資料

航空機タービンに用いられる溶接アセンブリの製造例*

B. ブランシェ, L. リクー**

Exemples de réalisations d'ensembles Soudés utilisés dans les turbo-réacteurs aeronautiques*

par B. Blanchet et L. Ricou**

I. 緒 言

本論文は航空機工業でエンジンを製造する際に採用されている耐熱合金の溶接の問題について検討したものであるが、この場合のエンジンについて、2, 3の一般的な説明をしておきたい。タービン(図-1)は基本的にはつぎの各部分から横成されている:

圧縮機:ここでは空気圧縮比はしばしば14をこえる。高所をマッハ2で飛ぶときには、圧縮機の出口温度が550°Cに達する。

燃焼室:ケロシンの爆発熱で圧縮空気を加熱する。

タービン:高圧、高温ガスが、圧縮機を作動する、タービン・ホイールを回転させる。タービン入口の温度は1150°Cに達する。

接続部:この部分の内面温度は750°Cに達する。

後部燃焼室:ここでガスを再加熱し噴出を加速する。

ノズル:ここでジェット圧力が減じ速度が増す。

研究所としてはこれらの諸点を考慮して、つぎのような点に重点をおいた。

——耐熱性の良好な新しい材料を研究する。これらの諸材料で溶接できるものの化学組成を表-1, 表-2に、高温性質(クリープ特性)を図-2, 図-3に示す。

——重量を最小にして寿命が最大になるようなアセンブリ形状を採用する。このためにアセンブリは溶接構造にする。これによって板、鍛造品または鋳造品から多数のサブ・アセンブリを作ることができる。いっぽう、軽量という点で、従来の溶接物に対する考えかたを改める必要があり、さらにアセンブリが一般にきわめて複雑に拘束されたものになるということも考慮する必要がある。図-4にその一例を示す。

タービンを製造するとき種々の困難な問題にぶつか

図-1 ターボジェットエンジン「ATAR-69C3」の外観および断面図

図-2 中位の温度用の各種合金のクリープ強さ, σ (0.2%-300, hr) (h bar=1.02kg/mm²)

図-3 高温用の各種合金のクリープ強さ, σ (0.2%-300 hr), (h bar=1.02kg/mm²)

* Soudage et Techniques connexes, Vol. 23 (1969), No. 9/10, p. 349~367 掲載論文

** 国立航空機エンジン研究製造所, Société Nationale d'Etude et de Construction de Moteurs d'Aviation (SNECMA)

表-1 耐熱鋼および耐熱合金の化学組成

AFNOR 規格	C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	V	Al	Ti	W	Fe	Co	そ の 他
15CDV6	0.15	1.00	0.20		1.40	1.00	0.30				残り		
40CDV12	0.40	0.30	1.00		5	1.30	0.5				残り		P: 0.015-S: 0.015
Z10CNT18	0.10	2	1	11	18				0.50		残り		
Z12CNKDW20	0.12	1.50	1	20	21	3				2.5	残り	19	Nb + Ta; 0.90
Z6NCT25	0.08	1	0.70	25	14.5	1.25	0.30	0.35	2.10		残り		
N19FeNb	0.07	0.35	0.35	+Co 53	19	3		0.60	0.90		残り		Nb + Ta; 5.25
NC22FeD	0.10	1	1	残り	22	9				0.60	18	1.5	
NC19KD	0.07	0.50	0.50	残り	18	7		2.6	2.25		1	14	
NC20K14X	0.07	0.10	0.15	残り	19	4		1.4	3		2	13	

表-2 各種航空機材料の化学組成

コ バ ル ト 基 合 金										
AFNOR 規格	C	Ni	Cr	W	Fe	Co	Mn	Si		
KC20WN	0.15	10	20	15	3	残 り	1.5	1		
KC25NW	0.50	10.5	25.5	7.5	2	残 り	1	1		
チ タ ン 基 合 金										
AFNOR 規格	C	Fe	Si	H ₂	N ₂	O ₂	Ti	Al	V	Sn
T 50	0.08	0.25	0.04	0.0125	0.07	0.20	残 り			
TA 5 E	0.08	0.15	0.04	0.0125	0.05		残 り	5.5		3
TA 6 V	0.08	0.15	0.04	0.0125	0.05	0.15	残 り	6	4

