

DI缶用ぶりきの微小介在物検査法の検討

Magnetic-Particle Testing for Micro-Inclusion Detection on Tinplate for Drawn and Ironed (DI) Can

久々湊 英雄*

Hideo Kuguminato

泉山 禎男**

Yoshio Izumiyama

小野 高司***

Takashi Ono

白石 利明****

Toshiaki Shiraiishi

阿部 英夫*****

Hideo Abe

Synopsis:

In the manufacture of DI can from tinplate, micro-inclusions cause cracks in flanging which is the severest of all fabrications involved. Micro-inclusions must therefore be minimized beginning in steel-making, and furthermore, steel sheet containing undue amount of micro-inclusions must be detected and removed as early a stage as possible in the subsequent processes. However, their detection is not an easy matter even with the continuous Lamb-waves method since micro-inclusions are as small as from 50 to 200 micrometers in diameter even in slab in terms of values calculated retroactively based on their size in tinplate, and micro-inclusions of such degree are detrimental enough for flanging.

The authors have studied the Magnetic-particle testing method and found it to be most suitable for this purpose. The test results and actual DI press performance correlate satisfactorily indicating the validity of this method for steel sheets for DI can.

1. 緒 言

炭酸飲料缶などにスチールDI缶 (Drawn and Ironed Steel Can) が使用されるようになって数年になる。DI缶の生産工程は、ぶりきコイルがカップリング、ドロウイング、アイオニング、トリミング、塗装、印刷、カーリング、そしてフランジ出しが行われて完成缶になるまで、連続的である¹⁾。そのため、ぶりきには数10ppm (parts per million) 以下のようなきわめて低い不良率が要求される。

たとえば、不良率50ppmとは、100万缶製造した中から不良缶が50缶発生した場合であり、炭酸飲料缶で、100万缶をつくるためには、ぶりきコイルは約33t、コイル長さが約1.5km必要である。その中で、50缶は、コイル長さに換算するとわずか6mの不良に相当する。

また、DI加工で炭酸飲料缶をつくる場合、フランジ部はぶりき板厚が0.32mmであったものが、製缶後約0.16mm (しごき圧下率約50%) になる過酷な加工が行われるので、加工硬化が進み、そのうえ、蓋を巻き締めるためのフランジ出しが行わ

* 千葉製鉄所管理部冷延管理課
 *** 千葉製鉄所管理部検査課
 ***** 技術研究所加工研究室主任研究員
 (昭和55年2月8日原稿受付)

** 千葉製鉄所管理部冷延管理課掛長
 **** 千葉製鉄所管理部検査課掛長

れる²⁾。その結果、フランジ位置に微小な欠陥があっても、フランジ割れ (Flange Crack以下FCと記す)になる。その割れ破面組織の一例を Photo. 1 に示す。破面には板厚比で約 10~40% の大きさの、CaO Al₂O₃ 主体の帯状白色介在物が存在していた³⁾。これは、スラブ時の大きさに換算すると、約 50~200 $\mu\phi$ に相当する微小なものである。しかし、それが板厚の薄い、加工硬化の進んだフランジ部に存在していると FC の原因になる。したがって、DI 缶用ぶりきコイルとしては、3 ピース缶のフランジ出し加工では、欠陥にならない微小介在物も、割れの原因になるので、超清浄度鋼が要求される。この超清浄度ぶりきをつくるためには、それに適した連続铸造法を検討する^{3,4)} とともに、微小介在物の有無を確認できる検査技術を、確立することが不可欠であった。

このように超清浄度鋼が要求される DI 缶用ぶりきについて、介在物検査法を検討した結果、磁粉探傷検査法^{5,6)} (Magnetic Particle Test 以下 MT と記す) が有効で、実缶加工における FC 発生率とよく対応がつくことがわかったので、以下に報告する。

2. 実験方法

実缶加工を行った際に、介在物に起因する FC

発生率が推定できる検査法を、確立するための実験を行った。

垂直曲げ型の千葉第 2 連鋳機にて、低炭素 Al キルド鋼を 6 回鋳込み、その中から代表スラブを選んだ⁷⁾。熱延コイルについては、通常、工程的に使用されている連続板波探傷法⁸⁾ (回転探触子、探傷周波数 2.25MHz) で、コイル全長の超音波探傷を行った。ぶりきコイルについては、コイル両端から供試材を切り出し、MT 法にて、欠陥の有無を調べた。つづいて、MT 法で検出された欠陥部が、実缶加工で FC になるか否かを判断するために、拡管試験を行った。そして、実缶加工における FC 発生率と、これらの実験結果と対応させた。

