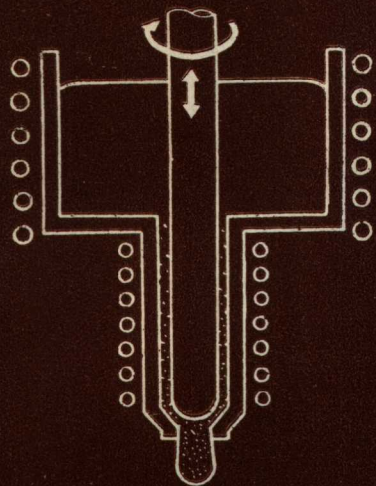


半固态铸造



国防工业出版社

19.9

半 固 态 铸 造

陈嵩生等 编译

国防工业出版社

内 容 简 介

半固态铸造是国外近几年出现的一项新工艺。它是用在特殊的冷却搅拌装置中制得的部分固态-部分液态的混合金属浆料，直接或间接铸造成形的新工艺。具有浇注温度低，铸型受热条件得到显著改善，铸件气孔少且可进行热处理，材料便于运送，易于组织生产等优点。特别对解决黑色金属压铸面临的难题具有一定的现实意义。

本着“洋为中用，改造创新”的精神，由陈嵩生、杨慎、呼延青、于训杰几位同志编译了这本半固态铸造技术书籍。书中介绍了半固态铸造的概况、机理、设备、成本、应用等方面的内容。可供从事科研、生产的铸造技术人员参考。

半 固 态 铸 造

陈嵩生等 编译

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业登记证出字第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

*

787×1092¹/₃₂ 印张 4 84千字

1978年9月第一版 1978年9月第一次印刷 印数：00,001—20,000册

统一书号：15034·1722 定价：0.34元

目 录

半固态铸造新工艺简述——代译者序	1
一、半固态铸造发展概况和优点	18
二、半固态铸造的机理和设备	38
三、半固态铸造有关参数、性能、成本的探讨	52
四、半固态铸造的优点及基础研究和改进	76
五、半固态搅溶铸造	113
六、半固态铜基合金的低压压铸	119

半固态铸造新工艺简述

——代译者序

(一) 背 景

半固态铸造工艺是美国国防部近期组织搞的一项科研项目。有麻省理工学院、伊利诺斯州大学、通用电气公司、希蒂奇奈制造公司等单位参加。至今已初告完成。据美国国防部国防先进研究规划局(DAPRA)1976年的一份报告预计,1977年即可将此法用于部分军械产品的铸造上。报告估计,如果在国防部采购的小型黑色金属军械零件中有10%采用半固态压铸,每年可以节省数百万美元。

半固态铸造的基础原理与传统的全液态铸造工艺不同。几年中上述参加单位就这一新工艺的机理、参数、性能、改进、实践、效果等进行了研究工作,并在第40届国际铸造年会上,发表了论文,引起各国的重视。

这项研究规划,其总的目标是要实现黑色金属的机器铸造。其核心是设想借发明一种新的工艺来实现这一目标,而不是利用现行工艺的小改小革,也不是在现有的设备中换用较好的材料(例如:在现行的黑色金属压铸工艺中用钼基耐热金属压型取代普通模具钢压型)。把半固态铸造工艺应用到黑色金属压铸上是突破的重点,从而为黑色金属压铸的发展打开一条新的途径,把黑色金属压铸从目前所处的困境中解脱出来,并使其迅速发展。

初步选定的产品对象，主要是以枪械零件为主的小型黑色金属铸件。在试验中，用这一新工艺压铸的产品是M16步枪击锤和M 60 机枪的板机槽。

半固态铸造新工艺的应用潜力很大，绝不仅限于军械产品的生产和压铸工艺上。美国目前还计划采用这一新工艺及半固态铸-锻工艺，生产铸铜阀体以代替铸钢阀体和燃汽轮机叶片，性能可达到锻件水平。

(二) 概 况

半固态铸造，顾名思义，即是指将即非全呈液态，又非全呈固态的固态-液态的金属混合浆料铸造成形的新方法。现代可供大量生产的金属成形工艺有两种：一种是采用完全呈液态的金属成形，例如各种铸造；一种是采用完全是固态的金属成形，例如锻造、挤压等。至今，还没有一种成形工艺采用半固态金属。因为合金在通常的凝固过程中会形成树枝状组织，而当合金呈 20% 的凝固状态时，这种组织即开始硬化。如果要使部分凝固的金属产生变形，就必然会产生断裂或形成偏析。根据在麻省理工学院进行的试验研究发现，当剧烈搅拌正在凝固的金属合金时，虽然随着温度的下降，合金中的固体组分不断增加，甚至增加到 40~60% 以至更高时，这种合金仍然象糊状浆料一样，具有很好的流动性，仍可以用压铸等铸造方法成形。合金在半凝固状态下呈现的这种类似液体可以流动的、带有粘性的特性，即流变性，给人以很大的启示，构成了半固态铸造工艺的一个理论基础。

