資 料

原子炉用ジルコニウムの溶接

橋 本 達 哉*

Welding of Zirconium

By Tatsuya HASHIMOTO

The most important problem in welding of zirconium is the subject of inert gas shielding. Weld is often contaminated by atmosphere during the welding. But a proper shielding can prevent from the weld from embrittlement and deterioration of corrosion resistance of weld caused by atmospheric contamination. The best way of shielding is to use the inert gas or vacuum chamber. But an improved shielding method being applied here, even in atmospheric environment, satisfiable weld can be obtained.

Generally, zirconium alloy has excellent weldability and practically ductile and corrosion resistant weld can be easily obtained without porosity nor crack.

ジルコニウムにはすぐれた耐食性があり、そのうえ熱中性子の吸収が少ないので、燃料要素の被覆材その他に用いられるほか、化学工業用耐食金属として貴重なものと考えられている。

ジルカロイ合金は原子炉用として開発されたもの

で、チッ素の含有量が少なく、とくにハフニウムを含まないジルコニウム・スポンジを地金に使っている。この原子炉用ジルコニウム・スポンジの成分を第1表に示してある。

第1表 AEC 規格によるジルコニウムの中の不純物の制限量 (ppm)

第1グループ

元 素 名	Al	B	Cl	Cr	Co	Hf	Fe	Pb	Mg	Mn	Ni	N ₂	O ₂	Si	Ti	V	ブリネ ル硬サ
変 動 限 界	300	1.0	1800	400	40	400	5000	200	1000	200	280	200	2800	400	200	200	—
ロ ッ ト 平 均	75	0.5	1300	200	20	100	1500	100	600	50	70	50	1400	100	50	50	150

第2グループ

元 素 名	Cb	Ca	C	Cu	Li	Mo	P	希土類	Na	W	Zn
ロ ッ ト 平 均	0.3	30	500	50	1.0	50	100	15	50	50	100

また、原子炉用ジルコニウム合金には現在第2表のようなものがある。ジルカロイ-2はすずを1.5%含む合金で、原子炉用合金としてはもっとも有名である。

ジルコニウムは比重6.5で銅よりやや軽く、1,855°Cという高融点を持ち、チタンと同様に室温から862°Cまで稠密六方晶相(α 相)で、862°C以上では体心立方

晶(β 相)である。高温ではきわめて活性であって大気と反応する。

ジルコニウムはすぐれた延性と強さを持ち、加工が容易である。溶接中、大気による汚染を防ぐ配慮の必要であることを除けば、溶接性は比較的良好である。

* 金属材料技術研究所(National Res. Inst. for Metals)

第2表 原子炉用ジルコニウム合金

合 金 名	化 学 成 分						
	Sn	Fe	Ni	Cr	Nb	Cu	Mo
ジルカロイ-2	1.2~1.7	0.07~0.2	0.03~0.08	0.05~0.15			
ジルカロイ-3	0.2~0.3	0.2 ~0.3	0.05	0.05			
ジルカロイ-4	1.2~1.7	0.12~0.18		0.05~0.15			
オセナイト-5	0.1~0.3	0.1 ~0.3	0.1 ~0.3		0.1~0.3		
オセナイト-0.5	0.2	0.1	0.1		0.1		
ATR						0.5	0.5
Zr-Nb 合金					15	Pd または	Mo

I. 溶接上の諸問題

溶接においてまず第1に注意すべき点は、大気を完全にシールドして溶接せねばならぬことである。第1~4図はイナートガスアーク溶接において、アルゴン雰囲気中に空気などを混入してその純度を変化させて、溶接金属中のガス量と延性を調べたものであるが、溶接部は不純物を含有すると極度に延性を失う。また耐食性あるいは加工性が損なわれる。したがって溶接施工では、大気による汚染を極力防止するため、シールドを完全にし、特別な場合を除いて、溶接部が均一かつ急速に冷却するような溶接条件を採用して大気との接触時間をできるだけ短くするのが得策である。ふつう大気の汚染をうけると溶接部は着色し、その程度に応じて薄紫色、黒灰色、灰白色を呈する。

また合金元素が加わると、その溶接部はやはり硬化

第1図 溶接雰囲気中の空気の分圧 (P_{air}) と溶接金属中の[N], [O]との関係(TIG)

