

UDC 669.14-408.3 : 669.146.865 : 621.777.011 : 620.191.5

論 文

DI 成形性に及ぼすぶりき品質の影響について*

日戸 元**・大八木八七**・中野 寛文**

Effect of Tin Plate Quality on DI Can Fabrication

Hajime NITTO, Yashichi OYAGI, and Hirohumi NAKANO

Synopsis:

Effect of the plate qualities was studied on property of surface lubrication that is necessary for DI can fabrication.

DI canmaking energy was newly used besides the forming load as a means of evaluation on the property of lubrication. It was found that the value of this energy could be a standard of the evaluation to the die life of the commercial DI machine. Therefore this energy was found valid as the means of the valuation of tin plate qualities.

In tin plate qualities the factors that affected DI canmaking energy were tin coating weight, tin-iron alloy layer amount, chemical treatment, sheet thickness, temper grade. Surface roughness of the original sheet was hardly effective on DI canmaking energy.

But it was considered that surface roughness was effective on the die life. Because surface roughness was effective on the tin corevage of the can wall at DI process.

1. 緒 言

近年、絞りとしごき (Draw and Ironing) 加工により成形される DI 缶がビール、炭酸飲料缶に多用されるようになってきている。DI 缶用素材はアルミニウムに端を発したが、その後 DI 缶用ぶりきが開発・実用化されている。

現在国内では T-1 (Temper-1), #50 ぶりきが主として使用されているが、缶コストの低減をはかるため低錫付着量化、High Temper 化 (薄手硬質化) が指向されている。

DI 成形とは Fig. 1 に示すごとく、再絞りの後、パンチーダイス間のクリアランスが板厚よりも小さなセッティングで成形を行ういわゆるしごき (Ironing) 加工により、缶径に較べて缶高の大きな缶を成形する方法である。

DI 缶用素材には次の諸特性が必要とされる。

(1) DI 加工後のフランジ成形性、絞り時の深絞り性がよく異方性の少ない材質であること。

(3) 特にしごき (Ironing) 工程での表面潤滑特性がよくダイス損傷が起こりにくいこと。

(3) 内容物に対する耐食性・耐錆性がよいこと。

上記項目のうち、(3)の耐食性は DI 缶内外面に施される有機塗膜に左右され、ぶりき品質が占める役割は比較的少ない。

(1)及び(2)はぶりき品質の影響が大きく、商用 DI 機における連続成缶性を決定する重要な要因である。

従来 DI 成形荷重に及ぼす錫付着量及び原板表面粗度の影響についての研究^{1)~3)}があるが、ダイス損傷との関係は必ずしも明白でない。

本研究は(1)の材質関係の問題は他の機会にゆずり、

DI 加工潤滑性 [ダイス損傷 (局部「かじり」)] とぶりき品質の関係を明白にすべく、評価手段として新たに成形エネルギーの測定を行うと共に成形缶の表面構造の解析

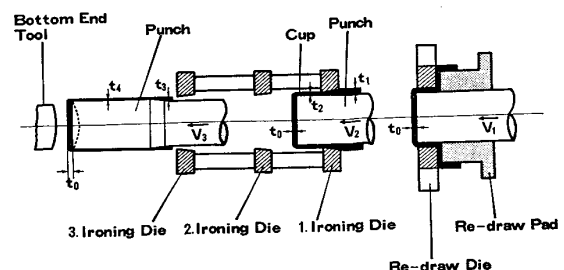


Fig. 1. Draw & ironing of a can.
(1 drawing + 3 ironing)

* 昭和 54 年 10 月 19 日受付 (Received Oct. 19, 1979)

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

を行つたものである。

2. 実験方法

2.1 供試材

Fig. 2 に示すような製造工程により、サンプルを作成した。大部分は現場ラインにて製造したが一部は実験室にてめつきした。

2.2 DI 成形方法

Fig. 3 に示すように、上記サンプルを通常のクランクプレス (25 ストローク/min) でしわ発生のないようにカップ成形を行つた。

成形したカップは商用 DI 機と同等の能力を有する連続 DI 成形機にかけ、再絞り (Redraw) および 3 段のしごき (Ironing) 加工を 1 ストロークで行つた。この時のクーラント供給量は 30 l/min、クーラント温度は 18°~20°C であった。

