

爆 発 加 工 の 応 用

第VI報 爆轟による金属粉末の圧搾

野 村 羊 観*

I. 緒 言

火薬類の爆発時における動的高压を利用して粉末を圧搾する実験の報文は数例¹⁾を出ないが、此等の報文は粉末の爆発圧搾はこれから大いに発展するであろう爆発加工の一分野である事を思わせる。本邦においては木村氏²⁾によりピストンを介して作用させた爆轟圧及び静圧により圧搾された金属酸化物の性質の差異についての実験結果が発表されている。爆轟圧搾の実験例に乏しい現在何よりも現象の起り方についての資料を蓄積する事が重要であり、本実験は圧搾体の欠陥、加工性、組織、硬度分布、等について初歩的経験を得るために行われたものである。

II. 実 験

爆薬と粉末との組立て方にはいくつかの方式が考へられるが、本実験では Fig. 1 に示す如く、銅管に金属粉末を充填し、これの外側より軸方向に移動する爆轟圧を加へる方式を用いた。粉末の種類、爆薬の種類と薬層の厚さ、銅管の外径と肉厚等が変致となる。爆薬は粉状のものを振盪しながら充填したが、此の様な充填方式による仮比重を求めて見ると、テトリール=0.71~0.76、ヘキソゲン=1.06~1.1、樟カーリット=1.0~1.02、黒カーリット=0.95~1.0である。金属粉末はチタンが325メッシュ以下の微粉末、鉄粉は純鉄で100メッシュ以下の不均一度の大きい粉末である。金属粉末は銅管に加圧する事なく振盪をあたへながら充填した。

爆轟を行った直後の銅管は手で持てない程温度が上昇している。此の温度の上昇は銅管に爆轟熱が伝導した分も若干含まれるであろうが、銅管の断熱的変形による加工熱、銅管内部の粉末の運動に基づく摩擦熱、粒子間の衝突に基づく運動エネルギーの熱変換、更に包蔵される空気の断熱圧縮に由来する発熱等の各種の原因によるものと考へられる。Table 1 に実験条件と爆轟後の銅管の外径と断面積の縮小値を示す。銅管は外径の縮小の結果当然最初の肉厚よりも厚くなる。此の表の Expt. 6 は金属粉末を充填しなかつた場合で

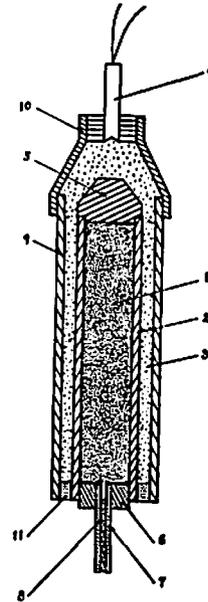


Fig. 1. A system for explosive compacting of metallic powder. 1 Metallic powder, 2 Copper tube, 3 Explosive, 4 Detonator, 5 Metallic cap, 6 Rubber stopper, 7 Vacuum line, 8 Cotton wool, 9 Hard plastic tube, 10 Cap.

一体化してむく棒となる。Expt. 2 において外径の縮小が少ないのは100メッシュ以下の不均一な鉄粉の間隙に325メッシュ以下のチタン微粉が入り込み全体として空隙の極めて少ない充填が予め行われた事によると思われる。

III. 圧搾体の欠陥

Photo. 1 は Expt. 3 の場合の銅管径の縮小状態、Photo. 2 はその上端面である。上端面は極めて硬く表面層が融解したような感じを受け、且つ中央部には円形の輪かきが見られる。他の例において中央部に明瞭に限局された小孔の見られる場合もある。Photo. 3 は Expt. 3 の試料をほぼ五分分した場合の状態を示すが、小孔の認められない切断面も顕微鏡的には空隙が認められる。切断面は銅管に接する部分より或る範

昭和36年9月9日受理
* 防衛大学校 松須賀市小原台

Table I. Per cents of decrease in outer diameter of copper tubes and in the cross sectional area under various experimental conditions (in mm).

