解 説

金属加工のさいの表面についての諸問題

—第17回シンポジウムの報告—

本村 貢*

Some problems on surface characteristics of metal processing

Mitsugu MOTOMURA*

1. はじめに

上記標題の第17回シンポジウムが、昭和55年9月1日に日本工業倶楽部で盛大に開催された。当学会の研究委員会の一部会である金属加工部会では、押出加工、鍛造加工および圧延加工などについて研究、討議および勉強会が進められている。それらの1つとして、今般“アルミニウムおよびアルミニウム合金の表面欠陥分類”を研究部会報告書 No. 5 としてまとめた。この報告書を土台にして、圧延、押出し、鍛造の各分野において、今日問題にされている表面あるいは表面欠陥に関する諸現象とその発生原因および対策について解析、考察を行なう目的で7つのテーマについて発表があつた。同時に、同部会の分科会主査により、押出材や圧延材の表面欠陥および形状品質分類についてまとめ方および内容抄録の報告が2テーマあつた。

塑性加工の分野において、工具と被加工材料との接触面に作用する摩擦によつて起こされる諸現象の解析は、学問的取扱いのみでなく、現場的にも、経験的にも重要な課題であることは言うに及ばない。学問的には、流体潤滑、境界潤滑、混合潤滑のように区分され取扱われている。これらが基になつて、工具によつて塑性変形される材料は、損傷を受けたり、工具への材料の付着が生じ、それによつてさらに材料の表面が傷つけられたり、さらには工具の摩耗、焼付きなどが生じてくる。このように生ずる表面欠陥は、次工程で需要家の製品の美観を損ねるだけでなく、製品の製造過程においては材料の破断や割れを引き起こす原因ともなる。すなわち、健全な製品を得る1つの手段として、表面についての諸問題の解明は非常に重要な課題で、そこに本シンポジウムの位

置づけがあり、今日的ニーズある内容である。

以下に、シンポジウムの内容について説明を行なう。

2. 押出材の表面欠陥分類について

押出加工における欠陥を大別すると表面や形状のような押出材の外観によるものや品位に関する内部欠陥などに分けられる。これら欠陥が発生する原因について大別すると、ビレットの内部性質によるもの、押出時の素材の変形流動によるもの、ダイスの性能および操業条件によるもの、押出材の取扱いと成形によるものなどがある。したがつて、これら欠陥を防止するには、ビレットの品質を向上させる製造条件、ダイス性能の向上、押出条件および成形条件の適正化が必要で、この適正化という問題の解明に、広範な情報と知識や柔軟な考え方が必要とされる場所である。

本報は、金属加工部会で検討が進められてきた、押出材の表面や形状を主体とした欠陥名の統一と整理、発生原因とその防止対策に関する報告の抄録である。詳細については、研究部会報告書 No. 5 を参照願いたい。

各社より持ちよられた表面欠陥を分類して20種類に整理・統合した。それらを第1表に示す。それらが発生する原因を、ビレットに帰因するものとし7種、ダイスに関連するものを8種、操業技術に帰因するものとし11種、取扱い運送に関連するものを5種と分類をした。欠陥名には日本語と英語を併記し、定義と特徴を明確にし、発生する原因を詳細に論じ、それから考えられる防止対策を定性的に論じている。これら発生原因と防止対策について、今後現場において、研究において、分科会において個々に思考、解明されることが望まれる。さらには、アルミニウム鍛造における特有の表面欠陥、製品

* 早稲田大学鋳物研究所（東京都）。軽金属学会研究委員会金属加工部会部会長 The Castings Research Laboratories, Waseda University (Tokyo).

欠陥などが今後整理されていくことも望まれている。

3. 板の表面欠陥および形状品質分類について

押出加工と同様にアルミニウム圧延材料についても表面欠陥の分類がなされ、本報はその抄録である。詳細については研究部会報告書 No. 5 を参照されたい。

アルミニウム圧延材料の品質に影響を及ぼす要因としては、強度や伸び、成形性などの機械的性質、耐食性、寸法精度あるいは形状の均一性および表面状態などがあげられる。特にアルミニウム製品の多くが陽極酸化処理を施し無塗装で用いられることなどにより、その表面状態には厳しい要求がなされている。また、アルミニウム製品の性能や生産性の向上などの点より、寸法精度の高い、形状の均一な素材の供給が望まれている。これら表面欠陥や形状品質の改善に関して積極的に研究がなされている中で、それら用語の不統一は不都合な面も多いし、表面欠陥の発生あるいは形状品質におよぼす因子の整理、検討は意義がある。

