

国外粉末冶金汽车零件

北京天桥粉末冶金机床配件厂 译
第一机械工业部情报所

机械工业出版社

21
49

国外粉末冶金汽车零件

北京天桥粉末冶金机床配件厂 译
第一机械工业部情报所



机械工业出版社

这本译文集介绍了国外粉末冶金在汽车工业中的发展前景、应用，粉末冶金汽车零件的制造与设计实例和粉末冶金机械零件的材料标准。

国外粉末冶金汽车零件

北京天桥粉末冶金机床配件厂译
第一机械工业部情报所

(只限国内发行)

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)
(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

北京印刷二厂印刷
新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092 1/16·印张 9·字数 216 千字
1974 年 1 月北京第一版·1974 年 1 月北京第一次印刷
印数 0,001—8,500·定价 0.96 元

统一书号: 15033·(内)588

前 言

为适应我国汽车工业与粉末冶金工业的发展，我们选择了美、日、苏等国近十年来发表的有关文献资料19篇，汇编成册，供从事汽车工业和粉末冶金工业的有关人员参考。

这本译文着重介绍了国外粉末冶金在汽车工业中的应用情况，粉末冶金汽车零件的制造与设计实例和粉末冶金机械零件的材料标准。

由于编译者外文与技术水平所限，编译中不当与谬误之处，望读者批评指正。

编者一九七三年八月

目 录

前 景

- 1. 汽车中的烧结金属的前景..... (1)
- 2. 粉末冶金在汽车上应用的现状和展望..... (7)
- 3. 粉末冶金的趋势..... (15)
- 4. 粉末冶金的新发展..... (21)

应 用

- 5. 粉末冶金在汽车工业中的作用—现状与未来..... (26)
- 6. 欧洲的粉末冶金与欧洲的汽车工业..... (39)
- 7. 粉末冶金零件在日本汽车工业中的应用..... (44)
- 8. 粉末冶金在苏联汽车工业中的应用..... (54)
- 9. 粉末冶金在汽车发动机中的应用..... (59)
- 10. 粉末冶金在自动变速器中的应用..... (64)
- 11. 汽车底盘和液压系统中的粉末冶金..... (72)
- 12. 安全行驶 5 年、50000 哩与粉末冶金..... (78)

零 件

- 13. 粉末冶金气门导管..... (82)
- 14. 粉末冶金减震器零件..... (87)
- 15. 粉末冶金齿轮..... (90)
- 16. 汽车电气设备零件用的粉末冶金软磁材料..... (103)
- 17. 粉末冶金耐热材料..... (105)

零件设计

- 18. 粉末冶金汽车零件设计实例..... (112)

标 准

- 19. 日本粉末冶金工业会标准..... (128)

粉末冶金在汽车中的使用前景

[美]Rloert Talmage

最先采用粉末冶金方法批量制造的机械零件是烧结青铜，它是由通用汽车公司研究实验室制造的，用于汽车发电机，其时间为1922年，代表着多孔性轴承工业的开始，当1937年通用汽车公司开始生产铁与钢的机械零件时，它又跨入了结构零件行业。在烧结金属零件的历史上的一个重大发展可以算在1937年和1938年。那时成功地研制了汽车油泵齿轮。

因此，粉末冶金业的起始与发展是与汽车密切相关的。许多别的工业部门都受益于它，但汽车工业现在仍然是最大的用户。例如，粉末冶金零件中使用的大约80~90%的铁粉被用于汽车零件。目前美国汽车年产量为一千多万辆。全世界约为两千五百多万辆。由于这样大的产量又因为钢铁件占整个汽车重量的75~80%左右，所以，汽车工业使用的烧结金属零件的比率很高。

平均每辆美国汽车中使用的钢铁的总重量约1~1.5吨，其中烧结钢约5磅。因此，尽管这是当前最大数值，但跟巨大的潜力相比现在的使用显得太小了。

潜力这么大，为什么生产了近30年后在汽车中所使用的烧结钢仅占金属总量的0.25%呢？似乎有两个基本原因：

1. 一般廉价的生产方法不能制造性能可同铸件、锻件、锻轧制品相比拟的高强度烧结钢。

2. 在汽车工程师方面对形状和性能都缺乏足够的设计知识。

自1937年以来烧结钢的性能有了相当大的提高，那时平均抗拉强度大概是10000磅/吋²，1941年研制的一些两次压制和烧结的材料，其极限抗拉强度为40000~50000磅/吋²，但那时产品的性能很不稳定。

大约在十年后，研究了能获得较好的性能的三种不同方法。一种方法是改进的两次压制和烧结技术。使用高纯度铁粉能达到90%或更高的密度。借气体渗碳，其抗拉强度可大于1500000磅/吋²，延伸率约为2%。办公机械制造厂已相当普遍地采用了这种材料和制造方法，但与汽车制造中使用的其它方法相比，成本太高。

第二种方法是渗铜法，最先也是在1941年前研究的，但一直到40年代末期末用于生产。这种方法也能生产高密度材料，抗拉强度可增到50000磅/吋²以上，但零件的成本常常高一倍。除成本较高外，表面腐蚀，尺寸变化及形变都会减低精确度，除非也进行整形。跟两次压制法相比，由于这种方法能在成本低的条件下容易提高性能，它已被用于一些较重要的汽车零件。但是跟目前通用的工艺相比其生产成本是不能允许的。