Number of experiment	Copper tube		Explosive charge		Metallic powder	Decrease in outer diameter		Decrease in area %	Number of photograph in text
	Outer diameter	Thickness	Kind	Thickness of layer		Mean value	%		
1	30	1.0	Kaba-Carlit	5	Iron	25	16.7	30.5	7
2	30	1.0	Tetryl	5.5	Titanium	25	16.7	30.5	5, 8
3	19	1.2	Kuro-Carlit	4.5	Iron	15	21.2	37.8	1, 2, 3, 9
4	19	1.5	Tetryl	7.5	Iron	15	21.5	37.8	6
5	19	1.2	Tetryl	6.5	Iron(1)+Titanium(1). Mixture	16	15.8	56.3	10
6	19	1.5	Tetryl	4	No	10	47.5	72.2	
7	25	1.5	Hexogen	3.5	Iron and Titanium. Two layers	19.5	22	39.5	4



Photo. 1. A view of a copper tube loaded in the manner in Fig. 1. (Expt. 3)



Photo. 2. A view of the upper surface of the sample shown in Photo. 1.

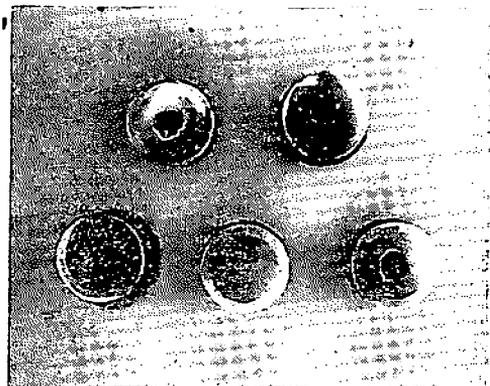


Photo. 3. Views of surfaces of the sample for Photo. 1 divided into equal five parts. One of them has no hole.

面にわたつて完然な金属光沢を示し、此の範囲はついで金属光沢を示さない部分に急に变化し中心孔に及んでいる場合が多い。この事は本実験の条件で認められた傾向であり、中心孔の大小は使用した金属粉末の圧搾性、粒度、初期の充填度、並びに薬量等により影響される。

Photo. 4 は充填管の上部にチタン粉末、下部に鉄粉を二層にして入れ、且つ粉末間の介在空気を除去して爆轟を行つた場合である (Expt. 7)。此の結果によれば空気を除去しても中心部には孔を生ずる故、空気の放散通路としてのみの理由から孔が生ずるものではないと考へられる。Cassity³⁾ は銅並びに銅合金を爆薬中に埋没し、その爆薬を一端で起爆する時、軸方向



Photo. 4. A view of longitudinal section of a sample loaded after evacuation of air. (Expt.7) Upper part : titanium powder. Lower part : Iron powder.

中心部に孔の生ずる事を報じている。本実験において圧搾される系は粒子の集団であり原子間力で結合している一つの物体ではない。後者では内部に侵入した応力波と関連した物質速度が明確に定義されるのに対して、前者では個々の粒子の並進運動としての挙動が優り、波動と関連した物質速度が後者の場合と同様に定義し得るか否か疑問であり、粉体系と固体系とにおける孔の生ずる理由は必ずしも同一でないと思われる。

Photo. 5 はチタン粉末の圧搾体 (Expt. 5) で外



Photo. 5. A green compact of titanium powder, showing cracks at the outer surface. (Exp. 5)

周に現はれた亀裂を示したものであるが、これとは別に中心孔より径方向に放射状の亀裂も生じている。なほ Photo. 4 によれば、チタン粉末の方が鉄粉より亀裂を生じ易い。

IV. 圧搾体の加工性

圧搾体を取り出すためには、旋盤により外側の銅管を除去しなければならないが、この加工は容易であり、前記の如き欠陥を有してはいるが一応棒状の圧搾体を得る事が出来る。Photo. 6 は Expt. 4 の場合



Photo. 6. Rods of green compact of iron powder. Right sample : $\phi 10.8 \times 26\text{mm}$. (Exp. 4)

であつて長さ 10cm 位の棒を得る事は容易である。鉄粉の場合圧搾体自体に旋盤加工を施して見ると、再び粉状の旋盤屑となる。Expt. 1 の試料について、中心孔をドリル穿孔を施して環形円筒状のものを切り出したものが Photo. 7 であるが、写真に見られる三



Photo. 7. A green compact of iron powder (Exp.1). o.d. $23 \times 25\text{mm}$. The initial hole was modified with a drill. The three sign on the upper surface was made by holding the sample in the teeth of a turning lathe.