図-4 ターボジェットエンジンの中央ケース

るが、これらはつぎの点に起因している：

——溶接性がまだよく知られていない新しい材料を採用すること。

——部材の複雑な組立て形状。

——新しい溶接法を採用すること。

実験室と工場との研究をうまく関連させるようにすれば、部材を製造する場合に良い結果が得られると考えられる。

II. 実験室での研究

研究目的の一つは研究所での材料の選択の指針として、材料の溶接性を評価することであり、いま一つは工場で起りうる割れの種類を知り、これを防止する方法を

見出すことである。われわれは1965年2月に“2軸応力下の割れ”という名の論文を報告した。これは

図-5 2軸応力下での溶接性試験装置の原理

a: 溶接トーチ c: 拘束台
b: 試験片 d: 溶接ビード

- 1) “Appréciation à l’essai de soudabilité sous tensions biaxiales du comportement de tôles en alliages utilisés dans l’aéronautique”; B. Blanchet, Soudage et Techniques connexes, (1965), No. 1/2, p. 2-17

SNECMA での研究を主としたものである¹⁾。この試験法の原理はつぎのとおりである(図-5)。金属円板の周囲を拘束し、ボルトを用いて、2軸応力状態とし、各種の大きさの拘束度の下で変形する；特定の直径について溶接する；そして割れが発生するように調節する。ボルトの高さを変えることにより、拘束度をいろいろ変えて各種材料に対して、溶接割れを生じる条件を決める。この割れ試験からつぎのことがしらべられた。

—材料を溶接性の序列で分類すること。

—高温割れにおよぼす合金成分、組織、溶着金属量および、とくに溶接入熱量の影響を確かめること。研究室の経験からわれわれは、割れを防ぐためには、溶接速度をおそくし、電流を下げる必要があるかつ十分であることを確かめた。この点については電子ビーム溶接の項でさらに述べることにする。

—硬化性の鋼をいろいろの時間に保持した後に、生成する低温割れ(これは拘束度の関数である)をしらべること。

—時効硬化型のニッケル基の新しい合金 NC20K14 にあらわれるある種の割れを再現すること。この材料は 750°C でのクリープ特性が良好で、つぎのように熱処理して使う：溶接後焼入れし、ついで最終段階として、再び焼入れ焼もどしを行なう。文献と経験によれば、この合金は熱処理または加熱の際に、新しい型の割れを生じるという特長をもっている。

この種の割れを再現するために、この場合の熱サイクルを再現できる装置を耐熱合金で作った。試験片に荷重をかけて溶接し、試験片を装置にとりつけ、熱処理炉に入れて温度を上げた後大気中に取り出して試験片を装置からとりはずし、割れをしらべる。

熱サイクルをかけた試験片に生じた割れは図-6に示すとおりであって、この割れは工場で見られたものと同一のものである。これについてわれわれは他の論文でつぎのような二、三の特長を明らかにしている：

図-6 熱処理割れ

—溶接割れと同様に、熱処理割れは、あるきまったボルト高さ、すなわち拘束度のときに発生する。

—この割れは 650~750°C の温度に加熱される過程で生じる。

—組成によって、割れの挙動は多様であって、平行して組織観察も行なっているが、割れの発生原因はなお不明である。

—通常の溶接熱サイクルは、割れ発生に対して影響を与えないようである。

—最も軟らかい状態になる油焼入れの場合に、最も良い結果が得られる。

—割れは熱影響部の中でボンドから 2~3 mm の距離のところに生ずるようである(図-7)。

図-7 熱処理割れの顕微鏡写真

—各種調整雰囲気中で行なった研究から、雰囲気はきわめて重要な作用をもっていることがわかった。たとえば NC20K14 の板材の場合、アルゴン中ではボルト高さ 0 mm のときに割れを生じるが、 10^{-5} mmHg の真空炉中ではボルト高さ 22 mm になってはじめて割れを生じる。

