

(論文)

アルミニウム板の熱間圧延用DP型圧延油の潤滑特性

Lubricating Behavior of Dispersed Phase Type Coolants during Aluminum Sheet Hot Rolling



池田昌則*
Masanori Ikeda



秦 昌弘**
Masahiro Hata



村尾伸介**
Sinsuke Murao



市本武彦***
Takehiko Ichimoto

During the hot rolling of aluminum sheet, oil in water emulsions are used as coolants. Conventional anionic type coolants are not stable enough and do not provide sufficient lubrication which has a negative affect on the strip surface. In order to solve these problems, a new cationic dispersion type coolant was developed. The new coolant's thermal stability, the influence of wear debris and water quality on the emulsion particle size (EPS), and the influence of the EPS and oil concentration on its plate-out behavior are investigated in this paper.

まえがき = アルミニウム板の製造では、飲料缶材、印刷版材にみられるように、その用途から優れた表面品質が要請される。アルミニウム板製品の表面品質は、とくに熱間圧延時の潤滑性の影響が大きく、より優れた潤滑性、操業安定性を有する熱間圧延油（クーラント）の使用が必須となっている。アルミニウム板の熱間圧延において、従来のアニオン系乳化剤を用いた圧延油では、新油上げ時に潤滑性が不足するとともに、操業中に圧延油性状が変動し、安定した潤滑性の維持が困難になるため、表面品質に優れた板を安定して生産することが難しく、課題となっていた。

従来、アルミニウム板の熱間圧延潤滑については、アニオン系乳化剤を用いた圧延油における添加剤の影響¹⁾²⁾やロールコーティング現象³⁾に関する研究は実施されている。しかし、乳化機構の異なる圧延油については、熱劣化、摩耗粉、使用水質がエマルション粒径へ及ぼす影響、エマルション粒径がプレートアウト性、乳化安定性へ及ぼす影響などについての十分な検討はなされていない。

そこで本研究では、板表面品質および操業安定化を目的に開発した水溶性カチオン系高分子化合物（分散剤）を乳化分散に用いたDP (Dispersed Phase) 型圧延油⁴⁾⁵⁾に関し調査したので報告する。

1. DP 型圧延油の乳化機構

図1に、DP型圧延油の乳化機構を従来のアニオン系乳化剤を用いた圧延油と比較して示す。従来の圧延油が乳化剤により油滴が水に乳化するのを助ける機構を持つのにに対し、DP型圧延油は高分子分散剤で油滴を保護コロイド化し、油滴同士の合一を防止し安定なエマルションを形成する機構をもつ。

また、DP型圧延油は弱酸性のカチオン系の高分子化

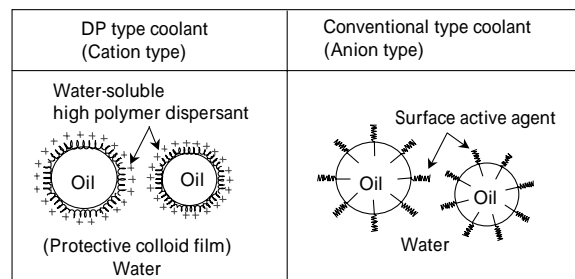


図1 DP型圧延油とアニオン系圧延油の乳化機構比較
Fig. 1 Comparison of emulsification mechanism between DP type coolant and conventional coolant

表1 試験用圧延油の特性値
Table 1 Properties of tested coolants

	Conventional coolant		DP type coolant	
	Anion emulsion		Cation type A	Cation type B
Emulsion type				
Acid value (mg KOH/g)	25		12	
Saponification value (mg KOH/g)	27		34	
Specific gravity (25/4)	0.89		0.87	
Viscosity (mm ² /s, 40)	32		32	