2.1 磁粉探傷検査法

MT 法は、比較的簡単な装置で、被検物面の割れ欠陥などを発見することができるので、溶接表面検査などによく使われるが、内部欠陥を検出する検査には、あまり用いられていない。

薄鋼板に存在している介在物が、MT 法で検出できるのは、鋼板を磁気飽和するまでに十分強く磁化すると、介在物部に漏えい磁束が生じ、そこに磁粉が付着して、磁粉模様が形成されるためである。磁粉模様は、磁束の流れを妨げる量に応じて、すなわち、介在物が大きくなるにしたがって、大きくなる。また、磁粉探傷面に近い介在物は、

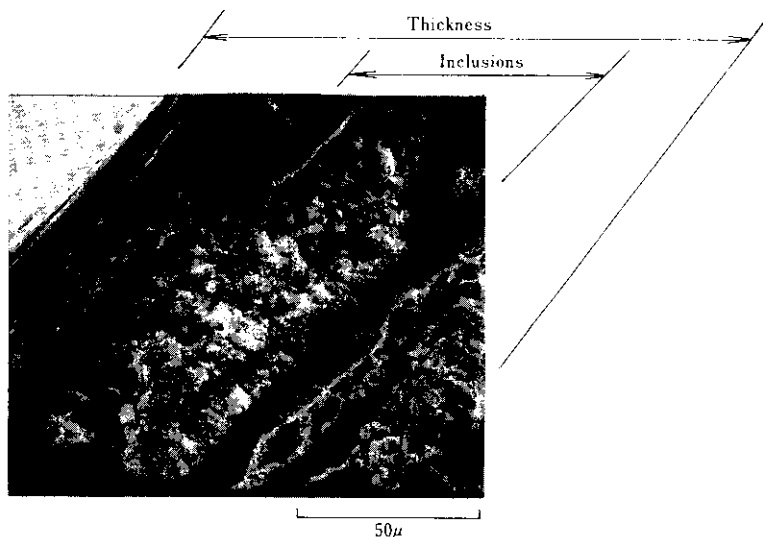


Photo. 1 An example of micro-structure of the flange crack at actual drawn and ironed can by Scanning Electron Microscope (S.E.M.)

小さくても、漏えい磁束が多くなるので、模様も大きくなり、検出することができる。

ふりきの MT 法については、検出すべき介在物が微小であるため、磁粉模様も微小となるので、その微小な模様も十分検出できるように、検討した。まず、磁化方法は、薄鋼板に存在する微小介在物の検出に適した極間法を採用した。起磁力はふりきの磁化曲線を求めて、Max. 35 000AT に設定した。装置の概要を Table 1 および Photo. 2 に示す。また、磁粉は探傷面と磁粉模様のコントラストがよく、模様の観察が容易になるけい光磁粉を使い、その粒度や分散剤については、4 種類の磁粉で比較試験を行い、最適なものを選び、湿式にした。検討結果の一例として、磁粉粒度による磁粉模様の外観の違いを比較して、Photo. 3 に示す。微小介在物による磁粉模様を明瞭に表すためには、粒度の細かいほうが適していることがわかる。

Table 1 General specification of the magnetic particle inspection equipment

Equipment	Magnetic particle test using yolk method
Effective area	0.42m ²
Detection time	10min/one side
Magnetomotive force	Max.35 000AT
Magnetic particle	Fluorescent magnetic particle (SY 9 000)
Concentration of magnetic particle	0.15~0.30g/l

