



研究ノート

極低温下における爆接材料の 変形破壊挙動

向井喜彦* 西村新**

1. はじめに

超電導工学の進歩に伴い、各種の工業分野において極低温用機器の開発、製作が試みられている¹⁾。これらの機器においては、種々の材料がその材料固有の物性値に基づき、用途に応じて用いられている。このような異種の材料を接合する際には、機器の性能および信頼性を高めるために溶接を用いることが望ましいが、溶接の困難な材料の組み合わせが多数あり、多くの場合には溶接以外の接合形態が採用されている。

このような溶接の困難な異材の接合法の1つとして爆発接合がある。この方法によれば、広範囲の材料の組み合わせに対して接合が可能であり、同時に十分な継手強度ならびに高い気密性等の優れた継手性能を有する接合継手が得られるものと期待される。そしてこの異材の爆発接合継手を用いて、接合しようとする各材料同志をそれぞれ個別に溶接すれば、異種材料間の接合部の健全性、信頼性が確保されるとともに、小型化、軽量化をも実現することが可能となるものと思われる。

こういった背景から、筆者らは爆発接合継手の極低温下での有用性を検討するため、極低温下での引張試験を実施し、その変形破壊挙動ならびに強度特性について研究を進めている。本稿では、熱伝導率の高いAl合金と相対的に低いステンレス鋼との爆発接合継手の研究結果についてその一端を紹介する。

2. 爆発接合継手の構成

Al合金(A 5083P)とステンレス鋼(SUS

304L)を直接爆発接合すると、爆発界面にたいへん脆弱なFe-Al金属間化合物が生じ、場合によっては界面剝離等の欠陥を生じることがある。そのため、爆発時にインサートメタルを用いる必要がある。用いるインサートメタルとして種々の材料が考えられるが、本稿では図1に示すようにSUS 304L側からNNCP-O(工業用純Ni)、TP 28C(工業用純Ti)およびA 1100Pの3種の材料を用いた場合について述べる。上述したように、爆発接合継手はこの爆接板から板厚方向(ST方向)に切り出して供しようとするものであるため、実験研究においては爆接板の板厚方向強度について注目している。図1のような材料構成を採用すると、強度的にはA 1100Pが最も弱く、いわゆる軟質継手となる。従って、軟質部(A 1100P)の変形拘束の程度によって継手全体としての強度が大きく変化することが考えられる。そこで、次式によって定義される相対板厚(X)を変化させるように、丸棒引張試験片の直径とA 1100Pの板厚との組み合わせを変えて検討を行った。

$$\text{相対板厚}(X) = \frac{A 1100P \text{ の初期厚さ}}{A 1100P \text{ の初期直径}} \quad (1)$$

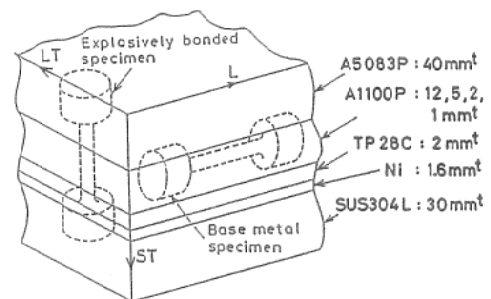


図1 爆発接合継手の構成と試験片採取位置

なお、試験片形状、実験方法等の詳細は省略するが、いずれの場合も(素材試験片を含めて)チャック間距離40mm、平行部長さ36mmであ

*向井喜彦(Yoshihiko MUKAI), 大阪大学, 工学部, 溶接工学科, 教授, 工学博士, 溶接工学

**西村新(Arata NISHIMURA), 大阪大学, 工学部, 溶接工学科, 助手, 工学博士, 溶接工学

り、試験温度は室温(293K), 77Kおよび4.2K, クロスヘッド移動速度は 8.3×10^{-3} mm/sec で一定である。

3. 爆発接合継手の変形破壊挙動

引張試験後の A 1100P 部の変形破壊状況の一例を図2に示す。図中の ϕ は A 1100P 部の絞りである。Xが2.4の時はいずれの温度においても A 1100P で延性破壊するが、室温では局部に変形が集中し大きな絞りを示すのに対し、4.2Kでは A 1100P 全体にわたって変形が進行し、絞りが小さくなる。Xが0.94では、室温および77Kでの変形破壊挙動はXが2.4の場合と類似しているが、4.2Kでは爆接界面で

の界面破壊を生じる。さらにXが小さくなり0.32となると、室温でも一部界面破壊を示し、0.096になると変形拘束による著しい強度上昇のため、室温においてさえ完全な界面破壊を呈するようになる。

