曲 げ 試 験 に つ い て*

應 和 俊 雄**

On the Bend Test

By T. Owa**

Abstract

As a method to investigate the weldability the bead-bend tests both non-notched and notched are adopted widely. The representative of the notched bend tests is Lehigh bend test and the non-notched is Austrian test. Judging from the results of performed experiments it is known that the weldability can be judged precisely in some cases and not clearly in others. When the fluctuation of the testing results are predominant the weldability can not be decided precisely. To judge this property we must notice to the deformation characteristics in the range of plastic deformation. The maximum load seems to be unavailable to judge the weldability. If we observe the characteristic deformation (plastic deformation) of the test plate the bend test may be able to use as a method of quality controls for the manufacturing and testing of the arc-welding electrodes.

I 結 言

鋼板と電弧溶接棒とを同時に考えた場合の溶接性調査の一方法として、鋼板上（有溝あるいは無溝）に単層溶着金属をおいての曲げ試験が汎く行なわれている。この場合、試験板にノッチを入れ、主として鋼板の熱影響を調査する場合もあり、またノッチを入れず溶着金属の性質をも加味する場合もある。Lehigh notch bend test 等は前者に属し、Austrian test 等は後者に属するものである。

各方面における曲げ試験の従来の研究成果を概観すれば、この方法により溶接性が明確に知られる場合も多いが、一方、バラツキが著しく、溶接性判定規準としては不確実である場合も多い。このバラツキの原因について考察した結果、曲げ試験時のデーターのとり方に合理性をもたせれば、比較的明瞭な溶接性判定規準として信頼度の高いものになり得ると考えられるのでこの点に関して報告したいと思う。

II データーのとり方について

曲げ試験において観測される典型的な応力-歪曲線を Fig. 1 に示す。曲線 OAPC が観測されるものであるが、この曲線の特性は次のようである。

OA；弾性変形領域であり略々直線状に上昇する。直線の傾斜 $\tan \alpha$ は鋼材の剪断係数 G に関するもので

あり、通常の鋼材に対しては一定と見做される。

A 点：この近傍において曲線は著しい屈曲を生じ、鋼材の試験部すなわち Plunger

直下の鋼材の断面部のほとんどが降伏した状態である。

APC；塑性変形領域であり、P 点において最大荷重を示し、以後は荷重が減少し破壊に至る。AP の傾斜は O A に比し小さい。

A 点により劃された弾性変形領域 OA と塑性変形領域 APC とは性質を異にした曲線であることに注意せねばならない。従来、曲げ試験において観測せられてきた数値として挙げられるものに、最大変形量 (OE_m 又は EE_m)、最大曲げ角度 (EE_m に関連した量)、最大荷重 (OS_m)、あるいは $\tan \beta (= OS_m / OE_m)$ などがある。しかし塑性変形領域のみに注目したデーターは特に荷重に関しては少いように思われる。たとえば図の A を原点として、塑性域に入ってから荷重の増加量 SS_m 、又は変形量 ($AQ = E E_m$ 、これは最大曲げ角度に関連した量としてよく観測されている)、あるいは変形量に対する荷重の増加 $\tan \theta (= SS_m / EE_m)$ などについてのデーターは余り見受けられぬように思う。

Fig. 1 Typical stress-strain diagram in the bend test

* 原稿受付 昭和29年 3 月 (昭和29年 4 月溶接学会講演会において発表)

** 正員 株式会社神戸製鋼所 Member, Kobe Steel Works Co., Ltd.

鋼板のみの曲げ試験は別として、鋼板に溶接を行って溶接性を調査する場合は、曲げ試験に影響するものとして、溶着金属の性質及び熱影響による脆化の二つの事項を調査している訳である。溶着金属に合金元素が多い場合、あるいは多量のガス元素 (H, O, N 等) を含有する場合、あるいは急冷されてきた場合などにおいては、溶着金属の脆化は著しく、ために展延性に欠け、曲げ試験には悪い結果を及ぼす筈である。また鋼板の熱影響による脆化の著しい場合にも曲げ試験結果は悪化する筈である。曲げ試験においては通常裏曲げ法が行なわれるので、溶接部近傍の変形量が最大となるので、この部分の展延性の良否が、塑性変形領域における応力-歪曲線に著しい効果をもたらすものと考えられる。このように考えれば、最大荷重量の激減を招来しない限り、塑性域に入ってから僅かの荷重の増加により大きい変形をなすもの程溶接性は良好であると考えられる。すなわち $\tan \theta$ の小さい程良好であるとい得よう。しかし弾性変形領域は除外する方がよいと考えられる。

