
マンネスマン式ピアサー用高合金鋼穿孔圧延工具の寿命延長技術

Techniques for Extending Life of Tools for Piercing High Cr Stainless Steel Seamless Pipes in Mannesmann Type Piercer

依藤 章 (Akira Yorifuji) 豊岡 高明 (Takaaki Toyooka) 金山 太郎 (Taro Kanayama)

要旨：

近年、高合金鋼継目無鋼管の需要が増大し、マンネスマン式穿孔法を適用した高合金鋼継目無鋼管の大量生産技術が開発されてきた。しかし、マンネスマン式ピアサーでステンレス鋼に代表される高合金鋼ビレットを穿孔圧延すると、ロール、工具が著しく損耗する。今回、実験用穿孔圧延機を用いた実験などによって、高合金鋼ビレット穿孔圧延時のロール、ガイドシューおよびプラグの高温、高負荷を起因とした損耗の機構を解明し、それぞれの対策技術として、(1)炭化ケイ素微粉を高分子ポリマーによって水に分散させたスリップ防止剤、(2)ホウ酸と弱塩基性の被膜形成剤の混合水溶液および弱酸性の補助水溶液を用い、中和反応によってガイドシュー表面に潤滑被膜を形成させ、焼付きを防止する潤滑技術、(3)0.3%C≒0.5%Cr≒1%Ni≒0.5%Nb≒1.5%Mo≒3%W≒1%Coの新成分系プラグを開発し、実用化した。

Synopsis：

As the demand for high Cr stainless steel seamless pipes increased in recent years, manufacturing technologies of pipes using Mannesmann piercing process have been developed. The most serious problem encountered in piercing high Cr stainless steel billets is the formation of defects on inner and outer surfaces of pipes. The formation mechanisms of defects were clarified by investigating the conditions of roll, guide shoe and plug of piercer after piercing high Cr stainless steel billets. Hereby new lubrication techniques and plug material were developed. The main results obtained are as follows: (1)A fluid with silicon carbides between billet and piercer rolls can prevent slipping. (2)A lubricant containing borate can suppress adhesion of billet material to piercer guide shoes. (3)The chemical composition system of the developed piercer plug material is 0.3%C-0.5%Cr-1%Ni-0.5%Nb-1.5%Mo-3%W-1%Co..

(c)JFE Steel Corporation, 2003

マンネスマン式ピアサー用高合金鋼穿孔圧延工具の 寿命延長技術*

川崎製鉄技報
29 (1997) 2, 64-70

Techniques for Extending Life of Tools for Piercing High Cr Stainless Steel Seamless Pipes in Mannesmann Type Piercer



依藤 章

Akira Yorifuji

技術研究所 鋼管・鋳
物研究部門 主任研究
員(課長)



豊岡 高明

Takaaki Toyooka

技術研究所 鋼管・鋳
物研究部門 主任研究
員(課長)



金山 太郎

Taro Kanayama

知多製造所 シームレ
ス管部シームレス管技
術室

要旨

近年、高合金鋼継目無鋼管の需要が増大し、マンネスマン式穿孔法を適用した高合金鋼継目無鋼管の大量生産技術が開発されてきた。しかし、マンネスマン式ピアサーでステンレス鋼に代表される高合金鋼ビレットを穿孔圧延すると、ロール、工具が著しく損耗する。今回、実験用穿孔圧延機を用いた実験などによって、高合金鋼ビレット穿孔圧延時のロール、ガイドシューおよびプラグの高温、高負荷を起因とした損耗の機構を解明し、それぞれの対策技術として、(1)炭化ケイ素微粉を高分子ポリマーによって水に分散させたスリップ防止剤、(2)ホウ酸と弱塩基性の被膜形成剤の混合水溶液および弱酸性の補助水溶液を用い、中和反応によってガイドシュー表面に潤滑被膜を形成させ、焼付きを防止する潤滑技術、(3)0.3%C-0.5%Cr-1%Ni-0.5%Nb-1.5%Mo-3%W-1%Coの新成分系プラグを開発し、実用化した。

Synopsis:

As the demand for high Cr stainless steel seamless pipes increased in recent years, manufacturing technologies of pipes using Mannesmann piercing process have been developed. The most serious problem encountered in piercing high Cr stainless steel billets is the formation of defects on inner and outer surfaces of pipes. The formation mechanisms of defects were clarified by investigating the conditions of roll, guide shoe and plug of piercer after piercing high Cr stainless steel billets. Hereby new lubrication techniques and plug material were developed. The main results obtained are as follows: (1) A fluid with silicon carbides between billet and piercer rolls can prevent slipping. (2) A lubricant containing borate can suppress adhesion of billet material to piercer guide shoes. (3) The chemical composition system of the developed piercer plug material is 0.3%C-0.5%Cr-1%Ni-0.5%Nb-1.5%Mo-3%W-1%Co.