经研究，之所以出现上述情况，是因为合金在凝固时经过剧烈的搅拌作用，不会形成交错的树枝状结晶组织，而是

形成均匀的混合组织。在这种混合组织中，出现了彼此隔离开的球状初次固体质点，这些质点悬浮在其余仍是液态的金属母液中。研究证实，初次固体质点的球态化对金属浆液的粘度影响很大。这种组织比半树枝状质点浆液的粘度要低得多。而要获得球状或近似球状的质点，除需有足够的冷却速率外，还需要有较高的剪切率。对上述的半固态合金组织，由于这些单个的初次固体质点始终保持被金属母液（即液态基体）分隔的状态，因此即使其中固体组分高达60~65%（以占40~55%为佳），但这些质点也不会形成相互连结的网状结晶组织。这就是半固态合金粘度降低但仍具有流动性的原因。所谓“剧烈搅拌”，是指半固态合金在这种程度的搅拌作用之下，不致于形成相互连结的网状枝晶组织，并还可减少或消除初次固体质点中已形成的树枝状结晶组织。在半固态浆液制备器中，搅棒的转速为100~1000转/分，多为800~1000转/分，这样即能达到上述要求。

（三）装 置

半固态浆液连续制备器的结构如图1所示，设备外形如图2所示。其具体结构和操作在第一篇文章中详述。但一般均由采用感应加热的液态金属熔池和与其相连的坩埚混拌冷却室组成。由直流电动机带动的搅棒是用富铝红柱石和15%二氧化硅制成的，也有用高纯度的三氧化二铝制成，或直接用陶瓷热电偶保护管做搅棒，均获得满意效果。搅棒以方形比圆形效果更好。搅棒一直延伸到搅拌室的底部，通过其升降来调节浆液的流出速度，这样也就控制了浆液的温度和固体组分。现已用这种设备成功地生产了铝、铜、不锈钢和其

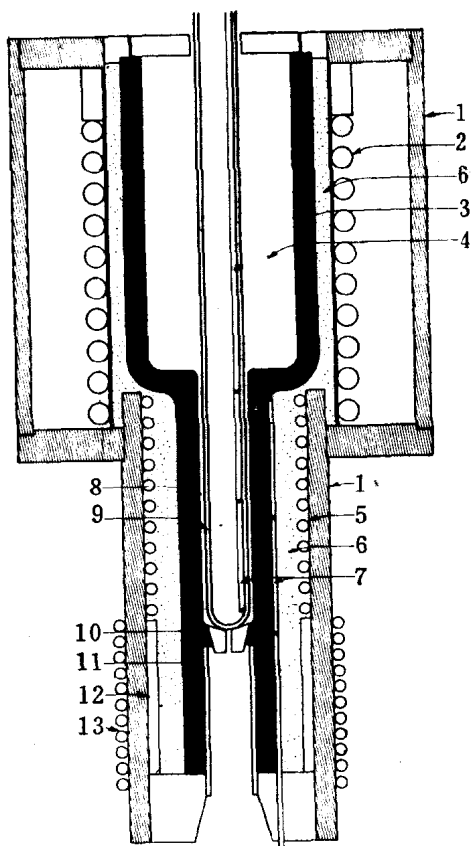


图1 半固态浆液连续制备器结构简图

- 1—外壳；2—感应线圈；3—坩埚；4—熔融合金；
 5—感应冷却线圈；6—桩实的耐火材料；7—热电偶；8—合金浆液；9—陶瓷搅拌；10—出口镶块；
 11—陶瓷套筒；12—绝缘；13—感应线圈。

