

論文

継目無鋼管のプレスロールピアサーせん孔
特性とプラグの損耗

© 1984 ISIJ

大貫 輝*・柴田 嘉基*・野田 勝利*²・中島 浩衛*³Experimental Study of Piercing Characteristics and Wear of Plugs
in Press Roll Piercer of Seamless Pipe

Akira OHNUKI, Yoshiki SHIBATA, Shōri NODA, and Kōe NAKAJIMA

Synopsis :

Plug life of PRP (Press Roll Piercer) process, in which a square bloom is directly pierced and rolled simultaneously, is strongly affected by its own shape. A plug with a sharp conical top thrusts through the solid material to get galled in the earlier stage by metal flow on its surface. On the other hand, a plug with dull top or a flat top has a longer life, since it is protected by dead metal induced in front.

As for plug material, conventional tool steel for hot metal forming is durable enough, only if surface scale layer is formed before use. The product quality is also influenced by plug shape. Especially dull one is advantageous.

1. 緒 言

継目無鋼管の製造におけるせん孔工程は、主として傾斜ロールを使用したクロスロール (CRP) 方式と、エアハルト方式がとられて来たが、最近、プレスロールピアサー (PRP 又は PPM) 方式が実用化された¹⁾²⁾。

この PRP は連続鋳造角鋼片 (CC 材) などを用い、せん孔と圧延を同時に行つて素管化する方式であり、使用されるプラグ工具は、白熱の鋳鋼片内を突き進む形態をとる。したがつて、プラグ表面は、圧力をもともなる完全なすべり摩擦を受けた状態で、せん孔時間に耐えなければならない。このような条件下のプラグ損耗に関する研究は、ほとんど見当たらないのが現状である³⁾。

本研究は、PRP 試験機を用いて、普通鋼、特殊鋼などの種々な鋼種と高合金のせん孔実験を行い、せん孔圧延の基礎特性と適正なプラグ材質ならびにその形状を明らかにしたものである。

2. 実験方法

2.1 実験装置

PRP 試験機は、板圧延用 2 重式試験圧延機に孔形ロールを使用し、圧延機前後にプッシャーと固定マンドレルを附帯させて改造したものである。試験機の概要を Fig. 1 に示す。ロールに、チルドロールを使用し、圧延

荷重は最高 30 t、押し込み速度は 165 mm/s で、いずれも定荷重定速運転が可能である。また、設定条件内でマンドレルスラスト荷重の変化を読むことができる。固定マンドレル受け装置は、最大 30 t の負荷に耐えるよう設計し、マンドレルバーは、耐座屈性を考慮して、2 段加工バーを使用した。せん孔時のガイドは、入側のみとし、出側はフリーである。

2.2 試験プラグの材質と形状

Fig. 2 および Table 1 に試験用プラグの形状と選定プラグの材質を示す。材質は、特に CRP のせん孔、熱押し用ダイス、エアハルト法などの、工具類から推定して、まず、せん孔中に素材と溶着しない高温高強度、耐摩

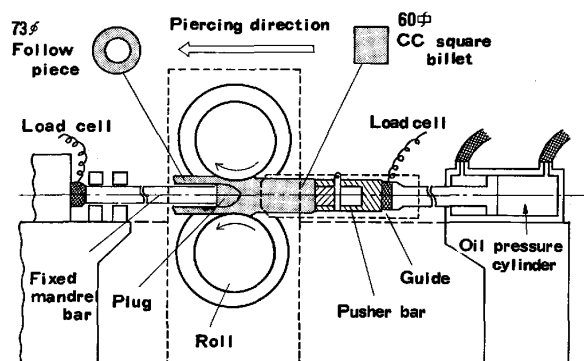


Fig. 1. Schematic view of Press Roll Piercer model mill.

昭和 58 年 3 月 17 日受付 (Received Mar. 17, 1983)

* 新日本製鉄(株)第三技術研究所 (R & D Laboratories-III, Nippon Steel Corp., 1-1 Edamitsu Yawatahigashi-ku Kitakyushu 805)

*² 新日本製鉄(株)八幡製鉄所 (Yawata Works, Nippon Steel Corp.)

*³ 新日本製鉄(株)第二技術研究所 工博 (R & D Laboratories-II, Nippon Steel Corp.)

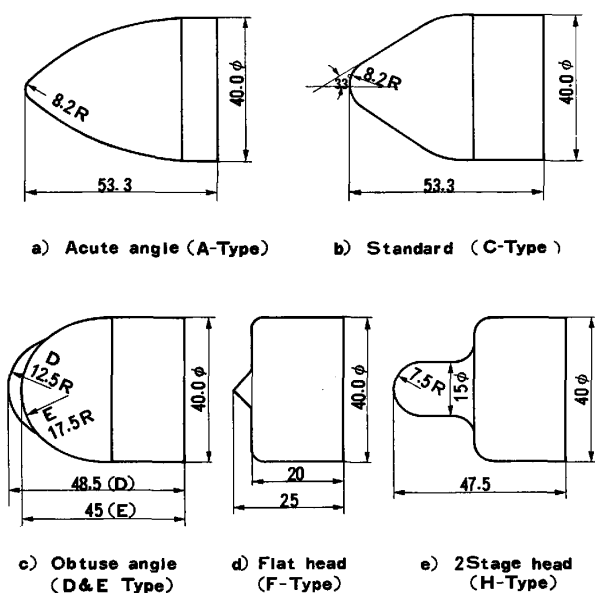


Fig. 2. Shape of test plugs.

