Trans-Varestraint 試験法による溶接金属の 凝固割れ感受性の研究 (2)*

— Al および Al 合金の割れ感受性の検討 —

仙田 富男** 松田 福久*** 高野 元太****

Studies on Solidification Crack Susceptibility for Weld Metals with Trans-Varestraint Test (2)*

— Investigation for Commercially Used Aluminum and Aluminum Alloys —
by Tomio Senda**, Fukuhisa Matsuda*** and Genta Takano****

Abstract

In fusion welding of structural aluminum alloy plates solidification cracking frequently occurs in the weld metal and gives rise to serious problems for the soundness of the welded joint.

In this report, using the Trans-Varestraint test which was developed previously, authors have investigated the solidification crack susceptibility of commercially used structural aluminum alloy plates.

Firstly the time required for straining in the specimens given by various bending blocks and the time required for the propagation of solidification crack during straining were dynamically investigated using 6.1mm thick 5083 aluminum alloy plates. Secondly the properties of the ductility within the solidification brittleness range were measured and also evaluated for eleven commercial aluminum alloys.

The main conclusions obtained are as follows:

(1) In the observation with high speed cine camera the propagation of the solidification crack which occurs during the Trans-Varestraint test was so fast that the time required for the completion of a crack was from 0.005 to 0.02 sec in the case of 2.1% augmented-strain for a 6.1mm thick 5083 aluminum alloy plate.

Moreover a crack started in the vicinity of the trailing end of the puddle and propagated rearward of the puddle along the weld bead.

(2) Indices of crack susceptibility such as the brittleness temperature range (**BTR**), the minimum augmented-strain required to cause cracking ($\epsilon_{\min}$) and the critical strain rate for temperature drop (**CST**) were decided for these aluminum alloys. Thus, in order of the **CST** value these alloys are placed in this experiment as 1070, 3003, (7075, 5154, 5052, 2024), (6061, 2017, 74S, 5052) and 5083.

(3) The **BTR** for each alloy is roughly proportional to the nominal solidification temperature range between liquidus and solidus, although there is a considerable scatter. Moreover the **CST** value for each alloy can be approximately represented by the $\epsilon_{\min}/\text{BTR}$.

1. 緒 言

アルミニウム (Al) およびアルミニウム合金 (Al 合金) の溶融溶接においてしばしば凝固割れが重大な問題となる。このため古くから多くの研究者によって Al 合金の溶接金属における凝固割れ (高温割れともいわれる) の研究が行われ、多くの報告が発表されてきている。しかしその多くは、特定の割れ試験法に対し溶接条

件ならびに材質を変化させて溶接し、ビードに起こる割れ長さを比較したものである。したがってこれらは実用面からみると大変有意義なものであるが、材料の割れ感受性の基礎的な面からの検討、すなわちたとえば何度で割れが発生するか、どの程度のひずみを受けたときに割れが発生するかなどの定量性がなく、したがってこれらのデータのみでは一般性に乏しいのである。

このため本報告では、すでに報告した外部からの付加ひずみ量を任意に変化できる Trans-Varestraint 試験法¹⁾を利用して、各種 Al 合金の材質面よりみた凝固割れ感受性を定量的な面より検討し、Al 合金の溶接性の判定に対する一つの資料にしようとしたものである。

本報告の内容は、まず Al 合金の凝固割れ試験法とし

*原稿受付 昭和47年 6 月20日 (48回冶金委に発表)

**正 員 大阪大学工学部 Member, Faculty of Engineering, Osaka University

***正 員 大阪大学溶接工学研究所 Member, Welding Research Institute of Osaka University

****正 員 三菱重工業(株) Member, Mitsubishi Heavy Industries Ltd.

での Trans-Varestraint 試験法の検討を 5083 Al 合金に対して行ない、ついで市販の各種 Al 合金の凝固割れ感受性すなわち割れ発生の脆性温度領域、割れ発生に必要な最低ひずみ率を測定した。そしてこれらのデータを使用し割れ感受性に対する一般的な考察を行なった。

2. 使用材料と試験法

本研究に使用した材料の銘柄、板厚および化学成分をまとめて Table 1 に示す。

Table 1 の各材料の名称は JIS 規格によって示しているが、74S のみはそのまま示した。

割れ試験法はすでに報告した Trans-Varestraint 試験法 (Transverse Variable Restraint Testing Procedure) により行なった。なお割れ試験板の曲率を拘束するカバープレートは炭素鋼板 (SS 41, 幅 50 mm × 長 350 mm × 厚 9 mm, 各2枚) を使用した。

