

粉末冶金机床零件

北京天桥粉末冶金机床配件厂

第一机械工业部情报所

编 者 的 话

粉末冶金作为少切削、无切削加工技术，在我国从1958年就开始采用，特别是经过无产阶级文化大革命，在毛主席的革命路线指引下，这项新技术得到了进一步的普及和提高，目前虽已被应用在汽车、农机、机床、仪表、交通、纺织及轻工等各工业部门，但仍处于巩固、提高和推广阶段。

为了进一步提高粉末冶金制品的质量和扩大粉末冶金机械零件的应用，我们请北京天桥粉末冶金机床配件厂写了《粉末冶金机床零件》一文，供从事机床和粉末冶金的生产、研究等有关人员参考。本资料介绍了粉末冶金机械零件的一些发展趋势，着重介绍了粉末冶金零件在铣床、车床及座标镗床上的应用。还介绍了粉末冶金机械零件的蒸汽处理。

由于水平所限，在本资料编写工作中一定存在不少问题，谬误之处，请批评指正

编 者

一九七三年二月

目 录

| | |
|-------------------------------|------|
| 粉末冶金机械零件的一些发展趋向..... | (1) |
| 粉末冶金机械零件在机床制造工业中的应用..... | (15) |
| 粉末冶金机械零件在 X62W 铣床中的应用..... | (17) |
| 粉末冶金机械零件在 T4240 座标镗床中的应用..... | (21) |
| 粉末冶金机械零件在 C620—1 车床中的应用..... | (27) |
| 粉末冶金铁基零件的水蒸汽处理..... | (32) |
| 机床用粉末冶金铁基衬套标准草案..... | (35) |

附表 1 . X62W 铣床用粉末冶金零件实例

2 . T4240 座标镗床用粉末冶金零件实例

3 . C620—1 车床用粉末冶金零件实例

粉末冶金机械零件的一些发展趋向

粉末冶金技术日益广泛地应用，正在改变着金属切削与机械制造工业的面貌，粉末冶金可取代冲压铸造及金属切削，今天已发展成了一种和铸造与锻造同样重要的金属加工方法。粉末冶金现在已不再是一种仅能制造用途极为有限的含油轴承合金之类的，力学性能较低的小型机械零件的实用技术它已发展成了一门可经济地大量制造大型的高强度机械零件的生产技术。

在1970年7月的国际粉末冶金会议上，美国粉末冶金工业协会的肯波顿·罗尔曾指出：“美国汽车工业用的粉末冶金铁基制品到1980年将达到年使用量50万吨，其中30万吨将是用叫做粉末锻造的新技术生产的。”倘若考虑到1970年美国汽车工业使用的粉末冶金铁基零件只有约6万吨时，就可想像到今后的发展将是如何迅速了。

一、粉末冶金工业现状

我国的粉末冶金机械零件生产诞生于大跃进的1958年，几经曲折，1961年在北京建立了粉末冶金机械零件的专业性生产厂，1963年发展到了5个专业厂，1964年为8个专业厂，1965年为22个专业厂，1966年发展到59个专业厂与车间，目前有多少个厂没有统计数。

图1表示我国粉末冶金用铁粉1964—1971年的消耗量。由图1可看出，我国粉末冶金用铁粉的消耗量8年间增长了24倍多。1968—1970年没有详细统计数字（为估计数）

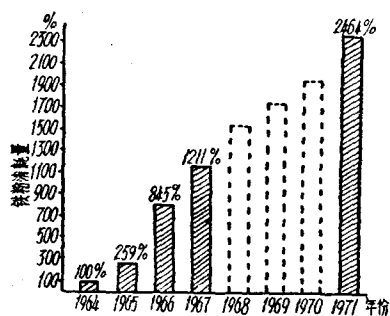


图1 我国粉末冶金用铁粉的消耗量

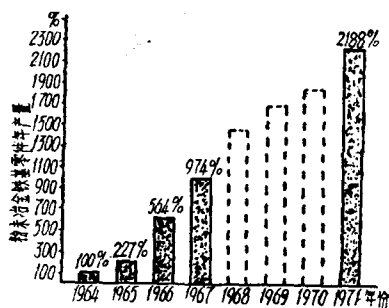


图2 我国粉末冶金铁基零件的产量

图2示我国粉末冶金铁基零件1964—1971年的产量，1968—1970没有详细统计数字（为估计数）。由之可看出，8年间增长了近22倍。

我国粉末冶金机械零件生产，当前正在从生产维修配件转向为整机生产配套零件，从形状简单的小型零件转向生产形状复杂的较大型零件，从手工操作转向机械化，自动化的连续生产。

表1示美、苏、日本、西德1965—1970年的粉末冶金铁基零件产量。由之可看出，各国粉末冶金铁基零件的增长速率都是很快的。

表 1 一些国家1965—1970年粉末冶金铁基零件的产量

| 国 别 | 年 份 产 量 (吨) | 1965 | 1966 | 1967 | 1968 | 1969 | 1970 |
|------|-------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 美 国 | 58,000 | 62,000 | 63,183 | 78,600 | 89,147 |
| 日 本* | 3,909 | 6,000 | 8,000 | 10,000 | 124,76 | — | |
| 西 德 | 6,960 | 6,470 | 5,710 | 8,000 | 10,200 | 12,000 | |
| 苏 联 | 4,500 | — | — | — | — | 13,500 | |

* 近似数字

二、铁粉与钢粉

铁粉是粉末冶金铁基零件生产的基本原料，铁粉生产是评价一个国家粉末冶金的水平与状态的主要准则。现在铁粉生产的主要趋向是：

1. 以降低铁粉生产成本为中心的研究工艺，改进装备，探讨新生产方法。

现在铁粉生产的主要方法是还原法与雾化法（应叫做雾化—还原法）。捷克，东德，西德多采用叫做 RZ 法的雾化法（实际上，是雾化—还原法），而我国，苏联，美国，瑞典都在利用还原法生产铁粉。就生产成本来看，还原铁粉最低。在日本雾化铁粉约 10 万日元/吨，而还原铁粉约为 7 万日元/吨。

扩大铁粉的生产规模，提高生产过程的机械化、自动化程度也是降低铁粉生产成本的一个重要途径。各国皆趋向于建立大型的铁粉生产中心。例如，在美国瑞沃顿有两座年产量达 15000 吨铁粉的隧道窑在生产；在瑞典 1963 年又新建了一座年产量为 44000 吨铁粉的车间。

在我国铁粉生产规模小且分散，最多者也不过年产 1500 吨。铁粉质量不稳定，没有统一的质量标准，同时售价过高，生产成本虽为 700—800 元/吨，但售价却高达 1600 元/吨左右，从而阻碍了我国粉末冶金机械零件生产的发展。