第2図 空気量と溶接部のカタサとの関係(TIG)

第3図 空気ガス量と継手の曲げ特性(TIG)

第4図 不純単独ガス (N₂, O₂, H₂) 量と溶接部の最高カタサとの関係(TIG)

あるいはぜい化して溶接欠陥を生じやすく、溶接部の延性が低下するため溶接が困難といわれる。したがって、溶接中の冷却条件あるいは溶接後の熱処理など、溶接に付帯した諸問題がおきるものと考えられる。しかし、ジルカローイ合金の溶接にはさほど困難はない。ただ溶接部の冷却速度が遅かったり、あるいは多層溶接の場合などに化合物が析出し、ぜい化することがあるといわれている。

Ⅱ. 溶 接 法

これらの金属に対して用いられる溶接法には、大体つぎのようなものがある。

1. イナートガスアーク溶接法

溶接個所にイナートガスを噴射しながらアーク溶接する方法で、第5図のように電極にタングステンを用いる TIG 法と、溶接棒を電極とする MIG 法とがある。ガスはわが国ではアルゴンで市販の高純度アルゴン(99.99%以上)が用いられる。この方法はアルミニ

第5図 イナートガスアーク溶接の2型式

ウム、ステンレス鋼などの溶接に用いられて良好な結果が得られ、現在活性材料の溶接法としてもっとも普及している方法である。従来の方法だけでは不十分な金属に対しては、シールドをいっそう完全にするため種々の工夫がなされ、ふつうのトーチに補助ノズルを取り付けたり、溶接部の裏側からもガスを送給する。また、あらかじめ高真空中に排気しておいてその中にアルゴンを満たした気密室中で溶接する方法も考えられている。

2. 抵抗溶接法

抵抗溶接法は局部加熱であり、また溶接速度も速いため、一般に大気中で溶接する場合でもシールドはアーク溶接の場合ほどの厳格さを必要とせず、溶接は比較的容易である。

3. 特殊溶接法

電子ビーム溶接は第6図のように高真空(10^{-4} ~ 10^{-6} mmHg) 中で電子ビームを照射して溶接する方法で、大気遮蔽の点では理想的な方法といえる。

第6図 電子ビーム溶接法

また、超音波振動を利用する超音波溶接は溶接温度は低く、またシールドにも厳格さを必要としないので、利用される可能性がある。

このほか、特殊な方法としてガス圧着法や、また将来期待されるものとしてプラズマフレームの利用がある。

4. ろう接法

一般に、異種金属との融接は不可能であるために、異種金属との接合法として重要である。イナートガスや高真空の炉中ろう接、誘導ろう接のほか、大気中で

の抵抗ろう接, 超音波ろう接などがある。

II. 施工上の注意

シールドは単にアーク発生部を大気から遮断するだけでなく、高温(約500°C以上)の部分はすべてこれをシールドする。たとえばイナートアーク溶接では、シールドの範囲について第7図のような条件も提案されており、第8図はシールド要領の1例である。また、ガスの流量には適量があり、それを超えとかえってアーク雰囲気を拡散してアークを不安定にしたり、あるいは空気のまき込みを生ずることがあるから注意を要する。シールドが適正であれば第3表のように気密室外であっても、気密室溶接に匹敵するよい結果がえられている。もちろんシールドの完全な点では気密室型式の溶接法がすぐれている。品物が大きくて気密室を設備することが困難な場合には、ビニール製のカバーで溶接部をおおい、その周囲を押えてその中で溶接する方法もある。また、大気汚染の防止と結晶粒の粗大化とを低減するため、銅製の裏当金や押え金具を用いて溶接部の冷却を速めるなどの工夫もされている。

つぎに材料の表面の汚れは溶接欠陥の原因になるから溶接前の清浄が必要で、治具類の表面清浄も忘れて

(TIG)

$$C_L = \frac{W}{10\pi} \left\{ \left(\frac{v \cdot W}{10\alpha} + 1.6 \right) \left\{ \left(\frac{T_m}{T_c} \right)^2 - 1 \right\} \right\}$$

C_L : シールドすべき範囲(cm)

