

繼目無鋼管製造上に於ける加熱材の 回轉に依る穿孔理論に就て

津 山 豊 雄*

THEORY OF PIERCING ACTION BY ROTARY METHOD IN MAKING SEAMLESS STEEL TUBES

Toyowo Toyama

SYNOPSIS:—The theory of piercing action by rotary method in making seamless steel tubes is not yet sufficiently established. The author made clear the mechanism of piercing action by using of special and analytical diagrams, and derived the formula relating thereto.

I 緒 言

繼目無鋼管製造上に於ける加熱材の回轉による穿孔に對しての穿孔理論を明かにし、穿孔機の設計並びに穿孔作業上の参考に資したいと考へる。

II 従 來 の 研 究

穿孔工程の理論としては、古く 1919 年 Gruber の回轉説¹⁾を始め、Gassen の楕圓説²⁾ Kocks の引張壓縮説³⁾、並びに Siebel の穿孔力學⁴⁾等の論文が發表され、各々その独自の觀點から穿孔現象を論じてゐる。穿孔工程を詳細に觀察すると、孔心發生工程と壓延工程との複合であることに氣がつく。ここに孔心とは孔になる核心とも謂ふ可きもので、水壓或は曲軸等の力によつて穿孔する場合は、回轉によつて穿孔する場合は、かゝるものは存在しないが、この孔心が發生し、プラグの喰込みを容易にする。従來の論争點となつたのは、この孔心發生現象である。今ここにその概論を記述する。

1. Gruber の回轉説

Gruber は加熱した丸鋼片を回轉する場合、力の作用部即ち周邊部の分子は、中心部の分子より相對的に速い角速度にて回轉し、



第 1 圖

第 1 圖に圖示せる如く内部に孔心を發生すると論じた。

2. Gassen の楕圓説

* 滿洲住友金屬工業會社鋼管製造所

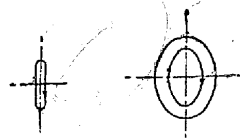
¹⁾ Stahl und Eisen 1919. 4. Sept

²⁾ Stahl und Eisen 1921. 8. Dez.

³⁾ Stahl und Eisen 1927. 17. März

⁴⁾ Stahl und Eisen 1927. 13. Okt.

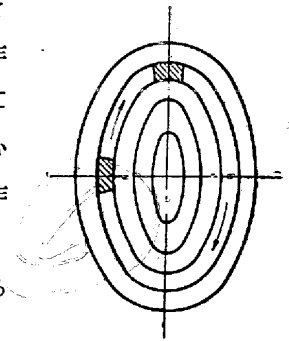
Gassen は回轉してゐる丸鋼片の横斷面の各分子は楕圓軌道を運行し、而してこの軌道の楕圓率(長軸と短軸との比)は、周邊部より中心部に進むに従ひ漸次大きくなり、而して中心にて相隣接せる二つの分子は相反する移動を存し罅裂を起し、孔心を發生すると論じてゐる。



第 2 圖

3. Kocks の引張壓縮説

Kocks は横斷面を第 3 圖の如く輪の集合と看做し、各輪の一片の回轉中に受ける作用を觀察して見るに、引張壓縮の作用を 90 度回轉毎に交互に受けてゐる。且これ等の輪の中で中心に近いものは、この引張壓縮作用の轉換度が大きくなるので、ここに罅裂を生じ孔心を發すると論じてゐる。

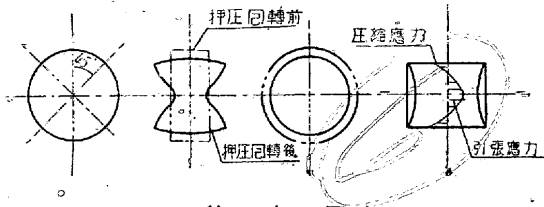


第 3 圖

4. Siebel の穿孔力學

Siebel は丸鋼片の兩側より力を加へると、作用線に對して 45 度の方向に主剪斷應力が生じ、罅裂が起ることを指摘し、尙壓力を與へ乍ら回轉すると、兩端平面をなしてゐる圓堵が、中心部の凹んだ鼓型に變形する現象より、彼は周邊部の分子は相互に壓縮應力を受け、中心部の分子は相互に引張應力を受けてゐることを推論し、ここに孔心を生ずると論じた。