III. 生産工場での研究

アセンブリを製造する際の所定の要求に対して、つぎのような一つの見解を出すことができた。

III. 1. 溶接前の準備

溶接前の準備に十分配慮することが、成功をおさめる一つの要因である。全アセンブリは寸法的に完全なものが要求されるので、どんなあそびも許されないし、凹凸はできるだけ少なくしなければならない。

溶接の際の材料の表面の仕上状態はそれぞれの材料によってことなるであろう。部材全体の脱脂；つぎの場合によってはバフ研磨、研削またはステンレス鋼ブラシによるワイヤブラッシング；ある材料ではさらに化学処理が必要である。われわれは酸化物表面被膜の重要性についてとくに注意を払っている。すなわちこれは介在物とか気孔のような欠陥の原因になるためである。このためにつぎのような処理を行なっている。

—耐熱合金 NC 20 K 14 は溶接前に、塩酸、硝酸、およびフッ酸の稀薄溶液につける；そして表面を百分の数ミリ溶解して除去することにより、介在物のないビードが得られる。

—チタンとその合金は溶接金属の気孔を防ぐために硝酸—フッ酸液中で溶接前に表面処理をする。

III. 2. 被覆溶接棒によるアーク溶接

約20年来被覆棒アーク溶接が主として用いられ、酸素—アセチレン溶接はまったく用いられていない。このアーク溶接自身もだんだん使われなくなっているが、ある耐熱合金の部材にはまだ用いられている。

図—8にディストリビュータ・ホイールを示す。ここで KC 20 WM の翼は Z 10 CMN 17 の内部および外部リングの間に組込まれているが、使用した溶接棒は20—10—3型である。溶接の際のおもな困難な点は、翼の縁を座屈させないこと、および直径方向の溶接をするときに生じる変形を小さくすることである。図—9は KC 20 WM 合金で作った後部燃焼器のバーナ・リングであって、この上に同材料の多数の吹出口の突起が溶接されている。この場合に正確な寸法を得るということがとくに問題になる。すなわちリングがひずまないようにすること、およびすべての突起部を面に直角につけることが必要とされるからである。

図—8 タービンのディストリビュータ・ホイール

図—9 後部燃焼室のバーナ・リング

III. 3. アルゴンによる TIG 溶接

TIG 溶接によれば作業が容易なこと、自動化しやすいこと、清浄なビードが得られること、母材と同様のフィラメタルを選びやすいことなどの利点があるので、現

在溶接作業の95%以上は TIG 溶接法で行なわれている。部材の約50%はなお手動で行なわれているが、今後組立作業を最大限に自動化して行く傾向にある。

とくに溶接装置の改良について、最近つぎのような研究がなされた：

—アーク電圧と関係なしに溶接電流を変えられる電源を持ち、さらにアルゴン流量の調節、高周波によるアーク点火装置、アークの消去などの諸作動をたがいに協調して行なえるような装置。

—拘束度を調節できるバイスをもった立向溶接台。

—エレクトロニクスによって作動する円周溶接のポジションナ。この装置はさらに半自動溶接用のアームおよびトーチを備えている。

—裏当冷却板は以前は銅であったが、現在は銅の混入による割れを防止するためにステンレス鋼を用いている。

—図—10は立向および円周自動溶接装置の全景であって、これは直径 2.4 m、長さ 2 m のリングを溶接できる。

図—10 立向きおよび円周溶接用の TIG 溶接装置

—タービンの 6~30 mm 直径の導管の外周を溶接するために、雰囲気調整式の溶接装置を用いた。図—11にこの装置の原理を示し、図—12にその主要部の外観写真を示す。