第三种方法是作者最初在40年代末期发展的，利用这种方法可由通常的廉价铁粉制得抗拉强度好的零件，而勿需采用增高成本的两次压制、烧结，同时不用整形，就能达到好的尺寸精度。借加入铜粉和石墨粉以获得高碳合金钢结构，和于压力60000磅/吋²下压制及在高于铜熔点温度和无严重脱碳的条件下进行烧结，就能得到很好的抗拉强度。其值为50000~70000磅/吋²，因延伸率小，其屈服强度实际上和抗拉强度相同。

50年代初期，为了制造合格的滚子衬套，而发展了特种压制技术，其容许压力达120000磅/吋²，致使得到的抗拉强度近 100000磅/吋²。这种材料经淬火与回火后，抗拉强度可达150000磅/吋²。由于这些性能是在成本十分低的条件下得到的，所以这种材料迅速地得到了推广应用。这类零件像油泵齿轮，凸轮轴驱动链轮，变速器密封环及阀座圈等都已用这种材料大量生产，而没有什么问题。

与低碳钢相比，当这种材料被压制和烧结到80~85%密度（6.3~6.9克/厘米³）时，得到的屈服强度为50000~80000磅/吋²。值得指出，根据通常的概念，因其屈服强度高于一般标准50000磅/吋²以上，这就算是高强度钢了。这些值意味着，这种材料都能很容易地取代大多数低碳钢与中碳钢（在这些钢中屈服强度是很重要的评定标准）。这是可能的，因为用良好的烧结技术，高碳合金钢可像低碳钢一样容易生产。

除良好的屈服强度外，因这种材料含碳量高和含有15~20%能保证自润滑的连通孔隙。故还具有优异的耐磨性。因含有铜合金，这种材料也可油淬硬化至适当深度（壁厚 $\frac{1}{2}$ 吋的零件能淬透），从而，可将屈服强度提高到100000~150000磅/吋²，这种处理形成的多孔性马氏体组织，其耐磨性在精密的滚子轴套类零件的应用中已得到了证明。

但是，这种材料的延伸率很小，一般小于1%，而低碳钢与中碳钢的延伸率都不低于40%。所以，这种钢不能被用于要求有成型加工性的零件，而这类零件须承受冲击或疲劳应力，机械加工性将因所用的原材料和烧结作业而异，机械加工性能会有变化，但从最好的情况来说，因其含碳量高都不是很好的，因为所生产的大多数零件，只零少量或勿需机械加工，所以，这是无关紧要的。

然而，低的疲劳性能与冲击性能，在某应用场合中是个相当大的障碍。可是，最近研究了一种新的钢材，采用同样的基本原料与制造方法，但以高价的高纯度铁粉取代一般使用的普通廉价的压制级铁粉。这一改变可使一次压制就能得到高密度达90%（7.1克/厘米³）。当含铜2%和最终含碳量0.7~0.8%时，采用这种方法，延伸率可显著地增高到2~3%，抗拉强度为100000~105000磅/吋²。

因此，具有这些性能的烧结钢就能更广泛地用于较重要的零件，而在这之前这类零件的应用是从未被认真考虑过的。值得指出，它们与最好的珠光体可锻铸铁的性能相似，最低抗拉强度为100000磅/吋²，最低屈服强度为80000磅/吋²，最小延伸率为2%。性能比较示于表1。

表1 珠光体可锻铸铁和HDCC（高密度、高碳、2%铜合金）烧结钢的典型性能的比较

性 能	球 光 体 可 锻 铸 铁	HDCC 钢
极限抗拉强度（磅/吋 ² ）	100000（最小）	103000
屈服强度（磅/吋 ² ）	80000（最小）	86000
延 伸 率（%）	2（最小）	2—3
硬 度	241~269BHN	90—100R _c
度 克（克/厘米 ³ ）	7.3	7.1

珠光体可锻铸铁件的价格比普通灰铸铁贵二倍到三倍，但因其机械性能优异，所以近年

来,在许多较重要的应用中取代了锻件与锻轧金属。例如,现在生产的4种美国轿车发动机采用了珠光体可锻铸铁连杆,而这是汽车中一种承受应力最大的零件。这一应用的成功是由于铸件制造者和发动机制造者在开始代用之前进行了大量工作。为了得到与多年来一直是工业标准的锻钢连杆相同的疲劳寿命,连杆承受应力最高的部分必须重新设计。

锻造连杆一般是由0.4% C钢制造的,经热处理布氏硬度为180~269。采用这种材料和方法,其抗拉强度为80000~120000磅/吋²,屈服强度为60000~80000磅/吋²。

根据静态强度的比较可看出,这种新烧结钢的性能,一般说来和现在汽车工业中通常的性能相等。但是,还有一个重要性能仍然不知道,这就是疲劳强度。因为耐久极限通常和抗拉强度成正比,所以,可认为该性能也是相同的。一些工程师认为,烧结金属所固有的多孔性会产生许多应力集中点,但是,倘若孔隙小的话,大概只有在很高的应力下才会有影响。这样小的孔隙在密度为90%的烧结钢中较易达到,孔隙的均匀性与一致性同铸件、锻件甚至锻轧金属相比较都是很高的。铸件总是会由于气体的作用和不规则的熔融金属流动造成的表面和内表面孔隙。锻件与锻轧金属有夹杂物与孔隙,这些缺陷通常出现在表面上且可能集中在某些区域,从而使情况恶化。锻件还由于锻打氧化钢胚而使其表面产生氧化。