Table 1. Tool materials of test plug.

Composition of test plug materials	Alloy tool steels
3Cr-Ni Type	Hot work tool steels (Chromium based) series
5Cr-Mo-V Type	
High Mo-Cr-Ni Type	Modified hot work tool steels (Tungsten and Molybdenum based series)
High W-Cr-Co Type	

耗性のものを対象とした。この場合、プラグ表面は、マグネタイト主体の酸化膜で覆う黒皮処理を行つたが、一部メタリック肌のプラグと対比するため、硬質クロムめつきを施したプラグの使用も加えた。これらプラグ材は、いずれも小型高周波炉で溶解鑄造し、加工熱処理を行つたものである。プラグ形状は、先端が若干鋭角化したC型を標準とし、更に先端を鋭くしたA型、鈍角化したD、E型、および平頭化したF型を準備し、また、2段階型(H型)も揃えた。

2.3 せん孔実験条件とせん孔素材

まず実験は、C型プラグを使用し、せん孔速度を20 mm/s から135 mm/sに変化させ、低速長時間せん孔、途中止めせん孔を行つて、その負荷諸特性とプラグ損耗への影響を調べた。この場合の押し込み荷重は、せん孔速度に影響されるが、2 t (プラグ断面荷重; 0.56 kg/mm²) から20 t (5.6 kg/mm²) まで変化させて行つた。これは、せん孔材料の1200°C前後における降伏応力が10 kg/mm²程度にあることを想定して設定したものである。せん孔素材は、低炭素普通鋼を標準とし、ボイラー用鋼管、ステンレス鋼などの特殊鋼素材の形状は60 mm角×300 mm長さとし、延伸率(せん孔後長さ/

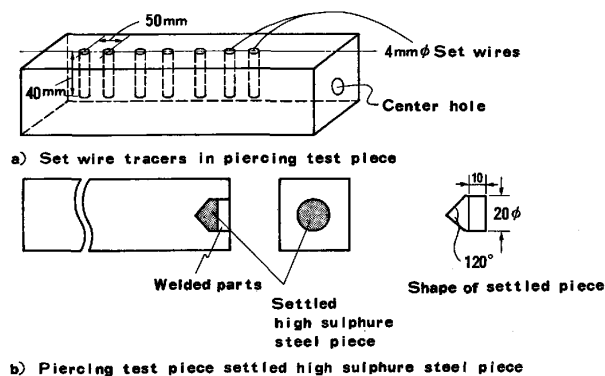


Fig. 3. Piercing test pieces for the experimentation of plug shape and metal flow.

素材長さ): λ は、素管の厚み: t と、素管外径: D の比、 $t/D=0.25$ 前後をねらい1.23を基準とした。また、プラグの径、素材断面およびロール孔形状を変えて、延伸率を1.75まで高めた実験も行つた。更に、特殊鋼、ステンレス鋼、スーパーアロイの一部のせん孔実験も加えた。なお、適正なプラグ形状を検討するために、プラグの形とせん孔中のメタルフローの状態をFig. 3に示すような試験材をせん孔して調べた。すなわち、素材のセンターホールに高S材の小片を埋め込み、溶接固着せしめたものと、せん孔方向に直角に鋼線を埋め込んだ試験材で、せん孔途中止めを行つて、プラグごと切断し、その断面を調査する方法をとつた。

以上のほかに、せん孔中のプラグ表面潤滑についても熱押し用ガラス系潤滑剤、黒鉛、塩類などの固体潤滑剤を、プラグに塗布、あるいは先端に埋め込んで、せん孔実験を行いその特性を調べた。素材のせん孔温度は、1270°Cを標準とし1220°Cおよび1170°Cの低温側におけるせん孔特性を調査した。

3. 実験結果

PRP方式のせん孔で、最も懸念されたプラグの損傷はプラグの黒皮処理を行えば、いずれを使用しても問題なく、容易にせん孔できた。しかし、硬質Crめつきなどメタリック肌のプラグによるせん孔では、すぐに焼付きを生じ、ほとんど、せん孔不可能であつた。これら一連の実験結果は、次のとおりである。

3.1 プラグの形状、材質が損耗におよぼす影響

黒皮処理を行つたプラグを使用すれば、黒皮が消耗しない限り、ほとんど問題なくせん孔可能であり、プラグの表面損傷はみられない。むしろ、プラグ面には、素材加熱時に、センターホールに生成したスケールが凝着し、鈍角型プラグの先端は附着スケールで保護されている。Photo. 1にせん孔プラグの外観とディスクカードおよび

