DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2021.03.006

压制压力对粉末药型罩射流性能的影响

邢仁东[1],盛廷强[1],李哲雨[2],李尚杰[2],李必红[2],鲁　坤[2]
(1. 中海油田服务股份有限公司,天津 300452;2. 西安物华巨能爆破器材有限责任公司,陕西 西安 710061)

摘　要:通过对旋压成型的粉末药型罩进行密度测试、压溃压力测试和破甲性能测试,研究压制压力对粉末药型罩射流性能的影响规律。结果显示:随着粉末药型罩旋压压制压力增大,药型罩密度和压溃压力均呈增加趋势,药型罩射流破甲穿深和稳定性出现两处明显波动。当压制压力增大到 110 t 时,射流的破甲深度和稳定达到最佳状态。

关键词:药型罩;孔隙度;压力;射流;性能
中图分类号: TJ410.4　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2021)03-0184-04

Effects of Compacting Pressure on the Jet Performance of the Powder Liner

XING Rendong[1], SHENG Tingqiang[1], LI Zheyu[2], LI Shangjie[2], LI Bihong[2], LU Kun[2]
(1. China Oilfield Services Limited, Tianjin 300452, China; 2. Xi'an Wuhua Juneng Blasting Equipment Co., Ltd., Xi'an 710061, China)

Abstract: The effect of pressing pressure on the efflux performance of the powder shell was studied by density test, crushing pressure test and armor-breaking performance test. The results show that with the increase of the spinning pressure of the powder shell, the density and crushing pressure of the powder shell increase, and the penetration and stability of the jet penetration of the powder shell fluctuate obviously. When the pressure is increased to 110 tons, the penetration depth and stability of the jet reach the best state.

Key words: liner; porosity; pressure; jet; performance

粉末药型罩是石油射孔弹中的关键部件,对聚能射孔弹射流的性能起到决定性作用。粉末药型罩在旋压过程中,受粉末颗粒大小、药型罩配方、粉体混合均匀性、压制压力等因素影响较大。在配方和粉体都确定的情况下,压制过程是粉末冶金成形工艺中的重要阶段之一。压制过程中选择不同的压制参数对于混合粉的应用会产生重要影响,而压制压力是压制过程的关键因素[1-2]。宋玉强等人[3]研究了压制压力对 Cu/Ni 粉末烧结行为的影响,通过增大粉末成形压制压力,促进固相烧结过程中的界面扩散和迁移,对生坯和烧结体的致密度和硬度都有提升趋势。赖康华等人[4]通过正交试验法对影响药型罩成形的主要工艺参数进行分析,得到压罩压力是主要影响因素。但上述研究成果均未将压制压力对粉末药型罩的影响程度进行深入分析。

本文以钨铜铋粉末药型罩为例,分析不同压制压力对粉末药型罩旋压成型工艺的影响规律;在此基础上研究压制压力对射流性能及稳定性所产生的影响效果,以便为同行业专家在药型罩旋压成型工艺上提供参考。

1　粉末药型罩旋压成型

1.1　粉末药型罩材料选择

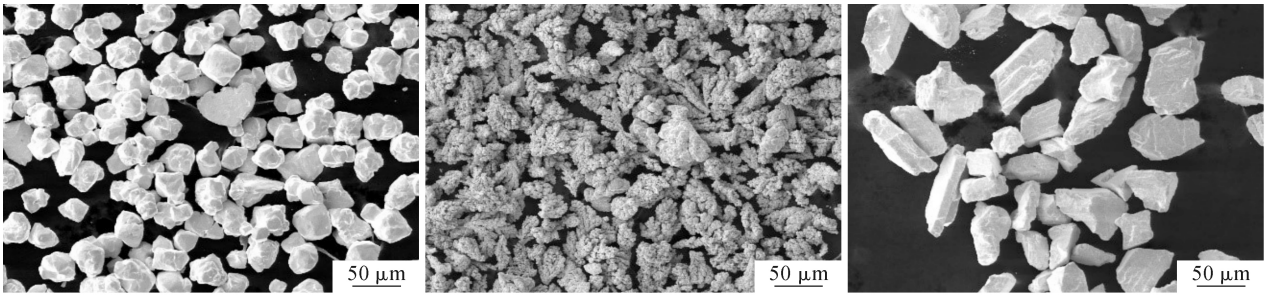
文中选用以钨粉、铜粉和铋粉为基的药型罩进行试验,改善旋压过程中压制压力在药型罩外壁的分布,提高药型罩穿深稳定性;在药型罩金属粉内添加少量粘结剂[5]。不同粉末颗粒对药型罩的成型性和压缩性有较大的影响[6]。本文采用的钨粉、铜粉和铋粉 3 种金属粉的颗粒形貌如图 1 所示。