可以认为,表面加工质量是影响疲劳性能的最大因素。而在这方面烧结钢是有其优越性的,大家知道用烧结钢容易得到很高的加工质量,特别是密度高达90%的零件。因此,可以相信它能获得比现在生产连杆方法更好的疲劳寿命。

若希望得到较高的疲劳强度时,可利用一种颇简单且较便宜的专利方法,这包括对多孔性烧结零件表面的喷丸处理以封闭孔隙,如再烧结以使封闭的表面相连结。在粉末冶金滚子衬套的生产中已证明这是很成功的。

在这种对比中,另外一个重要因素是一般烧结金属零件有均匀的材料横断面。它没有在铸件中所发现的因液体金属流动或凝固速率不同而造成的差别。其横向与纵向的性能也是相同的。在锻件中这是强度低的一个主要因素,其横向性能可能低50%。

因此,在这种要求严格的连杆的应用中,高密度、高碳、高纯度、铜合金烧结钢将是一种非常满意的材料。第二个问题是所制造的零件形状是否能在各部分都能满意地达到所要求的90%密度。因为现在的形状几乎是成对的采用适应不同厚度的复合冲头一次压制,这不是一个严重问题。

采用烧结钢,零件现有形状无重大改变,材料性能相同,而用普通设备进行简单的一次加工。因为省去了大部分机械加工和所有均衡生产工序,所以可节约相当大的费用。降低总重量无疑也是可能的。

用热处理或用其它合金添加剂(如镍)或借助于最佳形状也都能改进烧结钢连杆的强度,延伸率或其它性能,所以有可能使连杆重量轻成本低。

在连杆与主轴承盖方面完全可以采用烧结金属,这类零件只需很少的机械加工,包括螺栓孔在内盖的螺母也可采用此方法制造,而勿需机械加工。这种新的高性能烧结钢,作为珠光体可锻铸铁或0.4% C钢锻件或锻轧金属的代用品,在汽车发动机上还有许多其它应用。气阀摇杆、阀挺杆体和升降机零件都是例子。

有一些应用因其形状不能被压制成形而被认为不能使用烧结金属。曲轴就是其中之一。但是,采用如下技术,无疑地能够制造出非常令人满意的制品。

除后端法兰和前轴头外,可将连杆轴颈、主轴颈和曲柄(带整个平衡块)分成单体制造,

以之来取代通常的整体曲轴生产。有时可将主轴颈和曲柄作成一体或将曲柄轴颈与曲柄作成一体。过去用螺栓连接或用压配制造过这种组合曲轴。法国生产的一种发动机 (citroenrcv) 系使用压配的组合曲轴, Porsche 和 Mercedes 都在其高性能的装有滚柱轴承的发动机中使用过, 二循环发动机制造厂也使用过这种曲轴。因此, 这种结构形式并不是全新的, 显然使用是十分令人满意的。

当曲轴被分成上述几个单件时, 每一单件都具有适于用这种方法制造的形状。曲柄销与主轴颈可带有疏齿花键以与曲柄孔中的同样形状相配合, 因此很容易精确定位。借采用锯齿状, 可发展各种不同的设计, 以造成最有利于疲劳强度的压配应力状态。各个单件复压后, 其光洁度和尺寸精度大概足够了, 从而勿需进行任何主要的机械加工或精整加工。因为每一单件都能达到均匀一致, 所以无需进行平衡。鉴于铜合金钢的淬透性, 曲柄销与轴颈很容易被淬硬。在需要油孔的地方可以钻孔。由于曲柄销与轴颈含有约10%均匀分散的油孔, 润滑油膜的附着状况将非常好, 从而可容许较高的轴承压力而油膜不会破裂。

上述方法是一种可省掉大部分昂贵的机械加工工序的, 制造很均匀一致的、精密且坚固的曲轴的方法。又因其是装配组合件, 所以可使用比原来的要轻得多和强固得多成整体的连杆。这还能大大减低连杆的成本和提高其精度。再者, 由于多孔性表面保证, 在由柄销与连杆轴承表面上形成润滑油膜的能力, 和极高的精度。因此, 可取消将两个零件进行硬化处理和采用良好的过滤措施来减小磨料的吸附, 而不用特殊的轴承衬里。在这一点上, 可利用可控的连通孔隙向轴承表面供油, (也可通过曲柄销), 这种孔隙也可作为最后的过滤器使用。

与曲轴形状属于同一类型的汽车发动机的另一个主要零件是凸轮轴。这种形状用通常的方法是制造不出来的, 但若将其分成凸轮与隔套或轴承与隔套单件, 然后将这些单件装配在一根精密的杆上, 零件的制造就会变的很方便, 若用键与偶合槽设计将每一凸轮单件接入相邻的凸轮, 也可使用圆轴。可提高精度和使组合件进一步变成一整体零件的另外一个方法是烧结组合件, 这时使用的凸轮材料在烧结炉中发生收缩。凸轮零件也可用在烧结炉的冷却带中能形成马氏体的合金钢来制造, 从而易于获得具有细孔隙硬化钢凸轮表面, 这非常有益于防止磨伤和划伤。

