

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 (II)

(ロール間隔及び芯金直径の影響)

(昭和 27 年 4 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 TUBES
BY THE STIEFEL-MANNESMANN PIERCING MILL (II)*Katsuro Inouye and Makoto Kato*

Synopsis:

By the actual use of the Stiefel-Mannesmann Piercing Mill, the authors studied the effects of both the gorge distance and the diameter of plug upon the state of piercing phenomenon from various points of view. The variations of the gorge distance and the diameter of plug were from 69mm to 79mm and 65mm to 75mm respectively, the diameter of billets being 90mm. The results obtained were summarized as follows:

In case the gorge distance was decreased and the diameter of plug (i. e. the degree of deformation) increased,

- (1) The outside diameter of tube remained almost constant, but the thickness of tube increased linearly.
- (2) The twist of tube surface increased.
- (3) The power required increased: especially in case of higher degree of deformation, extraordinary power consumption was observed.
- (4) The axial moving speed of tubes during piercing decreased, but it increased at the latter stage of piercing owing to the elongation of tubes, and at the outlet of the mill it increased together with the degree of deformation.
- (5) The revolving speed of tubes during piercing decreased.
- (6) The reduction rate and speed in the piercing process increased.
- (7) The cracks that appeared on the inner surfaces of tubes increased when the round billets were good in quality. But no difference was appeared when the billets were of excellent quality.

I. 緒 言

第1報¹⁾で2つのロールの傾斜角の影響を述べたが、本報に於てはロール間隔及び芯金直径の影響について述べる。

第1圖は穿孔變形過程の水平断面及び垂直断面であるが、此の圖から明かな様に、ロール間隔及び芯金直径の變化はパイプの肉厚を變化させる。之が實際作業に於て先づ第1に狙う點であるが、之と共に變形狀況に如何なる變化が現はれるであらうか。本報告は此の點を第1報と同様の手段により明かにしたものである。

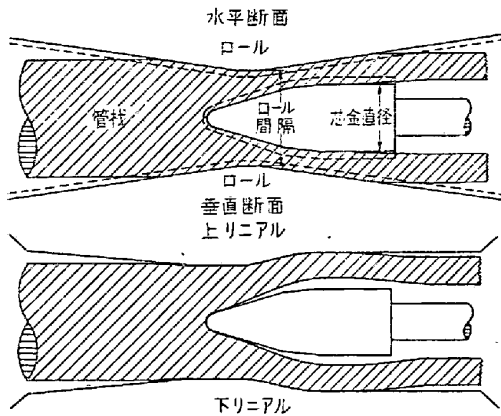
II. 實 験 方 法

實驗に用いた穿孔機及び試験管材の撰擇法及びその使用區分等第1報と同様であるから省略する。ただ今回は良質均一な材料として表面を機械仕上げした低炭素キルド鋼を追加した。管材直径はすべて 90mm である。

ロール間隔と芯直径は第1表の組合せを選んだ。その他の實驗條件は次の通りである。

抑え板間隔 91mm

* 日本特殊鋼管株式會社



第1圖 穿孔變形過程

第1表 實驗條件

ロール間隔mm	69	72	76	79
芯金直径mm				
65			○	
70	○			
73		○		
75			○	○

ロール傾斜角 7° 1/2
 芯金位置 先端がロール中心より約 30mm 前方
 穿孔温度 1240°C~1280°C (平均 1255°C)
 右爐時間 1 2/3h~2h