W : ビード幅(cm), α : 熱伝達率(cm^2/sec)

v : 溶接速度(cm/sec), T_m : 融点($^{\circ}\text{C}$)

T_c : シールドの必要な最低限の温度($^{\circ}\text{C}$)

第7図 溶接電極から後部のガスシールド範囲

第8図 ガスシールド要領例

はならない。厚板の溶接ではできれば各層ごとに清浄することが望ましい。溶接棒の清浄も母材と同様であるが、一般に母材よりも純度の高いものが望ましい。溶接棒は高温アーク中に送り込まれるために、もっとも汚染されやすい状態にあり、溶接中シールドガス中から外に出すようなことがあってはならない。チューブの溶接では、チューブの内面にもガスを流すのがよい。

第3表 曲げ試験結果 (TIG)

溶接方法	材 種	板厚 (mm)	表曲げ ($^{\circ}$)	裏曲げ ($^{\circ}$)	ビード 縦曲げ	
					表曲げ ($^{\circ}$)	裏曲げ ($^{\circ}$)
補助ガスあり	ジルカロイ-2	1	120	140	140	150
		2	90	90	110	120
補助ガスあり 溶加棒あり	ジルカロイ-2	1	110	110	120	120
		2	80	90	90	120
補助ガスなし 溶加棒なし	ジルカロイ-2	1	110	120	110	120
		2	70	90	90	100
気密室	ジルカロイ-2	1	170	170	180	170
		2	90	90	80	80

溶接前には一般に機械的研磨で表面皮膜を除去し、適当な脱脂を行なった後、酸洗い(3~7%HFと40~50% HNO_3 の混酸で約30秒、その後流水で水洗)するのがよい。

気孔は発生しないのがふつうである。しかし、表面

の汚れている場合とか、溶接入熱条件が適正を欠く場合などには、溶接境界線に発生することがある。

IV. 溶接部の諸性質

ジルコニウムは継手のクリーニングとシールドに注意すれば溶接性は良好で、一般に適正条件で溶接すれば

ば強さや伸びが素材に匹敵する継手が得られる。第4表は大気中でアルゴンアーク溶接する場合の溶接条件の1例である。開先の形状および寸法は大体第9図のようなものが使われる。また気密室中で溶接する場合には、気密室の初期真空度は 10^{-4} mmHg以下であればよい。板厚が0.08"以下の突合わせ溶接では一般に溶

第4表 ジルコニウム薄板の空気中でのアルゴンアーク溶接条件 (DC, SP)
(ジルカロイ-2も同じ条件でよい)

板 厚 (mm)	溶加棒 直 径 (mm)	タングステ ン電極直径 (mm)	アルゴンシ ールドノズ ル 直 径 (mm)	アルゴン流量		溶接電流 (A)	溶接速度 (mm/min)	備 考
				トーチ (l/min)	バックギ (l/min)			
0.50	—	1.6	9.5	6.3	2.3	40	1270	機械溶接
0.75	—	1.6	"	"	"	45	—	手 溶 接
1.00	—	2.4	12.7	"	"	60	635	機械溶接
1.50	—	3.2	"	7.2	"	55	—	手 溶 接
1.50	—	"	"	"	"	80	635	機械溶接
1.50	1.25	"	15.9	"	"	50	—	手 溶 接
2.30	2.00	"	"	"	"	60	—	"
3.00	"	"	"	"	"	94	—	"
3.80	"	4.8	"	"	"	140	—	"
4.70	"	"	"	"	"	165	—	"

