

スチーフエル・マンネスマン式穿孔機による製管法の研究(I)

(傾斜角の影響)

(昭和 26 年 10 月本會講演大會にて講演)

井上 勝郎* 加藤 信*

STUDIES ON THE PIERCING PROCESS OF SEAMLESS STEEL TUBE
BY THE STIEFEL-MANNESMANN PIERCING MILL (I)

(EFFECTS OF INCLINED ANGLE)

Katsuro Inouye and Makoto Kato

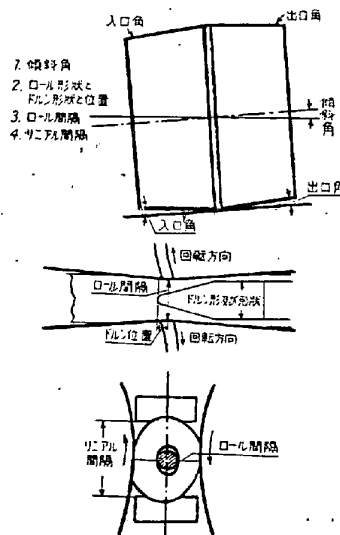
Synopsis: By the actual use of the Stiefel-Mannesmann Piercer, the authors studied the effects of inclined angle upon the state of piercing phenomena from various points of view. The variations of angle were from 5° to 9° , with the other factors kept constant. The results obtained by us were enumerated as follows:

In case the inclined angle was increased,

- (1) The K. W. increased linearly, but the K. W. H. decreased, resulting in the increase of rolling efficiency.
- (2) The deformation in the course of piercing process remained unchanged, but the angle of torsion during the piercing process increased.
- (3) The axial moving speed of tubes increased linearly.
- (4) The revolving speed of tubes decreased.
- (5) The reduction in the piercing process increased, but the reduction speed remained almost constant.
- (6) The cracks that appeared on the inner and outer surfaces of tubes increased when the round billets were not good in quality, but no difference would presumably appear when the billets were in excellent quality.

I. 緒 言

スチーフエル・マンネスマン式穿孔機を用いて丸鋼から中空素管を熱間で作る際の變形現象については、既にいくつかの有益な研究があつて¹⁾、之等によつてその状況はかなり解明されている。所で實際に穿孔作業を行うにあつて最も問題になるのは所謂調整であつて、穿孔機には壓延状況を左右する要因が多數あり、しかもそれによる壓延状況の變化が著しい。その主なものは第1圖に示す如くである。筆者等は之等諸要因による穿孔變形現象の變化を明かにして實際穿孔作業の指針を得ようと考え、一連の研究を行つている。此の場合各要因は互に獨



第1圖 穿孔作用を左右する要因

* 日本特殊鋼管株式會社

立ではないが、実験方法としては各一要因のみを変化させた場合を次々に取扱つて、最後に全體をまとめる方法をとつた。今回報告するのは傾斜角を変化させた場合である。傾斜角を変化させた場合最も顕著な変化は穿孔速度であつて、傾斜角を大きくすると目に見えて早い速度で穿孔作業が行われる。従つて傾斜角を大きくとれば製管能率が上る事は明かであつて、主として此の理由から傾斜角はできるだけ大きくする傾向にある。現在我が國では7°~8°が普通であるが、アメリカでは10°~12°にしていると伝えられている²⁾。しかしながら製管速度が上昇する反面、變形が急速に行われるであろうからそれに伴う不利な影響が現われまいかどうか確かめておく必要がある。又穿孔速度の上昇は如何にして行われているのであろうか。此の様な點について調べた結果を以下説明する。