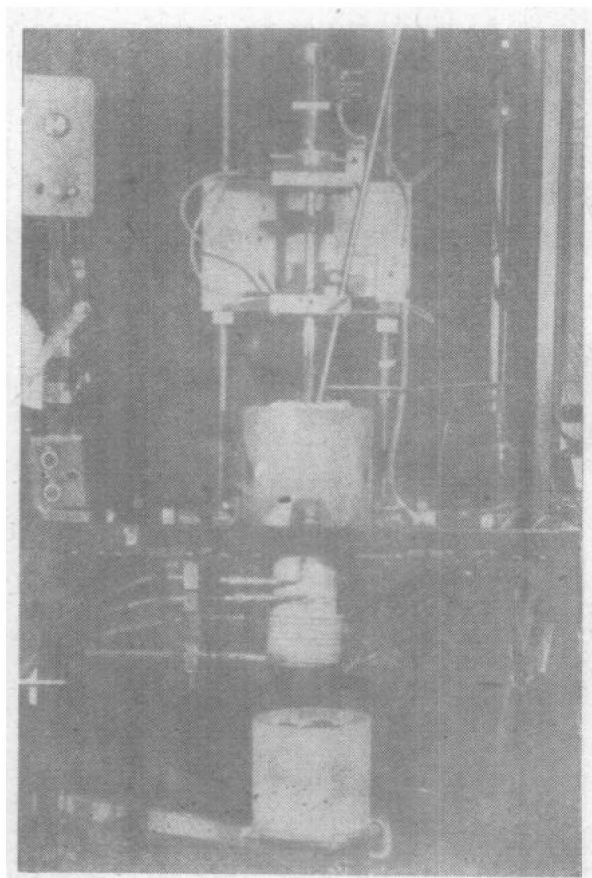


图 2 半固态浆液连续制备器外形图

它高温合金的半固态浆液。

用在上述装置中生产的半固态金属浆液直接铸造成形，即称之为半固态流变铸造，或半固态浆液直接铸造，简称为流变铸造。它是由一台半固态浆液连续制备器和一台铸造机(如压铸机)组成(详见第一篇文章)，其工序流程如图3所示。半固态浆液经水淬后获得的典型显微组织如图4所示。

构成半固态铸造的另一个理论基础是其搅溶性。搅溶性是浆体悬浮液所具有的一种特性。所谓搅溶性，即是指在一定的时间范围内，其粘度随剪切率的增加而减小的特性。这

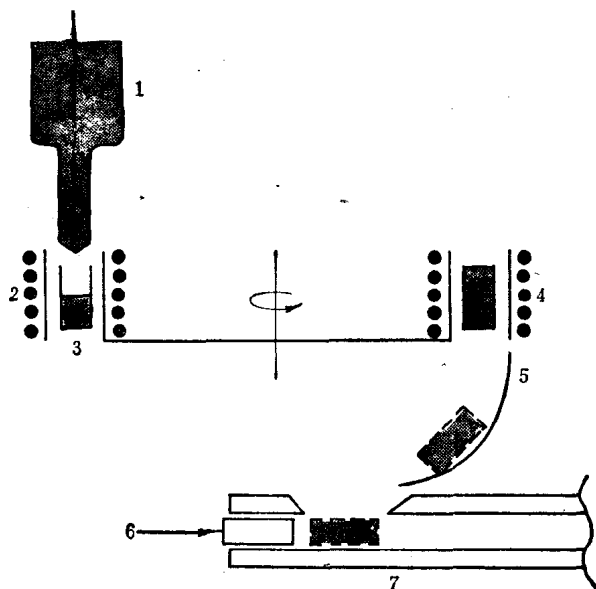
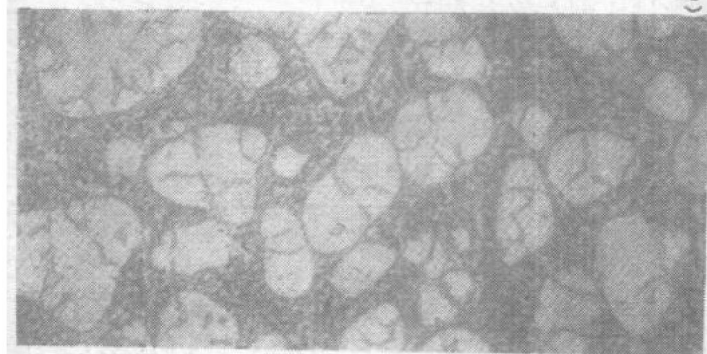


