

金属材料 半固态加工 理论与技术

康永林 毛卫民 胡壮麒 著



科学出版社
www.sciencep.com

金属材料半固态加工理论与技术

康永林 毛卫民 胡壮麒 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书在明确半固态加工的概念及特点并简单介绍基本工艺方法、国内外研究现状及发展的基础上,结合作者近年来在承担国家自然科学基金项目的相关课题和国家“973”、“863”关于钢铁材料及铝合金、镁合金半固态加工研究项目工作取得的成果,系统分析、介绍了半固态金属的物理特性和流变理论、组织特性与形成机制、电磁搅拌制备半固态金属的原理与控制方法、半固态浆料和坯料制备、半固态触变成形与流变成形、半固态金属的力学行为、合金与复合材料的半固态喷铸成形、复合材料的半固态制备与加工以及金属材料半固态加工技术在汽车等工业中的应用等。

本书可供大学和科研院所的师生、研究人员,以及有关金属材料 and 复合材料凝固、成形及半固态加工应用企业的工程技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

金属材料半固态加工理论与技术/康永林,毛卫民,胡壮麒著.
—北京:科学出版社,2004

ISBN 7-03-012615-7

I. 金… II. ①康…②毛…③胡… III. 金属加工 IV. TG

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 125397 号

责任编辑:鄢德平 邱 璐/责任校对:钟 洋
编辑制作:科学出版社编务公司/责任印制:钱玉芬

封面设计:王 浩

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2004年5月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2004年5月第一次印刷 印张:25

印数:1~2 000 字数:478 000

定价:62.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

前 言

20 世纪 70 年代初,美国麻省理工学院的 Flemings 教授等提出了一种金属成形的新方法,即半固态加工技术(semi-solid metallurgy or semi-solid forming,简称 SSM 或 SSF)。由于半固态金属成形具有许多独特的优点,因此,近年来,在理论和技术研究以及应用上引起各国的高度重视。自 1990 年至 2002 年,国际上召开了 7 届半固态加工专题的学术会议(International Conference on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites)。在美国、日本和意大利等国,采用半固态加工技术生产铝合金、镁合金成形件的企业发展迅速,半固态加工金属部件产品在汽车、通信、电器、航空航天和医疗器械等领域得到应用。国外有的学者将其称为追求省能、省资源、产品高质量化、高性能化的 21 世纪最有前途的金属材料加工技术之一。

由于该技术采用了非枝晶半固态浆料,打破了传统的枝晶凝固模式,所以半固态金属与过热的液态金属相比,含有一定体积比率的球状初生固相,与固态金属相比,又含有一定比率的液相。因此,半固态金属成形在获得均匀、细晶组织、提高性能、缩短加工工序、节约能源等方面具有其独特明显的优势,非常适合于现代金属材料的成形加工。20 世纪 80 年代后期以来,半固态加工技术得到了各国科技工作者的普遍重视,目前已经针对这种技术开展了许多工艺实验和理论研究。从研究的材料来看,可分为有色金属及其合金的低熔点材料半固态加工和钢铁材料等高熔点金属材料及复合材料的半固态加工,其应用领域也在逐年扩大。

与历史久远而传统的铸造、锻造和轧制等液态和固态金属成形加工技术比较,半固态加工无论在理论和技术的成熟及完善方面均无法相比,但正因为如此,需要众多的科技工作者针对这一崭新的、具有广阔前景的材料加工新方法从理论基础、应用技术到产品工艺开发给以关注,并进行大量的工作以促进其发展、完善并发挥其应有的作用。近年来,在半固态加工相关的基础研究、应用基础研究和应用研究等方面得到国家自然科学基金和国家“973”、“863”等项目的支持,取得了较大的进展和一大批成果,并逐步向实际应用发展,受到了汽车和冶金等行业的高度关注,对于我国该方法的技术和理论发展起到了重要作用。

本书是作者与多位合作者在国家自然科学基金及“863”、“973”项目的支持下开展金属材料半固态加工研究工作的基础上,参考了大量近年国内外的有关研究文献和成果,进行理论及应用技术上的系统化的结果。主要内容分 11 章:

第1章 绪论;第2章 半固态金属的物理特性与流变理论;第3章 半固态金属的搅拌组织特性与形成机制;第4章 半固态金属的力学行为;第5章 半固态金属浆料或坯料的电磁搅拌制备工艺;第6章 半固态金属浆料或坯料的其他制备工艺;第7章 半固态金属的触变成形;第8章 半固态金属的流变成形;第9章 铁基半固态合金的制备和性能;第10章 铁基/铜基复合材料的半固态制备和性能;第11章 金属半固态加工技术的工业应用。

