耐熱合金の抵抗熔接*

山崎 康久** 和田 完一**

Resistance Welding of Heat Resisting Alloys*

Bp Y. Yamazaki** and K. Wada**

Abstract

This investigation covers the determination of the optimum spot welding conditions by 3 Phase Low Frequency Resistance Welder for 1m.m. LCN-155 and Inconel Sheets.

LCN-155 and Inconel are both heat-resistance alloys for high-temperature use. Particular for jet engine parts. LCN-155 has low melting point and high resistivity. In this paper above unique properties and their effects on spot weld are discussed.

Because there is no standard that specify the properties of spot weld of such heat-resistance alloys, U.S. Military specification is applied to determine whether the spot weld is acceptable or not.

The procedure for welding and testing are outlined, and the results of tension-shear test for spot weld are shown and discussed.

Since sufficient electrode force was not obtainable with the available resistance welder, spot welding with more than 1,500kg electrode force was not carried out. And so, effects of insufficient electrode force are discussed.

1 ま え が き

最近、航空機用ジェットエンジン国産化が脚光をあび、N.J.E.によりすでにエンジンが生産され、近い将来、国産ジェットエンジンを搭載した国産機が飛ぼうとしている。

ジェットエンジンに使用される金属材料は、それがさらされる高温に耐えなければならないので、いわゆる高級耐熱合金が盛んに用いられている。ことに燃焼器関係は、高温に加えて、燃料油が燃焼の際に生ずるバナジウム酸化物(V_2O_5)、硫化物などによる腐食、劣化の問題もあり、使用材料は順次高級化し、エンジンの性能は使用耐熱材料の性能に左右されるといっても過言でない。航空機用ジェットエンジンは軽量化と精密化をはかるため、熔接構造とくに抵抗熔接が多く採用されている。したがって、高級耐熱合金の抵抗熔接性を確認し、その熔接施工法を確立することがジェットエンジン製造に必要なのである。

しかるに、わが国においては設計、機械加工の点は別と

しても、使用する耐熱材料は欧米各国に較べて、需要がすくないという不利もあるが若干立遅れの感があって多量生産には移されていない。このようなときにあたって、通産省より研究補助金の交附をうけ、日本ステンレスK.K.の御好意により同社と協同研究で、耐熱合金 LCN-155 および Inconel 材の抵抗熔接試験を行う機会を得て、一応の成果を得たのでここに報告する次第である。

2 供 試 材 料

供試材料である 1m.m. 厚 LCN-155 および Inconel 材はいずれも日本ステンレスK.K.の製造によるもので、LCN-155材は米国ノースアメリカン規格 NAZ-7016 G, Inconel 材は AMS-5540D を満足している。LCN-155 材はすべて $1,180^{\circ}\text{C} \times 12$ 分後、水焼入という溶体化処理を施し、その後 800°C 10時間の時効処理が施されている。Inconel 材は冷間圧延後、最終熱処理として 980°C 10分後空冷という溶体化処理を施してある。LCN-155 材および Inconel

材はいずれも最終段階で酸洗い処理が行われていて、その表面は非常に美麗であった。

Table 1 Chemical Composition of LCN-155 and Inconel

Materials	C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cr%	Ni%	Mo%	Co%	W%	N%	Cb/Ta	Fe
LCN-155	0.11	0.79	1.53	0.017	0.007	21.42	19.50	3.01	20.49	2.68	0.129	0.55	—
Inconel	0.03	0.28	0.35	0.014	0.004	15.69	Bal	—	—	—	—	—	6.09

* 原稿受付 昭和32年11月18日(昭和32年度熔接学会秋季学術講演会において発表)

** 正員 石川島重工業株式会社技術研究所 Member, Ishikawajima Heavy Industry Co. Ltd.

供試材料の化学成分および機械的性質は Table 1 および Table 2 に示すごとくである。

Table 2 Mechanical and Physical Properties of LCN-155 and Inconel

Materials	Yield point kg/mm ²	Ultimate strength kg/mm ²	Elongation %	Bend Angle	Hardness Rb	Melting point °C	Resistivity $\mu\Omega\text{cm}$
LCN-155	—	81.2	46.3	180° good	87	1165 1382	97
Inconel	31.6	64.9	—	180° good	80	1400 1450	106

