

爆発加工の応用

第V報 爆轟圧着した異種金属の境界層

野村 羊 観*

I. 緒 言

爆轟を利用して異種金属を圧着する時、それ等の境界にいずれの母材にも属しない層（以下異常層と呼ぶ）が認められる事を既に報告した¹⁾。その際、軟鋼棒にアルミニウムを被覆した時の異常層を合金相と解したが、その理由は両者が合金をつくり易い性質を有しており、且つ圧着時に境界は若しい温度上昇を伴う故、アルミニウムの融解が期待されるからである。即ち極めて短時間に合金相が生成するためには少なくとも一方が溶融状態にある事と両金属の親和性の強い事が前提となる。一方銅を外側被覆した場合の異常層は鉄と銅との親和性の小さい事から、簡単に合金層と理解するのに困難を感じ、今後の吟味が必要であるとした。本研究は爆轟圧着によって異種金属の境界に生ずる異常層の顕微鏡観察とそれに基づく二三の考察を述べたものである。

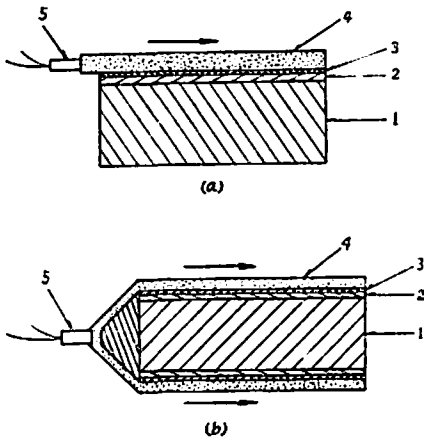


Fig. 1. Methods for explosive-joining. (a) Setup for welding two metal plates. 1 thick plate, 2 thin plate, 3 buffer material, 4 explosive layer, 5 detonator. (b) Setup for welding a metal tube to a rod. The mark of arrow in each case shows a direction of detonation.

II. 実 験

1. 既報²⁾の軟鋼棒の外側に銅管を圧着した試料のほかに、下記の如き軟鋼板に銅板を爆轟圧着した試料をも用意した。即ちその板材試料は、軟鋼板（厚さ5×40×150mm）上に銅板（厚さ1mm）を重ね、その銅板上に特種カーリット（葉の厚さ5mm）をおき、それを一端より起爆して移動する爆轟圧を加へる事によつて、得たものである（Fig. 1-a）。上記いずれの試料であつても異常層の存在は腐蝕なしで顕微鏡下で認める事が出来る。異常層の現はれ方は爆轟方向に対する切断方向のとり方で異なる。その状態をFig.

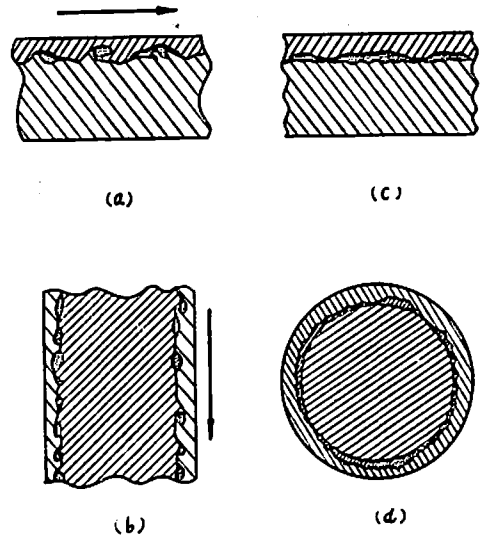


Fig. 2. Cross-sectional sketches of interfaces between dissimilar metal parts welded by detonation. (a) and (b): the interfaces sectioned along the directions of detonations. (c) and (d): the interfaces sectioned perpendicularly to the directions of detonations.