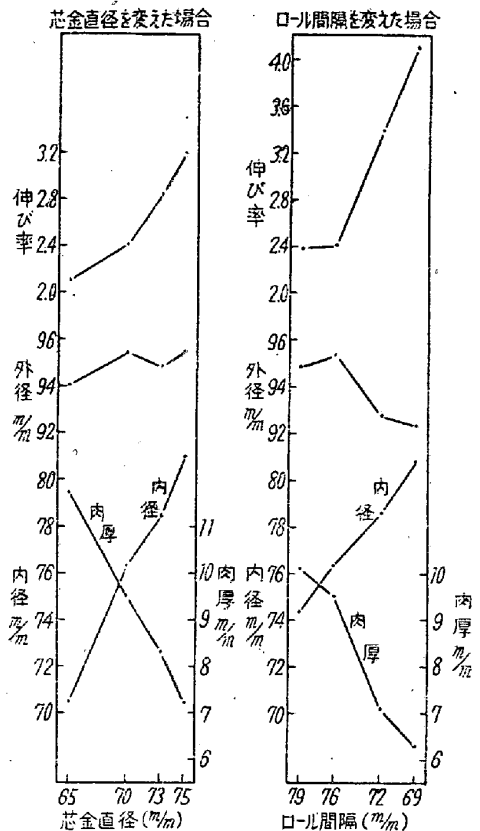
III. パイプ寸法の變化

各条件によるパイプの寸法變化は第2圖に示す通りである同圖に示した値は次の様にして求めた。外徑は各条件 10 本のパイプについて1本3ヶ所づつ合計 30 ヶの測定値をとつてその平均値を求めた。内徑は各条件から1本づつ撰び之を8ヶ所で輪切りにして測つた値の平均値をとつた。肉厚は此の外徑と内徑の平均値の差の 1/2 として求めた。

此の結果によると、肉厚はロール間隔の減少或ひは芯金直径の増加に對しほぼ直線的に減少する。尚各条件について得た肉厚の値は第1圖に於けるロールと芯金の最狭間隔の値と殆んど一致する。即ちロール間隔と芯金直径を撰ぶ事によつてパイプの肉厚は決定され、その値は圖面上から求めた値に殆んど等しい。次にパイプ外徑は芯金直径の増加或ひはロール間隔の増加と共に幾分大きくなるが、その變化は僅かである。内徑及び伸び率は以上2つの値から自然に決定し、當然直線的變化を示す。

IV. 主變形及び表面の捩れの變化

穿孔過程に於ける3方向の主變形(切線方向、肉厚方



第2圖 穿孔條件に依るパイプ寸法變化

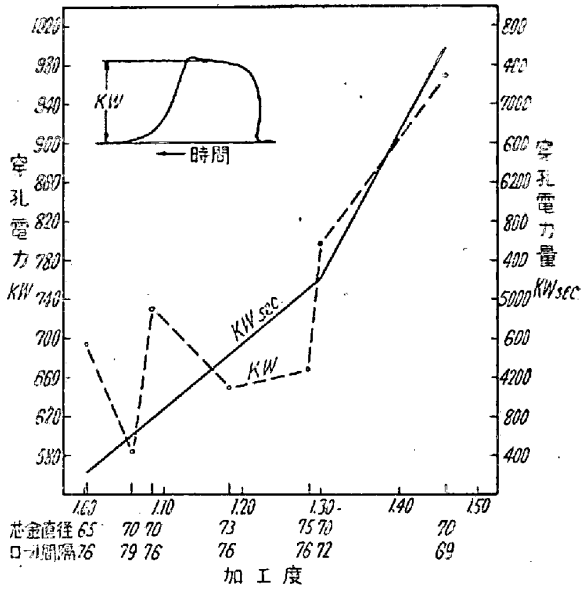
向及び軸方向の變形)の變化を各条件の場合について調べた結果次の事がわかつた。切線方向の變形は条件をかへても殆んど變化がない。之は外徑があまり變化しない爲に平均半径の變化も小さいからである。之に對し肉厚方向及び軸方向の變形は前節の結果から豫想される如く明かに差がある。此の差は穿孔過程では穿孔後半で著しく表はれるようである。

次にパイプ表面の捩れはロール間隔の減少或ひは芯金直径の増大と共に大きくなる。即ちどちらの場合も芯金とロールの間隔が狭まるわけであるから、そこを通過する抵抗が増加して捩り作用が効いてくるものと考へられる。いづれにしても捩れの大きい事はパイプ品質上好ましくないからロール間隔の減少と芯金直径の増大は品質上不利である。

