市販の中及び厚鋼板の機械的性質に於ける方向性

美馬源次郎*

Genjiro Mima: Richtungsabhängigkeit der Mechanischen Eigenschaften von Gewöhnliches Medial- und Grobflußeisenblechen. Ueber der Richtungsabhängigkeit (*Anisotropie*) der mechanischen Eigenschaften von kaltgewalzen Homogeneblechen sind viele Arbeiten vor vorgelegen, aber die von Medial- und Grobflußeisenblechen sind noch nicht vollbracht. Es wurden daher weitere Versuche an verschiedene Schiffsflußeisenblechen ausgeführt.

Die Richtungsabhängigkeit der Festigkeitseigenschaften und Kerbschlagzähigkeit wurde mit der unter einem Winkel von 0°, 22.5°, 45.0°, 67.5° und 90° zur Walzrichtung entnommenen Proben untersucht.

Zur Bestimmung des Einflusses der Glüh Temperatur auf die Richtungsabhängigkeit der mechanischen Eigenschaften und den Gefügebau wurden die Proben je 1h. bei 450°, 700°, 900° und 1,000°, und 3h. bei 1,000° geglüht.

Die Festigkeit, die Dehnung, die Brucheinschnürung, die Streckgrenze und die Kerbschlagzähigkeit in der Abhängigkeit vom Winkel zwischen Probenlängsachse und Walzrichtung zeige ich mit der Abbildung.

Die Hauptversuchsergebnisse sind folgendes:

- 1) Bei Schiffsflußeisenblechen wurde eine starke Anisotropie der Festigkeitseigenschaften und Kerbschlagzähigkeit gefunden.
- 2) Die Richtungsabhängigkeit der mechanischen Eigenschaften von Medial- und Grobflußeisenblechen erklärt sich nicht durch der Gefüge.
- 3) Der Einfluß der Glüh Temperatur auf die Richtungsabhängigkeit der mechanischen Eigenschaften kann für verschiedene Blechen schwächer verschieden sein, und durch einzelne Glühung bleibt hier eine Anisotropie.

(Eingegangen am 12. Deze 1938)

1. 緒 論

従来金属板の機械的性質に於ける方向性(不等方性)に関する研究は J. Weerts⁽¹⁾, G. Sachs⁽²⁾, E. Schmid⁽³⁾, E. Goens u. E. Schmid⁽⁴⁾, G. Wassermann⁽⁵⁾ の諸氏及びその他の學者⁽⁶⁾ によつて行はれてゐるが、その殆んど全部が常温圧延したる純金属及び均質な金属固溶態に関するもので、高温圧延金属板、就中鋼板に就いての研究は非常に少く、只 M. Gensamer & P. H. Vukumanic 兩

氏の⁽⁷⁾ 低炭素鋼板に就いての X 線的研究がある位に止まり、中或は厚鋼板の機械的性質の方向性に関する研究に至つては未だ何等の發表を見ない。然るに中及び厚鋼板の機械的性質に於ける方向性が鋼材工作業に従事するものにとり必要であることは今更贅言する迄もなく極めて明かなことである。若し鋼板製作者並に鋼材工作技術者がこの問題について一層留意すれば、鋼板製品の設計或は工作法は今一段の進歩をなすは明かであり、場合によつては相當量の鋼材の節約が可能となる。

以上の見地より著者は、先づ鋼板中にて重要な位置を占むる造船用中及び厚鋼板に関する機械的性質の方向性に就いて研究を進めた。以下はこれの簡單なる報告である。

2. 使用材料

研究用材料としては、厚さ 3, 5, 7, 10, 12 (3 枚) 13, 14, 18mm の造船用鋼板、並にこれ等の鋼板とその方向性を比較するため厚さ 2mm の衛帯用低炭素鋼板を使用した。これ等の中、厚さ 7mm の鋼板は高張力鋼板、厚さ 13mm の鋼板は造船機装用の鋼板にて、その他は船體用の軟質鋼板を用いた。又これ等の鋼板は總て日本製鐵八幡製鐵所製のもので、その化學組成は Tafel 1 の如くである。

