

# 爆炸焊接、 成形与压制

[英] T·Z·布拉齐恩斯基 编

---

**EXPLOSIVE  
WELDING,  
FORMING AND  
COMPACTION**

---

机械工业出版社

# 爆炸焊接、成形与压制

〔英〕 T. Z. 布拉齐恩斯基 编

李富勤 吴柏青 译

张延生 侯玉年 郝应祺 校



机械工业出版社

利用炸药在爆炸时产生的能量来加工金属，这是一种新的高能率加工方法，包括爆炸焊接、爆炸成形及粉末压制成形等。本书比较系统地说明这些工艺的发展情况，从理论分析到实践举例，给出计算公式、性能曲线及金相图等，图文并茂。可供科研人员、工程技术人员及大专院校师生参考。

前言、第五章至第十章由李富勤译，第一章至第四章由吴柏青译。

## EXPLOSIVE WELDING, FORMING AND COMPACTION

Edited by

T. Z. Blazynski

Applied Science Publishers Ltd.

1983

### 爆炸焊接、成形与压制

[英] T. Z. 布拉齐恩斯基 编

李富勤 吴柏青 译

张延生 侯玉年 郝应祺 校

\*

责任编辑：刘彩英

封面设计：刘代

\*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南里一号）

（北京市书刊出版业营业登记证出字第117号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

\*

开本 850×1168  $1/32$ ·印张  $11\frac{3}{4}$ ·插页1·字数 307千字

1988年7月北京第一版·1988年7月北京第一次印刷

印数 0,001—2,800·定价：4.75元

\*

ISBN 7-111-00614-3/TG·158

## 前 言

在最近 20 年中,利用炸药爆炸时释放能量的高能率加工技术的不断发展,给人以深刻的印象,而且终于在工业中得到应用。它不仅是用于制造复杂形状和整体连接的复合材料制品(这种制品是不容易制成的)的经济可行的方法,而且是一种相当价廉的能源和异常简单的技术,一般不需要重型设备,已被工程技术人员和实用科学工作者所应用。

鉴于最近几年在这一领域中已经获得的理论知识与实践经验,并结合爆炸成形、爆炸焊接和压制成形工艺在工业中的意义越来越大,也就有可能并及时做到在现阶段对这种技术的现况进行深入评述。

本书是专题论文的汇编,每篇论文代表爆炸加工的一个专门理论或在工业中应用的一个方面。这些论文是由一些有实际经验的工程师和科学家写成的,他们试图在以下一些领域中建立起目前这些理论知识:即冲击波和应力波的形成和扩展,它们的冶金影响及评定这些现象的试验方法。从制造方面来说,这些论文作者在于说明爆炸成形、爆炸焊接及粉末压制成形的机理,并且指出在加工中可能发生的问题及这些工艺的实用性和优点。

全书的宗旨是给现在的专业人员提供更为详细的资料,同时扩大其专业知识,并给刚从事此工作者指出在工作中将会遇到什么问题。从满足后者的特别需要出发,每章均列出了大量的参考文献,从中可以获得更多有价值的参考资料。

最后,谨向提出论文的各章作者们表示感谢,特别是 John Pearson 先生,他是最早研究爆炸工艺的先驱者之一,以自己的丰富经验写出了绪论这一章。

编者

# 目 录

第一章 金属高能率加工绪论 .....	1
1.1 背景 .....	1
1.2 金属高能率加工 .....	2
1.2.1 基本概念 .....	2
1.2.2 基本作业类型 .....	2
1.2.3 加载特性 .....	3
1.3 金属高能率加工技术的发展 .....	4
1.3.1 早期的研究 .....	4
1.3.2 爆炸成形 .....	5
1.3.3 爆炸硬化 .....	7
1.3.4 爆炸压制 .....	8
1.3.5 爆炸焊接 .....	9
1.4 爆炸加工的今后发展 .....	10
1.4.1 共同合作 .....	10
1.4.2 今后的设想 .....	11
参考文献 .....	13
第二章 金属中应力波的扩展 .....	15
2.1 变形的动态扩展 .....	15
2.2 弹性波 .....	18
2.2.1 引言 .....	18
2.2.2 各向同性材料中的弹性波 .....	19
2.2.3 各向异性介质中的弹性波 .....	24
2.3 塑性波 .....	27
2.3.1 概述 .....	27
2.3.2 冯·卡门-德怀兹塑性波理论 .....	28
2.3.3 塑性剪切波 .....	31
2.3.4 关于塑性波的有关研究 .....	32
2.3.5 绝热剪切带 .....	32
2.4 冲击波 .....	34