本书第1,4,8,11章和2.1~2.4,6.10,7.3~7.4,10.3节由康永林撰写;第3,5章和6.1~6.9,7.1~7.2节由毛卫民撰写;第9章和10.1~10.2节由胡壮麒撰写;第2.5~2.7节由陈金玉撰写。

作者十分感谢国家自然科学基金和国家“863”、“973”项目对本书相关研究工作的大力支持。张海峰教授、赵爱民教授和宋仁伯博士、潘险峰博士等多位同志在本书相关研究工作中做了大量工作,本书的工作还得到了傅恒志院士、胡正寰院士、石力开教授和国家自然科学基金委何鸣鸿博士、朱旺喜博士、孙贵茹研究员的热情指导、支持和帮助,同时也得到有关专家的指导,在此一并表示衷心的感谢。

作 者
2004年元月

目 录

前言

第 1 章 绪论	(1)
1.1 半固态加工的概念与特点	(1)
1.1.1 半固态加工的概念	(1)
1.1.2 半固态金属的特点	(2)
1.2 半固态加工的基本工艺方法	(5)
1.3 半固态加工的研究及发展	(6)
1.3.1 国外研究现状	(6)
1.3.2 国内研究现状	(9)
参考文献	(10)
第 2 章 半固态金属的物理特性与流变理论	(13)
2.1 半固态金属的流变性 with 触变性	(13)
2.2 表观黏度	(14)
2.3 半固态金属的黏性行为	(21)
2.4 半固态金属的流变理论	(25)
2.5 半固态金属浆料的微结构	(26)
2.6 半固态金属浆料的微结构模型	(28)
2.6.1 微结构模型	(28)
2.6.2 固体颗粒形态(morphology)对表观黏度的影响	(29)
2.6.3 聚集体(agglomerates)的结构对表观黏度的影响	(30)
2.6.4 微结构与流变性的关系	(30)
2.7 半固态金属浆料的流变学行为	(30)
2.7.1 稳态流变行为	(30)
2.7.2 暂态流变行为	(34)
2.7.3 连续冷却行为	(40)
参考文献	(41)
第 3 章 半固态金属的搅拌组织特性与形成机制	(46)
3.1 金属凝固组织的形成机制	(46)
3.1.1 金属的传统枝晶凝固组织与形成机制	(46)
3.1.2 金属的半固态非枝晶凝固组织与形成机制	(50)
3.2 铝合金的半固态凝固组织及影响因素	(63)

3.2.1	机械搅拌的半固态铝合金凝固组织	(63)
3.2.2	电磁搅拌的半固态铝合金凝固组织	(66)
3.3	镁合金的半固态凝固组织及影响因素	(70)
3.3.1	机械搅拌的半固态镁合金凝固组织	(70)
3.3.2	电磁搅拌的半固态镁合金凝固组织	(72)
3.4	高熔点金属及合金的半固态凝固组织及影响因素	(74)
3.4.1	半固态铸铁的凝固组织	(74)
3.4.2	钢及高温合金的半固态凝固组织	(77)
3.4.3	铜合金的半固态凝固组织	(81)
3.5	其他低熔点合金的半固态凝固组织及影响因素	(82)
3.5.1	锡铅合金的半固态凝固组织	(82)
3.5.2	金属基复合材料的半固态凝固组织	(83)
	参考文献	(85)
第4章	半固态金属的力学行为	(90)
4.1	半固态金属的变形特性	(90)
4.2	半固态铝、镁合金的力学行为	(97)
4.3	半固态钢铁材料的力学行为	(101)
4.4	半固态金属的数学力学模型	(109)
4.4.1	固-液两相的塑性流动规律	(109)
4.4.2	半固态浆料的物理模型	(110)
4.4.3	流变应力模型	(111)
4.4.4	塑性变形的微观机制	(113)
	参考文献	(118)
第5章	半固态金属浆料或坯料的电磁搅拌制备工艺	(120)
5.1	交流感应旋转电磁场搅拌制备半固态金属浆料或坯料	(120)
5.1.1	交流感应旋转电磁场搅拌工作原理	(120)
5.1.2	低熔点半固态金属浆料或坯料的制备	(126)
5.1.3	高熔点半固态金属浆料或坯料的制备	(139)
5.2	交流感应行波电磁场搅拌制备半固态金属浆料或坯料	(143)
5.3	永久磁铁旋转法搅拌制备半固态金属浆料或坯料	(146)
5.4	无芯感应熔化法搅拌制备半固态金属浆料或坯料	(149)
	参考文献	(150)
第6章	半固态金属浆料或坯料的其他制备工艺	(153)
6.1	机械搅拌方法制备半固态金属浆料或坯料	(153)
6.1.1	非连续机械搅拌法	(153)
6.1.2	连续机械搅拌法	(155)
6.2	变形诱变激活方法制备半固态金属坯料	(159)