2.3 DI 成形性評価法

Fig. 4 のような測定システムにより DI 成形工程別の成形荷重および成形エネルギー値を測定した。

データ処理については Fig. 5 に示すように再絞り (Redraw), #1, #2, #3-しごき (Ironing), ドーミング

(Doming, 缶底のドーム加工), ストリップアウト (Strip Out; 成形缶のポンチからの抜き出し) 各工程の最大荷重 P_{max}^i , 平均荷重 P_i^i , 成形エネルギー E^i を求め、それぞれにつき 30 缶当たりの平均・標準偏差を求めた。

2.4 成形缶の特性

DI 成形時のダイス損傷あるいは「かじり」発生性に対する考察を行うため成形工程別に成形缶外面の表面粗度、電気化学特性の測定および EPMA による表面分析を行つた。

3. 実験結果

3.1 DI 成形性の評価

商用 DI 機のダイ (die) 損傷に及ぼすぶりき品質の影響を少量の成形試験により判定可能とするため工程別成形荷重及び成形エネルギーを測定した。

工程別成形エネルギー E^i は再絞り, #1-しごき, #2-しごき, #3-しごきの順に大きくなり, #3-しごきで最大となる。これに対して, 工程別最大荷重 (P_{max}^i) は sizing die である #1-しごきで最大 (約 3 t) となり, 後工程

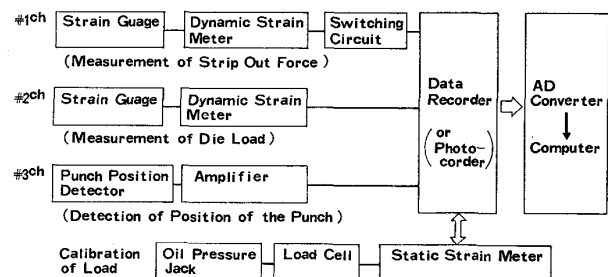
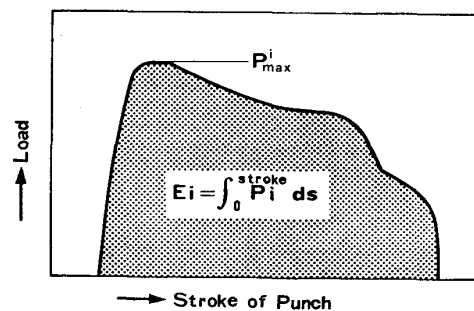


Fig. 4. Block diagram of measuring DI canmaking energy.



Calculation in Computer

① P_{max}^i : maximum load

$\bar{P}^i$: average load

i = redraw ~ strip out

② E^i : energy

$$E^i = \int_0^{stroke} P_i^i ds$$

i = redraw ~ strip out

③ E_{total} ($E_{Redraw} + E_{\#1} + E_{\#2} + E_{\#3}$)

④ Average and standard deviation of P_{max}^i

$\bar{P}^i$, E^i and E_{total} per 30 cans

Fig. 5. Data processing.

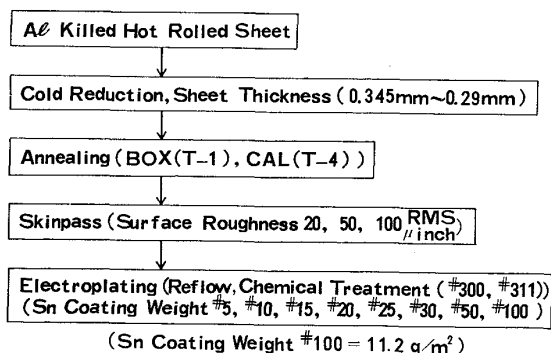


Fig. 2. Process for preparing samples.