除在汽车往复式发动机中的三个重要零件中烧结金属如何取代其它材料的这些重要例子外, 在目前发动机的改型中与在将来的新型发动机中还会有一些其它应用。例如, 气缸套筒既长且薄, 用通常的压制方法, 套筒整个长度的密度不合要求。用径向压制来代替轴向压制可解决制造带螺纹的螺母这个问题。这种方法也可造成理想的波状环形表面, 它能在金属毛坯铸造时起机械闭锁作用。它可省掉坯件组装前后的一切机械加工, 因此, 可使用现在不能使用的特殊耐磨材料。这种径向压制法还能成形阀状的高熔点金属, 从经济上考虑这类应用现在还不合适。

由烧结坯块, 或用连续压制与烧结制造的阀簧钢丝具有较高的质量, 因其消除了现在经常出现的夹杂物, 结果疲劳寿命较长。过去曾发展过一些不用阀簧的发动机, 其中之一是 Mercedes-desmodrmic 阀, 它是机械密封阀。利用粉末冶金技术制造“箱式”硬质钢凸轮的能力, 配合上述成形凸轮轴技术, 就能够廉价地制造这类阀机构。

人们已经知道滑阀式发动机的优点。和其固有的问题。这些问题可用特殊粉末冶金材料所能具有的特殊耐磨与耐热性能来解决。回转阀的情况也是这样。

发动机改进 (它能相当大地减小烟雾的问题) 的另外一个领域是使用燃料喷射。利用烧

结制品在费用很低的条件下，能制造尺寸精密和光洁度很好的复杂形状，这类制品在经济上可与碳化件相比。

近年来，很注意转子发动机的发展，在这里，采用粉末冶金方法也能用特殊的复合金属件组合制成复杂的异形件，这样也以经济地生产这种发动机。可充分利用粉末冶金能力来设计各种新型发动机。

据作者所知另外一种用途是盖垫密片和排气垫密片。看来这是很清楚的，但是目前，烧结金属能具有的均一的多孔性能减低现在所用的任一金属的“柔软性”，从而改善偶合表面的适应性。而且，还可减少或消除所产生的大量切屑。粉末冶金制造活塞环的好处，已在另篇资料作了讨论。最近正研究了烧结钢阀座圈在发动机内的应用。

除发动机零件外，在汽车的其它部分也可能有许多新的应用。在手动变速车的传动系统中可将飞轮与整个起动机环形齿轮一起制造，除改螺纹外不再进行机械加工。同样离合器压力板也可用粉末冶金件。

现在还可利用粉末冶金制造合格的传动齿轮，它是利用高压两次压制技术得到97~98%密度的可渗碳的低合金钢。利用像比利时的 Les Ateliers Roger Laurent 所研究的工艺可解决制造大角度螺旋齿轮的困难，它在压制时压制冲头在阴模内可随意旋转。标准变速器的其它零件也可用一次压制的高碳合金钢制造。

万向带的大部分零件制造较便宜，但有些需要用两次压制的高密度材料。它特别适用于等速型接头的昂贵零件。这种技术也可制造球轴承滚子轴承保持架，并能减低成本。也可用粉末冶金方法制造合格的后端环形齿轮与差速器齿轮，只需略微修改其形状以在需要处能达到所要求的高密度。借助于良好的形状设计，能制造出只需很少量机械加工的全新的差速器。

轮子的可锻铸铁轮壳也可用烧结零件代替，像现在用灰铸铁制造的制动鼓轮一样。用上述技术可制造勿需机械加工的车轴螺母。在转向机构中，扇形齿轮与连接杆臂也都能有很大节约。

此外，用粉末冶金还能制造便宜且平滑的门闩，自润滑的铰链，及较宁静的车窗和门闩的操纵机构。

在汽车内部，由于粉末冶金能不用抛光可获得光洁度很高的表面和可获得高级的清晰雕刻轮廓，可在费用低的条件下制造捏手，门把手，及质量很好的装饰性标记。

自动变速器与各种附件都没有叙述，因为在这些方面相当大量的工作已经完成或正在进行，但是，其中的许多用途还没有被充分考虑。例如，空气调压缩机的全新设计是可能的。可取代起动机中的叠片，用径向压制，只需少量机械加工，就能制造出变距叶片。可制成可控的多孔钢离合器盘，以创制需要油膜的被擦件与座垫。

当粉末价格进一步降低时，另外一个用途是车身落板与保险杠。造成裂开，撕裂和孔洞的通常数量的夹杂物给这两项应用造成了麻烦，并损害了保险杠的光洁度。用粉末冶金以连续加工工艺，只用几道工序和比现在的传统方法所需要的少的设备，就能很容易地制成完全没有有害夹杂物的钢板。用新的廉价的方法制造的粉末已制造了一些试验钢板，其表明杯突试验优于任何普通钢板。这是可以预料的，因为材料的横向性能并不低。烧结钢板可允许进行比目前更强烈的成形作业。

这种钢板的成本取决于廉价粉末生产方法的发展，这方面已有和正在取得许多进展，可以在矿上将矿石制成高品位粉末（例如，以取代团矿），且很容易将其输送到主体工厂或其附

近的转化装置。任何尺寸的板材都能制造，且回收率近 100%。今天铁粉的价格还不能满足要求，但当粉末以钢的吨位生产时，情况就将完全不同。为了比较，水泥的制造过程包括类似的基本工序，其中有破碎、研磨、在控制气氛中加热，及包装。水泥的价格约为 1 美分，但铁粉生产费用决达不到这个数字，将来无疑地其将低于 5 美分。