溶接法は TIG アークで AC を使用した。また電極は 5 mm 径のタングステンを使用した。

割れ試験後はビード表面において最大の割れ長さを、×6～×70 の実体顕微鏡により測定した。一般に最大割れはほぼビード中央部近辺に曲げた瞬間の溶融池界面より低温側に伸びた形の縦割れとして見られる。

付加ひずみ量の測定には 3. 1 で述べるが動的ひずみ計を使用した。

また溶接ビード中央部の溶接中の温度測定には 5 % Re-W—26 % Re-W の熱電対 (0.5 mm 径) を使用し、これを溶接中の溶融池内に直接挿入し、溶融金属とそれが凝固し冷却する過程の温度を電磁オシログラフに記録した。そして溶融池後方の位置とその温度の関係を求めた。これは割れ発生部の温度換算に使用した。

実験は、まず付加ひずみ量の実測、付加ひずみ速度の動的測定および高速度カメラによる割れの伝播速度の検討を行なった。そして次に市販の11種の Al 合金に対し、付加ひずみ量と最大割れ長さの関係を実測した。そ

して割れ発生部の温度を実測し、付加ひずみ量と割れ発生温度領域の関係を求め、この延性曲線より割れ発生の脆性温度領域 (BTR), 最低ひずみ ($\epsilon_{\min}$) および限界のひずみ率 (CST) を求めこれを検討した。

3. Trans-Varestraint 試験法の Al 合金への適用

3.1 付加ひずみ量の検討

Trans-Varestraint 試験法において、試験板表面に付加されるひずみ量 (ϵ , %) は、曲げブロックの曲率半径 R (mm), 試験板板厚 t (mm) とし、試験板が曲げブロックに沿って理想的に曲げられたとしたとき近似的に次式が与えられる²⁾。

$$\epsilon = \frac{t}{2R} \times 100(\%) \quad \dots\dots(1)$$

これに対し、実際の溶接金属の受けるひずみ量を正確に実測することは極めて困難である。このため本研究では、溶接金属に付加されるひずみ量を次の2つの方法で近似的に測定した。すなわち第1は溶接を行なわない状態でひずみのみ付加し、そのときの付加ひずみ量を試験板表面に貼付したストレインゲージによって測定する方法である。さらに第2は実際のビード溶接を行なって溶接中に所定のひずみを与え、その前後のビードをはさむ一定距離のマーク間の長さ変化をコンパレータで測定し付加ひずみ量を求めるものである。

第1の方法において使用したストレインゲージは共和電業 (株) の KFC 型および KLM 型 (ひずみ > 1 %) を、またひずみ量の変化を動的に測定するため動的ひずみ計 (ストレインアンプは 樹横河電機 3126 型) と電磁オシログラフ (三栄測器 (株) の FR-301) を使用した。また第2の方法でのマーク間の距離は溶接ビードをはさみ直角に約 30 mm とし、溶接条件は 25 V—200 A—100 mm/min を採用した。また測定はいずれもおおの4回ずつ行ないその平均値を採用した。また曲げヨークを動かすエアーシリンダ内の空気圧は 7 kg/cm² 一定とした。

Table 1 Chemical Compositions of Al and Al Alloys used

Materials (JIS Code)	Thickness (mm)	Cu	Si	Fe	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Al
1070-O	6.2	0.02	0.10	0.33	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.04	Bal.
2017-T3	4.3	4.09	0.27	0.27	0.48	0.48	0.02	<0.01	<0.01	"
2024-T3	6.9	4.56	0.11	0.25	0.61	1.58	<0.01	<0.01	0.01	"
3003-H14	6.2	0.13	0.25	0.64	1.04	<0.01	<0.01	<0.01	0.02	"
5005	6.1	0.04	0.10	0.53	0.01	0.86	0.01	<0.01	0.02	"
5052-H14	6.2	<0.01	0.09	0.29	<0.01	2.60	<0.01	0.20	—	"
5083-O	6.1	0.06	0.13	0.21	0.50	4.0	0.02	0.20	0.03	"
5154	6.9	0.02	0.11	0.25	0.06	3.5	<0.01	0.23	0.03	"
6061-T6	6.0	0.28	0.57	0.41	0.05	1.08	0.01	0.26	0.08	"
74S	6.0	<0.01	0.06	0.14	0.58	1.41	4.35	0.07	0.09	"
7075	12.6	1.62	0.10	0.23	0.05	2.73	5.53	0.18	0.02	"