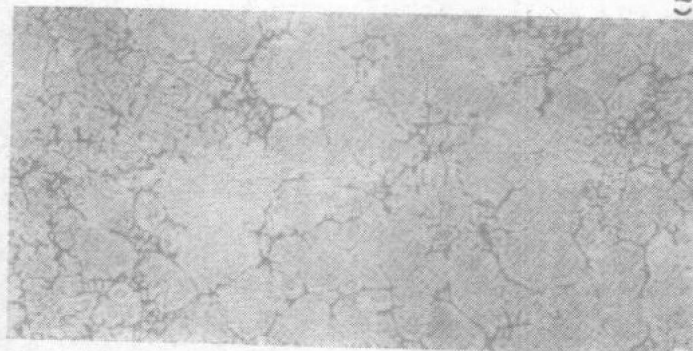
图3 半固态流变铸造工序示意图

1—搅拌室；2—充型；3—运送台1；4—运出；

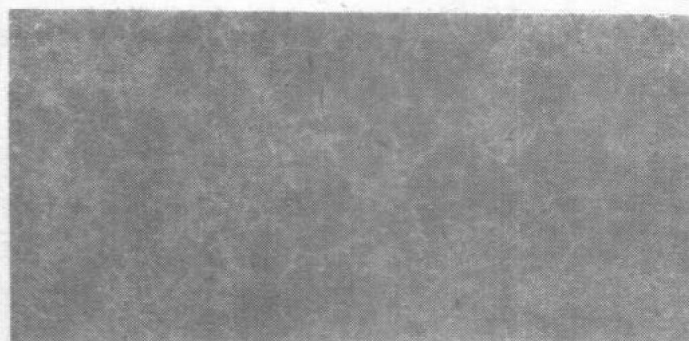
5—运送台2；6—柱塞；7—压射系统。



(a)



(b)



(c)

图4 半固态浆液水淬后显微组织图
(a)—905铜合金, (b)—304不锈钢, (c)—HS31钛基超合金。

种特性是由于在浆体悬浮液中形成前述组织而出现的。就半固态金属而言，这种特殊组织的形成是初次固体质点的部分熔接所造成的。对于固体组分占 50% 的半固态浆料，当剪切率较低或等于零时，其粘度会大大提高，以至使浆液象软固体一样，由人工可以搬运。而随后再施加剪力，则又可使其粘度降低，重新获得流动性，并很容易地铸造成形。通过如下的试验即可以说明这一特性。先制成两个 A 380 铝合金试棒，前者是砂型铸造的，后者是半固态流变铸造的。将二者都加热到约含 40% 固态组分的温度，此时二者都能保持其原来形状，具有一定的固态刚度，都可以象软固体一样由人工搬运。但将二者从 1.2 米的高度抛下时，前者碰到地面象脆性固体一样碎裂；而后者却象液体一样飞溅。如果将二者送入绝热的活塞压射容器中，在预定的压力作用下，前者根本不能成形，并出现大量的热裂纹和抗剪力；而后者在活塞冲击形成的剪力作用下，产生流动，顺利地被压铸成形。

利用半固态金属的这一独特优点，先用连续制备器生产半固态浆液，然后将其全部凝成一定尺寸的锭料，再将锭料切割成所需尺寸、所需重量的小型锭料，以供压铸使用。这些小型锭料在室温下可以长期储存，使用时再重新加热达到所要求的固体组分的软化度，然后即可钳送至压铸机的压射室中进行压铸。这一工艺即被称之为半固态搅溶铸造，或半固态锭料重温铸造，简称为搅溶铸造。显然，由于这种铸造便于组织生产，因而成为美国上述研究规划中重点研究的项目。

半固态搅溶铸造（压铸）的设备包括一台半固态金属连续制备器（同前），一台将锭料迅速再加热到半固态程度的感

应炉，一个用来测定再加热锭料软度的指示器，如图 5 所示，和一台通用的冷室卧式压铸机。为适应半固态压铸的特点，需采用和通常全液态压铸相等或为低的压力，以及较低的内