以上2つの測定結果の圖示は省略するが穿孔過程に於ける變化の模様は第1報の第4圖と大體同一である。

V. 所要動力

記録電力計を用いて穿孔機モーターの動力を測定した結果は第3圖である。モーター動力は勿論機械損失、變形損失等を含んだ仕事量であるが、之等の損失は各条件で一定と一應考へれば之により變形仕事量を比較する事



第3図 加工度と電力及び電力量との関係

ができる。

第3図の横軸は加工度という量を用いているが、之は次式で表はされるものである。

$$\text{加工度 } \varphi_{rm} = 1/2 \left[\log \frac{F_0}{F_1 - f} + \frac{F_1}{F_1 - f} \times \log \frac{F_1}{f} + \log \frac{f}{F_1 - f} \right]$$

F_0 ... 管材断面積

F_1 ... パイプ外周でかこまれる面積

f ... パイプ内周でかこまれる面積

此の量は Siebel が提唱した²⁾ものであつて、若し變形の間變形抵抗が一定ならば變形仕事量 A と次の関係がある。

$$A = K_f \cdot \varphi_{rm} \cdot V$$

但し V は變形に與つた容積である。一般にロール間隔を減少した芯金直径を増大させると加工度 φ_{rm} は上昇する。第3図にはロール間隔及び芯金の値を併記してある。

電力計に記録される動力曲線は第3図上部に例示した様な形である。此の曲線の圍む面積が電力量(仕事量)である。加工度と電力量の間には高度の相関があり、圖に記入した直線は回歸直線である。但し、Siebel の算式によれば電力量と加工度は全範圍にわたり比例する筈であるが、實驗結果は加工度の増加と共に電力量の上昇が著しくなつてゐる。此の理由は加工度の増加と共に異狀變形による變形効率の低下と、至速度の上昇による變形抵抗の上昇を生ずるからである。

電力(動力)は電力量を穿孔所要時間で割つた値に相當するが、實驗結果によると加工度との相関は乏しい。穿孔時間は芯金及びロールの表面狀況等に左右され易い

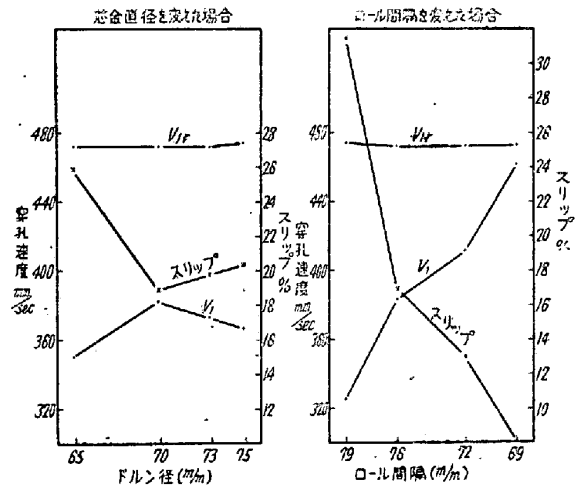
爲に加工度に著しい差がない限り之等の影響の方が強く表はれるためである。

VI. 穿孔速度及びスリップ

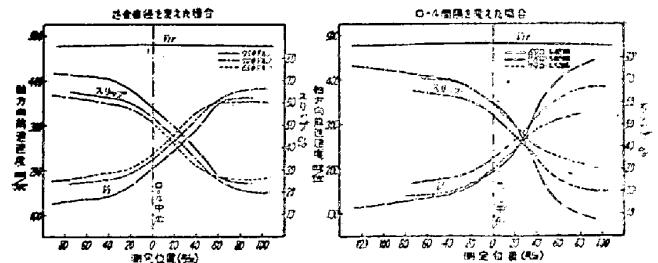
窓孔中のパイプの速度を軸方向の前進速度と之に直角な方向の回轉速度とにわけて考へる。穿孔機を出る瞬間の兩者の値は實測する事ができる。又穿孔途中止め試料をつくる事によつて之から穿孔過程の各點に於ける夫々の値を求める事ができる。その方法は第1報に述べてある。