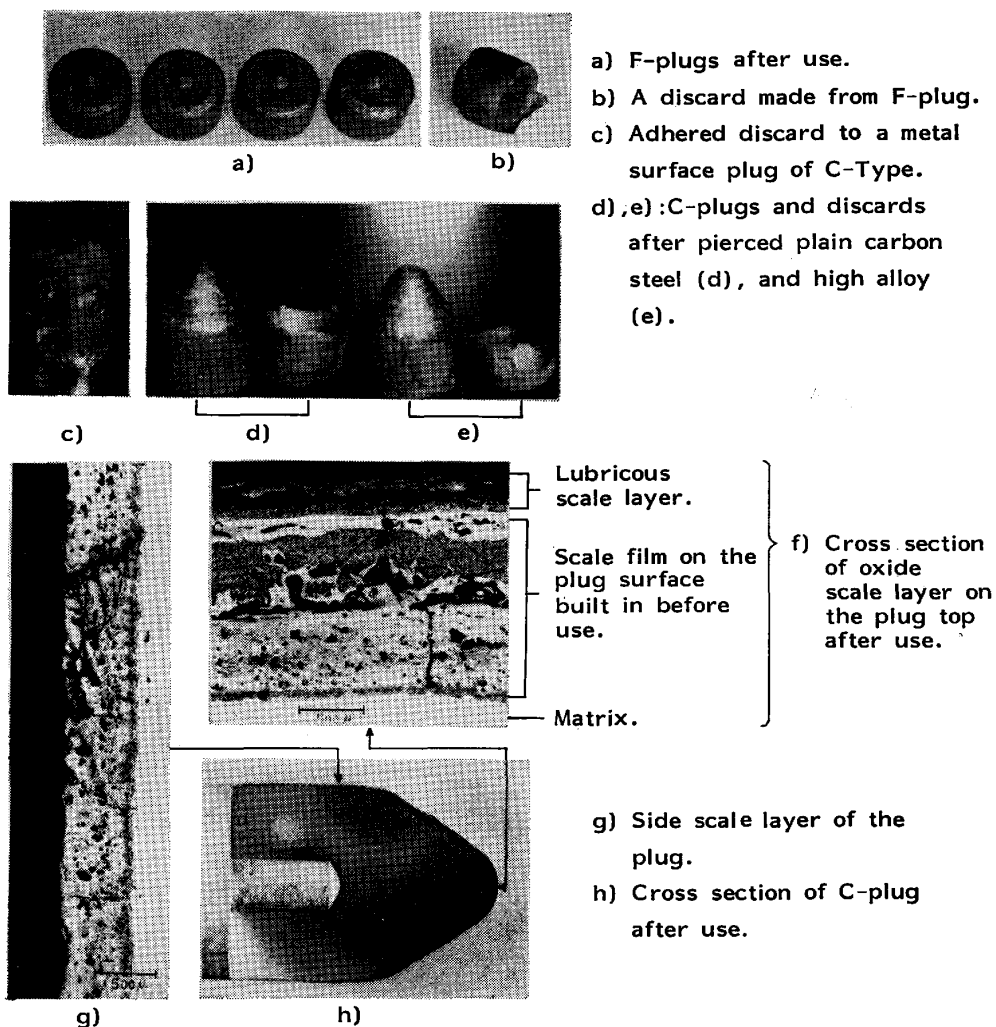
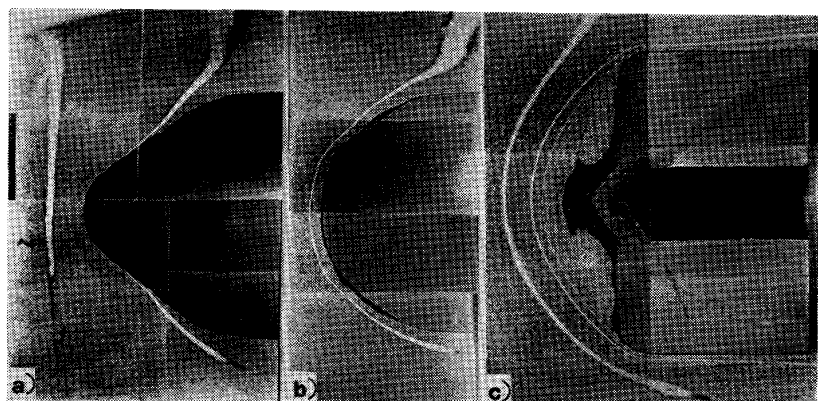


Photo. 1. Appearance of plugs and discards after piercing of follow piece and microphotographs for the cross section of scale layer on C-Type plug surface.



a) C Type b) D Type c) F Type
Photo. 2. Metal flow of pierced follow pieces with the plug of different type.

プラグ表層黒皮の状態を示した。Photo. 2 は、せん孔途中止めして、プラグ形状別に、先端周辺のメタルフローを調べたものである。また、Photo. 3 には、高S小片を埋めこみ、せん孔途中止めして、試験材を切断し、断面のサルファプリントをとつた一例を示した。これらから、プラグ形状の先端が鋭角化（A型）すると、早期に

焼付き、はく離凝着現象をおこし、また、黒皮の消耗も大きく不安定で不利である。これに対し、C型からD、E、F型と鈍角化する程有利なことがわかった。また、メタルフローにも、それぞれの特徴がある。特に、プラグ先端を平頭化したF型では、先端が完全に被せん孔材で形成されるデッドゾーンで保護され、プラグ自体が受

