

論 文

DI 缶のフランジ割れにおよぼす大型介在物の影響

御園生一長*・藤井昭明*・福元亮一*・中島 厚*

Influence of Macro Non-metallic Inclusions on Flanging Cracks of Drawn and Ironed Can

Kazunaga MISONOH, Teruaki FUJII, Ryoichi FUKUMOTO and Atsushi NAKAJIMA

Synopsis :

In the manufacture of DI can made of tinplate, macro non-metallic inclusions (NMIs) which exist on the flanging area of DI can cause cracks in flanging. It is difficult to observe NMIs on the surface of tinplate because they usually exist in the inner part of the steel sheet. The magnetic-particle testing can detect NMIs, but it is difficult to determine the size of NMIs quantitatively.

This paper describes the quantitative determination of the size of NMIs by using the magnetic leakage flux testing, and the influence of NMIs on the flanging cracks. Flanging crack ratio in continuous DI can-making test are in proportion to numbers of NMIs obtained in this test is in good agreement with the theoretical results. Conclusively, the number of NMIs per unit area detected on the part of the coil by the magnetic leakage flux testing enable us to estimate the flanging crack ratio of the coil before DI canmaking.

1. 緒 言

最近の飲料缶には、はんだ付けか、接着された胴に底蓋と上蓋を巻きしめたスリーピース缶以外に、絞りとしごき加工で胴部と底を一体としたツーピース缶が使われ始めている。

Drawn and Ironed Can は省略して DI 缶と呼ばれているが、アルミニウムを材料とした DI 缶が米国で商業生産され始めて以降、炭酸飲料缶に多く使われるようになり、ぶりきではアルミキルド連铸材が材料として使われている。通常の DI 加工法においては、過酷な絞り、しごき加工を受けた後にフランジ出し加工を行うから、フランジ部で発生するフランジ割れを低い水準に維持することが要求されており、フランジ割れ率が DI 缶用ぶりきの重要な品質管理項目となっている。

フランジ部に微小な欠陥が存在するとフランジ割れの原因となり、特に鋼中に存在する大型非金属介在物 (Macro Non-Metallic Inclusion, 以下 NMI という) は、フランジ割れの原因となる。この NMI は、ぶりき表面からは識別できず、検出には磁粉探傷法が有効である²⁾。しかしながら、磁粉探傷法は NMI の大きさの

定量化が困難であり、検出した NMI がフランジ割れを発生させる原因になるか否かの判定ができない。

今回、磁気探傷法による漏洩磁束の測定から、ぶりき中の NMI の大きさを非破壊で定量化して、フランジ割れの原因となる NMI の大きさを検討した。そして、これに基づき、フランジ割れの原因となる大きさの NMI 密度をぶりきコイルの一部で検査して、コイル全体のフランジ割れ発生率を推定する方法について検討したので報告する。

2. 実験方法

2.1 供試材

アルミキルド連铸材、板厚 2.0 mm の熱延コイルより製造された板厚 0.32 mm、テンパー T-1、めつき量 8.4/5.6 (g/m²) の DI 缶用ぶりき板を用いた。代表的なぶりき板の機械的性質と化学成分を Table 1 に示す。

2.2 NMI の検出、定量

2.2.1 NMI の検出

NMI の検出には、ぶりき板一枚 (800×900 mm) を一回で検査できる、けい光磁粉探傷装置を用いた。このけい光磁粉探傷装置は、ぶりき板に存在する NMI の位

昭和 55 年 7 月本会中国四国支部講演大会にて発表 昭和 55 年 12 月 15 日受付 (Received Dec. 15, 1980)

* 東洋鋼板(株)技術研究所 (Technical Research Laboratory, Toyo Kohan Co., Ltd., 1296 Higashitoyoi Kudamatsu 744)

Table 1. Chemical composition and mechanical properties of Al-killed Continuous Cast Steel used in this study.

| Chemical composition (wt%) | | | | | | | |
|-------------------------------|------|--------------------------------|-------|------------|-------|--------------------------------|------|
| C | Si | Mn | P | S | N | O | Al |
| 0.05 | 0.02 | 0.36 | 0.014 | 0.02 | 0.007 | 0.003 | 0.10 |
| Mechanical properties | | | | | | | |
| Y.P (kgf/mm ²) | | T.S. (kgf/mm ²) | | EL. (%) | | Hardness H _R 30T | |
| 23 | | 36 | | 40 | | 49 | |

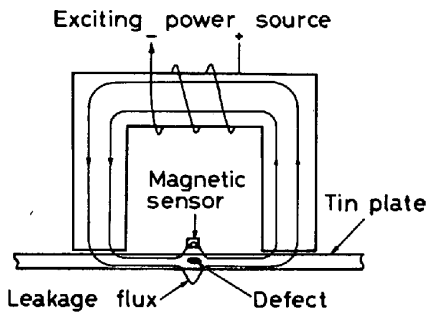


Fig. 1. Schematic diagram of magnetic detector.