图 3 示美国 1960—1970 年铁粉与钢材价格的变动趋向。由之可看出，近年来，美国碳钢与特殊钢钢材的价格趋向于增高，而铁粉的价格却倾向于减低。并且，1971 年以来，很明显。

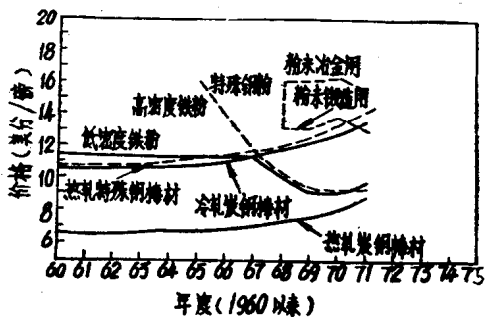


图 3 铁粉与钢材价格的比较 (美国)

粉末冶金机械零件生产的主要原料是铁粉，实际上，一向使用的大部分是还原铁粉，少部分是电解铁粉。

还原铁粉的特点是价廉，最适用于制造中等密度与低密度的粉末冶金零件；电解铁粉价格虽高，但适于用来制造高密度零件。

这两种铁粉的共同性问题是，它们都是纯铁粉。要制造粉末冶金合金钢零件，就不得不以这些纯铁粉与合金元素粉的混合物为原料粉末。但这种混合粉中的合金元素在烧结时不能充分扩散，结果形成的组织不均匀，从而零件的力学性能与热处理性能不够好。

当前，制造预合金粉末的方法虽有氧化物混合物的氢化钙共还原法，点源热扩散饱和法（苏联），扩散连结法（如瑞典海格内斯公司生产之 ANCOLOYSA 低合金钢粉），雾化法（美）等，但主要趋向是发展雾化法。

雾化法虽老早就已被广泛地用来制造铜合金、锡、铅、铝等低熔点金属粉末，一些国家也在用雾化法（RZ法）生产一些铁粉，但一直未能用于大量地生产优质铁粉。美国 A. O 施密斯公司经过 6 年研究之后，首先以雾化法大量地生产优质铁粉，1966 年开始在市场上出售。近年来，这家公司还发展了多种雾化低合金钢粉（表 2），其生产流程示于图 4。

表 2 A. O. 施密斯公司生产的雾化低合金钢粉系统

| | Ni | Mo | Mn | S | Cr |
|------|------|------|-----|-----|------|
| 4600 | 2 | 0.5 | 0.2 | | |
| 46F2 | | 0.5 | 0.5 | | |
| 46F3 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.2 | |
| 40F2 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | | |
| 40F3 | | 0.5 | 0.5 | 0.2 | |
| 15F2 | | | 0.5 | | |
| 15F3 | | | 0.5 | 0.2 | |
| 8600 | 0.5 | 0.5 | 0.2 | | 0.5 |
| 9400 | 0.25 | 0.25 | 0.2 | | 0.25 |

日本的神户制钢所引入了 A. O 施密斯公司的这项技术，1970 年已开始生产雾化纯铁粉，并已试制成功雾化低合金钢粉。

瑞典的海格内斯公司 1970 年约生产 80000 吨铁粉，所有资本主义国家铁粉总消耗量的 55% 左右来自这一公司。这家公司一向以还原铁粉驰名世界，值得注意的是，在这 80000 吨铁粉中已包含有 17000 吨雾化钢粉。

在我国除少数单位在用雾化法制造一些不锈钢粉外，尚未用于大量地生产优质铁粉或合金钢粉。

雾化铁粉或雾化合金钢粉之所以会引起广泛重视，是由于：

(1) 雾化铁粉或雾化合金钢粉的纯度高

还原铁粉含有较大量的呈氧化物或其它矿物状的非金属夹杂，雾化粉末含有之非金属夹杂则很少。粉末冶金零件，

特别是密度接近理论值的粉末冶金热锻件，夹杂物对其韧性与冲击值的影响特别显著。图 5 示还原铁粉与雾化纯铁粉的粉末冶金热锻件的冲击值与密度的关系。由之可看出，雾化铁粉

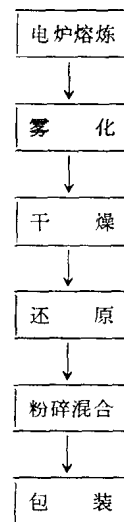


图 4 雾化铁粉的生产流程

锻件当其密度接近理论值时，冲击值正常地急剧增高，但夹杂物含量较高的还原铁粉锻件反而略有减低。因此，雾化粉末的发展是高密度，高冲击值粉末冶金零件，特别是粉末冶金热锻发展的必然趋势。

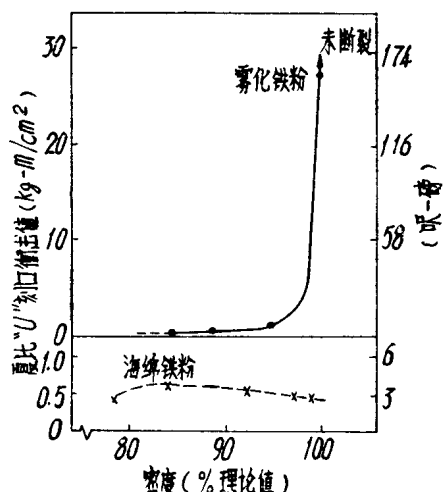


图5 铁粉类别与粉末冶金热锻件的冲击值的关系[4]

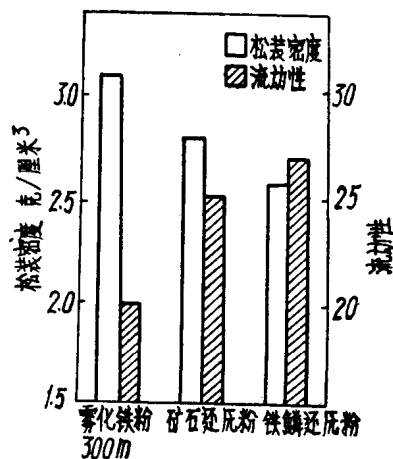


图6 各种铁粉的松装密度与流动性

(2) 雾化铁粉或雾化合金钢粉的松装密度高

图6示雾化铁粉与还原铁粉的松装密度和流动性。制造高密度粉末冶金零件时，必须采用松装密度高的铁粉。松装密度增高，可减低压制压力，减小压模高度，缩小压机行程及减小压机需要之功率，从而可降低粉末冶金零件的生产成本和提高劳动生产率。

(3) 雾化铁粉的流动性好

在粉末冶金零件自动模压成形时，粉末的装入量是用容积定量法控制的。这时，倘若粉末的流动性不好，要想压制形状复杂的零件将是十分困难的。由图6知，雾化铁粉的流动性比还原铁粉好得多。

