

21
打破洋框框，走自
己工业发展道路。

毛泽东

高能成形

《高能成形》编写小组 编

国防工业出版社

內 容 簡 介

本書介紹了我国自1958年大跃进以来，国防工业、科技战线上的广大工人和技术人员，高举毛泽东思想伟大红旗，通过自己的生产实践，在高能成形新工艺方面所取得的成就。

高能成形是以炸药，高压放电，高压气体等作为能源的一种高速高压的成形方法。它的特点是模具简单，设备少，工序少，产品表面光洁度高，而且比其它压力加工方法精度高，还能加工一些难以加工的材料。

本书是国内有关单位的生产实践和科学实验的经验总结。全书共有十四章，分为原理，模型试验，高能成形各种典型零件工艺，以及材料，模具制造，炸药概述，场地设置，测试技术等部分。

本书可供从事这方面工作的工人、科技人员、有关工业院校的师生参考。

高 能 成 形

凭 証 发 行

*

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168¹/₃₂ 印张 17¹/₈ 435 千字

1969年9月第一版 1970年4月第二次印刷 印数：3901—7,000册

统一书号：15034·1201 定价：1.90元

10/23
类号 16666
143P/10-2

面子弱，
面生皮，
十先服困，
没人去肥。
6月东

人类的历史，就是一个不断地从必然王国向自由王国发展的历史。这个历史永远不会完結。在有阶级存在的社会內，阶级斗争不会完結。在无阶级存在的社会內，新与旧、正确与錯誤之間的斗争永远不会完結。在生产斗争和科学实验范圍內，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结經驗，有所发现，有所发明，有所創造，有所前进。停止的論点，悲觀的論点，无所作为和驕傲自滿的論点，都是錯誤的。其所以是錯誤，因为这些論点，不符合大約一百萬年以来人类社会发展的历史事实，也不符合迄今为止我們所知道的自然界（例如天体史，地球史，生物史，其他各种自然科学史所反映的自然界）的历史事实。

毛澤東

目 录

前言	6
緒論	9
第一章 爆炸成形的原理	17
§1 波的基本概念	17
§2 炸药的爆震	20
§3 水下爆炸的若干特点	21
§4 爆炸成形机理概述	26
§5 爆炸成形能量的轉換和分配	33
第二章 爆炸成形模型律	37
§1 爆炸成形的相似参数	37
§2 几何相似律	42
§3 能量准則	43
§4 模型律的实驗驗證	44
第三章 爆炸拉深	57
§1 爆炸拉深的特点	57
§2 爆炸拉深工艺参数的选择	63
§3 爆炸拉深件的质量	70
§4 封头类零件的爆炸拉深	79
§5 深拉深件的爆炸成形	92
§6 大型复杂薄板零件的爆炸拉深	96
§7 无凸緣薄板零件的爆炸反拉深	107
§8 部分爆炸拉深件之工艺参数——附录	119
第四章 爆炸脹形	132
§1 爆炸脹形的特点	133
§2 爆炸脹形的几种工艺方法	135
§3 工艺参数	145
§4 零件质量	154
§5 举例	161
第五章 板状零件的爆炸成形	169

§1 变形分析	169
§2 成形方式	170
§3 参数的选择	171
§4 板状零件的成形模具	174
§5 成形零件质量分析	177
§6 实例	180
第六章 其它类型的爆炸加工	188
§1 爆炸校形	188
§2 爆炸收缩	195
§3 爆炸平板压印	197
§4 爆炸扩口	199
§5 爆炸冲孔	201
§6 槽形工件的成形	203
§7 爆炸胀壳	204
§8 爆炸粉末压实	205
§9 爆炸硬化	207
§10 爆炸强化	208
§11 爆炸锥形件成形	209
§12 复合工序的爆炸成形工艺	210
§13 成组爆炸成形工艺	215
§14 惯性模成形	224
第七章 爆炸复合	228
§1 爆炸复合的基本原理	229
§2 爆炸复合工艺	231
§3 爆炸复合板的性能和测试	238
§4 爆炸复合的其它应用	242
§5 爆炸复合的特点	245
第八章 爆炸成形模的结构与工艺	247
§1 爆炸成形模的结构特点	247
§2 爆炸成形模的设计	251
§3 掺钢铸铁基体-环氧玻璃钢模面的大型爆炸拉深模	272
§4 水泥基体-环氧塑料型面的爆炸成形模	283
第九章 爆炸成形与材料性能	285
§1 爆炸成形的金属变形条件	285