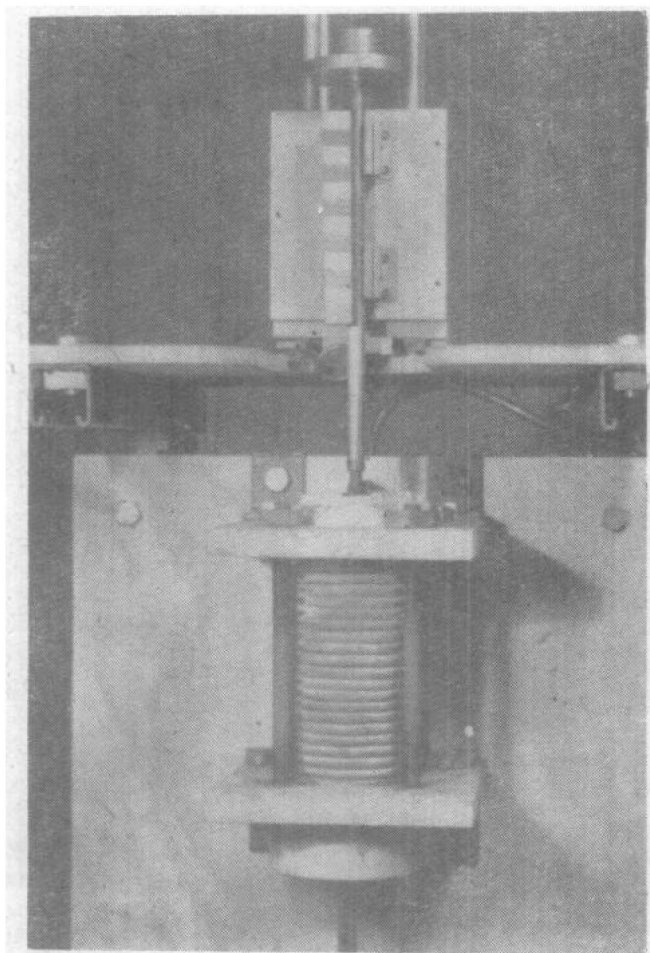


图 5 半固态搅溶铸造再加热炉和软度指示器

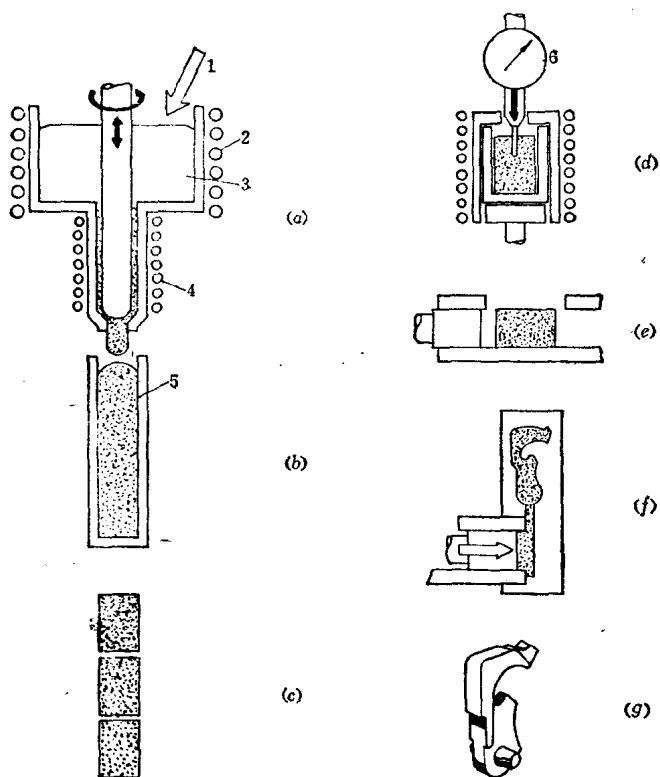


图6 半固态搅溶铸造工序示意图

(a)一半固态浆料连续制备器；(b)一半固态锭料；(c)一被切割成一定尺寸的半固态锭料；(d)一将半固态锭料重新加热至所需的软度；(e)一将重新加热后的半固态锭料送入压铸机的压射套筒中；(f)一压铸；(g)一光饰后的铸件；1—连续馈送液体合金；2—感应加热；3—液态合金；4—冷却；5—铸型；6—软度指示计。

浇口流速。同时也要和普通压铸一样选择最佳工艺参数，以保证铸件的质量。半固态搅溶铸造工序流程图，如图 6 所示。

半固态流变铸造和半固态搅溶铸造尤其是后者，是美国半固态铸造研究规划中重点研究的两项很有应用价值的新工艺。也是我们所介绍的重点。

(四) 应 用

在美国的研究规划中还包括有半固态金属的真空吸铸、电磁铸造、复合材料铸造等等。在铸造范围内，半固态金属还可用于连续铸造、挤压铸造、金属型铸造、真空铸造；在锻压范围内，半固态金属可用于闭模锻造、热压等。

美国的初步研究和试生产表明，适用于半固态流变铸造和搅溶铸造的金属合金有：镁合金、锌合金、铝合金、铜合金（青铜、黄铜）、镍合金、钴合金、铅合金、铸铁、不锈钢、碳钢、合金钢、工具钢等等。适于半固态搅溶铸造（压铸）的产品原则范围，包括：