2に示す。板材及び棒材いずれの場合であつても爆轟方向の切断面に現はれる異常層は限局されがちであり（Fig. 2-a, b），直角方向の切断面におけるそれは大體において連続している（Fig. 2-c, d）。Photo. 1は

昭和36年7月21日 受理
* 防衛大学校 検査員市小原台



Photo. 1. A photomicrograph of the interface between a thin copper plate and a thick mild steel plate, where the interface layer is different from the parent metals. Etchant : $\text{FeCl}_3\text{-HCl}$ solution. $\times 136 \times 2/3$.

Fig. 2—c の場合に対応する。

いづれの試料によつても同一の観察結果が得られる。Photo. 2は塩化第二鉄塩酸溶液で腐蝕した後の境

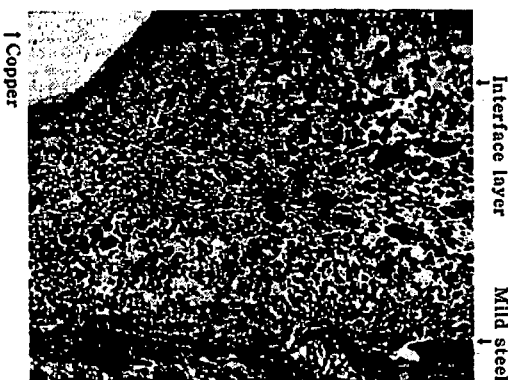


Photo. 2. A photomicrograph of the interface between a copper part and a mild steel one, where dispersed particles of mild steel can be observed in the copper part. The spherical shape of the particles suggests that they once melted. Etchant : $\text{FeCl}_3\text{-HCl}$ solution. $\times 800 \times 2/3$.

界層の検鏡像であるが、異常層内には、普通に見られる多結晶構造とは異つた状態における粒子の明らかな散在が認められる。此の粒子は軟鋼より生じたものと当然解されるが、粒子がほぼ円形をなしている事は熔融状態を經過した事を物語るものである。大型の粒子は異常層の中央部に存在し、銅側及び鉄側においては一般的に小粒子になり、殊に銅側においては 800倍程度の倍率では粒子の分散が分解されない場合がある。上記異常層は 2%硝酸アルコール溶液ではあまり明瞭でないが、強腐蝕を施す時は或る程度明瞭になる。塩

化第二鉄塩酸溶液で異常層が黒く腐蝕されるのは、同溶液がフェライト成分をも腐蝕するからであり、2%硝酸アルコール溶液ではフェライト成分が前者程腐蝕されないためと思はれる。

上記の試料を 950°C 、1時間加熱後、塩化第二鉄塩酸溶液を用いて検鏡すると Photo. 3 の如く、異常層



Photo. 3 A photomicrograph of the interface of the specimen for Photo. 1, annealed for an hour at 950°C . The particles of mild steel are rearranged without formation of an alloy. Etchant : $\text{FeCl}_3\text{-HCl}$ solution. $\times 400 \times 2/3$.

中の軟鋼は明瞭な分離状態を示すようになる。Photo. 1及び2は爆轟による圧着時に jet の発生が伴はれる事の確証を示すものである。

2. 軟鋼とアルミニウムの組合せは、前記の銅の場合となつて両者の親和性が大きい。Photo. 4は軟鋼棒



Photo. 4. A photomicrograph of the interface between aluminium tube and mild steel lod, where specks and cracks can be seen. The specks are produced by remove of particles of mild steel on polishing the specimen. Maintenance of high temperature due to an action of jet is too short to form a perfect alloy. Etchant : $\text{HNO}_3\text{-alcohol}$ solution. $\times 550 \times 2/3$.