板の表面欠陥の分類にあたって、アルミニウム圧延材料の製造工程を、連続製造塊の製造と面削を含めた鋳造工程、熱間および冷間圧延工程、矯正あるいは熱処理等の仕上工程、運搬あるいは保管等のハンドリング工程の4つに大きく分類した。表面欠陥の数は39種で、第2表に示す。

第1表 欠陥の原因別分類表

欠陥名	原因別	ピレット	ダイス	操 技	業 取 扱 運 送
オキサイドストリーク		○			
ストラクチャーストリーク		○			
ピックアップ		○	○		
テアリング		○		○	
オレンジピール		○		○	
ストレンマーク		○		○	
粗粒組織		○		○	
ベアリングストリーク			○		
ダイスマーク			○		
溶着線(Ⅰ)			○	○	
ロンジチューデナル					
ふくれ・ブローホール			○	○	
波うち			○		
びびり			○	○	○
ねじれ			○		○
溶着線(Ⅱ)				○	
トランスパース					
ステイン (ウオータ, オイル)				○	○
後方巻き込み				○	
ストップマーク・スナップマーク				○	
スクラッチ(Ⅰ)(Ⅱ)					○
当りきず					○

第2表 表面欠陥名と発生が基因する製造工程

工 程					工 程				
欠陥名	鋳造	圧延	仕上	ハンド リング	欠陥名	鋳造	圧延	仕上	ハンド リング
インクルージョン	○				ロールスクラッチ		○	○	
黒皮残り	○	○			びびり		○	○	
ふくれ	○	○			段付き		○	○	
ストリンガー	○				ストップマーク		○	○	
ストリーク	○				圧延きず		○	○	
押し込み		○	○		レベラーマーク			○	
皮きず	○	○			引張歪模様			○	
汚 れ		○	○		油焼付き			○	
合せふくれ		○			焼鈍模様			○	
ラミネーション	○	○			なましきず			○	
耳割れ	○	○			機械きず		○	○	
エッジマーク		○			しまりきず			○	
エンドマーク		○			もみきず			○	○
送りマーク		○			ハンドリングスクラッチ				○
ヘリンボーン		○			当りきず				○
光沢不良		○			押しきず				○
ピックアップ		○			腰折れ				○
表面割れ		○			輸送きず				○
コーティングむら		○			腐 食				
ロールマーク		○							

第3表 形状品質に関する用語

分類項目	用 語
平坦度	平坦度, 耳伸び, 中伸び, クォータ・バックル, 複合伸び, 局部伸び, 小波
そり	縦そり, 横そり, 吊りそり, プランクそり
曲り	曲り
ねじれ	ねじれ
プロフィール	板クラウン, エッジドロップ, ウェッジ
巻き形状	エッジ盛り, 巻きずれ

第1図 63S 間接押出法でのビレット表皮の押出材への流出

板の形状品質に関する用語は, 18種選択し, 平坦度, そり, 曲り, ねじれ, プロフィール, 巻き形状に分類し, 第3表にそれを示す。形状品質については, それを判定する方法が重要であり, 判定法を補足し, 表面欠陥と同様に定義, 特徴および測定法, 発生原因と防止対策に分けて詳述されている。

これら表面欠陥等については大まかな分類のきらいもあるが, この分類法がアルミニウム業界に定着されることを望むと共に, 発生原因や防止対策が会員諸氏により解明され, 定性的項目が定量化されるように追記されていくことにより, アルミニウムに関する加工技術が前進されていくだろうと信じている。

4. 押出表面欠陥とメタルフロー (ラジオアイソトープ利用の実験例)

押出しが三次元非定常変形であること, 欠陥部の加工履歴を把握し難いことや各サイクル毎に外乱が入り易いことなどが原因で, 押出しの表面欠陥の発生原因ははつきりつきとめにくい。本報は金属学的アプローチと並行して, マーカとしてラジオアイソトープ (RI) を利用し押出流動プロセスを検討し押出表面欠陥の生成を解明している。熱間押出中の摩擦仕事の変化, 変形温度の変動