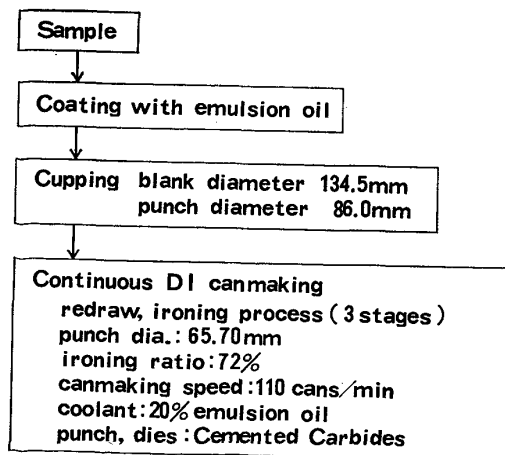


Fig. 3. Process of DI canmaking.

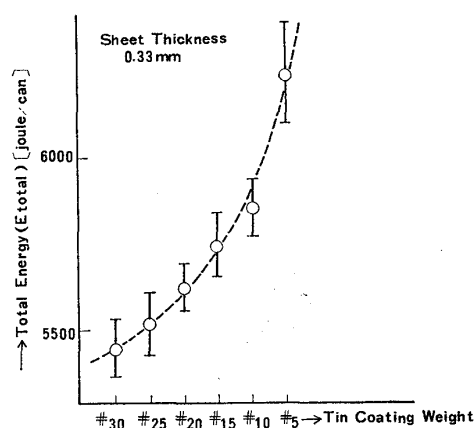


Fig. 6. Relation between tin coating weight and total energy (E_{total}).

の #2, #3-しごきではそれぞれ約 2 t の値を示す。

商用 DI 機におけるダイ損傷は #3-ダイで最も発生しやすいことがよく知られており、成形荷重より成形エネルギー値が良好な相関性を示す事が以上の結果より明白である。

従つて本報告では DI 成形性の評価として全成形エネルギー E_{total} (再絞り, #1, #2, #3-しごきエネルギーの和) を用いることとした。

3.2 錫付着量の影響

Fig. 6 は 錫付着量と E_{total} の関係を示したもので、錫付着量低減に伴い E_{total} は増加することがわかる。特に錫付着量 #15 (1.68 g/m²) 以下では E_{total} が急激に増加する。これを工程別でみると特に #3-しごきエネルギーが急増している。

Fig. 7 は錫付着量 #20 以下における E_{total} の経時変化を示したものであるが錫付着量 #15 以下の場合成形缶数の増加と共に E_{total} が増加している。#20 ぶりきの場合、1000 缶連続成形においても成形エネルギーの変化はなく安定した連続成形性を示した。

このような E_{total} の挙動を解明するため、錫付着量 #15 以下での E_{total} 増大後の工程別成形缶を外面観察した。「かじり」の発生が #3-しごき缶で認められたが #1 及び #2-しごき缶では認められなかつた。また錫付着量 #5 の #3-しごき缶では 1 缶成形するごとに全面「かじり」の程度が進んでいることが認められた。また Fig. 8 は錫付着量 #10 のブリキの成形缶外面の表面粗度の経時変化を示したもので、100 缶目あたりからダイス損傷が進むとともに表面粗度も大きくなっている。また Fig. 7 で E_{total} の初期値の大きいものは E_{total} の立ち上がりもはやいことがわかる。