置を正確に検出することはできるが大きさを測定できない欠点がある。なお、性能として標準試験片 A1-7/50 (円) を十分に検出できる。

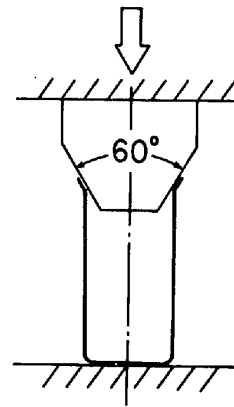
2.2.2 NMI の定量化

あらかじめけい光磁粉探傷装置で検出した NMI の大きさを測定するため実験的に試作した一個の磁気感应素子による磁気漏洩式探傷装置を用いた。この磁気探傷法の原理を Fig. 1 に示す。電磁石を用いて、ぶりき板の圧延方向に対して直角な方向から励磁を行い、けい光磁粉探傷装置で検出した NMI を電磁石の中央に位置させる。磁気感应素子を励磁方向に移動させ、NMI による漏洩磁束を測定した。本装置に使用した磁気感应素子は、SONY MAGMETODIODE³⁾である。なお、多数個の磁気感应素子を用いれば、磁粉探傷装置は、不要となる可能性がある。

2.3 フランジ割れ試験

あらかじめ定量化した NMI を有するぶりき板から DI 缶を製造した。まず、DI 缶の缶高さをそろえるトリミング工程でのトリミングエッジに対応する素板での位置に NMI を位置決めして、絞り加工を実施した。そのときに NMI の長手方向の延長線が素板の中心を通るようにした。絞り加工ののちに、DI 加工を行い、トリミングを実施した。

以上の工程により、NMI をトリミングエッジ付近に位置させ、かつ NMI の長手方向が DI 缶の高さ方向と平行にすることができる。



$$\gamma = \frac{D - D_0}{D_0} \times 100(\%)$$

γ : Limiting flanging ratio
 D_0 : Outer diameter of DI can
 D : Diameter of DI can at the expanded edge when crack occurred

| | |
|------------|--------------------|
| Test speed | 10 mm/min |
| Lubricants | iso-Propyl Alcohol |

Table 2. Specification of flanging tests of DI cans.

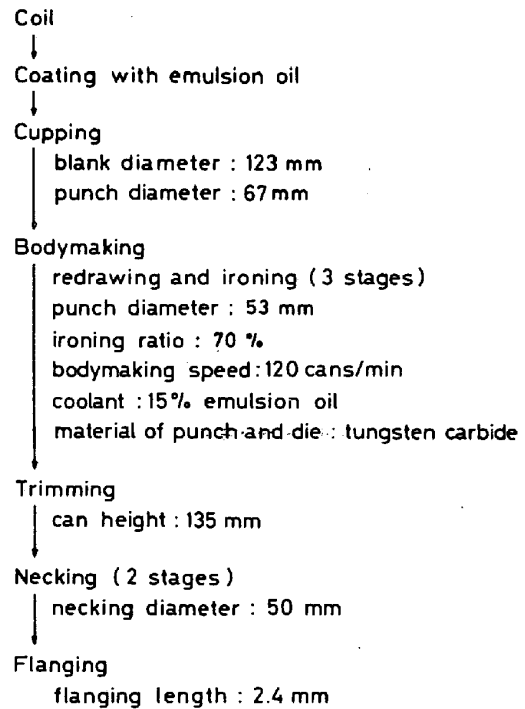


Fig. 2. Process of DI canmaking.

2.3.1 拡管試験

トリミング成形の缶を Table 2 に示す条件で拡管試験を実施し、フランジ割れが生じたときの最大拡管率 γ を実測して求めた。

2.3.2 ネックイン・スピンドルフランジ法によるフランジ割れ試験

缶先端部をネックイン後、スピンドルフランジャーでフランジ加工を施してフランジ割れを検査した。フランジ割

れない缶については、磁粉探傷により NMI の位置を確認した。

2.4 量産試験

各コイルの一部分 (約 50 m²) について磁粉および磁気探傷で NMI の検出、定量化を実施し、フランジ割れに影響する NMI の単位面積当たりの個数を求めた。一方、各コイルの残りは、Fig. 2 に示すプロセスで商業用 DI ラインと同程度の能力の試験装置により連続製缶試験を実施し、各コイル別に全完成缶の検査により、フランジ割れ発生率を調査した。

3. 結果

3.1 NMI の定量化

3.1.1 NMI の検出

Fig. 3 に磁粉探傷装置により検出した NMI の長さ、厚み、幅の分布を示す。長さは磁粉模様より求め、厚み、幅は、NMI の長さ方向の中心の横断面について、検鏡より求めた。磁粉探傷により検出した NMI の平均的な大きさは、長さ 1.4 mm、厚み 20 μ 、幅 140 μ であり、圧延方向に長く延ばされ、板厚方向に圧縮した形状になっている。その NMI の板厚方向の分布は、連続鋳造時のスラブ上面側に偏在している。

