



Title	爆発接合継手の極低温強度
Author(s)	西村, 新; 向井, 喜彦
Citation	大阪大学低温センターだより. 1990, 72, p. 10-14
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/10990
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

爆発接合継手の極低温強度

工学部 西村 新（吹田4826）・向井喜彦（吹田4825）

1. はじめに

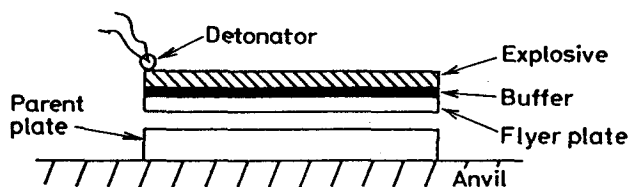
エネルギー構造の変化にともない、LNG、LPG等の低温流体の貯槽、配管、液化・気化装置の製作が進められる一方、超電導工学の進歩及び航空・宇宙工学の発展により、液体水素、液体ヘリウム等を対象とした各種の極低温構造物や機器の製作、開発が進められている。これらの装置、機器では、その用途によって各種の金属材料、非金属材料が使用されるが、同時に用途に即した材料自体の開発も試みられている。

異なった金属材料を接合する場合、溶接すると割れなどの欠陥を生じる材料の組合わせが多数あるため、フランジ等の機械的接合形態が採用される場合もある。しかし、極低温装置における継手に対しては、優れた機械的性質とともに気密性が要求される場合が多く、そのため溶接（融接）による接合が可能な接合継手（トランジション・ジョイント）の開発が行われてきている。この接合継手は、特殊な接合法によって異種金属を接合した板もしくは棒から製作されるもので、継手の両端をそれぞれ同材溶接することによって、最終的に異種金属同士を接合するものである。

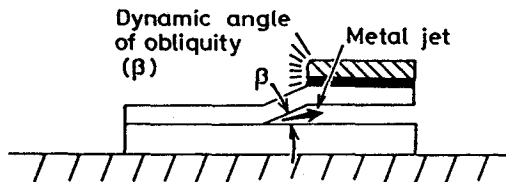
ここでは、爆発接合によって製作した異材接合継手の極低温強度について、著者らが行ってきた研究の一端を紹介することにする。¹⁾

2. 爆発接合について

爆発接合は、図1にその模式図を示すように、母材の上に合わせ材を置き、爆薬が爆発する際に生じる衝撃波によって瞬時に接合を行うものである。²⁾



(a) 準備状態



(b) 爆発接合過程

図1 爆発接合の模式図

金属が冶金学的に接合されるためには、原子間引力が作用するほどに2つの金属が接近する必要がある。爆発接合では衝撃波のために両金属が衝突する位置で金属蒸気（メタルジェット）が生じ、そのジェット流が衝突位置の金属表面を清浄にすると同時に、数十MPaの加圧力が作用するため接合が可能となる。また、界面部に生じる塑性流動は数十～数百 μm の厚さであり、そのため合わせ材の厚さを1mm程度以下にまで薄くすることができる。

爆発接合では接合面での温度上昇時間が極めて短時間であり、金属間化合物の生成をかなり押さえることができる。そのため種々の材料の組合わせに対して接合が可能であるが³⁾、後述するアルミニウム合金と鉄鋼材料の組合せのように、鉄-アルミニウムの金属間化合物を生成し易い場合には、インサート材を用いることにより接合することができる。

3. A5083/SUS304L 爆発接合継手の極低温強度

熱交換器などに用いられるAl-Mg系アルミニウム合金(A5083、熱電導率が大い)と、配管材料であるオーステナイト系ステンレス鋼(SUS304L、熱電導率が小さい)との接合継手として、次の2種類の爆接継手を試作した。一つは工業用純アルミニウム(A1100)、工業用純チタン(TP28C)及び工業用純ニッケル(NNCP-O)の3種類の金属をインサートメタルとするもの(5層爆接材)であり、他の一つは純銀のみをインサートメタルとするもの(3層爆接材)である。

各爆接板の板厚構成、積層状況などを図2に示す。爆接界面に垂直な方向の接合強度を評価するため、引張試験片はすべて爆接板の板厚方向から採取している。またこの時、各爆接板の構成材料中最も強度の低いA1100もしくはAgが、試験片平行部中央に配置されるようにしている。引張試験片形状としては、中実丸棒、パイプ、板状のものを準備した⁴⁾。試験片平行部長さは主として40mmとし、引張試験時のクロスヘッド移動速度は特に記さない限り $8.3 \times 10^{-3} \text{mm/s}$ とした。また、試験温度は4.2K、77K、293K(室温)である。