合物を乳化剤とするため、バクテリアの発生がほとんど無くミル回りの汚れを低減できる。

2. 実験方法

2.1 供試油

本報では、粗圧延油を評価対象とし、表1に示す3種類の供試油を用いて各評価を行った。

2.2 エマルション粒径制御方法

エマルションは、2ℓピーカに従来のアニオン系圧延油を基油4%、DP型圧延油を基油2%の濃度で蒸留水に合

*アルミ・銅カンパニー 真岡製造所 技術部 **アルミ・銅カンパニー 真岡製造所 製造部 ***花王㈱ 化学品研究所

計容量が 2ℓ になるように配合し、油温は 55 一定で、ホモジナイザにて攪拌した。エマルジョン粒径はコーンターカウンタで測定した。DP 型圧延油のエマルジョン粒径は、分散剤濃度およびホモジナイザの回転数で制御した。平均エマルジョン粒径に及ぼす分散剤濃度、ホモジナイザ攪拌回転数の影響を図 2, 図 3 に示す。DP 型圧延油は分散剤濃度が高い場合、またはホモジナイザの回転数が高い場合に平均エマルジョン粒径が小さくなる。一方、アニオン系圧延油の平均エマルジョン粒径は攪拌回転数にかかわらず 2μm と一定になる。

2.3 乳化安定性評価方法

熱劣化の乳化安定性評価は、エマルジョンが所定濃度になるよう油と蒸留水を配合し、液温 55 一定でホモジナイザ 10,000rpm にて攪拌することで調製した。エマルジョン粒径は粒径制御時の測定方法と同様に、コーンターカウンタで測定した。

2.4 実験項目

1) 圧延油の熱劣化の影響

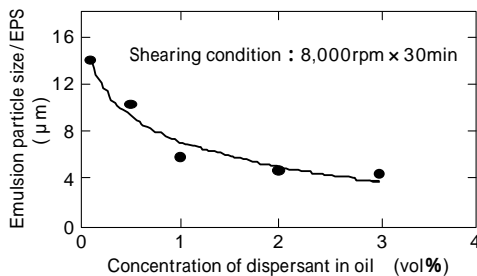


図 2 平均エマルジョン粒径に及ぼす分散剤濃度の影響

Fig. 2 Influence of dispersant concentration against rolling oil on emulsion particle size (EPS)

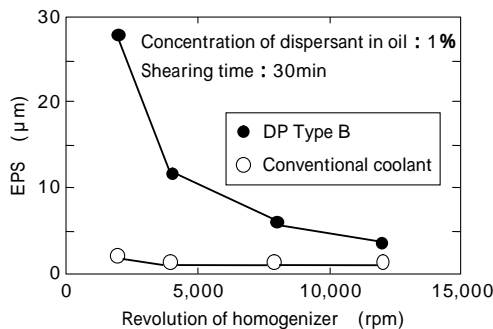


図 3 平均エマルジョン粒径に及ぼす攪拌回転数の影響

Fig. 3 Influence of shearing force on EPS

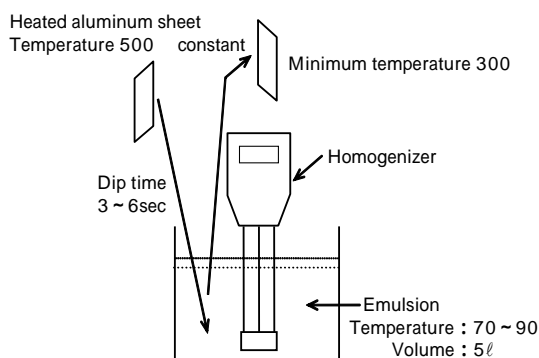


図 4 エマルジョンの熱劣化評価試験

Fig. 4 Thermal stability evaluation method of coolants

図 4 に示すように、アルミ粉 (粒径 0.1 μm) をクーラントあたり 100mg/kg 添加し、10,000rpm で攪拌したエマルジョン 5ℓ 中に 500 に加熱した純アルミ板 (3 × 80 × 150mm) を 3 ~ 6 秒浸漬し、油が展着する前に素早く引上げる。100 枚ごとに蒸発した水分と同量の蒸留水を補給し、計 1,000 枚浸漬する。加熱したアルミ板の影響で試験中の液温は 70 ~ 90 となる。この間のエマルジョン粒径の変化によって、エマルジョンの熱安定性を評価した⁶⁾。