走査型電子顕微鏡により観察した NMI の一例を Photo. 1 に示す。NMI は、Al, Ca を成分とした

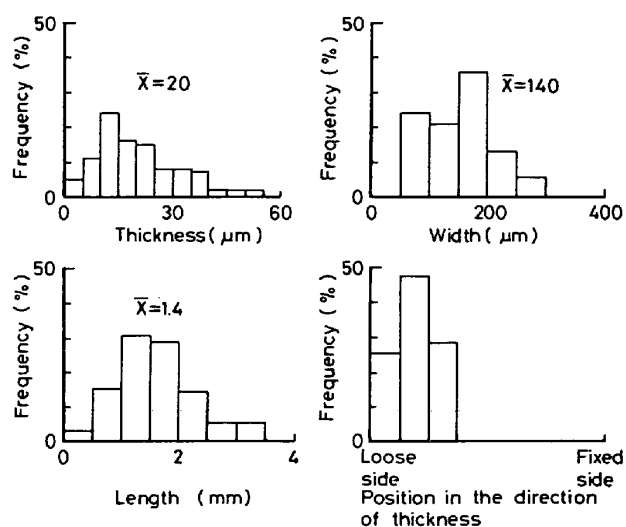


Fig. 3. Size/position distribution of NMI.

$\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$ 系である。

3.1.2 NMI の大きさの定量化

磁粉探傷では、NMI の大きさの定量化が困難であり、NMI のフランジ割れへの影響を調べるには非破壊により NMI の大きさを定量しなければならない。したがって、非破壊検査である磁気探傷法により漏洩磁束を測定した。測定は、NMI がスラブ上面側に偏在しているので、スラブ上面側に相当するぶりき表面から実施した。

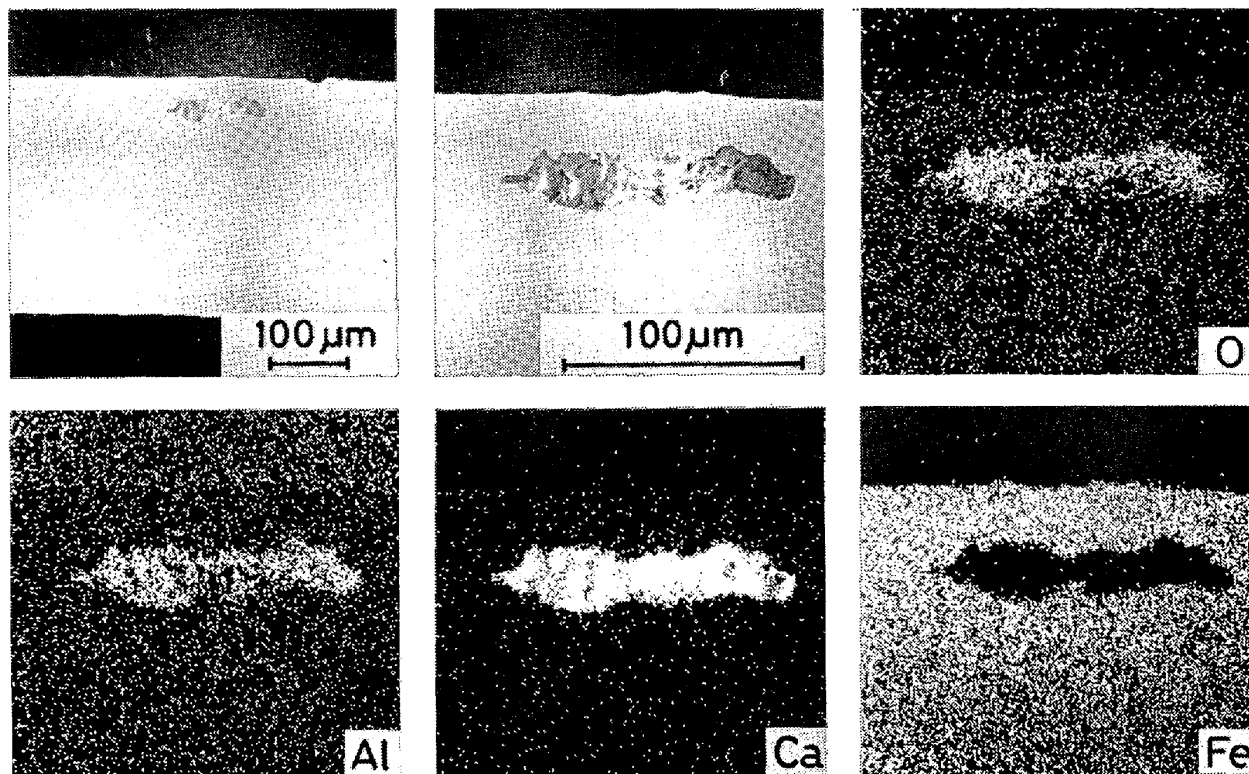


Photo. 1. Micro-structure of NMI by S. E. M.