第2図 バッフルメタルの次押出への影響

などにより, 加工履歴はビレット内外で著しく異なり, 押出材の形状が多岐にわたっていたりして, 欠陥位置とビレット内部での初期存在位置を対応づけることは困難である。表面欠陥についての理論が弱い現在, その解明には材料流動を適確に把握することが第1で, ビレット表皮層の流動, フローガイドに伴う問題, ベアリング表面でのマイクロなどを RI を使って実験解析した。

トレーサとして ^{59}Fe (半減日数45日), ^{192}Ir (同74日), ^{108}Au (同3日) を使用した。ビレット全体を放射化する場合, 原子炉であらかじめ放射化した後鑄造時にトレーサを添加する。ビレット表皮層の放射化の場合は表皮あるいは機械皮溝にトレーサ希釈液を塗布した。ダイスベアリングの摩耗や転移については, そこに Au を蒸着した後放射化する方法をとった。押出後の解析は, 1) 押出方向の放射能強度の連続測定, 2) 断面内の流出分布のラジオオートグラフ測定, 3) ステップ状に押出中断時のコンテナ内の押出中断時のコンテナ内の押出変形過程の材料流動のオートグラフ測定などによった。

4.1 間接押出法の結果

第1図はビレット表面に ^{59}Fe を塗布した外接円60%の型材押出しの場合の型材長さに対する放射能強度を示したものである。押出し初期から一定量のビレット表皮が流出している。しかし, 表皮からある距離に位置する材料は, 押出し後期になるほどその流出量を大きくしている。また, ビレット表皮は型材のコンテナ壁近くに優先流出し, 型材のアルマイト処理後には灰色ストリークの欠陥となるが, 押出し後期のダイス中央部近傍に位置する表皮流出部は, 外観上の欠陥を伴わない。以上は63Sについての結果であるが, A5083の場合, ビレット表皮層は押出材断面内に均一に分布せず, 5 m/min の押出速度での部分的表面われと表皮層流出分布との関連を見

出した。61S, 17S の場合の表皮層流出分布は、ストリーク形成を起こすことも明らかにした。ディスクカード断面観察では、ダイス表面にわずかなデッドメタルが形成されることや表皮層はその上を滑って流出することとデッドメタルの剝離、流出現象などを RI によって明らかにすることができた。

4.2 直接押出法の結果

表皮層はダミー面をダイス孔方向にすべて進み、ディスクカードが短いと押出材に流出していく。押出初期では型にそって円あるいは楕円形に流出しているが、後期になるに従って押出材表面に流出し、パイピングを伴うと形状不整やティアリングを生ずる傾向になる。

フローガイドを使用した場合は、そこに流入した表皮層は次工程押出に影響し、押出先端に流出する場合や全長にわたって流出する場合があります(第2図)、流出位置が押出材表面となるとティアリングの表面欠陥となる。押出工程の終了時にコンテナから取り出したスカル(付着物)を観察すると、押出毎にビレットの表皮の一部がトラップされると同時に、その付着物が剝離する現象が明らかになった。このような表皮層の流出は欠陥につながり、その濃度が非常にうすいと光沢のあるバンドストリークの表面欠陥となる。さらに、フローガイド内に滞留するアルミニウムは、次に供給されるビレットとは加工履歴の差があるため、それが製品全長に流出するとアルマイト処理によるストリークの原因となる。

ベアリングへのアルミニウムコーティングあるいはベアリング表面の摩耗は、入口端近傍から発達し、この部分でメタルトランスファが強いことが判る。このコーティングや摩耗粒子が押出表面のピックアップ生成の原因になる。

以上のように、変形のプロセスと変形加工度の情報を得ることのできるラジオアイソトープを用いての押出解析によつて、押出材特有の表面欠陥を解明することが出来、今後の表面解析の有力な1手段であることが、多くのアイソトープ写真と考察とにより明確にされ、今後の幅広い研究が期待される。

5. 押出材表面問題に関する押出条件の影響

押出材の表面欠陥のうちのピックアップ、ダイラインおよび粗粒組織についてまとめたものである。特に、生産性向上対策の1つとして押出速度を高めることが生産工程の命題とされている現在、押出速度と表面欠陥との関連を明らかにすることは重要な課題の1つである。