加棒は用いない。また TIG 溶接の溶接電源は交流でなく、直流正極性が多い。

第5表は電子ビーム溶接条件例を示す。

溶接カバーを用いた時の溶接部のカタサは、空気中のものに比してかなり低く、これを気密室中で溶接するとさらに幾分低くなり、熱影響部とほとんど同程度となる。

第10図はジルカロイ-2の溶接部のカタサ分布を示したものである。

ジルコニウム溶接部の組織は典型的なウィッドマン組織である。

また、第6表はジルカロイ-2の溶着金属の分析値であるが、大気による汚染は全く認められない。電子ビーム溶接ではわずか多少減少するようである。

第5表 ジルコニウム、ジルカロイ-2板の電子ビーム溶接条件例

板 厚 (mm)	加速電圧 (kV)	溶 接 速 度 (cm/min)						
		10	20	30	40	50	70	100
0.3	15	—	mA 2~5	mA 3~6	mA 4~7	mA 5~8	—	—
	20	—	—	—	—	1~2	1~3	1.5~3.5
	30	—	—	—	—	2.5~4	3.5~5	—
0.6	20	—	3~6	4.5~8	6~9	8~12	12~15	—
	30	—	—	—	—	3~6	6~10	11~15
	40	—	—	—	—	—	4~6	—
1.0	30	5~8	7~10	9~12	11~14	13~16	—	—
	40	—	6~9	8~11	9~12	11~14	14~17	—
	50	—	4~6	5~8	6~9	8~11	11~14	15~19
2.0	30	15~19	—	—	—	—	—	—
	40	11~13	13~17	16~20	—	—	—	—
	50	9~12	11~15	13~17	15~19	—	—	—

第9図 開先の形状および寸法

第10図 溶接のままおよび真空焼なまし後の溶接継手のカタサ分布 (TIG)

第6表 ジルカローイ-2 溶着金属の分析値

元 素	電子ビーム溶接†	TIG 溶接††	素 材
O ₂ (ppm)	675,810	730~780	735
N ₂ (ppm)	11, 34	10~24	12
Sn(%)	0.94	1.46	1.40
Fe(%)	0.069	0.131	0.136
Cr(%)	0.081	0.110	0.113
Ni(%)	0.079	0.079	0.061
(H _v)	170~180	160~170	140

† 電子ビーム溶接: 真空度 (0.6~5) × 10⁻⁵ Torr, 50kV, 11~15 mA, 20 cm/min

†† TIG 溶接: 99.99% Ar, 760 Torr, 7~8 V, 80~90 A, 16 cm/min

1. 溶接部の機械的性質

ジルカローイ-2の単層溶接部の引張り試験の結果を第11図に示すが、破断はすべて非熱影響部の素材部で発生している。

第11図 焼なましと常温引張特性 (TIG)

また、第7表はジルコニウム溶着金属の機械的性質の比較であるが、TIG溶接と電子ビーム溶接とでは引張り、曲げ特性にほとんど差はない。

第7表 ジルコニウム溶着金属の機械的性質

溶 接 法	引 張 試 験			曲げ試験 割れ発生 角 (°)
	引張強さ (kg/mm ²)	絞 り (%)	伸 び (%)	
素 材	29~34	48~53	33~40	61
TIG 溶接 (気密室)	32~36	47~50	18~23	67
電子ビーム溶接 (10 ⁻⁵ Torr)	30~32	47~54	18~22	69

曲げ試験はジルコニウム関係では、その靱性度の比較に非常に多く用いられている。ジルカローイ-2の3.2 mm板厚の単層溶接部の曲げ試験結果を第8表に示す。これによればジルカローイ-2の単層溶接部の曲げ靱性は、870°C以下の熱処理ではほとんど変化を示さないが、870°Cより水焼入れすることによってもっとも改善される。逆にこの温度より空冷と炉冷したものは、かえって靱性の低下がみられる。また、982°Cより空冷と炉冷したものはもちろんであるが、水焼入れしたものも溶接のままに比してわずかに低下している。

以上により、ジルカローイ-2の溶接部は870°Cより

水冷することによって析出を阻止し、良好な靱性が得られる。

第8表 ジルカロイ-2 溶接部単層溶接部の熱処理後の長手曲げ試験結果(TIG)

条 件	最小曲げ半径	伸 び (%)	割れ発生源
溶接のまま	2 1/2	17	溶接部と素材
1,200°Fで熱処理			
水 冷	3 1/2	13	溶 接 部
空 冷	3	14	溶接部と素材
炉 冷	2 1/2	17	溶 接 部
1,400°Fで熱処理			
水 冷	2 1/2	17	溶接部と素材
空 冷	3 1/2	13	溶 接 部
炉 冷	3	14	溶接部、HAZと素材
1,600°Fで熱処理			
水 冷	2	20	溶接部、HAZと素材
空 冷	6	8	溶 接 部
炉 冷	6	8	溶 接 部
1,800°Fで熱処理			
水 冷	3	14	溶接部と素材
空 冷	4	11	溶 接 部
炉 冷	4	11	溶 接 部