1.2　粉末药型罩成形工艺

宋志伟等人[7]通过灰色度分析法研究了粉末药型罩配比、烧结温度、球磨时间和成型压强对聚能射流的影响,从关联度影响因素结果分析得出药型罩配方是最重要的参数。本文为研究压制压力对药型罩射流的影响程度,药型罩选用钨:铜:铋质量比为 10:70:20 的配方,外加 1%粘结剂,通过混粉机混合 120 min 后进行旋压成型,阴模旋压转速、保压时间等参数均保持不变;选用的药型罩口部直径为 45 mm,药型罩结构示意图见图 2 所示。粉末药型罩

收稿日期:2020-09-06
作者简介:刑仁东(1982—),山东郓城人,学士,工程师.主要从事海上电缆测井及射孔作业.电话:13820755817,Email:xingrd@cosl.com.cn.
通讯作者:李尚杰(1985—),山西应县人,硕士,高级工程师.主要从事石油爆破器材与射孔技术的研究.电话:18189181624,Email: zbdx04081401@163.com

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net



(a)钨粉　　(b)铜粉　　(c)铋粉

图 1 三种金属粉颗粒形貌

Fig.1 Morphologies of three kinds of metal powder particles

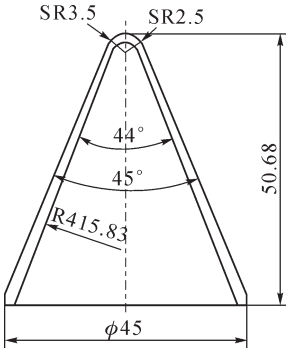


图 2 药型罩结构

Fig.2 Structure of shaped charge liner

旋压成型时设置 10 个不同的压制压力参数,70 t 为最小压制压力,压力增加量为 5 t,115 t 为最大压制压力。

2 试验设计及方法

2.1 粉末药型罩密度测试

利用 DH-900 型固体密度测试计通过排水法测试粉末药型罩密度,每种压制压力条件下的粉末药型罩测试 3 发,取平均值。

2.2 粉末药型罩抗压性能测试

用 TYE-10 型压力试验机测试粉末药型罩单轴方向的压溃压力,测试仪器见图 3。

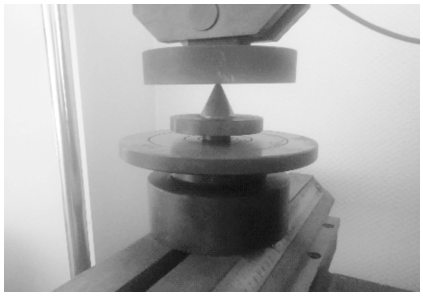


图 3 粉末药型罩抗压测试

Fig.3 Pressure testing for powder liner

2.3 静破甲测试

将不同压制压力条件下制备的粉末药型罩压制成射孔弹,射孔弹装药量为 38 g。压制射孔弹工艺参数相同,采用地面固定炸高的方法[8],固定炸高为 60 mm。主靶材料选用 45# 钢,主靶尺寸为:直径 ϕ160 mm、高度 200 mm;副靶直径 ϕ160 mm、高度 20 mm;采用常温级导爆索。每种成型压力参数的药型罩装配后的射孔弹测试 3 发,测试其射流破甲性能和稳定性。射孔弹静破甲试验装配示意图见图 4。

