

~600°C に変化させてみた。(この温度は表面温度計の測定値なる故、実際の温度はもつと高い様に思われる。)加工率は、多くは 22~23% であるが、作業の都合によつては 13% 内外のものがあることが分つた。

これ等の板を、焼鈍箱の上部、中部、下部に入れて、焼鈍を行い、顕微鏡組織を調べた。焼鈍温度は 600°C~850°C である。

加工率 13% 内外のものは、焼鈍後粗大粒子を呈した。加工率 22% 内外のものも、仕上温度が低い場合には板の外側に粗大粒子を生じ、内側に微細な細結晶粒子を生じていた。

加工率 13% 内外は、所謂臨界加工率の範囲に入つて来るので再結晶粒子が粗大になるのは当然と思われる。加工率 22% 程度は一応臨界加工率の危険範囲外にあるが、仕度温度が低い場合には、板断面について加工率が不均等になり、外側が臨界加工領域に入ってくるのではないかと思われる。

圧延の仕上温度が高い場合には、再結晶は圧延中に完了しており、エリクセン値は圧延のままでも合格値を示すものがある。又焼鈍中の板の脱炭は、焼鈍箱上部に於いては、相当に烈しく、これも再結晶粒子粗大化の一因をなすと思われる。

以上の事柄から、現場作業の改善として、先づ 13% 内外の加工率を有する圧延法を中止していた所、不良品はかなり減じたが、まだ満足すべき状態にならなかつた。粗大粒子に基く所の不良品が、時たま見られたのである。そこで更に改善を進めて必要を感じたわけであるがその方法も色々考えられ、現場的に考えれば、仕上温度を上げてやるのが最も容易であるのでこの方法によることとし、仕上温度、加工率、顕微鏡組織、エリクセン値との関係を調査しつつ、現場作業を続け、遂に相当の成果を納めることが出来た。

(62) X線厚み計に依るミガキ帯鋼の厚み測定に就て

(Measurements on Thickness of Cold Rolled Strip by X-ray Thickness Gage)

日本金属産業 K. K. 技術部 大野正光
同上 王子工場 O 辻 俊彦

I. 緒 言

ミガキ帯鋼の厚み測定には従来マイクロメーターが使用されて来たが、マイクロメーターでは操作に依る誤差が多く特に或る長さを持つた帯鋼に於いては不連続な或

る数点の測定を以て満足せざるを得ない。この点を是正する為近來フライングマイクロ及び各種放射線を利用して帯鋼の厚みを連続的に測定記録する方式が盛んに行われる様になつた。著者はX線厚み計を使用して各種帯鋼の厚みを測定し厚み計自体の特性を知ると共に各種条件の測定値に及ぼす影響、測定精度等に就き調べたので報告する。

II. X線厚み計の原理

今波長 λ の平行なX線束が I_0 の強さで厚さ d の均一な材質の帯鋼を透過した時の透過X線強度を I_a とすれば

$$I_a = I_0 e^{-\mu/\rho d} \dots\dots\dots (1)$$

なる関係がある。茲に μ は減衰係数、 ρ は密度である。又一般に材質が P_i なる重量百分率を持つ各元素から代る時は各元素の質量減衰係数 $(\mu/\rho)_i$ から、その材料の質量減衰係数は

$$\mu/\rho = \sum_{i=1}^n P_i (\mu/\rho)_i \dots\dots\dots (2)$$

として計算し得る。又 μ/ρ は使用X線の波長 λ 及び元素の原子番号 Z の三次函数として表わされる。即ち

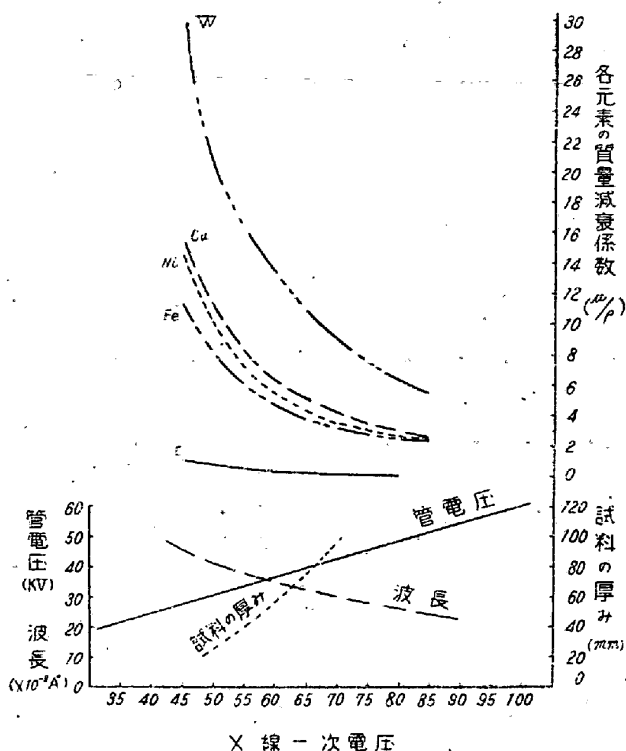
$$\mu/\rho = C_1 (Z\lambda)^3 + \sigma/\rho \dots\dots\dots (3)$$