にアルミニウムを外側被覆した場合²⁾であるが、異常層中に見られる円形小孔は鉄の jet 粒子が、試料の切断或いは研磨時に脱落して生じたものと推定される。粒子が球形である事は既に述べた如く鉄の jet 粒子が溶融状態にあつた事を示すと思はれるが、親和性の強い両金属でありながら完全に溶解しきらないのは高温である時間が短かいためであると考えられる。境界層全部に上記の現象が見られるのではなく、少くとも800倍程度の顕微鏡観察では均一で且つ亀裂を伴わない部分も見られる。均一に見える部分は超微粒子の混合状態であるか或いは真の合金相であらう。

3. チタンもアルミニウムと同様鉄に対して親和性が大きい。此の場合の爆轟圧着は、チタン板(厚さ2×100×100mm)と軟鋼板(厚さ10mm)の組合せについて行はれた。爆薬はペンスリットで薬層3mmである。此の実験では軟鋼裏面に剝離を生ずる部分があり、強力な爆薬の使用は実用的でなく、かへつて推力の大きい爆薬の方がよい様に思はれた。境界層の状態の一例を示すと Photo.5 の如くで、アルミニウムの



Photo. 5. A photomicrograph of the interface between titanium plate and mild steel plate. A formation of crack suggests that the interface layer produced is brittle.

Etchant : HNO₃-alcohol solution. ×136×2/3.

場合に見られた如き鉄の jet 粒子或いはその脱落したと思はれる小孔は認め得なかつたが、亀裂の発生が顕著である。亀裂は異常層或いは合金相が脆い性質のものである場合、裏面からの反射応力波の影響、或いは組合せ材料の変形等によつて生ずるものと思はれる。

4. 実験1は親和性のない二つの金属の例として軟鋼と銅との組合せ、実験2, 3は上述と逆に親和性の大きい場合の例として軟鋼とアルミニウム或いはチタンが撰ばれた。此等の実験例において異常層は所謂鑄造組織の形状を示さなかつた。しかし実験1の項で述べた如く jet の混合領域は鉄の融点 1500°C 以上の

高温になる故、鑄造組織特有の構造が観察される場合があつてもよい筈である。結晶粒界を示す鑄造組織が認められた時には jet による混合層が新しい合金相を形成し得たものと判定する事が出来る。此の様な例は Photo.6 に示す如く銅管(外径 19mm, 内径 20



Photo. 6. A photomicrograph of the interface between copper tube and β -brass rod. The typical dendrite structure indicates that both the metals are alloyed perfectly. Etchant : FeCl₃-HCl solution. ×136×2/3.

mm)と β 真鍮棒(径 19mm)との組合せの場合に見る事が出来た。Photo.6 において両側の母材に近い部分は明らかに新しい多結晶構造を示してゐる。

III. 考 察

以上の諸観察を要約すると次の如くなる。爆轟圧着した異種金属の境界に異常層が認められるが、此の異常層は圧着時に発生する jet に基いて生成される。従つて爆轟圧着時に最初に来るものは合金相ではなく、一般的には混合層と解すべき事が、親和性のない軟鋼と銅との組合せに関する実験から結論された。一方親和性の大きい金属の組合せの場合には混合層が新しい合金相を形成する事を銅と真鍮の組合せにおいて確め得た。軟鋼とアルミニウム及びチタンの組合せの場合の異常層中粒界構造を示さない部分も亦合金相と思はれるが顕微鏡観察のみでは確定し得ない。

成型装薬のV型ケースの崩壊の場合に、ケース金属の一部が jet になつて放出される事はよく知られた現象であるが、要は或る限界以上の高速で二物体が衝突する時 jet は常に発生するものである³⁾。又その理論的取扱いは Walsh⁴⁾等によつて行はれている。本実験の如き金属材料の組合せ様式の場合にも局部的に jet の発生する条件が成立していると考えられる。圧着し合う異種金属の両面はもとより完全に平滑なものではない故、jet の発生し易い空隙として Fig.3 如き状態を推定する事が出来る。この状態において金属

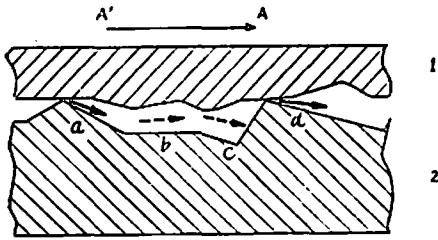


Fig. 3. A production of micro-jet by collision between a metal plate (1) accelerated by a detonation and a metal plate (2). Arrow AA' is the direction of detonation and others show lines of jet action.