(4) 雾化法适于制造用于粉末冶金热锻的各种预合金粉。

考虑到粉末冶金热锻时，大部分零件都是合金钢的或有色合金的，以采用雾化粉末为原料较好。因合金钢或有色轻合金如铝合金，钛合金等中大多含有与氧亲和力大的铝，钛，铬，锰等元素，这些活性元素在烧结过程中易被氧化，故不宜采用混合粉。雾化合金粉的压制性虽较差，但粉末冶金热锻是靠热锻密实，故不再是一个严重问题。另一方面，雾化合金粉不需要长时间高温烧结以进行充分扩散，从而对于提高生产率和降低零件的生产成本也具有重要意义。

现在，用粉末冶金热锻制造镍基超级合金零件，如像燃气轮机的盘、毂、隔片等用的超级合金粉末；瑞典制造粉末冶金高速钢用的高速钢粉；美国、日本、英国等制造汽车发动机连杆、齿轮等用的低合金钢粉（4600）等都是用雾化法制造的。

三、大型粉末冶金压机在发展

粉末冶金机械零件一向以重几十克的小零件为对象。近年来，正在向较大型零件发展。

例如，英国粉末冶金零件的平均重量，1967年为27.4克，1969约为30克，1971年为32克左右。

按照零件的单件重量，美国在制造重达6.37公斤的粉末冶金零件，最近重达13.6公斤的零件已变成粉末冶金零件的生产对象。在日本，现在重量最大的粉末冶金铁基零件是3.4公斤。

新的、效率较高的大型粉末冶金机械压机的发展，支持和促进了粉末冶金零件向大型零件发展的趋势。

对于压制粉末冶金零件来说，压制压力高于100吨者适于采用粉末冶金油压机，和小于100吨者宜用粉末冶金机械压机的概念已成过去。美国辛辛纳提公司在60年代后期发展了500吨粉末冶金机械压机，这种压机在美国正在变成中心压机。其特点是，生产效率高，可将压模组装于压机机体内，比过去用的压机工模具费用低且工模具的制造周期短，并可压制多台零件。

日本，1969年前后从美国引进了辛辛纳提公司制造的这种500吨粉末冶金机械压机，正在用之制造汽车的链轮与离合器毂等大型的多台零件。同时，日本也已在制造大型机械压机。

1968年，辛辛纳提公司开始制造第一台标准的1000吨粉末冶金机械压机，现在，正在发展2000吨与3000吨的粉末冶金压机。

现在，粉末冶金压机的一般倾向是，油压机将为机械压机所取代。由于万能压机效率不高，成型压机正在向专用压机方向发展。

四、粉末冶金热锻

粉末冶金法作为少、无切削加工的一项先进技术，近年来，得到了显著发展。现在，用粉末冶金法制造的机械零件，密度高者为6.8~7.2克/厘米³左右，内部含有约10%孔隙。因此，其韧性比用普通冶金-机械加工法制造者低得多。所以，除利用这种残留孔隙的粉末冶金含油轴承之类的特殊用途外，作为机械零件仅只用于低强度的小型零件。表3与表4示日本粉末冶金工业会1970年制定的粉末冶金机械零件用材料标准。

由表3与表4可看出，粉末冶金铁基零件的伸长与冲击值都很低，从而使着冲击负荷大的零件，如像内燃机的连杆，农机与汽车的传动齿轮等一直不能改用粉末冶金制造。

粉末冶金铁基零件韧性低劣是其内部残留之孔隙所致。因此，如何消除粉末冶金机械零件中的残留孔隙，以增高其密度与强度，特别是冲击值，就成了粉末冶金工作者长年研究的重大课题。为填塞残留孔隙，虽也研究出了一些方法，如已在广泛采用的低熔点合金浸渗法，以铜浸渗粉末冶金铁基材料，这虽能增高材料的抗拉强度，但因浸渗金属与材料基体合金化而变脆，韧性并没有多大改进（见表4）。

消除或减少残留孔隙的另外一个重要途径是增高粉末冶金零件的密度。为此，虽在改善金属粉末的压制性，增高成型压力，采用多次压制多次烧结等方面进行了许多工作，但也只能将残留孔隙减低到10%左右。当前，可制取接近理论密度的粉末冶金零件的一个重要方法是粉末冶金热锻。

1. 粉末冶金热锻是甚么意思？

用粉末冶金法制造机械零件已有30多年的历史，现正在继续发展。用粉末冶金法制造机

表 3 传统粉末冶金机械零件材料标准 (成分, 特征, 用途例)

| 类 别 | 记 号 | 合 金 系 | 特 征 | 用 途 例 | |
|--------|-----|----------|-----------|--|--------------------------------|
| SMF 1种 | 1号 | SMF 1010 | 纯铁系 | 较软易磨合 有含油性 可用作磁化铁心 | 衬垫, 极靴 (照相机, 缝纫机, 纺织机械) |
| | 2号 | SMF 1015 | | | |
| | 3号 | SMF 1020 | | | |
| SMF 2种 | 1号 | SMF 2015 | 铁-铜系 | 有含油性, 渗碳处理 可提高耐磨性 | 棘爪, 键 (办公机械照相机) |
| | 2号 | SMF 2025 | | | |
| SMF 3种 | 1号 | SMF 3010 | 铁-碳系 | 有含油性 适用于轻负荷结构零件 | 止推板, 小齿轮 (办公机械, 汽车) |
| | 2号 | SMF 3020 | | | |
| | 3号 | SMF 3030 | | | |
| SMF 4种 | 1号 | SMF 4020 | 铁-碳-铜系 | 有含油性 有耐磨性 适用于一般结构零件 可进行淬火, 回火处理 | 油泵, 门撞锤, 齿轮 (汽车, 农业机械, 家用电气机械) |
| | 2号 | SMF 4030 | | | |
| | 3号 | SMF 4040 | | | |
| | 4号 | SMF 4050 | | | |
| SMF 5种 | 1号 | SMF 5030 | 铁-碳-铜-镍系 | 适用于高强度结构零件 可进行淬火, 回火处理 | 离合器毂, 链轮 (汽车, 农业机械) |
| | 2号 | SMF 5040 | | | |
| SMF 6种 | 1号 | SMF 6040 | 铁-碳 (渗铜)系 | 强度高, 耐磨性、导热性好 有气密性 可进行淬火, 回火处理 | 压力板, 叶片泵转子 (压缩机, 汽车, 农业机械) |
| | 2号 | SMF 6055 | | | |
| | 3号 | SMF 6065 | | | |
| SMK 1种 | 1号 | SMK 1010 | 青铜系 | 软易磨合 具有耐蚀性, 非磁性 | 接线柱, 蜗轮 (办公机械, 农业机械) |
| | 2号 | SMK 1015 | | | |