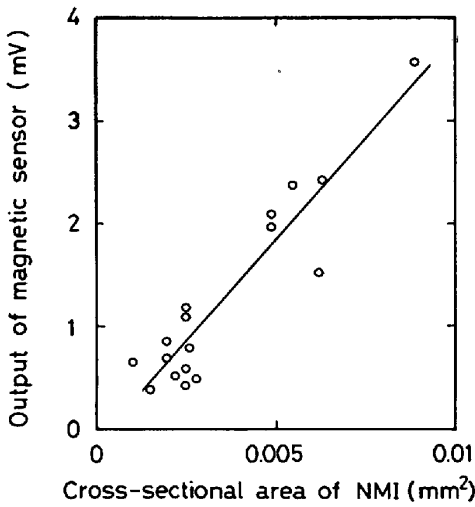


Fig. 4. Relationship between cross-sectional area of NMI and output of magnetic sensor.

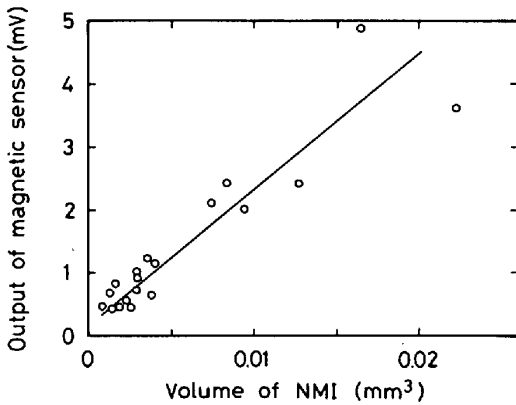


Fig. 5. Relationship between volume of NMI and output of magnetic sensor.

NMI の長手方向の中心部断面の検鏡より求めた NMI の断面積と磁気探傷出力の関係を Fig. 4 に示す。Fig. 5 には、NMI の体積 (断面積×長さ) と磁気探傷出力の関係を示す。Fig. 4, Fig. 5 の直線は最小二乗法を用いた回帰直線である。

磁気探傷出力と断面積あるいは体積とに相関があるので、磁気探傷出力を NMI の大きさの判定に使用できる。

3.2 フランジ割れにおよぼす NMI の影響

磁気探傷で測定された NMI がトリミングエッジに存在するように DI 加工した缶の拡管試験結果を Fig. 6 に示す。図中の曲線は回帰曲線である。拡管率は NMI の影響により低下し、磁気探傷出力が増大するほど、すなわち NMI が大きくなるほど低下する。

一方、商業用 DI ラインにおいてフランジ部は、ネックイン加工ののちスピンドルフランジャーによるフランジ加工を施される。したがって実際的なフランジ加工にお

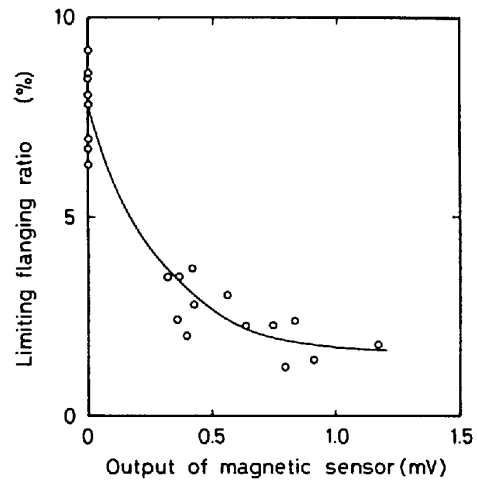


Fig. 6. Relationship between output of magnetic sensor and limiting flanging ratio.

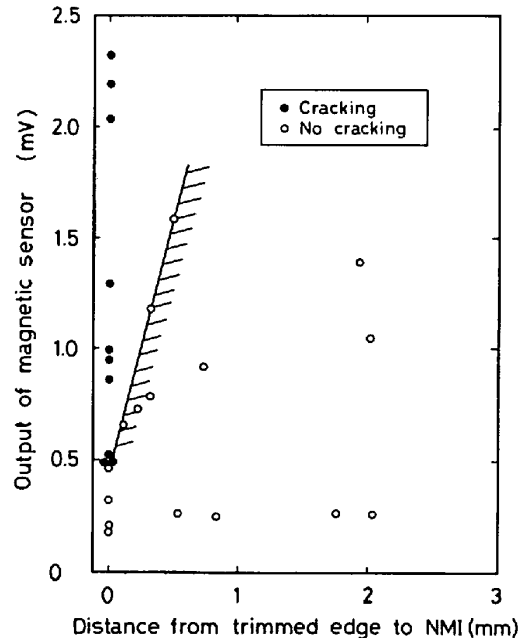


Fig. 7. Relationship between output of magnetic sensor and flange crack.