C_1 は吸収に関する比例常数、 σ/ρ は質量散乱係数である。X線厚み計に於いては2個のX線管を使用し、一方は楔板状の標準試料を、他方は測定材料を透過して同一の光電管に依り光電流に変換される。各X線管には互に位相の π だけずれた 50~ の交流高電圧が印加され自己整流型として作動する。管電圧は透過X線強度が常に一定値を取る様測定材料の材質及び厚みに応じて変化させる。光電流に変換された各X線の透過強度は増幅された後比較回路に送られ各X線管に与えられた電圧と同期の遮蔽格子電圧にて制御される2個の真空管に依り分離されこの二者を比較する事に依り材料の厚みを測定及び記録し得る。即ち同一材質に於ける標準試料及び測定材料の厚みをそれぞれ D_s, D_x とし両者の透過X線に依り生ずる光電流の差を Δ とすれば、 K を比例常数として

$$\Delta = i_s - i_x = e^{-K D_s} - e^{-K D_x} \\ = \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \frac{K}{n!} (D_s^n - D_x^n) \dots\dots\dots (4)$$

従つて両者の厚みの差が小さい時は、両者の光電流の差は厚みの差に直線的に比例する。又実際には(4)式に於ける Δ 即ち厚み計の指示値と $|D_s - D_x|$ を常に等しくする為測定材料の厚みに応じて最終幅巾部の増幅度を調整して感度の補正を行う。第1図にX線の一次電圧に対応する各種成分元素の質量減衰係数、管電圧、波長及

び実際に測定可能な試料の厚みの関係を示す。猶、この厚み計の測定可能範囲は標準試料の厚みを基準として±1/100mm である。



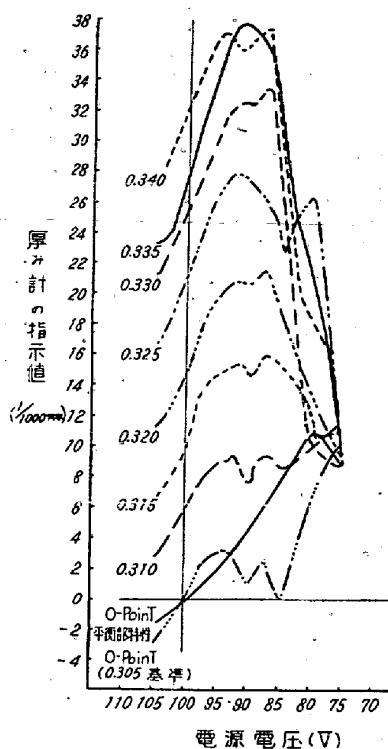
第 1 圖 X線一次電圧と各元素の質量減衰係数、管電圧、波長及び測定可能な試料厚みとの関係

III. X線厚み計の特性

(1) 電源の変動に依る測定値への影響に就て

X線厚み計はその機構上複雑な電氣的回路網より構成されている為、電源電圧の変動に依りその測定値は著しい影響を受ける。今電源電圧を変化させてその定格値近傍の変化率を求めると第 2 図の如き特性曲線が得られる。測定は何れも炭素工具鋼第 5 種、0.85% C の試料を用い、厚み 0.305mm の試片を基準として各厚みに対する測定値の変化を求めた。図に明かな如く何れの場合でも定格電圧附近で $\partial R/\partial E_c = 1/1000 \text{ mm/V}$ の変化率を有しており、75V 近辺で略々一定値に収斂して居る。即ちこの点では X線強度は著しく減衰し真空管平衡部の特性のみが現われるものと思われる。

次に電源電圧を定格値に保持し X線管電圧のみ変化させて同様な測定を行うと、所定透過強度に相当する管電圧の近傍に於ける測定値の変化率 $\partial R/\partial E_c$ は何れも殆んど零に近く管電圧の変化は殆んど測定値には影響を及ぼさぬものと思われる。即ちこの際の変化は主として光電増倍管を中心とした検出部分、真空管回路に依る増巾



第 2 圖 電源電圧の變化に依る測定値の變化

部分及び比較回路部分より生ずるものと思われる。

特に各部 B 電源には放電管及び真空管より成る安定回路が附属しているから電源の変動より生ずる誤差は主として比較部の 2 個の真空管の特性が変化する為又は遮蔽格子に与えられる X線電圧と同期の交流電圧の不均衡より生ずるものと思われる。猶電源より生ずる誤差はこの他電源波形の歪、電圧電流の位相差、周波数の変動等より起るものと思われる。