以上の事実から E_{total} はダイ損傷の尺度として用い

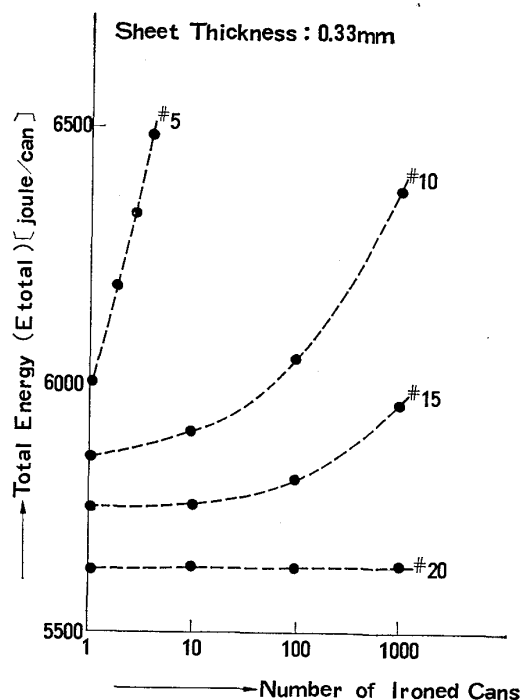


Fig. 7. Change of total energy (E_{total}) with continuous DI canmaking below tin coating weight #20.

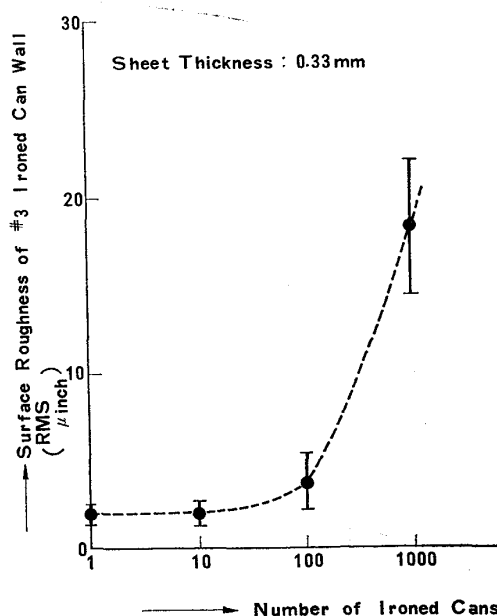


Fig. 8. Change of surface roughness of #3 ironed can wall with continuous DI canmaking at tin coating weight #10 and temper grade T-1.

得ることが明白である。

3.3 原板表面粗度の影響

DI 缶用ぶりきで従来重要視されている表面粗度について E_{total} に及ぼす影響を検討した。

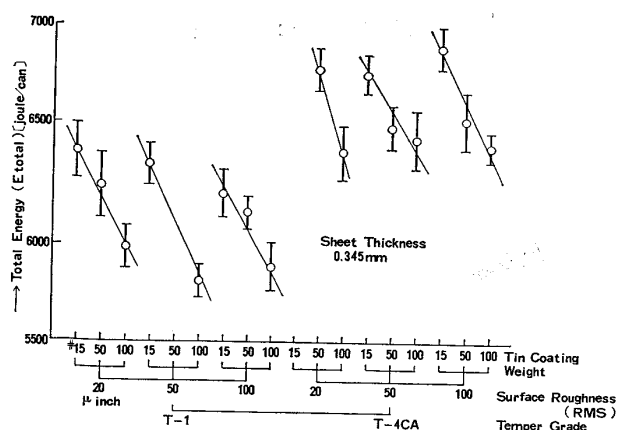


Fig. 9. Relation between total energy (E_{total}) and temper grade, tin coating weight and surface roughness.

Fig. 9 はテンパー度、錫付着量及び表面粗度が E_{total} に及ぼす影響を示したものである。この図で表面粗度は錫付着量、テンパー度に較べて E_{total} に及ぼす影響は小さく、錫付着量 #15 以上では、はっきりした傾向は見出せなかった。

表面粗度は考察に述べる錫被覆性に大きな影響を及ぼすことにより商業生産におけるような大量の連続成形時にその効果が現れる性質のものであるかもしれない。

3.4 錫-鉄合金層の影響

現在商用 DI 缶用として未溶錫ぶきと溶錫ぶきがともに使用されている。溶錫により成長する錫-鉄合金層が DI 加工潤滑性に及ぼす影響を検討した。

#50 ぶきを通電加熱し、合金層量の異なるサンプルを作成後、純錫層を電解剝離し、その上に #25, #50 の錫を電気めつきしたものを用いた。

Fig. 10 は合金層量と E_{total} の関係を示したものであるこの図から純錫付着量が #50 の時には、合金層量と E_{total} の間の相関はないが純錫付着量が #25 になると正の相関（相関係数 0.447 ; 1% 有意）が認められる。