1 緒 言

継目無鋼管の主な用途である油井管、ラインパイプにおいては、石油、天然ガス開発の環境過酷化にともない、従来の炭素鋼継目無鋼管から高合金鋼継目無鋼管へと需要が変化している。近年、継目無鋼管の大量生産が可能なマンネスマン式穿孔法を適用した高合金鋼継目無鋼管の製造技術が開発されてきた。しかし、ステンレス鋼に代表される高合金鋼は、炭素鋼と比較して熱間圧延時の変形抵抗が高く、表面スケールも薄い。したがって、マンネスマン式ピアサーで高合金鋼ビレットを穿孔圧延すると、ロール、ガイドシューおよびプラグが著しく損耗し、これらを起因として、管内外面に

疵が発生しやすく、製品歩留まりと生産性の低下を招いている。

以上のような背景を踏まえ、マンネスマン式ピアサーによる高合金鋼ビレット穿孔圧延時のロール、ガイドシューおよびプラグそれぞれの損耗機構を解明し、対策技術を開発した。本報告ではこれらの開発技術について述べる。

2 ピアサー圧延時のロールと工具の損耗

マンネスマン式ピアサーにおける圧延の概略を Fig. 1 に示す。マンネスマン式ピアサーは、傾斜ロールで中実のビレットに回転鍛造効果を与えながらプラグによって穿孔する圧延機である。圧延後の管の外径決定のために、ガイドシューが配置されている。以下に、マンネスマン式ピアサーの傾斜ロール、ガイドシューおよびプラグの損耗機構について述べる。

*平成9年5月7日原稿受付

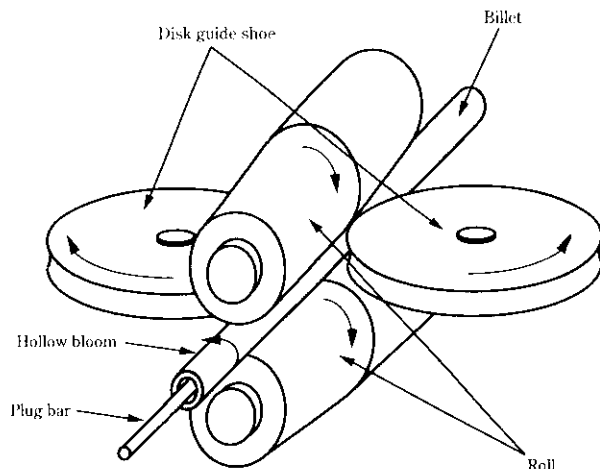


Fig. 1 Schematic view of cross-roll piercing mill

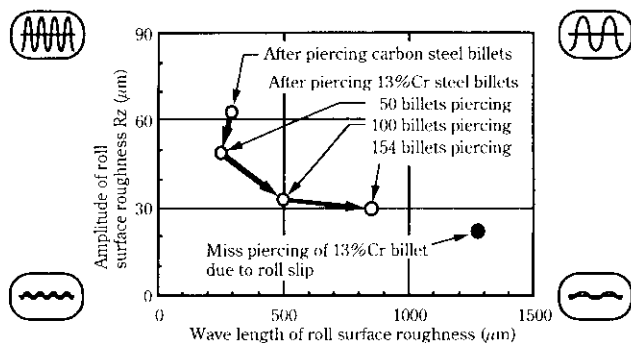


Fig. 2 Change in roll surface roughness made by piercing 13% Cr steel billets

2.1 ピアサーロールの損耗

直径 175 mm の炭素鋼ビレットおよび 13%Cr 鋼ビレット穿孔圧延時の、特殊鋳鋼製ピアサーロールの周方向における表面粗さの変化を Fig. 2 に示す。13%Cr 鋼ビレットを圧延すると、ロール表面粗さの振幅は小さく、波長は長くなる。13%Cr 鋼ビレット圧延時の方が炭素鋼ビレット圧延時よりもロールに加わる圧延負荷が大きいため、ロール表層部は昇温し、かつ大きな剪断力を受ける³⁾。したがって、13%Cr 鋼ビレット圧延時のロール表層部は、摩擦だけでなく、塑性流動をとまって損耗するため、上記表面粗さで示されるようにロール表面が平滑になると考えられる。

ピアサーにおける穿孔圧延時のロールと被圧延材とのスリップについては、(1) 式で表わされる圧延効率 η を用いて評価した。

$$\eta = V_h / (V_r \cdot \sin \alpha) \quad \dots \dots \dots (1)$$

V_h : ホロー前進速度 (m/min)

V_r : ロール周速度 (m/min)

α : ロール傾斜角度 (°)

炭素鋼ビレットおよび 13%Cr 鋼ビレットの穿孔圧延時の η の変化を Fig. 3 に示す。13%Cr 鋼ビレットを圧延すると、炭素鋼ビレット圧延と比較して、 η は急激に低下する。 η が低下するとビレットの回転鍛造回数が増加し、ピアサー圧延の早期段階においてビレット中心部にマンネスマン割れが発生⁴⁾し、管内面疵として残存する。 η の低下は上記ピアサーロール表面の平滑化に起因するものであ

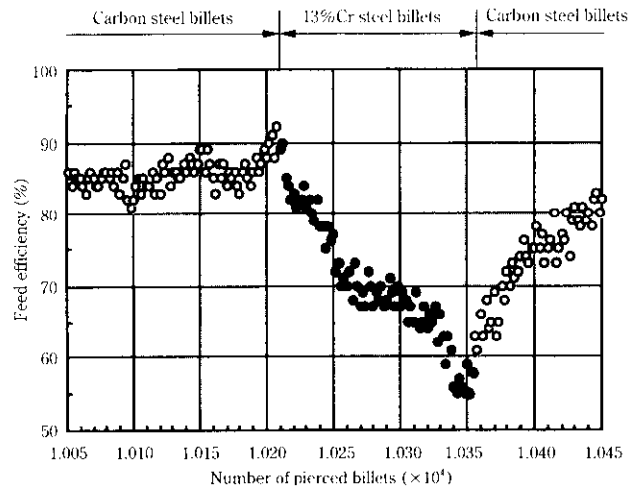


Fig. 3 Effect of pierced billet material on feed efficiency

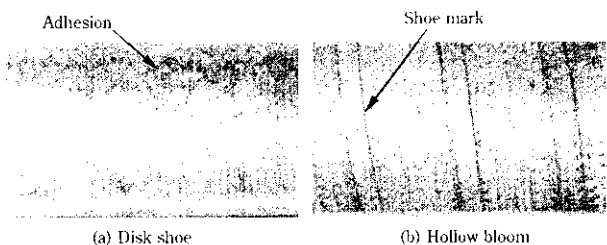


Photo 1 Appearance of adhesion on disk shoe and shoe mark of 22%Cr steel hollow bloom