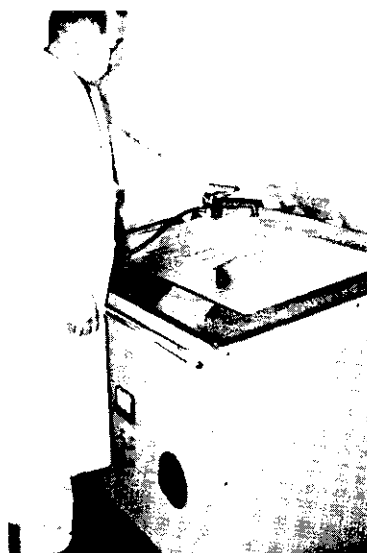


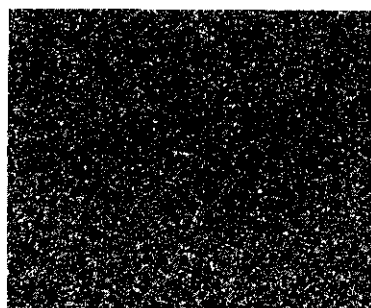
Photo. 2 Magnetic particle inspection equipment

2・2 拡管試験

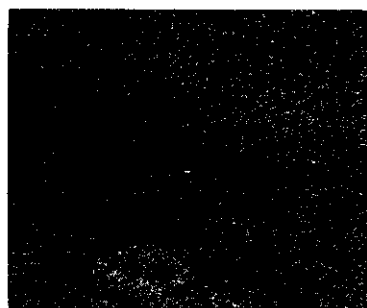
DI 加工でカップを成形したのち、端部をトリミングして、Table 2 に示す条件で、FC が生ずるまで拡管して、その最大拡管率 η を実測して求めた。

2・3 供試材

実験に用いた材料は、板厚 2.6mm の熱延コイルおよび、その 0.32mm ぶりきである。ぶりきの機械的性質と化学成分は、Table 3 に示す。供試材ごとの材質に、大きな違いはないと考える。



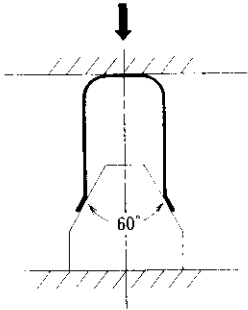
Magnetic particle size :
5~20 μ



Magnetic particle size :
Max. 3 μ

Magnetic particle
pattern

Photo. 3 Influence of magnetic particle size on the appearance of magnetic particle pattern



$$\eta = (d - d_0) / d_0 \times 100 (\%)$$

η : Expanding ratio at the fracture occurrence

d_0 : Initial diameter of drawn and ironed cups

d : Diameter of expanded cups at the fracture occurrence

Test speed (mm/min)	2.0
Lubricants	Not used
Angle of conical tool (deg)	60

Table 2 Specification of expanding tests of drawn and ironed cups

3. 実験結果

3-1 MT 法で検出された欠陥

MT 法にて検出された、ふりきの欠陥部について、介在物の分布と大きさを調べた。

介在物の板厚内分布を調べるために、MT 結果を次に示す 3 段階に分類した。

- (1) ふりきの表裏面を、連鑄機で鑄込んだスラブの内径側に相当する面を表面とし、まず、その面を探傷して、検出されたもの。

(2) 同じ供試材を反転し、すなわち、外径側の面を検査して、検出されたもの。

(3) (1)(2)の結果を対応づけて、表裏のいずれからも検出されたもの。

この結果を Table 4 に、熱延コイルの板波探傷成績とともに、またその一例として、D スラブのものスケッチを Fig. 1 に示す。このような分類をした場合、欠陥の板厚内分布は、表面側で検出されたものが全体の約 3/4 以上で、連鑄機の内径側に圧倒的に多く集積している。

次に、代表的欠陥について、欠陥部の圧延方向端部から、研磨と顕微鏡観察を繰り返して、介在物の板厚方向の最大肉厚、圧延方向長さ、および、板厚方向位置を求めた。調査結果を Fig. 2 に示す。縦軸の介在物位置で、表裏両面から検出されたものの距離については、大きく離れたほうの長さで示

Table 4 Defect occurrence detected by magnetic particle test of tinplate and Lamb-Waves method of hot coil

Slab mark	MT result of tinplate (unit: Number/m ²)			LWM result of hot coil (pulse/m)
	Upper surface	Under surface	Both surface	
A	0.05	0	0	0.01
B	12	0	0	0.04
C	172	7	18	0
D	227	60	14	0
E	0	0	0	0
F	0.4	0	0	0

