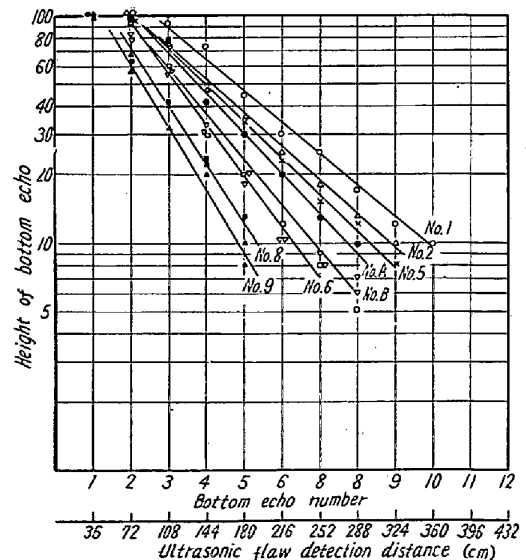
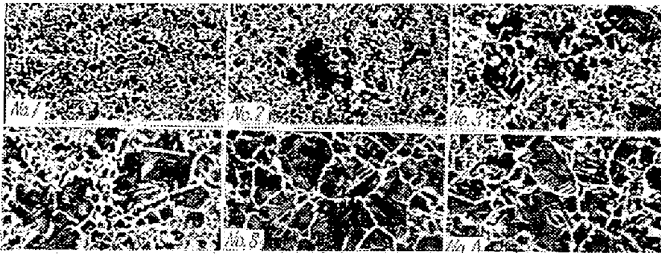


Fig. 6. Ultrasonic flaw attenuation curve (II)

と呼称した。

以上の結果を整理すると Fig. 7 のごとくになり、オー



(写真のうち左下は No.5)

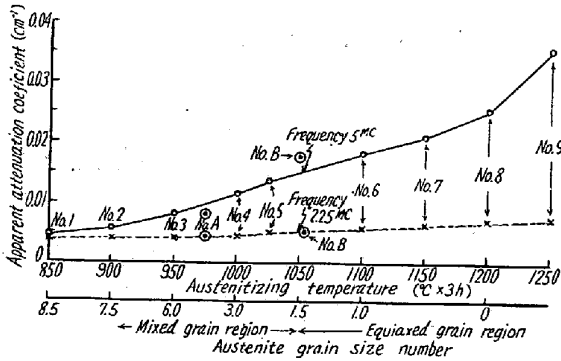


Fig. 7. Relation between microstructure and ultrasonic transmissibility.

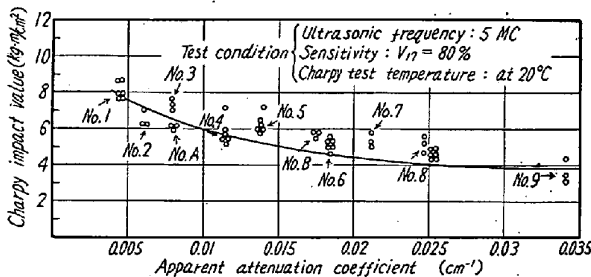


Fig. 8. Relation between Charpy impact value and ultrasonic attenuation coefficient.

ステナイト粒度が大きくなるほど（組織が粗大化し針状性フェライトの現出がいちじるしくなる）見掛けの減衰係数は増大し特に周波数が 5MC の時その傾向がいちじるしく認められた。Fig. 7 中に現場的に求めた No. A および No. B をそのオーステナイト粒度に相当する個所に挿入すると、ほぼ人為的に変化させた組織により求めた曲線上にのり、超音波透過性については、現場的に得た組織と人為的に作った組織との間には大きな相違のないことが認められた。

Fig. 8 は超音波試験後の試片よりシャルピー試験片を採取し、透過性とシャルピー衝撃値との関係を求めたもので、減衰係数の大きいほど、衝撃値の低下することがよく認められる。ただし、衝撃値に関して現場材と人為

材との差異は、資料が少ないので十分追求できないが、試験結果からみると大きな差はないようである。

IV. 総 括

中炭素鋼の焼準組織が、機械的性質および超音波透過性におよぼす影響を調査した結果を取纏めるとつぎのごとくである。

1) 微細パーライト材と粗大パーライト材を同一抗張力範囲で、降伏点、伸び、絞り、衝撃値を統計的に比較した結果、粗大組織はこれらの諸性質をいちじるしく低下せしめ、特に衝撃値を大中に低下せしめることが認められた。また同時に、衝撃値においてはそのバラッキを増大せしめることが認められた。

2) 粗大組織の混在が増加するほど、衝撃遷移温度は上昇し、また動的機械的材質すなわち回転曲げ疲労強度の低下することが認められた。

3) 超音波透過性を試験した結果、透過距離と底面反射パルスの対数値は、ほぼ直線関係が得られ、この直線の勾配より各種顕微鏡組織材の見掛け減衰係数を求めた。

4) オーステナイト粒度が粗大になるほど、減衰係数は大きくなり、この傾向は周波数が高いほどいちじるしいことが明らかとなった。

5) 人為的に粗大な組織にしたものと、現場処理により検出した粗大組織とを比較した場合、透過性について本質的な相異は認められなかった。

6) 種々の長さを持ち、しかも種々の顕微鏡組織を示す材料に対して、このような減衰係数を適用すると、概略の透過性を知ることができる。(昭和34年6月寄稿)

文 献

- 1) P. F. Mehl: J.I.S.I. June, (1948) p. 113~129
- 2) W. S. Owen, D. H. Whitmore: Welding Journal, Nov. (1957) p. 503~511
- 3) G. Burns, C. Judge: J.I.S.I. Mar. (1956) p. 292~300
- 4) J. H. Gross, R. D. Stout: Welding Journal, Feb. (1956) p. 72~76
- 5) 井上・辻本: 住友金属, Vol. No.4
- 6) 榎木・藤井: 材料試験, 第6巻, 第47号, 34~37