3 熔 接 機

実験に用いた抵抗熔接機は、国産の三相低周波式熔接機で Fig.1 にその外観をしめす。本熔接機はもともと単相交流点熔接機を改造したものである。3 相低周波式抵抗熔接機は周知のごとく、熔接電流が直流に近いからインダクタンスによる

損失がすくなく、単相交流熔接機の力率が通常30%程度であるのに較べて、85%程度まで力率が向上するから一次側の電源容量がすくなくてすむ。したがって電気抵抗値が小さく熔接に大電流を要するアルミ合金などの熔接には適している。

耐熱合金は一

般に電気抵抗値が高く熔接電流はすくなくてすむが、熱伝導度が低く、熔融点も比較的低いので、単相交流機を使用するときは、slope controlをつけないと、いきなり高い電流が流れて爆飛 (expulsion) 表面散り (surface spitting)、電極のむしれ (tip pick-up) などが発生する。これに反して 3 相低周波熔接機の熔接電流は Fig. 2 のように漸増す

Fig. 1 Welding Machine Used for Test.

る形となるので、あたかも slope control したようになり都合がよい。この熔接機には current decay 装置があり、加圧はシリンダー式で約 1,500 kg の容量があり、熔接電流と加圧の関係は Fig. 2 に示す通りである。ホイール電極は本来ならば Be-Cu, Ti-Cu, W-Cu

Fig. 2 Relation Between Welding Interval and Electrode Force on 3 Phase Low Frequency Welding Machine.

などの銅合金を使用すべきであるが入手の都合で軟い純銅製電極を使用し、変形の都度加工整形した。また、前述のごとく、使用熔接機がシーム熔接機なので今回の点熔接実験はすべてロールスポットによった。

4 試験方法 5 熔接準備

ニッケル系耐熱合金を抵抗熔接する場合にその熔接部の性質の基準となるべき規格がわが国には現在のところ皆無なので、米国の陸海空軍航空機関係補給品の調達用に認定された軍事仕様書²⁾ (以下、MIL. SPEC. と略称する) に準拠した。すなわち熔接した試験片の強度、欠陥発生率などが MIL.SPEC. を満足すれば良好な熔接部であると判断したのである。

ニッケル系耐熱合金の点熔接部の性質は、MIL.SPEC. によれば次のようなものでなくてはならない。

(1) LCN-155, Inconel 材のように引張り強さが 63~105kg/mm² の範囲に入る合金の 1mm 厚板材の点熔接部最低平均せん断引張り強さは 1 点当り 595kg (1310lb) で、許される最低せん断引張り強さは 483kg (1062lb) 以上でなければならない。

(2) 100点連続点熔接部を行った場合、試験片の86%が平均強さの±10%以内におさまリ、残りの14%が±20%以内にはいってなければならない。

(3) 圧痕量 (Indentation) は板厚の10%以内。

(4) とけこみは板厚の20~90%。

(5) 100点連続点熔接の試験片につき、変動³⁾ (Variation) は0.30以下で、変動係数 (coefficient of Variation) は7.0%以下でなければならない。

¹⁾ 運輸技術研究所所有のものを同所の御好意で借用した。

²⁾ MIL-W-6858,6 Aug/50 } Military Specification, Welding, Low Carbon Steels, AN-W-32,19, Jul/48 } Austenite Steels and Nickel Alloys, Spot and Seam.

³⁾ 変動 = $\frac{\text{最大せん断引張り強さ} - \text{最小せん断引張り強さ}}{\text{せん断引張り強さの平均値}}$

† 変動係数 = $\sigma/X \times 100\%$, たゞし σ = 標準偏差, X = 平均値,

(6) 過度の圧痕を伴う点熔接部の数は全体の数の 5% 以下。

(7) 爆飛 (expulsion), 散り (flash) は全体の数の 5% 以下。

点熔接試験片は MIL.SPEC. に規定されているものを用いた。すなわち, Fig. 3-a に示す試験板を点熔接後同図 a のようにせん断機で切断して引張り試験に供した。せん断機で切断すると, 試験片の端部が多小変形するが, 点熔接部には影響をおよぼさないと判断されたので, 試験片はすべてこの方法によって加工した。100 点連続点熔接試験片は Fig. 3 と同形であるが巾は 25 吋とした。

Fig. 3 Specimen Size for Spot Weld

(a) Multi-Spot Weld (b) Single Spot Weld.