## VI

2.4.1 流体动力学分析 .....	34
2.4.2 进一步分析及计算机编程 .....	42
2.4.3 冲击波的衰减 .....	48
2.4.4 弹性前驱波 .....	52
2.5 缺陷的产生 .....	54
2.5.1 位错的产生 .....	56
2.5.2 点缺陷 .....	63
2.5.3 形变孪晶 .....	64
2.5.4 置换/无扩散相变 .....	66
2.5.5 其它影响 .....	70
参考文献 .....	71
<b>第三章 冲击波和压力波对金属的冶金影响 .....</b>	<b>76</b>
3.1 高应变速率的主要特性与金属中的冲击变形 .....	76
3.2 永久性变化: 残余显微组织与力学性能的关系 .....	84
3.2.1 晶粒大小的影响 .....	85
3.2.2 冲击产生的显微组织 .....	86
3.2.3 冲击变形与普通变形(冷轧) .....	95
3.2.4 冲击加载时冲击脉冲持续时间的影响 .....	96
3.2.5 点缺陷、沉淀相和其它第二次相质点的影响 .....	97
3.3 金属对热机械冲击处理的反应 .....	99
3.3.1 冲击-机械处理, 应力循环和反复冲击加载 .....	101
3.3.2 显微组织的稳定性和亚结构组织的热稳定化 .....	104
3.4 提要与结论 .....	106
参考文献 .....	107
<b>第四章 材料的高速应变与力学性能 .....</b>	<b>110</b>
4.1 引言 .....	110
4.2 高应变速率试验技术 .....	111
4.2.1 中等应变速率试验技术 .....	112
4.2.2 冲击应变速率试验技术 .....	116
4.2.3 关于更高应变速率的研究 .....	123
4.3 高应变速率时材料的力学性能 .....	125
4.3.1 理论研究 .....	125

4.3.2	面心立方金属与应变速率的相关性	128
4.3.3	密排六方及正交晶系金属与应变速率的相关性	129
4.3.4	体心立方金属与应变速率的相关性	129
4.3.5	极高应变速率时材料的力学行为	134
4.3.6	应变速率变化(应变速率历程)的影响	135
4.4	高应变速率时的力学状态方程	138
4.5	结语	140
	参考文献	140
	第五章 工业爆炸加工的基本设想	145
5.1	爆炸包覆	145
5.1.1	引言	145
5.1.2	包覆使用的场地和设施	148
5.1.3	产品范围	150
5.1.4	结合参数	151
5.2	包覆组合件的设计	151
5.2.1	概述	151
5.2.2	壳体板	153
5.2.3	管板	153
5.2.4	对金属的要求	155
5.2.5	延伸钢条	155
5.2.6	金属的温度	156
5.3	包覆材料的组合	156
5.3.1	金属的准备	156
5.3.2	组装	157
5.3.3	包覆板表面的保护	159
5.4	炸药	160
5.4.1	主炸药	160
5.4.2	引爆	161
5.5	双面包覆件	162
5.6	多层包覆件	162
5.7	包覆后的工作	163
5.7.1	初步检查	163

5.7.2	应力消除	163
5.7.3	校平	163
5.7.4	切割和修边	165
5.7.5	超声波检验	165
5.8	破坏检查	166
5.9	管状件	169
5.9.1	喷嘴	169
5.9.2	其他管状件	171
5.10	爆炸硬化	172
第六章 爆炸焊接力学		174
6.1	引言	174
6.2	爆炸焊接机理	175
6.3	爆炸焊接的工艺参数	180
6.3.1	碰撞参数 $V_p$ , $V_c$ , $\beta$	182
6.3.2	焊接的极限条件	184
6.4	界面波	191
6.4.1	引言	191
6.4.2	波的形成机理	191
6.5	碰撞区域中的流动分析	195
6.5.1	引言	195
6.5.2	界面压力的分布	197
6.5.3	碰撞区域中的流动模式	198
参考文献		200
第七章 平面型结构的爆炸焊接		202
7.1	引言	202
7.2	材料组合和覆板厚度	203
7.3	基本的焊接结构	206
7.3.1	平行平面结构	206
7.3.2	倾斜结构	208
7.3.3	平行-倾斜结构	211
7.3.4	双倾斜结构	212
7.3.5	瞬时产生焊接条件的结构	214