このことから錫-鉄合金層が溶錫により発達しすぎると DI 加工潤滑性が悪くなると考えられる。

3.5 ケミカル処理の影響

ケミカル処理は塗料密着性の向上・黄変防止等のために施される。

Fig. 11 はケミカル処理と E_{total} の関係を時効前・時効後について示したものである。時効前で E_{total} に差が見られないことからクロム付着量が低いところではケミカル処理は DI 加工潤滑性に影響しないと考えられる。

しかし時効後 (38°C, 1 カ月貯蔵) では同じ Fig. 11 からクロム付着量の多い方が E_{total} は小さいことがわ

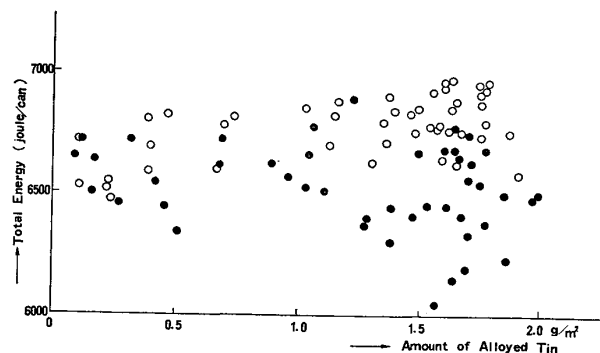


Fig. 10. Effect of Sn-Fe alloy amount on total energy (E_{total}).

○ #25 (Correlation factor : 0.447, correlation at 1% significant level)

● #50 (Correlation factor : -0.259, No correlation at 10% significant level)

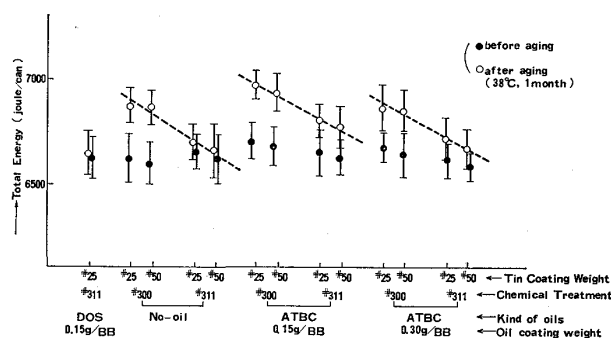


Fig. 11. Effect of chemical treatment and oil on total energy before and after aging.

かる。これは時効によつて発生する酸化錫が DI 加工潤滑性を悪くしているからであると推定される。

なお Fig. 11 中でケミカル処理 #300 は $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 30 g/l 中で浴温 45°C, pH 4.5 の条件で鋼板を浴中に浸漬するだけの処理である。またケミカル処理 #311 は、 $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 30 g/l 中で浴温 45°C, pH 4.5 の条件で 3.2 Coulomb/dm² のカソード電解を行う処理である。

また Cr 付着量水準としては #300 処理で 1.5~2.0 mg/m², #311 処理では 4~6mg/m² である。

3.6 塗油種・量の影響

通常ぶきには表面傷防止・耐食性のため塗油が施されるが Fig. 11 に示したように塗油種・量は E_{total} に影響を及ぼさず、加工潤滑性には影響が小さいと考えられる。なお Fig. 11 中で DOS は Dioctyl Sebacate, ATBC は Acetyl Tributyl Citrate を示すものである。また B.B. (Base Box) は 20.2325m² の面積を表し、塗油量はこの表裏面の合計である。

3.7 テンパー度の影響

国内向 DI 缶用ブリキは T-1 (硬度目標 HR30T 49

±3) が標準であるが、国外では T-4 CA (硬度目標 Hr30T 61±3) を使用しているところもある。また今後の方向として High Temper 化が指向されている事もあり、テンパー度が DI 加工性に及ぼす影響を検討した。

前述の Fig. 9 において、テンパー度は E_{total} にかなり大きな影響を及ぼし、T-1 に較べて T-4 CA での E_{total} が大きいことがわかる。