り、このような疵は 13%Cr 鋼のみならず高合金鋼ビレット穿孔圧延時に一般的に発生するので、対策技術の開発が重要である。

2.2 ピアサーガイドシューの焼付き

直径 175 mm の 22%Cr 鋼ビレット穿孔圧延後のピアサーガイドシュー表面を Photo 1 (a) に、圧延後のホローの外観を Photo 1 (b) に示す。ガイドシュー表面には被圧延材の焼付きが確認され、ホロー表面にはシューマークと呼ばれる引っ掻き疵が螺旋状に発生している。このような現象は炭素鋼圧延時には見られないものである。

一般に、金属間の焼付きは 2 種の金属の新生面が高負荷、高すべり条件下で接触することにより生じるが⁵⁾、ピアサーでのビレット穿孔圧延の場合、ガイドシュー表面は被圧延材とその回転方向において全すべり条件にあり、両者は非常に焼付きやすい環境にある。したがって、被圧延材表面に生成している酸化被膜によってのみ焼付き発生が防止されている。しかし、炭素鋼と比較して、22%Cr 鋼など高合金鋼は酸化被膜が薄く熱間変形抵抗が大きいため、ガイドシューによる拘束反力も大きい。したがって、ピアサーで高合金鋼ビレットを穿孔すると、表面の酸化被膜が破られ、ガイドシューに焼付きやすい。ピアサーガイドシューの焼付き発生機構を模式的に Fig. 4 に示す。被圧延材表面の酸化被膜の損傷を補って焼付きを防止する対策技術の開発が重要であった。

2.3 ピアサープラグの損傷

直径 17 mm の 13%Cr 鋼ビレットを穿孔圧延し、交換を余儀なくされたピアサープラグの外観を Photo 2 に示す。プラグ先端部の溶損、変形あるいは胴部の欠損、焼付きが観察される。このようなプラグを用いてさらにビレットの穿孔を続けると、当然のことなが

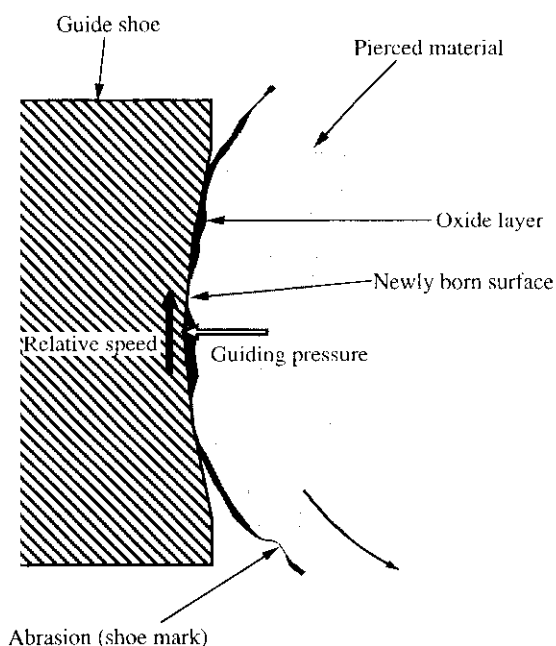


Fig. 4 Schematic view of cross section of guide shoe in piercing of a billet

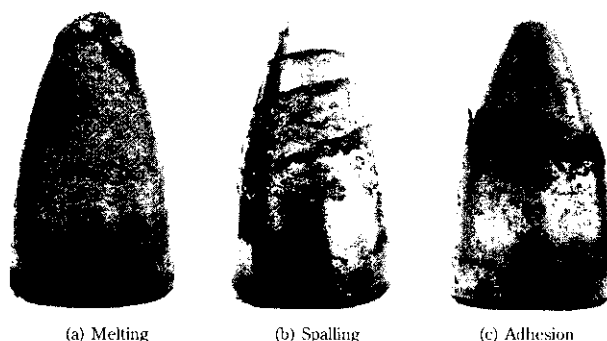


Photo 2 Deterioration of plug after piercing stainless steel billets

ら管内面に疵が発生する。従来、1本のプラグで穿孔可能な高合金鋼ビレットの本数は5本以下で、炭素鋼ビレット穿孔の場合のプラグ寿命と比較して1/75程度であった。

従来から、プラグ表面には熱処理で酸化被膜を生成させ^{8,9)}、その断熱性と金属接触防止性によって、上記のようなプラグの損傷を抑制してきた。しかし、13%Cr鋼など高合金鋼は、炭素鋼よりも熱間変形抵抗が大きいので、高合金鋼ビレット圧延時の方が炭素鋼ビレット圧延時よりもプラグに加わる圧延負荷、加工発熱による熱負荷ともに大きく、従来のプラグでは非常に損傷しやすかった。プラグ寿命が短いことは、内面疵による製品歩留まり低下だけでなく、プラグ交換頻度の増加に起因する生産性の低下を招くので、その対策技術開発は最大の課題である。