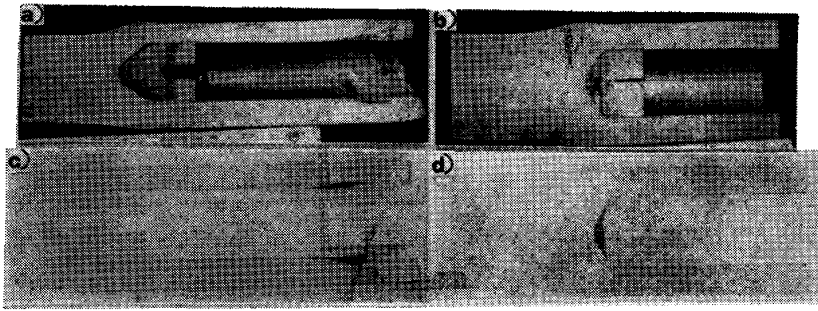


Photo. 3. The vertical sections and the sulphur prints of semipierced follow piece with different type plugs: a) and c) use C-Type, b) and d) use F-Type.

Table 2. Pierced materials for the test plugs and piercing characteristics of alloy steels.

Pierced materials	Thrust load ratio on the piercing plug for plain carbon steel	Piercing temperature
Plain carbon steel (Low C)	1.0	1220~1270℃
Special steels (Boiler tube)	1.3	"
Stainless steels	SUS 410	1.0
	SUS 430	1.0
	SUS 304, 316	1.5~1.8
High alloy	9Ni steel	1.0
	Superalloy	1.8

けるすべり摩擦は、肩部のごく一部になる。しかし、せん孔時のプラグ保持マンドレルのスラスト荷重は大きくなる。このような状態下のプラグは、数 10 回のせん孔を行つても、表層の損傷はほとんどみられず、黒皮で厚く覆われている。一方、先端を鋭角化したプラグでは、白熱鋼を切り裂いて進む形態をとり、鈍角型のデッドメタルで保護されながら進む状態と大きく異なる。これらプラグが、滑り摩擦を強く受けた部分は、非常に滑らかな光沢を呈し、Photo. 1. f) にみられるようにスケール膜最表面が熔融潤滑をしていることがわかる。

プラグの材質と損耗の関係は、本研究で選定した各種熱間工具材料間では、ほとんど差がみられず、黒皮とプラグ形状に大きく左右されていることがわかった。

3.2 ステンレス鋼などの特殊鋼のせん孔

2¹/₄Cr-1Mo, 5Cr-1/2Mo 鋼など特殊鋼のほか、ステンレス鋼のせん孔実験を行つた結果は、いずれも普通鋼せん孔と同様、黒皮処理で十分可能なことがわかつ

た。プラグは Table 1 に示した各種類の材質を使用し、C型形状で行つたが、一般にせん孔圧延の諸負荷が大きくなる。特に、プラグを支えるマンドレルのスラスト荷重は、普通鋼の場合と対比すると Table 2 のようになる。また、スーパーアロイ系高合金のせん孔実験でも、黒皮処理した高 Mo 系材質のプラグを使用すると、Photo. 1. e) に示すように、ほとんどプラグの損傷はなくせん孔可能であつた。

3.3 潤滑せん孔

低融点ガラス、黒鉛、低融点塩類をプラグに塗布あるいはプラグ先端を凹状に加工して、これら潤滑剤を詰めた潤滑せん孔が諸負荷におよぼす効果は、潤滑剤とその使用条件でかわる。まず、プラグの耐久化には、プラグ表面のスケール黒皮の安定化が必須であり、ガラス系潤滑剤を用いるとプラグ表面の黒皮は潤滑剤と化合して熔融し、損なわれ、Photo. 4 のようになつてしまう。また黒鉛を使用すると素管内面に滲炭現象があらわれる。従つて、低融点ガラスや黒鉛類は潤滑せん孔に不適當である。一方、NaCl や KPO₃ などの低融点無機塩類はステンレス鋼や高合金のせん孔の負荷低減に有効なことが分かつた。

3.4 せん孔圧延の諸負荷特性

せん孔諸条件が、プラグ寿命におよぼす影響を把握するためには、PRP のせん孔特性を知る必要がある。

まず、押し込み荷重、ロール周速度が、プラグのスラスト荷重と圧延荷重にあたえる影響を、C型プラグでせん孔した値を基準として、せん孔諸条件と負荷諸特性の関係を検討した。Fig. 4 は、素材にあらかじめ 10mm,

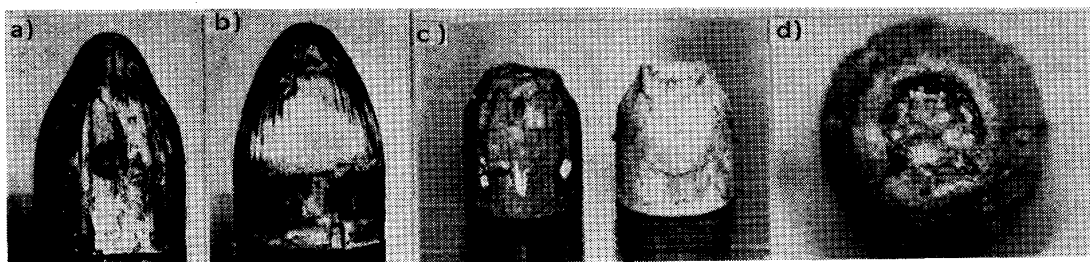


Photo. 4. External appearance of plugs after piercing: a) teared A-Type, b) D-Type of scale lubricous, c) and d) shows glassily teared surface on plugs with glass lubrication.