表 4 传统粉末冶金机械零件材料标准 (力学性能, 密度、组成)

| 记 号 | 拉 伸 试 验 | | 冲 击 试 验 | 密 度 克/厘米 ³ | 化 学 成 分 % | | | | | |
|----------|----------------------------|----------|-------------------------------------|--------------------------|-----------|---------|-------|----|------|-----|
| | 抗拉强度 公斤/毫米 ² | 伸 长 % | 冲击值* (夏比) 公斤米/厘米 ² | | Fe | C | Cu | Ni | Sn | 其 它 |
| SMF 1010 | >10 | >3 | >0.5 | >6.2 | 余量 | — | — | — | — | <1 |
| SMF 1015 | >15 | >5 | >1.0 | >6.8 | | — | — | — | — | <1 |
| SMF 1020 | >20 | >5 | >1.5 | >7.0 | | — | — | — | — | <1 |
| SMF 2015 | >15 | >1 | >0.5 | >6.2 | 余量 | — | <3 | — | — | <1 |
| SMF 2025 | >25 | >1 | >0.5 | >6.6 | | — | <3 | — | — | <1 |
| SMF 3010 | >10 | >1 | >0.5 | >6.2 | 余量 | 0.2—0.6 | — | — | — | <1 |
| SMF 3020 | >20 | >1 | >0.5 | >6.4 | | 0.4—0.8 | — | — | — | <1 |
| SMF 3030 | >30 | >1 | >0.5 | >6.6 | | 0.4—0.8 | — | — | — | <1 |
| SMF 4020 | >20 | >1 | >0.5 | >6.2 | 余量 | <0.8 | <5 | — | — | <1 |
| SMF 4030 | >30 | >1 | >0.5 | >6.4 | | <0.8 | <5 | — | — | <1 |
| SMF 4040 | >40 | >1 | >0.5 | >6.6 | | <0.8 | <5 | — | — | <1 |
| SMF 4050 | >50 | >1 | >0.5 | >6.8 | | <0.8 | <5 | — | — | <1 |
| SMF 5030 | >30 | >1 | >1.0 | >6.6 | 余量 | <0.8 | <5 | — | — | <1 |
| SMF 5040 | >40 | >1 | >1.0 | >6.8 | | 0.4—0.8 | <7 | — | — | <1 |
| SMF 6040 | >40 | >1 | >1.0 | >7.2 | 余量 | <0.4 | 15—25 | — | — | <4 |
| SMF 6055 | >55 | >0.5 | >0.5 | >7.2 | | 0.4—0.8 | 15—25 | — | — | <4 |
| SMF 6065 | >65 | >0.5 | >1.0 | >7.4 | | 0.4—0.8 | 15—25 | — | — | <4 |
| SMK 1010 | >10 | >2 | >0.5 | >6.8 | — | <1.5 | 余量 | — | 9—11 | <2 |
| SMK 1015 | >15 | >3 | >1.0 | >7.2 | — | <1.5 | 余量 | — | 9—11 | <2 |

* 无凹口

械零件的主要好处是生产速率高，材料浪费少，可减少或消除机械加工，能够在一次成形作业中成形复杂形状，及表面光洁度好。主要缺点是，力学性能比一般的锻轧材料差，即使是采用像浸渗多次压制多次烧结，或采用复杂的合金粉末等可增高抗拉强度时，延展性、疲劳性能及冲击值依然倾向于低劣。

粉末冶金机械零件的长处正好是热锻件的不足处，反之亦然。因此，能不能将粉末冶金与热锻结合起来，以热锻之长来补粉末冶金之短呢？粉末冶金热锻就是兼有粉末冶金与热锻两者之长，而无其短的一项粉末冶金新技术，通常称之为粉末锻造，烧结锻造，粉末冶金锻造或粉末冶金预成形锻造。为了与常温粉末冶金锻造相区别，本文采用术语粉末冶金热锻。

2. 粉末冶金热锻的工艺流程

粉末冶金热锻与普通锻造有哪些不同呢？图7示两者的比较。普通锻造，从钢材下料开始，经过粗锻、精锻、去飞边、矫正、切削加工及后处理，才能制成成品零件。而粉末冶金热锻是，先用传统的粉末冶金法制成烧结件—预成形件，将预成形件重新加热，于一次锻打中锻造成制品，勿需或少量切削加工后，再经后处理，即制成了成品零件。由图7可看出，粉末冶金热锻与普通热锻相比，工艺过程显著简化，使用的模具也由3—4付减少到了1付。

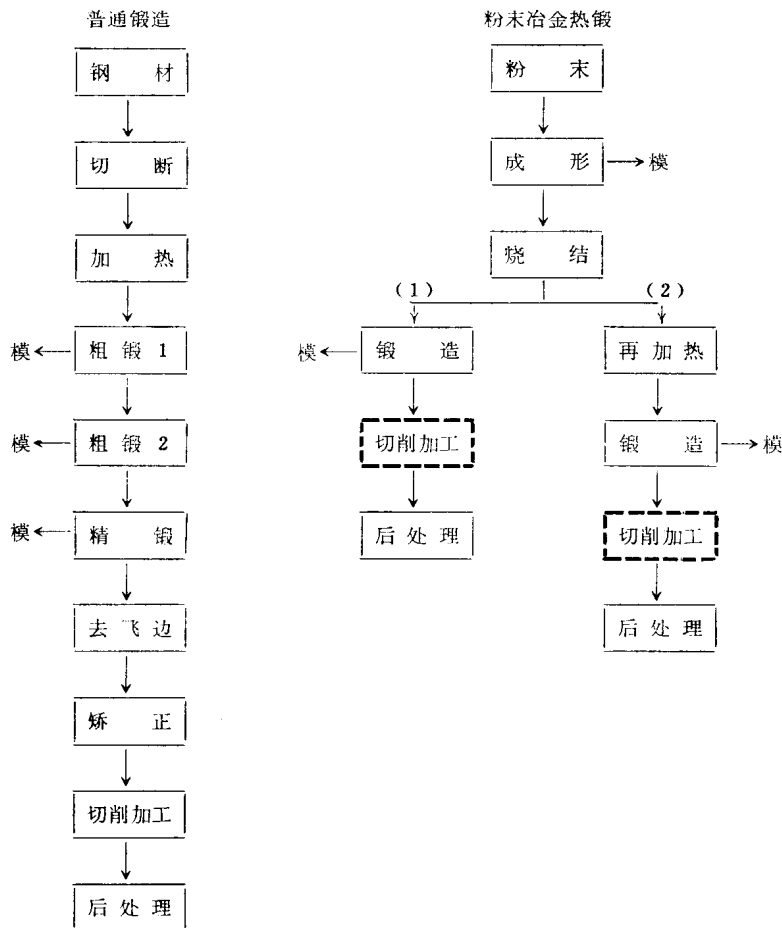


图7 普通锻造与粉末冶金热锻过程的比较

粉末冶金热锻根据热锻时材料变形的机理与热锻件的形状现有三种方法（图8）。图8(a)示，预成形件的形状大体上与成品零件相同，但其外径略小于锻模内径，将预成形件于热态下进行热精压。第二种方法如图8(c)所示，预成形件形状简单且外径比锻模内径小得多，锻造时和普通锻造一样也产生若干飞边。另外一种方法（图8(b)）是，预成形件在热锻时不产生飞边。现在，主要在发展第三种方法。