Fig. 1 Radius of bending block vs. augmented strain on specimen surface in this experiment

Fig. 1 に 5083 Al 合金の 6.1 mm 厚に対する測定結果を示す。横軸に曲げブロックの半径、縦軸は付加ひずみ量を示し、図中の黒丸はストレインゲージによる値、白三角はコンパレータによる結果である。また破線は式(1)より求めた値である。各測定点の下に()内の「ストッパーの高さ」とは、曲げヨークによって試験板を曲げるとき、板厚とひずみ量によってヨークの移動距離をある一定値にするためにストッパーをセットする。この高さのことであり、この高さは前もって可変である。ここでのこの高さは試験板の曲がり理想的な状態と仮定したときの値を図面より求めた。Fig. 1 の結果からみて、ストレインゲージによる付加ひずみ量とコンパレータによるひずみ量はほぼよく一致している。しかしこれらはいずれも曲げブロックの半径が大きくなると式(1)の付加ひずみ量より低くなっている。実測値を式(1)の値に一致させるためには、ストッパーの高さを少し低くすれば良いのであるが、本研究ではストッパーの高さはこのままとし、付加ひずみ量を上記の実測値にしたがって補正した。

また本研究で使用したすべての板厚に対し、同様の方法でストレインゲージを用い付加ひずみ量と曲げブロックの半径の関係を実測した。

3.2 付加ひずみ速度の検討

Fig. 2 は 3.1 において述べた動的ストレインゲージ法により測定された付加ひずみ量の時間的変化を曲げブロックの曲率半径(R)を種々変化して示す。使用材料は 5083 の 6.1 mm 厚である。そしてシリンダ内圧力は 7 kg/cm^2 である。Fig. 2 の結果よりみてひず

Fig. 2 Dynamic representation of augmented strain on specimen surface with time in variation of bending block

Table 2 Relation between Radius (R) of Bending Block and Strain Rate and Bedning Time for 6.1mm Thick 5083 Al Alloy Plate

R (mm)	150	300	600	1200	2000	3000
Strain Rate (%/sec)	6.0	6.0	3.0	2.0	2.0	1.0
Bending Time (sec)	0.35	0.13	0.10	0.08	0.06	0.05

Fig. 3 Dynamic representation of augmented strain on specimen surface with time in variation of cylinder pressure

み量は負荷開始後所定のひずみ量に達するまで時間とともに急速に増大していくことがわかる。

Table 2 に曲げブロックの曲率半径(R)に対する平均的に求めたひずみ速度と負荷時間を示す。この結果のうちたとえば $R=150\text{ mm}$ のときの負荷時間 0.35 秒と、その移動距離よりヨークの平均落下速度を求めるとその値は約 240 mm/sec となる。

次に同一材料(5083 Al 合金)で同一曲げブロック($R=150\text{ mm}$)において、シリンダ内の圧力を変化させたときの付加ひずみ量の時間的変化を Fig. 3 に示す。

シリンダ内の圧力低下にともない負荷時間はわずかに長くなることがわかる。しかしその差は極めて少ない。これに対してシリンダ内圧力が 3 kg/cm^2 以下では試験板を完全に曲げることができなかった。

3.3 割れの発生、伝播時間の検討

本試験法では溶接中に外部からひずみを付加し、強制的に割れを発生させている。Fig. 4 は 5083 Al 合金のビード溶接中に付加ひずみ $\epsilon=2.1\%$ を与えたときのビード表面に見られた割れの外観例である。

ここではこの割れの発生場所、進展方向および伝播時間などについて高速度カメラを使用して検討した。撮影のフィルム送り速度は約 5,000 コマ/秒である。撮影は 5083 Al 合金、6.1 mm 厚、溶接条件は 20 V-150 A-100 mm/min そして付加ひずみは 2.1% である。