§2 爆炸成形件的材料种类及其成形性能	286
§3 爆炸成形后材料性能的变化	289
§4 爆炸成形后材料的金相組織及其与材料性能的关系	307
§5 結束語	314
第十章 爆炸用品和安全知識	315
§1 炸药的基本知識	315
§2 常用炸药的性能	322
§3 起爆用品及引爆技术	331
§4 药包制作工艺	335
§5 爆炸成形安全常識	340
§6 爆炸成形安全注意事項	342
第十一章 爆炸成形場地	344
§1 設計爆炸場地时考虑的主要因素	344
§2 爆炸場地面积的确定及内部的布置	347
§3 爆炸場地内部設施	349
§4 室内真空箱炸井	366
第十二章 爆炸成形中的測試技术	385
§1 电容充电式微秒計时仪及其应用	385
§2 多点計时測量	398
§3 超动态应变仪	404
§4 机械式測量仪	416
第十三章 液电成形	428
§1 液电成形基本原理及其特点	428
§2 液电成形的效率及影响成形的主要因素	433
§3 試驗裝置和机床	452
§4 液电成形工艺	482
§5 綫爆成形及其工艺	492
第十四章 电磁成形	505
§1 电磁成形基本原理	505
§2 試驗裝置	513
§3 薄板拉深	521
§4 縮形	531
§5 脹形	539
§6 其它	540

前 言

“~~我們不能走世界各國技術發展的老路，跟在別人後面一步一步地爬行。我們必須打破常規，盡量採用先進技術，在一個不太長的历史時期內，把我國建設成為一個社會主義的現代化的強國。~~”

偉大導師毛主席教導我們：“我們不能走世界各國技術發展的老路，跟在別人後面一步一步地爬行。我們必須打破常規，盡量採用先進技術，在一個不太長的历史時期內，把我國建設成為一個社會主義的現代化的強國。”這一偉大的光輝指示，像光芒萬丈的燈塔，指明了我國科學技術發展的航道，極大地鼓舞了我國人民自力更生，奮發圖強，敢攀險峰，勇闖新路的革命精神。

在光焰無際的毛澤東思想指引下，在大躍進的1958年，國防工業戰綫廣大工人和革命的知識分子，高舉“鼓足干劲，力爭上游，多快好省地建設社會主義”總路綫的偉大紅旗，堅持“獨立自主、自力更生”的偉大方針，排除了叛徒、內奸、工賊劉少奇及其一伙的種種刁難和阻撓，以沖天的革命干劲和無窮的智慧，攻克了一個又一個技術難關，在高能成形方面取得了豐碩成果，開創了這項新工藝在我國廣泛應用和發展的途徑。

高能成形的發展過程，始終貫穿着兩個階級、兩條道路、兩條路綫的激烈鬥爭。長期以來，叛徒、內奸、工賊劉少奇及其各單位的代理人瘋狂地反對毛主席關於“獨立自主、自力更生”、“打破洋框框，走自己工業發展道路”的偉大方針，極力推行一整套買辦洋奴哲學，爬行主義。胡說什麼：“我們技術不行”，“人家搞高的、快的，我們就暫時搞低的、慢的”。無耻地拜倒在帝、修、反的腳下；同時他們還竭力鼓吹“物質刺激”，“利潤掛帥”，“專家路綫”等修正主義黑貨，支持和包庇一些脫離生產、脫離實際的資產階級反動學術權威，壟斷科技大權，爭名奪利，嚴重地壓制和阻礙了高能成形等新工藝、新技術的迅速發展。但是“人民群眾是历史的創造者。人民群眾掌握了毛澤東思想，就變得最聰明，最勇敢，就能發揮無窮無盡的力量！”林副主