つの刻印は圧搾体を直接旋盤に喰へたために生じたも

のである。かく直接旋盤加工に耐える焼結前の圧搾体は普通の機械的加圧法では望めない事と思われる。

チタン圧搾体は極めて硬く中心孔の整形のためドリルで穿孔を試みてもうけつけないし、又高速度カッターで径方向に切斷する時も極めて長時間かかる。硬度の項で示す如くチタン圧搾体の硬度値は異常に大きい。又圧搾体自体に旋盤加工を行つて見ると、Photo. 8 に示す如く旋盤屑は連続したものが得られる。



Photo. 8. Turning scraps obtained from the sample shown in Photo. 5 and brocks obtained from the same sample by hammering.

V. 組織

Photo. 9 は Photo. 3 の切斷試料中で小孔を有し

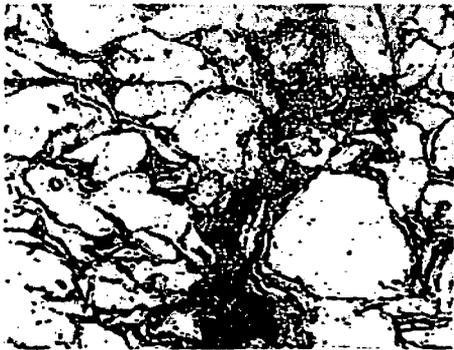


Photo. 9. Photomicrograph of central portion of the sample revealed no hole in Photo. 3. Etchant: 2% HNO₃-alcohol solution. $\times 550 \times \frac{2}{3}$.

ないものの中央部の組織であるが、大形粒子の間隙をうづめるが如くに小形粒子が充填し合つてはいるが、銅管近傍に比すれば間隙が多い。但し中央の空隙は粒子間の空隙ではなく、中央孔に相当するものである。銅管近傍では大小の粒子が相互に充分変形を起して空隙の存在しないように充填されている。この様な事は従来の静圧法の範囲では見られなかつたものである。

Photo. 10 はチタン粉末と鉄粉とを等重量比で混合した Expt. 5 の試料の組織であるが、間隙のない分

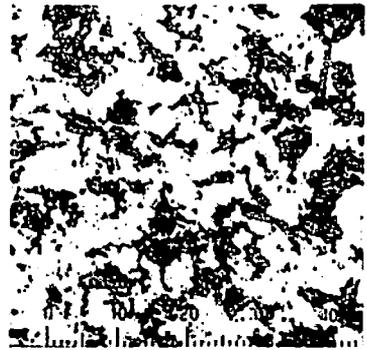


Photo. 10. Photomicrograph of central portion of a green compact of equivalent mixture of iron and titanium powders. (Exp. 5) Etchant: 2% HNO₃-alcohol solution. $\times 136 \times \frac{2}{3}$.

散を示している。同様の検鏡像は、鉄粉とアルミニウム粉末、鉄粉の場合においても得られた。

VI. 硬 度

微小硬度計を用い、鉄粉圧搾体について 200g 荷重、チタン粉圧搾体について 300g 荷重下で径方向の硬度分度を測定した。硬度の分布曲線の例を Fig. 2 に示す。曲線 1 (Expt. 7. チタン粉末) と曲線 2 (Expt. 3, 鉄粉, Photo. 5 において中心孔を有するもの) とは中心孔を有する場合、曲線 3 (Expt. 3, 鉄粉, Photo. 2 において中心孔を有しないもの)、曲線 4 (Expt. 5, 鉄粉とチタン粉の等量混合物) は肉眼的に中心孔のない場合である。中心孔を有する場合の硬度の左右対称性は非常に悪い事がいわれる。いずれの場合においても最高硬度の部分は銅管に接する事なく若干内側にある。この事は爆轟により温度の上昇した銅管を熱源としてそれに接する部分の加工硬化が除去されるためと思われる。最高硬度の部分より中心に向つて硬度は極めて急に減少するが、圧搾の程度の悪い事が大きな原因と思われる。曲線 1 (Expt. 7, チタン粉末) の場合には硬度が約 400 以上最高 600 前後であつて極めて硬い。此のチタンの異常に高い硬度は圧搾の程度の問題ではなく、中心孔周辺の温度が異常に上昇して、爆轟圧搾時に窒化チタンの生成する事を思わせる。

VII. 本法の実用性

本報の粉末圧搾方式は米國 du Pont 社より日本特許として出願され、本年 3 月 23 日付で公告になり、次いでその発展として中空粉末圧搾体の製法も 5 月 27 日付で公告された。du Pont 社が 3 年前から本圧搾法について可成りの経験を積んでおり、特許記載事項と本報の実験結果とを直ちに比較するわけにも行か