2) 摩耗粉および摩耗粉粒径の影響

圧延摩耗粉の影響を評価するために、3.0 μm アルミ粉 (三津和薬品(株)製), 0.10 μm アルミ粉 (株)レアメタリック製), 0.02 μm 鉄粉 (株)レアメタリック製の 3 種を模擬的に用い、金属粉を所定量添加した際のエマルジョンの粒径変化を調査し、評価した。

3) 使用水質の影響

蒸留水に水酸化ナトリウムを微量添加した pH 調整水を用いて、エマルジョンを調製することで使用水 pH の影響を評価した。

4) 平均エマルジョン粒径の乳化安定性への影響

エマルジョンの安定性については、図 5 に示すように、分液ロート中に十分に攪拌したエマルジョン 1,000ml を入れ静置、8 分後に採取した上下層 100ml の油分濃度から、式(1)で ESI (Emulsion Stability Index) を算出し、評価した。

$$ESI = (\text{下層の油分濃度}) / (\text{上層の油分濃度}) \times 100 \dots (1)$$

5) エマルジョン粒径と油分濃度のプレートアウト性への影響

圧延油のロールへの付着性を評価するために、プレートアウト量を測定した。図 6 に示すように、60 の圧延油を圧力 200kPa、流量 2ℓ/min のスプレー (株)いけうち製 JP03 のノズルを表裏面に各 1 本) で、150 に加熱したアルミ板の表裏面に、板表面から 150mm 離れた位置から 1 秒間垂直に吹付け、圧延油吹付け後の板表面に残る油量を測定し、これをプレートアウト量とした。

6) プレートアウト性の圧延面圧への影響

テストミルで表 2 に示す試験条件で圧延を行い、各圧延油使用時の圧延荷重を測定し、圧延油の熱劣化が潤滑

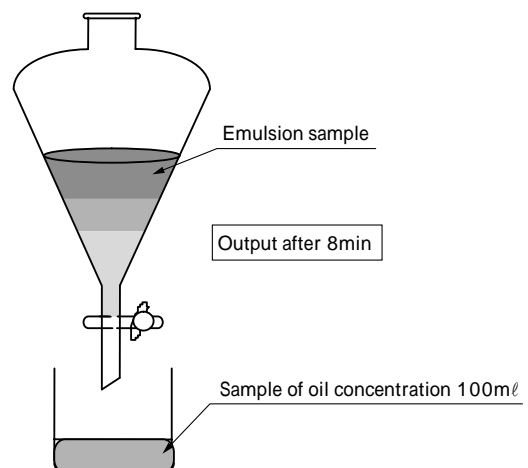


図 5 ESI 測定方法

Fig. 5 Measuring method of emulsion stability index (ESI)

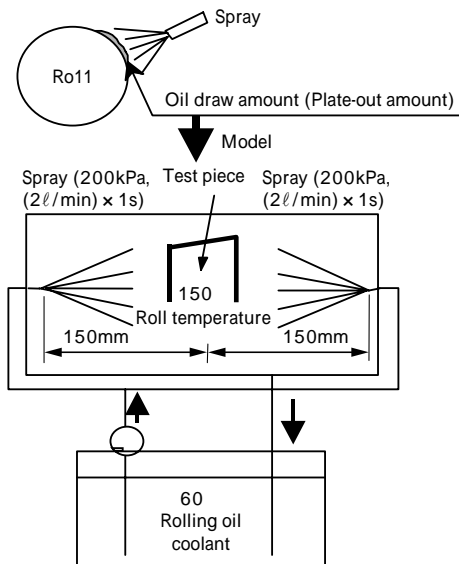


図6 圧延油のプレートアウト性評価

Fig. 6 Evaluation method of coolant plate-out behavior

表2 圧延条件
Table 2 Rolling conditions

Roll size and material	200 mm × 200 mm, SUJ-2, HS = 90
Roughness of roll	Ra = 0.55 μm, Rz = 4.0 μm
Sheet material	A1100, A5182
Specimen size	3.5 × 40 × 700 mm
Specimen temperature	480
Rolling speed	40 m/min
Reduction	A1100 : 60%, A5182 : 30%
Oil condition	10ℓ, 55 , Homogenizer 10,000 rpm
Number of spray	100kPa, 1ℓ/min/piece (one each of inlet upper and lower)