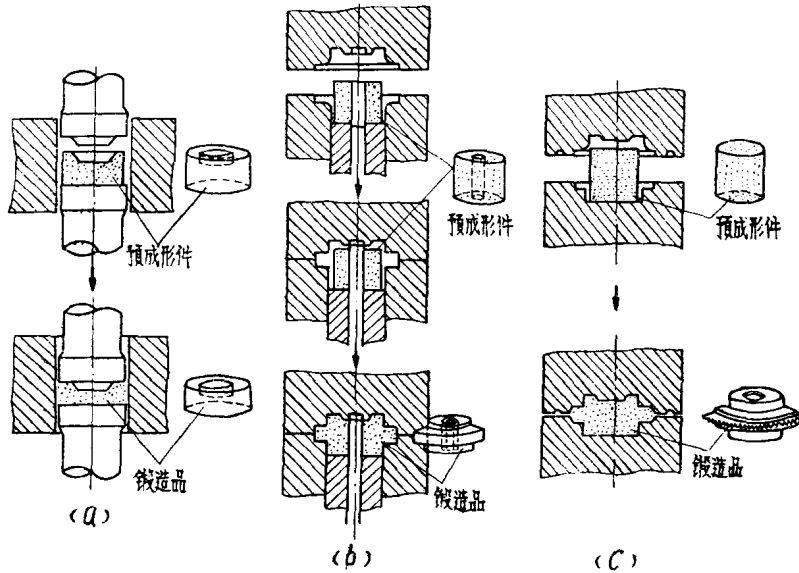


图8 各种粉末冶金热锻方法概要

要实现无飞边粉末冶金热锻，必须发展自动粉末冶金锻压机床。美国辛辛纳提公司与通用汽车公司合作用2年时间于1970年试制成功了一台附带高频加热装置的600吨自动粉末冶金锻压机床。表5示这台机床的规格。用这台机床已锻造了40000只差速器侧面小齿轮。图9图解示这台机床与感应加热器的设计。

表5 辛辛纳提公司试制的600吨自动粉末冶金锻压机床的规格

| 项 目 | 技 术 指 标 |
|-------------|--------------|
| 每分钟锻压的件数 | 15 |
| 锻件可达到理论密度的% | 99 |
| 热锻气氛 | 大 气 |
| 锻模温度控制 | 加热与用润滑液喷涂来控制 |
| 锻模自动润滑 | 喷涂以石墨分散水溶液 |

差速器侧面小齿轮的热锻过程如下。将图10(a)示之预成形件涂以石墨，并将其装入一与锻压机床相连接的感应加热系统，当其被推移到感应加热器内上升时，被加热到锻造温度，用10千赫，50瓩的高频电流加热1分钟，达到锻造温度者，用一自动送料机构一移送臂一个接一个地送入锻压机床。预成形件的温度用红外线温度计控制在 $\pm 10^{\circ}\text{F}$ 。锻模的温度用内藏加热器加热到 $250^{\circ}\sim 260^{\circ}\text{C}$ ；温度太高时，借喷涂以石墨分散水溶液来调节。热的预成形件

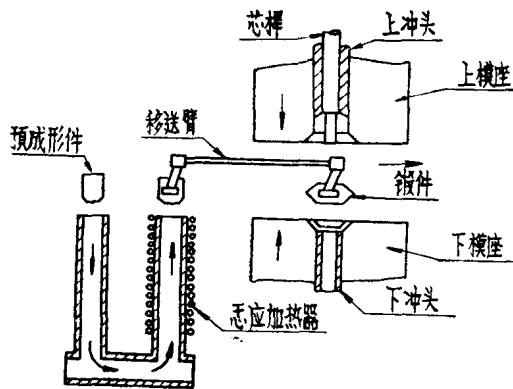


图9 自动粉末冶金热锻系统

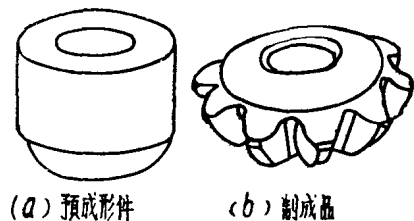


图10 粉末冶金热锻的侧面小齿轮

一被送入锻模，冲头即落下锻成图10(b) 示之侧面小齿轮。锻造完，立即脱模；锻件一被脱出，锻模的成形面即借喷水进行冷却和喷涂以石墨，接着送入下一个预成形件。锻造周期为4秒，送料1秒，锻压2秒。

值得注意的是，粉末成形压机装有测力传感器的电子控制装置，借其可将预成形件的重量控制在 $\pm 0.5\%$ 。因此，锻造的零件尺寸精度非常好，仅只部分地进行研磨，就制成了成品零件。据报告，锻模的使用寿命为2万件。

3. 粉末冶金热锻有哪些优点？

根据现有资料，概略地讲，粉末冶金热锻的优点是：

(1) 锻造工序少。粉末冶金热锻只需要一付模具和进行一次锻打，而普通锻造，需用三付或多付模具，进行三次或多次锻打。

(2) 锻造压力小。

(3) 锻造温度低。

(4) 由于没有飞边，和消除或减少了以后的机械加工，所以材料利用率高。例如，在粉末冶金热锻，材料利用率可高达90%以上，而普通锻造，材料利用率只有40~50%。

(5) 粉末冶金热锻零件的尺寸精度可与粉末冶金零件相比，而力学性能可与锻轧钢材相比。并且，力学性能的方向性小。

(6) 可制造较迄今为止用热锻技术能制作的形状复杂得多的零件。

(7) 制造的零件重量精确一致，这对需要重量平衡工序的零件，如像连杆，特别重要。

当然，粉末冶金热锻也有一些缺点，特别是，工模具比普通锻造复杂。

4. 当前粉末冶金热锻的主要问题

粉末冶金热锻是1965年以后才发展起来的一项新技术，以之制造精密机械零件还仅只处于摇篮时期，许多技术问题尚待解决。兹略举2—3如下。

(1) 原料粉末问题

关于粉末冶金热锻用原料粉末，现在主要问题是：在用粉末冶金热锻制造合金钢零件时，是采用预混合粉呢？还是采用预合金粉？

采用预合金粉制造结构钢零件时，除碳钢外，Cr-Mo钢，Cr钢，Mn-Cr钢等系统中含有之Mn、Cr，在雾化制粉时易氧化，且一旦生成氧化物较难还原，从而对粉末冶金热锻不一定适用。这也是2%Ni—0.5%Mo的镍钼钢现在成为预合金低合金钢粉主流的原故。当前，