5.1 ピックアップとダイラインについて

ピックアップとダイライン(定義等については研究部会報告書 No. 5 参照)の原因は、ダイスの品質、鋳塊の品質や押出条件などであるが、直接的には、ベアリング

第3図 フィーダーの例

表面とベアリングの裏穴につくアルミニウムの付着物に起因すると考えられている。

ダイスの品質に関しては、ベアリング表面の平滑さが重要で、押出方向に垂直にスムーズに研磨することが望ましい。ダイスの耐摩耗性を高めるには窒化処理を行ない、あるいは超硬ダイスを用いると平滑で安定した押出製品が得られる。

ベアリングの長さは短く、急激に変化するようダイス設計をし、そのダイスのオープニングとコンテナ壁面との距離を大きくとることが必要である。

最小外接円直径の異なる形材に発生する表面欠陥を押出速度に関して考察した結果、外接円が大きい場合、コンテナ壁面近くのビレット表層部が直接押出材に流れ込み、これが押出速度が大きいと顕著になる。これから生ずる表面欠陥を防ぐには、型材の外接円直径のコンテナ径に対する相対比率を小さくするようにすればよいが、型が決まっているのでコンテナ径を大きくすることが有効であり、コンテナ壁面とダイスオープニングとの距離を約20 mm以上離すことが必要である。設備上又は操業上の改良例が第3図のように示されている。

6000系合金の鋳塊組織に関しては、粗大な AlFeSi と Mg_2Si が上記表面欠陥に大きな影響を及ぼすので、均質化処理を施すと共に、その後の冷却速度を高めることが有効な方法である。特に、水焼入れすると生産性が71%向上したという例も報告されている。合金成分としては0.01~0.03%の硼素添加が効果的で、光沢のある平滑な

表面の押出材が得られると共に、押出速度を向上できる。

押出条件としてのビレット温度はコンテナ温度は高い場合、高押出速度において上記欠陥が生じ易いので、できる限り低温の押出しが好ましい。またパイピングを防ぐ意味から、コンテナ温度はビレット温度より20～50℃低い方が望ましい。操業に関連して、ベアリング出口の雰囲気は N_2 ガスに換えると上記欠陥は発生しにくくなり、押出速度の10～40%向上がみられる。さらに、ベアリングへのアルミニウム付着物を1本押出す毎に取り除くと、非常に平滑な製品が得られる。

5.2 粗粒組織について

粗粒組織は、2000系、6000系、7000系合金によく現われ、溶接性、耐応力腐食割れ性、鍛造加工性やグレインストリークなどの欠陥による表面品質の低下を起こす。A6061の直接押出しの場合の粗粒組織の押出材断面積に占める割合は、ラム速度が10 inch/min の場合、押出初期で30%、押出終期で50%、30 inch/min の押出速度の場合、それぞれ60%と85%となる。また、押出温度を低くするとその割合は少なくなるが、押出終期で増加する傾向は同じである。すなわち、粗粒組織を少なくするためには、押出初期に高速で、中間以降を低速にする方法が考えられる。

間接押出しの場合、同一押出速度では押出初期の粗粒組織は直接押出機よりも非常に少なく、高速になるに従ってその違いが顕著になる。

以上のように、3つの欠陥についてのまとめでもわかるように、数多くの因子の重なり合いによるもので、今後より本質的研究解明により、よりよい品質材生産への明確な各種条件が明らかにされていくことが望まれている。

6. 細径鋳塊の鍛造性に及ぼす鋳肌部の影響

アルミニウム鍛造品の前素型材としての細径棒は、押出棒が使用されているが、表面鋳肌や内部組織の状況などの因子が加工に理想的状態になれば、鋳塊が前素型材として利用される。気体加圧ホットトップ鋳造技術の開発によつて、加工性の良好な機械的性質の秀れた細径鋳塊の製造が可能となり、本報はその鋳造加工性などを論じている。

6.1 鋳肌と鋳造加工性

アルミニウム合金のD.C. 鋳造のフロートコントロールでは、安定して低湯面で鋳造するためのコントロールに難点があり、カス巻込み、コールドシャット等の欠陥を生じ、モールド長も長く粗大層が大きくなり、表面には焼き付き、発汗等の欠陥が発生し易い。一方、第4図に示すホットトップ鋳造法では、モールド長さが