4. 爆発接合継手の強度

Xが2.4の爆接材 (A 1100P 厚き12mm) ならびに各素材の 4.2Kでの公称応力-公称歪曲線を図3に示す (NNCP-O は試験片作製上の問題で検討を行っていない)。公称歪はクロスヘッド移動量をチャック間距離で除した値である。爆接材といった材質不均一な部材ではチャック間に占める各素材の占有率によって変形量

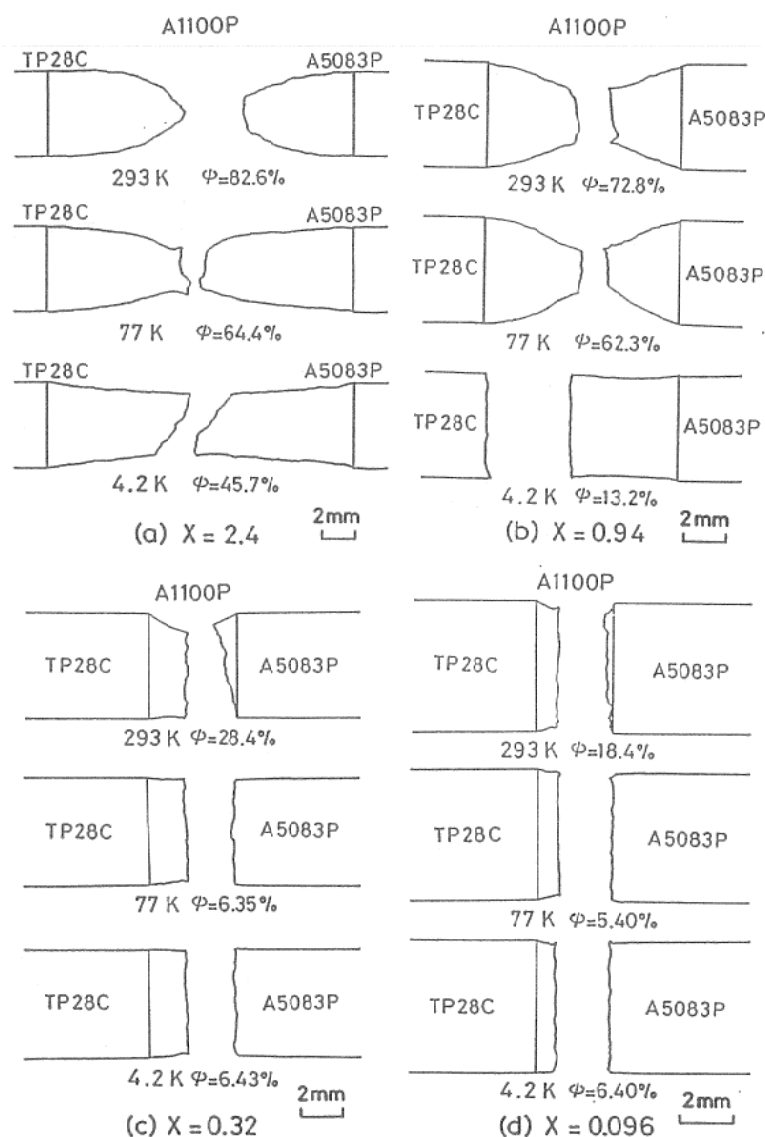


図2 引張試験後の A1100P 部の変形破壊状況

は変化するが、ここでは素材との比較を容易にするため爆接材の場合も便宜的に素材と同様の手順で公称歪を求めている。各曲線中に示す破線はセレーション発生に伴う応力降下の下限曲線である。TP 28C, SUS 304L は相対的に強度が高く、A 5083P, A 1100P は低強度である。特に A 5083P は異方性が顕著で、ST 方向引張ではL方向引張に比べ低歪、低強度で破断する。A 1100P は延性に優れており（公称破断歪約46%）、加工硬化過程では大きなセレーションは生じない。Xが2.4の爆接材の公称破断歪は約13%であり、チャック間に占めるA 1100P の割合が約1/4であることを考慮すると、この爆接材の伸びはその大部分がA 1100P に起因したものであることがわかる。また、この爆接材の最大引張強さがA 1100P のそれとほぼ等しいことから、Xが2.4の場合には変形拘束の影響は極めて小さく、ほぼA 1100P の機械的特性によって変形破壊挙動が決定されていることがわかる。

Xを変化させた時の4.2Kでの爆接材の公称

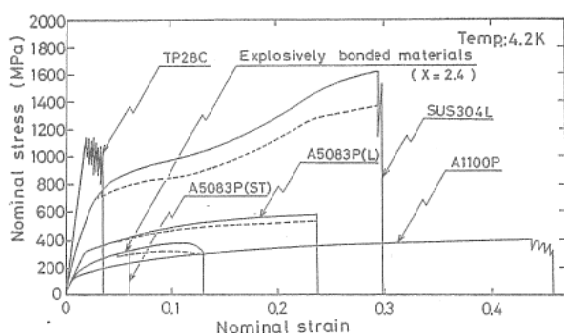


図3 爆接材 (X=2.4) および各素材の公称応力—公称歪曲線 (4.2K)