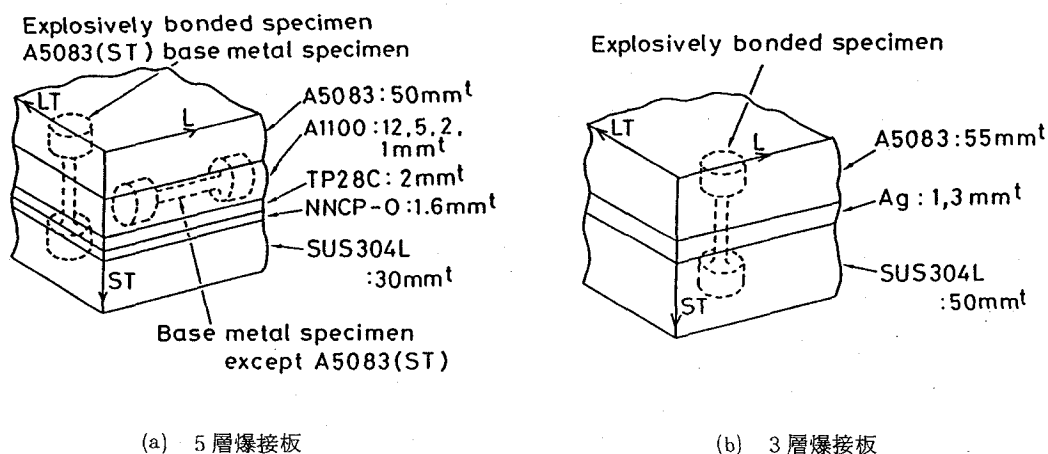


図2 爆発接合板の構成

上述したように、本研究で対象とした爆接継手はA1100 もしくはAgといった軟質層を有する継手である。そこで、軟質層の変形が上下の材料によって拘束される程度を表す変数として、次式に示す相対板厚 (X) を定義した。

$$X = h / t$$

ここでhは軟質材の初期厚さ、tは丸棒では初期半径、パイプでは初期肉厚、板試験片では初期板厚である。このような定義に基づけば、実験を行ったXの範囲は5層爆接材では0.08~12.0、3層爆接材では0.13~2.90である。

5層爆接継手で得られた最大引張強さとXの関係を図3に示す。図中の破線は丸棒試験片で得られた強度 (○印) の中央値を示したものである。

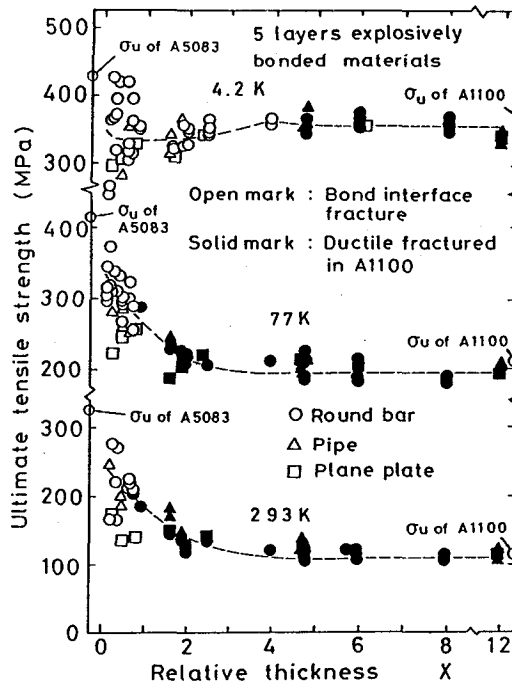


図3 5層爆接継手の引張試験結果

293K、77K ではいずれの試験片においてもXの低下とともに最大引張強さは上昇するが、爆接界面での界面破壊が生じるようになると、パイプ材、板材では丸棒試験片ほどには強度上昇しなくなる。これは界面での応力状態が試験片形状によって異なるためである。4.2Kでは界面破壊を生じ始めるXは大きくなり、その領域では293K、77K で見たような強度上昇は示さなくなる。また最大強度の分散が大きくなり、試験片形状の影響は明確でなくなる。この強度分散の要因として、変形中のA1100 部の発熱による温度上昇が考えられる。変形時にA1100 部に与えられた塑性歪エネルギーの一部は熱エネルギーに変換されるが、極低温下では比熱が室温での1/1000以下であるため、その熱エネルギーによってA1100 部の温度は上昇する⁵⁾。しかし、Xが極めて小さくなると(A1100の厚さが直径に比べて相対的に大変薄くなると)、A1100 が塑性変形しにくくなり、理想的には2番目に低強度であるA5083 強度に継手強度は漸近する。