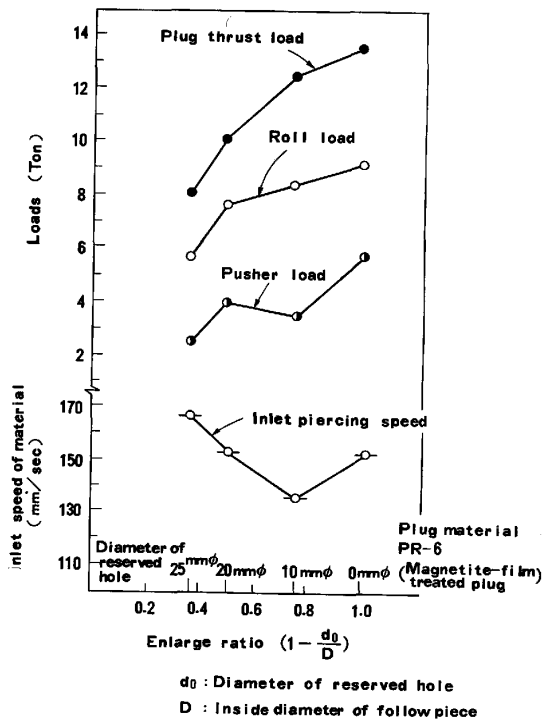


Fig. 4. The effect of the diameter of reserved hole in test piece on piercing loads.

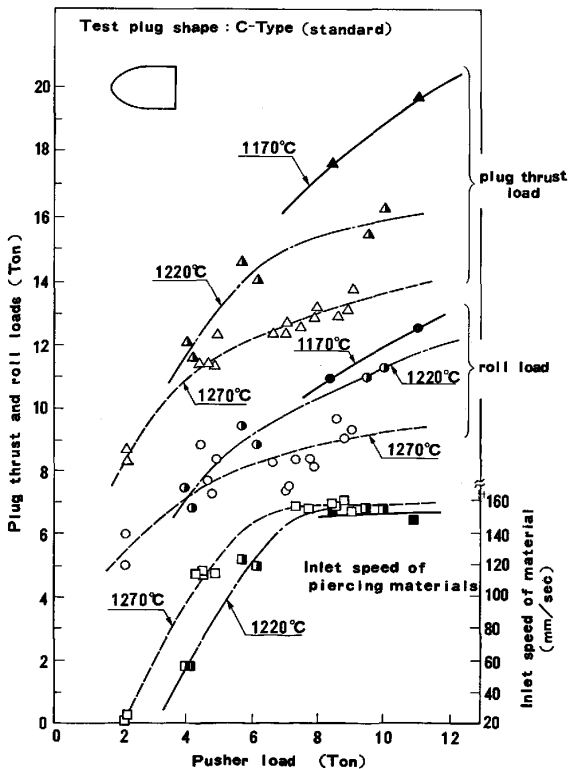


Fig. 5. The relation among piercing loads of plug pusher, thrust and roll at lower and higher temperature of piercing materials.

20 mm および 25 mm 径の予備孔をうがつたものと、ソリッド材そのもののせん孔諸負荷特性を示したもので

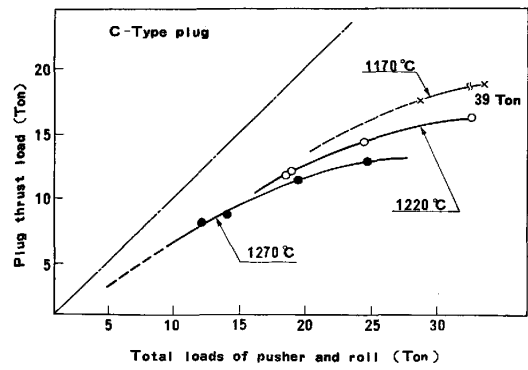


Fig. 6. Relation among total loads of pusher, roll and plug thrust as piercing temperature of 3 stages of the test piece.

ある。当然ながら予備孔が大きくなると、プラグスラスト、ロールおよび押し込み各荷重は減少し、材料の入側速度は大きくなる傾向がある。しかし 10 mm 径予備孔材では、せん孔中のプラグ先端に若干の焼付き現象が生じ、せん孔速度が低下した。これはプラグ先端のメタルフローが、ソリッドの場合と小孔がある場合で異なるためと考えられ、なお検討の余地がある。

Fig. 5 には、黒皮処理 3Cr-1Ni 材質の C 型プラグを使用した 1270°C、1220°C および 1170°C における普通鋼せん孔圧延諸負荷、入側材料速度および押し込み荷重の関係を示した。これから押し込み荷重が 2 t (0.56 kg/mm²) でも 20 mm/s の押し込み速度で 1270°C の熱片せん孔が十分可能なことがわかる。