II. 試験方法

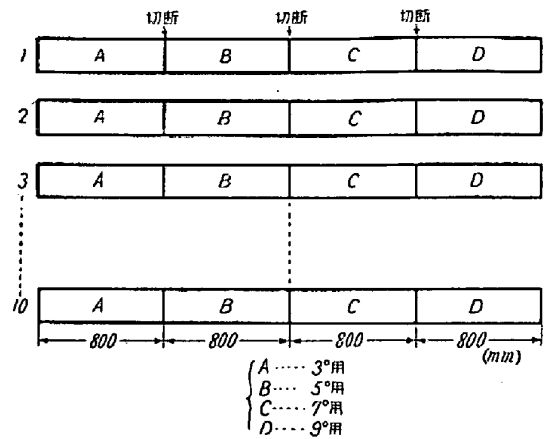
試験はすべて實際の穿孔機を用い、傾斜角度を変えた穿孔作業を行つてその状況を比較調査した。用いた穿孔機の要目と試験を行つた條件は第1表の通りである。試験材は各角度 10 本とし第2圖の様に撰んである。之は

第 1 表

穿孔機要目	
穿孔ロール最大徑	740mm
モーター	100HP Induction motor
ロール回轉數	90r.p.m.
穿孔條件	
傾斜角	3° 5° 7° 9°
ロール間隔	74mm
リアル間隔	91mm
ロール回轉角	出口, 入口, 角 45°
ロール表面	ローレット付
ドルン徑	10mmφ
ドルン位置	+25mm
加熱在爐時間	25hr
管材寸法	90mmφ × 8000mm
管 材	平爐低炭素リムド鋼

材料の條件を均一にする爲であつて、特に疵比較の爲に必要である、(2.5m の長さは鋼塊では 6cm の高さの差に相當する)。10 本は次の様に使用する。

- 1) 9 本……穿孔完了、疵比較、電力、出口、速度、測定用
- 2) 1 本……穿孔途中止め、穿孔變形過程比較用
傾斜角は 3°, 5°, 7°, 9° を豫定したが; 3° は前進速度が極めて遅い爲にバラバラに分解して穿孔不可能で



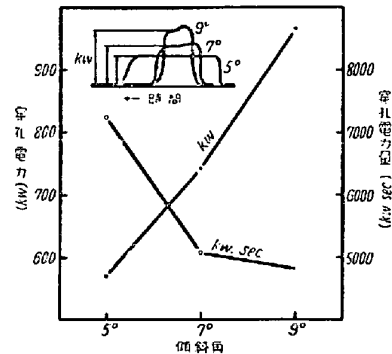
第 2 圖 管材選擇法

實驗を中止した。従つて 5°, 7°, 9° のデータとなつたが、之で實用範圍は大體盡されている。

III. 穿孔動力

動力を記録電力計を用いて記録した。

(1) 電力 (K.W.). 穿孔機自體、カムワルツ及びモーター等の設計は電力で支配されるから重要な項目である。穿孔中の電力の経過は第3圖に示す様な形であるが此の最大電力を傾斜角で比較すると圖の様にほぼ直線的に増加する。但し之は 9 本の平均値であるが、同一傾斜角の場合のばらつきは穿孔時間に大體逆比例する。



第 3 圖 ロール傾斜角と穿孔に要する電力及び電力量

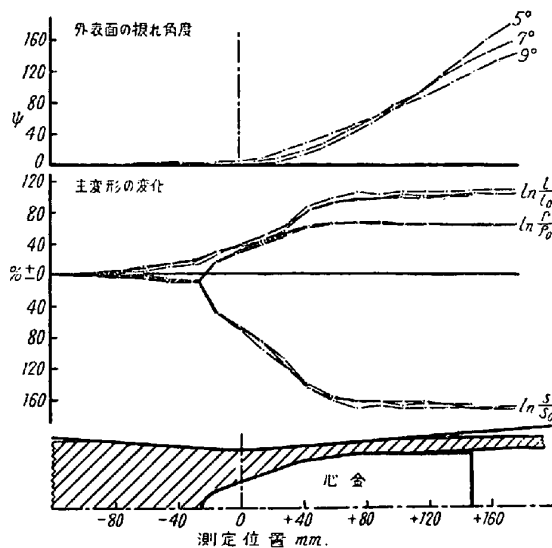
(2) 電力量 (K.W.H.). 電力量は電力に穿孔時間をかければよい。傾斜角を大きくすると電力は増すが穿孔時間の短縮が更に著しいので、電力量は却つて減少する。(第3圖)。この事は傾斜角の増加と共に壓延効率が上昇する事を意味する。則ち傾斜角を大きくすると電力のピークは高くなるから穿孔機各部のうける應力が増加するので壓延機としての使用上は好ましくない。しかし變形効率は良くなつている。