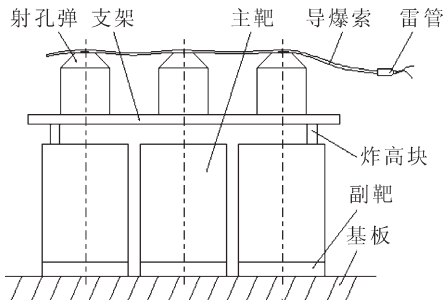


图 4 射孔弹静破甲试验装配示意图

Fig.4 Assembly diagram of perforation static armour-breaking test

3 结果与分析

3.1 不同压制压力对粉末药型罩密度的影响

对 10 种压制压力条件下粉末药型罩的密度变化趋势进行了测定,结果见图 5 所示。

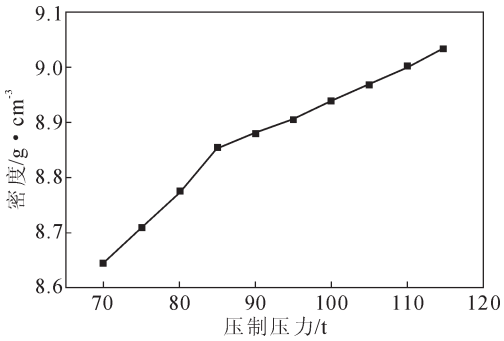


图 5 粉末药型罩密度随压制压力的变化

Fig.5 Variation of the density of the powder liner with compacting pressure

根据康诺匹茨基公式,压制压力与压坯相对密度呈直线关系。该式在中压及高压范围内应用较好,在很低压力下出现偏差,适用于大多数粉末的压制[9]。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

从图 5 中可以得到,粉末药型罩的压坯密度也符合上述压制机理的变化规律。

3.2 不同压制压力对粉末药型罩抗压性能的影响

通过单轴抗压性能测试，得到 10 种压制压力条件下粉末药型罩的压溃压力,结果见图 6 所示。

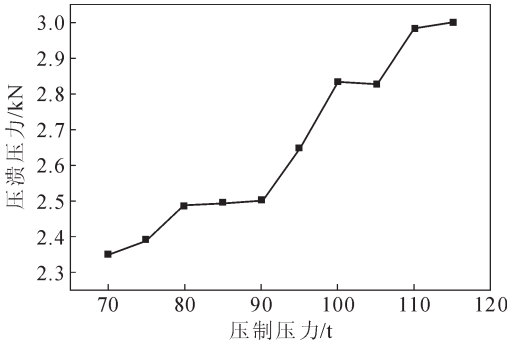


图 6 药型罩抗压强度随压制压力的变化

Fig.6 Variation of the compressive strength of the powder liner with compacting pressure

由于粉末药型罩属于回旋体,整体压坯比较脆弱,药型罩的压溃压力较低。从图 6 可见,随着压制压力的增长，出现了两处抗压强度平缓变化区,表明粉末体在受压后体积明显减小,粉末出现位移的同时还发生了变形。一些学者认为压制成形过程中,粉末颗粒的受力行为可以分为粉末颗粒的重堆积、弹性变形和整体变形等三个阶段[10]。作者认为图 6 中第一个平缓区属于粉末颗粒的位置重置，即颗粒的重堆积;第二处平缓区属于粉末颗粒的弹性变形和塑性变形;后期随着压力增大,颗粒在接触部位产生局部变形,接近多孔材料的致密化阶段。由于受模具材料和安全性的考虑,文中未进行更大压制压力的测试。