抵抗熔接部の性質に影響をおよぼす要因には種々あるが, これらの要因をいろいろと変化させて点熔接を行えば, おおのの影響がよくわかるので, 今回の実験では点熔接により適正熔接条件を求め, この条件を参考にしてジーム熔接を行った。

5 熔 接 準 備

5.1 供試材料の接触抵抗

被熔接材の接触抵抗は, 抵抗熔接において問題となるもので, 熔接部の強さの均一性を左右する重要な要因である。本実験に 3 相低周波式抵抗熔接回路のインダクタンスは, 低周波交流であるからすくなく, インピーダンスも $150 \sim 200 \mu\Omega$ 程度でほとんどリアクタンスと考えてよい。よって, 被熔接物間の抵抗の大きさによって流れる電流が大きく変動し, したがって, 熔接部の性質も変動することになる。それで, 表面処理を行って, 被熔接物の接触抵抗を可及的に一定にしなければならない。ことに, 今回の実験のように熔接回路のインピーダンスが $150 \sim 200 \mu\Omega$ で, 被熔接部の接触抵抗が $150 \sim 200 \mu\Omega$ もあるような場合には, 接触抵抗の大きさによって熔接電流が大巾に変化するので, 表面処理に細心の注意を払わねばならなかった。

接触抵抗は加圧の大きさに大きく影響され, 加圧力を大きくすると, 遂には一定の値に達し, 次に加圧をさげてももとの値には戻らず, やゝ低い抵抗値を示し, 履歴がこの。Fig. 4 は LCN-155 の表面接触抵抗と加圧の大きさとの関係を示す。

ニッケル系耐熱合金の電気抵抗は一般に高いもので, したがって接触抵抗も高く, 熱伝導度が低いので, 爆飛, 散りなどの欠陥が発生しやすい。このようなわけで, 今回の実験では接触抵抗をできるだけ低くするように供試材を表面処理した。

Fig. 5 Measuring Circuit for Surface Contact Resistance.

供試材料は製造所において, すでに酸洗い処理がすまされきわめて表面は美麗であったが, 受入れのまゝの状態では接触抵抗を測定したところ $150 \sim 300 \mu\Omega$ あり, 値も一定せず, 適正值といわれている $40 \sim 60 \mu\Omega$ よりもかなり高いので, 次のような表面処理を行った。研磨方法としてビニルボンドエメリホイール, 手動および電動ワイヤブラシを採用し, 脱脂には四塩化エチレンおよび石鹼水⁴⁾を用い, これらの組合せによっていろいろの表面処理を行い, 各方法による接触抵抗の差異を測定した。

接触抵抗は $100 \mu\Omega$ 程度の低いものなのでその測定には, Kelvin Double Bridge を使用し, 装置は R.W.M.A. で推

Fig. 4 Plot for Electrode Force vs. Surface Contact Resistance on LCN-155.

⁴⁾ アルコール中性石鹼を用いた。

奨している方法を採用した。測定回路を Fig. 5 に示す。

測定結果は Table 3 に示すごとくで、ビニルボンドエメリホイールで研磨し四塩化エチレン、石鹼水で洗滌したものがもっとも接触抵抗が低く、また安定していたので、この方法の組合せで試験材の表面処理を行うことにした。

5.2 電流測定

3 相低周波式熔接機の欠点の一つは、二次の熔接電流の測定が困難なことであろう。熔接電流は低周波交流で 3 相が重なっているかっこうになっており、各相の波高値が異なるので、どの波高値をもって熔接電流とみなしてよいかかわからない。また電流の調整は phase shift により、変圧器のタップ切替によらないから電流の波高値はあまり変化せず、Fig. 6 に示すように電流曲線の画く面積が変化している。このようなわけで 3 相低周波電流値をきめることは難しいが、一応電流が定常状態に達したときの最高と最低波高値の平均値を電流値とした。