(1) 前進速度

先づ穿孔機出口に於ける値を第4圖に示す。芯金直径及びロール間隔を變化させても、理論値即ちロール表面速度は變化しないが、之に對してパイプの實際の速度は圖の様に變化する。即ち概してロール間隔を狭め或いは芯金直径を大きくすると前進速度が増加し従つてスリップは低下する。その程度はロール間隔の場合は著しいが芯金直径の場合は左程著しくない。此の間の事情を明かにするには穿孔過程中の變化を見なければならぬ。



第4圖 出口軸方向前進速度と穿孔條件



第5圖 穿孔中の軸方向前進速度の變化

第5圖は穿孔過程に於ける各値の變化を示したものである。穿孔過程中的の前進速度は穿孔入口では小さく出口に向うと共に上昇する。従つてスリップは入口では60~80%あり、出口では10~30%になる事は第1報で

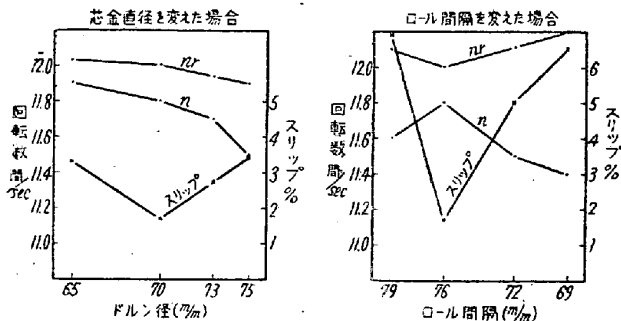
述べた通りである。

先づ芯金直径の變化に伴なる變化を見ると、芯金直径が大きい程ロールとの間隔が小さくなるから、パイプの前進が妨害される。それに対してパイプを前進させようとする力は、主として穿孔機前半に於けるロールと管材の接觸面と與へられるわけであるが、此の接觸長さは芯金直径をかへても變らない。従つて芯金直径が大きい程穿孔入口に於ける前進速度は小さい。穿孔の進行と共にロールと芯金の間隔の壓延によつてパイプが伸びるから前進速度は遂次上昇する。芯金直径が大きい程伸び率が大きいから見掛け上の前進速度が増加し曲線が入れ替る事になる。此の爲第4圖では芯金直径 70mm の所に前進速度の山を生じている。

ロール間隔を變へた場合も同様の現象が現はれる。但し此の場合はロール間隔を狭めると、ロールと管材の接觸長さが増加する爲に前進力が増大する。従つてロールと芯金の間隔の抵抗増加を或る程度打ち消す事になる。その結果第5圖に見る如くロール間隔をせばめても穿孔入口の前進速度は必ずしも簡単に低下するわけではない。その上穿孔中の伸び率の増加が芯金直径を變へた場合よりも著しい。その結果第4圖の如く穿孔機出口ではロール間隔を狭めると共に著しく前進速度が増加している。

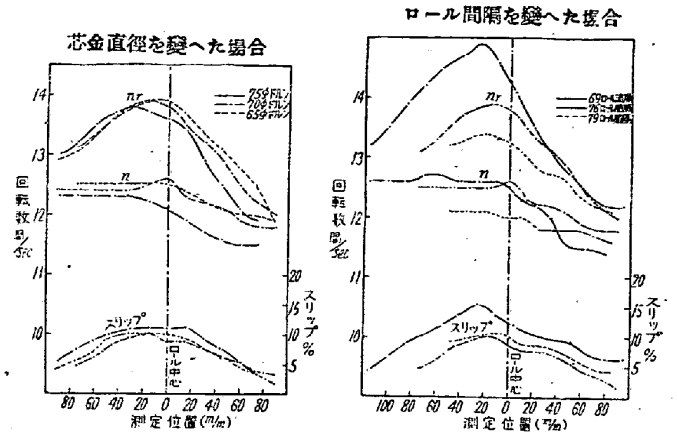
(2) 回轉速度

回轉速度についての狀況は第6圖及び第7圖に示す通りである。回轉速度の理論値(ロール表面と共に回轉すると考へた場合のパイプの回轉數)は前進速度とちがつて、芯金直径及びロール間隔をかへると變化する。特にロール間隔をかへた場合の穿孔過程中的値はかなり變化がある。