IV. 穿孔變形過程

穿孔途中止め試料を 15mm 間隔で輪切りにして各断面の寸法を測定する事によつて變形過程を明かにする事ができる。(この方法は K rber-Simoneit¹⁾による)。

(1) 主變形の變化

軸方向の伸び ($\ln l/l_0$)、肉厚の減少 ($\ln s/s_0$) 及び平均半径の増加 ($\ln \rho/\rho_0$) は 3 方向の主變形であるが、穿孔中之等の値は第 4 圖の様に變化する。圖から明かな様に、傾斜角を變えても變形狀況はほとんど變らない。大體 3 方向の變形は、肉厚はロールと心金の間隔で定まり、半径は上下の抑え金具の間隔で定まるのであるから傾斜角をかえても變化がないのは當然である。後に述べる様に、之等の變形を受けてゆく速度が異なるのである。



第 4 圖 穿孔中の變形狀況

(2) 外表面の振れ

途中止め試験材の表面に豫め軸方向の條を切りこんで、その振れの模様を調べれば外表面の振れがわかる。(第 4 圖)。この特徴は穿孔過程中は傾斜角の大きい方が振れが大きく、穿孔を終了すると逆になつて傾斜角の小さい方が振れが大きくなる事である。表面の振れは回転方向と軸方向の夫々の速度差の合成によつてきまるものであるが、後述の如く傾斜角が大きい程穿孔過程の回転方向の速度差が大きいので振れが大きくなる。しかし穿孔終了に近づくと共に傾斜角大なる場合は前進速度が著しく増してくるので振れが小さくなる。穿孔を終了してしまつたパイプの表面に現われる振れ條をみると傾斜角が大きい方が振れが小さくなつてゐるが、成品の品質を決定する穿孔過程では逆に傾斜角が大きい方が振れが大きい事は注意すべきである。

V. ロール表面とパイプ表面のスリップ

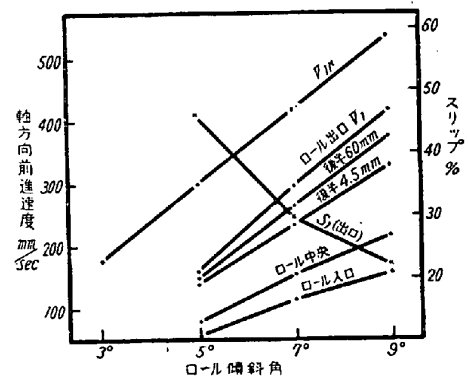
穿孔機出口側に於ける穿孔所要時間と穿孔された管の長さを測れば、出口に於ける軸方向平均前進速度 (V_1) がわかる。又上下の固定ガイドが出口端で素管表面に螺旋狀の跡をつけるが、その 1 巻きのピッチを測定すれば之と V_1 とから管の平均回転數 (n) を求める事ができ従つて管の回転方向平均速度 (V_2) も簡単に計算できる。但し之等は穿孔機出口端、則ち管がロールを離れる所に於ける値であつて、穿孔過程の狀況は途中止め試料を切斷して調べなくてはわからない。

(1) 穿孔機出口に於ける軸方向平均前進速度 (V_1)