席这一偉大教导，最全面、最集中、最精辟地表达了用毛澤东思想武装起来的中国人民大无畏的革命气概。国防工业、科技战綫的工人阶级，最听毛主席的話，最忠于毛主席的无产阶级革命路綫，胸怀一顆无限热爱毛主席的赤胆忠心，冲破了反革命修正主义路綫的干扰和束縛，粉碎了美帝、苏修的破坏和封鎖，痛斥了资产阶级反动学术权威的“沒有資料不能发展高能成形”、“沒有爆炸理論指导”等无耻濫言。他們天不怕，地不怕，敢想，敢干，敢于斗争，敢于胜利，敢于走前人沒有走过的路。沒有資料自己創，沒有設備自己造，沒有爆炸理論到实践中去干。在短短的几年內，在高能成形方面成功地創造了自由成形，反压延成形，反射板成形，水砂双重介质錐形板成形，成組爆炸成形，慣性模成形等工艺方法；研究出了薄板，薄壳的爆炸成形模型律；提出了有关成形原理的基本論点和室內爆炸真空箱的方案等。这些成果已赶上或超过了世界先进水平，闢出了一条我国自己发展高能成形工艺的新路。这是战无不胜的毛澤东思想的偉大胜利！是毛主席的无产阶级革命路綫的偉大胜利！当我们紧跟偉大領袖毛主席，貫彻落实党的第九次全国代表大会所提出的各项战斗任务，夺取更大胜利的时候，我們心潮澎湃，热血沸腾，千遍万遍地欢呼：毛主席万岁！万万岁！！敬祝毛主席万寿无疆！

在偉大統帥毛主席“工人阶级必須领导一切”的号令下，经过无产阶级文化大革命鍛炼的我国工人阶级，浩浩蕩蕩地登上了上层建筑斗、批、改的政治舞台，开进了长期被那些走資派統治的場所，开进了一切知識分子成堆的地方，打破了资产阶级知識分子长期独霸科技界的一統天下。工人阶级牢牢地掌握了科技领导大权，彻底批判了反革命修正主义的路綫并肃清其流毒，使我国工业和科技战綫上出現了一个空前未有的欣欣向荣的跃进局面。这也充分証明了“无产阶级文化大革命是使我国社会生产力发展的一个强大的推动力。”在党的“九大”的巨大鼓舞下，从事高能成形工作的广大革命战士，坚决响应以毛主席为首、~~中国共产党~~的党中央委员会关于加强战备、准备打仗的战斗号召，以只爭朝夕的革命精神，进一步~~学习~~毛澤东思想，

学习

狠抓革命，猛促生产。一个以工人为主体的技术革新群众运动正以排山倒海之势，在全国蓬勃兴起，必然将創造出許多新成果，把高能成形这项新工艺发展到更高的水平，使它更好地为国防建設服务。

遵照伟大舵手毛主席“人类总得不断地总结經驗，有所发现，有所发明，有所創造，有所前进。”的教导，我們組成了来自工厂、科研单位和高等院校的工人、科技人員的編写小組，在无产階級文化大革命前夕編写成“高能成形”一书的初稿，并在出版前进行了审核和修改。該稿的特点是沒有采用国外資料，基本是国内生产实践經驗的总结。但由于時間所限，不便于进行全面修改，故仅作为交流資料出版。另外，因我們水平有限，該书在政治上和技术方面，还存在一定的缺点和錯誤，热烈欢迎批評指正，以便修訂正式出版。

