線に沿う距離をS，かつその点での弾性線に対するノルマルがy軸となす角をφとすれば

$$d\varphi/dS=M_\varphi/EI \quad\cdots\cdots(7)$$

ここにEはヤング率，Iは断面2次モーメントである．(6)式を(7)式に代入し，一度Sで微分した後積分を行い，$E\cdot I(d\varphi/dS)_{\varphi=0}=M_0$，$E\cdot I(d\varphi/dS)_{\varphi=\alpha}=M_1$の境界条件と（4）および（5）式の関係を用いると次式を得る．

$$T=K+(M_0^2-M_1^2)/(2EI) \quad\cdots\cdots(8)$$

（4） 捲取状態の判別式

これまでの式において，板巾をBとし$B\cdot M'_{op}=M_{op}$，$B\cdot K'=K$と示すことにする．しかして$M_0<M_{op}$かつ$\rho_0=\boldsymbol{a}$の場合コイルは弾性的に捲かれたものとなり，$M_0=M_{op}$かつ$\rho_0\geqq\boldsymbol{a}$の場合は塑性的に捲かれたものとなる．ここに$\rho_0$とは$\rho_0=EI/M_0$をいう．

a）コイルが弾性的に捲かれる場合

上述に依つて$E\cdot I/\boldsymbol{a}<BYt^2/4-\boldsymbol{a}K/2$が成り立つ．整理すれば次式を得る．

$$K<BYt^2/2\boldsymbol{a}-2EI/\boldsymbol{a}^2\equiv\Phi \quad\cdots\cdots(9)$$

一方，(8)式のTは$T\leqq BtY$なるべきであり，またM_1は板の形状，仕上圧延機と捲取機間の張力などによつて変るが，全般的に塑性曲げを生ぜしめるほどのものではないから，これを省略して次式を得る．

$$K<BYt-M_0^2/2EI \quad\cdots\cdots(10)$$

(10)式において，この場合$M_0=EI/\boldsymbol{a}$を代入すれば$K<BtY-EI/(2\boldsymbol{a}^2)\equiv\Theta$を得るが簡単な計算により$\Phi<\Theta$が証明されるから結局この場合の条件としては（9）式となる．

b）コイルが塑性的に捲かれる場合

上述に依つて$E\cdot I/\boldsymbol{a}\geqq E\cdot I/\rho_0=BYt^2/4-\boldsymbol{a}K/2$が成り立つ．整理すれば次式を得る．

$$K\geqq\Phi \quad\cdots\cdots(11)$$

一方，(10)式においてこの場合$M_0=M_{0p}$を代入し整理すれば，

$$f(K)\equiv4\boldsymbol{a}^2K^2+(32EI-4BYt^2\boldsymbol{a})K+B^2Y^2t^4-32EIBYt<0 \quad\cdots\cdots(12)$$

を得る．$f(K)$を吟味すると2実根ψ_1およびψ_2を有する．さらにΦと比較すると$\psi_1<\Phi<\psi_2$が証明されるから結局この場合の条件としてはつぎのようになる．

$$\Phi\leqq K<\psi_2 \quad\cdots\cdots(13)$$

ただし　$\psi_2=[(BYt^2\boldsymbol{a}-8EI)+4\sqrt{EI}\sqrt{4EI-BYt^2\boldsymbol{a}+2BYt\boldsymbol{a}^2}]/(2\boldsymbol{a}^2)$

V. 結　　言

ホットストリップミルのダウンコイラに関して，本報では従来の経験を要約すると共にコイルが弾性的に捲かれるかまたは塑性的に捲かれるかの判別式として，ストリップの厚みと巾，降伏応力，ヤング率，コイル半径および捲取時の張力間の関係を明らかにした．

文　　献

1）R. Hill: (鷲津，山田，工藤共訳): 塑性学，p. 288

621.771.237.016.2.014.3:621.771.068

(103) ピンチロールおよびマンドレルの所要馬力の解析

（ホットストリップミルのダウンコイラに関する研究—II）

八幡製鉄所戸畑製造所　○木　村　達　也

Calculation of the Required Power for Pinch Rolls and a Mandrel, and Comparison of the Results with Experience

(Study on a down-coiler for hot strip mill—II)

Tatsuya Kimura.