穿孔ロールの軸方向速度成分 (V_{1r}) は次式で與えられる。

$$V_{1r} = \pi DN \sin \theta \dots\dots\dots(1)$$

但し D はロール直徑、 N はロール回転數、 θ はロール傾斜角である。 D にロールと管が離れる點の値 (726mm) を入れると (1) 式は穿孔機出口に於ける値となるが、之は $\sin \theta$ に比例する事になる。此の値と實測した値 (V_1) とを圖示すると第 5 圖の如くである。 V_{1r} の増加と共に V_1 はほぼ一定の差で増加している。此の様に傾



第 5 圖 ロール傾斜角と軸方向前進速度

斜角の増加と共に軸方向出口速度が著しく増加する事はそれだけ穿孔能力を増加した事になる。又スリップ S_1 を次の (2) 式で定義すれば

$$S_1 = (V_{1r} - V_1) / V_{1r} \dots\dots\dots(2)$$

S_1 は第 5 圖に示す様に傾斜角と共に低下する。

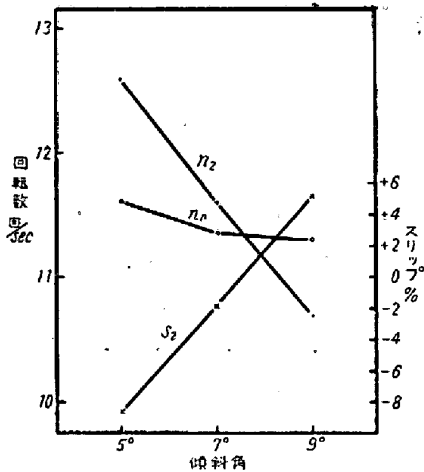
(2) 穿孔機出口に於ける回転方向平均速度 (V_2)

ロール表面のパイプの回転方向に對する速度成分は次式で與えられる。

$$V_{2r} = \pi DN \cos \theta \dots\dots\dots(3)$$

或いは管がロールに粘着して回転したと考えればその回転數 n_r は次の (4) 式となる。

$$n_r = \pi DN \cos \theta / l \dots\dots\dots(4)$$



第6圖、ロール傾斜角と圆周方向速度

但し l はロールから離れる場所に於ける管の全周の長さである。第6圖は n_r と實測した n_2 とを對照して圖示したものである。圖から明かな如く傾斜角の増加と共に n_r は幾分減少するが、實際の回転數 n_2 は更に激しく減少する。従つて(2)式と同様の考え方によるスリップは傾斜角と共に増加する。此の間の事情については次に説明する。

(3) 穿孔中の速度變化

ロール出口に於ける狀況は以上の通りであるが、途中止め試料の輪切りを調べる事によつて穿孔過程の値も知りうる。之によつて狀況が更に明瞭になる。

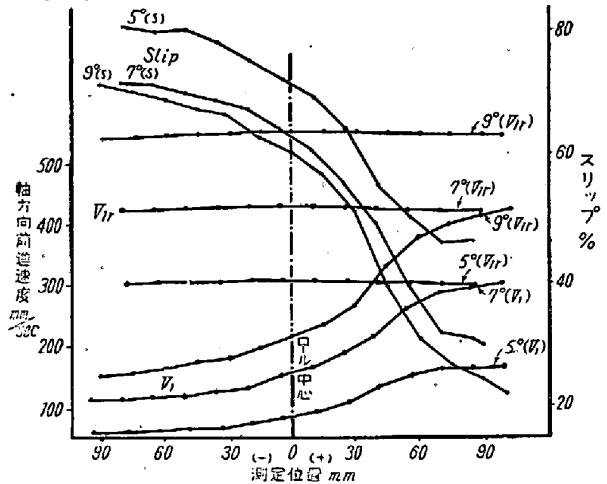
(3a) 軸方向前進速度

穿孔過程の各點に於ける軸方向前進速度 (V_1) は途中止め試料の各點の斷面積 (A) を實測し、之に壓延流量一定の法則をあてはめる事によつて次式を用いて計算できる。

$$A \cdot V_1 = \text{一定} = A_{\text{出口}} \cdot V_{\text{出口}}$$

$$\text{或いは } V_1 = V_{\text{出口}} \times A_{\text{出口}} / A \dots \dots \dots (5)$$