(1) 材料：钢（特别是不锈钢）和钴基超级合金。

(2) 重量：2~3 公斤左右，先考虑 1 公斤左右的零件。

(3) 数量：大批量，10000 件以上。

(4) 最薄截面尺寸：1.5 毫米，厚度最好不超过 41.2 毫米。

(5) 无死孔、盲孔。

(6) 生产工艺需要大量机械加工，且机加费用至少占总成本 50% 者。

目前，美国的一些军械铸造厂家已在考虑将原用熔模铸造生产的某些零件改用半固态搅溶压铸法生产。这表明半固

态铸造，特别是半固态搅溶压铸的确具有了一定的成熟性。

(五) 优点

1. 大大减少了对压型、压射室、压射套筒的热冲击

半固态搅溶压铸的金属铸造温度低于同类金属全液态压铸的铸造温度，详见表 1。这将有助于降低压型的热冲击。

表 1

材 料	半固态铸造温度	全液态铸造温度
A 380 铝合金	563~571℃	604℃
905 铜合金	940℃	1040℃
304 不锈钢	1420℃	1490℃

压型受热条件的改善不仅是由于降低了几十度浇注温度，而且还由于半固态金属在其搅拌时已有 50% 的熔化潜热散失掉了，同时又因为半固态锭料是在保持其原形的状态下被送入压射室，而不是象全液态压铸那样全部充满压射室。这样就能减少与压射室的接触面积，从而改善了压射室和压射套筒的受热条件。此外，半固态金属进入压型的方式也全然不同。通过高速摄影机拍摄下来的半固态和全液态金属充型的情况可以看出(图 7)，前者，因粘度较后者高 2~3 级，因而充型平稳、无湍流、无喷溅，而后者恰恰相反。全液态金属在充型时所产生的喷溅导致金属压型的热传导系数增高，因此也就造成了对压型的快速热冲击。而基于半固态金属的特点，它对减少压型的热冲击具有很好的效果。在压铸半固态金属时，压型表面温度、表面受热率、表面热梯度峰值都非常低。以压铸半固态和全液态 905 铜合金为例，通过热电偶

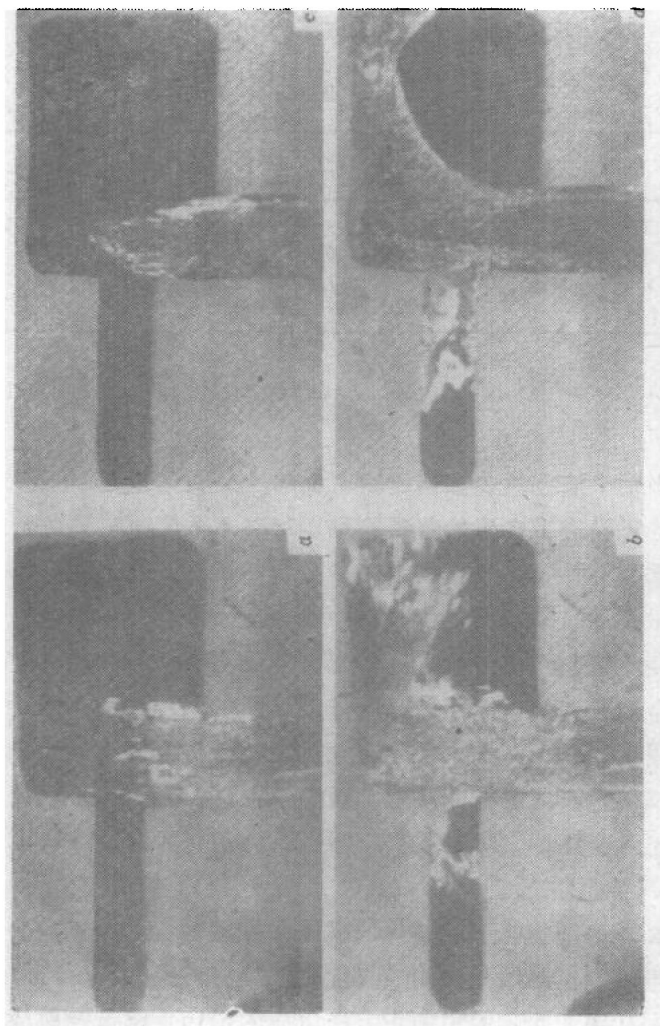


图 7 半固态和全液态金属充型时的不同情况
(a)、(b)一半固态；(c)、(d)一半固态（固相组分占55%）。