正期待着更便宜的低合金钢粉出现。有人认为，作为发展方向，应注意研究 Cr-Mo 钢粉与 Cr 钢粉的真空烧结处理，因这时，不但 Cr 的氧化物与 Mn 的氧化物易被还原，且不必担心脱碳。

关于所用原料粉末的粒度，在传统的粉末冶金生产中，原料粉末的粒度皆为 -100 目或 -80 目，这是由于比之粗的粉末将使粉末冶金零件的外观表面变坏的原故。而粉末冶金热锻，则不一定需要将粗粉末筛出，混合有达 -28 目粗粉的粉末有可能可以使用。这无论从提高粉末生产的成品率，还是从提高粉末的纯度，以及从增高预成形件密度的观点看来都是值得注意的。

(2) 预成形件

粉末冶金热锻，预成形件的设计是个重要问题。

预成形件的形状应作成与成品零件相似的形状呢？还是应该作成比较简单的形状，如像圆筒状、圆柱状或其它形状呢？

预成形件的密度应该是多少？现在一般认为预成形件的孔隙率 15—30（容积）% 是合适的。但是，预成形件的孔隙率高时可能产生的严重问题，一为内部氧化，一为锻造碳钢零件时，在锻造之前或锻造时脱碳。可是，若粉末中含有大量细粉末（-325 目）时，如像在某些有色金属的场合，则可能含有大量的封闭孔隙或孤立孔隙，而不是连通孔隙。这时，将促使材料被污染，和因较难密实，预成形件的锻造性可能被减低。

预成形件的重量控制很重要。要达到所要求的尺寸精度与密度，及消除热锻件的飞边，预成形件的重量必须控制在 $\pm 1\%$ 以内，以不超过 $\pm 0.5\%$ 为宜。

预成形件的成形方法也还是一个正在研究的问题，现在趋向于采用等静压制成形。

(3) 热锻

关于锻压机床，虽然说，只要锻压速度不太慢，什么形式的锻造设备都可用来达到增高密度的目的；但考虑到工业上大量生产时，生产率是重要点，因此，机械压机就变成了主要对象，预定的标准锻压次数为每分钟 15 件或 20 件。

锻压速度这样高时，锻模温度的控制就成了问题。一般说来，锻模温度以 200°C — 250°C 为宜，其波动范围应控制在 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 以内。锻模寿命大体上以 20000 件为目标。锻模的材料与设计，锻造的温度与压力，锻模温度，预成形件的形状与密度，以及润滑剂等，这些皆与锻模寿命有关。所以，这些都是粉末冶金热锻技术发展的主要问题。

锻造温度是资本主义国家保密事项之一，在迄今为止发表的实验报告中，锻造温度大多低于 1000°C ，而在普通锻造其皆高于 1100°C 。

(4) 粉末冶金热锻材料的性能

粉末冶金热锻零件的材料性能可与相应钢材相比较吗？这一点十分重要。

如上所述，粉末冶金热锻零件的力学性能取决于密度，当零件密度高于理论密度的 99% 时，冲击值改善特别显著。所以，粉末冶金热锻的密度系以高于理论密度的 99% 为目标。但是，这并不是说，粉末冶金热锻零件的密度接近理论值时，其材料性能就会与相应的普通锻造材料相近。实际上，两者可能完全不同。粉末冶金热锻材料与普通锻件相比，其冶金结构的特点是：组织均匀，结晶粒度细，纤维组织不明显和方向性差，杂质少。特别是，在合金钢的场合，还有比熔炼—铸造时偏析少的优点。这时，应该注意到：

① 粉末冶金热锻材料的晶粒细，这在低温下，对于强度与韧性是有益的，但从抗蠕变

强度与淬透性的观点看来却是不利的。

② 由表 2 可看出, 现在生产的低合金钢粉, 考虑到压制性, 其含锰量皆比一般钢材低, 通常皆低于 0.5%, 因此, 粉末冶金热锻材料的淬硬性比相应钢材差, 冲击值较低。

③ 粉末冶金热锻材料的含氧量比钢材高得多, 约为 0.05—0.1% 左右, 其系呈非金属夹杂状存在。这可能会减低材料的韧性、淬透性及疲劳极限。

(5) 切削加工

粉末冶金热锻, 在理想条件下, 由于无飞边, 而不需要切削加工。实际上, 为除去产生的少量飞边, 可能需要部分地进行切削加工。现在, 已知道粉末冶金零件与钢材的切削性状显著不同, 那么, 粉末冶金热锻零件与普通钢材锻件的切削性状一样吗? 二者组织不同, 切削性状也不同吗? 这些现在都还不清楚。此外, 对于切削工具与切削条件也需要进行研究。

5. 粉末冶金热锻的实用例

表 6 示现在文献中举出的应用粉末冶金热锻的实例。由之可看出, 当前粉末冶金热锻发展的主要对象是汽车零件。

表 6 粉末冶金热锻在欧美的应用例

| | |
|------------------|----------------|
| 1. 四速手动变速箱的第一挡齿轮 | 8. 差速器侧面小齿轮 |
| 2. 汽车驱动轴法兰 | 9. 汽车变速箱的输入齿圈 |
| 3. 带齿皮带轮 | 10. 链锯的扣链齿 |
| 4. 小型四缸发动机的连杆 | 11. 小型变速箱的输出齿轮 |
| 5. 汽车发动机的曲轴 | 12. 汽车发动机的汽门 |
| 6. 齿轮簇件 | 13. 轴承的轴 |
| 7. 双金属零件 | |

例如, 英国 G. K. N. 公司正在生产与试验 16 种粉末冶金热锻汽车零件, 10 种以上零件正在进一步发展中。

如像, 这家公司在大量生产的四速手动变速箱的第一挡齿轮, 一向是用热锻件切削加工的, 在一般锻造中, 材料费用约占零件成本的 50%。一般原材料 25% 以上变成了飞边, 和锻坯重量 50% 以上变成了切屑。而粉末冶金热锻时, 没有飞边, 且表面光洁度很好, 仅只剃齿就行了, 所以, 材料利用率可高达 90% 以上, 从而零件的生产成本可显著降低。