よぼす NMI の影響について、ネックインののちスピンドルフランジ加工による割れ結果を Fig. 7 に示す。フランジ割れ検査は目視で行い、割れていない缶は磁粉探傷により NMI を確認して、トリミングエッジと NMI との距離を測定した。割れ缶についてはトリミング時のスクラップを磁粉探傷により調査し、NMI がトリミングエッジに存在することを確認して、NMI のトリミングエッジからの距離を零とした。

Fig. 7 に示すように磁気探傷出力 0.5 mV を下限界として割れが生じ、また NMI がトリミングエッジから離れるにつれて下限界が増大していると考えられる。

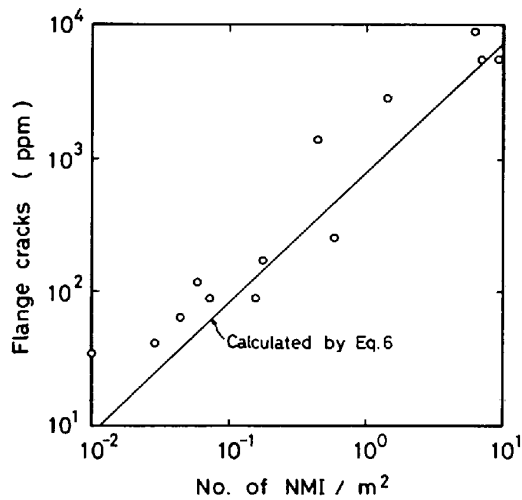


Fig. 8. Relationship between number of NMI and flange cracks.

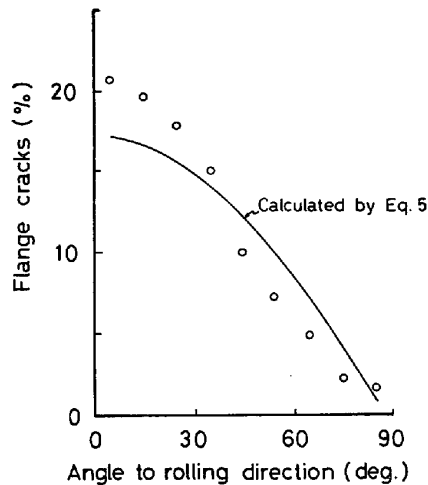


Fig. 9. Flange cracks related to the angle with the rolling direction of the sheet.

3.3 量産試験によるフランジ割れ結果

10 t コイル 13 本について、DI 製缶してフランジ割れ発生率と磁気探傷出力 0.5 mV 以上の NMI 個数との対応を求め、その結果を Fig. 8 に示す。(フランジ割れ缶のうち明らかに NMI 以外の原因、例えばトリミング不良などは除いている。)

NMI の単位面積当たりの個数が増大すると、フランジ割れ発生率が增大している。

Fig. 9 にフランジ割れ缶についての圧延方向に対する割れ位置分布を示す。フランジ割れは、トリミングエッジ全周が同じ割合で割れるのではなく、圧延方向が最大となり、直角方向が最小となる。

4. 考 察

4.1 フランジ加工率とフランジ割れ

DI 缶フランジ部は製缶工程で過酷な絞り、しごき加

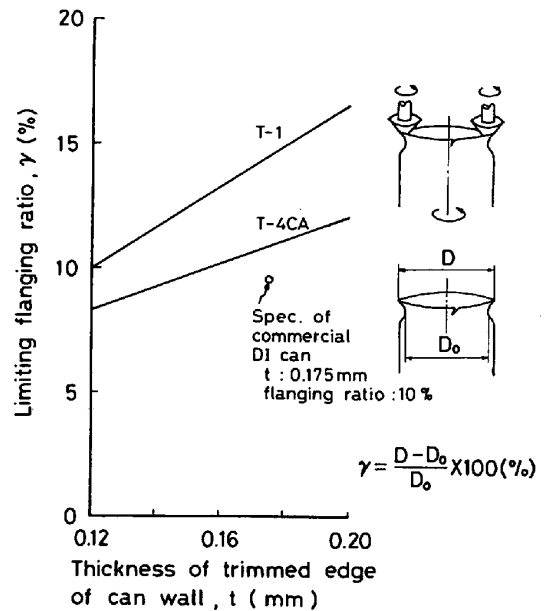


Fig. 10. Effect of thickness of trimmed edge of canwall on limiting flanging ratio.

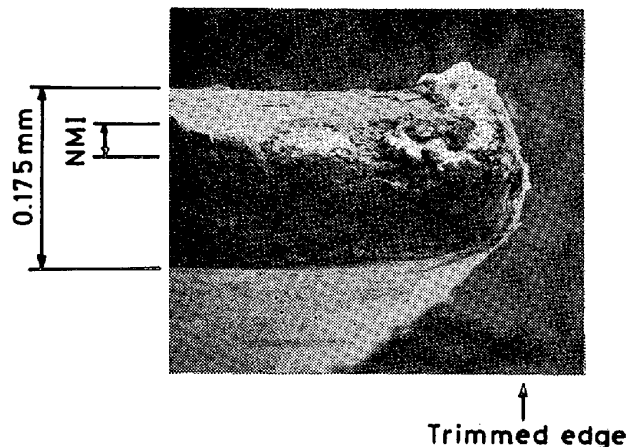


Photo. 2. Micro-structure of the flange crack by S. E. M.