従来のデーターに対しては次のように批判されよう；

i) 最大変形量あるいは最大曲げ角度

この観測は妥当ではあるが、これのみでは意味をなさない場合が多い。即ち当該変形に対して如何程の塑性域での荷重増加を要したかが問題とされねばならない。180°完全に曲ったとしても溶接性判定には、その時の荷重が問題とされねばならないであろう。

ii) 最大荷重

被溶接鋼板の強度を観測したものであるが、これは鋼板の特性の影響が大きく、直接に溶接性判定には利用出来ないと思える。即ち溶接により熱影響を受けて脆化すれば強度は大になり降伏 A 迄に要する荷重が大となる。すなわち A は上昇する。併し脆化しているので塑性変形は困難となり塑性域に入ってから最大荷重迄の荷重の増加量 SS_m は減少する。従って最大荷重 $0.5 S_m$ は減少する場合もありまた増加する場合もある。従って溶接性判定には直接に利用は出来ない。勿論溶接による最大荷重が激減すれば溶接性は不可と判断されよう。

iii) $\tan \beta$

最大荷重と変形量との兩者を考察するものであり、前二者に比較すれば、溶接性判定には或程度の妥当性を有するものと考えられるが、最大荷重は弾性、塑性両変形領域を含んでいるので $\tan \beta$ の意味するものが不明瞭になる欠点がある。

iv) $\tan \theta$

弾性変形領域を全く除いてしまって、塑性変形領域のみに着目しているので、溶接部の展延性の調査をしていることになり、溶接性判定には合理的であると考えられ

る。

以上の如く $\tan \theta$ が最も溶接性判定には便利と思われるが強度の激減を伴っても不可であるから最大荷重と $\tan \theta$ との兩者を観測するのが有意義と考えられる。

III 実験の一例

これは溶接棒の品質管理に関係した事であるが、溶接棒の抜取検査を行う場合、検査の一方法としてビード曲げ試験が利用できるかどうか、またデーターとして何を採用すべきかを調査した結果について述べたい。溶接棒に偏芯、吸湿等があれば僅かであるにしても溶接性に影響する筈であり、溶接性判定法として曲げ試験を行えばこの結果に対して影響を及ぼしているものと予想して行ったものであり、曲げ試験結果は悪化するものと考えた。

試験に用いたのは神鋼
B 17, 4 mm ϕ 溶接棒で
あり次の 3 種類である：

N ; 通常の製品、偏芯、
吸湿は小さい。

E ; 偏芯率著しく 8 ~
10% の不良品。偏
芯率は Fig. 2 に
より $(b_{\max} - a_{\min}) / a_{\min} \times 100\%$ と
して求めた。

W ; 製品 N を故意に

水中に投入して吸湿させたもので吸湿 4 ~ 5%。

試験板は Table 1 に示す組成を有するリムド鋼 (圧延のまゝ) を、オーストリア曲げ試験板と同一形式 Fig. 3 のように加工し、上述試験棒により一定溶接条件、電流 170 A, 電圧 25 V で溶接を行った。溶着金属の長さは 125 mm

Excentricity
 $= (b_{\max} - a_{\min}) / a_{\min} \times 100\%$
Fig. 2 Excentricity of
electrode

Table 1 Chemical Analysis of the Test
Plate (Rimmed Steel)

C	Mn	Si	P	S	Cu	Ni	Cr
0.22	0.91	0.02	0.025	0.026	0.19	0.13	0.08

Fig. 3 Test plate

Fig. 4 Method of bending

Tabl 2 Results of Bend Test

Width(W)	Sign	True Width	Max. Load	Correction of W	$\tan \beta$	$\tan \theta$
150mm	N	159mm	27.8Tons	26.2Tons	0.869	0.437
	E	154.5	25.25	24.5	1.31	0.625
	W	160	26.3	24.6	1.21	0.592
70mm	N	69.4	11.3	11.4	0.355	0.176
	E	70	14.2	14.2	0.418	0.201
	W	70	14.6	14.6	0.275	0.158*
30mm	N	29.6	5.4	5.5	0.086	0.042
	E	30	5.7	5.7	0.160	0.084
	W	30	5.7	5.7	0.087	0.048

Fig. 5 Strain-Strain diagrams

一層とし、Fig. 4 に示す要領で裏曲げ試験を行った。尚試験板の巾(W)は 150, 70, 30mm の 3 種を用いた。歪一応力曲線を Fig. 5 に示す。図中記号の次の数値は巾(W)を示すものである。試験板の巾が小さくなると、応力一歪曲線の最大荷重の位置は不明瞭となり変形量が大きくなっていく。また、熔着金属中に割れが発生しても曲線にはほとんど表われない。この点からは巾の広い試験板による方が観測が容易である。