なお、試験機の最高押し込み速度は 165 mm/s であるが、この速度に達するには 7~8 t の押し込み荷重で十分なことが分かった。Fig. 6 は、スラスト荷重におよぼす押し込みとロールの両負荷の合計値を、せん孔温度に対して整理したものである。これらから、せん孔圧延諸負荷は、低温せん孔ほど大きくなり、高温側では、プラグスラスト、およびロール荷重の大きな増加がなくても、せん孔速度が大きくなることがわかる。プラグ形状とせん孔圧延負荷特性の関係をせん孔実験値で整理すると、鋭角型は、概して鈍角型よりスラスト荷重が低目の傾向を示し、平頭型は押し込み、スラスト両荷重共に大きい。また、平頭型の先端に長突起をつけた 2 段型 (H 型) は、長突起部に融着を起し、諸負荷が大きくなるほか、せん孔後のプラグ先端はデスクード部が凝着して離れず、プラグ形状としては不適とみられた。更に、せん孔時間に 10 数秒かけた低速長時間せん孔を行つてもプラグ損傷はみられず、せん孔諸負荷特性にもほとんど影響がないことがわかった。Fig. 7 にはプラグの位置を変えたせん孔特性実験の結果を示す。プラグの先端が

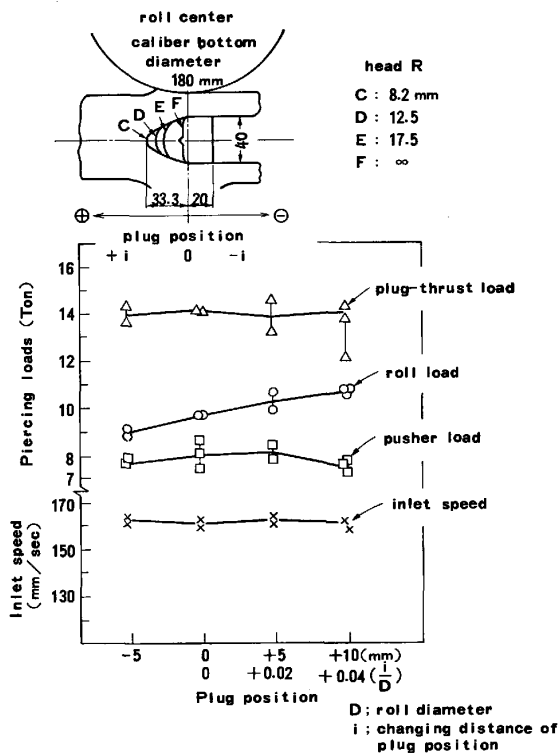


Fig. 7. Influence of the plug position on piercing loads and inlet speed of the test piece.

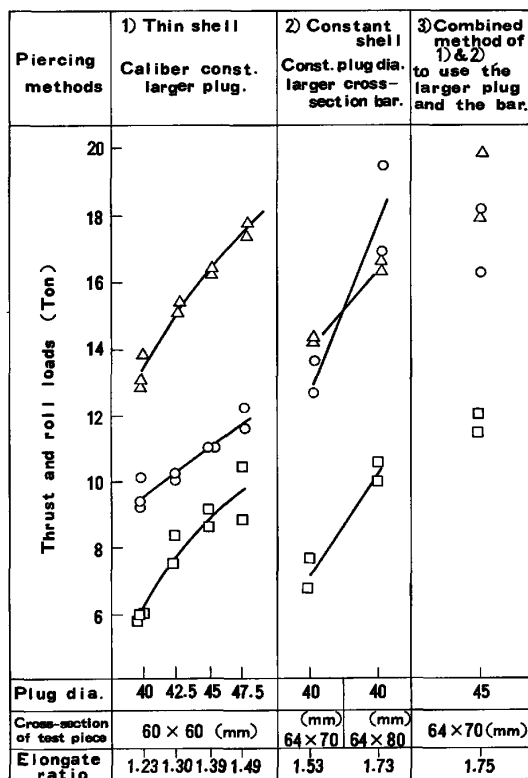
ら平行部に移るところを上下ロールの中心線上に合わせ、これを基準とし、プラグの移動距離： i とロール径： D の比、 i/D でプラグの位置を4%程度変化させてせん孔負荷を測定した。その結果は、プラグスラスト、押し込み両荷重および入側材料速度に、大きな変化はあらわれない。しかし、ロール荷重は、プラグを前進させる程、大きくなる傾向を示した。

次に、高延伸せん孔における諸負荷特性とプラグの損耗実験結果であるが、延伸率を1.75まで高めたせん孔でもプラグの表面損傷は、全くみられない。せん孔圧延特性は、Fig. 8に示すように、同一孔形ロールを使用して、(1)プラグ径を大きくして素管を薄肉化、(2)プラグ径を一定にして、素材の断面積を大きくする、(3)プラグ径、素材共に大きくして、高延伸せん孔実験を行い、次のような結果が得られた。i) いずれの高延伸法を採用しても、諸負荷は大きくなる。ii) プラグ断面積を大きくして薄肉化せん孔を行うよりも、プラグを一定にして、素材断面積を大きくした方が、スラスト、押し込み両荷重に有利である。iii) ロール荷重は素材断面積が大きくなる程不利である。また延伸とかみ出しの関係はFig. 9のようになる。

4. 考 察

4.1 メタルフローからみたプラグの適正な形状

プラグの形状とせん孔時のメタルフローの関係は、プ



△ : plug thrust load ○ : roll load □ : pusher load

Fig. 8. Relationship between the piercing loads and the high elongating conditions.