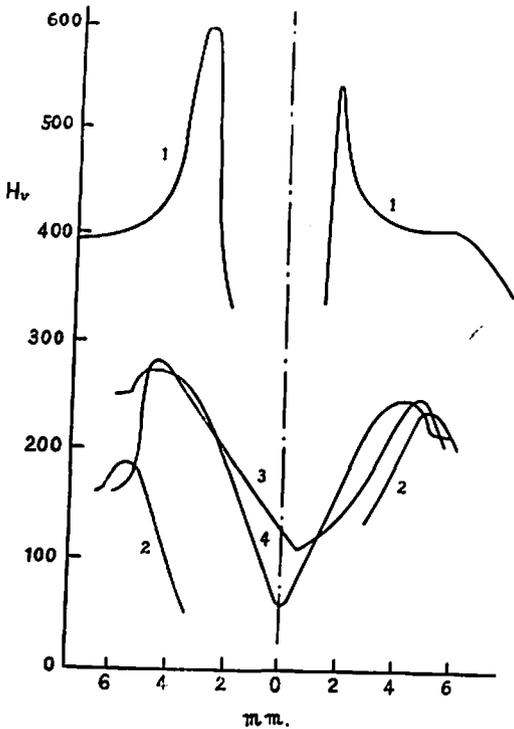


Fig. 2. Vickers microhardness-distance curves along radii of surface sectioned transversely. The distance was measured by setting zero point at the center of the surface.
 1: Titanium compact (Exp. 7).
 2: Iron compact (a sample revealed hole in Photo. 3).
 3: Iron compact (a sample revealed no hole in Photo. 3).
 4: Titanium-iron compact (Exp. 5).

いが、特許は緻密な圧搾体の得られる事を主眼としている。本報文の Photo. 6 の試料について密度を求める時、中心孔を有するにも拘らず全体として 7.37 の値を示している。此等の特許について学ぶべき点の一つは実験規模の大きい事であり、径 20cm、長さ 30cm という大型の圧搾実験を数 kg の爆薬を用いて行っている。第二の点は静圧法で問題の多い金属粉末に本方式を適用しているほか、結晶性酸化ウランの圧搾をも試みている。これは原子炉燃料棒の製作を目的としていると思われるに値する。又実験には可塑性爆薬を用いているが此の種の爆薬が発達している点も好ましい事である。

本圧搾方式は高密度圧搾体を得る一つの方式ではあるが、本報文の実験結果からいへば、中心軸に沿うての孔の発生、あるいは孔が一応ない場合であつても圧

搾度の不均一は避けられない様に思われる。硬度の不均一性は粒子の加工状態に由来する分は焼結の際消失するであろうが、圧搾充填の不均一に由来する分は消失しない。しかし焼結によつて全体として硬度はかなり均一化されると思われるが完全な均一体を得る事は出来ない。もつとも中心部を更めて修正穿孔して円筒を切出すならばよい均一体が得られるとは思われる。又大型の圧搾体から均一な棒材、角材、板材を切出す事も可能である。

VIII. 総 括

金属粉末を充填した銅管の外側に爆薬をおき、これを一端より爆轟させて銅管内の粉末を圧搾する実験を行った。その結果によれば、小さな圧搾体を高密度の均一状態において切り出す事には可能である。しかし欠陥のない大きい棒状圧搾体を得るためには以下述べる事項を解決すべくなお多くの実験が必要である。

(1) 圧搾体は軸方向中心に孔を、外周側面に亀裂を、径方向に放射状の亀裂を伴う事。

(2) 粉末各粒子が塑性変形を伴い粒子間隙をうずめる如く圧搾される点は静圧法に見られない特徴であるが、硬度並びに粒子の充填度には不均一がある事。

(3) 圧搾体は圧搾時にかなりの温度上昇を伴う。此の事も静的圧搾法では起らない現象であり、一種のホットプレスが行われるわけであるが、その温度上昇は必ずしも均一でなく、圧搾体の実用性に対して有益な場合と好ましくない場合とがあり得る。

本実験を遂行するにあたり本校機械工学教室の木村康之氏並びに行方二郎氏より種々御援助を蒙った。チタン粉末は東邦チタニウム株式会社八木節男氏より御恵与を受けた。上記の各位に厚く感謝の意を表する。

文 献

- 1) 火薬法による圧搾については、
米國特許 2, 648, 125 (1953). A. Cross :
The Iron Age, (48 December, 1959).
爆薬法による圧搾については、
E. V. LaRocca and J. Pearson : Rev. Scie.
Inst, 29 484 (1958),
E. W. LaRocca and J. Pearson : Navord
Report 5880, PB- 151944 (1958),
E. W. LaRocca : Metal Progress, 76 95
(Sept., 1959).
- 2) 木村康之：粉体および粉末冶金, 第 8 巻, 58
(1961).
- 3) C. R. Cassity : J. Appl. Phys., 31 1300
(1960).
- 4) 特許公報 昭 36—1952. 特許公報 昭 36—
5958.