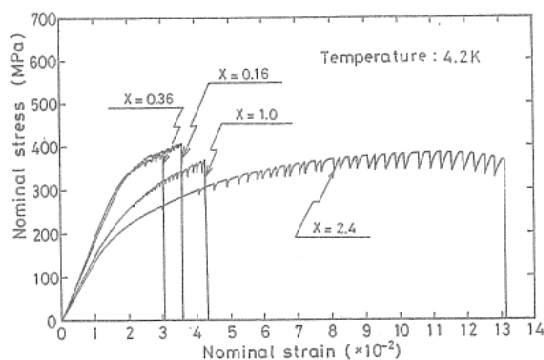


図4 相対板厚 (X) を変化させた時の爆接材の公称応力—公称歪曲線 (4.2K)

応力—公称歪曲線を図4に示す。界面破壊を生じるX=1.0以下の爆接材では、伸びが少なく最大応力が破断応力となる。またXが小さくなるとセレーションの応力降下量は少なくなり、かつ、その発生間隔は短くなる。このような現象はBasinski²⁹⁾の示したA 1100Pの発熱現象によるものと考えられるが、その詳細は必ずしも明らかではない。

相対板厚と最大引張強さの関係を図5に示す。図中の各温度の実線は佐藤ら³⁰⁾が導出した軟質継手の強度評価式にみかけの降伏点の上昇を考慮して求めたものである。また黒印の実験

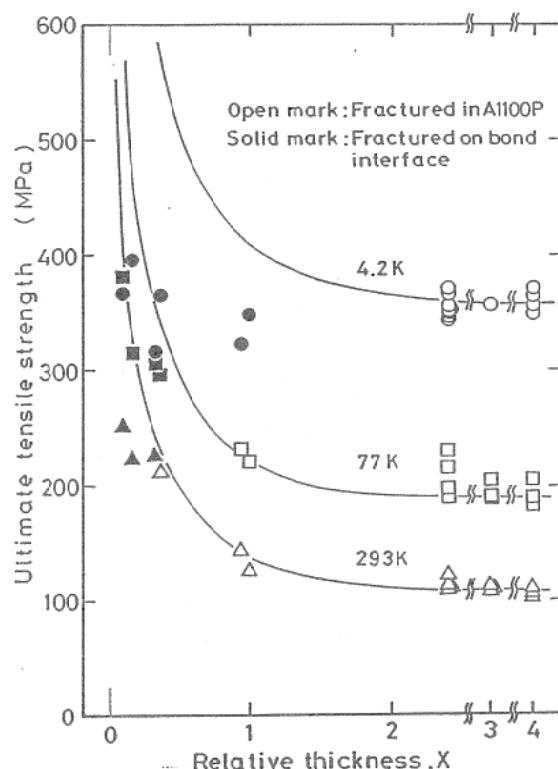


図5 相対板厚 (X) と引張強さとの関係

点は界面破壊したものを示している。室温、77KではXが小さくなるにつれて計算曲線に従って強度は上昇し、界面破壊を生じると低強度側に曲線から離れてゆく。一方4.2KではXが1.0ですでに界面破壊を生じ、それ以下のXでは実験点の分散は大きいものの77Kの結果に比べわずかに高強度側にプロットされる。このように4.2Kではあまり大きな強度上昇を示さないが、A 1100Pの0.2%耐力(4.2Kで166MPa)以上の継手強度が得られており、このことから爆発接合継手の設計強度としてA 1100Pの0.2%耐

力を用いて良いものと思われる。

5. おわりに

爆発接合継手の極低温下での変形破壊挙動について研究の一端を紹介した。本稿で示した構成材料による爆接継手は、静的強度に関する限り十分実用に供し得るものと思われるが、さらに疲労特性、衝撃特性等の研究、またインサート金属材料の選択について、今後検討を進めてゆく必要があると考えている。

ここで示した研究は大阪大学低温センター脆性試験機室のマルチスペシメンクライオスタットおよびインストロン試験機を用いて行ったも

のである。同試験機室運営ワーキング・グループならびに低温センター吹田分室の諸氏に対す謝意を表します。また試験片製作に御協力頂きました旭化成工業(株)の関係各位に感謝致します。

参考文献

- 1) 堀内：極低温金属材料に関する最近の研究動向，日本金属学会会報，21—12 (1982)，965—972
- 2) Z.S. Basinski：The instability of plastic flow of metals at very low temperatures，Proc. Roy. Soc., 240. A (1957)，229
- 3) 佐藤，豊田：機械的性質の不連続をふくむ材の静的引張強度に関する研究，溶接学会誌，40 (1971)，49