Table 3 Chemical composition and mechanical properties of tinplate sample

Slab mark	Temper designation	Chemical composition (wt%)							Mechanical properties			Hardness H _R 30T
		C	Si	Mn	P	S	Al	Cu	Y.P. (kg/mm ²)	T.S. (kg/mm ²)	El. (%)	
A	T1	0.023	0.047	0.27	0.019	0.007	0.093	0.01	24	35	42	50
B	T1	40	45	27	14	6	102	1	24	35	39	49
C	T1	48	46	29	13	6	104	1	24	36	38	50
D	T1	48	45	29	12	5	105	1	24	36	37	52
E	T1	54	28	31	23	9	108	1	24	37	36	53
F	T1	52	26	36	9	8	105	1	24	36	37	50

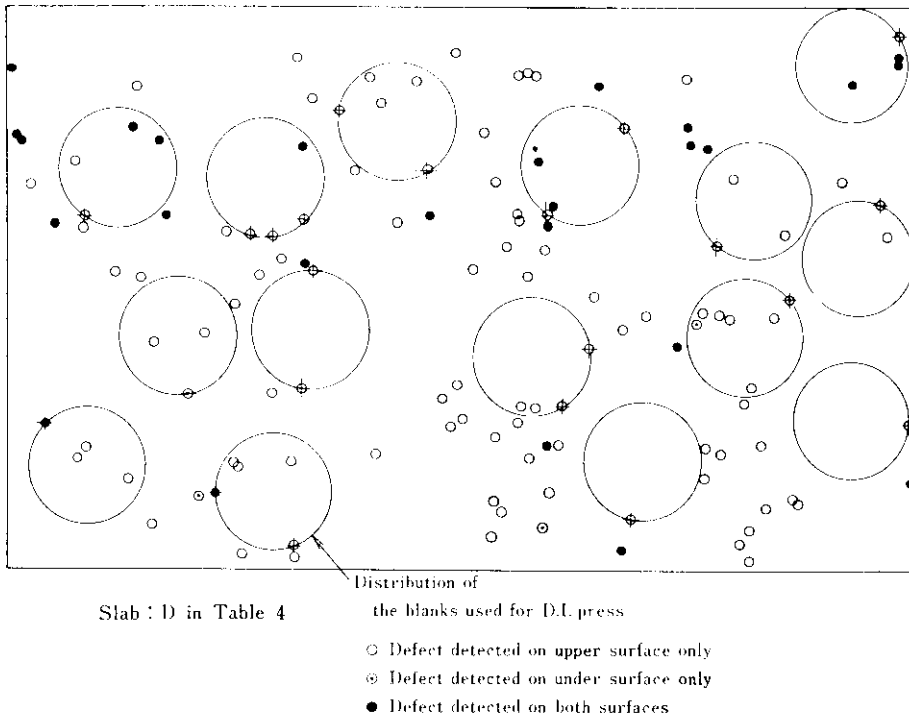


Fig. 1 Distribution of the defects in the tinplate detected by magnetic particle test and the blanks used for drawn and ironed cups

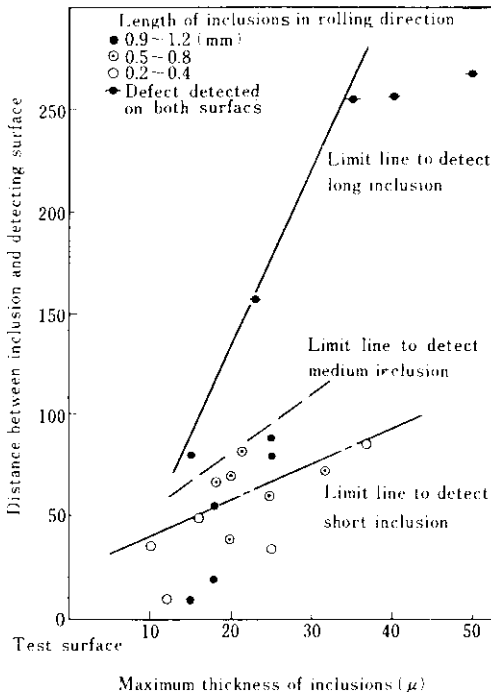


Fig. 2 Relation between size of inclusions detected by magnetic particle test of tinplate and distance between test surface and inclusion