第4図 ホット・トップ鋳造概念図

第5図 一方向性凝固によるD. A. S.と結晶粒度

D.C. 鋳造法の約半分、ヘッダを設置し、低溶湯鋳造が可能であるため、逆偏析層や粗大セル層は小さくなり、デンドライトセルサイズも均一になる。しかし、一般法(第5図のB)によると表皮特性はD.C. 鋳造法より劣るので、第5図のAのようにヘッダ下面と鋳型との接合部から気体を導入して気体加圧鋳造すると、良好な表面特性が得られる。鋳造条件を同一にして気体加圧効果の操作により鋳肌状態の異なる鋳塊の熱間限界割れ調査をした。気体加圧の効果がない場合、表面近傍に割れ、ピンホール、鋳巣の欠陥が散在し、切欠き効果を誘発し割れ発生となる。

気体加圧効果の場合、平滑肌にマイクロ欠陥は認められず、逆偏析層も40μと小さく、粗大セル層もほとんど識別できず、横方向欠陥の方が割れに対して鈍感である。

6.2 内部組織と強度特性および鍛造加工性

ビレット寸法による機械的性質の変化を、Al-10.5% Si-2.0% Cu-0.4% Mg系合金について調査したところ、小径になるに従って引張強さが向上し、特に伸びが急激に改善され、同時にデンドライトアーム間隔(D.A.S.と呼ぶ)は小さく、晶出物の大きさも小さくなる。すなわち、50 mmの径の鋳塊ではD.A.S.は10μで、200 mmの場合は40μになるが、工業的には第5図に示すように、D.A.S.が10μで、結晶粒度が100μ程度の鋳塊が製造可能な最小寸法である。鋳造速度を増加させると

第4表 供試材の製造条件

	Procedure	Conditions
1	Homogenizing	500, 550, 575, 600, 625 °C × 24 hrs
	Hot rolling Rougher	30 → 6 ¹ mm
	(Rolling temperature)	(420, 470, 520 °C)
2	Finisher	6 → 3 ¹ mm
	(Rolling temperature)	(250, 300, 350, 400 °C)
	Annealing	250, 300, 350, 400 °C × 2 hrs
3	Cold rolling Rougher (Mill finish)	3 → 0.8 ¹ mm
	Finisher (Bright finish)	0.8 → 0.4 ¹ mm
4	Heat treatment	400, 500 °C × 10 sec Air → cooling
5	Surface treatment	Chemical polishing → Anodizing (∼5 μm)

D. A. S. は小さくなり、変形能が向上し、さらに均質化処理により限界加工率が向上することから、D. A. S. の微細化とそれに伴う第二相粒子の分散の寄与が加工性向上に大きく影響する。

6.3 第二相粒子と製造加工性

鋳塊の靱性は、合金組成により支配されるが、特に不溶性化合物の第二粒子量および析出状態、品出状態に影響される。第二相粒子量を合金濃度により7～30%まで変化させた試料で、その鍛造加工性への影響を論じた。鍛造温度の上昇に伴い伸びや絞りは一時的に上昇し、300°C以上における上昇割合が大きくなるが、それらは第二相粒子量の増加に伴って減少していく。また、Si 添加による初晶、共晶組織の点から、合金の加工性は共晶組織により低下するが、さらに脆い初晶組織が存在すると加工性は極端に低下し、ある分散量になると低下割合が小さくなることが明らかになった。この初晶 Si の粒径のみをPでコントロールしたときの結果から、初晶 Siが100 M以上に大きくなると加工性は極端に低下することも判る。

このようにして得られた細径鋳塊の冷間鍛造後の強度特性は、従来使用されている押出棒とほぼ同等の特性を示し、さらに方向性が少ないことが明らかにされ、秀れた特性を有する美肌の冷間鍛造用鋳塊が得られている。

7. 光輝合金のストリークについて

5257光輝合金について、ストリークの発生原因を、鋳

第6図 最終板の光輝性と電気抵抗値におよぼすホモ温度の影響 (黒色マークは、BSの発生を示す)

塊組織、均質化処理と圧延条件などの点から考察し、ストリーク防止対策を論じた。本研究の供試材の製造条件は第4表に示すもので、鋳塊および熱延板の熱的履歴と析出物の挙動関係は、渦電流法により導電率の、また最終板については電気抵抗値の測定から、さらにストリークと光輝性については、化研一アルマイト処理後ストリーク発生程度の判定および鏡面反射率の測定から定量化した。