* 藤永田造船所。

- (1) J. Weerts, Z. Metallk., **25** (1933), 301/3.
- (2) G. Sachs, Z. Metallk., **17** (1925), 187.
- (3) E. Schmid, G. Wassermann, Z. Metallk., **23** (1931), 87.
- (4) E. Goens, E. Schmid, Naturwiss., **19** (1931), 520.
- (5) G. Wassermann, Arch. Eisenhüttenwes., **10** (1936), 323.
- (6) D. Meyer, Metallurgie., **3** (1906), 53/9.
H. F. Moore, Univ. Illinois Bull. Engng. Exp. Stat. **9** (1911), No. 52.
D. H. Ingell, J. Inst. Metals, **26** (1921, II), 281.
O. Bauer, J. Weerts, F. Beek, Metallwirtsch., **12** (1933), 615.
O. Bauer, Frhr V. Göler, G. Sachs, Z. Metallk., **20** (1928), 202/8.
Frhr V. Göler, G. Sachs, Z. Phys., **56** (1929), 495.
- (7) M. Gensamer, P. H. Vukumanic, Metals Techn., **3** (1936), T. P. No. 749.

Zahlentafel 1. Zusammensetzung der untersuchten Blechen.

Blech	C	Si	Mn	P	S	Bemerkung
2 m/m	0.11	0.07	0.33	0.07	0.02	Weichblech
3 m/m	0.17	0.03	0.36	0.07	0.03	Achiffsfluß-
5 m/m	0.24	0.01	0.42	—	—	eisenblech
10 m/m	0.18	0.018	0.29	—	—	"
12 m/mA	0.22	0.056	0.49	0.05	0.041	"
12 m/mB	0.23	0.042	0.48	0.05	0.043	"
12 m/mC	0.22	0.047	0.52	0.04	0.045	"
14 m/m	0.21	0.051	0.44	0.05	0.031	"
18 m/m	0.14	0.014	0.41	—	—	"

3. 実験方法

本研究に於ては抗張力及び衝撃曲げ試験によつて機械的性質の方向性を確かめ、その方向性と組織との関係を調べた。又これ等の機械的性質の方向性に及ぼす焼鈍の影響も調べた。

扱て抗張力及び衝撃試験片の製作に際しては、先づ各鋼板より大きき $250 \times 280 \text{ mm}$ の矩形板の 250 mm の邊が夫々壓延方向に $0, 22.5, 45, 67.5$ 及び 90° の角を爲す方向に一致し、且つ夫等 5 枚の矩形板が互に接近する様に切取り、これより所要の試験片を製作した。即ち抗張力試験片は全長 250 mm とし、平行部の長さ及び幅は 120 mm 及び 35 mm とした。又その標點距離は 100 mm と定め、これを 4 等分し、標點距離 50 mm の延伸率をも測定し得る様にした。又衝撃曲げ試験片は、 $10 \times 10 \times 130 \text{ mm}$ の寸法に作り、その切込みは鋼板の壓延面に入れたものとこれに垂直に入れたものとの 2 種類を製作した。尚試験片の製作に當つては、抗張力及び衝撃試験片の長軸が正確に矩形板の 250 mm の邊に平行即ち壓延方向と夫々 $0, 22.5, 45, 67.5$ 及び 90° の角を爲す方向と完全に一致する様充分注意した。

次にこれ等の機械的性質の方向性に及ぼす焼鈍の影響を調べるために、 $450^\circ, 700^\circ, 900^\circ$ 及び $1,090^\circ$ で 1 時間、並に $1,000^\circ$ で 3 時間或は 5 時間加熱したる後空冷した試験片に就て試験を行つた。而して試験片の焼鈍は、總て加熱前その表面に鑄造用アルミナを塗布したる後厚さ 2 mm の鋼管中に密閉して施行した。

又抗張力及び衝撃曲げ試験には、夫々アムスラー式 50 種試験機及び 16.6 m.kg のアイゾット衝撃試験機を用ひ、抗張力試験に際しては全試験を通じて歪速度を $9.8 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$ に一定した。

4. 実験結果

(a) 抗張力性質に於ける方向性

上述の如き 5 種類の試験片について得たる各鋼板の抗張力試験結果の中、その代表的なものを圖示すれば Abb.