した。MT 法で検出された欠陥はすべて介在物で、検出状況は探傷面からの距離および大きさに依存している。たとえば、表裏いずれかの面で検出されたものは、表層から約 1/4 厚相当内に分布していて、その肉厚が 10~30 μ 程度の小さいものであった。しかし、肉厚が約 35 μ 以上で、長さが 1mm 程度の大きいものは、それが表面の内径側に存在していても、表面からも裏面からも検出された。すなわち、大きな介在物は、探傷面から離れていても検出できた。

一方、鑄込幅方向の分布には、偏在傾向はみられなかった。したがって、供試材は垂直曲げ型連続鑄機の鑄込条件によっては、微小介在物が連続鑄機の内径側に多く集積するものがあることがわかった。

3.2 連続板波探傷法で検出された欠陥

熱延コイルの板波探傷成績は、Table 4 に示したように、いずれの供試材もほとんど欠陥が発見されなかった。しかし、MT 成績は、3.1 に示したように、よいものも悪いものもあって、それらの

欠陥部からは微小介在物が検出された。したがって、薄鋼板の非破壊検査として、工程的に使用されている現状の板波探傷(2.25MHz)では、DI缶のFCとなるような微小介在物(約 $200\mu\phi$ 以下)は、検出することが困難であることがわかった。

3.3 拡張率に及ぼす介在物の影響

MT法で検出された欠陥部が、実缶加工におけるFC発生に及ぼす影響を調べるために、DI加工後の拡張試験を行い、つづいて、割れ形状と破面組織を観察して、MT法の妥当性を求めた。MT法で検出された欠陥部が缶端部に位置するように板取りしたものと、健全部から板取りしたものとで、拡張率 η を求め、MT成績の順にFig. 3に示す。ここでは割れは、①フランジ垂直方向に発生したもの、②剪断応力方向、すなわち、フランジと45度の方向から発生したものに分け、さらに、破面を観察して、①帯状の介在物が存在しているもの、②約 $20\sim 30\mu$ の塊状介在物が単独で存在するもの、③約 20μ 以下の小さな介在物が単独であるもの、の3種類に分けて評価した。

このような見かたで、 η との関係を求めると、

MT法で検出された欠陥部が缶端部に位置するように拡張試験を行ったものは、 η が約4%以下と小さく、割れは垂直方向で、破面には帯状の介在物が存在していた。この破面組織は、実缶加工で発生したFC組織と同じであった。一方、健全部を拡張したものは、 η は約3%以上と大きく、割れはほとんどのものが剪断応力方向で、その破面は、一部の試料には塊状の介在物が認められたが、大きいものは見られなかった。また、健全部から板取りしたものでも、MT成績が悪くなるにしたがって、 η が小さくなる傾向があり、MT成績が悪いと、実缶加工におけるFC発生率が高くなることを示唆している。

次に、割れ破面を走査型顕微鏡で観察して、 η が大小の2例の代表的破面組織をPhoto. 4に示す。 η の大きな缶の破面は、ディンプルがみられ、その谷部には単独の介在物があるが、小さくびれを生じてから破断していた。一方、 η の小さい破面には、大きな帯状の介在物が存在していた。また、帯状介在物が検出されたものについて、介在物の肉厚と η との関係を求め、Fig. 4に示す。 η は介在物の肉厚が大きくなるにしたがって、小さ