—チタンとチタン合金の複雑な形状の部材に対しては、SNECMA で開発した図—13のようなグローブ・ボックスを用いた。これは高さと傾きを調整できるテーブルと作業用手袋のついたプラスチック・カバーおよび金属製カバーからできている。操作方法としては、まずプラスチック・カバー壁の2ヶ所から排気して 10^{-3} mmHg の真空にし、アルゴンを送入する；金属製保護カバーを取りはずす；そして部材を溶接する。この装置は溶接操作が自由にでき、溶接状況が見られるという利点がある。

以下の図に二、三の応用例を示す。

図—14はバーナ室であって、この小さい部材は、

図-11 導管の円周溶接に用いる自動溶接装置の原理
 a: アルゴン送給口 g: 溶接ワイヤ
 b: 冷却水送給口 h: 拘束リング
 c: 水冷却室 i: 冷却水出口
 d: モータ k: アルゴン室
 e: ロータ l: 外箱箱流
 f: ノズル m: 電流

図-12 導管の自動溶接装置の主要部

図-13 グローブ・ボックス中での TIG 溶接状況

図-14 バーナ室

NC 22 FeD 合金を用い、内外部をすみ肉および突合せ溶接して作ったものである。この場合の主な困難さは、永久変形を減らすために均一な溶接ビードを得ることである。さらに裏ビード外観が均一で滑らかであることがとくに要求されるので、裏ビードの保護を完全に行なうことである。

図-15に時効硬化型構造用合金 Z3 NCT 25 による部材を示す。

図-15 中央ケースの主要部の溶接

突起部をケースに溶接する場合にとくに問題となる点は大きな永久変形を生じることである。そこでわれわれが行なった方法としては 15 cm 厚さの鋼の拘束台に部材を取付け、溶接後この拘束台に固定したままで熱処理炉に入れて矯正を行なう。これによって部材は所定の寸法になる。

チタン合金 TA5E の入口のガイド・ホイールは図-16のように内外部のリングとこれに溶接された23枚の翼からできており、これはグローブ・ボックスを使って、

図-16 入口のガイド・ホイール

左右の手で交互に溶接して製造している。

図-17の耐熱合金 Z3 NCT 25 の部材はフィラ・ワイヤを用いて自動溶接で製造したものである。この装置ではとくに裏ビードをじゅう分に保護するためのアルゴンを送給している。アルゴンの送給室がトーチの後方であって、これが冷却中も引きつづいて溶接部を空気から保護している。図-18は 3.3 mm 厚さの T50 チタンのタービンの軸受の支持部の溶接状況を示す。アーク長は制御機構で一定に保持されており、溶接作業者は電流値を時々調節しながら、溶融池を監視する。溶接後もアルゴンを送給して冷却中のビードを酸化から保護する。NC22FeD の Atar の燃焼室(図-19)の場合立向溶接は 3 人の作業で、円周溶接は 7 人で行なう。支持装置

図-17 TIG 自動溶接装置

図-18 タービン軸受の支持部の円周溶接

図-19 燃 焼 室

および裏当冷却板は18-8ステンレス鋼を用いている。

図-20は自動溶接機による導管の溶接状況であって、下方に管の外周を溶接するトーチが見えている。溶接の際にプレキシ・ガラスの側壁で室を密閉し、空気を遮断して作業することができる。この場合に溶接作業者に要求されることは：

図-20 導管の自動溶接装置

——所定の寸法に仕上げるために必要な長さを予知し、補正しておくこと。

——管の厚さの $\frac{1}{4}$ 以下の値に溶け込み深さを調節すること。

——ビードの酸化を完全に防止すること。

このために溶接条件を精密に調整することが必要になる。たとえば、6 mm 直径、0.7 mm 厚さの NC20K 20 D の管の場合は、溶接電流 16 ± 0.5 A、溶接速度 20 cm/min、回転数 3 にすべきである。

III. 4. プラズマアークによる溶接

200 A のトーチが最初に市販されてからまだ 3 年しかたっていないので、プラズマアーク溶接は最近ではじめてばかりである(図-21)。われわれの工場ではまだこの方法が実用化されていないので、ここでは研究室での、低合金鋼、ステンレス鋼、純チタンについての二、三の