3 ピアサーロール・スリップ防止剤の開発

前述のように、マンネスマン式ピアサーで高合金鋼ビレットを連続して穿孔圧延すると、ロール表面が急速に平滑化し、内面疵発生の原因となる。そこで、ピアサーロールと被圧延材とのスリップを防止する技術を開発した。

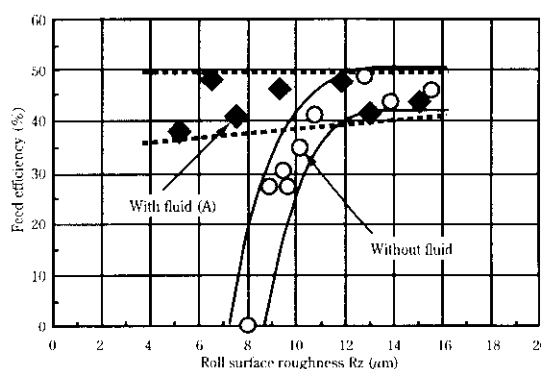


Fig. 5 Effects of roll surface roughness and fluid on feed efficiency during piercing of 13%Cr steel billet

3.1 圧延効率に及ぼすロール表面粗さの影響

実機マンネスマン式ピアサーをロール径比で1/3に縮尺して作った研究用穿孔圧延機を用いて、直径58mm、長さ250mmのオーステナイト系ステンレス鋼を1250°Cで穿孔圧延した。圧延前に、ロール表面を十点平均粗さ(Rz)で8~16μmに調整しておくことにより、圧延効率 η に及ぼすロール表面粗さの影響を調べた。実験結果をFig. 5に示す。Rzの減少にともなう η は低下し、Rzが8μmの時にはビレットの噛込み不良を生じ、穿孔できなかった。本実験結果からも、ピアサーロールと被圧延材とのスリップはロール表面の平滑化により大きな影響を受けることがわかる。

3.2 圧延効率に及ぼすスリップ防止剤と増摩用微粉の影響

熱間、冷間における鋼板圧延においては油圧延が行われ、ロールと被圧延材間の摩擦係数を低減させ、圧延荷重の低減や疵防止に効果を上げている^{10,11)}。今回、これとは逆に、高合金鋼ビレットを連続して穿孔し、ロール表面の平滑化にともないピアサーロール表面粗さが低下した場合にも、 η を確保できるように、圧延中のロールと被圧延材間に増摩用微粉を介在させるスリップ防止剤を開発した。

モデルピアサーでの評価実験に供したスリップ防止剤をTable 1に示す。スリップ防止剤は、増摩用固体微粉数十wt%、これを分散させかつロールへの付着性を向上させるための高分子ポリマー1%程度および残量の水から構成される。同表に示すように、スリップ防止剤に用いる増摩用微粉として、炭化ケイ素、酸化アルミニウム、酸化ケイ素および六方晶窒化ホウ素を評価した。Rzが9μmのロール表面粗さの場合の、 η に及ぼす増摩用微粉の影響をFig. 6に示す。増摩用微粉の硬さ(Hk)の増加にともなう η は増加し、この傾向はHkが2500以上で飽和する。本実験結果に増摩用微粉の価格を考慮して、スリップ防止剤に適用する増摩用微粉としては炭化ケイ素を選定した。

Table 1 Principal ingredients of fluids

Fluid	Ingredient
(A)	Silicon oxide +highly polymerized compound (water soluble)
(B)	Aluminum oxide +highly polymerized compound (water soluble)
(C)	Silicon carbide +highly polymerized compound (water soluble)
(D)	Cubic boron nitride +highly polymerized compound (water soluble)

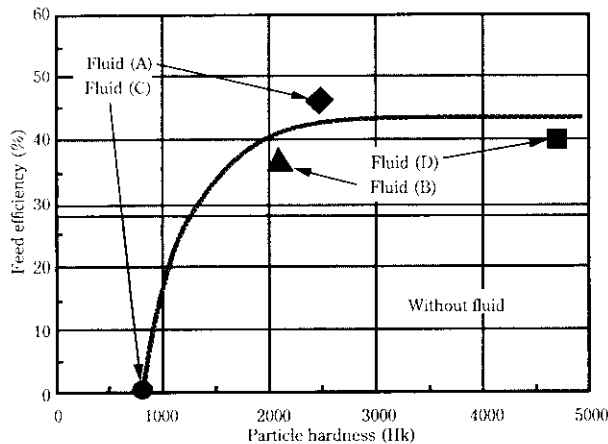


Fig. 6 Effect of particle hardness included in fluids on feed efficiency for piercing of 13%Cr steel billets

Rz が $5 \sim 15 \mu\text{m}$ となるようにロール表面粗さを調整しモデルピアサーを用い、今回開発したスリップ防止剤 Fluid (A) を適用してオーステナイト系ステンレス鋼を穿孔圧延した。実験結果を Fig. 5 に示す。Rz の増減に関係なく、 η は 40～50% に保たれ、スリップ防止剤の効果が確認された。