3 相低周波交流の大電流測定法としては、次の方法が考えられる。

(1) G.E. 製 I^2t meter による方法。

(2) 一次電流と標準電流の波高値をオシログラムで比較して、変圧器の捲数比から二次電流を推定する方法。

(3) 二次電流波形を直接オシログラフで撮影して標準電流と比較算定する方法。

(4) ジャントに二次電流を流し熱発生量を測定して、電流の絶対値を推定する方法。

上記の方法には、それぞれ長所と短所があるが、このうち 3 法が簡便であり信頼がおけると判断されたので、この方法によって熔接機の setting と電流値とを対応させた。

5.3 加圧力測定

加圧の大きさは熔接機に附属しているブルドン管ゲージの読みを 250 倍すれば求まるのであるが、念のため U 字型加圧力計で検査したところ、加圧が高くなると必ずしもゲージの読みと加圧力とは直線的関係になく、若干補正を要することが判明した。なお、熔接機は定加圧式なので、充分な squeeze time をおけば、加圧は電流が流れる前に定常状態となると考えられたので、動的抵抗線歪計による加圧力測定は行わなかった。

6 実 験 結 果

6.1 電流の影響

電流が増大すれば、発生する熱量も大きくなり、熔融する金属の体積もまた増大し、接手の強度が高くなる。このこ

Table 3 Surface Contact Resistance of LCN-155 and Inconel

Materials	Polishing Methods	Polished Surface	Surface Contact Resistance ($\mu\Omega$)
LCN-155 1m.m. Sheet	Wire Brushing	Contact Surface Only	140
		Bath Surface	120
	Grinding with Vynyl-Bond Emery wheel	Contact Surface only	80
		Both Surface	75
	as Received	—	170
Inconel 1m.m. Sheet	Wire Brushing	Contact Surface only	77
		Both Surface	103
	Grinding with Vynyl-Bond Emery wheel	Contact Surface only	59
		Both Surface	44
	as Receives	—	73

Fig. 6 Waves of Weld Current.

Fig. 7 Plot for Tension-Shear Strength vs. Current of 1mm. LCN-155.

とはどの金属に関してもいえることで、LCN-155, Inconel 材についてもそれぞれ Fig. 7, 8 に示すように電流の増加に伴いせん断引張り強さが一方的に増加していて、加圧の大きさを 600~700kg に変化させてもこの傾向は変わらない。

Fig. 8 Plot for Tension-Shear Strength vs. Welding Current on 1mm. Inconel.

Fig. 9 Relation Between Fusion Ratio and Welding Current for LCN-155 and INCONEL.

MIL.SPEC. に規定されている最低せん断引張り強さとして1点当り 595kg を得るには加圧の大きさを変化させると若干異なるが、LCN-155 の場合には加熱時間 $2\frac{3}{4}$ 秒、2インパルスで 9,200A、Inconel の場合は加熱時間 $4\frac{3}{4}$ 秒、2インパルスで 15,000A 流せばよいことがわかった。

せん断引張り強さと電流との関係を比較すると、電流に対する強さの増加率は LCN-155 と Inconel とでは相異があり、LCN-155 材の増加率の方が大きく、低い電流値で爆飛が発生し始めるが、Inconel の方はより高い電流で欠陥が発生することがわかった。

電流が増大すると Fig. 9 に示すようにとけ込みが大き

くなりその関係はほぼ直線的であった。しかし、LCN-155 材のとけ込みは、電流値が 12,000A 近くなると急激に増加して 100% 近くになることがわかった。Inconel 材にはこのようなことは認められなかった。両者の間にこのような差異があるのは Table 2 に示したように、比抵抗はそれぞれ $106\mu\Omega\text{cm}$ (Inconel), $97\mu\Omega\text{cm}$ (LCN-155) で大差ないが、熔融温度は、 $1,400\sim 1,560^\circ\text{C}$ (Inconel), $1,165\sim 1,385^\circ\text{C}$ (LCN-155) で大きな差がある。このように LCN-155 材の熔融点が高いのでナゲットができやすく低い電流で熔接ができると考えられる。一方熔融点が高いため爆飛、散りなどの欠陥も発生しやすい。