(2) 材料の成分元素に依る測定値の變化に就て

前式及び第 1 図に於いて明かな如く測定材料の成分に依り測定値は当然影響を受ける。今厚みが等しく成分を異にする 2 個の試料に於ける測定値の差は

$$\Delta = K_2 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \frac{D^n}{n!} \{ (\mu/\rho)_1 - (\mu/\rho)_2 \} \quad (5)$$

として表わされる。通常の炭素鋼では測定値の變化は殆んど炭素含有率に影響されるから、その場合には (2) 及び (5) 式より炭素含有率 P_c のめを考へ他の成分元素を無視すれば

$$\Delta = K_2 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \frac{D^n}{n!} \{ (P_{1c} - P_{2c})(\mu/\rho)_c + (P_{2c} - P_{1c})(\mu/\rho)_{Fe} \} \quad (6)$$

(6) 式に於いて炭素に依る質量減衰係数 $(\mu/\rho)_c$ は殆んど零に近く、 P_c を通常の炭素鋼に於いては最大 1~1.5% 程度であるから (6) 式は結局

$$\Delta = K_s(P_{2c} - P_{1c}) \quad (7)$$

として表わされ同一厚みの試料に於ける炭素鋼の測定値はその鋼の炭素含有率に比例して変化する。これは実際の測定結果とよく一致している。上記理論は Fe より原子番号の大きな W, Mo 等を成分元素に持つ特殊鋼にも適用され W 鋼, Cr-Mo 鋼等に就て測定した範囲では大体理論値と一致した結果を得た。即ち炭素鋼に於いては炭素含有率が大なる程実際の厚みより薄く表わされるに対し、後者に於いては重金属元素の含有率が大なる程厚みの指示は大となる。この事は実際に X 線厚み計を使用する場合その鋼種に依り充分な考慮が払われねばならない事を示している。

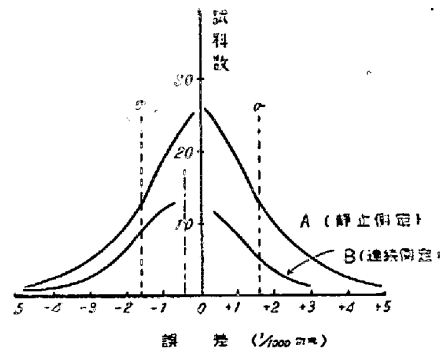
IV. X 線厚み計の測定

(1) 静止測定の際の精度

試料には炭素工具鋼, 特殊工具鋼, 軟鋼製品を用いこれ等をすべて 40mmφ の円形プレスにて打抜きプラスチック製ホルダーに依つて厚み計の測定側に支持して測定した。試料は厚み範囲 0.190~0.895mm のもの 96 枚である。又、厚みの絶対値は 1/1000mm マイクロメーターにて行い厚み計使用に当つては必ず同一鋼種の試片を基準点に選り測定した。その結果は偏差が 3/100mm 迄はマイクロ測定値と X 線測定値は略々完全に一致するが 3/100mm を越えると X 線測定値はマイクロ測定値に比し幾分低い値を示す。又この際の誤差を統計的に処理すると第 3 図 A に示す如く $\bar{x}=0$ を中心とした正規分布曲線が得られ $\sigma=0.0016\text{mm}$ である。

(2) 連続測定の際の精度

試料は炭素工具鋼第 5 種, 0.86% C, 厚み 0.24mm の帯鋼製品約 10m を用い, X 線にて連続測定した記録



第 3 圖 X 線厚み計の誤差曲線

値と測定箇所を 20cm 間隔に 40mmφ の円形プレスにて打抜いた試料のマイクロメーターに依る測定値との比較を行つた。(試料速度 20.9m/min, 記録速度 24cm/min)。この際の記録値は試料の厚い部分はやゝ薄目に、逆に薄い部分はやゝ厚目に現われ、又記録値の位置は実際の試料位置より幾分遅れて記録される。これは記録計指針の慣性、紙面より生ずる摩擦抵抗及び記録計自体の時間的遅れに依り生ずるものと思われる。誤差曲線は第 3 図 B に示される如く $\bar{x}=-0.0004\text{mm}$ を中心とした正規分布に近い曲線であり $\sigma=0.0016\text{mm}$ である。

V. 總 括

以上種々の角度から測定した結果では現在の X 線厚み計は多くの問題を有してはいるが、その適切な使用法を誤らなければ非常に優秀な性能を持つており殊に長尺な帯鋼の複雑な厚みムラを測定するには使用法も簡便であり且つ系統的な測定をなし得るものと思われる。著者は今後これを用いて更に帯鋼の厚みの問題を追究して行き度いと思う。