3.3 不同压制压力对粉末药型罩射流破甲性能的影响

通过地面射孔弹破甲性能测试,得到不同压制压力条件下各粉末药型罩的射流破甲性能,结果见表 1。

由表 1 可得到随着压制压力增加粉末药型罩射流破甲性能的变化趋势,如图 7。

从图 7 中可见,随着粉末药型罩压制压力的增加,射流破甲性能整体呈现上升趋势。根据侵彻流

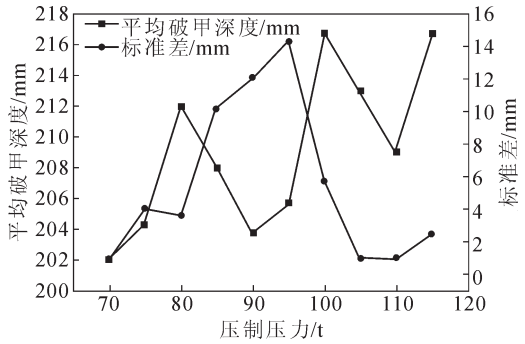


图 7 射流破甲性能随压力变化趋势图

Fig.7 Trend diagram of Sunder armor performance of jet with pressure

体力学理论[11],随着药型罩密度增加,射流侵彻深度呈上升趋势;在压制压力为 80 t 和 100 t 时出现两个峰值，与药型罩抗压强度出现拐点的压制压力相吻合。这表明药型罩粉体颗粒的重堆积和弹塑性变形对射流破甲性能有较大影响；到金属粉整体变形阶段,药型罩趋于致密化后射流穿深又达到最高点。

根据 SY/T5128-1997《油气井聚能射孔器通用技术条件》中关于射孔弹穿钢靶破甲深度稳定性计算公式[12],破甲深度标准差越小,破甲稳定性越高。从图 7 中看到，射流的破甲的稳定性出现从高到低到高的变化趋势,在压制压力为 95 t 时出现拐点,稳定性逐渐升高;当压制压力达到 110 t 时破甲稳定性最高。而在实际制造过程中,要考虑破甲穿深、破甲稳定性、模具耐磨周期、液压机损耗等因素综合选择粉末药型罩的旋压成型工艺。

4 结论

(1)粉末药型罩在旋压成型过程中的压制压力对药型罩的密度影响基本符合金属粉末压制原理,随着压制压力增大压坯密度增加。

(2)由于粉末药型罩结构的特殊性,粉末药型罩的抗压强度较小;随着压制压力的升高,药型罩致密度提升,抗压强度呈上升趋势。

(3)粉末药型罩射流破甲性能受旋压工艺过程的压制压力影响较大。随着压制压力增大,破甲深度出现较大波动,整体呈现上升趋势,破甲稳定性也呈现增长趋势。在粉末药型罩旋压成型过程中应综

表 1 粉末药型罩射流静破甲测试结果

Tab.1 Testing results of static armor breaking of powder liner jet

压制压力 /t	破甲深度 /mm	平均破甲深度 /mm	标准差 /mm	压制压力 /t	破甲深度 /mm	平均破甲深度 /mm	标准差 /mm
70	201,203,202	202.0	1.00	95	209,190,218	205.7	14.29
75	209,202,202	204.3	4.04	100	223,215,212	216.7	5.69
80	208,215,213	212.0	3.61	105	213,212,214	213.0	1.00
85	210,197,217	208.0	10.15	110	210,208,209	209.0	1.00
90	208,190,213	203.7	12.10	115	219,214,217	216.7	2.52

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

合考虑生产条件和成本因素，选择合适的压制压力进行制造。

参考文献：

[1] 费多尔钦科著. 北京钢铁学院粉末冶金教研室译. 粉末冶金原理[M]. 北京：冶金工业出版社，1974.

[2] 王盘鑫. 粉末冶金学[M]. 北京：冶金工业出版社，1997.

[3] 宋玉强，李世春. 压制压力对 Cu-Ni 系粉末烧结行为的影响[J]. 材料开发与应用，2003，5(18)：10-13.

[4] 赖康华，杜明章，雷新华，等. 正交试验在粉末药型罩制造工艺参数研究的应用[J]. 爆破器材，2010，6(39)：34-40.

[5] 付代轩，李云，谢湛. 粘结制粒复合粉末应用于射孔弹药型罩压制的研究[J]. 测井技术，2008，5(32)：479-482.

[6] 郝伟，刘天，王凤英. 粉末药型罩铸造过程中粉粒大小和形状对射流性能影响[J]. 铸造技术，2012，3(33)：342-344.