第6圖 出口回轉數と穿孔條件

先づ芯金直径を變へた場合を考へると、穿孔出口での値は芯金直径が大きい程低下している。その過程を第7圖について見ると、穿孔前半では各条件の場合共あまり差はなく、芯金直径による低下は穿孔後半で生じている。芯金直径を變へても、理論回轉數は穿孔前半ではあ



第7圖 穿孔中の回轉數の變化

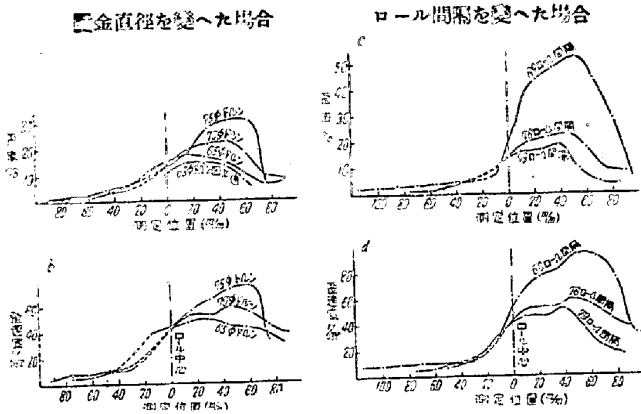
まり變化がないから實際回轉數も差を生じない。穿孔後半になると前進速度の場合と同様にロールと芯金の間隔の抵抗が増加するから實際回轉數の低下は芯金直径が大きい程著しい。又低下が早くから生じている。ただ前進速度の場合には穿孔後半に於けるロールと芯金の間隔の抵抗の影響が穿孔前半に迄及んでいたが、回轉速度の場合には振れを生ずる事により逃げられるから、後半に於ける抵抗の増加の影響が後半に迄波及していない。

ロール間隔を變へた場合は間隔が狭い程理論回轉數が大きい。それに應じて實際回轉數も穿孔前半ではロール間隔が狭い程大きい。穿孔後半になると、前と同様芯金とロールの間に於けるパイプの回轉の妨害が、ロール間隔を小さくする程大きくなるから、回轉速度の低下はロール間隔が小さい程著しく、曲線の順序が入れかわる。その結果第6圖に見る如く出口ではロール間隔 76mm の所に回轉數の山が現われている。

VII. 穿孔中の歪率と歪速度

芯金先端で管材に孔があき始めてからあとの穿孔變形は芯金とロールとを2つのロールとする連続壓延と考へうる事を第1報で述べた。今回も此の考へ方に従つて、穿孔過程に於ける歪率の分布を途中止め試験材から求め次にそれを夫々の位置に於けるパイプの回轉速度でわつて歪速度を求めた。芯金直径及びロール間隔を變へた場合の此等の値を併記したのが第8圖である。曲線の形及び數値は第1報と大體同様であつて、穿孔後半部で歪率及び歪速度が上昇し、特に歪速度の値は壓延としては非常に高い値に達する。

芯金直径の増加及びロール間隔の縮少は歪率及び歪速度の上昇を伴なう芯金直径或いはロール間隔をかへるとロールと芯金の間隔は相似形に變化するので、圖面通り變形が行われるならば歪率或いは歪速度は大體相似形に