こゝで $V_{\text{出口}}$ は前に實測により求めてある。ロールが與える理論速度 V_{1r} は(1)式で計算すればよい。以上の計算と測定の結果を圖示すると第7圖となる。この圖の横軸は途中止め試料の軸方向位置である。之を見るときどの傾斜角の場合も似た経過であつて、ロール速度 V_{1r} はロール入口から出口迄殆んど變化がないが、管の速度 V_1 はロール入口で小さくスリップは70~80%もあり、穿孔が進むと共に V_1 が増加してロール出口ではスリップは25~45%に減少している。この場合の傾斜角の影響を見る爲にロール入口及び穿孔過程の2, 3の點に於ける V_1 を第7圖からとつて第5圖に記入してみると次の事がわかる。丸鋼がロールにかみこまれた時はロール表面速度 V_{1r} と V_1 との差は非常に大きいが、



第7圖 穿孔中の軸方向前進速度の變化と傾斜角

穿孔の進行と共に管の前進速度 V_1 が上昇してその差が縮まる、その際に傾斜角が大きい程ロール入口に於ける差が著しいが、以後傾斜角による差はどんどん減少し、ロール出口では V_{1r} と V_1 の差は傾斜角によらず一定となる。此の間傾斜角による差が特に著しく減少するのはロール中心より後方え 30~60mm の所であつて、こゝは管のレダクションが最大値を示す場所に相當する。

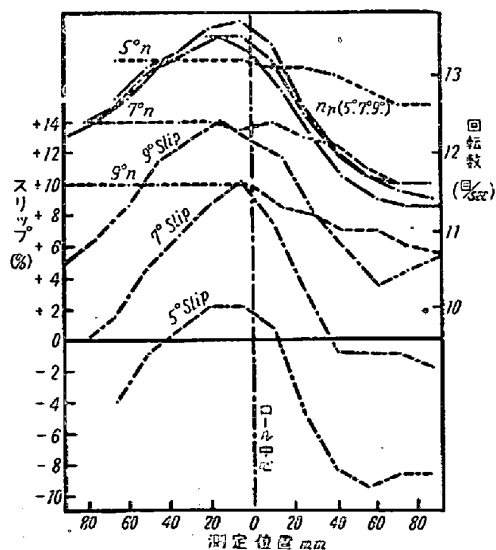
(第9圖)

(3b) 回転方向速度

ロール表面の速度成分 n_{2r} は(4)式により計算できる。之に對して管の實際の速度 n_2 は池島氏の方法¹⁾に従い次式から求める。

$$n_2 - n_{\text{出口}} = V_1 / \pi \cdot d \cdot \text{Tan} \phi \dots \dots \dots (6)$$

但し d は管の外徑、 ϕ は表面人工條疵の振れ角度であつて、いずれも測ろうとする場所に於ける値である。之等の値はすべて途中止め試料の輪切りから求める事ができ



第8圖 穿孔中の回転數の變化と傾斜角

る。以上の結果を第7圖と同様に圖示すると第8圖となる。先づ理論回轉數 n_{2r} はロール中心より 10~20mm 前方に最大値を有する山型分布をなし、傾斜角による差はごく僅かである。之に對して管の實際的回轉數 n_2 は水平に近い分布でロール後半で低下の傾向を示す。又傾斜角による差が明瞭であつて、傾斜角が大きい程回轉數が小さい。 n_{2r} が山型分布であるのに n_2 は水平に近いという理由は管は連続した1本の棒であるから各部分同一回轉數を保とうとするのであろう。又傾斜角が變つた時 n_{2r} は不變なのに n_2 は變化する理由は傾斜角が大きいと歪率が大きくなる爲に (VI項参照) 管の回轉に對する抵抗が大きくなるからであらう。以上の結果傾斜角 5° 及び 7° の場合はスリップはロール中央部で正、前後端で負となるが、 9° の場合は常にロールの方が早く回轉し正のスリップである。