I. 緒　　言

第I報において，捲取状態の判別式を導いたが，その過程において簡単化された曲げモーメントの式とピンチロールとマンドレルの間の張力の関係を得た．本報ではこれらを用いてピンチロールに要する制動馬力およびマンドレルに要する捲取馬力を求める式を導出する．つぎに第I報にて述べた経験と解析結果の比較を行う．

II. マンドレルに要する捲取馬力

ストリップの速度をVとし，その他の記号は前報の通りとする．記号の単位をメトリック系にて表わすと，マンドレルに要する捲取馬力$\mathbb{P}_m$はつぎのごとくになる．

（1） 弾性的に捲取る場合

$$\mathbb{P}_m=V(M_0+\boldsymbol{a}K)/(75\cdot\boldsymbol{a}) \quad\cdots\cdots(1)$$

この場合前報 IV-(4) より$M_0=EI/\boldsymbol{a}$であるから(1)式はつぎのものになる．

$$\mathbb{P}_m=V[EI/\boldsymbol{a}+\boldsymbol{a}K]/(75\cdot\boldsymbol{a}) \quad\cdots\cdots(2)$$

（2） 塑性的に捲取る場合

この場合前報 IV-(4) より$M_0=M_{0p}=BYt^2/4-\boldsymbol{a}K/2$であるから，これを(1)式に代入すれば次式が得られる．

$$\mathbb{P}_m=V(BYt^2/4+\boldsymbol{a}K/2)/(75\cdot\boldsymbol{a}) \quad\cdots\cdots(3)$$

特に$K=\Phi$について（3）式を計算すると次式が得られる．

$$\mathbb{P}_{m,K=\Phi}=V\cdot B\cdot t^2[2Y-Et/(3\boldsymbol{a})]/(300\cdot\boldsymbol{a}) \quad\cdots\cdots(4)$$

また，$K=0$について（3）式を計算すると次式が得られる．

$$\mathbb{P}_{m,K=0}=V\cdot B\cdot Y\cdot t^2/(300\cdot\boldsymbol{a}) \quad\cdots\cdots(5)$$

III. ピンチロールに要する制動馬力

ピンチロールに要する制動馬力を$\mathbb{P}_p$と示す．

（1） 弾性的に捲取る場合

$$\mathbb{P}_p=T\cdot V/75 \quad\cdots\cdots(6)$$

第I報 IV-(4) に述べたごとく，第I報（8）式中のM_1を省略して（6）式に代入すればつぎのごとくになる．

$$\mathbb{P}_p=V[K+M_0^2/(2EI)]/75 \quad\cdots\cdots(7)$$

この場合$M_0=EI/\boldsymbol{a}$であるから結局つぎの式が$\mathbb{P}_p$となる．

$$\mathbb{P}_p=V[K+EI/(2\boldsymbol{a}^2)]/75 \quad\cdots\cdots(8)$$

（2） 塑性的に捲取る場合

この場合$M_0=M_{0p}=BYt^2/4-\boldsymbol{a}K/2$であるから，これを（7）式へ代入して次式を得る．

$$\mathbb{P}_p = V[K+(BYt^2/4-aK/2)^2/(2EI)]/75 \quad \cdots\cdots(9)$$

特に $K=\Phi$ について（9）式を計算すれば次式が得られる．

$$\mathbb{P}_{p,K=\Phi} = VBt^2[Y-Et/(4a)]/(150\cdot a) \quad \cdots(10)$$

また，$K=0$ について（9）式を計算すれば次式が得られる．

$$\mathbb{P}_{p,K=0} = VBY^2t/(200\cdot E) \quad \cdots\cdots(11)$$

IV. 経験との比較

（1）ピンチロールおよびマンドレルモータの所要馬力

(2)，(3)，(8) および（9）式はそれぞれつぎのごとく書き改めることができる．

$$\mathbb{P}_m = V\cdot B[Et^3/(12\cdot a)+a\cdot K']/(75\cdot a) \quad \cdots(2)'$$
$$\mathbb{P}_m = V\cdot B[Y\cdot t^2/4+a\cdot K'/2]/(75\cdot a) \quad \cdots\cdots(3)'$$
$$\mathbb{P}_p = V\cdot B[K'+Et^3/(24a^2)]/75 \quad \cdots\cdots(8)'$$
$$\mathbb{P}_p = V\cdot B[K'+6(Y\cdot t^2/4-a\cdot K'/2)^2/(Et^3)]/75 \quad \cdots\cdots(9)'$$

これらの式から，ピンチロールおよびマンドレルモータの所要馬力は何れの場合でもストリップの速度と巾に比例することがいえる．また，板厚が増加すれば所要馬力が大きくなることが判る．材質に関しては (2)′，(3)′および (8)′ 式において E または Y の値が高い程所要馬力が大きくなる．(9)′ 式においても E の変化する割合が Y の変化割合の2乗以上さらに大きなものでない限り馬力は増大する．以上のことは前報 Ⅲ-(1) に述べた経験と良く一致している．