7.4	焊接参数的选择	215
7.4.1	概述	215
7.4.2	冲击速度	218
7.4.3	爆炸加载	221
7.4.4	碰撞角和碰撞点速度	222
7.4.5	间距	226
7.4.6	砧座	227
7.4.7	表面粗糙度	229
7.5	焊接参数的直接测量	230
7.5.1	引言	230
7.5.2	Dautriche 法	231
7.5.3	导线和销子接触器方法	232
7.5.4	高速摄影术	232
7.5.5	闪光射线照相术	233
7.5.6	速度探针器	234
7.5.7	斜线法	234
7.6	薄板和厚板的其它焊接几何结构	237
7.6.1	窄板搭接焊	237
7.6.2	薄板的缝焊(直线焊)	237
7.6.3	斜对接焊	241
7.6.4	对接焊	241
7.6.5	点焊	243
7.6.6	补片焊	243
7.6.7	槽焊	244
7.7	金属箔的焊接	244
7.7.1	理论分析	244
7.7.2	单片金属箔及简单多层金属箔的焊接	246
7.7.3	纤维增强复合材料	247
7.8	应用	252
7.8.1	引言	252
7.8.2	包覆板	253
7.8.3	异种金属的焊接接头	255
7.8.4	过渡接头	256

## X

7.8.5 蜂窝结构材料	258
7.9 结束语	259
参考文献	259
第八章 管件、杆件及特殊组件的焊接	266
8.1 引言	266
8.2 爆炸和内爆炸焊接系统及焊接参数	267
8.2.1 焊接系统	267
8.2.2 焊接机理	268
8.3 双重和三重圆筒体件的焊接	272
8.3.1 焊接方法的发展	272
8.3.2 焊接系统的特点	276
8.3.3 残余应力	280
8.3.4 普通工艺	285
8.4 管子与管板的焊接	288
8.4.1 引言	288
8.4.2 几何结构和参数	289
8.4.3 系统特性	294
8.4.4 接头性能	296
8.5 管板中管子的爆炸堵漏	296
8.5.1 应用	296
8.5.2 堵漏系统	297
8.5.3 插入件材料与试验	299
8.6 多层金属箔增强的圆筒体件	301
8.6.1 引言	301
8.6.2 内爆焊接系统	302
8.6.3 压力和应力	303
8.6.4 结构特点	304
8.7 用金属丝网增强界面	305
8.7.1 焊接系统	305
8.7.2 冶金特性	306
8.7.3 力学性能	310
8.8 过渡接头	312

8.8.1	用途及系统	312
8.8.2	机械加工的接头	313
8.8.3	管接头的焊接	314
8.9	实心 and 空心的轴对称件	315
8.9.1	引言	315
8.9.2	焊接系统	315
8.9.3	静液挤压	316
	参考文献	317
<b>第九章 爆炸成形</b>		<b>320</b>
9.1	引言	320
9.2	工程合金的可成形性	320
9.3	爆炸成形件的力学性能	321
9.4	大气和水下爆炸成形系统	322
9.5	模压成形和非模压成形	324
9.6	自由成形最终形状的分析	327
9.7	模子设计的参数和分析	329
9.8	拱形件和球形压力容器元件的成形	332
9.9	管状件的成形和冲压	334
9.10	其他成形工作	337
9.11	结束语	339
	参考文献	339
<b>第十章 粉末压制</b>		<b>340</b>
10.1	引言	340
10.2	粉末的动态可压缩性	341
10.3	冲击波的类型和密度分布	344
10.4	温度和应变速率的影响	349
10.5	冲击加载混合物的相变	350
10.6	压制粉末的一般力学性能	354
10.7	测定残余应力分布的 X 射线法及其他方法	356
10.8	半成品制造中的基本问题	357
10.9	静态和动态压制: 材料性能的比较	358
	参考文献	360