電流をあげると強さが増加するが、一方爆飛、散りなどの欠陥も発生するようになり、加圧力を高くすればこの欠陥が出る電流範囲の下限が高くなる。したがって、電流をあげても欠陥のないせん断引張り強さの大きい熔接部が得られることになる。MIL. SPEC. に規定されている最低強度 595kg が得られしかも欠陥のない熔接部が得られる電流範囲を適正電流範囲とすれば、Inconel 材の方が適正電流範囲が広いといえることができる。

6・2 加圧の影響

一般に加圧をあげても、強度上には余り影響を及ぼさないが、散り、爆飛などの欠陥が発生し難くなり、適正電流範囲の上限が高くなる。特に電気抵抗、高温強さが高く、熱伝導度、融点が高い耐熱合金を熔接する場合は加圧を大きくした方がよいようである。大電流が流れると瞬間的に熔融してその熱膨張により熔融金属が飛散する現象が爆飛であるから、加圧を重くするとこの爆飛がある程度ふせげる。融点が高い LCN-155 ($1,165\sim 1,385^\circ\text{C}$) は爆飛が発生する電流が低く、1,300kg まで加圧をあげたが充分でなく、2,000kg 程度あげればより安定した熔接部が得られると思われたが熔接機の性能上実験することができなかった。Inconel 材は LCN-155 材に較べて融点が高く ($1,400\sim 1,450^\circ\text{C}$)、爆飛が発生する適正電流範囲の上限も高い。したがって熔接が容易であるが、加圧を大きくして 1,300~1,500kg とした方が安定した熔接部が得られた。

加圧が高くなると、熔接部が強く圧迫されるから圧痕 (indentation) が大きくなることが考えられるが Fig. 10, Fig. 11 に示すように圧痕量は実験した範囲では加圧の大きさに余り影響されていない。Inconel 材において、加圧の大きさと共に僅か圧痕量の増大が認められる程度であった。圧痕量は実験の範囲では加圧に関係せず、Fig. 12 に

Fig. 10 Relation Between Indentation and Electrode Force for LCN-155 1mm. Sheet.

Fig. 11 Relation Between Indentation and Electrode Force For Inconel 1mm. Sheet.

Fig. 12 Relation Between Indentation and Welding Current. for LCN-155, INCONEL 1mm. Sheets.

示すごとく電流の大きさと共に一方的に増加していることが判明した。MIL. SPEC. に規定されている空気力学的に考慮を払わなくてもよい場合の限界圧痕量は10%であって、実験した範囲では、電流を適正範囲にとれば加圧をあげても限界圧痕量を超えることがないので、欠陥防止のためには高い加圧力を要する LCN-155 材の場合、2,000kg 程度の加圧で実験を行うべきであったと考えられた。

実験に使用した熔接機の加圧機構は一定加圧式で squeeze time が始まると加圧がかゝり off time になると加圧が除かれる機構になっているので、2 段加圧の効果は実験できなかった。

6・3 加熱時間の影響

加熱時間 (Heat Time) を増すと、あたかも電流が増えたような効果があって、せん断引張り強さが大きくなり、爆飛、散りなどの欠陥が発生しやすくなる。すなわち、電流を一定にしても、Fig. 13 に示すように、加熱時間の増加とともにせん断引張り強さが増加し、遂には欠陥が発生するようになる。これは LCN-155, Inconel 材に共通の現象であった。

Fig. 13 Relation Between Tension-Shear Strength and Heat Time.

加熱時間は短かければ短いほど、熔接速度が向上し電力が節減され、生産速度が増大するので望ましいが、耐熱材料のように、爆飛、散りなどの欠陥が発生しやすい材料では、高い電流を流すことは避け、加熱時間の延長によって電流をあげたのと同様な効果をあげるべきであろう。しかし、加熱時間を長くすると熔接機の変圧器の鉄心が飽和して、電流が低下し始める現象がある。今回の実験ではこれらの関係を考慮して適正加熱時間を2 3/4 ~ 4 3/4 ~とした。