本スリップ防止剤は 1992 年から実機に工程使用され、ピアサーでの高合金鋼ビレットの連続穿孔圧延本数規制解除に成果を発揮している。

4 ピアサーガイドシュール焼付き防止用潤滑剤の開発

近年、ピアサーガイドシュールには、主にロータリー型ディスクシュールが適用されている。ガイドシュールの周速をホローの前進速度と同一に設定することによって、この方向におけるガイドシュールと被圧延材との相対速度を抑制している。しかし、被圧延材の回転方向においては全すべり条件にあるので、高合金鋼ビレット穿孔圧延時には依然として焼付きが発生しやすい。そこで、焼付きを防止する潤滑剤とその適用技術を開発した。

4.1 焼付き防止用潤滑剤の開発基本方針

ピアサーガイドシュールの焼付き防止用潤滑剤を開発するにあたり、次の点を考慮した。潤滑剤が被圧延材表面に転着してピアサーロールとの間でスリップを生じさせてはならない。そこで、一般の圧延油のように摩擦係数の低下を目的とした油状潤滑剤ではなく、ガイドシュールと被圧延材の間に介在して、両者の金属接触を防止し、かつ摩擦係数を低下させ過ぎない潤滑剤の適用¹³⁾を指向した。また、ガイドシュールやロール冷却水に潤滑剤が流されないよう、潤滑剤を分散した潤滑被膜をガイドシュール表面に形成させることにした。

実験に供した潤滑剤の主成分を Table 2 に示す。潤滑剤 (A)、(B) は、高温でガラス状になって焼付き防止効果を発揮するホウ酸を主成分としている。また、潤滑剤 (C)、(D) はそれぞれ、潤滑性に富んだ結晶構造を持つ黒鉛および窒化ホウ素を主成分としている。潤滑剤 (A) はホウ酸と弱塩基性の被膜形成剤の混合水溶液 (1) と弱酸性の補助水溶液 (2) を用い、中和反応によってホウ酸を分散した被膜を形成させる。その他の潤滑剤にはすべて熱析出型被膜形成剤が用いられており、水分を蒸発させることによって潤滑剤を分散した被膜を形成させる。

Table 2 Principal ingredients of lubricants

Lubricant	Ingredient
(A)	Fluid (1) Borate + water soluble acid polymer neutralized with amine
	Fluid (2) Weak acid solution
(B)	Borate + neutral polymer emulsified in water
(C)	Graphite + neutral polymer emulsified in water
(D)	Boron nitride + neutral polymer emulsified in water

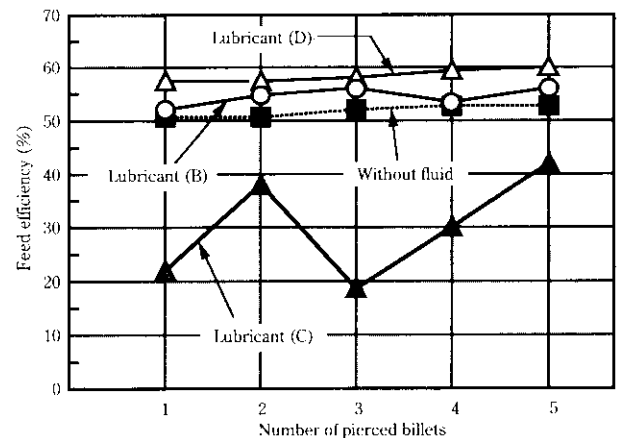


Fig. 7 Effect of solid lubricant on feed efficiency for piercing of 22%Cr steel billet

4.2 焼付き防止に及ぼす固体潤滑剤の影響

実機同様ロータリー型ディスクシュールが配置されているモデルピアサーを用い、 1250°C において直径 58 mm、長さ 250 mm の 22% Cr 鋼ビレットを 5 本連続して穿孔圧延した。22%Cr 鋼は、実作業において最もガイドシュールへの焼付きが発生しやすい鋼種である。同じ熱析出型被膜形成剤が用いられている潤滑剤 (B)、(C)、(D) を用いてガイドシュール表面に潤滑被膜を形成させた後、圧延実験することにより、潤滑剤の主成分であるホウ酸、黒鉛および窒化ホウ素の焼付き防止性とスリップ防止性を比較した。

無潤滑圧延ではガイドシュールに焼付きが発生したが、いずれの潤滑剤を適用した場合にも焼付きは発生しなかった。次に、圧延効率 η に及ぼす潤滑剤の影響を Fig. 7 に示す。黒鉛を含有した潤滑剤 (C) を適用した場合、 η の低下が顕著で、ロールと被圧延材とのスリップを考慮すると実機には適用できないことがわかった。また、潤滑剤 (B)、(D) の比較では、焼付き防止性、スリップ防止性ともに大差ないが、溶液中にイオン化して溶解させることのできるホウ酸を用いる (B) の方が、固体のまま分散させなければならない窒化ホウ素を用いる (D) よりも溶液の安定性に優れている。

4.3 潤滑被膜厚みに及ぼす被膜形成方法の影響

実機操作を想定して、 $35 \sim 150^{\circ}\text{C}$ に加熱された鋼板に 2 s 潤滑剤をスプレー塗付、4 s 乾燥の後スプレー水洗する実験を行った。潤滑剤にはホウ酸を含有した (A)、(B) を用いて実験し、鋼板表面に形成された被膜厚みを重量法によって測定した。結果を Fig. 8 に示す。潤滑剤 (A) の 2 液の中和反応を用いて生成させた被膜の厚み