# 第一章 金属高能率加工绪论

John Pearson

## 1.1 背 景

一次水下小型爆炸可以成形油罐车的一个大的碟形封头；在铁路道叉表面的一薄层炸药爆炸，能改善高锰钢零件的机械性能；制造热交换器时，几条薄薄的炸药条带同时爆炸可将异种金属的零件焊在一起；粉末冶金过程中，一次爆炸所产生的冲击压力可制成高密度的预成形品。所有这些都是金属高能率加工的例子，但仅仅是这一领域目前应用的许多种加工方法中的一小部分。在金属高能率加工的工业应用这一领域中，正在建设性地运用炸药以扩大制造技术的范围，降低成本，缩短可靠的金属零件所需要的生产时间。

虽然人们认识到利用炸药能够进行建设性的金属加工已有一百年左右的历史，但只是在近 25 年，这一方法才发展成为一种生产手段；近年来，这一方法已广泛应用于工业部门。从第二次世界大战以来对炸药应用技术的改进；对水下爆炸和空气中爆炸所作的广泛而深入的研究；对高压和高应变速率条件下材料行为的进一步认识以及研究毫秒和微秒级事件的新技术的发展，尤其是高速摄影的发展——所有这些进展加上其他的技术进步，结果在 50 年代后期为金属高能率加工新技术奠定了理论和实践基础。

在 50 年代中期，当时航空航天工业的迅速发展，出现了对这一新技术的需求形势，它的独特要求被认为超出了金属加工的范围。许多零件，从大而复杂的零件的小批量、高精度生产，到难加工的金属精密小零件的制造，均要求发展新的加工方法。为了满足这些要求，有些企业开始考虑利用炸药这一类高能加工技术，至 50 年代末，终于形成了金属爆炸加工这一领域。

在 50 年代后期以及 60 年代的大部分年代里，航空航天工业的需要在这一新兴领域中占绝对优势地位。但是人们很快就认识到，这类技术可以应用于其他工业部门。此后，这些新的概念经过改进和发展，以满足汽车、造船、化工、核能、采矿、建筑以及其他工业的要求。利用炸药进行金属高能率加工的技术仍不断向新的工业部门扩展；目前，这一技术不同程度地几乎涉及到生产和加工金属零件的每一个工业部门。

## 1.2 金属高能率加工

### 1.2.1 基本概念

一次装药量就是在正确设计和应用时能够完成有用作业的一小份经济而便于处理的炸药包。应用这种方法时，工程师遇到的主要问题是要使装药量的设计与特定作业要求的工作方式相匹配，使得爆炸在受控方式进行。虽然 1 g 炸药爆炸时仅释放出约 1200 cal<sup>⊖</sup> 的能量，但这整个过程是在几微秒内完成的。因此，工程师必须理解，最重要的并不是炸药释放的总能量，而是它的功率，故工程师在设计作业时必须考虑这一因素。在许多应用场合，利用炸药进行加工可能是唯一可行的金属加工方法，因此，这一方法开拓了全新的工业领域。一般说来，这一方法将作为现有加工方法的辅助手段，它为设计师实现设计任务提供了更广泛的加工手段。

利用炸药进行金属加工的领域包括改变金属零件的形状；切割、剪断和冲压；金属的联接、焊接和包覆；粉末的高密度压制；改善金属零件的工程性能和冶金性能。在这类作业中，工件的材料可以是板料、薄片料、松散料或粉末，均用爆轰或爆燃的炸药提供能源。关于作业的主要类型、加载过程以及对工件材料的影响等，将在以下各节中详细讨论。

### 1.2.2 基本作业类型

金属爆炸加工作业根据炸药相对于工件的位置可分为两个基本类型。在第一类作业中，炸药距工件一定距离被引爆，能量通

⊖ 1 cal = 4.1868 J，下同——译者注。

过中间介质传递，通常是通过水或空气。这类作业称为“非接触加工”，包括金属零件的成形、精压、深拉和卷边等作业。炸药与工件紧密接触而爆炸的一类作业归到第二类，称为“接触加工”，包括爆炸硬化、焊接和包覆。有些作业如粉末爆炸压制成型和厚板成型，习惯上根据整个系统的设计而相应归入这两类作业中；这两种作业目前的进展正使它们主要归入“接触加工”这一类中。