7.1 ストリークの発生原因について

良好な光輝性を得るためには高温均質化処理を行なうが、その場合結晶粒が巨大化しがちである。その巨大粒は、熱間圧延温度が低い場合、再結晶による微細化の程度が少なく、巨大粒間の方位差の影響がゴーストパターンとして残存し、ストリークとなる。この巨大粒の発生は鋳塊の残留応力の測定や鋳塊を小片に切断することによって結晶粒の巨大化が抑制されることなどから鋳造ひずみを駆動力とするものと考えている。

7.2 光輝性におよぼす影響因子について

第4表に示す製造条件で得られた0.4 mm 板厚の冷延板のストリーク発生と光輝性を調査した結果が、第6図である。600°C以上の均質化処理温度では、光輝性は良好であるけれども、巨大粒の発生によるストリークがみられるが、575°C以下ではその逆の結果となる。この傾向は、仕上げ熱延温度や最終質別にかわらず認められた。また、光輝性の変動は電気抵抗値の変化の傾向と一致しており、FeAl₃やMg₂Siの析出挙動が光輝性に影響していると考えられる。鋳造時に粒界にそって不連続に晶出したFeAl₃は、高温均質化処理によって球状粗大化し、

一部は再固溶する。これが光輝性を向上させていると考えられる。

Mg と Cu を増量した場合、600℃均質化処理材では部分的粒粗大化は避けられず筋状のストリークが発生するが、575℃均質化処理では、Cu の増量により光輝性は非常に改善される。しかし、アルマイト後の表面色調は黄色味をおび、Cu 増量により解決は困難である。

ストリークの原因となるゴースト・パターンは、熱延温度が420℃の場合鮮明で、470℃で不鮮明になり、520℃でほぼ消滅し、巨大粒の破壊再結晶が高温圧延で促進されると考えられる。一方、光輝性は熱延温度との相関はなく、仕上げ圧延温度と焼鈍温度に影響を受ける。すなわち、300～350℃圧延材は Mg_2Si の析出ピーク温度に対応して光輝性は悪く、400℃でも固溶 Mg_2Si が300℃近傍で析出し光輝性は良くなく、光輝性は250℃仕上げ材が最も良好であった。

以上のように、ストリークは高温（580℃以上）均質化処理時の巨大結晶粒に起因する。しかし低温処理で巨大粒の成長を防ぐと光輝性の低下を招く。したがって、ストリークを消滅させ光輝性を確保するには、高温均質化後巨大粒の再結晶による微細化が進む520℃の高温熱延と Mg_2Si の析出をさける250℃程度の低温仕上げの工程を採用することが望ましい。

8. アルミニウム水溶性圧延油

アルミニウム冷間圧延機の圧延速度は、現在1500/min の高速となっており、今後生産性向上からさらに高速化の要求が高まっている。冷却性と圧延板光沢を考えると圧延油は低粘度油が望ましいが、高速では火災の危険性がある。その点や省資源の点からは、水溶性圧延油が好ましいが、ウォータステイン、オイルステインなどの腐食性、ろ過性と循環性などの保守管理面での問題が生じてくる。本報は、水溶性圧延油についての問題点とその防止法を論じたものである。

8.1 潤滑性圧延材表面状態、オイルステインおよびウォータステイン性

ロール径155 mm、圧延速度20 m/min の実験用圧延機を用いて、水溶性油5種、鉱油1種について実験を行った。圧延材板厚は1 mm で、圧下率20、30、40、50%とし、摩擦係数はBland & Fordの式より逆算し、板表面の評価は反射率によって行った。

摩擦係数を第7図に示すが、鉱油下の場合それは圧下率と共に徐々に増加しているが、乳化安定性の高いD、Eは圧下率40%で急激に上昇している。A、B、C（26℃位でゲル化）の3種は、ほぼ鉱油に近い特性を示し、この傾向はA3003圧延材についても同様であった。圧延後圧延材の反射率については、Fは圧下率によってそれ

第7図 各種圧延油における摩擦係数と圧下率の関係

第8図 水溶性圧延油テストミルレイアウト

1. アンコイラー 2. ワークロール 3. 油切りロール 4. 水置換槽 5. 水置換剤 6. コイラー 7. エアーノズル 8. 水溶性潤滑剤供給装置

の変化は少ない高い反射率を示し、A、Cも高圧下で反射率が低下しない結果を示した。

油F、A、Bについて、圧延後350℃までの温度で焼鈍し、オイルステインを観察すると、F、B、Aの順でそれは少なかった。一方、ウォータステインはFの場合認められなかったが、A、Bには共に板幅部分にホワイトステインが認められた。