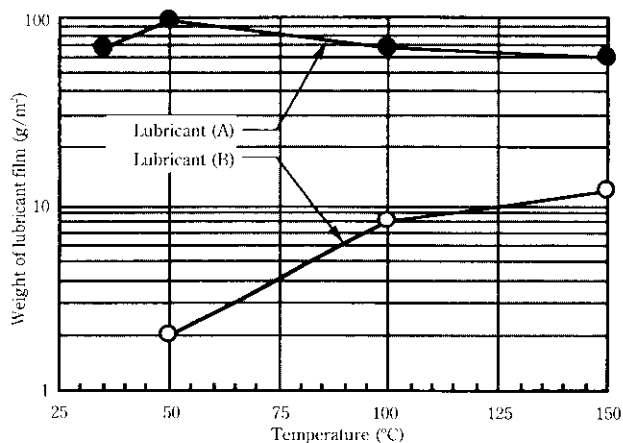


Fig. 8 Effect of surface temperature of specimen on weight of lubricant film

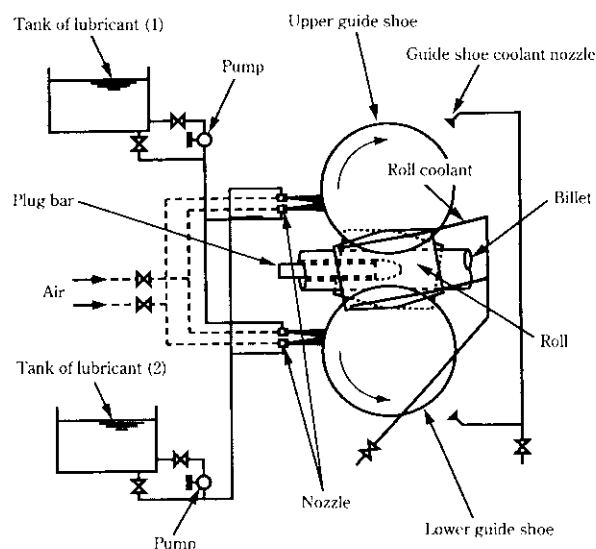


Fig. 9 Schematic diagram of disk guide shoes lubrication system

は鋼板温度に影響されにくく、実機操業に適していることがわかった。

潤滑剤 (A) は、1991 年から実機に工程使用され、期待した効果を発揮している。実操業における潤滑剤の供給方法を Fig. 9 に示す。(1)、(2) の 2 液は別系統配管によって送られ、ガイドシュー表面にスプレー塗付され、潤滑被膜を形成する。

5 ピアサープラグ材質と熱処理条件の改善

高合金鋼ビレット穿孔圧延時のピアサープラグの損耗は歩留まり低下のみならず生産性の低下を招くので、その対策技術の開発は前述のロール、ガイドシューの損耗対策技術の開発以上に重要である。そこで、ピアサープラグの高温強度およびプラグ表面酸化被膜の高

温強度と密着力を向上させる技術を開発した。

5.1 プラグ母材の高温強度に及ぼすプラグ組成の影響

従来のピアサープラグは 0.3%C-3%Cr-1%Ni 鋼で、その化学組織を Table 3 に示す。本組織を基準として、プラグ母材の高温強度に及ぼす Cr 他成分の影響を、1200°C での引張試験により調べた。試験結果を Fig. 10 および 11 に示す。プラグ母材の高温強度は Cr 量が 0.5% の場合に最大値を示し、Cr 量の増加にともなって減少する。また、Mo、W、Nb の添加によってもプラグ母材の高温強度が向上する。

5.2 プラグ表面酸化被膜に及ぼすプラグ組成の影響

ピアサープラグは一般に 950°C 程度の温度で数時間加熱され、表面に酸化被膜が生成される¹⁴⁾。酸化被膜の構造を Photo 3 に示す。

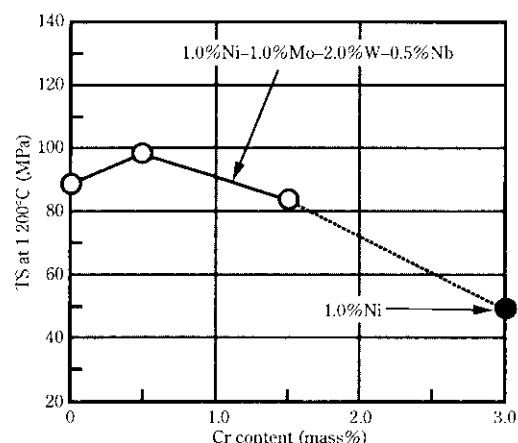


Fig. 10 Effects of Cr content on tensile strength at 1200°C (0.3%C-0.35%Si-0.5%Mn)

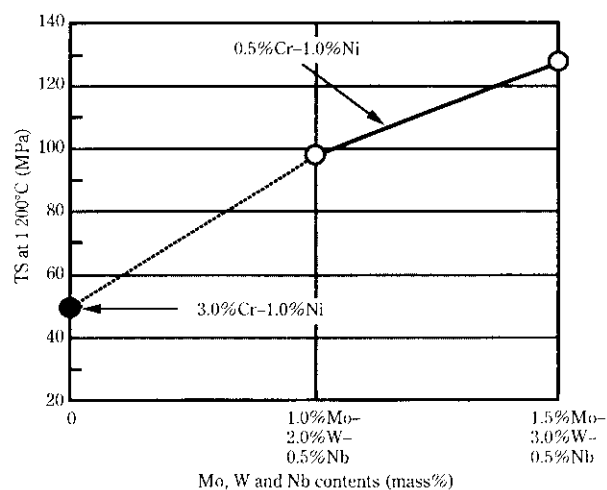


Fig. 11 Effects of Mo, W and Nb contents on tensile strength at 1200°C (0.3%C-0.35%Si-0.5%Mn)

Table 3 Chemical composition of plug material

(mass %)

Plug	C	Si	Mn	Cr	Ni	Nb	Mo	W	Co	Fe
Conventional	0.30	0.35	0.50	3.00	1.00	—	—	—	—	bal.
Developed	0.30	0.35	0.50	0.50	1.00	0.50	1.50	3.00	1.00	bal.