実験結果並に観測データを Table 2 に示す。たゞし表中、巾の補正の欄は、最大荷重は巾に対して直線的に変ずるものとしてそれぞれ 150, 70, 30mm に換算したものである。

IV 実験結果に対する考察

熔接条件を一定にしたので、曲げ試験に差が生ずるとすれば、それは熔着金属によるものと考えられる。すなわち偏芯したものは電弧が不安定であり、空気との接触の機会が多いので空気構成元素の含有が大きき熔着金属自身の脆化が考えられ、また吸湿したものには水素による脆化が考えられると同時に、母材熱影響部に対する水素の影響も考えられる。従って当然の結果としては N が最良とならねばならない。

Table 2 の数値の中、巾の補正を行った最大荷重値に関しては、巾 150 mm に対しては N が最高強度を示し、先づ理想的配列を示しているものと云い得ようが、巾 70 mm 及び 30 mm に対しては N が最低値となり、全く逆の結果を示している。従って最大荷重値は不確実であることが知られよう。次に

$\tan \beta$ について見れば、巾 70 mm 以外は N が最小値をとり、展延性のあることを示している。巾 30 mm のものについて見れば、 N と W とにはほとんど差がないので、溶接棒の吸湿の影響は巾の小さい試験板では明らかにでないものと思える。次に $\tan \theta$ は大体 $\tan \beta$ と同一傾向を示しており * 印以外は推論の結果と一致する。事後の検討の結果、 $W 150$ 及び $W 30$ に使用した棒は吸湿 4~5 % であったが $W 70$ のものは 2.3 % であり、全く製品と同等であったのでかゝる結果が得られたものと考えられる。

以上の考察から吸湿に対してはやゝ不明瞭であるが、少くとも偏芯の場合には極めて明瞭な傾向の出ることが知られ $\tan \theta$ の有用性が認められる。 $\tan \beta$ も同一傾向ではあるが、たとえば $N 30$ と $W 30$ とのように全く同様な値の出る時においても $\tan \theta$ によれば、それが若干大きい差として求められるので、やはり弾性変形領域を除いた特長が出ており、 $\tan \theta$ の方を採用すべきであろう。

V 吟 味

一応理論的予測の下に実験を行い妥当な結果を得たものであるが、曲げ試験結果に対して溶接条件の揺動が大きく効いてくる場合も考えられる。溶接性に大差のない時には溶接条件に cover されて傾向の不明の場合もあり得るであろう。偏芯に対しては異論はないが吸湿に対しては更に多くの実験結果に俟たねばならないであろう。

なお、実際の曲げ試験の場合、Fig. 5 にも散見されるが、試料のセットの位置いかんにより得られる曲線の形状が、直ちに直線状に上昇する場合（試料が最初から既に押しつ

けてあった場合）、あるいは先づ横に這ってそれから直線状に上昇する場合（試料と Plunger 間に隙間のあった場合）があり、歪一応力曲線から最大荷重、最大荷重、最大変形、或は $\tan \beta$ を求める時に誤差が入りやすい。一方 A 点 (Fig. 1) は極めて明瞭に出るので $\tan \theta$ を求めるのは容易である。厳密な意味で A 点を降伏点とするのは無意味であり、試料の厚さ方向の各部分の変形度はそれぞれ異っている。しかし概観的には A 点において大部分が降伏した状態になっているから、こゝを原点としても何等支障はないであろう。

溶接により最大荷重が激減するようでは問題なく溶接性は不良であると断定されるが、こういう事はほとんどあり得ないと考えられるので $\tan \theta$ のみに注目すれば充分であり最大荷重の変動は余り考える必要はなからう。併し遷移温度を求めるという場合は他の点から着目すべき必要があることになる。

VI 結 言

以上、曲げ試験についてデーターのとり方を種々考察してきたが、少数の試験板により溶接性を判定するには塑性領域における変形に注目することが必要であり、また合理的であると思われる。

なお、曲げ試験については、阪大渡辺博士の多岐にわたる実験があり、Fig. 1 の $\tan \theta$ により溶接性の判定が可能であることの示唆が、既に行なわれているので、これを附記し、博士の示す通りの結果が実験に得られることを追記する次第である。

ガス切断に関する研究 (第2報)*

— 切断現象について —

中 村 虔 一** 中 村 吉 宗**

On the Gas Cutting (Report 2)*

On the Appearance of the Cut and Metallic Iron in the Slag

Kenichi Nakamura** & Yosimune Nakamura**

Abstract

Following on the Report 1, we measured the removed metal per cm^2 of cut surfaces and analysed the slag composition, the results thus obtained are as follows,

1) The weight of removed metal and the width of the kerf increased at increased cutting pressures

* 原稿受付 昭和29年 4月

** 正員、工業技術庁機械試験所 Member, The Government Mechanical Laboratory