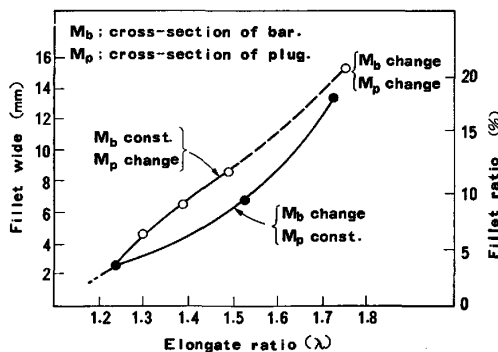
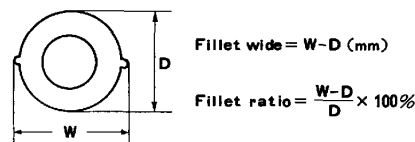


Fig. 9. The relationship between the fillet wide and the elongate ratio at high elongate-piercing.

ラストーションによるモデル実験⁴⁾で概略はつかまれているが実際のせん孔では、ほとんど不明であつた。まず、この関係を的確には握するため、前述のA型からH型プラグによるメタルフロー実験を行つたわけで、その結果プラグの諸形状とメタルフローの関係が明りようになった。すなわち、プラグ先端が鋭角化する程素材内部のメタルは、切り裂かれる形で分流し、デッドゾーンの生成

はない。従つて、プラグ先端の被せん孔材の圧縮層はなく、CC 素材中心附近にみられるセンターポロシティなどの内部欠陥は、裂かれて内面に押しつけられる傾向が強い。C型プラグでも、その傾向がみられるが、先端を鶏卵型にすると大きく変わり、圧縮層ができて、内部欠陥も圧縮圧着しながら、プラグ側面に流れるようになる。また、C型プラグは、肩部から前方の傾斜部にスケールがビルドする傾向がみられる。これは延伸率：1.2 前後のせん孔におけるロール下、プラグ周辺の素材変形が延伸方向に伸びるより、むしろ、径方向への変形が大きいため、この面のプラグが受ける圧力が小さくなり、容易にスケールビルドが生ずるものと思われる。したがって、プラグの形状は、このようなせん孔圧延時のロール下の素材変形状態を考慮した、プラグ面に均一な圧力分布になる形状が適正と考えられる。その点、鶏卵型や、半球状型 (D, E型) が有利なことがわかる。せん孔途止め試片の切断マクロ腐食面をみると、プラグ先端にかなりの被せん孔材の圧縮層がみられ、また、埋込み鋼線もプラグ先端で円弧状に伸び、細径化し幾層にもなつて観察される。これは鋭角型との大きな違いで、プラグ最先端の被せん孔材メタルの流れを著しく遅らせていることがわかる。更に平頭型プラグのせん孔では、先端に完全なデッドメタルゾーンができ、その形状は、鈍弧錘状でプラグ先端を完全に保護し、その状態は、せん孔の始めから終わりまでほとんど変わらない。また、諸負荷も非常に安定した状態でせん孔できる。したがって、このデッドゾーンの形こそ最適なプラグ形状としても良いと考えられる。Fig. 10 には、プラグ形状と諸負荷特性の関係を示したが、プラグ先端を半球形化 (D型) にすると、F型プラグの諸負荷と差がなくなる。これはF型の先端に形成されるデッドゾーンが、D型と同様な形状になるためと考えられる。また、総じて、ロールの荷重は、プラグ先端形状が大きく変わつても、あまり変化がない。これは被せん孔材がプラグによつてロール孔形一杯に押し拡げられている外面を素管外形に成形するだけで、ほとんど圧延負荷がかからないためであろう。

以上から、プラグの耐久化には、F型先端のデッドゾーン形状が抜群の効果を示すことがわかつたが、その形状をプラグの径を基準にして示したのが Fig. 11 (N型) である。一方、この形状は、延伸率、せん孔速度、素材材質、温度などの諸条件が変われば、若干変化するので、実際にはその点も考慮して決める必要がある。しかしせん孔条件の変化に適応したデッドゾーンを自由に形成させながらせん孔できるF型も捨てがたい。ただし、せん孔後のディスクカード量が大きくなり、歩留りが低下す

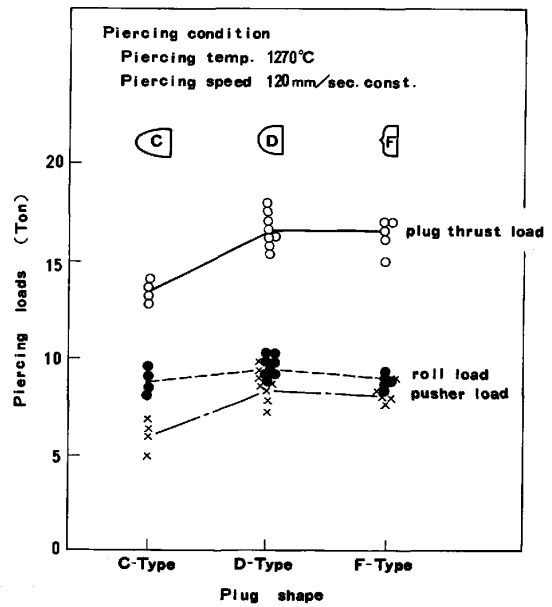


Fig. 10. The relation between piercing loads and plug shape.