6.3	超声振动方法制备半固态金属浆料或坯料	(161)
6.4	单辊旋转方法制备半固态金属浆料或坯料	(165)
6.5	晶粒细化及半固态重熔方法制备半固态金属浆料或坯料	(168)
6.5.1	ZA12 合金的晶粒细化及半固态重熔组织变化	(168)
6.5.2	AlSi7Mg 合金的晶粒细化及半固态重熔组织变化	(169)
6.6	喷射沉积方法制备半固态金属坯料	(173)
6.7	粉末冶金方法制备半固态金属坯料	(178)
6.8	低过热度浇注方法制备半固态金属浆料或坯料	(182)
6.8.1	低过热度浇注制备 AlSi7Mg 合金半固态坯料	(182)
6.8.2	低过热度浇注制备变形铝合金半固态坯料	(188)
6.9	紊流效应方法制备半固态金属浆料或坯料	(191)
6.10	用倾斜冷却板制备半固态铝合金坯料的方法与组织	(191)
	参考文献	(193)
第 7 章	半固态金属的触变成形	(198)
7.1	金属坯料的半固态重熔加热	(199)
7.1.1	坯料的半固态重熔加热方法	(199)
7.1.2	半固态重熔加热坯料的组织演变	(221)
7.1.3	半固态重熔加热时固相分数的测控	(234)
7.2	半固态金属的触变压铸成形	(242)
7.2.1	半固态金属触变压铸工艺与设备	(242)
7.2.2	半固态金属触变压铸工艺参数的控制规律	(251)
7.3	Thixomolding 成形工艺、设备及产品组织性能	(262)
7.4	其他半固态触变成形工艺、设备及产品	(266)
7.4.1	触变锻造	(266)
7.4.2	触变挤压	(266)
7.4.3	触变轧制	(268)
	参考文献	(269)
第 8 章	半固态金属的流变成形	(275)
8.1	双螺旋式半固态流变成形技术	(275)
8.2	锥桶式半固态流变成形技术	(277)
8.2.1	锥桶式半固态流变成形装置的构造	(278)
8.2.2	工作原理、特点及技术参数	(280)
8.2.3	试验结果	(280)
8.3	半固态金属直接轧制成形	(282)
8.3.1	半固态金属直接轧制成形工艺及设备	(282)
8.3.2	半固态钢铁材料流变轧制的组织与性能	(288)

8.4 其他几种半固态流变成形技术	(306)
8.4.1 单螺旋流变注射成形机	(306)
8.4.2 水平式单螺旋流变注射成形机	(307)
8.4.3 半固态流变铸造成形	(308)
参考文献	(309)
第9章 铁基半固态合金的制备和性能	(312)
9.1 电磁搅拌制备铁基半固态合金及其性质	(313)
9.1.1 感应电磁搅拌及影响因素	(315)
9.1.2 FC20 半固态合金的研究	(319)
9.2 液相线铸造制备铁基超微细粒状组织合金	(337)
9.2.1 高频感应悬浮熔炼及循环过热的合金净化	(341)
9.2.2 浇铸温度、冷却速度及合金体系对合金显微组织的影响	(341)
参考文献	(350)
第10章 铁基/铜基复合材料的半固态制备和性能	(352)
10.1 Fe-Cr-Ni/SiC 复合材料的制备	(352)
10.1.1 电磁搅拌工艺制备 Fe-Cr-Ni/SiC 复合材料	(354)
10.1.2 Ni-SiC 的球磨工艺对制备 Fe-Cr-Ni/SiC 复合材料的影响	(355)
10.1.3 合金在凝固过程中增强颗粒与凝固界面的交互作用	(359)
10.1.4 SiC 增强颗粒加入时间对制备 Fe-Cr-Ni/SiC 复合材料的影响	(361)
10.2 Fe-Cr-Ni/SiC 复合材料的性能	(362)
10.3 铜基颗粒强化复合材料的制备和性能	(367)
参考文献	(370)
第11章 金属半固态加工技术的工业应用	(373)
11.1 半固态加工应用的金属材料	(373)
11.1.1 铝合金材料	(373)
11.1.2 镁合金材料	(375)
11.1.3 钢铁材料	(376)
11.2 半固态加工技术在汽车工业中的应用	(377)
11.3 半固态加工技术在其他工业中的应用	(380)
11.3.1 镁合金半固态加工技术的应用	(380)
11.3.2 铝合金半固态加工技术的应用	(382)
11.3.3 高熔点金属材料半固态加工技术的应用	(382)
参考文献	(387)