また、第12図は溶接のまま、各種真空焼なまし後の曲げ試験結果で、ビードの裏側を溶加棒なしで数回

第12図 (多層)溶接部の曲げ特性(TIG)

にわたりビード置きをした時の曲げ特性も同時に示してある。これは多層溶接した時とほぼ類似的条件となるが、析出によるぜい化は僅かなようである。

また、第9表は1mm板厚のジルカロイ-2の溶接継手のラプチャー試験結果であるが、破断強さは素材より4~5 kg/mm² 高い。試験後の破断は、溶接部および熱影響部にはほとんど伸びがみられず、すべて素材部で破断している。

第9表 ジルカロイ-2 の各時間ラプチャー強度 (kg/mm²) (TIG) (316°C)

試 験 材	10hr	100hr	1,000hr†	10,000hr†
素材 ジルカロイ-2	19.8	19.4	19.2	19.0
継手 ジルカロイ-2	23.7	23.3	23.0	22.6

†: 外挿値

つぎに、ジルカロイ-2 溶着金属 (6mm厚) の衝撃特性を第13図に示す。試料はいずれも溶接のままであるが、溶接部の衝撃値は素材に比してかなり低い。また電子ビーム溶接はTIG溶接に比べてかなりよい結果が得られている。この場合の溶着金属の水素分析値は第10表からもわかるとおり、電子ビーム溶接ではその量かなり低くなっており、これが衝撃特性向上の一因とおもわれる。

また、原子燃料被覆棒模型の破壊例がある。これは第11表のようなエンドプラグ溶接例があるが、耐圧試験結果でも溶接部は健全であり、適正な溶接条件で行

第13図 ジルカロイ-2 の衝撃特性 (6 mm厚)

第10表 溶着金属の水素分析 (6mm 厚)

溶 接 法	金 属	ジルコニウム (ppm)	チタン (ppm)
電子ビーム溶接 (5×10^{-5} Torr, 50kV, 30mA, 5 cm/min)	1	平均 0.9	11
	0.9		11
	0.9		10
TIG 溶接 (99.99% Ar, 760Torr, 320A, 15V, 16 cm/min)	6	6	12
	6		11
	6		10
素 材	6	6	11
	6		11
	6		10

第11表 ジルカロイ-2 パイプエンドプラグの溶接例

溶 接 法	溶 接 電 流	電 圧 (V)	溶接速度(外周) (cm/min)	回 転	破壊圧力 (kg/cm ²)
TIG 溶接 (気密室)	スタート: 90A (1 sec) 中 間: 60A 終 端: 10A (3 sec)	8.5	16	1.5	620 (溶接部以 外で破壊)
電子ビーム 溶 接	12mA (1.5 回転後 電流漸減)	40×10^3	30	1.8	615, 620 (溶接部以 外で破壊)

使用した電流の種類や溶接方法にはあまり関係がない。

溶接部と熱影響部が母材より耐食性のよい理由としては、溶接中に炭素が燃焼するため炭素量が低くなることに影響するのではないかという考え方がある。耐食性に影響するものは雰囲気ガスの表面吸収度および炭素と鉄の分布および組織の差によると考えられている。

また、酸素と炭素の効果をみるために、650°C、15分の焼鈍を各種雰囲気中で行ない、それを塩酸-塩化第二鉄中で72時間浸漬試験した結果によれば、炭素の増加が腐食を増加させる原因ではなさそうであるし、酸素は保護膜をつくるとも報じている。

(2) 高温高圧水に対する耐食性

ジルカロイ-2 溶接部の高温高圧水に対する耐食性の研究はかなり行なわれている。たとえば、360°Cで245日間の高温水中の腐食試験によれば、空気中のTIG法によるものも気密室中のものもほとんど差がなく、母材と溶接継手はほぼ同一であったという報告があ

なえば、十分な性能が得られるものとする。

なお、ジルコニウムは適当な表面処理を施し、気密室中で溶接するときは、ヘリウム漏れ試験に合格し、またX線試験で合格したものは、すべて漏れ試験にも合格するといわれている。