1~4 の如くなる。

今受理状態に於ける抗張力性質の方向性を、最大抗張力曲線について分類すると圖に明かなる如く、壓延方向と試験片の長軸との爲す角を増すに従ひ、その抗張力を増加するもの (Abb. 1)、壓延方向に約 $34^\circ, 45^\circ$ 或は 56°

Abb. 1. Richtungsabhängigkeit der Zugfestigkeit, Streckgrenze und Dehnung der Weichemfluß-Eisenblech von 2 mm Dicke.

の角を爲す方向に於て極大點を示す凸形のもの (Abb. 2 及び Abb. 3) 及び約 34° 或は 45° の方向に於て極小點を示す凹形のもの (Abb. 4) との 3 種類に大別することが出来る。而して低炭素鋼板のみが第 1 類に、厚さ 10 及び 14 mm 鋼板は第 3 類に、他は總て第 2 類の曲線に屬す。又第 2 類の曲線に屬するもの、中約 56° の方向に於て極大點を示すものは概して壓延方向に約 22.5° の角を爲す方向にて多少抗張力の降下する傾向 (曲線に凹みが生ずる)

を現はす。尚上記の極大點及び極小點は夫々最大値及び最小値を示す。

次に降伏點 (下) を示す曲線の形狀は圖に見る如く概して抗張力曲線と相似し、延伸率及び断面收縮率曲線は大體これと逆の形狀を示す。

(b) 衝撃曲げ抵抗に於ける方向性

實際に於ては鋼板に特に造船用鋼板には衝撃曲げ試験の必要は殆どないのであるが、衝撃抵抗に關する方向性は靜的試験とは異り一層明瞭なる結果が得られはせぬかと考へてこれを施行した。その結果の中 2, 3 の代表的なものに就いて圖示すれば、Abb. 5~7 の如くである。圖に於て衝撃値特に表打試験の結果に於て、その指示點

Abb. 2. Richtungsabhängigkeit der Zugfestigkeit, Streckgrenze, Dehnung und Bruchquerschnittsverminderung der Schiffsflußeisenblech von 5 mm Dicke.

Abb. 3. Richtungsabhängigkeit der Zugfestigkeit, Streckgrenze, Dehnung und Bruchquerschnittsverminderung der Schiffsflußeisenblech von 12 mm Dicke.

Abb. 4. Richtungsabhängigkeit der Zugfestigkeit, Streckgrenze, Dehnung und Bruchquerschnittsverminderung der Schiffsflußeisenblech von 14 mm Dicke.

が相當な廣範圍に擴がつてゐるのは、衝擊に際し試験片が壓延面に平行な層狀組織を有するために壓延面に平行なる面で分離せんとする傾向を持つてゐたからである。

衝擊抵抗曲線の形狀は概して抗張力曲線の形狀に相異してゐるが、12mmA材のみに於ては抗張力曲線と異りたる形狀即ち 22.5° 及び 45° の方向に夫々極小點及び極

大點を現す。又各鋼板の何れの方の試験片に於ても、表打試験片の衝擊値が横打試験片のそれよりも大である。

(c) 組織に於ける方向性

顯微鏡組織は各鋼板の壓延面に平行な面に就いて檢鏡した。今それ等の中、一部の檢鏡結果を示せば Abb. 8~14 に示す如くである。

Abb. 5 a. Richtungsabhängigkeit der Kerbschlagzähigkeit der Schiffsflußeisenblech (A) von 12mm Dicke.

×.....Probe mit einer Kerbtiefe auf Ebene längs zur Walzebene.

Abb. 6. Richtungsabhängigkeit der Kerbschlagzähigkeit der Schiffsflußeisenblech von 13mm Dicke.