8.2 オイルステイン、ウォータステインの防止法

ステイン防止のために考えたミルレイアウトを第8図に示した。ウォータステイン防止のために、コイラ前に水置換槽（油状防湿防錆剤含む）を設置したのが特徴で、コイル表面上に水置換剤の薄い皮膜が形成される。

オイルステイン性は、Bが最良で、A、Fの順で悪くなっているが、ウォータステインは、どの油を使用しても織められなかった。さらに、潤滑性と表面状態もB、A、Fの順で悪くなっていく同じ傾向が得られた。

低速の範囲ではあるが、図12のような防止策を考えれば、鉱油と同等の性能を示す水溶性圧延油が存在することが明らかになり、今後の研究の1つの方向を与えた。

9. アルミニウム合金の冷間および熱間圧延の潤滑特性と板表面性状

潤滑膜厚を論ずる場合に、潤滑油粘度に及ぼす温度、圧力の影響を考慮し、同時に潤滑油のせん断変形による

第9図 潤滑膜厚み h^* に及ぼす粘度の圧力係数、温度係数の影響

発熱に起因する温度上昇も考慮し、流体潤滑理論を展開した。理論式中粘度を $\eta = f(\eta_0, P, T)$ と仮定し、潤滑油膜厚みを計算すると、粘度の圧力、温度依存性が同一である場合、それは η_0 の増大に伴って大きくなる。

潤滑膜厚みに及ぼす圧力係数、温度係数の影響を、等膜厚線で図示したのが第9図である。温度係数が小さくて、圧力係数の大きいほど膜厚が大きく、また常温、常圧粘度の大きい潤滑油ほど圧力係数の変化に対する膜厚の変化率は大きい。すなわち、常温、常圧粘度が小の油であれば、1000 m/min のような高速圧延においては、ナフテン系鉱油の方がパラフィン系鉱油より厚い膜になる。

9.1 アルミ板の冷間圧延における板の表面性状

テストミル (ロール径 155 mm, 圧延速度 43.4 m/min) を用いて、3004-O 材の冷延の圧延条件と表面性状を検討した。潤滑油は、粘度が 500, 67.4, 1.48~7.77 cst の7種を用いた。

粘度が大きくなると、荷重、先進率は小さくなり、表面あらさは粗くなり、特に高粘度油の場合、圧延方向に直交する方向にピットが多数生じ、油膜厚さが厚くなることに対応している。ピットは圧下率が大きくなるにしたがつて小さくなり、ロールきずも多くなっている。

添加剤、圧延温度、ベースオイルの種類によつてロールコーティング状態が変化するので、圧延枚数と共に荷重は変化し、ヘリングボーンなどの発生による表面状態も変化していく。

圧延速度に関しては、高速になるにしたがい油のロール間隙へのひきこみが大きくなり、ロールきずは減少する。理論解によると、製品厚みが0.4 mm の場合900m/min, 0.2 mm の場合400 m/min を境にして急に潤滑膜厚みが増大し、低粘度油でも多量の油のロール間隙へのひきこみが生じオイルピットの原因になる。

第10図 クーラント中の金属の変化

9.2 アルミ板の熱間圧延における潤滑と板表面状況

熱間潤滑油の付着量は、室温から100℃付近まで温度と共に低下し、さらに高温になると再び付着量は減少する。エマルジョン粒径が大きくなると、極大値の位置は高温側にずれていく。

無潤滑圧延の場合、圧延枚数が増すに従つて荷重は高く、焼付きが生じてくる。鉱油使用の場合、その程度は低くなり、オレイン酸添加により荷重増大はおさえられる。これは、ロールコーティングの付着、脱落に大きく影響され、ロールコーティングされたロールでの圧延では荷重は減少していき一定値に近づく。同時に、若干のロールきずがつくにせよ、滑らかな板表面が得られる。

以上のように、アルミニウム圧延のさいは、ロールコーティングの変動が生じないように潤滑制御が必要であると共に、コーティングを含めた潤滑問題の解析にあたなくてはならない。