工を受け、さらにネックインののちにフランジ加工を受ける。アルミキルド連铸材、板厚 0.32 mm、テンパー T-1 および T-4CA のぶりきから製缶された DI 缶 (202 缶径) のネックイン後の限界フランジ加工率を Fig. 10 に示す。限界フランジ加工率は、フランジ加工により割れが生じるまで加工したときの加工率で Fig. 10 に示す式で表し、テンパーが高くなると、限界フランジ加工率が低下し、またフランジ部板厚が減少しても低下する。

現在の炭酸飲料缶は、テンパー T-1、フランジ部板厚 0.175 mm 付近で製缶され、ネックイン後の径は約 50 mm であり、フランジ加工によりフランジ部外径は約 55 mm となる。このときのフランジ加工率は約 10% となる。このフランジ加工率は、Fig. 10 に示す T-1 に対して、限界フランジ加工率の約 60% にすぎず、トリ

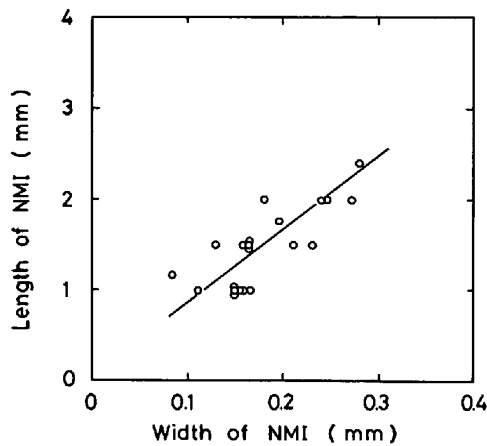


Fig. 11. Relationship between width of NMI and length.

ミングエッジ付近に NMI などの欠陥が存在しない場合には、フランジ割れの生じるおそれがない。一方商業用 DI 製缶ラインにおいて、フランジ割れは、発生しているが、その発生率は 10~1000 ppm と非常に少なく、加工限界による割れではないと考えられる。またフランジ割れ缶の破断面を走査電顕により鏡検した結果、 Al_2O_3 -CaO 系の NMI が検出された (Photo. 2)。したがって、フランジ割れには鋼中の NMI が影響すると考えられる⁴⁾。

4.2 NMI の検出、定量

ぶりき板から検出した NMI は、Fig. 3 に示したように圧延方向に長く伸ばされ、板厚方向に圧縮された形状であり、磁気探傷法で漏洩磁束を測定することにより非破壊で NMI の大きさの定量化ができる。

Fig. 5, 6 に示したように NMI の断面積および体積は磁気探傷出力と相関がある。このことは、NMI の断面積が体積と相関があることを示している。

本研究に用いたぶりきは、2.0 mm のホットコイルから冷間圧延された 0.32 mm の鋼板を用いて製造されており、冷間圧延により長さが 6.25 倍となる。NMI が冷間圧延により伸ばされるとすると、NMI の幅は変化せず、厚みと長さが変わる。ホットコイルから磁粉探傷装置により検出した NMI は、球を板厚方向に若干、圧縮した形状となつている。一方、ぶりき板より検出した NMI について、Fig. 11 に幅と長さの関係を示す。図中の直線は、回帰直線である。両者の関係は、長さが幅の約 8 倍であり、冷間圧延時の板の伸びは前述したように約 6 倍である。したがって連続製造時の NMI を球状であると仮定すると、NMI の変形の大部分は、冷間圧延中に変形し、幅は一定のままで、厚み、長さが変化すると推定する。このため、NMI の断面積および体積は

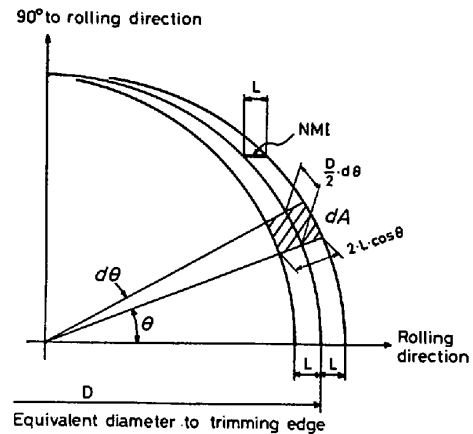


Fig. 12. Position of NMI relative to trimming edge.