約10回の撮影結果からみると、割れの最初の発生はいずれも溶融池の凝固界面近辺であり、それが低温側へ進行していくことがわかった。このことから考えると、凝固中にもっとも延性度の低くなる位置は溶融池近辺の凝

Fig. 4 Typical appearance of solidification crack on specimen surface of weld bead of 5083 Al alloy plate (200A-23V-100mm/min, $\epsilon=2.1\%$)

Fig. 5 Dynamic representation of crack propagation on specimen surface of weld bead of 5083 Al alloy plate ($\epsilon=2.1\%$)

固界面にに近い方すなわち液相線側に位置したところにあることがわかる。

Fig. 5 は最終的な割れ長さを 100(%) としたとき、割れの長さの進展を時間的に示したものである。2本の測定線の範囲で示したのは、撮影したいずれの割れもこの範囲内に入っていたためである。図からわかるように、全長の約40%は極めて短時間(数 msec 以下)内に起こり、それ以後は場合によっては少しゆっくりと割れるようである。しかし全体が割れるまでの時間は約 0.005~0.02 秒である。この値は 3.2 において求めたひずみの負荷時間 0.35 秒 ($R=150 \text{ mm}$) に比して一けた以下の短間内にかかる現象であることがわかる。すなわち割れはほとんど一瞬のうちに起こり、完了してしまう。そしてそれ以後の付加ひずみの増加は割れ長さを変化させずに割れの幅を広げるのみに作用することがわかった。

4. 実用合金の割れ感受性の検討

ここでは現在実用合金として市販されている Al 合金 11 種類につき、その凝固割れ感受性を Trans-Varestraint 試験法により検討した。

溶接条件は板厚によって異なるが、200 A-100 mm/min, 200 A-150 mm/min または 130 A (または 150 A) -100 mm/min を採用した。溶接用 Ar ガス流量は 18 l/min で、シリンダ内圧力はすべて 7 kg/cm^2 とした。

Fig. 6 (a)~(k) に各材料に対し付加ひずみと最大割れ長さの関係を示す。横軸は最大割れ長さであり、縦軸は付加ひずみ量を示す。

これらの結果からみて、2024 と 7075 合金以外の各材料では付加ひずみ量が増加し割れ始めると急速に割れ長さが増大し、それ以後は付加ひずみ量が増大してもほとんど一定の割れ長さを維持する。これに対し、2024 および 7075 合金は付加ひずみ量の増加にしたが、次第に割れ長さが増大する傾向がみられる。

次に上記の測定結果より、いまひずみ量が 1~1.5% における割れ長さの小さい材料から順に示すと次のようになる。すなわち

(1070), 3003, 5005, 5052, 5154, 6061, (7075), 74S, (2017), 2024, 5083

上記の順序は一種の割れ感受性を示す順序とも考えられる。(ただし 1070, 2017 と 7075 は溶接条件または板厚が異なっているので割れ感受性として考えるときは除外しなければならない)。また 5083 合金では溶接条件の変化により割れ長さが変化しているが、これは主に溶接入熱の変化により温度分布が異なるためである。

Fig. 7 に数種の材料における溶接ビード表面の割れ

Fig. 6 Maximum crack length vs. percent-augmented strain for various Al alloys used

外観例を示す。次に上記の割れ発生位置間における温度を測定し、これより Fig. 6 の横軸を温度で示すと Fig. 8 (a)~(k) となり、割れが発生しやすい脆性温度領域 (BTR) およびその間における延性、特性が一目瞭然となる。

ここで T_L は公称液相線, T_S は公称固相線温度³⁾である。BTR は材質によって異なるが、公称凝固温度範囲 (T_L - T_S 間) より広いものと狭いものがある。また 5083 合金材の結果をみると、Fig. 6 (g) では三つの溶接条件による割れ長さに差がみられたが、Fig. 8 (g) の結果での BTR はほぼ一致している。すなわち本実験の範囲内では BTR の温度範囲および延性曲線は溶接条件が変化してもほぼ一致することがわかる。

以上の結果より、脆性温度範囲 (BTR) (1070のみ $\epsilon = 1.5\%$, それ以外は 1% の値を示す)、割れ発生に必要な最低ひずみ量 (ϵ_{min}) および Fig. 8 (g) の 5083 合金材において示す割れ発生に必要な温度に対する限界のひずみ率 ($CST = \tan \theta$) の値を求めて示すと Table 3 となる。

Table 3 の結果よりみて、BTR の狭い材料より広い材料へ並べてみると次のごとくなる。

1070, 3003 = 5052, 5005, 6061, 5154, 74S = 7075, 5083, 2017, 2024.