2. 溶接継手の化学的特性

(1) 酸に対する耐食性

鉄を含む濃塩酸(1 g/l の鉄を含む)に、室温で24時間浸漬する方式と、腐食状態をさらに増加するために液中で試験片を30 r.p.m.で回転させる方法の両方を行なった例によると、溶接ビードと熱影響部は母材より明らかに耐食性が強いようである。この結果は溶接に

る。しかし一方、325°C、1750 psi の蒸留水中で腐食試験を行なった結果によれば、空気中でTIG溶接を行なったものは、7日間の試験ですでに“Breakaway”をおこした。また気密室中で溶接したものでも、初期真空度を 4.5×10^{-2} mmHgにしたものは7日間の試験でやはり熱影響部と溶接部の境界に白い酸化物 ZrO_2 が発生し“Breakaway”をおこした。しかし初期真空度を $7 \times 10^{-3} \sim 3 \times 10^{-4}$ mmHgにしたものは18日間の腐食試験でもほとんど腐食しなかったと報告しているものもある。また、溶接継手はショットブラストと酸洗いすれば腐食量は減少するようである。

また、第14図はジルカロイ-2のTIG溶接の溶着金属の、高温高圧水(320°C)による腐食試験結果の1例であるが、気密室中の溶接とか、適正な補助ノズルを用いる場合には良好な耐食性が得られる。ふつうノズル型式のものは耐食性は劣り、結果は非常にムラが多い。また、腐食後の引張り試験結果では、外観あるいは重量変化から考えるほど腐食は強さに影響していないが、気密室中およびトレーラ付きのものはすべて

第14図 ジルカロイ-2 (板厚 1 mm) 溶着金属部の 320°C の高温高压水による腐食試験結果 (TIG)

素材で破断しているに反し、ふつうのノズル型式のものは溶接による汚染のために、溶接部で破断する場合もある。

また、第15図は高温高压循環水 (300°C, 110 気圧, 流速約 7m/sec) による動的腐食試験結果であるが、静水

第15図 ジルカロイ-2 (板厚 1 mm) の 300°C の高温高压水による静的および動的腐食試験結果 (TIG)

第12表 高温高压水による腐食試験 (ジルカロイ-2)

溶 接 法	増 量 (mg/dm²)					
	680°F			750°F		
	3 日	17 日	28 日	3 日	17 日	28 日
電子ビーム溶接 (溶接のまま)	9.0	19.0	23.0	19.0	36.0	54.0
(酸 洗 い)	14.0	21.0	26.0	18.0	34.0	36.0
TIG 溶接 (溶接のまま)	9.0	21.0	25.0	21.0	36.0	49.0
(酸 洗 い)	16.0	21.0	25.0	21.0	34.0	36.0
素 材	14.0	19.0	25.0	20.0	36.0	39.0

中よりも耐食性はやや劣るようである。溶接法による耐食性の比較を第12表に示しているが、電子ビーム、TIG 溶接ともに素材に匹敵する性能をもっている。

また、国産のジルコニウムスポンジではチッ素が少ないといわれているが、この場合にははずは 1% であっても、溶接部の耐食性には悪影響がないことが確認されている。

V. その他の溶接法

1. 抵抗溶接

ジルコニウムとその合金の抵抗溶接は比較的容易である。しかも局部加熱で冷却速度が極端に速いために大気による汚染も問題とならない。また溶接部が多少変色しても、これをショットブラストと酸洗いすれば高温水中の耐食試験では支障ないようである。また、溶接部には気孔その他の溶接欠陥は全然見当らず、シーム溶接では気密性のある溶接部が得られるものと考ええる。

第13表はジルコニウム、ジルカロイ-2 の適正スポット溶接条件の 1 例であるが、これらの試料はいずれも 1 300 時間、320°C の高温水の腐食試験においても充分健全であった。

第13表 ジルコニウムおよびジルカロイ-2 のスポット溶接

材 料	板厚 (mm)	溶 接 条 件			ナゲット 直径 (mm)	くぼみ (mm)	引張せん断強さ (kg)
		加圧 力 (kg)	通電 時間 (sec)	電流 (A)			
ジルコ ニウム	0.7	230	5	8,500	3.5	0.06	500
	1.0	300	6	10,000	5.0	0.09	700
	1.6	420	9	13,000	7.0	0.15	1,000
	2.2	560	12	16,000	7.6	0.22	1,500
ジルカ ロイ-2	0.7	230	5	8,500	3.8	0.06	600
	1.0	300	6	10,000	5.2	0.09	800
	1.6	420	9	13,000	7.0	0.13	1,800
	2.2	560	12	16,000	8.0	0.17	3,000