第 1 章 绪 论

1.1 半固态加工的概念与特点

1.1.1 半固态加工的概念

传统的金属成形主要分为两类:一类是金属的液态成形,如铸造、液态模锻、液态轧制、连铸等;另一类是金属的固态成形,如轧制、拉拔、挤压、锻造、冲压等。在 20 世纪 70 年代美国麻省理工学院的 M.C.Flemings 教授等提出了一种金属成形的新方法,即半固态加工技术。金属半固态加工就是在金属凝固过程中,对其施以剧烈的搅拌作用,充分破碎枝状的初生固相,得到一种液态金属母液中均匀地悬浮着一定球状初生固相的固-液混合浆料(固相组分一般为 50%左右),即流变浆料,利用这种流变浆料直接进行成形加工的方法称之为半固态金属的流变成形(rheofforming);如果将流变浆料凝固成坯锭,按需要将此金属坯锭切成一定大小,然后重新加热(即坯料的二次加热)至金属的半固态温度区,这时的金属坯一般称为半固态金属坯料。利用金属的半固态坯料进行成形加工,这种方法称之为触变成形(thixoforming)。半固态金属的上述两种成形方法合称为金属的半固态成形或半固态加工(semi-solid forming or processing of metal),目前在国际上,通常将半固态加工(semi-solid metallurgy)简称为 SSM。

就金属材料而言,半固态是其从液态向固态转变或从固态向液态转变的中间阶段,特别对于结晶温度区间宽的合金,半固态阶段较长。金属材料在液态、固态和半固态三个阶段均呈现出明显不同的物理特性,利用这些特性,产生了凝固加工、塑性加工和半固态加工等多种金属热加工成形方法^[1]。

凝固加工利用液态金属呈现出良好的流动性,以完成成形过程中的充填、补缩直至凝固结束。其发展趋势是采用机械压力替代重力充填,从而改善成形件内部质量和尺寸精度,但从凝固机制角度看,凝固加工要想完全消除成形件内部缺陷是极其困难的,甚至是不可能的。

塑性加工利用固态金属在高温下呈现的良好塑性流动性,以完成成形过程中的变形和组织转变。与凝固加工相比,采用塑性加工成形的产品质量明显好,但由于固态金属变形抗力高,所需变形力大,设备也很庞大,因此要消耗大量能源,对于复杂零件往往需要多道成形工序才能完成。因此,降低加工能耗和成本、减小变形阻力、提高成形件尺寸精度和表面与内部质量成为塑性加工的发展方向。由此出现了精密模锻、等温锻造和超塑性加工等现代塑性加工方法。

半固态加工是利用金属从液态向固态转变或从固态向液态转变(即液固共存)过程中所具有的特性进行成形的方法。这一新的成形加工方法综合了凝固加工和塑性加工的长处,即加工温度比液态低、变形抗力比固态小,可一次大变形量加工成形形状复杂且精度和性能质量要求较高的零件。所以,国外的专家将半固态加工称为 21 世纪最有前途的材料成形加工方法。