四缸汽车发动机的连杆是这家公司采用粉末冶金热锻制造的另外一个零件。这个零件现在按照惯例在用锻造生产。粉末冶金热锻连杆的好处是, 由于尺寸精度高与重量平衡误差小, 在传统制造方法所必要的填料平衡不需要了, 从而, 重量减轻了。小头的孔是锻造成形的, 热锻时无飞边, 结果, 材料利用率提高了。

粉末冶金热锻连杆被装在发动机中进行了 500 小时的运转试验, 包括于全负荷和发动机的最高速度下试车 2 小时。试验结果完全令人满意, 特别是, 对大头的轴承没有甚么不良影响。

关于汽车差速器齿轮, 据美国通用汽车公司的资料, 以 4600 低合金钢粉为原料, 用粉末冶金热锻制造的差速器齿轮, 其冲击值, 耐磨性, 疲劳性能皆可与传统的钢制齿轮相比较。在实际装车试验中, 36000 哩的地上行车试验和锁紧循环试验皆合格。

汽车变速箱齿圈一向采用铸钢件, 现在以 4600 低合金钢粉为原料, 用粉末冶金热锻试制

试验的结果,和差速器齿轮一样,冲击值、耐磨性、疲劳性能都可与钢制齿圈相比较,但材料节约达33%,铸钢件材料消耗为4.9磅,而粉末冶金热锻零件为3.3磅。同时,在实际装车试验中,三倍于通常零件的行车试验合格。

在日本粉末冶金热锻也在以变速箱齿轮、连杆为中心进行发展。有的公司已将之用于大量生产。例如,住友电气公司的鲁布莱-SF 制品就是用粉末冶金热锻制造的。表 7 示鲁布莱特-SF 的力学性能。

在我国粉末冶金热锻也有单位在进行研究,但还没有看到实用的例子。

表 7 鲁布莱特-SF 的力学性能

| 材 料 | 抗拉强度 (公斤/毫米 ²) | 伸 长 (%) | 冲 击 值* 公斤·米/厘米 ² | 硬 度 (HR) | 疲劳强度 (公斤/毫米 ²) | 热 处 理 |
|------------|-------------------------------|------------|--------------------------------|-------------|-------------------------------|---------------|
| SF-40 | 30—50 | >15 | > 5 | B 60—80 | 20 | } 无 } 淬火回火 |
| SF-70 | 50—80 | >12 | > 3 | B 70—90 | 25 | |
| SF-100 | 80—120 | >10 | > 5 | C 20—40 | 35 | |
| SF-150 | 120—170 | > 5 | > 2 | C 30—50 | 40 | |
| SF-90C | 80—100 | > 1 | >0.4 | C 40—60 | 40 | 渗碳淬火 |
| (参考)SCM-22 | >95 | >14 | | C 26—36 | 38 | 淬火回火 |

* 夏比冲击试验日本工业标准 3 号试件 (有 U 型凹口) 鲁布莱特-SF 根据热处理否可得到表示之材料性能。
例如, SF-100 的性能与 SCM-22 (铬钼钢) 非常接近。

综上所述,不难看出,粉末冶金热锻技术的发展标志着粉末冶金技术已发展到了一个新水平。同时,还应看到,粉末冶金热锻为工艺较不发展的国家和地区提供了巨大可能性。因为,粉末冶金热锻过程简单,需用之工模具少,可以已有锻造工业为基础,较适用于低的与中等的生产水平,这一点对于我国也很实用。

五、粉末冶金机械零件材质的标准化、通用化

粉末冶金机械零件经过30多年发展,其材质已逐步标准化。日本粉末冶金工业会1970年发表了机械零件用粉末冶金材料标准(日本粉末冶金协会)—1970(表3与表4)。美国、英国、西德等也都有这方面的标准。当前的问题是,哪一种冶金—机械加工的零件可为哪一种粉末冶金材料所取代?它们之间有甚么联系?这个问题由于粉末冶金制造工艺与所用原材料和传统的冶金—机械加工零件不同,所以,粉末冶金机械零件的材料性能与传统的冶金材料既有相同处,又有不同点。这样就使着以粉末冶金零件取代传统的机械加工零件变成了一个十分复杂的问题。

随着实践资料的聚积与认识的深化,人们在总结实践经验的基础上,找出某些传统冶金材料的某一应用范围与粉末冶金机械零件材料的相互联系,从而,为广泛地以粉末冶金零件取代传统的冶金—机械零件提供有利条件。表8就是关于这方面的一个初步尝试。表8示伊·德·拉道美塞里斯基提出的现在的粉末冶金机械零件的材料与其应用范围。应该指出,表8仅只粗略地指出了,在某一应用范围内,哪种传统冶金材料制造的零件可用哪种粉末冶金材料所取代。是否可行,仍需通过实践来检验。

1960年代后期以来,粉末冶金中的新技术、新材料、新设备发展十分迅速。除上述者外,像粉末冶金高速钢,粉末冶金铝制品,粉末冶金超级合金, TiC 基硬质合金,热等静压制成