本文试图指出烧结金属在汽车上可能应用的一些领域，而这些由于错误概念而没有被人所考虑。这种方法获得均一的极好机械性能，很好的精度和只需少量或勿需机械加工的非凡特点，而被应用于各方面。希望这些建议将有助于激起所有有关工程师的新想法。作者认为除在少数熟悉粉末冶金的工作者外，粉末冶金是无界限的。这一工业 28 年以来发展很大也很快，但其增长速率与将来相比还是小的。大概在 1985 年将会看到粉末冶金终将生产机成一部汽车的钢铁的 50% 以上。

Modern Developments in Powder Metallurgy Vo 1.3 1966 227~234

粉末冶金在汽车上应用的现状和展望

〔日〕市原 睦夫

粉末冶金作为一般机械零件而被广泛使用是在第二次世界大战之后，与其他冶金技术相比，其历史较短。不过，从利用粉末冶金的多孔性的含油轴承，过滤器等开始的粉末冶金技术，逐渐地扩大到了中、低密度机械结构零件，进而又扩大到了高密度机械零件，特殊材料等，最近在开发接近理论密度的烧结锻造材料等，进展十分迅速。在产量方面，这几年的发展也是显著的，据粉末冶金工业协会的资料，1961年为一千几百吨，而1969年达13000吨，增长了十倍。这是由于在烧结合金的使用范围急剧扩大的同时，汽车产量大幅度增长所致，图1示粉末冶金的用途调查情况，由图可看出，汽车用粉末冶金零件占整个产量的60%，烧结合金发展的最主要原因是汽车工业的积极采用和汽车产量急剧增长。作为在汽车工业中这样大量使用的根据，大多是由于烧结合金的特点。由于烧结合金是用压模制造的，复杂形状易于成形，因此可省去机械加工，材料损失少，故为少无切削加工。压机速度快到5~20个/分，生产率高，故最适于大量生产。另外，压模精度好时，尺寸精度也就良好，误差也较小，这对于制造汽车零件是便当的，为此，已确立汽车的大量生产方式的美国汽车公司已开始内制，使用量在急剧增大。日本最近也有不少公司已开始内制，并以大型高强度零件为中心在进行制造，不过，目前烧结合金在强度上还有问题，而且除化学成分跟原来的材料不同外，其性能还有因密度，原料粉、工艺方法等而不同的问题，因此，在使用上有必要充分理解烧结合金的特性。

下面叙述由其制造方法而产生的特点，问题点，机械性能，应用实例和今后的动向等。

制造方法与材质

烧结合金的制造工艺示于图2，将石墨粉、铜粉、镍粉、硬脂酸锌等混合于主要成分铁粉中，根据要求的性能，在成形压机上于3—6吨/厘米²下压制成形，在1120~1150℃下于吸热性煤气或氨分解气中烧结20~30分钟左右，在要求强度较低和尺寸精度不严的场合可采用这种工艺，成本也最低、随后进行整形时既能改善尺寸精度，又能提高表面光洁度。这种工艺现在应用最为广泛。借调整原料铁粉与压制压力，根据要求可用于制造密度为6.2~6.9克/厘米³左右的粉末冶金零件。在进而要求强度与韧性的场合进行再压制与再烧结，作成密度

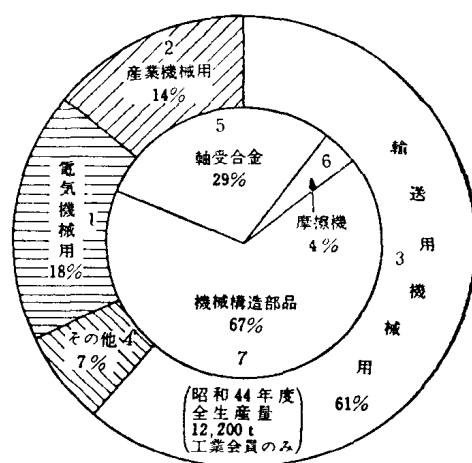


图1 烧结合金用类别、使用品种类别(内圈：品种类别，外圈：用途类别)据粉末冶金工业协会资料。

1—电气机械18%；2—工业机械14%；3—运输机械61%（仅只会员计1969年度产量12200吨）；4—其他7%；5—轴承合金29%；6—摩擦件4%；7—机械结构零件67%。