性へ及ぼす影響を調査した。また、油分濃度を2, 4, 6%と変えて圧延荷重に対する油分濃度の影響を測定し、圧延潤滑性を評価した。

3. 実験結果と考察

3.1 圧延油の熱劣化の影響

供試油エマルションの熱安定性試験結果を図7に示す。従来のアニオン系圧延油は、エマルションの乳化性が低下して徐々にエマルション粒径が大きくなることからわかる。これは、金属石鹸の生成による乳化剤の消耗と高温による乳化助剤の揮発消耗などによる。

DP型圧延油に用いられる分散剤は、凝集成分(凝集モノマ)と乳化成分(乳化モノマ)および分散成分(分散モノマ)より成り、これらの各成分の比率により、エマルションの粒径や乳化分散性が制御される。分散剤Aを用いたDP型圧延油は、エマルション粒径が徐々に小さくなることからわかる。これは、冷間圧延と異なり、高温板との接触によりポリマ中の凝集成分が分解し、凝集力が低下するためであると考えられる。モノマの構造を改良し、耐熱性を向上させた分散剤Bを用いたDP型圧延油は、エマルション粒径の低下もなく圧延油としての熱安定性に優れることがわかる。

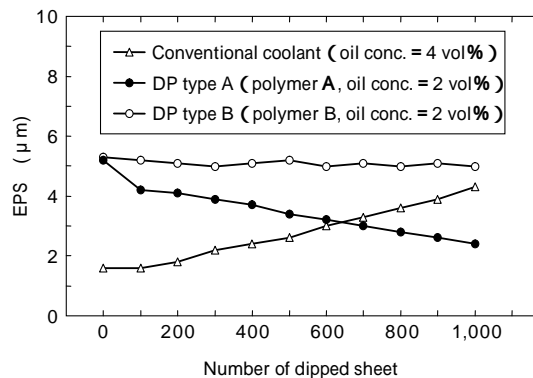


図7 熱劣化による各種DP型圧延油の乳化安定性の変化
Fig. 7 Thermal stability comparison among tested coolants

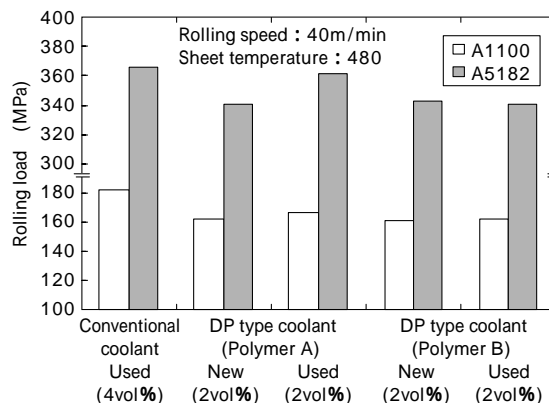


図8 従来油とDP型圧延油A, Bの圧延荷重比較

Fig. 8 Rolling load comparison between DP type coolants and conventional coolant

熱劣化の潤滑性への影響を調査するため、実機使用油を用いて、ラボ圧延試験を行った。結果を図8に示す。ロールコーティング生成のために、A1100材は30枚、A5182材は20枚の前圧延を行った後、A1100材、A5182材各2枚のサンプルについて圧延評価した。熱劣化によってエマルション粒径が低下したDP型圧延油(分散剤A使用)では圧延面圧が増加し、熱劣化によってエマルション粒径がほとんど変化しなかったDP型圧延油(分散剤B使用)では、圧延面圧に変化がないことがわかる。しかし、分散剤Aを用いたDP型圧延油の潤滑性低下の原因については、熱劣化自体の影響とエマルション粒径の影響の2つが考えられ、ここでの結果だけでは、両者の影響度の大小については判断できない。以後の評価結果で推論する。