×.....Probe mit einer Kerbtiefe auf Ebene längs zur Walzebene.

○.....Probe mit einer Kerbtiefe auf Ebene quer zur Walzebene.

Abb. 5 b. Richtungsabhängigkeit der Kerbschlagzähigkeit der Schiffsflußeisenblech (C) von 12mm Dicke.

×.....Probe mit einer Kerbtiefe auf Ebene längs zur Walzebene.

Abb. 7. Richtungsabhängigkeit der Kerbschlagzähigkeit der Schiffsflußeisenblech von 14mm Dicke.

○.....Probe mit einer Kerbtiefe auf Ebene quer zur Walzebene.

Abb. 8. Gefüge der Weichflußeisenblech.
V=100, geätzt mit 4% HNO_3 .

Abb. 9. Gefüge der Weichflußeisenblech.
V=280, geätzt mit 4% HNO_3 .

Abb. 10. Gefüge von normalgeglühten Weichflußeisenblech.
V=100, geätzt mit 4% HNO_3 .

Abb. 11. Gefüge der Schiffsflußeisenblech von 5 mm Dicke.
V=160. geätzt mit 4 % HNO_3 .

Abb. 12. Gefüge der Schiffsflußeisenblech (A) von 12 mm Dicke.
V=160. geätzt 4 % HNO_3 .

Abb. 13. Gefüge der Schiffsflußeisenblech von 14 mm Dicke.
V=160. geätzt mit 4 % HNO_3 .

Abb. 14. Makroskopische Gefüge der Schiffsflußeisenblech (A) von 12 mm Dicke. V=5.

Abb. 14 (a). Gefüge bei punkt (a) in Abb. 14.
V=160. geätzt 4 % HNO_3 .

Abb. 14 (b). Gefüge bei punkt (b) in Abb. 14.
V=160 geätzt 4 % HNO_3 .

Abb. 14 (c). Gefüge bei punkt (c) in Abb. 14.
V=160. geätzt 4 % HNO_3 .

Abb. 14 (d) Gefüge bei punkt (d) in Abb. 14.
V=160. geätzt 4 % HNO_3 .

Abb. 14 (e). Gefüge bei punkt (e) in Abb. 14.
V=160. geätzt 4 % HNO_3 .

Abb. 8~10 は低炭素鋼板の受理及び焼準状態の組織を、Abb. 11, 12, 及び 13 は夫々受理状態の 5, 12, 及び 14 mm 鋼板の組織を示したものである。

受理状態の低炭素鋼板は、Abb. 8 及び 9 に明かなる如く、地鉄とその境界の一部に析出せる僅少のセメンタイトより成る。(これはピクリン酸ソーダによる腐蝕によ

つてもセメンタイトの存在は確認せられる)。又焼準状態のものに於ては Abb. 10 に見られる如く、その炭素量に相当する量のパーライトが認められる。

低炭素鋼板及び厚さ 5 mm の軟鋼板に於ては、Abb. 8 及び Abb. 11 に示す如く、組織に不均一性が認められなかつた。然し乍らその他の鋼板に於ては、Abb. 14 に示

せる如く、地鉄結晶粒子の集合體が壓延せられたる方向に伸びてゐる。而して Abb. 8, 11, 12, 13 及び 14(a), (b), (c), (d), (e) 等に見られる如く、何れの鋼板に於てもその地鉄結晶粒子は、壓延面に垂直な方向に多少壓縮せられてゐるのみで、壓延方向には伸びてゐないことが認められる。即ち各組織は再結晶してゐる。又厚鋼板に於ては 1000° で 5 時間加熱後空冷したものにして、尚板状組織を消失せしむることは不可能であつた。

以上の検鏡結果より考ふれば、上述せし機械的性質の方向性は組織によつて説明することは不可能である。

(d) 熱處理の影響

以上の試験結果に現れた機械的性質の方向性及び組織の不等方向性が 450° , 700° , 900° 及び 1000° の各温度に於ける焼鈍によつて如何に變化するかを知るため、又この方向性を消失せしめ均質なるものと爲し得べき適當なる焼鈍温度を見出すために本試験を行つた。