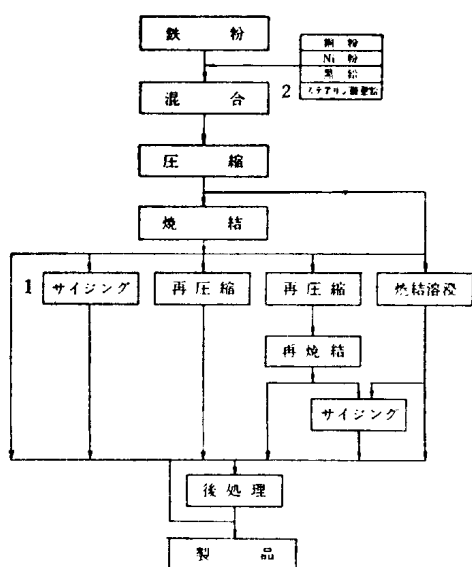


图2 粉末冶金工艺略图

1—整形；2—硬质酸锌。

7.0~7.4克/厘米³粉末冶金零件。还有进行渗铜的场合，因渗铜较易获得高密度与高强度，主要在美国用的较多，但由于韧性没有改善，疲劳强度没有太大增高及须用大量的高价铜粉，成本增高。采用这样复杂的工艺时，虽能制得高强度零件，但随之成本增高，跟其它竞争技术的成本不能相竞争的情况居多，故没成为主要工艺，而且，在其后还要根据需要进行种种处理，例如，凹割部的机械加工，热处理，渗碳淬火，蒸汽处理等。除将这样多的工序组合在一起外，在制造方法上影响零件性能的因素还很多。由于跟钢材与铸铁零件有相当大的差异，故须予以注意。兹叙述其主要问题点。

尽管制定了上述工艺，材质也会因原料粉的选择而发生很大变化，这是要注意的。现在使用的铁粉，主要是还原铁粉。其是用氢气还原铁矿石或轧钢铁鳞制成的铁粉，还原铁粉比较便宜，并具有良好的性能。

电解铁粉与雾化铁粉价格高，但因压制性好于同一压力下可获得高密度零件，所以可用一次压制—烧结工艺代替再压制一再烧结工艺。因此，其使用范围正在扩大。特别是由于雾化粉在日本已经生产，正在谋求降低成本，所以今后随着大型零件的增多与对预合金粉的需求将急剧增长。作为合金元素而被添加者有电解铜粉与羰基镍粉。铜粉在烧结时形成液相，故强度大幅度地增高，但韧性低。添加镍可改善韧性，因尺寸发生收缩，故多添加于高密度制品中。

关于压制工序，机械压机正在变成中心，不仅有100~200吨的，还有500吨的大型机械压机，由于其生产率高，有取代油压机的趋向。压制成形时由于压模与粉末的摩擦与粉末颗粒间的摩擦等复杂原因，压坯的密度并不是完全均匀的。在因形状而发生密度难以增高处时，不但要研究整体的密度，有时还必须研究最重要部分的密度。在烧结工序中一般地网带式烧结炉使用最为广泛。保护气氛从来是使用氨分解气，但近年来，考虑到成本与控制碳量、已普遍使用碳化氢的吸热性改良煤气。

这时，由于烧结的最高温度非常高，所以用一般气体渗碳用的CO₂量的改良煤气时，因高温带的碳势大幅度减低，从而发生脱碳现象。但是，煤气被错误地富化时，在低温带又会产生过剩的渗碳体，在极端情况下，会造成边角熔化，故需注意，为此，最好使着在高温带发生脱碳，和在徐冷带进行二次渗碳。这种控制一出现差错，表面就会残存脱碳层，从而使耐磨性和强度减低。使用镍粉时，即便是使用羰基镍，由于扩散性低，也必须提高烧结温度。由于性能因这种烧结过程的差异和原料粉末，添加合金、烧结条件等的差异而变化。鉴于各公司质量不一，在材料选择上易产生混乱，1970年日本粉末冶金工业协会制定了协会标准〔2〕和汽车技术协会制定了JASO标准〔3〕从而制定了材质标准。两个标准大体上一样，表1示JASO标准的一部分。在其附录中对烧结合金的特殊性进行了说明，以供使用上参考。标准以抗拉强度为基准整理了纯铁系，铁碳，铁铜，铁铜碳，铁铜镍碳及铁碳渗铜系。现在使用最广泛者是铁铜系的SMF4000系，密度为6.2~6.6克/厘米³的中等密度以下者最多，最近对

表1 汽车结构件用粉末冶金材料 (JASO7008)

种 类	标 号	合金系	机 械 性 能			密 度 克/厘米 ³	特 征	用 途 实 例
			抗拉强度 公斤/毫米	延伸率 %	冲 击 值 公斤·米/厘米 ²			
SMF ₁ 1号	SMF1010	纯铁系	>10	>3	>0.5	>6.2	容易软化, 有含油性 性可用作磁化铁心	垫圈、仪表用钼铁 极片
2号	SMF1015		>15	>5	>1.0	>6.8		
3号	SMF1020		>20	>5	>1.5	>7.0		
SMF ₂ 1号	SMF2015	铁铜系	>15	>1	>0.5	>6.2	有含油性用渗碳处 理可提高耐磨性	杆导、球节 (渗 碳淬火)调速器、 离心锤
2号	SMF2025		>25	>1	>0.5	>6.6		
SMF ₃ 1号	SMF3010	铁碳系	>10	>1	>0.5	>6.2	有含油性, 适用于 轻负荷结构零件	减震器活塞, 汽 门导管, 止推板
2号	SMF3020		>20	>1	>0.5	>6.4		
3号	SMF3030		>30	>1	>0.5	>6.6		
SMF ₄ 1号	SMF4020	铁碳铜系	>20	>1	>0.5	>6.2	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、车门撞锤 定时链轮 (淬火)
2号	SMF4030		>30	>1	>0.5	>6.4		
3号	SMF4040		>40	>1	>0.5	>6.6		
4号	SMF4050		>50	>1	>0.5	>6.8		
SMF ₅ 1号	SMF5030	铁碳铜系	>30	>1	>1.0	>6.6	高强度结构零件可 进行淬火回火处理	同步啮合键离合 器齿轮类
2号	SMF5040	镍 系	>40	>1	>1.0	>6.8		
SMF ₆ 1号	SMF6040	铁碳系	>40	>1	>1.0	>7.2	高强度, 耐磨性与 热导性好, 有气密 性, 可进行淬火回 火处理	叶片泵转子, 油 封套油泵体
2号	SMF6055	(渗铜)	>55	>0.5	>0.5	>7.2		
3号	SMF6065		>65	>0.5	>1.0	>7.4		
SMK ₁ 1号	SMK1010	青铜系	>10	>2	>0.5	>6.8	容易软化, 有耐蚀 性非磁性	蜗轮, 推力垫圈 轴承保持架
2号	SMK1015		>15	>3	>1.0	>7.2		