註：電極 Cr-Cu 合金, 20 mmφ, 75 mmR

酸洗 HF 5% + HNO₃ 45% + H₂O 50%, 20°C, 30 sec

2. ろう接

純ジルコニウムと銀または銅のろう接は、真空中またはイナートガス中で行なうと容易に接着するようである。しかし、銅または銅合金のろう付けに、過剰の銀ろうを用いるとジルコニウムが非常に多く食われることが知られている。

30 種類のろう材で、ジルカロイ-2 どうしをイナートガス雰囲気中で溶剤を用いずに接着し、それを 360

°Cの加圧水中に1,200時間浸漬した結果によれば、接合部にギャップのないときにはろう材にCu-20Pd-31In, Ni-3.4P, Zr-5Be, またギャップをつけたときにはCu-20Pd-3In, Ni-20Pd-10Si, Ni-30Ge-13Cr, Zr-5Be, Zr-10Fe-10Crのものはほとんど腐食をおこさなかったようである。

しかし、ろう接は今後多くの問題を残しており、接着性のほかに原子炉用には熱中性子吸収の少ないろう材が必要で、根本的な研究が必要である。

以上基礎的諸問題についてその概要を述べたが、まだまだ研究すべき点あるいは溶接施工上改良すべき点

もないでもない。ともあれ本報がジルコニウム溶接開発に関して一助となれば幸いである。

なお、本資料作製に当り溶接協会ならびに燃料被覆管耐圧試験委員会資料を多く引用させていただいた。

(1962年 12月27日 受理)

— 参 考 文 献 —

日本溶接協会：“原子炉用ジルコニウムおよびマグネシウム合金の溶接に関する研究”，(昭和34年度科学技術庁原子力平和利用補助金交付研究)，(昭36.2)。

◇IAEA・FAO 共催「植物および動物の◇ 害虫制御におけるラジオアイソトープ および放射線の利用および応用シンポ ジウム」

論 文 募 集

IAEA・FAO共催の標記シンポジウムが下記により開催され、論文提出および会議参加者を募集している。

1. 1963年 4月22～26日 (於 アテネ)
2. 討議議題
 - (a) 昆虫生態学 (分布, 移棲およびライフ・サイクル)
 - (b) 殺虫剤(ラベリング, 応用, 吸収, トランスロケーション, 物質代謝, 作用形態および動植物内の残存物の決定)
 - (c) 昆虫の物質代謝
(脂質, アミノ酸および炭水化物)
 - (d) 昆虫および他の節足動物に対する照射効果
(致死およびひん死効果, 突然変異, 害虫の制御および絶滅のための消毒および去勢技術の使用)
3. 応募期限

○アブストラクト (英文7部, 和文1部, 350語以内)	1月5日(金)
○本論文 (英文5部)	2月15日(金)
○参加申込 (所定書式で3部)	1月5日(土)
4. 提出・連絡先 原子力局国際協力課

◇IAEA「動力炉運転経験に◇ ついで科学会議」 論 文 募 集

IAEA主催の標記会議が下記により開催され、論文提出および会議参加者を募集している。

1. 1963年 6月4～10日 (於 ウィーン)
2. 討議議題
 - (a) 政府の電力計画に関連して原子力発電所について得た経験の概要
 - (b) 特定の原子力発電所で得た経験
 - (c) 原子力発電所の人事管理
 - (d) 原子力発電所の主要設備についての経験
 - (e) 燃料サイクルならびに燃料の取扱いと管理
 - (f) 原子力発電コストの実績
 - (g) 原子力発電計画進展のための経験の活用
3. 応募期限

○アブストラクト (英文7部, 和文1部, 350語以内)	1月31日(木)
○本論文 (英文5部)	3月30日(土)
○参加申込 (所定書式で3部)	1月31日(木)
4. 提出・連絡先 原子力局 国際協力課