図-21 プラズマ・アーク溶接装置

研究結果をあげるにとどめる。

- 板厚 8 mm 以下の場合は開先なしで1パスで突合せ溶接できる; 8 mm 以上の場合はパス数をふやす。
- 溶接条件: 電流, 電圧, プラズマガス流量を作業中に精密に調整し, 保持することが必要である。
- プラズマ・アーク溶接の場合に生じる変形は電子ビーム溶接と TIG 溶接との中間である。
- 溶接金属の機械的性質は他の溶接法によるものと同等である。

III. 5. 電子ビームの溶接

ここ8年間 SNECMA は Pierce 型電子銃を設置する方向に進んできた。この電子銃は一般に使用されている電流値とこれに相応した電圧をもったものである。図-22にわれわれが設置した5個の溶接装置のうちの一つを示す。

図-22 電子ビーム溶接装置

- 溶接室は直径 2.10 m, 長さ 2 m の大きさで, 真空ポンプで 10^{-3} mmHg の真空中にできる。この真空度はたいいていの材料を溶接するのにじゅう分である。
- 電子銃は容量 10 kW, 電圧 60 kV であり, アーク発生をさけるための2次真空として, 電子銃室を 10^{-3} mmHg に排気している。
- 部材にビームを正確に当てるための, 位置ぎめ用の照準望遠鏡が付属している。

また電子銃の出力, 電子ビームの偏向, 移動および真空度の調節を行なう制御盤が付属している。

溶接室の溶接台は室内の一端に設置された微動モータにより直交2軸方向に移動する。この溶接台は 1/100 mm の誤差で作動するように調整されている。

図-23に $1.2 \times 0.8 \times 0.8$ m の大きさの真空室をもった, 小型電子ビーム溶接装置を示す。装置の仕様は前述のものと同様であるが, とくに真空中でモータが溶接台をわずかに移動すること, またこの溶接台を位置ぎめ用の補助装置の上にのせることができるという特長がある。

製造にあたって, グループ, ビード形状, 継手部にビ

図-23 実験用電子ビーム溶接装置

ームを合わせることなどの問題の他に, とくに重要な点として考えられるのは, 割れのないビードを作ることである。

拘束された部材では, この割れは各種の耐食, 耐熱鋼に現われる。この種の割れの一つを図-24に示す。これは内部にとどまった粒界割れで, 熱影響部に存在し, ポンドに直角に発生している。

図-24 電子ビーム溶接によって生じた割れ

ある材料および部材の電子ビーム溶接条件を求める場合に, 変形を最小にするには小さい入熱量(大きい溶接速度)が必要であるのに対し, 割れを防ぐには大きい入熱量(小さい溶接速度)が必要になるので, 溶接条件としてこれらの間の妥協点を見つけることが重要になる。

部材中のこの割れはX線検査でもまた超音波検査でも検出することがきわめて困難である。唯一の有効な方法としてはある部材を製造する前に, これと同じ部材を標準試験片として作り, 破壊検査することである。

電子ビーム溶接作業は部材の補修から, つぎのような部材の製造の方向に向っている:

—図-25は鋳造ステンレス鋼 Z5CNUD 16 の調整器の主要部で、円錐形の溝をもった3個の部分品から成っている。

図-25 調整器の主要部

—チタン合金の圧縮機入口の固定翼はそれぞれに4個のたて方向の補強板のついた2枚の外殻板、前縁板および後縁板からできている。その説明図を図-26に示す。

図-26 圧縮機入口の固定翼の組立て

まず最初に2枚の外殻板を溶接して、つぎに縁板を溶接する；この作業の後で、端部を溶接する(図-27)。

図-27 圧縮機入口の固定翼の要素、完成品および断面

—従来圧縮機の動翼を製造する場合、ディスクと横材とはボルトとナットで組立てられていたが、最新の方法では全アセンブリを電子ビーム溶接によって組立てており、その例を図-28および図-29に示す。