于制作高强度大型零件正在逐渐多用SMF500系, 在美国多用易获得高强度的渗铜的SMF600系, 但因成本高, 在日本用得较少。渗铜系虽强度增高, 但由于韧性低和疲劳强度不会有太大增高, 因此, 不宜用于耐疲劳的零件。另外, 如同从标准中所看到的, 强度虽较高, 但延伸率与冲击值都比钢材低得的多, 这一点限制了烧结合金的用途。解决了这个问题, 使用范围就能大幅度地扩大, 但工艺过程的复杂化虽使强度增高不多却使成本大大增加, 这样就无法与其他技术相竞争了。所以, 配合以热锻的烧结锻造技术作为今后的课题正在引起注意。

机 械 性 能

钢材的机械性一般地决定于钢种 (合金成分) 和热处理, 但烧结合金, 此外虽也受到取决于烧结条件的晶粒长大, 合金元素的偏析, 气孔的形状等的影响, 但密度是最有决定性的。不考虑这个主要因素, 就无法说明烧结合金的强度。所以, 图3与图4示最有代表性的纯铁系与铁铜碳系的密度和抗拉强度的关系。在纯铁系, 强度随密度成比例地增高, 其显示了最单一的变化。在使用最为广泛的铁铜碳系, 实际上虽也是同样, 但比纯铁系的场合, 增高的更为急剧。在含碳1%时, 一般含铜量最高为5~7%, 含铜量增高时, 膨胀增大, 故应注意。从成本看来, 2%左右的铜为最好。

如上所述, 烧结合金的机械性能虽多取决于密度, 但和一般的钢材一样, 热处理与其它处理也都能改变机械性能。现在烧结合金于烧结状态使用的实例虽很多, 但今后随着合金粉利用的扩大与要求强度的增高, 热处理的必要性将增大, 首先是渗碳淬火, 目前一般是气体渗碳与气体碳氮共渗, 跟一般不同处是, 因其是多孔性的, 所以渗碳速度非常快, 短时间内

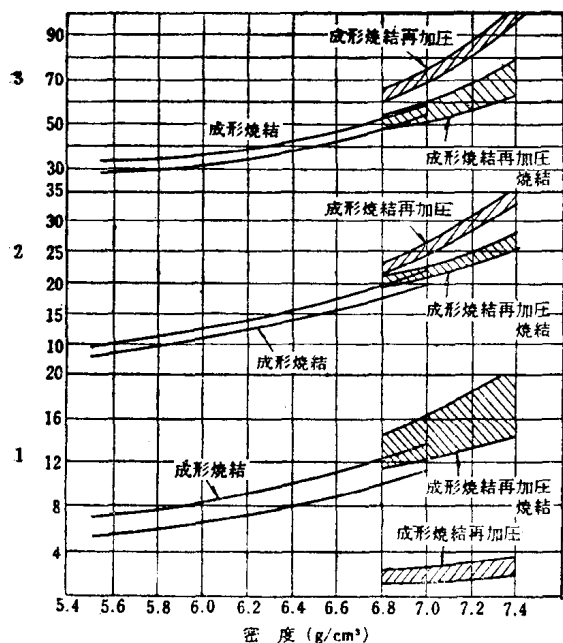


图3 烧结铁的性能与密度的关系(化合炭0.7%以下)

1—延伸率; 2—抗拉强度; 3—硬度(HB)。

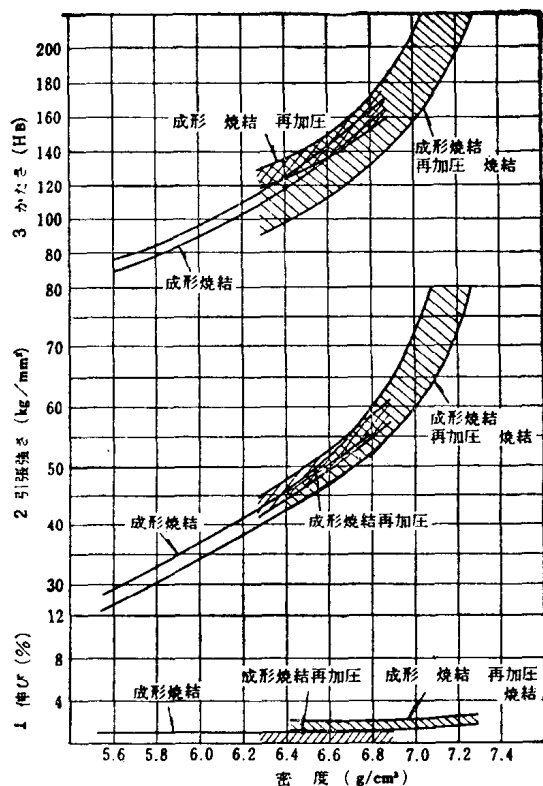


图4 铁碳铜系烧结体的性能与密度的关系(炭量0.7—0.8%铜2.5%其余铁)