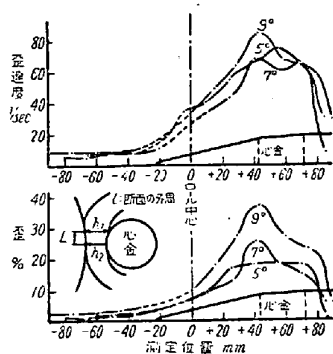
VI. 穿孔中の歪率と歪速度

穿孔中の材料の移動は第10圖の様に行われ、ロールと心金に挟まれた空隙を半回轉毎に通過してそこで壓延が行われる。従つて穿孔變形はロールとドラムで構成された連続二重壓延機の壓延と考える事ができる。従つて歪率及び歪速度は次式で求める事ができる。

$$\text{歪率 } \epsilon = (b_1 - b_2) / b_1 \dots\dots\dots(7)$$

$$\begin{aligned} \text{歪速度 } n &= \text{歪率} / \text{變形時間} \\ &= \epsilon / \left(\frac{60}{n_2} \times L / l \right) \dots\dots\dots(8) \end{aligned}$$

b_1, b_2, L, l はすべて途中止め試料の輪切り断面について實測する。又 n_2 は V. 項で求めた値を用いる。結果は第9圖である。



第9圖 穿孔中の歪率、歪速度の變化とロール傾斜角

(1) 歪率

歪率は山型分布を示しロール後半部で著しく大きい値となる。分布曲線の形は勿論心金とロールの形状により著しく變化するが、一般に後半部で大きくなる傾向は變らない。傾斜角が大きくなると歪率は大きくなる。ロー

ルと心金の間隔は傾斜角が變つても殆んど變化しないが材料1回轉の間の前進量が傾斜角と共に大きくなる爲に b_1 が大きくなるので歪率が増すのである。尙歪率分布曲線の形そのものも重要な事項であるが、之については別の機會に報告したい。

(2) 歪速度

歪速度の分布曲線も歪率と大體相似形である。但し傾斜角を變えても歪速度の値の變化が僅かである事は注目すべきである。一般の板壓延では歪率を増せば歪速度も大きくなるが、此の場合は同時に n_2 が低下しているのでこういう結果になつたのである。歪速度の最高値は 90/s にも達し、壓延としては非常に大きい値である。(丸鋼半径と管の肉厚の差の比を穿孔時間で割つて歪速度とすると 1/s 程度の値になる)。しかし傾斜角による管の疵發生率の相違等は歪速度の差によるものではない。

VII. 管の割れ疵の發生率

穿孔に際して丸鋼の内部及び表面の弱點に起因して割れ疵が管の内面或いは外面に發生する事がある。傾斜角による疵發生率の差をたしかめる爲に II. 節にのべた方法による9本の管を酸洗切開して發生している疵をしらべた。但し使用管材はすべて低炭素リムド鋼である。

(1) 内面割れ疵

内面割れ疵には内表面に口を開いたラツプ疵と稱するものと、内表面の下部でわれているフレ疵の2種があるが、共にその長さに疵の程度による強度率をかけて加え合せたものをその管の疵の點數として比較した。その結果次の様な事が認められた。比較的悪い管材 (Sの偏折が大きく、リムとコアの境界が明瞭なもの) は傾斜角を増すと急激に疵がふえる。之に反して良質な管材では $5^\circ \sim 9^\circ$ の傾斜角範圍では殆んど疵の點數に變化がないが、場合によつては傾斜角が大きい方が成績がよい。不良管材の場合疵が多くなるのは恐らく歪率の増大に、その原因が求められるであらう。