その抗張力試験結果の中、代表的な結果即ち焼鈍温度 700° , 900° 及び 1000° に於ける低炭素鋼板、12mm (A 及び B 材) 及び 14mm 鋼板等の方向性を最大抗張力、降伏點 (F) 延伸率及び断面收縮率に就いて示せば Abb. 15

Abb. 15. Richtungsabhängigkeit der Zugfestigkeit, Streckgrenze, Dehnung und Bruchquerschnittsverminderung von Schiffs- und Weichenflüssenblechen, gegläht bei verschiedenen Temperaturen.

の如くなる。又衝撃試験結果の代表的なるものは Abb. 16 の如くなる。

尚焼鈍温度 900° 以上の衝撃試験片に於ては表打及び横打の間に殆ど差は認められない。

次に低炭素、12mm 及び 14mm 鋼板の抗張力及び延伸率と焼鈍温度との関係を示すと、Abb. 17~19 の如くなる。而してこれ等の結果は検鏡結果と良く一致する。

Abb. 16. Richtungsabhängigkeit der Kerbschlagzähigkeit von Schiffsflußeisenblechen gegläht bei verschiedene Temperaturen.

Abb. 17. Einfluß der Glühtemperatur auf die Festigkeitseigenschaften der Weichflußeisenblech.

Abb. 18 a. Einfluß der Glühtemperatur auf die Festigkeitseigenschaften der Schiffsflußeisenblech (A) von 12mm Dicke.

Abb. 18 b. Einfluß der Glühtemperatur auf die Festigkeitseigenschaften der Schiffsflußeisenblech (B) von 12mm Dicke.

Abb. 19. Einfluß der Glühtemperatur auf die Festigkeitseigenschaften der Schiffsflußeisenblech von 14mm Dicke.

本結果より考ふれば受理状態に於ける鋼板の機械的性質の方向性に及ぼす影響は、焼鈍温度、焼鈍時間及び鋼板によつて異なり且つ何れの鋼板に於ても完全にその方向性を消失せしむることも、又全鋼板、或は中、厚鋼板の各々に對して同一の方向性になすことも困難である。

5. 結 論

M. Gensamer & P. A. Vukumanic 兩氏⁽⁷⁾ は 910° にて壓延せし低炭素鋼の地鉄結晶粒子の方向性は充分發達しないが、 780° の壓延に於て生じたその方向性は十分發達し、ステレオ投影圖では常溫壓延時に生ずる組織とよく類似してゐること、並に互に直角なる方向に壓延するときには、同一方向にのみ壓延したる場合程その方向性は發達せざることを報告してゐる。然し實際の中及び厚鋼板の製作に於ては、最初鋼板の幅の方向に壓延して所要の幅を作つた後、これと直角或は任意の角度だけ回轉して壓延する場合が普通である外、 A_3 點の上下廣範圍に於て迅速なる連續壓延(短時間内)が行はれる。尚壓延後に於ては焼準或は焼鈍が施行せられるものもあるので、それ等が方向性に及ぼす影響は非常に複雑となる。故にその機械的性質に於ける方向性に關しては簡單なる法則で説明することは不可能である。然し乍ら以上の實驗結果より次の如き結論を下すことは出来る。

市販の造船用中及び厚鋼板の機械的性質は鋼板の位置により僅少の差異はあるが、各鋼板の機械的性質には或る明確なる方向性が存在する、且つその方向性は銅、ニッケル或は夫等の合金の如く規則的ではない。而してそれは組織によつて説明する事は不可能である。又その方向

性は簡單なる焼鈍によつて消失せしむることが出來ぬ。

6. 摘 要

1) 造船用軟質鋼板(9種類)及び高張力鋼板(1種類)並に衛帶用低炭素鋼板(1種類)等計11種類の市販の中及び厚鋼板に就いて、その抗張力性質及び衝撃曲げ抵抗に関する方向性の有無を確かめ、それ等の代表的試験結果を提示した。