图 1-1 表示金属在高温下三态成形加工方法的相互关系。

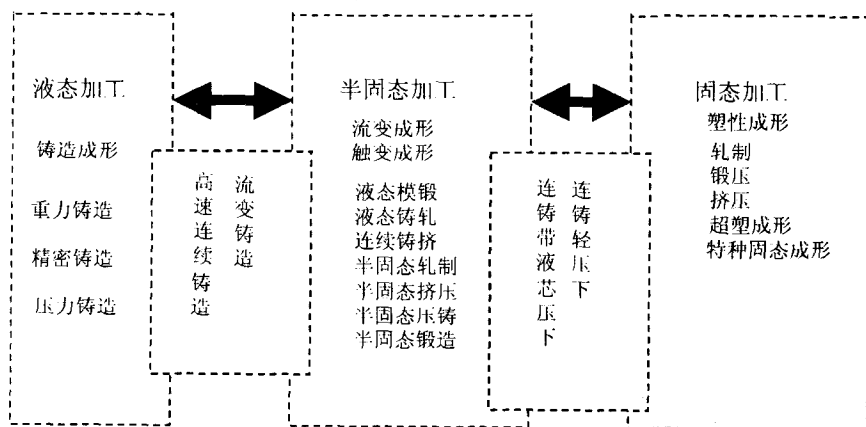


图 1-1 金属高温三态成形加工方法的相互关系

1.1.2 半固态金属的特点

半固态金属(合金)的内部特征是固液相混合共存,在晶粒边界存在金属液体,根据固相分数不同,其状态不同,图 1-2 表示半固态金属的内部结构^[2]。

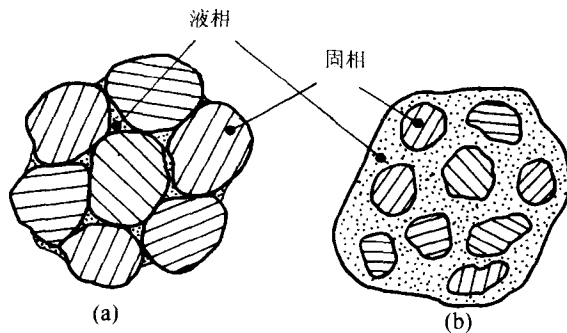


图 1-2 半固态金属的内部结构

(a)半固态(高固相率);(b)半固态(低固相率)

在高固相率时,液相成分仅限于部分晶界(见图 1-2(a)),当固相率低时,固相颗粒游离在液相成分之中(见图 1-2(b))。半固态金属的金属学和力学特点主要有:

(1) 由于固液共存,在两者界面熔化、凝固不断发生,产生活跃的扩散现象。因此溶质元素的局部浓度不断变化。

(2) 由于晶粒间或固相粒子间夹有液相成分,固相粒子间几乎没有结合力,因此,其宏观流动变形抗力显著低。

(3) 随着固相率的降低,呈现黏性流体特性,在微小外力作用下即可很容易变形流动。

(4) 当固相率在极限值(约 75%)以下时,浆料可以进行搅拌,并可很容易地混入异种材料的粉末、纤维等(图 1-3)。

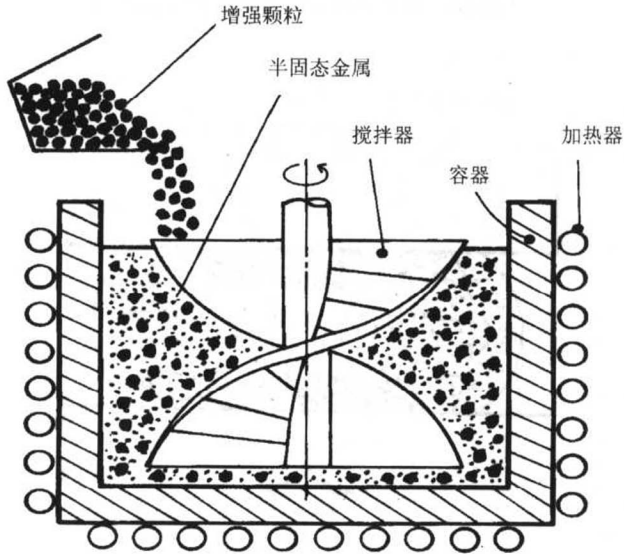


图 1-3 半固态金属和强化粒子(纤维)的搅拌混合

(5) 由于固相粒子间几乎无结合力,在特定部位虽然容易分离,但由于液相成分的存在,又可很容易地将分离的部位连接形成一体化。特别是液相成分很活跃,不仅半固态金属间的结合,而且与一般固态金属材料也容易形成很好的结合(图 1-4)。