6・4 冷却時間の影響

加熱時間と加熱時間との間の冷却時間 (cool time) を短くするほど熔接時間が短く、熔接速度が早くなり、ことに

マルチインパルスの場合には有利である。しかし今回の実験では、電源容量の点から、使用率を50%とし、冷却時間を加熱時間と等しくとった。

6・5 インパルスの数の影響

3相低周波式溶接機の特徴の一つは、正逆方向の電流のインパルスを、任意の冷却時間を間にはさみ流せることで、このインパルス数の影響を調らべるため、電流値加熱時間を一定にして、インパルス数を2～9に変化させた。結果は Fig. 14 に示すごとく、インパルス数が増加しても、せん断引張り強さは実験した範囲では変化しなかった。これは、インパルス数を多くしても、その間に冷却時間が等時間入るので、溶接部は、最初のインパルスで熔融し、次のインパルスが流れても、接触抵抗が減っているから溶接部の大きさに変化がなく、組織が微細化するだけだからである。

6・6 破壊の様相

電流が低い間は、金属があまり熔融せず、ナゲットが大きくならないから、せん断引張り試験に際して、LCN-155材は Fig. 15a に示すごとく剥離するが、電流が高くなり

Fig. 14 Relation Between Tension-Shear Strength and Impulse Number.

溶接金属がやゝ大きくなると Fig. 15b のようにナゲットがむしれたようになる。更に電流が高くなれば、しっかりした溶接部が得られ、せん断引張り試験すると、Fig. 15c のように、ナゲット周辺から破壊が進行するような良好な溶接部となる。また適正電流値をこえたと Fig. 15d のよ

(a) Welding Current 8,000Amp. Elect. Force. 660kg

(b) Welding Current 8,500Amp. Elect. Force. 760kg

(d) Welding Current 9,500Amp. Elect. Force. 1,100kg

(e) Welding Current 10,500Amp. Elect. Force. 1,200kg

Fig. 15 Fracture Appearance of Spot Welded 1m.m. LCN-155.

うに爆飛が認められた。

せん断引張り試験における破壊はナゲットが良好ならば、その周囲から進行する。破壊がナゲット周辺から進行するならば、強さはナゲットの直径にほぼ比例して増加するわけで直線的な関係があり次式を得た。

LCN-155 については

$$\sigma \approx 217d$$

Inconel については

$$\sigma \approx 200d$$

ただし σ = せん断引張り

強さ kg

d = ナゲット径 m.m.

6・7 顕微鏡組織

抵抗熔接部の組織が電流によってどのように変化するかを調査した。ナゲット部は鑄造組織で樹枝状組織をしめし、電流が高くなるに従いこの樹枝状組織は微細化する。Fig. 16a, b はそれぞれ LCN-155, Inconel 材を適正電流で熔接した場合の、熔接部の顕微鏡組織で樹枝状組織が顕著である。この樹枝状組織の方向はナゲット中心より周辺に向っている。板の接触の境界線はもはや認められず完全に融合していた。電流が高くなるに従い、この樹枝状組織は消失し、粒状の樹枝状組織になるがナゲットの周辺にはまだ針状組織がのこっている (Fig. 16c, d)。

LCN-155 および Inconel 材のごとき耐熱材料を抵抗熔接すると、ナゲット周辺の母材粒界が熔融して、顕微鏡で観察すると亀裂状に見える tailing が現われるが、今回の実験では LCN-155 によくみられ、Inconel 材には認められなかった。すなわち Fig. 16e に示す通り LCN-155 点熔接部の境界は、熔接電流が適正値以下であると、大きな tailing が認められる。一方 LCN-155 でも電流が充分大きくなると、もはや tailing は発生せず Fig. 16 f に示すごとくである。Inconel 材においては tailing の現象は認められず、ナゲット周辺は網目状に粒界が熔融している (Fig. 16 g 参照)。

6・8 100点連続点熔接

点熔接の適正条件とは、強さ、欠陥の数等が MIL.SPEC. を満足するような熔接部が得られる条件を意味する。そしてこの条件はたとえば一次側電源電圧が変動するような事