[7] 宋志伟，王凤英，刘天生. 钨铜粉末药型罩制备工艺的灰色度分析[J]. 铸造技术，2011，32(12)：1724-1726.

[8] GB/T 20489-2006，油气井聚能射孔器材通用技术条件[S].

[9] 胡建华，尚会森，程呈，等. 金属粉压制成形理论与工艺进展[J]. 材料热处理技术，2012，20(41)：45-48.

[10] 汪明波. 粉末压制成形的研究[D]. 长春：吉林大学，2007.

[11] 韩欢庆，陈飞雄，甘乐，等. 钨在药型罩中的应用[J]. 中国钨业，2004，19(1)：26-28.

[12] 中国石油天然气总公司. 油气井聚能射孔器通用技术条件：SY/T 5128-1997[S].

（上接第 183 页）

[8] 王迪，杨树峰，曲敬龙，等. GH4169 电渣重熔铸锭表层夹杂物分布规律 [J]. 钢铁:2021，1-8. https://doi.org/10.13228/j.boyuan.issn0449-749x.20200270.

[9] XUE Hao, ZHAO Jing-qi, LIU Yong-kang, et al. δ-phase precipitation regularity of cold-rolled fine-grained GH4169 alloy plate and its effect on mechanical properties [J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2020, 30(12).

[10] 陈金仝，蒋海清，潘绘伊，等. 热处理工艺对 GH4169 合金组织和性能影响[J]. 钢铁钒钛, 2018, 39(6):168-172.

[11] 王春光，王东哲，万红，等. 锻造及热处理工艺对 GH4169 合金组织与性能的影响[J]. 锻压技术, 2014, 39(12):14-18.

[12] 李振荣. 制备工艺及热处理对 GH4169 合金组织与性能的影响[D]. 沈阳：沈阳工业大学，2012.

[13] 马军，申佳林，李茂明，等. 化学成分对 GH4169 合金组织与力学性能的影响[J]. 金属热处理，2020，45(12):197-204.

[14] XUE Hao, ZHAO Jing-qi, LIU Yong-kang, et al. δ-phase precipitation regularity of cold-rolled fine-grained GH4169 alloy plate and its effect on mechanical properties[J]. Trans. Nonferrous Met. Soc. China 30(2020) 3287-3295.

2021年《铸造技术》杂志征订启事

《铸造技术》杂志，中文核心期刊，月刊，1979年创刊，中国铸造协会会刊，被20余家数据库收录。中国标准连续出版物号：ISSN1000-8365/CN 61-1134/TG，国内外公开发行，国内邮发代号：52-64，国外发行号：M855。

报道范围：报道国内外铸造领域的先进科技成果、实用工艺技术、生产管理经验以及铸造行业发展动态。内容涵盖铸造成型工艺和铸造材料研究，并兼顾其他金属材料成型方法。

主要栏目：试验研究、工艺技术、生产技术、装备技术、特种铸造、实用成型技术、材料改性、应力控制与理化测试技术、今日铸造、企业精英人物专访等。

发行对象：国内外铸造企业，科研院所，高等学校，铸造原辅材料厂商，设备、仪器厂商，铸件采购商等。

广告范围：刊登铸造设备、熔炼设备、环保设备、铸造原辅材料、检测仪器以及铸件生产、热处理设备、科研成果转让等相关信息。

订阅方式及价格：

请从当地邮局订阅，也可以直接从铸造技术杂志社订阅。全年12期，每期定价25元，平寄全年300元（含邮费），挂号全年336元，快递全年420元。

海外：每期定价25美元，全年300美元。

银行汇款：

户　名：陕西铸造技术杂志社有限责任公司

账　号：3700 0235 0920 0091 309

开户行：中国工商银行西安市互助路支行

邮购地址：西安市金花南路5号西安理工大学608信箱（710048）

联系人：李巧凤　　电话/传真：13991824906

网址：www.zhuzaojishu.net　　Email：zzjs@263.net.cn

微信扫一扫 信息快知道

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net