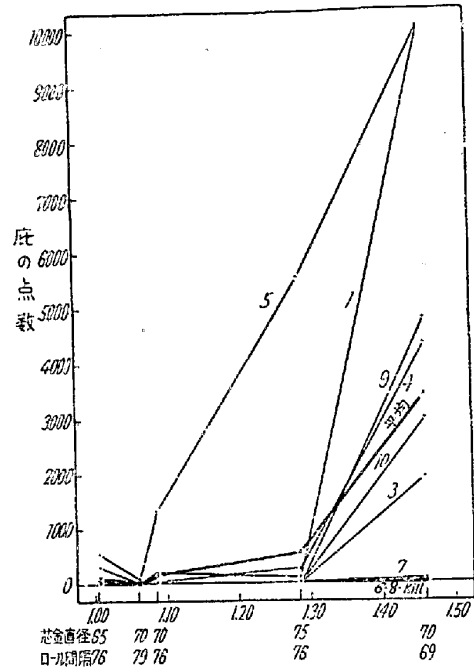
第8圖 穿孔中の歪率と歪速度

變化する。第8圖 (a) には圖面上から計算した歪率の1例が記入してある。之を見るとわかる様に芯金直径65mmの場合は圖面から計算した値と殆んど一致した歪率分布を示している。芯金直径を増加し或いはロール間隔を減少すれば歪率は増加するのであるが、第8圖の結果は單に相似的に増加するだけでなく、穿孔後半に於て異常な増加を示している。之は何によるかといふと、主として上下の抑へ板によつてパイプを無理に抑へ付ける爲に壓延間隙を出たパイプが次の壓延間隙にはいる前に肉厚が増加してしまう爲と考へられる。又芯金とロールの間隔を非常に狭くした時は、此の壓延間隙の抵抗が大きすぎて間隙の入口でパイプ肉厚の局部的なプールを生ずる場合もある。此の様な變形はすべて無理な變形であるから、パイプ割れ疵の發生について不利である事は明かである。ロール間隔を狭めた場合も上記の芯金直径を増加させた場合と全く同様に説明できる。

VIII. 割れ疵の發生

(1) 内面割れ疵: 第1報と同様の方法を用い、10本の長い管材を分割して各穿孔條件に夫々全部分配した。従つて同一管材を各條件で穿孔したものと見做して、穿孔後パイプを酸洗切開して、内面の疵を詳細に調査した。内面割れ疵は口を開いた割れと表皮の下で割れたフレ疵と2種あるが、特にその程度によつて微、小、中大の4級に分け、各級による係數にその疵の長さをかけて疵の點數とした。従つて1本のパイプで點數が高い程疵が多いわけである。

第9圖は加工度を横軸にして10本の管材について内面割れ疵の點數を示したものである。一般にロール間隔を狭め芯金直径を大きくして加工度を増すと共に疵が増加する。第1報と同様此の場合も管材の良否の影響が著しく、今回の實驗範圍ではどの條件で穿孔しても割れ疵を發生しない管材もあり、又ある管材は少しの條件の變



第9圖 加工度と内面疵との關係

化により敏感に疵を發生した。そして今回實驗した低炭素リムド鋼については硫黄の偏析の良否が疵の發生率と大體對應しているようである。結局良質の管材を用いれば加工度をかなり高めても内面割れ疵は發生しないが管材が悪いと加工度が高い程割れ易い。

加工度が高いと内面割れを生じ易い理由として次の2點を考えよう。

イ) Ⅲ節で述べた様に加工度が高いと穿孔後半で異常變形を伴つて歪率速度共に高くなる。従つてその場合管材に無理な剪斷力が働いて割れを生じ易い。

ロ) Ⅴ節で求めた穿孔速度のデータを用いて穿孔中の管材表面の軌跡を求めてみると次の特徴が認められる。即ち管材がロールにあたり始めてから芯金先端につきあたる迄に經過する回轉は加工度が高い程多い。例へば芯金直径70mm、ロール間隔79mmの場合はその回轉數が3.0回であるのに對し、芯金直径70mm、ロール間隔69mmの場合は9.5回となる Siebel²⁾が指摘した如く、管材はロールによる横壓縮で内部が崩壊するから、ロール噛込みから芯金先端迄にうける回轉數が多ければそれだけ内部の弱點が餘計に崩壊している。加工度が高い場合は此の現象とイ)の理由による芯金とロールの間の無理な壓延と相まつて内面割れ疵の發生が多いのであろう。