板或いは管がある限界値以上の高速で他材料に衝突圧着する時、Fig. 3 の a, d の如き箇所においてはそのままの形状において、又 b, c, の箇所においては爆轟圧による衝突が一方から進行して来て結局 a, d と同じ形状になりながら jet を放出する事になる。各箇所発生した jet が内蔵されて圧着が完了する故、結果として Fig. 2 の如く限局された異常層が観察される事になる。即ち jet 発生条件（空隙の形状、限界値以上の衝突速度）がそろう部分のみに jet が発生し、然らざる部分は jet なしの圧着となる。

上述の如く異常層では jet の放出に基づく混合が初期に行はれる。jet の運動エネルギーが熱に変換される事によって混合領域の温度は千数百度に上昇する。しかもその上昇は混合領域に突如として起る故、混合領域外は常温であり冷源として作用する。即ち混合領域発生の瞬間をとつて考へれば高温部が低温部と千数百度の温度差をもつて不連続的に接する事になる。かかる状態が一旦瞬間的に成立した後に熱伝導が起る。しかし冷源として両側母金属の熱容量は高温領域のそれに比すれば非常に大きく、従つて顕微鏡的規模の高温領域はそれ自体冷却されるが、母金属が熱伝導によつてかなりの面積において融解なり再結晶を起す事はまれであり、それ等の現象が起つても勿論顕微鏡的規模で起るにすぎない。以上の事は模型的には、例へば大型厚肉の鉄容器に極めて少量の溶融鉄を滴下した場合に起る現象を類推している事になる。即ち此の際溶融鉄は急速に凝固するが、容器の方は常温と殆んど変わらない。以上の様な考え方によつて異常層が両側の母金属に対して明瞭な領域区分をもち、且つ母金属に熱変化が殆んどなく両側の母材が加工状態のままにとどまりがちなる事を説明得る。勿論上述の事は一般的傾向を示したものであり、金属の種類により、又爆薬の種類とその量とにより異常層に接する母材に種々の程度の熱的影響が起り得る。

jet の発生を伴う圧着は機械法では全然期待出来な

いものであり、異種金属の強固な圧着体を得るため有利な現象と思はれる。即ち従来鑄造法や熱間加圧によつて製造されて来た異種金属複合体に対して、爆轟法による製造の可能性が示唆される。米国における爆轟圧着の様子は American Machinist の本年 4 月号⁹⁾により推察し得るが、二枚の板材の一边を或る角度をもたせて接し両板材の外側に爆薬を設ける、と云う成型装薬の場合に最も近い形態を採用している。此の様な方式では jet の発生量が充分多く、“explosive welding”なる表現が適切である程強固な接着の得られる事は成型装薬のスラグの場合と同様ではあろうが、母金属板の損傷も又大きいと思はれる。本実験においては二つの金属材料に対して故意に角度をつける事はせず、金属材料面の凹凸からの micro-jet によつて圧着を行うとしたものである。又棒材に対する管材の圧着体には、機械加工を施す事によつて異種金属被覆線や小径棒の製造の素材としての用途を見出し得ると思はれる。しかし jet の発生を伴はせるためには圧着用の板又は管の肉厚はあまり厚くは不可である故、肉厚の圧着を行うためには多重圧着の必要が出て来る。更に又 jet 発生効果はその本質において兩種材料を顕微鏡的微小領域において混合し得たと云う事であり、此の層を有効にするためには、二次的に加熱処理を施し混合層の安定化（加工の除去と拡散による合金化）を行はせる事も必要と思はれる。