また成形缶外面を観察すると T-1 材は溶錫が認められず美麗な外観であるが T-4 CA 材は部分的に溶錫による外観不良が認められた。

上記の事実から、テンパー度が高くなるとしごき (I-roning) 工程において塑性変形による発熱量が多くなりそのために溶錫が起ると推定される。

従つて High Temper 材を実用化するには錫溶融防止策 (例えば、より強力な冷却法の採用・最適しごき率の設定等) を検討する必要がある。

3.8 しごき率の影響

Fig. 12 はしごき率と E_{total} の関係を示したものであるがしごき率の増加に伴い E_{total} は直線的に増加している。これは主に成形缶の高さが増すことによる。

このことは DI 缶用ぶりの板厚が変動すると成形缶高さが変わることを意味するものであり、目標高さを満足しない「ショートカン」あるいは「ロングカン」の発生をもたらすこととなる。

従つて DI 缶用ぶり生産においては板厚精度をよりよくコントロールする必要がある。

4. 考 察

4.1 錫被覆性のしごきダイ (Ironing Die) 損傷に及ぼす影響

成形缶外面の錫被覆性を電気化学的測定・EPMA 分析により求め、「かじり」性との関係につき検討した。

Fig. 13 は #3-しごき後の成形缶外面のカソード分極電位を硼酸-硼酸ソーダ緩衝液 (pH 7.6) 中で測定した結果である。この図からカソード分極電位は、錫付着量が #15 以下になるに従い鉄の電位に近づき、錫被覆度が低下していることがわかる。一方、成形缶の観察では錫付着量 #15 以下で「かじり」の発生が認められている。

以上の事実から成形缶外面の錫被覆度が低下するに伴い「かじり」発生率が高くなると推定される。

また Fig. 14 は #3-しごき後の成形缶外面の EPMA による錫および鉄の線分析のチャートである。この図でミクロ的な鉄の露出が認められる。そこで EPMA での全走査距離 (500 μ) のうち、錫が何%地鉄を被覆しているかを示す錫被覆率を Fig. 15 のように便宜的に求めた。

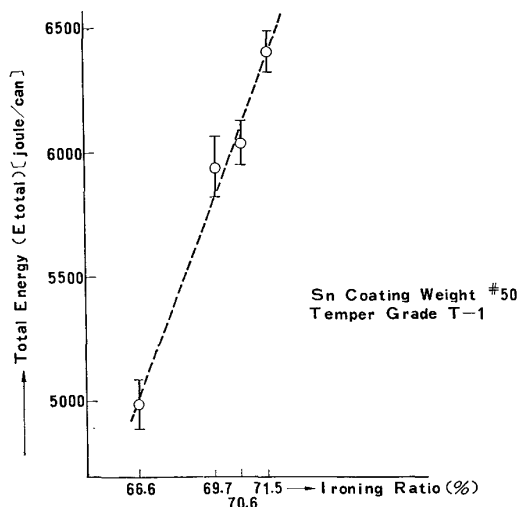


Fig. 12. Relation between ironing ratio and total energy (E_{total}).

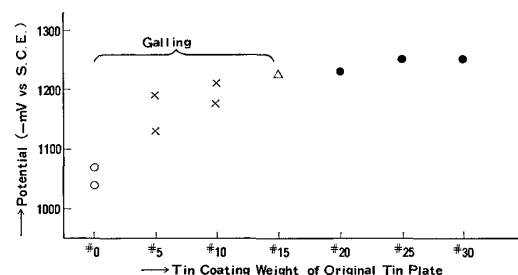


Fig. 13. Cathodic polarization potential of #3 ironed can wall.