孔心發生現象に對しては記述の如く既に數名の學者が各々の觀點から論じてゐる。而して Gruber 以外の諸氏の論は吾人の首肯し得るもので、これ等の論を以てつ孔心發生



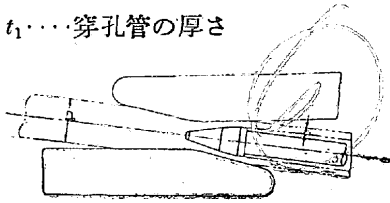
第 4 圖

の現象を觀念的に理解することが出来る。

壓延工程に對しては Siebel のみが言及し、通常鋼片壓延式を採用し、次の如き穿孔理論式を發表してゐる。

$$N_c = V \cdot k_f \cdot \ln(D_0/2t_1) \dots \dots \dots (1)$$

- ここに N_c …… 理論的仕事量
- V …… 管材の容積
- k_f …… 變形抵抗
- D_0 …… 管材の外徑
- t_1 …… 穿孔管の厚さ

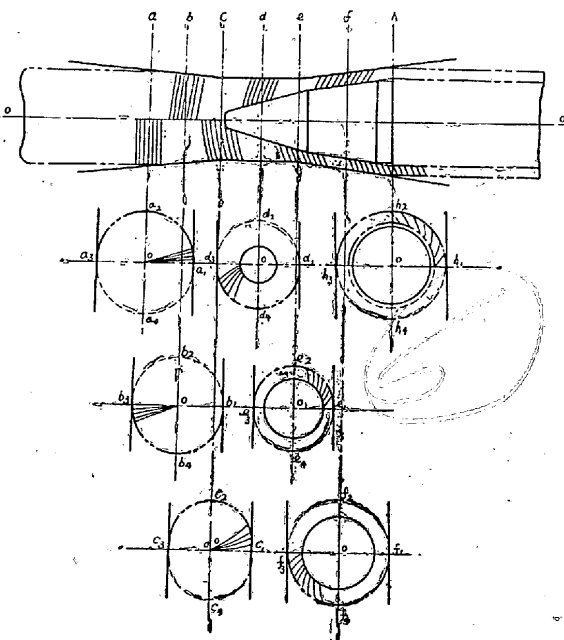


第 5 圖

以上が熱間に於ける回轉に依る穿孔作用に對しての從來の主なる論文の概要である。

III 穿孔工程中の壓延工程に對する 考察及びこれに基く穿孔式

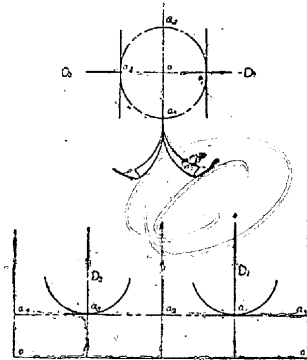
穿孔工程中の壓延工程は、普通の壓延と趣きを異にしてゐる。普通の延壓に於ては、被壓延物の各部分はロールを



第 6 圖

通過する瞬間連続的に壓延されるのであるが、穿孔工程の壓延は、ロールを通過する間に數回の壓延が断續的に行はれるのである。即ち穿孔機を通過する場合、たとひ一對のロールを通過するのであつても、被壓延物は數對のロールを通過して、壓延されてゐると看做されるのである。今穿孔工程中の断續壓延工程を圖解して説明を進める。

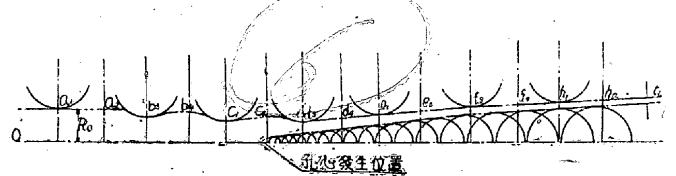
第 6 圖中の上方は、穿孔状態の水平横断面であつて、下方は各點に於ける垂直横断面を表はしてゐるものである。



第 7 圖

今ここに材料の一部分（陰影の部）を考へるに、 a に於ける陰影部は半回轉して b の陰影部に移行し、更に半回轉して c の陰影部に移動する。以下順次に半回轉毎に壓延を受けて最後に所要の厚さの管壁を形成するのである。更に断續壓延工程を説明するために、第 7 圖の如く展開して見る。