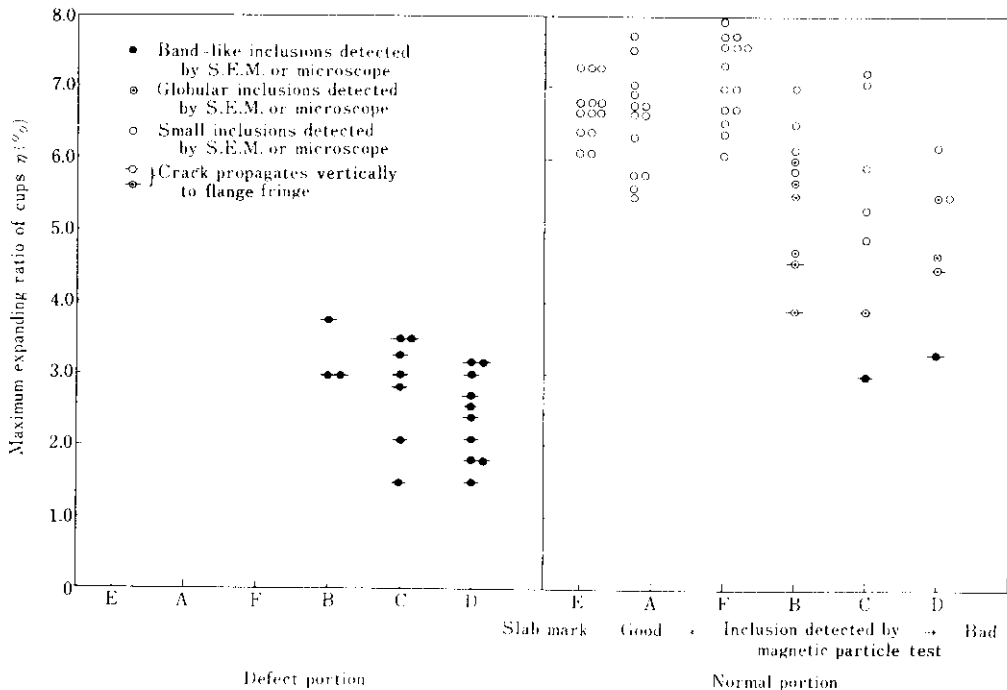


Fig. 3 Influence of inclusion on maximum expanding ratio of drawn and ironed cups

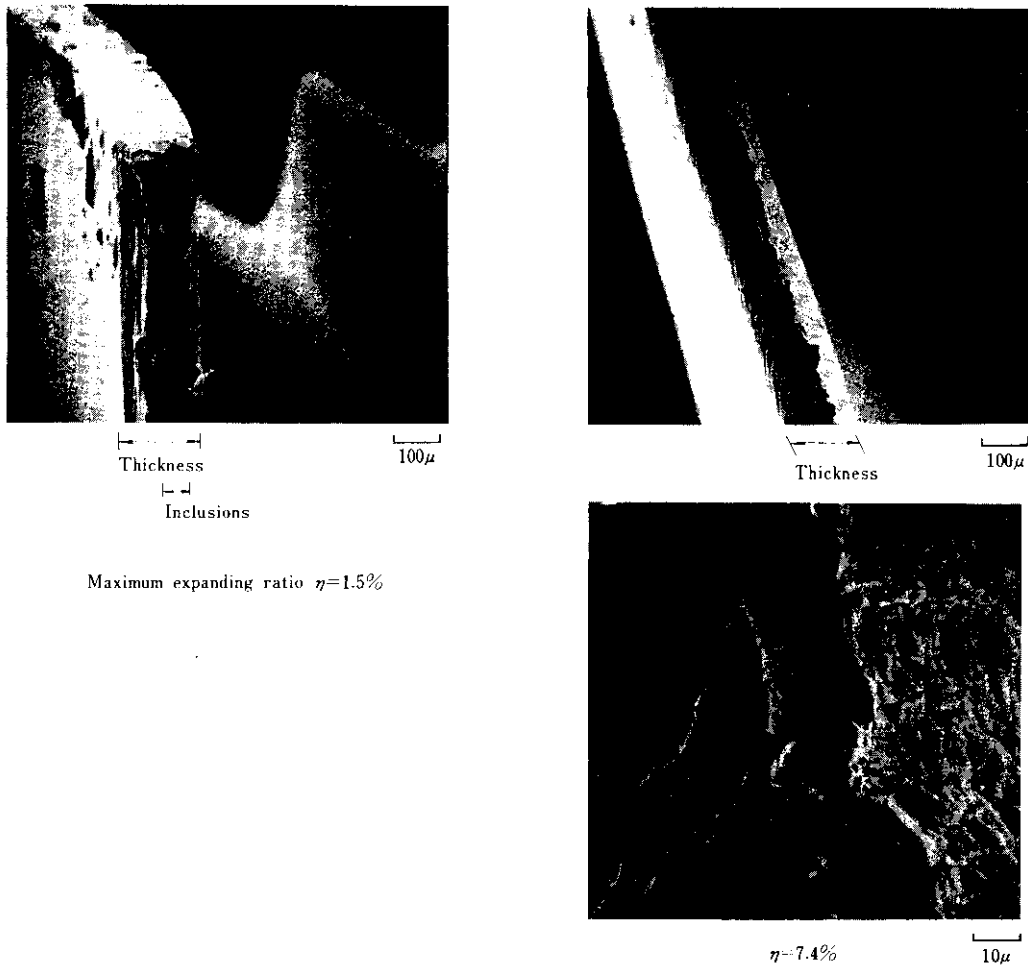


Photo.4 An example of micro-structure of the flange crack by S.E.M. at laboratory