IV. 総 括

異種金属を特に傾斜をあたへた形状で組合せないでも、此の組合せに直接法による爆轟圧を作用させる時は micro-jet の発生を伴つた圧着が行はれる。此の事は鋼と軟鋼の如く合金を作る親和性のない材料の組合せの場合について明瞭に認められる。一方合金を作り易い金属の組合せの場合であつても、必ずしも均一完全な合金相を形成するとは限らず、一方の金属の jet 粒子がそのまま保存される場合がある。脆い合金相を生成する異種金属の組合せに爆轟圧着を行う時、生成した合金相に亀裂が発生する故、組合せる材料の選択に留意する必要がある。

本稿を作成するにあつて機械工学教室の行方二郎氏より種々討論と有益な助言を賜つた。記して厚く感謝の意を表する

文 献

- 1) 野村羊三：工業火薬協会誌，21，375 (1960).
- 2) 野村羊三：工業火薬協会誌，22，28 (1961).
- 3) J. Pearson: J. of metals, 673 (Sept.—1960).
- 4) J. M. Wash. R. G. Shreffler, F. J. Willing: J. Appl. Phys., 24, 349 (1953).
- 5) Anon: American Machinist, 119 (April 17, 1961).

Photomicroscopic Observations on Interface Between Dissimilar Metals Welded by Detonation

Yōkan Nomura

When two metal parts are welded by detonation of explosive, a clad metal is formed. An interface layer between the parts is different from the parent metals owing to an action of surface jetting. It is necessary to know the metallurgical nature of the layer for practical use of the clad metal. Several photomicroscopic observations on the cross section of the interface between the two dissimilar

metal parts have been made. If an alloy is easily made from the parent metals by an usual method they are welded not mechanically but metallurgically by the explosive method. In the present work, however, it is pointed out that the interface layer is not always a perfect alloy and is accompanied with cracks in some cases. (Department of Chemistry, Defense Academy, Yokosuka, Kanagawa).

D.D.N.P. に関する研究

(第1報) D. D. N. P. のアルカリ分解物に就て

石川 正 治*

1. 緒 言

D. D. N. P. 即ち 4-6-ジニトロベンゼン-2 ジアゾ-1 オキサイドは1858年に Peter Griess¹⁾ によつて合成されたジアゾ化合物であり、又これを火薬として利用する事も Clark²⁾ 其他によつて研究されて居る。併し乍ら D. D. N. P. はその合成法によつて生成する結晶の形が非常に変わるものであり、現在までも針状、板状、球状等種々の形のものが得られて居る。此等は工業的に D. D. N. P. を利用しようとする際に種々の異つた性能を示すが、此等の点を検討した報告は少いし、又更に進んで、何故このような合成法を用いれば此のような結晶のものが得られるかと言うような化学的方面の検討は更に少いように思われる。筆者は此等の点に関して一連の研究を行つたが、第一報に於ては其のうちの基礎的研究として D. D. N. P. のアルカリ溶液中での分解機構に就て報告する。此等の事柄は D. D. N. P. の分析、合成等の化学的研究に関連して

重要な意味を持つものであるが、その詳細に就ては別報で報告する事にした。

2. D. D. N. P. のアルカリ分解物の分離

D. D. N. P. を苛性ソーダ水溶液のようなアルカリ中に投入すると完全に溶解、分解して黒褐色の溶液になる。此の溶液の組成が如何なるものであるかを研究し、それから D. D. N. P. のアルカリ溶液中での分解機構を推定するのが本報の目的であるが、此の溶液は化学的に単一な化合物の溶液ではないので、先づ各成分に分離する事を研究しなければならない。その方法として最初にペーパークロマトグラフによつて成分を分類し、次にカラムクロマトグラフにより各成分の分離を試みた。その状況は次の通りである。

(2)-1 分解液のペーパークロマトグラフィー

1g の D. D. N. P. を苛性ソーダ水溶液 (2g の苛性ソーダを 20cc の水に溶かした液) を用いて分解する。30分位攪拌すると大体分解を完了する。この分解液をペーパークロマトグラフを用いて展開した。用紙は No. 50 の濾紙を用い、展開液としてはブタノール、

昭和36年8月3日受理

* 日本化薬株式会社折尾作業所火工品研究課 福岡県松本市祝川