磁気探傷出力と相関があると考えられる。

4.3 NMI のフランジ割れへの影響

Fig. 6 に示したように NMI は拡張率を低下させる。また Fig. 7 に商業用ラインと同程度のフランジ加工時の影響を示した。トリミングエッジに NMI が存在する場合は磁気探傷出力 0.5 mV 以上でフランジ割れが生じ、このときの NMI の大きさは断面積で $1.5 \times 10^{-3} \text{ mm}^2$ に相当し、NMI の幅を 100 μ 程度とすれば、NMI の平均厚みが 15 μ に相当する。NMI がトリミングエッジより離れるにつれて、フランジ割れを生じる下限の大きさが、大きくなつていくと考えられる。

このように磁気探傷法で NMI を定量化すると、磁気探傷出力とフランジ割れとの間に非常によい対応がある。ここでは、板厚 0.32 mm、テンパー T-1 のぶりきより製缶された 202 缶径、フランジ部板厚 0.175 mm について述べたが、缶径、フランジ部板厚などを変更するとフランジ割れ下限の NMI の大きさが変わると考えられる。

4.4 NMI 密度とフランジ割れ発生率

Fig. 8 に示したように NMI の単位面積当たりの個数とフランジ割れ発生率とに相関がある。そこで両者の関係について検討する。

今までの結果から次の仮定を用いる。

仮定 1 NMI は、幅に較べて長さが長いから幅を無視して長さのみを考える。

仮定 2 DI 製缶時のトリミングエッジに NMI が存在すれば、フランジ割れを生じる。

計算に用いる記号

L : NMI のぶりき板 (素板) における長さ (mm)

x : 素板における断面積が $1.5 \times 10^{-3} \text{ mm}^2$ 以上の NMI の個数 (個/ m^2)

D : DI 製缶時のトリミングエッジ位置を素板に換

算したときのトリミング直径 (mm)

θ : 素板の中心を原点としたときの圧延方向からの角度

$d\theta$: θ の微小角

A : 直径 D の円を圧延方向に平行に $-L$ から L まで移動するとき円周が描く面積 (mm²)

dA : $d\theta$ に対する A の微小面積

α : フランジ割れ発生率 (ppm)

DI 製缶時のトリミングエッジについて、製缶前のぶりき板(素板)で検討する。DI 製缶時に NMI が、トリミングエッジに存在する条件は、トリミングエッジに対応する素板での直径 D の円に NMI が交わる場合である。したがって Fig. 12 に示すように直径 D の円を圧延方向に平行に $-L$ から L まで移動させたときに円周が描く面積 A の中に NMI が存在すればよい。ここで面積 A は、次のような概算で求めた。

まず $0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$ の範囲については、 $\theta \leq \frac{\pi}{2} - \arctan \frac{2 \cdot L}{D}$ の範囲で dA を(1)式のように近似できる。

$$dA = L \cdot D \cdot \cos \theta \cdot d\theta \dots\dots\dots(1)$$

つぎに $\frac{\pi}{2} - \arctan \frac{2L}{D} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$ の範囲については、 $\frac{D}{2} \gg L$ なので、この範囲を無視する。したがって $0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$ の範囲で(1)式を適用すると面積 A は、(2)式のように計算できる。

$$A = \int_0^{2\pi} L \cdot D \cdot |\cos \theta| \cdot d\theta = 4 \cdot L \cdot D \dots\dots\dots(2)$$

以下このような概算で得た結果を適用して議論する。

フランジ割れ数は、仮定 2 よりトリミングエッジと交わる NMI の数となるので、フランジ割れ発生率は、面積 A の中に含まれる断面積 $1.5 \times 10^{-3} \text{ mm}^2$ 以上 NMI に比例する。したがって、フランジ割れ発生率は、(3)式となる。

$$\alpha = 4 \cdot L \cdot D \cdot x \dots\dots\dots(3)$$

素板の板厚 0.32 mm, 202 径缶のとき $D=120 \text{ mm}$ を適用すると(3)式は、(4)式となる。

$$\alpha = 480 \cdot L \cdot x \dots\dots\dots(4)$$

(4)式は、フランジ割れ発生率が、素板における断面積 $1.5 \times 10^{-3} \text{ mm}^2$ 以上の NMI 密度と長さで決まることを示している。この計算結果を Fig. 13 に示す。

一方、圧延方向からの角度 θ におけるフランジ割れは、面積 dA の中に含まれる断面積 $1.5 \times 10^{-3} \text{ mm}^2$ 以上の NMI の個数に比例するので、 D, x および $d\theta$ が

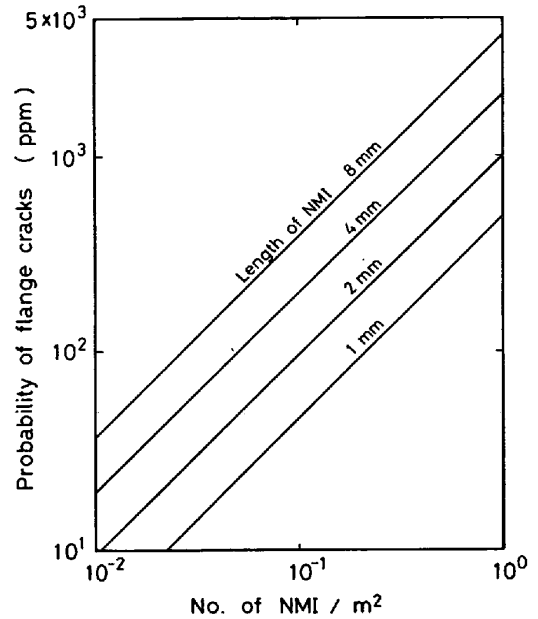


Fig. 13. Calculated probability of flange cracks by Eq. 4 related to number of NMI.