（2）ラッパロールの操作

捲取るに際して，板が捲付けられている点での張力 K が正である場合はタイトコイルが得られるが，負になる場合はコイルの外面をなんらかの方法で支えることが必要である．すなわち実作業ではラッパロールで支えることとなる．所で，この問題に対する一つの見方として(2)および(3)式を変形し K について解くと次式が得られる．

$$K = 75\cdot\mathbb{P}_m/V-BEt^3/(12a^2) \quad \cdots\cdots(2)''$$
$$K = 150\cdot\mathbb{P}_m/V-BYt^2/(2a) \quad \cdots\cdots(3)''$$

(2)″ および (3)″ 式において，捲取機が与えられた場合でストリップの速度と巾を固定して考える．すなわち $\mathbb{P}_m$，V および B を固定して考える．この時コイル半径 a が小さいと K も小さな値となる．いいかえれば捲始めの状態ではコイルをタイトに捲付ける力が小さいといえる．しかもその程度はストリップの材質 E あるいは Y の値が大きいほど，また板厚が厚くなるほどいちじるしくなるものといえる．このことは，実作業において板厚が厚い場合や板が硬質の場合に捲付後あまり早期にはラッパロールを開くことができなかつたりさらに進んで捲取中常にラッパロールをコイル外面に押付けて作業しなければならない状態を示すものである．

（3）弾性捲取りと塑性捲取り

前報において，コイルは弾性的に捲かれる場合と塑性的に捲かれる場合の2種類が考えられることを述べた．そこでこれを裏付ける問題について触れることにする．

前報(9)および(13)式より弾性捲取りと塑性捲取りの限界は Φ によつて与えられる．いま，前報(9)式を書き改めれば Φ はつぎのごとく示される．

$$\Phi = Bt^2[Y-tE/(3a)]/(2a) \quad \cdots\cdots(12)$$

(12)式において，t/a の値は実際設備上 $10^{-3}<(t/a)<1/30$ 程度である．また，通常 Y の値は 10^7 kg/m^{2}台であり，E の値は 10^{10} kg/m^2 台である．従つて Φ の値は正，負共に起り得る．一方，捲取作業としては実質上 $K\geqq 0$ の状態で行われるから，もし $\Phi\leqq 0$ の場合は捲取りは全て塑性的に行われることとなる．$\Phi>0$ の場合は $\Phi>K\geqq 0$ の範囲において弾性的に捲取りが行われる可能性を有するが，この条件を満たすものとして，相対的に Y の値が大きいかまたは t/a が極端に小さい値で比較的低張力で捲取る場合が考えられる．事実，前者の例としてステンレス鋼のコイルを，また後者の例として本報の対象設備とは異なるけれども冷間圧延後のティンプレートコイルを挙げることができよう．両者はともに捲戻いた場合にコイルの時よりもはるかに大きい曲率半径になるかあるいは全く直線状になつてしまう．

V. 馬力の式に関する補足

馬力の式を使用するに際して，まず Φ を計算しその結果 K を決定しなければならない．しかし前項で述べたように Φ が負値となる場合は実際上 $K=0$ の時の式を用いることとなる．また，Φ が正値となる場合塑性的な捲取条件を見出すには $K=\Phi$ の時の式を用いることとなる．(4)，(5)，(10) および (11) 式はその便を考えてあらかじめ算出したものである．

VI. 結　　言

ホットストリップミルのダウンコイラに関して，ピンチロールに要する制動馬力およびマンドレルに要する捲取馬力の計算式を導いた．さらに，従来の作業経験に対して前報から続いた解析結果はこれを良く説明できることを示した．報告を終えるに当つて誤謬を恐れる次第であるが，この問題が今後さらに研究される場合例えいくらかでも糸口とならんことを念じるものである．

621.771.237.016.2.01

(104) ストリップ冷却状態の解析

（ホットストリップミルのホットランテーブルにおけるストリップの冷却に関する研究—Ⅰ）

八幡製鉄所戸畑製造所　63104
福田宣雄・○木村達也・和田浩爾

Analysis of Strip Cooling and Its Results.

(Study of strip cooling on a hot-run table of hot strip mill-Ⅰ)

482～484

Nobuo FUKUDA, *Tatsuya* KIMURA and *Kouji* WADA.

I. 緒　　言

近年ホットストリップ成品の品質，コストに関する要求が厳しくなり，世界的な趨勢として熱間板圧延設備の自動制御化，ひいてはコンピューターコントロール化が急務となつている．ここでは品質面に重要な関係のあるホットランテーブルにおけるストリップの冷却状態を解析し，それを数式化することによつてコンピューターコントロールの一分野を開拓すると共に，ストリップ冷却作業管理の適正化を試みた．