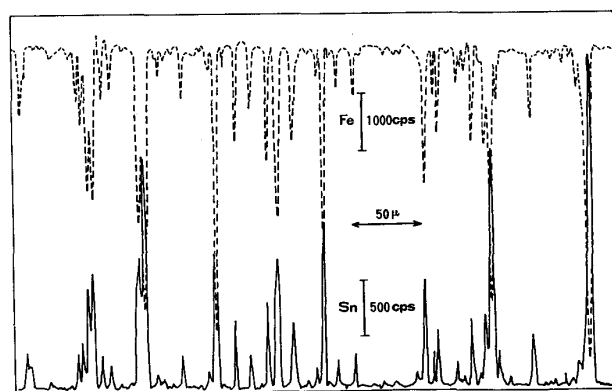


Fig. 14. Scanning EPMA analysis (Sn and Fe) of #3 ironed can wall of #15 tin plate.

錫付着量 (#15, #25, #50, #100) および原板表面粗度 (20, 50, 100 μ RMS) をかえた 9 種のサンプルについて求めた #3-しごき後の成形缶外面の錫被覆率を Table 1 に示した。この表から錫付着量が #25 から #15 に低下すると錫被覆率は急に低下し錫付着量 #15 で「かじり」発生が容易に起こりやすいことがわかる。また表面粗度については特に錫付着量が #15 で原板表面粗度が大きい程錫被

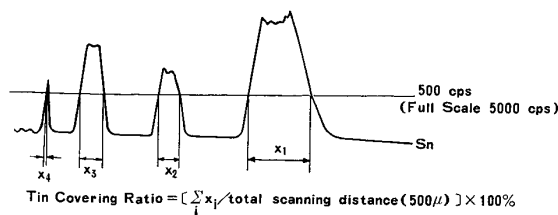


Fig. 15. Definition of tin coverage ratio.

Table 1. Tin coverage ratio (%) of #3 ironed can wall.

Original Surface Roughness Tin Coating Weight	20 RMS (μ inch)	50 RMS (μ inch)	100 RMS (μ inch)
#15	19.8	15.3	9.7
#25	—	48.4	42.0
#50	50.2	—	43.2
#100	—	69.2	56.8

Table 2. Forming energy deviation per tin coating weight #1.

Stage	Redraw	#1 Ironing	#2 Ironing	#3 Ironing
Energy (joule/#1)	-0.55±0.50	-0.24±0.52	-1.08±0.90	-2.44±0.55

覆率は小さくなり「かじり」発生の可能性が強くなる。

結果の項で述べた様に錫付着量は E_{total} に大きく影響を及ぼしたが、原板表面粗度の E_{total} に及ぼす影響は明らかでなかった。

しかし、錫被覆率という観点からとらえれば、商用 DI 機における大量生産の場合に、原板表面粗度が、ダイ損傷に徐々に影響を及ぼすことが考えられる。従つて、原板表面粗度の E_{total} に及ぼす影響は、大量成形時の E_{total} の経時変化によつて明らかになると考えられる。

以上の結果より、錫付着量の低下に伴い、原板表面粗度の影響が大きく現れるようになることは明白であり、ダイ損傷（「かじり」発生）防止のためには低粗度化の方向が望ましいものと考えられる。

しかしながら低粗度材の場合、ストリップアウト性が悪いという問題がありその対策が必要である。

4.2 工程別成形エネルギー E^i に及ぼす錫付着量・原板表面粗度の影響

Table 2 は錫付着量 #15, #50, #100 のサンプルにつき錫付着量 #1 当たりの工程別成形エネルギー E^i の変化を示したものである。これらの数値は Fig. 9 より工程別に E^i 対付着量の直線を求め、その傾斜の平均値と標準偏差を算出したものである。

この表から錫付着量の影響は平均値と標準偏差との比

較により #3-しごき工程で最も強く現れることがわかる。#3-しごきエネルギー E^3 は全工程別エネルギー E^1 中最大であり E_{total} に対する寄与が大きく、錫付着量の影響が E^3 をとおして E_{total} に及ぶ様子がわかる。