“无限风光在险峰。”讓我們更高地举起毛澤东思想伟大紅旗，“团结起来，爭取更大的胜利”，为高能成形全面地赶超世界先进水平而奋斗！

《高能成形》編写小組

1969年6月

毛主席语录

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

緒 論

一、我国高能成形的現况

毛主席教导我們：“認識从实践始，經過实践得到了理論的認識，还須再回到实践去”。高能成形这项新工艺也是从生产实践和科学实验中发展起来的。它是以炸药、高压放电、高压气体等作为能源的一种高速高压的成形方法。在我国，高能成形是1958年大跃进的产物。在毛主席所提出的“鼓足干劲，力爭上游，多快好省地建設社会主义”总路綫的光輝照耀下，广大工人和科技人員，活学活用毛澤东思想，坚持“独立自主，自力更生”的伟大方針，意气風发，斗志昂揚，在高能成形方面取得了丰硕的成果。目前国内对于中、小型零件，例如拉深件，脹形件和板状零件取得了比較成熟的經驗。就封头而言，已經加工出符合公差要求，用于生产的最大直徑为2.6米，最大厚度为40毫米；对半球或超半球的深拉延伸件，做到了变薄量不超过9%；对直徑为600~700毫米的脹形零件，尺寸公差可控制在0.3毫米以下；制成的最薄零件厚度只有0.08毫米，最小零件直徑只有十几毫米；最大的平板件有 5×1.6 米²；金属材料的品种也有了很大的增加；液电成形已經有了机床設備，而且制出了零件。在这一时期，还发展了不少赶上或超过世界先进水平的新工艺方法。另外，在模具制作方面，包括鑄鋼模，鑄鉄模，球墨鑄鉄模，环氧树脂模，玻璃絲加强树脂模，混凝土模，焊接結構模等也取得了許多經驗。我們相信，經過史无前例的无产阶级文化大革命，工人階級掌握了科技領導大权，一定能在較短的时间內把高能成形全面赶上和超过世界先进水平，为

我国社会主义建設做出更大的貢獻。

二、高能成形就是高速高压的成形方法

加工任何金屬毛料使之成形为人們所需要的零件都必須对毛料施加足够大的力和供給足够的机械能，而且从毛料开始变形到成形，都需要一定的時間。与常規加工方法相比，高能成形最根本的特点是压力大，变形速度大，成形時間短，因而功率亦大。所以說，高能成形就是高速高压的成形方法。

可以举直徑为一米的封头为例說明以上特点。用水压机生产时，作用于毛料的平均压力为几十个大气压，成形時間为十几秒。采用爆炸成形时，压力为数千个大气压，成形時間約为百分之一秒。由于在这两种情况下用于使毛料变形的有效能量基本相等，所以爆炸成形的平均有效功率就比常規方法大一千倍。

三、高能成形的能源

实现高能成形，首先需要一個能提供足够的压力，有足够能量的大功率能源。第一类能源是化学能，这种能源有炸药（又称为高級炸药），火药（又称为低級炸药），爆炸气体或可燃气体。第二类能源是电能，这种能量的利用有液电效应和电磁效应两种不同的方式。这两种效应的获得都依赖于高压电容器的短时、大电流放电。第三类能源是高压气体，例如压缩空气或者由液态物质（如液态氮）迅速挥发而成的气体。

目前最常用的是炸药、液电效应和电磁效应，相应的成形工艺称为爆炸成形或爆炸加工，液电成形和电磁成形。

常用的炸药有黃色炸药（梯恩梯）、硝酸铵炸药，导爆索（内含黑索金）和爆胶。炸药在雷管的激发下，以所謂爆震的方式，轉化为高温、高压气体。每公斤炸药所釋放的能量約有 420 吨米，这等于将 420 吨的重量提升一米高度的能量。生成气体的压力在十万大气压以上。在炸药包的内部，已被引爆的炸药强烈地压缩和冲击相邻的炸药，于是

后者也被迅速引爆。按照这种方式，爆炸就从一部分炸药以很高的速度傳播到另一部分炸药。这个速度称为爆震波速或爆速，每秒为几千米。如果在一公斤球形药包的中心点引爆，全部炸药轉化为高温高压气体所需的时间只有十万分之一秒。对于一定品种和一定物理状态（颗粒度，密度等）的炸药，只要药包尺寸不是过于小，爆速和气体的最大压力都是一定的，和药量及药包的包装条件没有关系。