Application of Explosive Working (VI) Explosive Compacting of Metallic Powder

Yōkan Nomura

The metallic powder in a copper tube was compacted by a detonation of an explosive layer placed outside of the copper tube. Experimental conditions are indicated in Table I. Machinability tests, hardness measurements and photomicrographic observations for green compacts were made. Each green compact has inhomogeneities both in hardness-distribution and in degree of packing of powder

particles.

The compacting method is unsuitable for preparation of a large rod of green compact, since holes and cracks are formed, as shown in Photos. 3, 4 and 5. The method is, however, applicable to preparation of a small piece of high density compact, if undesirable parts in the parent compact are cut off.

(Defense Academy, Yokosuka)

ニュース

球形ロケットの研究

東大生産技術研究所糸川研究室では球形ロケットの開発研究を行なっている。この特長は①エンジン重量の割には推進薬の重量が大きくとれること②ふつうロケットのように尾翼で安定させる必要がないため構造上の複雑さがない③剛体としての安定性がふつうのロケットよりもよい④飛行方向を自由に選ぶことができるなどである。球形ロケットの推進薬の性質として要求されているのは①直填できるものであること②70°C以上の加熱に対し変質劣化しないものであることなどで、これまでに硫化ゴム系推進薬がやや満足な結果を示している。

一方米国防空宇宙局でも球形ロケットの研究が進められておりこれと情報交換も予定されているので、実用化に向つての研究は一段と進むものと期待される。(日刊工業 36-9-1)

電気機械器具の防爆構造規格制定される

労働者はこのほど労働安全衛生規則に基づき電気機械器具の防爆構造規格を定め、10月から施行することになった。これは引火性液、可燃性ガス、粉塵などによつて引起される爆発災害を防ぐため、モータースイッチなどの発火源を防爆構造にすると共に、これら爆発危険場所での電気機械器具は防爆性を備えたものでなければ使用できないことをつきり規定したものである。今回定められた内容の中それぞれの場所で使用する防爆構造は次のようなものである。

- 耐圧防爆構造
- 内圧防爆構造
- 安全増防爆構造
- 油入防爆構造
- 粉塵防爆普通防爆構造
- 粉塵防爆特殊防爆構造。

(日刊工業 36-10-13)

コンポジット系推進薬の開発活発化

従来のダブルベース系固体燃料では比推力が若干弱いといわれているので更に推力の高い新推進薬の開発研究が活発化している。日本油脂ではニトログリセリンを基剤とし過塩素酸アンモン、ポリマーを組合せたNAPを完成したがこれは230~240の高比推力を示す。

またNAPに似たポリグリニジルナイトレートも完成した。一方大日本セルロイドもアクリル酸ニトロブチル、酸化剤を基剤としたコンポジット系推進薬を開発し230の比推力を示した。旭化成坂の市工場でも過燐酸アンモン樹脂を配合した推進薬を開発、すでに径25cm長さ1mの燃焼室を製作、実験の結果比推力220を得た。各社とも更に性能品質の向上研究を進めている。

(日刊工業 36-11-6)

天然色黑白両用の高速度カメラ

米海軍兵器研究所では原子力委員会の要請により、高速被写体を撮影する天然色黑白両用カメラの開発を行なっている。被写体の鮮明度を失わずに5千万分の1秒の開放時間で写真が撮れるように、カメラは解放レンズを用い像を捕えて回転鏡に送る。光線は他の鏡とレンズを通り抜けた後同じ回転鏡により映画フィルム上に像として写し出される。

この新型カメラはコマ撮影の場合に5千万分の1秒、連続撮影の場合毎秒100万コマの撮影ができる。このカメラのシャッターは映画カメラ用のフォーカスブレーンシャッターの原理の最初の応用と思われる。

[日刊工業 36-11-8 (Ordinance 9.10月 p.268)]