以後は全て、熱安定性に優れる分散剤BのDP型圧延油を評価対象とした。

3.2 摩耗粉量および摩耗粒径の影響

摩耗粉は油粒子の中または界面に存在し、油粒子同士との分散・凝集に影響するものと考えられる。DP型圧延油(分散剤B使用)に関するエマルション粒径への摩耗粉量および摩耗粉粒径の影響を、図9に示す。アルミ粉、鉄粉ともに、微細な粒径の摩耗粉の混入によりエマルション粒径が増大することがわかる。実機使用油の摩耗粉粒径分布を図10に示す。ここで0.1μm以下の測定分は0.1μmに加算集約している。実操業で発生する摩耗粉は、0.1~0.5μmの微細な粒径であることがわかる。仕上げ圧延では摩耗粉発生量が多いため、摩耗粉除去シス

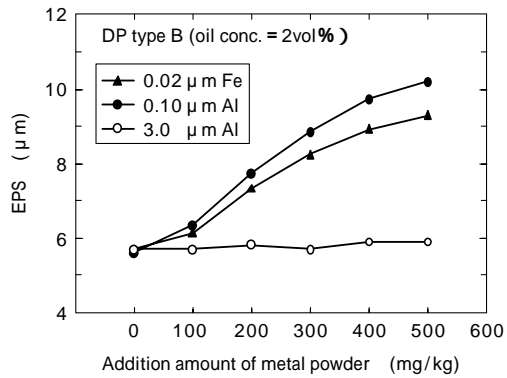


図9 平均エマルジョン粒径に及ぼす金属粉の影響
Fig. 9 Influence of metal powder on EPS

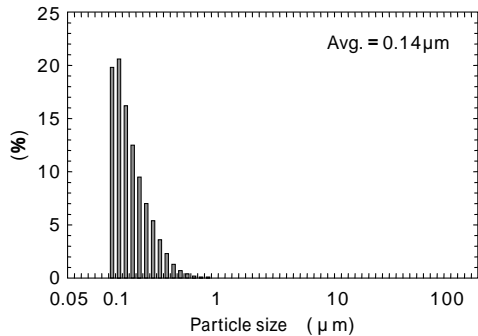


図10 実機使用油中の金属粉粒径分布

Fig.10 Particle size distribution of wear debris in actual coolant at production mill

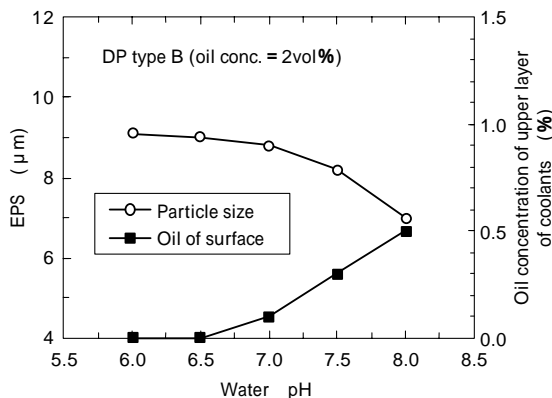


図11 使用水の pH の DP 型圧延油へ及ぼす影響
Fig.11 Influence of water pH on EPS of DP type coolant

テムなどの検討が必要である。

3.3 使用水質の影響

DP 型圧延油に関するエマルジョンの乳化性と使用水の pH の関係を図11 に示す。使用水の pH が上昇するとピーカ上層の油分濃度が上昇し、浮上油が発生し易くなり、徐々にエマルジョン粒径が低下することがわかる。これは、DP 型圧延油がカチオン系ポリマを乳化剤としており、弱酸性液中では優れた乳化性を示すが、一方弱塩基性液中では乳化性が低下し、凝集力も低下するため、浮上油が発生し易くなり、エマルジョン粒径が低下したものと考えられる。従って、実機においては、使用水の pH 管理を十分に行う必要がある。