3層爆接継手で得られた最大引張強さとXの関係を図4に示す。図中の破線、各記号は図3と同様であるが、+印を付したものは、Ag/A5083 界面に極めて近い(0.5mm以内)A5083部分で延性破壊したものを示している。

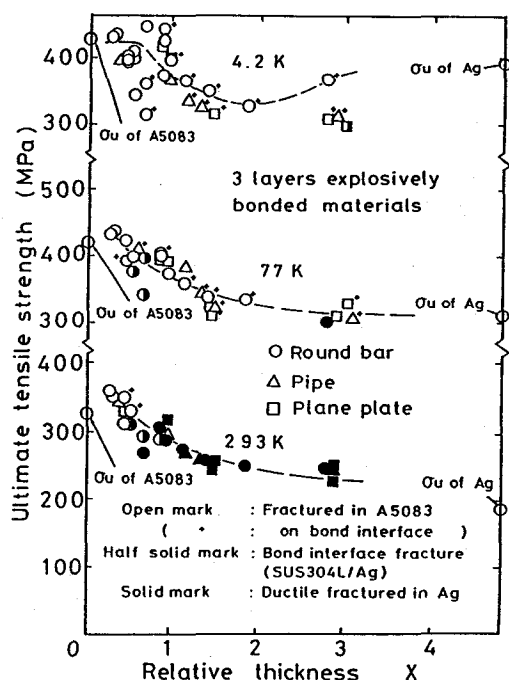


図4 3層爆接継手の引張試験結果

293KではXの低下とともに、Agでの延性破壊から SUS304L/Agでの界面破壊、界面近傍でのA5083 破壊、そして界面から離れた位置でのA5083 破壊へと破壊形態が移行し、それにともなう継手強度は上昇する。77K、4.2KではAgの延性破壊は実験の範囲内では殆ど見られず、主として界面近傍でのA5083 破壊が生じている。特に4.2Kでは、Xの減少にともない一度Ag素材の強度以下に強度低下した後、Xの小さい領域で再び強度上昇を示し、A5083 素材強度となる。試験片形状の影響は界面破壊を生じる場合が少ないため、5層爆接材ほどには顕著ではない。

界面近傍でのA5083 破壊は、Ag部がくびれるに従い隣接するA5083 部が引きずられるようにくびれ、そのくびれる度合(絞り値)が素材の絞り値と同程度になるために生じるものである⁴⁾。この時の強度は、界面近傍のA5083 が強制的にくびれさせられるため、A5083 部の破壊であるにもかかわらずA5083 素材の強度より低下する。しかし、変形拘束がさらに大きくなると、Ag部がくびれなくなり界面近傍のA5083 もくびれなくなる。そのため、界面から離れた位置のA5083 が延性破壊するようになり継手強度はA5083 素材強度と一致するようになる。

設計的観点から図3、図4の結果を見れば、接合継手を構成する素材の内、最も強度の低い材料の各温度の引張強さを基準として設計応力を設定すれば、いずれの爆接継手も極低温で十分な継手強度を

有するものと考えることができる。

4. おわりに

極低温用機器に使用される爆発接合継手の強度特性についての研究の一部を紹介した。5層爆接継手はすでに液化機や冷凍機に使用されており、低温に携わる研究者の意外に身近なところで活躍していることであろう。機器の安全性を確保しながら、より軽量の、よりコンパクトな構造を目指して、種々の取り組みが試みられていることをご理解願えれば幸いである。

最後に、本実験は低温センター脆性試験機室でなされたものであり、脆性試験機室運営W.G.及び低温センター吹田分室の各位に謝意を表します。また、試験材料を提供して頂いた旭化成工業㈱の関係各位に感謝します。

参考文献

- 1) 向井、西村：高圧ガス、26-8 (1989) p28
- 2) Bernard Crossland: Explosive Welding of Metals and its Application, Clarend on Press, Oxford (1982)
- 3) 野村：塑性と加工、25-283 (1984) p680
- 4) 向井、西村：「ぜいせい」、大阪大学低温センター脆性試験機室成果報告書、5 (1987) p30
- 5) 向井、西村：「ぜいせい」、大阪大学低温センター脆性試験機室成果報告書、6 (1988) p16