非接触爆炸加工与接触爆炸加工在压力、速度和加工时间方面有很大差别。工作压力的变化范围相当大，最低的如非接触爆炸的压力为几千  $\text{lbf/in}^2$ ①，而接触爆炸产生的压力可高达几百万  $\text{lbf/in}^2$ ；相应的加载时间也在毫秒至微秒范围内变化。当爆炸加工应用于有金属流动的变形加工时，典型的金属流动速度为几百至几千  $\text{ft/s}$ ②，相应的应变速率与金属的流动速度和零件的形状有关。因此，从典型的非接触爆炸加工到典型的接触爆炸加工，粗略而言，工作压力约增加 1000 倍；加载时间约减少 1000 倍；金属流动速度约提高 10~100 倍〔1〕。

### 1.2.3 加载特性

没有一种简单的描述，能够概括非接触爆炸或接触爆炸焊接工艺中所发生的多种动态现象。在开口式组合模具中进行远距离的非接触爆炸焊接，通过压力脉冲与工件的相互作用完成金属加工；如果炸药与工件的距离足够小，则大部分金属加工量是由云雾状爆炸产物（在空气中）完成的，或直接由气泡能量（在水中）完成的。在水下进行非接触爆炸焊接时，可以利用气穴场和气穴隧道使能量聚集〔1〕；如果在空气中进行作业，可以利用冲击反射器来聚集能量〔2〕。在封闭式模具中进行爆炸焊接时，压力持续时间与施压程度成为重要的因素。

对于接触爆炸焊接，炸药爆炸的能量直接传入工件，在金属中产生瞬时高密度应力波〔3〕。这些应力波会改变材料的机械性能和冶金性能，在部分材料中产生永久性相变，而在其他部分材

①  $1 \text{ lbf/in}^2 = 6.895 \text{ kPa}$ ,

②  $1 \text{ ft/s} = 0.3048 \text{ m/s}$ ，下同——译者

料中留下瞬时效应（如铸铁中  $130\text{kbar}^{\ominus}$  的压力跃变）的永久痕迹〔4~6〕。可以利用受控状态下的应力波的反射、折射和相互作用，来进行金属切割、零件的分离以及表面金属高速流动。药包的大小、形状和可能的装药量，炸药的特性和初始几何形态以及内部波导向和外部缓冲层的应用等，都与能量施加在工件上的方式有关〔1〕。关于各种作业的这些参数的设计以及加载条件对材料的影响，将在后面各章中叙述。

### 1.3 金属高能率加工技术的发展

#### 1.3.1 早期的研究

利用炸药爆炸进行金属加工，评价金属在强烈加载条件下可能产生的特殊行为模式的工作，可以追溯到 19 世纪晚期和第一次世界大战前的年代。1876 年，英国工程师 Adamson 利用火药棉炸药爆炸来研究铁板和钢板承受冲击力时的行为〔7〕。他的实验方法类似于目前在空气中进行的开式组合模具挤压加工的方法。随后在 1888 年，美国化学家 Charles Munroe 使火药棉接触铁板爆轰，借助镂空模版和钢丝网模块，在金属上刻出图案〔8〕。因此，Adamson 的实验方法是目前的间接爆炸加工的前身，而 Munroe 的方法是今天接触爆炸加工的雏形。

John Hopkinson 和 Bertram Hopkinson 父子研究了金属在高应变速率加载作用下的行为。John Hopkinson 是一名英国工程师，他是首先认识到在静载和动载下，金属的工程性能会有明显差异的人之一；他于 1872 年出版了关于铁丝的冲击行为的研究著作〔9〕。他的研究由其儿子在 20 世纪初继续进行。在第一次世界大战爆发前，他研究了爆炸在金属中产生的应力波的影响，并解释了金属背面剥落的现象——这是目前许多接触爆炸加工作业经常发生的一种断裂现象〔10〕。

在第一次和第二次世界大战之间，对材料在高压下的行为进行了详细的研究〔11〕，并对接触爆炸下金属显微组织的变化，特别

$\ominus$   $1\text{bar} = 10^5\text{Pa}$ ，下同——译者注。

是对铸铁中冲击孪晶组织的形成发生兴趣<sup>[12]</sup>。为了进行接触爆炸实验研究，以40%和60%的纯硝化甘油代替早期研究者所用的火药棉。到本世纪30年代末，利用军用炸药作为钢板成形的战场应急手段，来建造炮兵掩体。