3.4 平均エマルジョン粒径の乳化安定性への影響

平均エマルジョン粒径と ESI の関係を図12 に示す。平均エマルジョン粒径が大きいほど ESI は小さくなり、

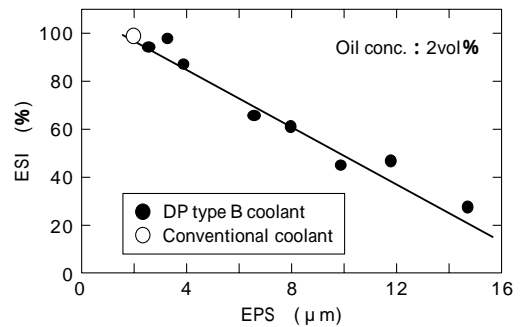


図12 ESI に及ぼす平均エマルジョン粒径の影響
Fig.12 Influence of EPS on ESI

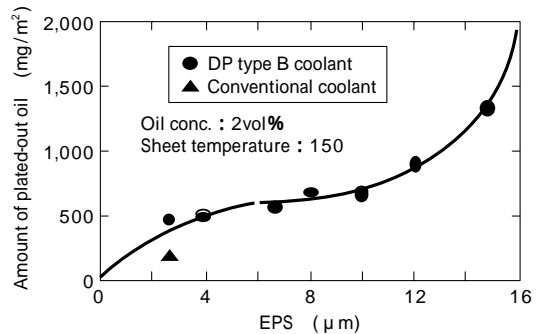


図13 プレートアウト性に及ぼす平均エマルジョン粒径の影響
Fig.13 Influence of EPS on plate-out behavior

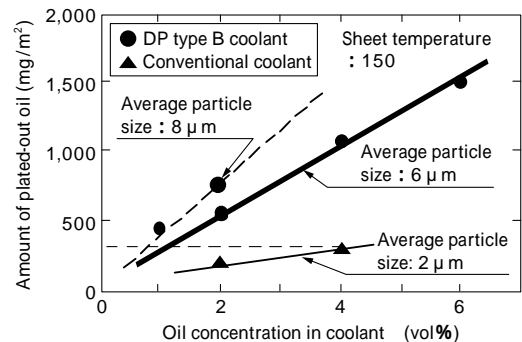


図14 プレートアウト性に及ぼす油分濃度の影響
Fig.14 Influence of oil concentration in coolant on plate-out behavior

上下層の油分濃度差は大きく、エマルジョン安定性は低下する。大きいエマルジョン粒径で圧延を行う場合、上下層の油分濃度を均一にするために、クーラントタンク容量、クーラント循環システムなどを適切に選定することが必要である。

3.5 エマルジョン粒径と油分濃度のプレートアウト性への影響

平均エマルジョン粒径とプレートアウト量の関係を図13 に示す。DP 型圧延油では平均エマルジョン粒径が大きいほどプレートアウト量は指数関数的に多くなる。アニオン系圧延油プレートアウト量は、エマルジョン粒径が同等であっても DP 型圧延油に比べ若干小さくなる。これは、DP 型圧延油では分散剤が付着性を向上させる作用があるためと考えられる。

油分濃度とプレートアウト量の関係を図14 に示す。DP 型圧延油、アニオン系圧延油ともに、油分濃度が高くなるとプレートアウト量は比例して増加する。平均エマルジョン粒径が大きくなるほど、油分濃度の増加に対す

るプレートアウト量の増分は大きくなる。平均エマルジョン粒径が小さいアニオン系圧延油のプレートアウト量は小さくなる。平均エマルジョン粒径 $6\mu\text{m}$ の DP 型圧延油は、油分濃度 1% で、平均エマルジョン粒径 $2\mu\text{m}$ 油分濃度 4% のアニオン系圧延油と同等のプレートアウト量となる。