一定であると、 $\cos \theta$ に比例する。したがって、 θ に対するフランジ割れ確率 $P(\theta)$ は、(5)式となる。

$$P(\theta) = \cos \theta \quad \left(0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}\right) \dots\dots\dots(5)$$

この結果を Fig. 9 に実線で示す。この実線は、圧延方向で最大、直角方向で最小となり、この傾向は、実際のフランジ割れとほぼ対応している。

以上のように、ぶりき板での NMI の密度および長さからフランジ割れ発生率が計算できる。Fig. 3 に磁粉探傷により検出した NMI の長さ分布を示したが、このうちフランジ割れの原因となる NMI は、Fig. 7 に示したように磁気探傷出力 0.5 mV 以上の NMI である。磁気探傷出力 0.5 mV 以上の NMI の長さの平均値は、1.6 mm であつた。この値を(4)式に適用すると、フランジ割れ発生率は、(6)式となる。

$$\alpha = 768 \cdot x \dots\dots\dots(6)$$

この結果を Fig. 8 の実線で示す。この実線の傾向は、実際のフランジ割れとほぼ対応しているが、実際のデータが計算値よりも若干高めのフランジ割れとなつている。この原因については、Fig. 7 にトリミングエッジに磁気探傷出力 0.5 mV 以上の NMI が存在するとフランジ割れになることを示したが、実際には、比較的大きな NMI がトリミングエッジの近傍に存在する場合にもフランジ割れが発生したものと考えられる。すなわち(4)式の NMI の平均長さ L を補正することで、計算値と実際のフランジ割れ発生率をほぼ一致させることができる。

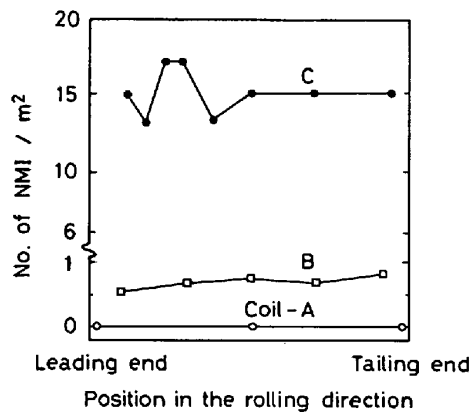


Fig. 14. Frequency distribution of NMI in the rolling direction.

4.5 NMI の圧延方向分布

コイルの一部で NMI を検査して、コイル全体の NMI によるフランジ割れ発生率を推定するには、NMI がコイル全体に様に分散していなければならない。アルミキルド連铸材は、製造上から NMI がコイル圧延方向に様に分散していると考えられる⁹⁾。Fig. 14 にフランジ割れに有害な NMI のコイル長手方向の分布を示す。各 10t コイル A, B, C は、NMI 密度が、大、中、小のコイルについて調査したものである。圧延方向に NMI の極端な変動はなく、コイルの一部での NMI 密度を全体の密度としてもよいと考えられ、これは、量産試験での NMI 密度とフランジ割れ発生率に対応することを裏づけている。

5. 結 言

ぶりき素材中に存在する非金属介在物 (NMI) の大き

さを磁気探傷装置を用いて定量化し、DI 缶製造工程におけるフランジ割れ発生率を検討した結果、以下のことが判明した。

1. 磁気探傷法を用いるとフランジ割れに影響する有害な NMI を判別できる。
2. 磁気探傷法で検出した NMI の平均的な大きさは、厚み 20μ 、長さ 1.4 mm 、幅 140μ であつた。
3. フランジ部板厚 0.175 mm の 202 径ネックイン缶では NMI の中心部横断面積が $1.5 \times 10^{-3} \text{ mm}^2$ 以上のものがフランジ割れに影響する。
4. コイルの一部で有害な NMI 密度を測定すると、そのコイルのフランジ割れ発生率が推定できる。
5. 4 項のフランジ割れ推定値と DI 製缶時の割れ率が、ほぼ一致する。
6. 以上の結果、磁気探傷法を DI 缶用ぶりきのフランジ割れに対する品質管理に利用できる可能性がある。

文 献

- 1) G. A. JENKINS, G. JEFFORD, and D. W. EVANS "Demands two-piece can technologies place on the properties of tinplate" (1976), 1st International tinplate conference, London, Proceedings International Tin Research Publication
- 2) Boyle Industrial Gauging Systems Ltd. "Magnetic Macro Inclusion Detector"
- 3) ソニー (株) 技術資料: SMD (SONY MAGMETODIODE)
- 4) 阿部英夫, 北村邦雄, 中川吉左衛門, 久々湊英雄: 川崎製鉄技報, 8 (1976) 1, p. 42
- 5) 熊井 浩, 広本 健, 松永 久, 大橋徹郎, 大野唯義: 鉄と鋼, 60 (1974), p. 926