(a) LCN-155, Part A $\times 100$
9,500Amp, $4\frac{2}{3}$ s

(b) INCONEL, Part A $\times 100$
18,400Amp, $4\frac{2}{3}$ s

(c) LCN-155, Part A $\times 100$
12,500Amp, $4\frac{2}{3}$ s

(d) INCONEL, Part A $\times 100$
18,200Amp, $4\frac{2}{3}$ s

(e) LCN-155 Part B $\times 100$
8,000Amp, $4\frac{2}{3}$ s

(f) LCN-155 Part B $\times 100$
9,500Amp, $4\frac{2}{3}$ s

故があっても、なお規定の値内におさまるような巾をもった条件が望ましい。このためには熔接条件を安全な側にきめねばならない。このような点を考慮し

(g) INCONEL, Part B $\times 100$
18,200Amp, $4\frac{2}{3}$ s

Fig. 16 Micro-Structure of Spot Welded 1m.m. LCN-155 and INCONEL Sheets. (2/2)

て、適正条件をもとめ、MIL. SPEC. E3項に規定されている100点連続点溶接を行った。結果はFig. 17, 18に示す。結果をみると判断できるように、LCN-155, Inconel 材とも、平均強さ595kgをはるかに上廻っている。その外、欠陥の数、せん断引張り強さの変動係数も MIL. SPEC. を充分満足していることがわかった。しかし、LCN-155 においては爆飛の発生率は5%をしめして、規定値ぎりぎりであり、欠陥が生じやすいのである。この点は加圧をあげれば防げると思われるが、溶接機の性能上行えなかった。

7 総括

今回の実験の結果、LCN-155, Inco-

nel 材とも3相低周波式抵抗溶接機によって、MIL. SPEC. を充分満足するロールスポット溶接部が得られた。このうち、LCN-155 材は良好な溶接部は得られるが、この材料のように熔融温度が低く、電気抵抗、高温強度の高い耐熱材料は、溶接に際し高い加圧をかけないと欠陥が発生しやすいので、抵抗溶接がむずかしい材料の一つであろう。

同程度の比抵抗を有していても、熔融点が比較的高い Inconel 材はより抵抗溶接が容易で、欠陥のない溶接部が得られやすい。結局、LCN-155 材については、厚さ1mmの場合、加圧を1,500kg以上かければより安定した点溶接部が得られるように思われたが、使用溶接機の性能上行えなかった。また、供試材点溶接部には亀裂の発生が認められなかったので、current decay 装置の効果は検討せず、2段加圧の装置も附属していなかったためその効果も実験できなかった。

Fig. 17 Results of Multi-Spot Welds of 1mm. INCONEL.

Fig. 18 Results of Multi-Spot Weld of 1mm. LCN-155.

実験の結果をまとめると、

- (1) 試験材の表面処理は慎重に行う必要があり、接触抵抗はなるべくさげるべきで、ビニルボンドエメリホイルで研磨後、石鹼水で洗滌した方がよい。
- (2) 電流を大きくすれば、LCN-155, Inconel 材ともせん断引張り強さが増加するが、遂には爆飛などの欠陥が発生するようになる。LCN-155 材は欠陥がでやすく、Inconel 材は適正電流範囲が広い。
- (3) MIL. SPEC. 規定されているせん断引張り強さを得るには、いずれの加圧下でも容易であるが、欠陥のない安定した点溶接部を得るには、加圧を1,500kg以上にすべきである。
- (4) 加熱時間を増加すると、電流をあげたような効果があり、LCN-155, Inconel 材とも4 3/4"が適正値と判断された。

(5) インパルス数を増加させても、せん断引張り強さには影響がない。

(6) 顕微鏡検査の結果、tailing が LCN-155 材に認められた。

(7) 100点連続点熔接の結果は良好で、熔接機の制御回路、性能には特に不良個所が認められなかった。

点熔接部のせん断引張り強さ、欠陥の発生状況を検討することによって、熔接部におよぼす各因子の影響を調べ、その結果をまとめて適正熔接条件をもとめシーム熔接が可能である。今回の実験によって、国産耐熱材料によるジェットエンジン部品の製作の可能性が確認された。

実験にあたり終始、御懇切なる御指導と御鞭撻を頂いた、東大教授木原博士、金属材料技術研究所鈴木博士、日本ステンレス藤田重役ならびに家田重役、および当社技術研究所長中村博士に深甚なる謝意を表して、御礼にかえる次第である。