10. 熱間圧延板の表面欠陥と圧延油

熱延工程に起因する表面欠陥の大部分は、ロールコー

ティングと板表面との接触状況により、アルミニウムあるいはその酸化物等の相互移着現象（ピックアップ）によつて決まる。ロールコーティングを支配する因子は、ワークロール、圧延油とブラシロールなどであり、これらについて実験室試験と実操業結果について報告し、あわせて製造現場における作業について述べる。

10.1 ロール

熱延用ワークロールは、ブラシロール材質やミル構造により鍛鋼ロールと鑄鋼ロールを使い分けているが、後者については、遠心鑄造法採用により、硬化深度の十分ある健全ロールが得られるようになっていく。

コーティングのコントロールは、ブラシロールで研磨を行う方法があるが、コーティングを形成させない場合はスリップや部分的ピックアップが生じ易く、全くブラッシングを行なわない場合は陽極酸化処理後に黒斑点模様が生じる。砥粒入りナイロンブラシは、使用方法、砥粒材質・大きさ・密度・線径により特性を異にするが、ワイヤブラシとの比較では、消費動力が多く、摩擦係数も大きく、コーティング除去能力は大きい。

10.2 圧延油

熱延油はエマルジョンとして使用され、潤滑剤と冷却剤との特性を兼ね備えていることが必要であるので、潤滑性と寿命は重要な性能である。

現在使用されているニートオイルは鉱物系基準を用いられている。配合乳化剤によりフリーオイル生成は異なるが、その差は実機における寿命の長短に対応する。フリーオイルは、潤滑性を改善し、金属粉やアルミニウム石ケンなどを吸着除去し、エマルジョンのスカムアウト性を良くする。すなわち、分散性が良くフリーオイルを生成しないものは潤滑性が悪く、アルミニウム摩耗粉の生成量も多く、油の寿命を短くする。

エマルジョンに対する金属イオンの影響については、蒸留水の場合、フリーオイルの生成が多くエマルジョン粒子は大きくならず、硬水や多価金属イオン含有水（ Al^{+++} イオン）の場合、乳化が破壊され、軟水（ Na^+ イオン含有）や Na_2CO_3 液の場合、フリーオイルは再乳化され粒子の大きいエマルジョンとなる。ある種のニートオイルを用いて、純水と軟水について比較したのが第10

図である。この場合、脂肪酸ナトリウム石ケンの生成は少ないが、スカムアウト性が向上し、クーラントの汚れが減少し、板表面を安定し、ストリークやスマットの欠陥は少なく、ピックアップ、チャターマークの発生はなく、高速高圧下圧延に適していると考えられる。

クーラントの日常管理項目は、濃度、フリーオイル、pH、予備アルカリ度、粒子分布、添加剤、灰分などであり、酸やエステル系の添加剤量の圧延量を考慮しながら行なう、濃度の分析には酸分解法があるが、重量測定法が簡便で、添加剤量、バランスはIRやGPCにより分析され、クーラント汚れを定量化するのに灰分測定やこがり破壊温度測定法がある。なお、圧延油にはバクテリアの発生が生ずるので、殺菌剤投与が高温管理が必要となる。

以上詳細は省略したが、表面品質を左右するクーラントについて実機のデータと考察が述べられ、圧延油の特性やその管理に対する貴重な報告であった。

11. あとがき

紙面の関係上、貴重な各発表についての内容を十分に伝えることができないが、押出し、鍛造、圧延の各分野の圧延機の表面の問題を解決すべく、力学的、研究室の実験、実機実験の詳細な報告がなされた。ややもすると閉鎖的アルミニウム業界と考えられている中で、アルミニウム材料の表面問題という今日的問題解決のために、各社から上記のような貴重な報告があつたことは価値あることである。本シンポジウムが、今後のアルミニウム加工技術のよりよい進歩の一助になり、各加工技術における未知の問題の解決に着実に向うべく研究が進んでいくものと信じている。また、先に発刊した研究部会報告書の欠陥分類にある発生原因や対策についても、1つ1つ解決していく努力がなされ、定量化されることによりその報告書もいつの日か改訂され、日本のあるいは世界のアルミニウム業界の技術の発展に役立つものとしたと考えている。

最後に、第17回シンポジウムを成功裡に開催することができたのも、発表者および各社の協力の賜ものでここに厚く皆様にお礼申し上げたい。