また ϵ_{min} の大きい材料より並べてみると次のごとくなる。

1070, 2024, 3003, 2017, 7075, 5052 = 74S, 6061,

Fig. 7 Typical examples of crack appearance on weld bead

- (a) 2017(130A-22V-100mm/min, $R=300\text{mm}$)
- (b) 2024(200A-25V-100mm/min, $R=300\text{mm}$)
- (c) 5052(200A-24V-150mm/min, $R=300\text{mm}$)
- (d) 5083(200A-20V-150mm/min, $R=300\text{mm}$)
- (e) 5154(200A-27V-100mm/min, $R=300\text{mm}$)
- (f) 6061(200A-28V-100mm/min, $R=600\text{mm}$)
- (g) 74S(200A-25V-100mm/min, $R=1200\text{mm}$)
- (h) 7075(200A-23V-100mm/min, $R=600\text{mm}$)

Fig. 8 Representation of cracking properties in solidification brittleness range for various Al alloys used

Table 3 Indices for Solidification Crack Susceptibility in Various Al Alloys which are measured in This Experiment

Materials	BTR (°C)	$\epsilon_{\min}$ (%)	CST (°/°C)
1070	15	1.3	100($\times 10^{-3}$)
2017	120	0.24	2.3
2024	140	0.61	4.6
3003	30	0.32	11
5005	40	0.065	1.9
5052	30	0.093	4.7
5083	100	0.065	0.8
5154	55	0.14	5.0
6061	50	0.068	2.9
74S	65	0.093	1.7
7075	65	0.21	5.5

5005=5083

BTR と $\epsilon_{\min}$ の上記の順序をみると, 2024 および 2017合金は BTR は極めて広いが, 逆に $\epsilon_{\min}$ は比較的

大きい材料であることがわかる。またおよび6061合金はちょうど上記の逆となっている。さらに1070および3003合金はどちらも上位にあり割れ難い材料であることがわかる。また逆に5083合金はどちらも下位にあり割れ易い材料であることが予想できる。

次に一般的な割れ感受性を示す CST の値に対し, その大きい材料より並べてみると次のごとくなる。

1070, 3003, 7075, 5154, 5052, 2024, 6061, 2017, 5005, 74S, 5083

CST の値から判断すると, 1070は断然割れ難く, 次いで3003となる。そしてその次のグループには 7075, 5154, 5052, 2024などが入る。さらに次に6061, 2017, 5005および 74S のグループが入る。そして最後にもっとも割れ易い材料として5083となる。

しかし著者らの実験中に経験したことであるが, 同一

Fig. 9 Relation between brittleness temperature range (BTR) and nominal solidification temperature range

Fig. 10 Relation between critical strain rate for temperature drop (CST) and $\epsilon_{\min}(\text{BTR})$

Fig. 11 Relation between CST and $\epsilon_{\min}/(\text{nominal solidification temperature range})$

種類の材料でも製造メーカーが異なると、同一板厚および処理材でもかなり CST の値が異なった。したがってかならずしも上記の順序および本研究で求めた CST の値がつねに固守されるものではないことを注意しておきたい。このため著者らは同一種類の材料でも使用板ごとに CST の値を測定すべきであろうと思う。

次に本実験で求めた各合金の BTR と公称の液相—固相線間温度（公称凝固温度範囲）の間の相関を検討してみると Fig. 9 となる。この結果からみると 7075 を除いた他の合金はバラツキはあるが、全体的にみるとほぼ比例していることがわかる。すなわち公称の凝固温度範囲の広い合金はやはり BTR も広い傾向にあるということがいえる。そしてこれらのバラツキは凝固時の残留融液の種々の物理特性（たとえば粘性、表面張力など）に影響されたものと考えられる。また 7075 は凝固温度範囲が広いといわれているにもかかわらずその BTR は比較的狭い。これに関しては目下のところ不明である。

さらに次に CST の値について考えてみると、一般にこの値は $\epsilon_{\min}/\text{BTR}$ に近いものと考えられる。したがっていまこの両者の関係を Table 3 から求めてみると Fig. 10 のごとくなる。