3.6 プレートアウト性の圧延面圧への影響

各油分濃度でのプレートアウト性と圧延面圧の関係を図 15 に示す。DP 型圧延油はプレートアウト量が多いものほど圧延面圧は小さくなり、本試験ではプレートアウト量 $1,000\text{mg}/\text{m}^2$ 以上で圧延面圧低減効果は飽和する。ロール表面への油の付着量を示すプレートアウト量は、圧延材とロールが接触するロールバイトへの導入油量に影響するが、この圧延面圧低減効果の飽和は、本圧延条件での導入可能なロールバイト内への油量をプレートアウト量が越えたためと考えられる。従来アルミニウム板の圧延油には、潤滑性向上を目的に油性剤として脂肪酸が一般的に配合されている。表 1 に示すように、ここで用いたアニオン系従来油も酸価値が高くなっており、脂肪酸濃度が高いことがわかる。それにもかかわらず、アニオン系従来油の圧延面圧は DP 型圧延油の延長線近傍にある。水溶性熱間圧延油では、圧延面圧へ及ぼすプレートアウト性の影響が大きいと考えられる。また、この結果より、前述 3.1 項の熱劣化の潤滑性評価において、耐熱性の低い DP 型圧延油（分散剤 A 使用）の圧延面圧が上昇した原因は、熱劣化自体の影響よりも、熱劣化によりエマルジョン粒径が小さくなり、プレートアウト量が少なくなったことが主因と考えられる。

むすび = DP 型熱間圧延油について、エマルジョン粒径の潤滑特性、エマルジョン粒径に及ぼす諸因子の影響を調査し、次の結果が得られた。

- 1) DP 型圧延油は分散剤濃度、攪拌条件の変更により、容易にエマルジョン粒径を制御できる。
- 2) 分散剤 A を用いた DP 型圧延油は、熱劣化によって徐々にエマルジョン粒子径が小さくなる。分散剤の構造を変更し、耐熱性を向上させた分散剤 B を用いることで、エマルジョン粒径の低下もなく熱安定性を向上できる。
- 3) 微細な摩耗粉の混入はエマルジョン粒径を増大させ

	DP type B coolant	Conventional coolant
Average particle size (μm)	6	2

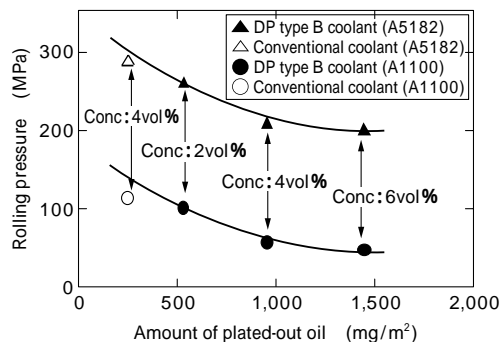


図15 圧延圧力に及ぼすプレートアウト量の影響
Fig.15 Influence of plated-out oil amount on rolling pressure

る。摩耗粉発生量の多い仕上げ圧延油では、過剰にエマルジョン粒径を増大させ、乳化安定性を低下させ浮上油が発生し易くなるため、摩耗粉除去システムなどの適用が必要である。

- 4) DP 型圧延油は弱塩基性液中において乳化性は低下し、凝集分散力も低下するため、浮上油が発生し易くなる。実機においては、使用水の pH 管理を十分に行う必要がある。
- 5) エマルジョン粒径を大きくすることにより、プレートアウト性を高め、潤滑性を向上することができる。実機においては、大きなエマルジョン粒径で圧延を行う場合、エマルジョンの浮上を抑制するために、クーラントタンク容量、クーラント循環システムなどを適切に選定することが必要である。現在、本研究の成果を実機に適用している。

参考文献

- 1) 松下富春ほか：塑性と加工，24-264 (1983) p.32.
- 2) 軽金属学会：研究部会報告書，No.14 (1985) p.2，軽金属学会．
- 3) 軽金属学会：研究部会報告書，No.24 (1991) 1-51，軽金属学会．
- 4) 永森弘之ほか：鉄と鋼，69-5 (1983) p.64.
- 5) 門山尚志ほか：R&D 神戸製鋼技報，Vol.48, No.1(1998) p.27.
- 6) 吉田隆夫ほか：潤滑，28-3 (1983) p.214.