(6) 即使是含有陶瓷颗粒、纤维等难加工性材料,也可能通过半熔融状态在低加工力下进行成形加工。

(7) 存在当施加外力时,液相成分和固相成分分别流动的情况。虽然施加

外力的方法和当时的边界约束条件可能不同,但一般来说,存在液相成分先行流动的倾向或可能性(图 1-5)。

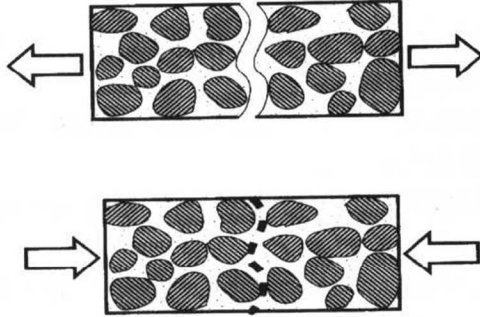


图 1-4 半固态金属的分离结合示意图

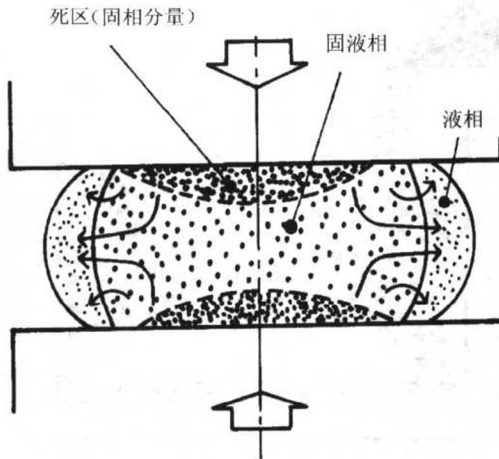


图 1-5 半固态金属变形时液相成分和固相成分的流动

(8) 上述现象在固相率很高或很低或加工速度特别高的情况下都很难发生,主要是在中间固相率范围或低加工速度情况下显著。

与普通的加工方法相比,半固态金属加工具有许多独特的优点^[3~5]:

(1) 黏度比液态金属高,容易控制;模具夹带的气体少,减少氧化、改善加工性,减少模具黏接,可进行更高速的部件成形,改善表面光洁度,易实现自动化和形成新加工工艺。

(2) 流动应力比固态金属低。半固态浆料具有流变性和触变性,变形抗力非常小,可以更高的速度成形部件,而且可进行复杂件成形,缩短加工周期,提高

材料利用率,有利于节能节材,并可进行连续形状的高速成形(如挤压),加工成本低。

(3) 应用范围广。凡具有固液两相区的合金均可实现半固态加工。可适用于多种加工工艺,如铸造、轧制、挤压和锻压等,并可进行材料的复合及成形。

1.2 半固态加工的基本工艺方法

半固态加工的基本工艺方法可分为流变成形和触变成形两种。如图 1-6 所示,经加热熔炼的合金原料液体通过机械搅拌、电磁搅拌或其他复合搅拌,在结晶凝固过程中形成半固态浆料。下面的工艺分两种:其一是将半固态浆料直接压入模具腔进而压铸成形,或对半固态浆料进行直接轧制、挤压等加工方式成

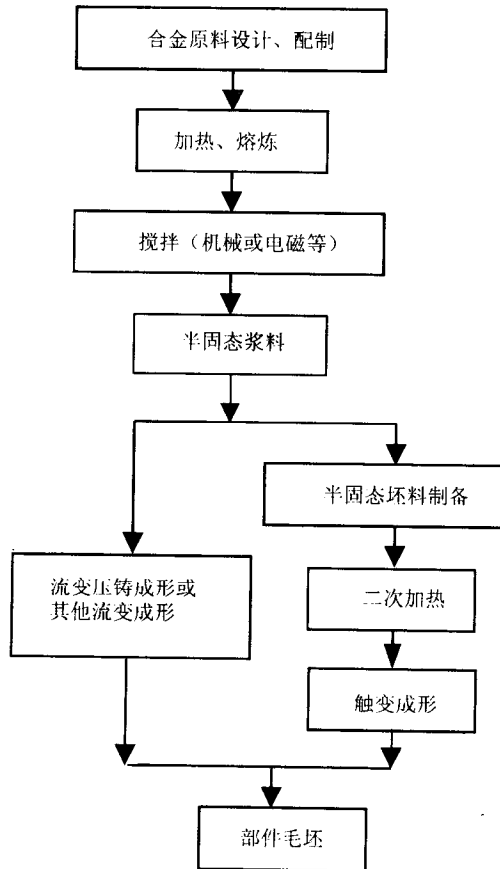


图 1-6 半固态加工的基本工艺方法

形,即流变成形;另一种是将半固态浆料制成坯料,经过重新加热至半固态温度,形成半固态坯料再进行成形加工,此即触变成形。图 1-7 为半固态流变成形和触变成形工艺流程示意图^[6~8]。