30年代末至50年代中这段时间，由于对水下爆炸<sup>[15]</sup>和空气中爆炸<sup>[16]</sup>的深入研究，对应力波的行为和影响的研究<sup>[17, 18]</sup>以及研究瞬时事件和高压事件的新技术、新设备的发展，这段时间对于认识现代爆炸加工的地位是很值得注意的。发展了强烈加载对材料的影响的各种评价方法，包括利用高速拉伸冲击装置<sup>[19]</sup>、发射高速弹丸<sup>[20]</sup>、利用改进的Hopkinson压杆<sup>[21]</sup>、触发爆炸加载装置以及直接应用炸药<sup>[4]</sup>。通过这些研究，对于塑性应变扩展获得了更深刻的认识<sup>[20, 22]</sup>，并形成产生断裂失效的临界质点速度这一概念<sup>[4, 19]</sup>。对于爆炸产生的应力波在金属断裂中的作用问题进行了广泛的研究<sup>[4]</sup>，发展了利用这种应力波效应或消除这种应力波效应的技术。目前，对于材料在强烈加载条件下的行为反应的认识，已为大量文献资料所证明<sup>[4, 5, 6, 23]</sup>。

直到50年代中期，在上述这些领域中所作的努力集中到一点：探寻金属爆炸加工工业应用的途径。在二次大战后的这一时期中，这一领域的早期发展主要建立在理论研究、实验以及偶然机遇的基础上。后来，理论研究被忽略了，实验研究得到发展，研究人员能够鉴别哪些是新的、不寻常的行为模式，并通过建立全新的受控金属加工概念，找到利用这些行为的方法。

### 1.3.2 爆炸成形

直到50年代末，金属爆炸加工的工业应用才引起广泛的兴趣，因为当时空间计划所需要的许多金属零件，往往超出了传统的金属加工设备的能力。这方面的兴趣起初集中在利用爆炸进行金属薄板和厚板的成形加工。以后，该领域获得迅速发展，到60年代中期，一些大的航宇设备公司及它们支持的承包商生产了大量的各类零件。这些零件的重量从几盎司<sup>⊖</sup>至几吨，大小从几分

⊖ 1盎司(OZ) = 28.3495g, 下同——译者注。



之一英寸至 20ft(6m) 以上, 厚度从千分之几英寸至大约 6in (15.24cm)[24, 25]。有些较大的零件所用的模具重达 60t 以上[26], 零件所用材料几乎包括目前所用的全部金属。奇特而复杂的形状是这类零件的一般特点, 而不是个别特例; 正是在这一方面, 爆炸加工显示了它的工业应用价值。

各种型式和大小的封闭式和开口式模具, 均可应用高爆炸力炸药或低爆炸力炸药。封闭式模具通常用于复杂圆柱形零件的成形, 开口式组合模具则用于复杂锥形零件的成形。不过, 利用高爆炸力的大型开口式组合模具在航宇工业用于制造大型结构件是特别有用的, 它无需准备大型的精密机床或大量复杂的模具。事实很快就证明, 这种方法可以缩短工装的准备时间, 用来制造外形特殊的大型金属构件和零件, 尤其是短期生产的零件, 具有实际的经济意义。到 60 年代末, 成功地应用爆炸成形方法制成在海底[27]和外层空间[25]的严酷条件下作业的运载工具的大型结构件。目前, 在船舶、油罐车、贮存罐和反应容器的制造方面, 用爆炸成形法来制造大型零部件, 具有特别重要的价值。

大型零件的开口式模具爆炸成形可以在空气中进行, 也可在水下进行。原先, 水下爆炸成形在美国占优势, 而一些欧洲国家比较喜欢用空气中爆炸成形。这两种方法各有优点。空气中成形由于不需要成形箱和模具修复设备, 故初始设备投资较低, 每次作业的处理时间也短得多。水下爆炸成形的每次装药量较少, 基本上没有噪声。许多研究人员声称, 这种方法由于能实行更有效的控制, 从而能克服载荷的脉动。水下成形已普遍采用成形箱[24~26], 有的较大的成形箱装有导轨, 可供组合模具滑入水下; 还设有气泡罩以减轻成形箱壁的冲击载荷; 在工作需要加温的场合, 成形箱内还有加热装置。一些制造公司发现, 对于某些零件的制造来说, 如在工件和模具的上方放置廉价的盛水容器, 可以获得上述两种方法的优点。目前, 中等尺寸零件的爆炸成形, 更多的是将注意力放在模具的设计上, 利用半成品进行加工, 通过爆炸使零件达到尺寸精度, 而不用水槽。