第 7 上圖の a_4-o 線より截り開き、(この場合材料の中心部 o は任意に伸び得るものとする) 材料周邊部とロールの表面との相對關係を維持しつつ展開すると、第 7 下圖の如くなる。この方法を穿孔壓延工程全般に互り採用すると、第 8 圖の如く表現され、ここに断續壓延の實相を理解



第 8 圖

し得るのである。

尚この場合プラグは連續案内ロールの役目をなし、既述の孔心發生は壓延喰込みを容易ならしめるに、大きな役割をなしてゐることが理解出来る。

次に穿孔仕事に關する方程式を検討して見る。曩に Siebel は穿孔理論式として (1) 式を提唱してゐるが、著者は第 8 圖より判斷して次の式が妥當と考へる。

$$N_c = V_0 \cdot k_f \cdot \sum \ln \varphi \dots \dots \dots (2)$$

茲に $\sum \ln \varphi = \ln \varphi_{a_1} + \ln \varphi_{b_3} + \ln \varphi_{c_1} + \ln \varphi_{a_3} + \dots + \ln \varphi_{n_1}$

$\ln \varphi_{a_1}$ は a_1 に於ける變形度

$\ln \varphi_{b_3}$ は b_3 に於ける變形度

$\ln \varphi_{c_1}$ は c_1 に於ける變形度

.....

.....
 $\ln\phi_{h_1}$ は h_1 に於ける變形度

而して $\sum \ln\phi > \ln(D_0/2t_1)$ である。なぜなれば穿孔壓延に於ては、第8圖に表れてゐる如く、例へば b_3 を通過した厚さよりも、次の c_1 に喰込まれる際の厚さの方が、遙かに大きいからである。

次に V_0 は見掛の容積として $V_0 = 2R_0^2\pi \cdot L_0$ で表す可きである。

R_0管材の半径

L_0管材の長さ

今丸鋼片に兩側より壓力を與へつゝ回轉せしめる時周縁部の各點は1回轉に付き2回壓延作用を受けるが、中心部は始終壓延作用を受けて居る。従つて被壓延物の丸鋼片の横斷面積は、壓延作用の觀點より見ると、 πR_0^2 に非ずして、圓周の長さと、半径とよりなる矩形と看做す可きで、即ち $2\pi R_0^2$ となる。よつて式中的見掛の容積は上記の通り $2R_0^2\pi L_0$ でなければならぬ。

結局(2)式は次の如くなる

$$N_t = k_f \cdot 2R_0^2\pi L_0 \cdot \sum \ln\phi \dots\dots\dots (3)$$

これ著者の解析より誘導した穿孔理論式である。今式中の $\sum \ln\phi$ を求めるのは相當煩雜である故、 $\sum \ln\phi = c \ln(D_0/2t_1)$ を代入すると

$$N_t = c \cdot k_f \cdot 2R_0^2\pi L_0 \cdot \ln(D_0/2t_1) \dots\dots\dots (4)$$

よつて理論穿孔動力式は

$$HP_t = N_t/s = c \cdot k_f \cdot (2R_0^2\pi L_0/s) \cdot \ln(D_0/2t_1) \dots\dots\dots (5)$$

ここに s穿孔時間

$$HP_p = k_f \cdot (2R_0^2\pi L_0/s) \cdot \ln(R_0/t_1) \cdot (1/75 \times 10^3) \dots\dots\dots (6)$$

HP_p基準穿孔馬力kg・m/s

k_f變形抵抗kg/mm²

R_0管材の半径mm

L_0管材の長さmm

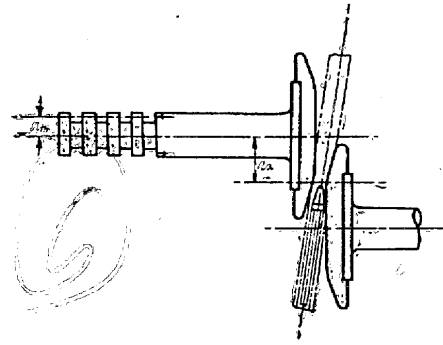
s穿孔時間s

t_1穿存管の厚さmm

$2\pi R_0^2 L_0$見掛けの容積mm³

$\ln(R_0/t_1)$基準變形度

今穿孔機の所要馬力を検討するに、穿孔に要する馬力と共に、穿孔中ロール(或はデスク)シャフトカラーの受けるスラストに消費する馬力を考慮しなければならない。このスラスト消費馬力の大きさを式で表はすと(第9圖参照)