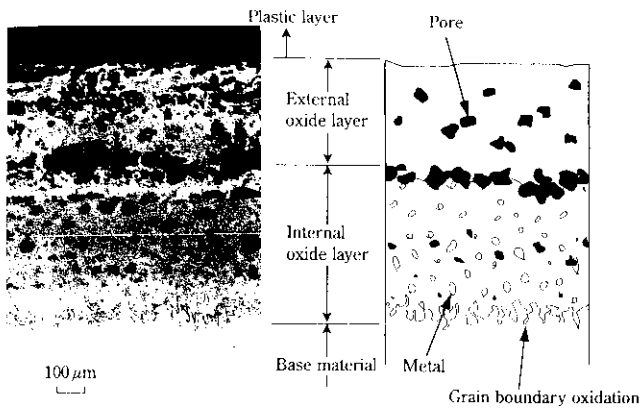


Photo 3 Structure of oxide in plug surface layer

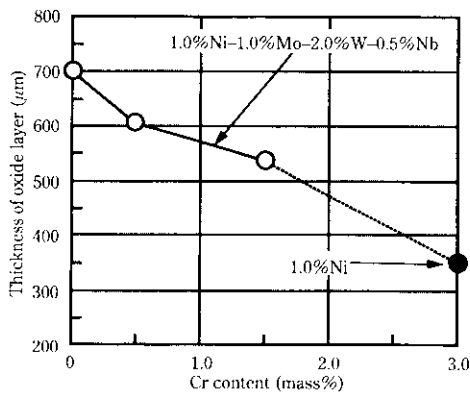


Fig. 12 Effect of Cr content on thickness of oxide layer (0.3% C-0.35%Si-0.5%Mn)

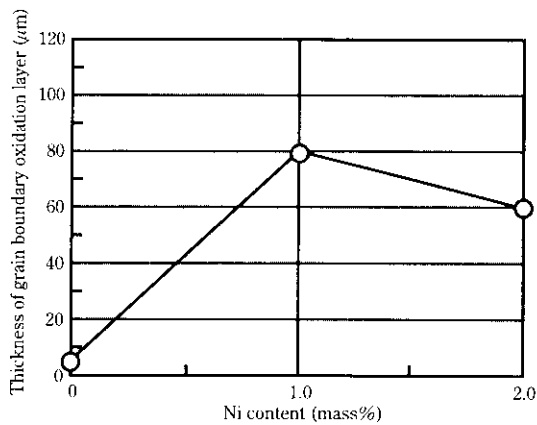


Fig. 13 Effect of Ni content on thickness of grain boundary oxidation layer (0.3%C-0.35%Si-0.5%Mn-0.5%Cr-1.0%Mo-2.0%W-0.5%Nb)

酸化被膜は、Feの拡散による外方酸化層とOの拡散による内方酸化層からなっており、内方酸化層の最深部は粒界酸化層である。高合金鋼ピレット穿孔圧延時におけるプラグ表面酸化被膜の断熱効果および潤滑効果は酸化被膜の厚みに依存しており、酸化被膜の母材への密着強度は粒界酸化層厚みに律速される¹⁾。