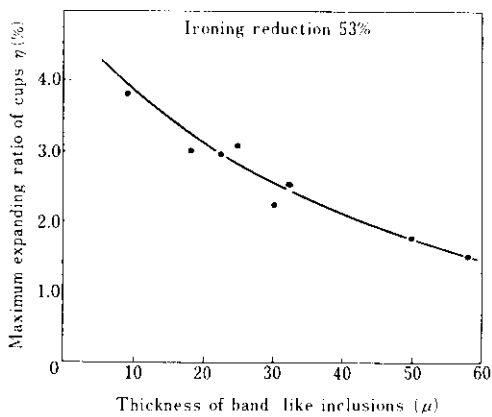


Fig.4 Effect of band-like inclusion size on maximum expanding ratio of drawn and ironed cups

くなっている。

したがって、ディンプルの谷部に存在する単独の介在物は、 η にはほとんど影響を及ぼさないが、MT法で検出されるほどの大きさの介在物は、 η を著しく低下させ、実缶加工でもFCになる可能性が強いと考えられた。

3・4 MT成績と実缶加工成績との対応

各スラブについて、約10tのふりきコイルをつくり、炭酸飲料用DI缶(202径)に実缶加工して、MT成績とFC発生率との対応を求めた。その結果はFig.5に示すようにMT成績が悪くなるにしたがって、FC不良率が高くなった。また、不良缶のFC部は割れ形状がフランジ垂直方向で、破面にはCaO-Al₂O₃主体の帯状白色介在物が存在

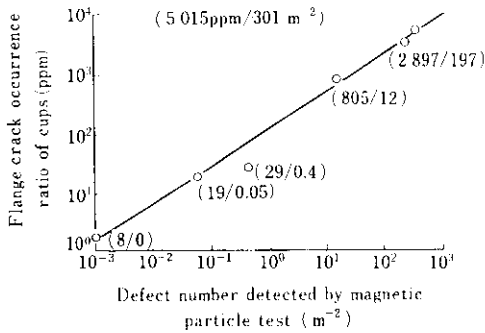


Fig. 5 Relation between defect number of tinplate by magnetic particle test and flange crack occurrence ratio at drawn and ironed press

していた。これは、MT 欠陥部の拡管試験で得られた結果と同じであった。したがって、実缶加工での FC 発生率を推定するには MT 法が有効で、ぶりきコイルの出荷判定には十分使えることが実証された。たとえば、FC 発生率を 100ppm 以下に

するためには、MT 成績が約 1 (個/ m^2) 以下のものを選べば達成できる。

4. 結 言

ぶりきを DI 缶に加工するとき、フランジ割れの原因になるぶりきコイルの微小介在物の検査法を検討した。連続製造低炭素 Al キルド鋼の熱延コイルに対して、工行的に行われている板波探傷法では、介在物が微小であったため、十分検出できなかったが、ぶりきに対して行った MT 法では、これらの微小介在物を十分検出することができた。また拡管試験で MT 欠陥部と健全部の拡管率 η を比較した結果、MT 欠陥部は η が著しく小さく、FC 発生率が多いことがわかった。さらに、MT 成績と実缶加工成績とはよく対応した。したがって、ぶりきの微小介在物の検査法として、適正な装置と試験条件を用いれば、MT 法が非常に有効であることがわかった。

参 考 文 献

- 1) 東洋鋼板株：ぶりきとティンフリースチール，(1974)，274 [アグネ]
- 2) 阿部ほか：川崎製鉄技報，8 (1976) 1，42
- 3) 小舞ほか：鉄と鋼，65 (1979)，S 720
- 4) 飯田ほか：川崎製鉄技報，8 (1976) 1，1
- 5) 岩崎ほか：磁粉探傷試験 A (1976)
- 6) Howard E. Boyer：METALS HANDBOOK 11 (1976)，44
- 7) 吉井ほか：鉄と鋼，66 (1980)，投稿中
- 8) 尾上守夫：板波探傷の展望，22 (1973) 4，[日本非破壊検査協会]