表 8 粉末冶金机械零件的材料与其应用范围

| 被取代的熔铸制品的材料 | 粉末冶金制品的材料及其粉末混合料组成 | 制 造 工 艺 | 推荐的应用范围 |
|--|--|---|---|
| 铁 粉 制 材 料 | | | |
| 普碳钢: MCT.O, MCT.1; MCT.2。优质碳素结构钢: CT.09; CT.10; 钢15 | 铁-7.4 (ПЖ2M2—100%) | 于压力6—7吨/厘米 ² 下压制。在保护气氛中,于900°C预烧结2小时。于压力7—8吨/厘米 ² 下复压。在保护气氛中,于1200°C烧结2小时。 | 低负荷结构零件, $\sigma_b = 20-30$ 公斤/毫米 ² 。 |
| CЧ12—28, CЧ15—32, CЧ18—36; CЧ21—40; CЧ24—44; CЧ28—48 | 铁-6.3 (ПЖ2M2—100%) | 于压力6—7吨/厘米 ² 下压制。在保护气氛中,于1200°C下烧结2小时。 | 无负荷结构零件, $\sigma_b = 20$ 公斤/毫米 ² 。 |
| 铁-碳 材 料 | | | |
| 优质碳素结构钢: 25, 30, 40, 50, 55。自由切削结构钢: A20, A30, A40。铸铁: CЧ24—44, CЧ32—52, CЧ35—50, CЧ28—48, CЧ38—60, КЧ38—12, КЧ40—3, КЧ35—4, КЧ30—3, КЧ35—10, КЧ33—8, КЧ30—6 | 铁-石墨1—7.2(ПЖ2M2—99, 石墨—1%) | 于压力6—7吨/厘米 ² 下压制。在保护气氛中,于900°C下预烧结2小时。于压力8—9吨/厘米 ² 下复压。在保护气氛中,于1200°C下烧结2小时。 | 施以淬火,回火的中等负荷零件, $\sigma_b = 30-40$ 公斤/毫米 ² , HR _C 达45。 |
| | 铁-铸铁30—7.1[ПЖ2M2—70%, 白口铁(按ТУ ИПМ АН УССР)粉—30%] | 于压力6吨/厘米 ² 下压制。在保护气氛中,于700°C下预烧结2小时。于压力9吨/厘米 ² 下复压。在保护气氛中,于1200°C下烧结2小时。 | 施以淬火、回火的中等负荷零件, $\sigma_b = 30-45$ 公斤/毫米 ² , 硬度HR _C 达50 |
| | 铁-铸铁20—7.1[ПЖ2M2—80%, 白口铁(按ТУ ИПМ АН УССР)粉—20%] | 于压力6吨/厘米 ² 下压制。在保护气氛中,于700°C下预烧结2小时。在压力9吨/厘米 ² 下复压。在保护气氛中,于1200°C下烧结2小时。 | 中等负荷结构零件, $\sigma_b = 30-40$ 公斤/毫米 ² 硬度HR _C 达47 |
| 铁-碳-铜材料 | | | |
| 优质碳素结构钢: 30, 40, 45, 50, 55 | 铁-石墨1—铜2.5—6.5(ПЖ2M2—96.5%, 石墨—1%, ПМ2—2.5%) | 于压力6—7吨/厘米 ² 下压制。在保护气氛中,于1200°C下烧结2小时。 | 中等负荷结构零件, $\sigma_b = 30-40$ 公斤/毫米 ² |
| | 铁-石墨1—铜5—6.5(ПЖ2M2—94%, 石墨—1%, ПМ2—5%) | 同上 | |
| 低合金结构钢: 15X, 20X, 30X, 35X, 40X, 45X, 50X, 15XΦ, 20XΦ, 40XΦ, 20XM, 30H, 15HM, 15Г, 20Г等 | 铁-石墨0.3—铜3—硫0.2—6.2(ПЖ2M2—96.5%, 石墨0.3%, ПМ2—3%, 硫—0.2%) | 于压力6吨/厘米 ² 下压制。在保护气氛中,于1140°—1160°C下烧结1小时。 | 低负荷零件, $\sigma_b = 20$ 公斤/毫米 ² |
| | 铁-铜20—8.0(浸渗)(ПЖ2M2—80%, ПМ2—20%) | 原材料: 含8%Cu的铁粉; 由含5%Fe的铁铜合金制成的浸渗压坯。于压力6—7吨/厘米 ² 下压制铜铁压坯。于压力2—2.5吨/厘米 ² 下压制铜铁合金压坯。用铜熔渗铁压坯。将包装好的零件置于1000°—1050°C的炉中, 1 | 负荷零件。对于铁-铜20—8.0(浸渗), $\sigma_b = 70-80$ 公斤/毫米 ² |

| 被取代的熔铸制品的材料 | 粉末冶金制品的材料及其粉末混合料组成 | 制 造 工 艺 | 推荐的应用范围 |
|--|--|---|---|
| | | 厘米包装层保温10—15分钟。将温度升高到1100°—1200°C, 1厘米包装层保温15分钟。炉冷到1000°C, 淬于水中 | |
| 有 色 金 属 | | | |
| 铜 | 铜-7.9(ПМ2—100%) | 于压力4—5吨/厘米 ² 下压制。在保护气氛中, 于800°C烧结2小时。于压力6—7吨/厘米 ² 下复压。在保护气氛中, 于1000°C下烧结2小时。 | 电工结构零件, $\sigma_b = 15—25$ 公斤/毫米 ² |
| 黄铜 | 黄铜-7.8 (П59黄铜粉—100%) | 于压力4—5吨/厘米 ² 下压制。在保护气氛中于700°C下烧结2小时。于压力6—7吨/厘米 ² 下复压。在保护气氛中, 于800°C下烧结2小时。 | 黄铜制造的结构零件, $\sigma_b = 15—25$ 公斤/毫米 ² |
| 青铜 | БрО10—7.8 (ПМ2—90%, ПЮ—10%) | 于压力4—5吨/毫米 ² 下压制。在保护气氛中, 于700°C下烧结2小时。于压力6—7吨/毫米 ² 下复压。在保护气氛中, 于800°C下烧结2小时。 | 配件, $\sigma_b = 15—20$ 公斤/毫米 ² |
| 碳 化 铬 基 结 构 合 金 | | | |
| 模具制造用工具钢: XBГ, ЛХ15, 3X2B8, X12, X12M, P18, P9 | КХХ15—7.0 (镍粉ПНК-2—15%, 碳化铬粉—85%) КХХ20—7.1 (镍粉ПНК-2—20%, 碳化铬粉—30%) | 于压力1—2吨/毫米 ² 下压制。在保护气氛中, 于1290°+20°C下烧结1小时。 第二个工艺方案: 在压力80—150公斤/厘米 ² 下, 于1100°—1250°C下烧压制。 同上 | 压模与冲模的阴模。 堆焊耐磨表面。 同上 |
| 铁-铬 合 金 | | | |
| 结构铬钢: 15X, 20X, 30X, 35X, 40X, 45X, 50X | 铁-石墨1—7.0 (ПЖ2M2—99%, 石墨1%, 渗铬后含铬量5—15%) 铁-铬1—6.4 (铬铁粉—100%) | 于压力6—7吨/厘米 ² 下压制。在渗铬填料中于1050°C下烧结2—3小时; 填料成分是: 70%铬铁, 25%氧化铝, 5%氯化铵。于压力6—7吨/厘米 ² 下复压。在渗铬填料中, 于1200°C下烧结2小时。 于压力6吨/厘米 ² 下压制。在保护气氛中, 于1200°C下烧结2小时。 | 耐腐蚀的中等负荷零件, $\sigma_b = 30—40$ 公斤/毫米 ² , HR _C >40 同上。 $\sigma_b = 30—40$ 公斤/毫米 ² |
| 结构工具钢: ЛХ9, ЛХ6, ЛХ15 及渗碳铬钢 | 铁-铸铁25-铬3—7.1 (ПЖ2M2—65%。白口铁 (ТУ ИПМ АН УССР) 粉—25%。含铬30%的含铬加入剂 (铁粉以铬铁渗铬的X30钢)—10%) КХХ30—7.4 (镍粉ПНК-2—30%, 碳化铬粉—70%) | 于压力6吨/厘米 ² 下压制。在保护气氛中, 于700°C下烧结2小时。于压力8—10吨/厘米 ² 下。在保护气氛中, 于1200°C下烧结2小时。 同上。于1220°±20°C下烧结。 | 在摩擦条件下工作的负荷零件。 $\sigma_b = 35—45$ 公斤/毫米 ² , HR _C >45 同上 |