参 考 文 献

- 岸田公司：3 相低周波型抵抗熔接機
熔接界 p. 39~44 1月'56年
- 志村秀夫：3 相低周波式点熔接機の副気制御機構について
熔接界 p. 583~593 9月'56年
- E.F. Nippes, H.B. Fishman: Resistance Welding of Inconel-X. W.J. p. 1s~14s Jan. 54
- A.W.S.: Resistance Welding Theory and Use.
- R.W.M.A.: Resistance Welding Manual.
- R.M. Wilson, Jr.: Resistance Welding of Nickel and High Nickel Alloys W. J. p. 685~705, Aug '51,
- W.R. Apblett, W.S. Pellini: Factors Which Influence Weld Hot Cracking W. J. p. 83s~90s. Feb '54.

第 2 回材料試験連合講演会講演募集要項

共 催 日本学術会議材料試験研究連絡委員会

金属表面技術協会、高分子学会、造船協会、土木学会、日本鋳物協会、日本化学会、日本機械学会、日本金属学会、日本建築学会、日本航空学会、日本材料試験協会、日本セメント技術協会、日本鉄鋼協会、日本非破壊検査協会、日本木材学会、熔接学会

第 2 回講演会幹事学会

日本材料試験協会（京都市左京区吉田本町京都大学工学研究所内 電 (7) 4111）

日本非破壊検査協会（東京都千代田区神田佐久間町 1 丁目 11 番地佐久間ビル内 電 (25) 1636）

熔接学会（東京都千代田区神田佐久間町 1 丁目 11 番地佐久間ビル内 電 (25) 1636）

日 時 昭和33年10月14日（火）15日（水）

会 場 京都大学工学部共同講義室（京都市左京区吉田本町）

講演申込 (a) 参加学会所属の会員は当該学会を通じて申込み、参加学会会員以外の方は直接幹事学会に申込むこと。

(b) 講演内容は発表されたものでもさしつかえないが、最近の研究に属するものが望ましい。

(c) 講演時間は約20分（討論を含む）の予定。

(d) 講演の採択などは幹事学会に一任されたい。

(e) 申込用紙は随意であるが、次の事項を必ず記載すること。

④講演題目 ⑤梗概約 200 字 ⑥講演部門名 ⑦講演ならびに連名者各々の氏名、勤務先、通信先、学会員資格年令（連名の場合は登壇者に○印をつけるこ

と ⑧講演題目、氏名、勤務先には英文を付記すること ⑨映画、スライド使用の有無と大きさ。

注：第 1 部 金属材料 (Metallic Materials)
第 2 部 非金属材料 (Non-Metallic Materials)
第 3 部 その他 (Miscellaneous)

講演申込期日 7月10日（所属学会必着）

講演前刷 聴講者のテキストとし、あわせて講演時間の短縮、掛図などの節約を図るため講演者全部の講演前刷を作ります。講演者は前刷原稿を必ず期日までに各所属学会へ（参加学会会員以外の方は申込んだ幹事学会へ）提出されたい。

④講演前刷原稿提出期日：8月20日 ⑤前刷原稿は規定の原稿用紙 2 枚以内（図表、写真を含めて邦文にて約 2600 字）に明瞭に墨書して下さい。なるべく余白をさけるよう留意して下さい。⑥前刷原稿の書き方の詳細は幹事学会から講演申込者に送付いたします。⑦講演前刷はオフセット印刷になりますから写真も入れられます。原稿用紙は講演申込者に所属学会から送ります。所定用紙以外の用紙に書いた原稿は受けません。

付 記 講演会の欧文論文集

Proceedings of the Second Japan Congress on Testing Materials を刊行し、第 1 回材料試験連合講演会欧文論文集と同様諸外国にも頒布する予定です。本論文集に掲載される論文は第 2 回材料試験連合講演会にて発表されるもので、欧文にて未発表の論文に限りません。投稿御希望の方は、講演採択通知とともに幹事学会より送られる規定原稿用紙に執筆し、講演会当日までに幹事学会に提出するか講演会会場受付にて提出すること。（講演会当日以降の提出原稿は受理いたしません。また不備な欧文原稿は返却いたしませんから、欧文執筆には充分注意願います）。