火药在点火后也生成高温高压的气体。每公斤火药所释放的能量不亚于，甚至超过炸药，然而气体的压力只有几百个大气压，比炸药小得多。火药轉化为高温高压气体是一种快速燃烧过程，燃烧从一部分火药蔓延到另一部分的速度約为每秒 0.3 到 30 厘米，这也比炸药的爆速小得多。火药燃烧的速度以及生成气体的压力都和药包的外部約束条件有关。

炸药或火药所生成的高压气体，通过适当的方式，直接或者間接地作用到金属毛料上，就能达到成形的目的。

在水或者其他液体中的一对电极之間进行大电流和短时放电，也能产生高温高压气体。这个高压气体也有很强的机械效应，这种效应称为液电效应。把一个或一組高压脉冲电容器充电至 V 伏特，如果电容量是 C 法拉，那么电容器中所蓄的电能就是 $\frac{1}{2} CV^2$ 焦耳。以一台五万伏特，3.5 微法拉的电容器为例，滿負荷时的电能是 4400 焦耳，这几乎等于一克黄色炸药的能。如果用一个适当的开关（通常是放在空气中的一对有一定間隙的铜球），把电容器的电压加到液体中的那对电极上去，那么，由于所用的电压很高，所以电极間的水很快地被击穿而形成电弧，随即大量的电流通过狭窄的电弧通道，使那里的水变成高温高压的气体。如果在电极之間联上一个細的金属絲，往往能够得到更强的机械效应。当然，这时高温高压气体既包含气化了的金屬，亦包含一部分水蒸汽。

电磁成形里，电能向机械能的轉化不借助于高温高压气体。这时，高压脉冲电容器通过綫圈放电，产生很强的脉冲磁場，于是就在位于綫圈磁場中的金属毛料里引起感应电流。毛料中感应电流所产生的磁

場和放电綫圈的磁場相互作用，就在綫圈和毛料之間建立了相互作用的力。在电磁成形里使毛料变形的力即来源于此。为了获得足够大的力，磁場應該很强，感应电流應該很大，这要求电容器的放电电流大，放电時間短，而且毛料必須是导体。

四、高能成形的应用

目前高能成形的应用主要有以下几个方面：

1. 板金零件的成形和校形

这是高能成形应用最广的一个方面。常規工艺中的拉深、脹形、縮形、卷边、翻口、冲孔、压梗、弯曲和校形等，都可以用高能成形来完成。图 0-1、0-2和 0-3 是用爆炸成形方法制造拉深件（例如封头）、脹形件（例如噴气发动机的噴管）和平板件（例如波紋板）的示意图。

現在結合图 0-1 介紹拉深零件的爆炸成形，其他板金零件的成形都是类似的。毛料

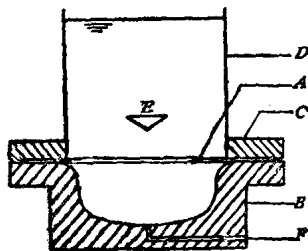


图0-1 爆炸拉深

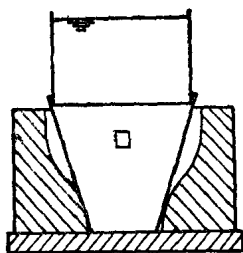


图0-2 爆炸脹形

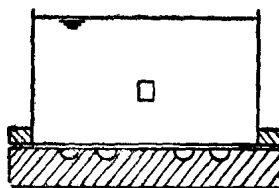


图0-3 平板件爆炸成形

A 放在凹模 B 上，然后用压边圈 C 压紧。D 是装水的水圈。在水圈中注水至一定高度，然后将炸药包 E 放在距毛料适当距离的位置上。在多数情况下，应当将凹模里的空气通过抽气孔 F 抽走，以避免在毛料向凹模高速运动时，模腔里的空气迅速升压，使毛料不能滿意地貼