第 9 圖

$$HP_{th} = HP_p \cdot (r_{th}/r_a) \cdot (\mu_{th}/\mu_a) \dots\dots\dots (7)$$

となる。

ここに HP_{th}スラスト消費馬力

r_a回轉軸心より穿孔作用點に至る距離 (300mm)

r_{th}回轉軸心よりスラスト面中心に至る距離 (120mm)

μ_a穿孔作用面の摩擦係數 (0.4)

μ_{th}スラスト面の摩擦係數 (0.1)

括弧内の數値を採用すると次の如くなる、

$$HP_{th} = HP_p \times 0.1 \dots\dots\dots (7')$$

次に穿孔馬力係數 n_p に就て考究して見る。

$$n_p = HP / (HP_p + HP_{th}) \dots\dots\dots (8)$$

ここに HP實際に消費する平均馬力

n_p は D_0/D_1 の函數なることは想像に難くない。なぜなれば穿孔管の外徑を小さくするためには、穿孔デスク(或は穿孔ロール)の間隙を狭める故に、これを通過する材料は孔心發生工程中に於て、その橢圓率が大きく、従つて(5)式中の $c (= \sum \ln\phi / \ln(D_0/2t_1))$ の値が大きくなる。又一方 $D_0/D_1 < 1$ なる場合材料外徑よりも穿孔管外徑が大なる場合は、 n_p は變形度 $\ln(D_1/D_0)$ と共に増大することが想像され。結局 n_p は $\ln(D_0/D_1)$ の函數となる。

$$n_p = 1 + f\{\ln(D_0/D_1)\} \dots\dots\dots (9)$$

上式中の $f\{\ln(D_0/D_1)\}$ の形は、今後の實驗によつて明確にしたい、但し $\ln(D_0/D_1)$ を採用するか、或は $\ln(D_1/D_0)$ を採用するかは、前述の事項により常に+の値を探らしむる如く選擇するを要する。

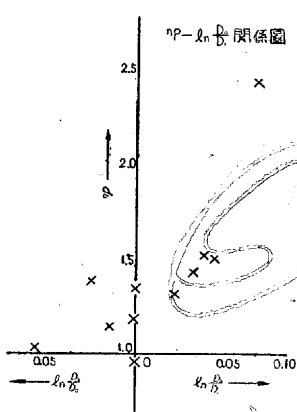
(9)式に於て $\ln(D_0/D_1) = 0$ 、即ち $D_0 = D_1$ の場合が n_p が最小値をとることが背かれる。

第1表は 0.15~0.30% 炭素鋼の各寸法に對しての實驗數値並びに計算である。

第 1 表

期日	材 料		穿孔動力馬力 HP	穿孔時間 s	穿孔管		見掛容積 $V_0 \cdot m^3 = 2R_0^2 \pi \cdot L_0$	$\ln \frac{R_0}{t_1}$	變形抵抗 k_f kg/mm ² (1200°Cに於て) * 15	基準スラッシュ消費馬力 HP_p	穿孔馬力係數 $n_p = \frac{HP}{HP_t + HP_{th}}$	$\frac{D_0}{D_1}$	$\frac{D_1}{D_0}$	$\ln \frac{D_0}{D_1}$	$\ln \frac{D_1}{D_0}$
	外徑mm	長さmm			外徑mm	厚さmm									
2-14	95	1500	965	8.6	92	13.8	0.0213	1.235	612	61.2	1.43	1.031		0.0306	
2-17	85	1000	953	5.0	81.5	9.8	0.01135	1.469	666	66.6	1.50	1.043		0.042	
2-22	85	1000	932	6.8	82	8.0	0.01135	1.6696	556	55.6	1.52	1.037		0.0362	
2-25	85	1000	794	6.0	83	9.9	0.01135	1.4586	550	55.0	1.31	1.025		0.0205	
2-27	95	1340	847	6.4	95	11.3	0.01800	1.4351	807	80.7	0.96	1.000		0.000	
3-5	110	1740	1126	7.8	116	17.1	0.0331	1.1694	990	99.0	1.03	0.949	1.054	—	0.0526
3-6	110	920	1340	5.8	112.5	12.8	0.0175	1.4586	885	88.5	1.38	0.9775	1.023	—	0.0206
3-9	110	1200	1232	5.0	112	16.7	0.0228	1.2119	1107	110.7	1.014	0.982	1.018	—	0.0138
3-12	120	900	1340	6.0	120.5	13.14	0.0204	1.5665	1032	103.2	1.18	0.996	1.006	—	0.0057
3-16	140	740	1610	6.8	140	13.7	0.02285	1.6292	1095	109.5	1.34	1.000	—	0.000	—
3-31	85	800	1286	6.6	79	7.34	0.0091	1.7561	484	48.4	2.42	1.076	—	0.0634	—