2) 顯微鏡及び肉眼的組織の不等方性を調べ、その組織を示した。

3) 機械的性質の方向性に及ぼす焼鈍の影響に就いて調べその結果を明示した。

本研究を御指導下された阪大教授工學博士山口珪次氏、並に御助言を賜はりし理學博士山内淑人氏に深く感謝の意を表す。

マグネシウム-カドミウム系を基礎とする 多元系輕合金の研究(第3報)*

Mg-Cd-Ca 系

大日方一司** 林 茂 壽** 室 町 繁 雄**

Ichiji Obinata, Shigehisa Hayasi and Sigeo Muromati: Researches on the Complex Alloys of Magnesium Based on the Magnesium-Cadmium System(Report 3). Mg-Cd-Ca System. As it was found in the 2nd Report(Jour. Iron Steel Inst. Japan, **24**(1938), 34) that the addition of Ca, Sr, Ba and as improves the corrosion resistance of the Mg-Cd alloys conspicuously, more detailed experiments in the range of 0~8% of Cd and 0~1.2% of Ca have been carried out of the corrosibility, mechanical and electrical properties of the Mg-Cd-Ca alloys. The results obtained may be summarised as follows:

The composition of the alloys which have comparatively high resistance against corrosion lies in the range of 0~5% of Cd and 0.2~0.8% of Ca. Although no high tensile alloys may be expected in this alloy system even when they are heat treated, the addition of Ca increases generally the hardness of the alloys. The electrical resistance of the Mg-Cd system decreases in the first place with the addition of Ca, owing perhaps to the fact that the latter element acts as a refining reagent of the molten alloys.

(Received April 7, 1939)

I. 緒 言

本報告は昭和10年並に昭和13年に發表した第1報⁽¹⁾並に第2報⁽²⁾の繼續である。第2報に於て著者等はCa, Sr, Ba, As等の添加がMg-Cd合金の耐蝕性を著しく改善する事實を見出したので、今回は詳しく詳細にMg-Cd-Ca3元系合金の耐蝕性、機械的、電氣的性質等を調べる事とした。

Mg-Cd-Ca3元系の状態圖に關しては未だ詳細な研究結果がないが、MgとCdとは輕合金の組成範圍内に於ては總ての割合に固溶體を造り⁽³⁾、MgとCaとは共晶

溫度に於て1%前後、常溫に於ては0.2~0.5%程度の溶解度⁽⁴⁾がある。従つてMg-Cd合金に對しても少量のCaは固溶するものとみられ、その溶解度面はやはり彎曲する事が想像される。

II. 實驗の方法

1. 試料の熔製

原料Mgは日滿マグネシウム會社製、Cd並にCaはいづれもMerk製棒狀並に塊狀のものを使用した。

豫熱した徑85mm、深さ150mmの鑄鐵製坩堝に秤量せる約300gのMgを下記組成の第1熔劑と共に投入、熔解した後Cdを添加し、最後にCa約6%を含むMg-Ca母合金をホスホライザーを使用して熔湯中に挿入した。鑄造溫度は700°とし、鑄造に先立ち下記第2熔劑を添加してこれを硬化せしめ、熔劑の殻の一部を破壊

** 旅順工科大學金屬材料研究室。

* 本研究は昭和13年4月3日東京に於て開催された日本金屬學會第3回講演大會に於て發表したものである。

(1) 大日方、萩谷、鐵と鋼、**21**(1935), 85.

(2) 大日方、林、鐵と鋼、**24**(1938), 34.

(3) W. Hume-Rothery, S. W. Rowell, J. Inst. Metals, **38**(1927), 137; G. Grube, E. Schiedt, Z. anorg. allg. Chem., **194**(1930), 190.

(4) J. L. Haughton, J. Inst. Metals., **61**(1937), 241; H. Votzkühler, Z. Metallk., **26**(1937), 236.