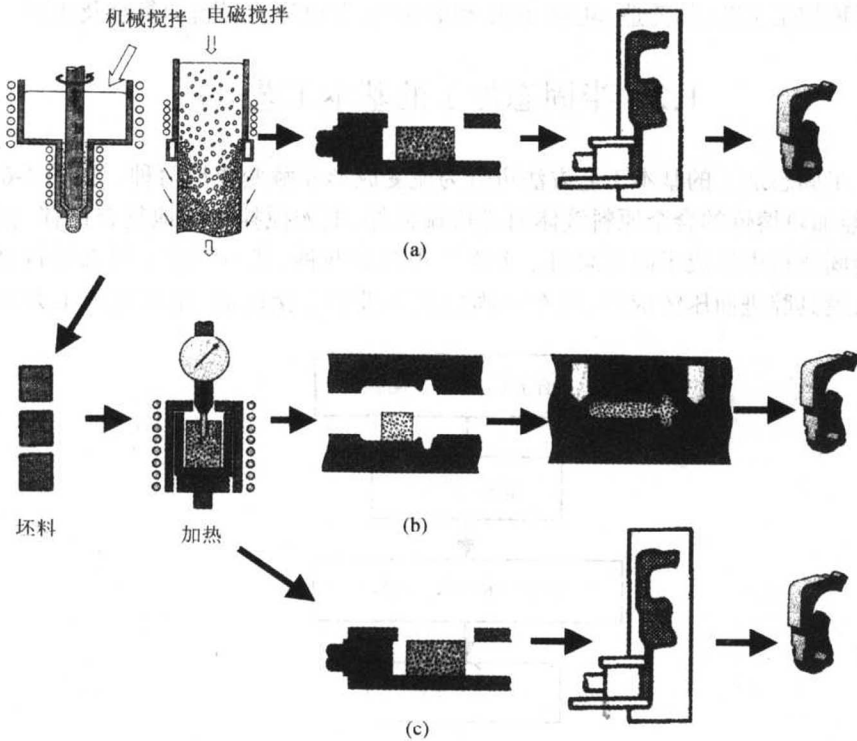


图 1-7 半固态流变成形和触变成形工艺流程示意图
(a)流变压铸成形工艺;(b)触变合模锻压成形工艺;(c)触变压铸成形工艺

1.3 半固态加工的研究及发展

1.3.1 国外研究现状

20 世纪 70 年代初期,美国麻省理工学院的 M.C.Flemings 教授和 David Spencer 博士提出了半固态加工技术^[9,10],由于该技术采用了非枝晶半固态浆料,打破了传统的枝晶凝固模式,具有许多独特的优点,因此关于半固态金属成形的理论和技术研究引起各国研究者的高度重视^[11],半固态加工的产品及应用也随之得到迅速的发展。

20 世纪 80 年代后期以来,半固态加工技术已得到了各国科技工作者的普

遍承认,目前已经针对这种技术开展了许多工艺实验和一些理论研究。根据所研究的材料,可分为有色金属及其合金的低熔点材料半固态加工和钢铁材料等高熔点黑色金属材料半固态加工。

1. 有色金属及其合金的低熔点材料半固态成形研究

20世纪70年代以来,以美国、日本为首的先进国家针对铝、镁、铅、铜等的合金进行了研究,其重点主要放在成形工艺的开发上。目前,国外进入工业应用的半固态金属主要是铝、镁合金^[12],这些合金最成功的应用主要集中在汽车领域,如半固态模锻铝合金制动总泵体、挂架、汽缸头、轮毂、压缩机活塞等。在发达国家,铝合金半固态加工技术(触变成形)已经成熟并进入规模生产,主要应用于汽车、电器、航空航天等领域。如美国的 Alamax 公司1997年的两座半固态铝合金成形汽车零件生产工厂的生产能力分别达到每年5000万件。意大利的 Stampal SPA 和 Fiat Auto 公司生产的半固态铝合金汽车零件质量达7kg,而且形状很复杂;意大利的 MM 公司(Magneti Marelli)为汽车公司生产半固态铝合金成形的 fuel injection rail 零件,在2000年达到日产7500件;瑞士的 Bublcr 公司已经生产出铝合金半固态触变成形的专用 SC 型压铸机(实时压射控制和单一压射缸)和铝合金半固态坯料的专用二次加热设备;日本的 Speed Star Wheel 公司已经利用半固态金属成形技术生产铝合金轮毂(质量约5kg)。