* 池島俊雄：鐵と鋼 第 28 年 第 11 號



第 10 圖

第 10 圖は $n_p - \ln(D_0/D_1)$ の關係圖である。

IV 總 括

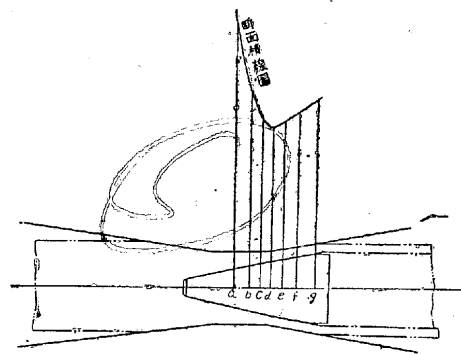
Siebel が示した穿孔式は、吾人をして釋然たらしめなかつたので、著者は新しい觀點より穿孔理論を説き、これに準據した穿孔動力式

$$HP = \left\{ 1 + f \left(\ln \frac{D_0}{D_1} \right) \right\} \left(k_f \frac{2R_0^2 \pi L_0}{S} \cdot \ln \frac{R_0}{t_1} \cdot \frac{1}{75 \times 10^3} \right) \left(1 + \frac{r_{th} \cdot \mu_{th}}{r_a \cdot \mu_a} \right)$$

を求めた。而して實驗値と合理的に符合することを證し、これが幾分たりとも穿孔機の設計、穿孔作業上の判斷の基準となれば幸甚である。

V 附 記

穿孔動力式中の穿孔時間 s の決定を如何にするかに就て説明を附加する。第 11 圖は穿孔機に於けるデスク(ロール)とプラグとの間の關係位置の一例で、この段取りは穿孔管の所要寸法に對して自ら決定さる可きものである。今、圖に關して考究するに、各断面に於ける流れ速度は、その斷面積に逆比例し、而してデスク(ロール)の速度と一致する個所は、流れ速度中の最大を示すところであると推定し得る或る段取りに於けるデスク-プラグ間の斷面積(この場合外徑は、計算の便宜上兩デスクの間隔を以つて、これと看做す)を算出し、最小斷面積の個所を決定し、ここに於ける流れ速度の大きさに、デスク速度の大き



第 11 圖

さ(デスクが材料と接觸せる個所の速度の大きさ)を代入採用すれば、次式により穿孔時間を計算することが出来る。

穿孔時間 = 材料の容積 / 最小斷面積(段取圖より測定) × デスクの前進分速度

次にこれに關しての實驗値を掲げて參考に供す。

- 測定期日 昭和 18 年 2 月 25 日
- 製品寸法 外徑 52mm × 厚さ 6.5mm
- 材料寸法 外徑 85mm × 長さ 1000mm
- 測定穿孔時間 $s \dots 6.0s$
- 材料容積 $V \dots 567\ 5000mm^3$
- 最小斷面積 $1166mm^2$ (段取圖より)
- デスクより受ける前進方向の速度 v_f

$$v_f = r_a \frac{2\pi \cdot N}{60} \cdot \sin \theta$$

- 茲に $r_a \dots$ デスク中心より作用點に至る距離(300mm)
- $N \dots$ デスクの rev/mn (126rev/mn)
- $\theta \dots$ 作用點に於ける圓周速度方向角

$$(\sin \theta = \frac{63.5}{300} = 0.212)$$

$$v_f = 300 \times \frac{2\pi \times 126}{60} \times 0.212 = 796mm/s$$

計算上の穿孔時間 s_0

$$s_0 = \frac{567\ 5000}{1166 \times 796} = 6.1s$$

測定穿孔時間 s と、計算上の穿孔時間 s_0 を比較するに良く一致してゐることを以て、豫め行なつた推定の妥當なることが首肯される。