Table 3 は原板表面粗度 20, 50, 100 μ_{inch}^{RMS} のサンプルにつき原板表面粗度 1 μ_{inch}^{RMS} 当たりの工程別成形エネルギー E^i の変化を示したものである。数値の算出法は上述した錫付着量の場合と同様である。この表から平均値と標準偏差の比較により、原板表面粗度の影響は再絞り工程および #1-しごき工程で有意に現れている。両者の E_{Redraw} , E^1 に対する影響は表面粗度の増加に対して E_{Redraw} は増加, E^1 は減少となつており、この両者の影響が打消しあつて E_{total} に見かけ上影響しないという結果になつている。なお、#2, #3-しごき工程は 1 μ_{inch}^{RMS} 当たりの E^2 , E^3 の変化のばらつきが大きく、有意な影響をもつことは認め難い。

しかしながら前述のごとく、原板表面粗度はしごき過程における錫被覆率に影響を及ぼすため、商業生産のごとき大量生産においてその効果が徐々に現れてくるものと推定される。

Table 4 は原板表面粗度 20, 50, 100 μ_{inch}^{RMS} のサンプルについて成形工程別の表面粗度の推移を示したものである。また、このデータは 10 缶目で成形初期のダイス損傷の小さな時の缶のものである。この表から再絞り工程までは原板の表面粗度が残つているがしごき工程により表面粗度は急に小さくなり E_{total} に寄与の大きい #3-しごき工程入側ではどのサンプルも表面粗度はほぼ同一レベルになつている。

これは #3-しごきにおいて潤滑油の持ち込みあるいは加工面圧力等の差が生じない事を意味しており、原板表面粗度は E^3 にほとんど影響を及ぼさないことを示すも

Table 3. Forming energy deviation per surface roughness 1 RMS (μ inch).

Stage	Redraw	#1 Ironing	#2 Ironing	#3 Ironing
Energy (joule/1RMS (μ inch))	0.84±0.23	-1.14±0.71	-0.75±0.65	-0.71±1.0

Table 4. Change of surface roughness in each DI canmaking stage (RMS.....μ inch).

Nominal Surface Roughness	Tin Coating Weight	Original Sheet	Redraw	#1 Ironing	#2 Ironing	#3 Ironing
20 RMS	#15	24 ^{RMS}	27 ^{RMS}	4.0 ^{RMS}	2.4 ^{RMS}	3.4 ^{RMS}
	#50	28	24	4.0	3.2	3.2
	#100	24	25	4.0	2.8	3.2
100 RMS	#15	90	88	12.4	4.1	2.5
	#50	106	82	9.2	3.2	2.8
	#100	116	104	10.4	5.0	3.0

のであると考えられる。このことは原板表面粗度 $20\mu\text{m}_{\text{a.h}}$ 以上では Table 3 の結果とよい対応を示す。

5. 結 論

DI 成形性に及ぼすぶりき品質の影響を成形エネルギーの測定及び成形缶の表面構造分析により検討し次の結果を得た。

(1) 錫付着量はしごき工程での潤滑特性に大きな影響を及ぼす。本研究の結果では商業ベースでの連続成形(しごき率72%)には #20 以上の錫付着量が必要であることがわかった。

(2) 原板表面粗度はしごき工程における錫被覆率に影響を及ぼすことにより低粗度化が望ましいと考えられるが、ダイ損傷に対する効果についてはより大量の成形試験により明白にする必要がある。

(3) 錫-鉄合金層量は、純錫量の減少に伴いしごき潤

滑性にやや悪い影響を及ぼす。

(4) ケミカル処理は時効における酸化錫抑制という作用によりしごき潤滑性に好ましい影響を及ぼすと考えられる。

(5) テンパー度増加は成形エネルギーの増大(発生熱の増大)をもたらす、成形缶外面の溶錫による外観不良につながるためその面の対策が必要であろう。

(6) 板厚変動は成形エネルギー及び缶高さの変動をもたらすため極力小さくする必要がある。

文 献

- 1) P. R. GARTER, L. L. LEWIS, and M. V. MURRAY: First International Tin Plate Conference, 141 (1976)
- 2) F. FIDLER: 同上, 169 (1976)
- 3) W. D. BINGLE, J. A. DiCELLO, A. SAXENA, and D. A. CHATFIELD, : ASM Chicago Meeting (Oct. 1977)