この結果からみて両者はほぼ比例する関係にあることがわかる。このことから各合金の CST は $\epsilon_{\min}$ と BTR から近似的な推定ができることになる。また Fig. 9 から BTR が公称凝固温度範囲にほぼ比例するものといえるから、合金の公称凝固温度範囲が与えられておれば、 $\epsilon_{\min}$ のみを割れ試験で測定すれば、近似的な CST の値を推定することができることになる。一般に BTR を求めるには温度測定を行なわなければならない複雑である。したがって簡単に求められる $\epsilon_{\min}$ のみ測定しておけば CST を近似的に推定できるのであれば極めて便利である。

いま Table 3 の合金に対し $\epsilon_{\min}/(\text{公称の凝固温度範囲})$ と CST の関係を示すと Fig. 11 となる。この結果からみると、両者は単純な比例関係としてはあられせず、関数関係となるようである。したがってこのような実験式を利用すると近似的な推定に利用できるものと考えられる。

5. 結 論

Trans-Varestraint 試験法を Al 合金の凝固割れ感受性の試験法に適用し、その割れ試験法としての特性を検討するとともに、現在実用化されている Al 合金のうちの入手できた 11 種に対しその割れ感受性を検討した。その結果をまとめると次のようになる。

(1) Al 合金の Trans-Varestraint 割れ試験におい

て、曲げの付加ひずみが完全にかかるまでの時間と付加ひずみ量の関係を求めた。ひずみ量の大きい(約 2.1%)ときで約 0.35 秒であった。したがって一般にはこれ以下の短時間内に所定の付加ひずみが試験板に負荷されることになる。

(2) 本試験法により 5083 合金 (6.1 mm 厚) の割れ試験を行なったときに発生する割れを高速カメラで撮影した。この結果によれば、割れは溶融池後端の液相線近辺から発生しビードの低温側へと伸展する。そしてその伝播に要する時間は極めて速く、本研究での測定結果では最大で約 0.02 秒であった。

(3) (2) の観察結果から判断すると、凝固中にもっとも延性の低い位置は上記の割れ発生点すなわち凝固温度範囲のうち液相線に近い位置と考えられる。

(4) 実用 Al および Al 合金の割れ発生の脆化温度領域 (BTR) は近似的にはその合金の公称凝固温度範囲に比例する。しかし例外として 7075 合金があり、この合金の BTR は公称凝固温度範囲よりかなり狭い。

(5) 本研究で取り扱った実用 Al 合金の凝固割れ感受性を示す限界ひずみ率 (CST) の測定結果よりみて、割れ難い材料の順に示すと次のごとくなる (なおほぼ同一値を示す材料は () 中にまとめて示す)。

1070, 3003, (7075, 5154, 5052, 2024), (6061, 2017, 5005, 74S), 5083

ただし、著者らの実験上の経験からでは、製造メーカーによって同一種類の材料でも CST 値に多小の変化があるようである。したがって上記の順序もかならずしも固定されたものではないようである。

(6) CST 値は近似的には $\epsilon_{\min}/$ (公称の凝固温度範囲) によってある程度推定できることがわかった。

本研究を遂行するにあたり、Al 合金材料の入手については一部日本軽金属協会、また材料の化学分析については住友軽金属㈱の御協力を得た。また Trans-Varestraint 試験装置の使用については日立製作所日立研究所の御好意を受けた。ここに各位に対し厚く御礼を申し上げる。

参 考 文 献

- 1) T. Senda, F. Matsuda, G. Takano, K. Watanabe, T. Matsuzaka: "Fundamental Investigation on Solidification Crack Susceptibility for Weld Metals with Trans-Varestraint Test", Trans. JWS, 2, 2 (1971)
仙田, 松岡, 高野, 渡辺, 小松, 松坂: "Trans-Varestraint 試験法による溶接金属の凝固割れ感受性の研究 (1)"
溶接学会誌, 14, 6 (1972)
- 2) W. F. Savage, C. D. Lundin: W. J., 44, 10 (1965), 433-S
- 3) ASM: Metals Handbook

IIW 新 会 員 団 体

IIW 理事会は、下記の団体の IIW 入会を承認しました。

Engineering Division

Institute of Industrial Research and Standards

Ballymun Road

DOUBLIN 9