III. 6. 抵抗溶接

エンジン部材を点溶接およびシーム溶接した場合、熱衝撃によって性質を悪くすることがあるので、本研究室ではこの方法は次第に使われないようになってきている。

図-30に抵抗溶接工場の一部を示す。ナゲットの健全性が要求されるのにもかかわらず、ナゲットの検査が困

図-28および29 圧縮機動翼の主要部

図-30 抵抗溶接工場

難であるので、溶接装置の完全な調整と溶接条件の再現性がきびしく要求されることになる。この要求にこたえるには、専用の変電所から直接溶接機へ電流を供給する必要がある。供給電流は $\pm 3\%$ 以内の一定に保つことが必要とされるからである。さらに記録装置、および音と光による信号装置のついた監視装置を設置して、つぎの許容限から溶接条件がはずれた場合はただちに指示するようにしておく。

電圧： $\pm 3\%$

圧縮空気圧 $< 5 \text{ bar}$

水温： $10 \sim 16^\circ\text{C}$

作業者は異常信号が出たときは全溶接作業を停止し、検査を行なう。

—図-31に容量 300 kVA、最大電極荷重 2 t の溶接機を用いて、NC 22FeD の燃焼室を点溶接している状況を示す。

現在コンコルドのエンジン部分の後部ハニカム・パネルを製造するために、専用溶接機を使用している。

図-31 燃焼室の点溶接

図-32 ハニカム・パネルの溶接状況

図-32の右側に見られるのはハニカム・パネルの内側部分である。パネルは2枚の打抜き板をたがいにはめ込んで、6電極付きのプログラム式点溶接機を用いて組立てられている。

III. 7. フラッシュ溶接

フラッシュ溶接はつぎのようにリング端部の接合に用いられている：

- まず部材の仕上り形状にできるだけ近ずける。
- 注意して円形状にして、端部を溶接機にクランプする。

図-33 リングのフラッシュ溶接

- フラッシュ (図-33)
- フラッシュの削除
- リングを押し拡げて円形にする。この操作で簡単に接合状況をしらべることもできる。

ステンレス鋼およびチタン合金でリングを作り、その破壊検査を行なったが、とくに欠陥は認められなかった。

III. 8. ろう付け

ろう付け法はタービン工場で発展したものであって、つぎの要求を満足させることができる：

— サブ・アセンブリから高温での良好な機械的性質をもった、複雑な軽量アセンブリを作るという当研究所の要求。

— 多量生産の要求。この場合に、TIG 溶接のように高度の技術を要する手作業の必要でない；変形の少ない部材が得られる；ろう付けと組合わせて熱処理が同時にできる；という利点がある。われわれの工場では各種のろう材の特性をしらべており、これらの化学組成、凝固区間および継手の使用最高温度を表-3に示す。

ろう付けの際の加熱方法としては：

- 出力 5~15 kW, 周波数 200~500,000 hertz の高周波加熱。部材の加熱を同一にするため、ならびに試験用部材を基準にして、実際の製造の場合にこれと同一の加熱サイクルを再現して、調整制御する装置を設置するために、現在では 10,000 hertz の電源を採用する方向にある。

表-3 ろう付け用材料の性質

SNECMA 規格	化 学 組 成							凝 固 区 間		最高使用温度* °C
	Ag	Cu	Zn	Mn	Au	Ni	その他	固相線 °C	液相線 °C	
AgCuZnCd 630	50	16	16				Cd ; 18	627	635	260
AgCuZnNi 860	54	40	5			1		718	857	415
AgMn 960	85			15				964	970	625
AuNi 950					82	18			950	700
NiMnPd 1120				25		残 り	Pd ; 21		1120	810
NiCrBSi 1040						残 り	{ Cr ; 14 B ; 3 Si ; 4	980	1040	910
Cu 1080		99.9							1083	390

* 2 kg/mm² の応力で 100 hr でクリープ破断する温度

この加熱方法はおもに液体導管にエンボスと機械部材とをろう付けするのに用いられている。この作業の問題点はろう付けの間隙である。管の公差はきわめてきびしいので、ろう付け部の不均一および気泡をさけるために、ろう付け部に正確な寸法で孔あけをしなければならなかった。