そこで、従来の0.3%C-3%Cr-1%Ni鋼を基準として、プラグ表

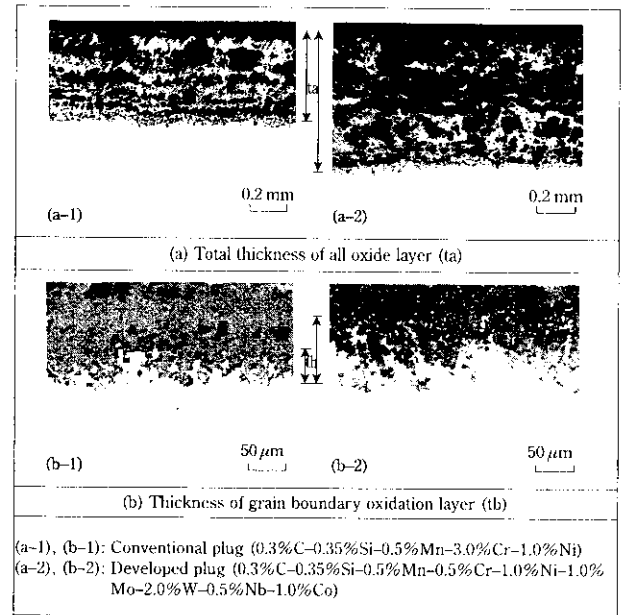


Photo 4 Effect of chemical composition of plug material on surface oxidation

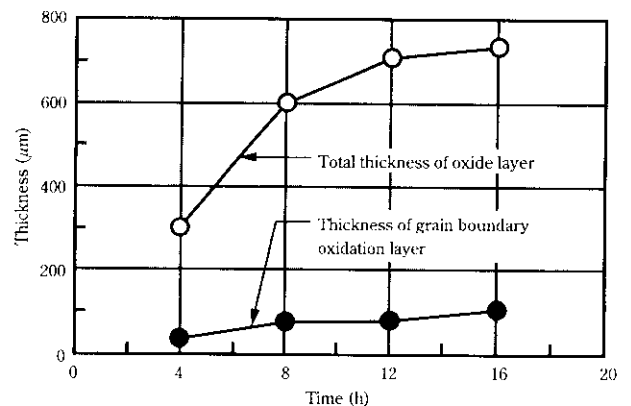


Fig. 14 Effect of keeping time of heat treatment on thickness of oxide layer (plug material; 0.3%C-0.35%Si-0.5%Mn-0.5%Cr-1.0%Ni-1.0%Mo-2.0%W-0.5%Nb-1.0%Co)

面の酸化被膜厚みと粒界酸化層厚みに及ぼすCrなどの化学成分の影響を調べた。調査結果をFig. 12および13に示す。Cr量の増加に伴って酸化被膜厚みが減少する。また、1%程度のNi添加が最も粒界酸化層厚みを大きくできる。さらに、CoもNi同様の効果を有することを確認した。

以上の結果に基づき、Table 3に従来組成と比較して示す新成分系プラグを開発した。今回開発したプラグと従来プラグについて酸化被膜を比較してPhoto 4に示す。今回開発したプラグの酸化被膜は厚みが増加している。さらに、粒界酸化層も、厚みの増加とともに母材界面が複雑に入り込み、酸化被膜と母材との密着向上に有効である。

5.3 プラグ表面酸化被膜に及ぼすプラグ熱処理時間の影響

前節に記した新成分系ピアサープラグの酸化被膜厚みに及ぼす950°Cでの保持時間の影響を調べた。実験結果をFig. 14に示す。保持時間が長くなるにつれて酸化被膜厚み、粒界酸化層厚みともに

増加するが、酸化被膜厚みの増加は 12h 程度で、粒界酸化層厚みの増加は 8h 程度で飽和する。そこで、950℃での加熱時間は 8h とした。

本プラグ材質と加熱時間の改善により、実操業におけるプラグ寿命は従来の 3 倍以上に向上した。

6 結 言

マンネスマン式ピアサーにおける高合金鋼ビレット穿孔圧延時のロール、ガイドシューおよびプラグの損耗機構を解明し、対策技術を開発した。今回得られた知見を以下に示す。

- (1) 高合金鋼ビレット穿孔圧延時、ピアサーロールは塑性流動をともなって損耗するため、ロール表面が平滑になる。
- (2) 炭化ケイ素微粉を高分子ポリマーによって水に分散させたスリップ防止剤を開発し、ピアサーロール表面の平滑化による圧延不能を解消した。

(3) 高合金鋼は表面の酸化被膜が薄く、かつ熱間変形抵抗が大きいので、圧延時に酸化被膜が破られ、ガイドシューに焼付きやすい。

(4) ホウ酸と弱塩基性の被膜形成剤の混合水溶液および弱酸性の補助水溶液を用い、中和反応によってガイドシュー表面に潤滑被膜を形成させ、焼付きを防止する潤滑技術を開発した。

(5) 高合金鋼ビレット穿孔圧延時、ピアサープラグにかかる圧延負荷と熱負荷は非常に過酷で、プラグは溶損、変形、欠損状に損傷しやすい。

(6) 0.3%C-0.5%Cr-1%Ni-0.5%Nb-1.5%Mo-3%W-1%Co の新成分系プラグを開発し、熱処理時間の見直しにより、プラグ寿命は従来の 3 倍以上に向上した。

今後、高合金鋼継目無鋼管の製造量はますます増加すると予測される。圧延ロールの品質と工具寿命の延長技術を向上し、さらなる品質と生産性の向上に取り組む予定である。

参 考 文 献

- 1) 岡 弘、粕谷利昭、森岡信彦、依藤 章、清水哲雄：材料とプロセス、**6**(1993)2, 382
- 2) 清水哲雄、岡 弘、粕谷利昭、望月亮輔：材料とプロセス、**6**(1993)2, 370
- 3) 山川富夫、林 千博：材料とプロセス、**6**(1993)2, 364
- 4) 曾谷保博、宇田川辰郎、三原 豊：材料とプロセス、**6**(1993)2, 374
- 5) 加藤 治、川並高雄：塑性と加工、**30**(1989)336, 103
- 6) 加藤健三：大阪冶金会誌、**10**(1969), 27
- 7) 大貫 輝、浜渦修一、川並高雄、中島浩衛：鉄と鋼、**72**(1986)3, 104
- 8) 坪内憲治、中西哲也、藤井 悟、永瀬 豊：材料とプロセス、**6**(1993)2, 386
- 9) 内田 秀、増田一郎：鑄物、**66**(1994)3, 193
- 10) 神居詮正、寺門良二：塑性と加工、**17**(1976)182, 202
- 11) 佐伯邦男、橋本有司：塑性と加工、**7**(1966)63, 183
- 12) K.Oberem: *Metallurgical Plant and Technology*, (1987)4, 50
- 13) 松永正久、津谷裕子：「固体潤滑ハンドブック」、(1978), 540, [辛書房]
- 14) たとえば 新報国製鉄(株)：特公昭 59-9628