模，甚至引起破損。如果模具和压边圈的設計合理，成形参数也選擇得当，只要引爆炸药，就能在很短的时间里成形出一个与凹模內壁貼合得很好的零件。

在板金零件的爆炸成形里，通常不使炸药和毛料直接接触，因为炸药的压力过大，容易损坏零件和模具。为了将炸药的压力傳遞到毛料上去，必須在两者之間有一个傳遞压力的介质。最常用的傳压介质是水，这不仅是因为水的供应問題容易解决，更主要的是因为水傳遞压力的效率較高。在一些特殊情况下，也可以采用砂，然而这时所需的炸药量要比用水时大好几倍。一般不用空气做傳压介质，因为它傳压的能力太小。以球形黄色炸药包为例，如果在水中爆炸，紧邻药包的水里，压力可达十万大气压，在距离药包中心十倍药包半徑的地方，压力約有一千大气压。在空气中爆炸时，在相应的位置上压力分別只有五百和二十个大气压。

如果零件比較薄，成形所需的压力比較小，可以用火药代替炸药。采用火药时，为了获得較大的压力，可以采用密封式的成形方案，如图 0-4 所示。如果成形所需的压力和能量更小，也可以考虑在密封室里使用爆炸气体或可燃气体。應該指出，密封式方案只适用于小型零件，因为对于中、大型零件，密封室的强度問題难以解决。

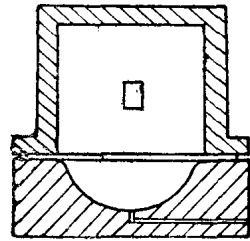


图0-4 密封式爆炸成形

把炸药包用放电电极代替，傳压介质仍用水或其他液体，便是液电成形了。

如果采用电磁成形，就只需把药包改換为有适当形状和足够强度的金屬綫圈。当然，这时不需要用水或其他任何物质作傳压介质了。

2. 爆炸硬化

有些金屬，例如高錳鋼，在炸药爆炸的高压作用下，能够显著地提高表层硬度。这一現象已經用来提高一些金屬部件的使用寿命。用这个方法硬化高錳鋼铁路道岔，推土机、拖拉机或坦克的履帶，鏟斗

的刃口等是突出的一些应用。

爆炸硬化的方法是把一层炸药敷在需要硬化的部位，炸药与金属之間有时放一层薄的硬橡皮或其他物质的缓冲层。

3. 爆炸复合（爆炸焊接）

利用炸药爆炸的巨大压力可以在两种金属間形成牢固的联结。这方面主要的应用是双层金属和多层金属板的制造。突出的例子是，在碳素钢上蒙以不锈钢，铝、钛、锆、铜及其合金的表层。这种工艺可以节约貴重金属，提高焊接质量。图 0-5 是爆炸焊接的示意图。

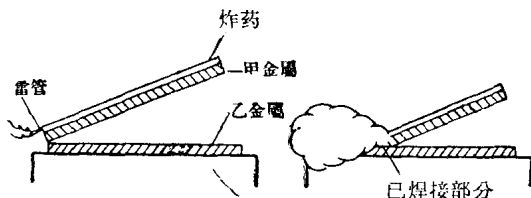


图0-5 爆炸焊接示意图

4. 高速模锻

根据和火炮一样的原理，可以用火药或高压空气发射锻锤，它的速度远大于一般落锤，可达每秒几十米到一、二百米。高速模锻具有动量大，设备小等优点。

5. 其他

其他的应用有爆炸切割——用炸药包切断工字钢或钢轨；爆炸压实——用炸药压实金属泡沫或者粉末等。

高能成形是一个正在发展中的新工艺，随着生产和科研的发展，一定会出现新的应用。

在这本书里主要介绍爆炸成形、液电成形和电磁成形在板金工方面的应用。

五、高能成形的特点

用于成形板金零件，爆炸成形、液电成形和电磁成形有下述优点：

1. 简化了模具

一般冲压加工需要一对模具，高能成形只需要一个模具，通常只