(2) 外面割れ疵: 今迄に述べた諸變化、特に加工度と共に擦れと回轉方向のスリップとが増加する點から考へて、加工度を高くすると外面割れ疵も發生し易いと考

へられる。しかし今回管材表面に $2 \times 2\text{mm}$ の人工條疵をあけてをいて比較した結果ではあまり明瞭な結論は得られなかつたので斷定を差し控へる。

IX. 總括

スチーフエル・マンネスマン式穿孔機に於て、ロール間隔及び芯金直径を實用上可能な範囲内で變化させ、穿孔狀況の差を調べた所、主な事項として次の様な事がわかつた。

ロール間隔を狭くし、芯金直径を大きくする、即ち加工度を大きくすると共に、次の變化がおこる。

(1) 出来るパイプの寸法は、外徑は殆んど變化がなく、肉厚は直線的に減少し、内徑は直線的に増加し、伸び率は直線的に増加する。

(2) 表面の振れは大きくなる。

(3) 主變形の狀況は、切線方向は差がないが、伸び方向と肉厚方向は差がある。

(4) 所要動力は勿論上昇する。加工度が比較的低い間は理論通り加工度に比例するが、加工度が高くなると附加的變形を伴う爲に動力の上昇が著しくなる。動力のピークも加工度と共に上昇するが、せまい變化範囲では明瞭ではない。

(5) 穿孔中の前進速度及び回轉速度は共に低下する。しかし穿孔後半では伸びの爲に前進速度は上昇し、穿孔出口では逆に前進速度は加工度が大きい程高い。

(6) 穿孔中の各位置に於ける歪率及び歪速度は上昇する。特に穿孔後半部では無理な變形の爲に異常な上昇がある。

(7) パイプの内面割れ疵は發生し易くなる。管材が良質ならば實用範囲内では割れない事もあるが、不良だと敏感に増加する。外面割れ疵も同様の傾向と思われるが尙不明である。

以上を總括して、良質管材ならばロール間隔を狭くし芯金直径を大きくして穿孔する事により一舉に薄肉のパイプを作り得る點で有利であるが、その爲には管材が良質でなければならぬ。一般には管材材質の良否とバランスをとりつつ加工度を撰ばねばならない。

本實驗はすべて日本特殊鋼管本社工場に於て行つたものであつて、須永社長はじめ關係各位の御指導と御援助に厚く感謝の意を表する。(昭和 27 年 8 月寄稿)

文 献

- 1) 井上, 加藤: 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), 鐵と鋼, 昭和 27 年 6 月
- 2) E. Siebel: Die Formgebung in bildsamen Zustände, 1932.
- 3) E. Siebel: Grundsätzliche Betrachtungen zum Schrägwalz-Verfahren, Stahl u. Eisen, 1927

二、三の含 Ti 高温用鋼の諸性質について (II)

(昭和 27 年 9 月本會講演大會にて講演)

齊藤利生*

ON VARIOUS PROPERTIES OF SOME TITANIUM BEARING STEELS USED FOR HIGH TEMPERATURE. (II)

Toshio Saito

Synopsis:

Refer to the Report (I) (Nov. 1952 issue of Tetsu-to-Hagané)

VI. 高温材力の測定

各鋼種の高温特性を確める爲、茲では高温材力の測定を行つた。試験片の處理は何れも 900°C 空冷状態である。

(1) 高温抗張試験: 常温 $\sim 800^\circ\text{C}$ の各温度で抗張試験を行つた結果は第 7 圖に示した。測定結果によれば、Ni 鋼は 400°C 以上に於ける強度の低下が最も速やかで

* 株式會社日本製鋼所 室蘭製作所研究部