——水冷壁をもった真空炉。SNECMA では金属またはグラファイトを発熱体とする 2.3 m 直径、1.3 m 高さの真空炉を設置した。1400°C きで加熱できるモリブデン合金を発熱体とした、有効容積 1 m³ の炉の状況を図—34および図—35に示す。この炉には入口室と出口室がついているので、半連続的な操作ができ、またろう付け室を真空にしたままで、ろう付けした部材を出口室に入れて、速く冷却することができるという利点がある。図—36に 1300°C まで加熱できるグラファイトを発熱体とした 2.3 m 直径、1.3 m 高さの最大容積の炉を示す。

図—34 入口室および出口室をもった水冷壁付き加熱炉の説明図

A: 真 空 入 口 室	d: 扉
B: 真 空 ろ う 付 け 室	e: 入 口 室 扉
C: 真 空 出 口 室	f: ろ う 付 け さ れ る 部 材
a: 昇 降 装 置	g: 加 熱 炉
b: 排 気	h: ろ う 付 け 室 排 気
c: 抵 抗 発 熱 体	i: 出 口 室 扉

図—35 入口室および出口室をもったろう付用加熱炉

図—36 水冷壁の大型真真空ろう付け炉；有効直径 2.3 m, 有効高さ 1.3 m

この場合加熱後の冷却速度を速くするために、室内にアルゴンを送給する。

部材のろう付け作業の手順としては：

——トリクロルエチレン蒸気でサブ・アセンブリを脱脂する。

——部材の性質を害しないようにして、たとえば適当なはめ合せを行なうか、またたとえば TIG 溶接あるいは抵抗溶接で仮付けを行なって、サブ・アセンブリの形状に組立てる。この場合、変形を生じるような組合せ方はできるだけさける。

——ろう付け温度に加熱する。複雑な形状または大形の部材の場合には組立ての際に適当な支持台を使用する。

——ろう付け部の健全性を X 線検査または浸透検査でしらべる。とくに要求があれば、一連の部材について抜取

図—37 Ag 85-Mn 15 のろう材でろう付けた調整器

図—38 Au 82-Ni 18 のろう材でろう付けた圧縮機固定翼

り破壊検査を行なう。図一37および38にろう付けした部材の例を示す。図一37は Ag-Mn ろうでろう付けした36の部材から成る調整器の主要部であり、図一38は Au-Ni ろうでろう付けした圧縮機の固定翼である。

(訳者付記:紙数の都合で、原著のディスカッション

の項を省略した。また原著では図の番号の順序が前後しているところが多数あったので、この訳文を作る際に、本文の記述の順序に合わせて図の番号を改めた。ここに付記しておくことわりしたい。)

(玉置維昭訳)

外国図書紹介

“Diffusion Date

(年4回定期刊行物)

Dr. F.H. Wöhlbier 編集

顧問団には東大平野賢一教授も名を連ねている。最近1ヶ年間の各国における拡散に関係した最新の論文を、その測定値の表や図を中心にまとめたもの。対象は固体および液体金属と合金、半導体、酸化物、ハロゲン化物、有機結晶、硝酸塩、硫酸塩そのほかにもわたり、巻末の索引から各元素や化合物のデータが引けるようになっている。データだけでなく拡散に関連した研究の最近の動向を知るにも好適。見本に送られてきたには Vol. 5, No. 1, 1971 には1970年度中の論文約260が引用されており、頁数約270。

年間38.00米ドル、予約購読の申込みは下記に直接のこと。

Diffusion Information Center

P.O. Box 9787

Cleveland, Ohio 44140

USA

P.O. Box 505

CH-4500 Solothurn

Switzerland

なお、目下 Vol. 1(1967)~Vol. 4(1970) のバックナンバーを20米ドルの割引料金で提供中、ただし1971年12月31日で切り。

発行所: Trans Tech Publications, Adolf-Ey-Strasse 1d D-3392 Clausthal-Z, Germany

(田 村 博)