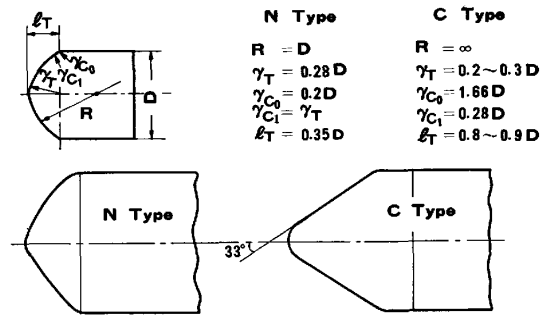


Fig. 11. Suitable shape of piercing plug of N compared with C-Type.

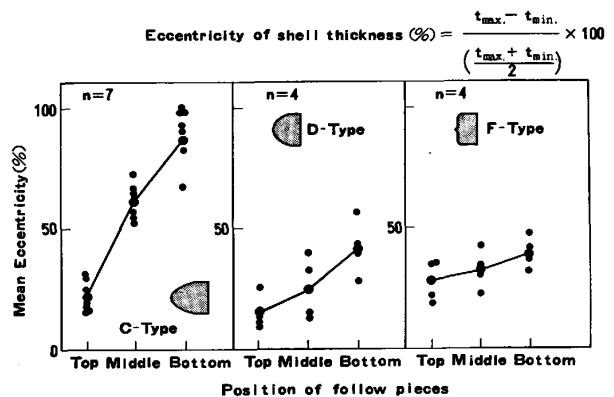


Fig. 12. Eccentricity of the shell thickness of follow pieces at top, middle and bottom with different shape plugs.

るので使用上の考慮が必要である。

4.2 プラグの形状と素管の偏肉

一般に素材の偏肉が次工程の延伸圧延におよぼす影響は大きい。そこで、本研究では、せん孔後の素管の偏肉状態をプラグの形状から検討した。ただし、せん孔試験

装置の出側のガイドはなく、入側の押し込みガイドのみでセンタホールをうがつた素材のせん孔結果の解析である。Fig. 12 は、プラグ形状と偏肉率を示したもので、いずれも、せん孔初期から後期にかけて偏肉化する傾向がみられるが、その度合は、プラグの先端を鈍角化、平頭化する程少なくなり、F型プラグが有利なことがわかる。なお、偏肉問題では、プラグ形状の他に、プラグ保持機構、ミル剛性、プラグサイズなどの影響も検討する必要がある。

5. 結 言

PRP せん孔におけるプラグ工具の耐久性、せん孔特性に関する諸実験を行つた結果、次のような結論が得られた。

1) プラグの耐久度は、その形状に大きく左右され、せん孔圧延条件に適正な形状と材質を選ぶことにより、著しく向上する。そのプラグ形状は、せん孔中の平頭プラグ先端に形成するデッドゾーンの形で代表される。また材質は熱間工具鋼であれば十分であるが、表面を酸化膜黒皮で覆うことが必須条件となる。

2) せん孔圧延の諸特性は、プラグの形状、被せん孔材々質、せん孔温度、延伸率などにより変化するが、プラグ先端が鈍角化する程、同一速度でせん孔するには、プラグスラスト荷重と押し込み荷重を大きくしなければ

ならない。しかし、圧延荷重は、ほとんど変わらない、特殊鋼、ステンレス鋼など高温変形抵抗の大きい高合金鋼のせん孔も十分可能である。

3) 延伸率：1.8 程度の高延伸せん孔圧延も可能でありプラグの損耗は、ほとんどない。せん孔諸負荷はいずれも高延伸程大きくなるが、この場合プラグ径を一定にして素材断面を大きくしたせん孔法が、負荷諸特性とプラグの耐久性に有利である。

4) 潤滑せん孔を行う場合、プラグ表面の黒皮損傷と素管内面への浸炭に注意する必要がある、低融点ガラス系や黒鉛類の使用は不適で、低融点塩類が指向される。

5) せん孔後の素管の偏肉は、一般に大きい、プラグ先端の形状を鈍角化、または、平頭化すると、偏肉率は低下することがわかつた。

文 献

- 1) 河原田実, 長田修次, 吉原征四郎, 水沼 晋, 中島浩衛, 柳本左門: 鉄と鋼, 64 (1978) 11, S 683
- 2) 甲谷知勝, 木村達也, 中俣伸一, 小田島雅也, 板橋義則, 長阪哲男: 鉄と鋼, 65 (1979) 11, S 817
- 3) 大貫 輝, 柴田嘉基, 中島浩衛, 野田勝利: 鉄と鋼, 64 (1978) 11, S 687
- 4) 長田修次, 神山藤雅, 河原田実, 中島浩衛, 柳本左門: 鉄と鋼, 64 (1978) 11, S 686