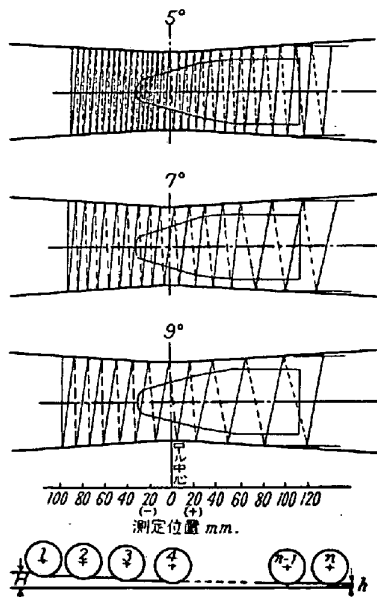
(2) 外面割れ疵

外面割れ疵は丸鋼表面に存在していた割れ疵が轉化したものである。従つて II. 節の方法で比較する事は適當でないので、丸鋼表面に豫め人工的に縦疵を入れてをいてその變化を調べた。その結果は傾斜角が大きい方が疵が大きく表われた。外面疵の大小はロールの摩擦により表皮の流される程度によるものと考えれば歪率の差が以上の原因であらう。とにかく外面疵についても管材に缺陷がなければ問題がないが、割れ疵が存在する場合は傾

斜角が大きい程大きな疵となつて現われる。

VIII. 連続壓延機としての類推

主として V. 節で得たデータを用いて、材料表面上の 1 點が穿孔變形に際してたどる軌跡を圖示すると第 10 圖の様になる。移動のピッチが傾斜角によつて著しく變化する事が明瞭である。VI. 節で述べた様に穿孔機をロールと心金の連続壓延機と考えると、傾斜角の變化は第 10 圖を参照して次に述べる意味となる。



第 10 圖 管材の 1 點のパイプになる迄の軌跡

(1) 丸鋼の半径と仕上り管の肉厚は同一なのであるから、連続ロールの素材板厚と仕上り板厚は同一である。傾斜角を大きくする事はその總壓下量をより少ないスタンド数でこなす事になる。従つて 1 スタンド毎の壓下量は大きい。しかし歪速度は變化しない様になつてゐる。

(2) スタンド間隔は管の半周とほぼ等しいからスタンド数の大小と關係がない。従つてスタンド数が多い時は

連続壓延機の全長が長くなる。傾斜角が小さいと穿孔所要時間が増加するのは壓延機の全長が増す爲に通過時間が増加するのである。則ち移動距離の増加であつて、壓延變形速度の低下ではない。

傾斜角變化に伴う各種の變化は此の類推で、ある程度説明がつくようである。

IX. 總括

傾斜角を大きくすると穿孔現象に次の變化が現われる。

(1) 所要動力 (K.W.) は直線的に増加するが、動力量 (K.W.H.) は逆に低下する。則ち壓延効率は増加する。

(2) 各断面の變形そのものは殆んど變化しない。但し穿孔中の外表面の振れは大きくなる。

(3) 管の前進速度は直線的に増加する。従つてスリップは小さくなる。之は製管能力の増大を意味する。

(4) 管の回轉速度は低下する。従つてスリップは大きくなる。

(5) 穿孔中各位置の歪率は大きくなる。しかし歪速度は大差がない。

(6) できた管に發生する疵は内面外面共に管材が良好ならば差がないか或いはむしろ良くなるが、管材が悪いと著しく疵が増加或いは擴大される。

以上を總括して實用上の見地から言えば、穿孔機の構造強度が十分であり、使用管材が良質ならば傾斜角を大きくとつて穿孔作業を行うのが有利であらう。

(昭和 26 年 11 月寄稿)

文 献

- 1) Körber u. Simoneit, Mitt. K. W. I, 1929
池島: 鐵と鋼: 37 No. 2 1951, 18
- 2) McLaren, Iron and Steel Engineer, 1948