与铝合金半固态成形比较,镁合金的半固态成形技术发展较晚,目前成熟的技术只有触变成形技术。1995年,美国的 Thixomat 公司的子公司——Lindberg 公司利用触变成形工艺,为一些汽车公司生产了50余万件的半固态镁合金铸件。日本的一些公司利用触变成形工艺制造移动通信手机外壳、微型便携式计算机外壳等。但触变成形工艺必须要求提供合适的镁合金屑,这就使得该技术比较复杂、生产成本比较高。近年来,英国布鲁诺(Brunel)大学研制出低熔点合金双螺旋半固态流变成形机,目前正在向产业化方向发展^[13]。另外,最近资料报道,一些发达国家正在开发镁合金半固态连铸坯料和触变成形技术,这些情况说明镁合金的半固态成形技术仍然处在不断发展之中,将会出现新的技术突破。

十几年来,关于半固态加工实验方面的研究主要集中在:①浆料的制备,先后开发出了机械搅拌法、单辊旋转法、电磁搅拌法、超声振动法、直流脉冲法等制备方法;②半固态加工材料的成形,先后开发了压铸成形、模锻成形、注射成形和连铸成形等加工工艺。

理论上的研究主要是围绕与工艺实现和试样组织、性能有关方面进行的^[14]。在此研究成果基础上,近年来又针对浆料固相率的控制与测定^[15]、输送^[16]、工艺参数如变形抗力、成形线速度和铸型温度等对试样的表面质量、内部成分和组织分布规律的影响等较高层次的问题开展了较为系统的理论研究,取

得了一定的进展。另外,在纤维和颗粒增强材料、与陶瓷等的复合材料方面也进行了一些研究。但关于加工过程中凝固模型的建立和理论模拟等方面的高层次研究还并不多见。

2. 高熔点黑色金属的半固态成形研究

到目前(2003年)为止,国际上共召开了7次半固态加工方面的专题国际学术会议,从研究的材料来看,绝大多数是关于铝合金、镁合金等低熔点材料。例如,2000年9月底在意大利召开的第6届半固态加工国际学术会议,会上共发表学术论文134篇,但其中关于高熔点钢铁材料半固态加工的研究论文仅6篇。所涉及的钢铁材料为M2、共析钢、H11钢和不锈钢等。由此可见钢铁材料半固态加工的有关基础理论和应用研究任重道远,但一旦取得突破,其前景将十分广阔。

到了2002年9月在日本筑波召开的第7届半固态加工国际学术会议,研究状况有了一些新的发展。在此次学术交流会议上,共发表论文148篇,其中关于高熔点钢铁材料半固态加工的研究论文13篇,会议专设了一个钢铁材料半固态加工研讨的分会场。采用半固态加工方法所研究的高熔点材料涉及D2、HS6-5-2高速工具钢、100Cr6钢、60Si2Mn弹簧钢、AISI304不锈钢、C80工具钢、铸铁等钢铁材料,半固态加工方法涉及触变锻压、挤压、铸造和直接流变轧制及喷铸成形等^[17~25]。

根据已有的文献和研究结果来看,高熔点黑色金属半固态加工之所以进展缓慢,其中的重要原因在于存在以下困难:

- (1) 选择的材料液固线温度区间较小;
- (2) 高温半固态浆料难以连续稳定地制备;
- (3) 熔体的温度、固相的比率和分布难以准确控制;
- (4) 浆料在高温下输送和保温困难;
- (5) 成形温度高,工具材料的高温性能难以保证等。

目前研究的重点主要集中在某些钢种的压铸、锻造等非连续半固态成形加工方面。下面对高熔点黑色金属材料半固态浆料制备方法、成形的研究现状和发展趋势做一简要分析。

1) 高熔点黑色金属半固态浆料或坯料的制备方法研究

获得高熔点黑色金属半固态浆料或坯料的方法主要有:美国麻省理工学院M. C. Flemings等人发明的机械搅拌法,该方法利用机械搅拌打碎枝晶使其成为颗粒状粒子;电磁搅拌方法,该方法利用交流电磁感应力使金属浆料产生剧烈流动,使金属凝固析出的枝晶充分破碎并球化,不污染金属液,金属浆料纯净,不卷入气体,可以连续生产流变浆料或连铸锭坯,产量可以很大。还有利用应变激活