1—延伸率; 2—抗拉强度; 3—硬度。

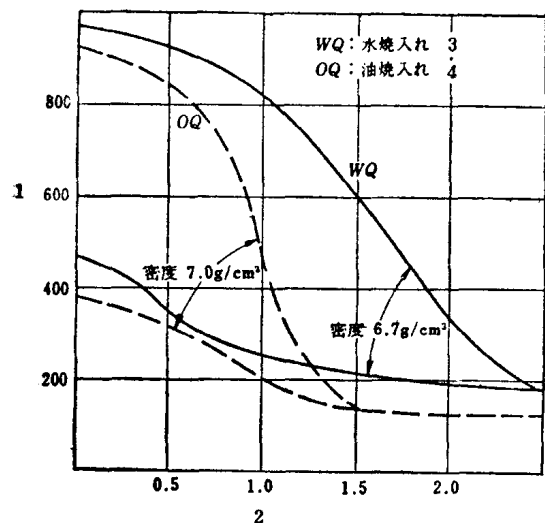


图5 气体渗碳的烧结铁淬火后的表面硬度分布
1830°C, 30分气体渗碳

1—硬度(HV); 2—自表面的距离(毫米); 3—水淬;
4—油淬。

即能得到深的渗碳层。当然渗碳深度而异, 图5示其渗碳深度, 必须注意, 淬火深度因密度与淬火方法不同而有很大改变, 跟一般钢材一样利用淬火回火处理可改善机械性能。可是, 比之一般钢材的回火温度, 于低温下回火场合居多, 因为在350~400°C下回火时得到的抗拉强度高, 所以有时也于这一温度下进行回火, 借用蒸汽处理生成氧化物可增高耐磨性与硬度。可是, 韧性减小, 有时因轻微冲击而破坏, 故要注意。

其次是烧结合金的疲劳强度, 随着高强度零件开发的进展, 对烧结合金的疲劳强度越益关心。图6示疲劳强度的一例。由图6知, 烧结材料的密度与热处理对疲劳强度的影响都很大。作为一个特点, 渗铜材料的抗拉强度虽增高, 但疲劳强度都没有增高。从这一点看来,

对于要求疲劳强度的零件不宜采用渗铜材料。

近年来，作为提高烧结合金疲劳强度的方法研究了软氮化，和报导了其效果。图7示此例用软氮化能大幅度地改善高密度零件的疲劳强度，看来是今后扩大烧结合金使用范围的一个有效方法。

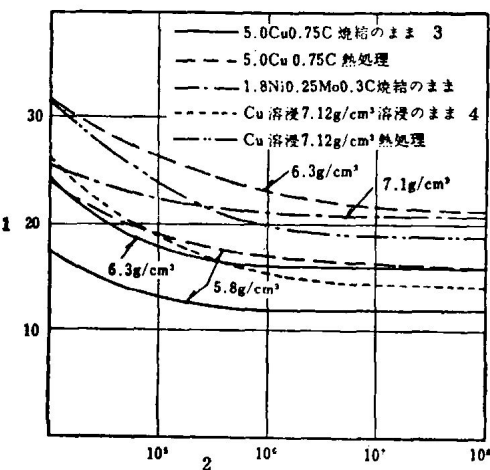


图6 烧结材料的疲劳强度(注：渗铜材料是将6.3克/厘米³的压坯，渗铜处理成7.2克/厘米³，成分15.5%Cu, 0.75%C)

1—应力(公斤/毫米²)，2—循环次数，3—烧结状态，4—渗铜状态。

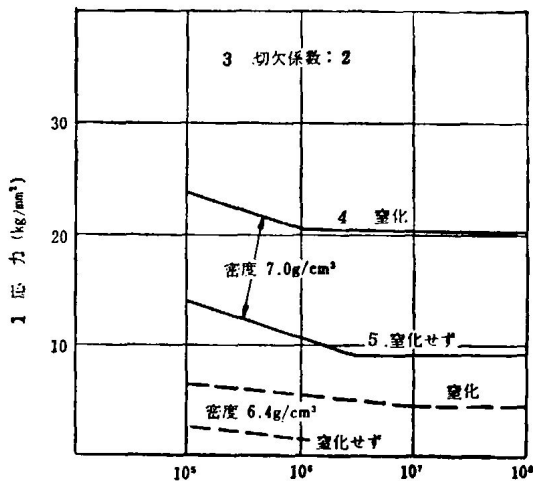


图7 盐溶氮化对烧结材料疲劳强度的影响(试片：低碳不含铜，切口机)

1—应力；2—循环次数，3—有效应力集中系数，4—氮化，5—非氮化。

汽车零件应用实例

粉末冶金在汽车零件上的应用，最初是从利用其多孔性的含油轴承开始的，机械结构零件也是从有效的利用含油性的零件等，逐渐扩到了无切削加工的形状复杂的小零件。并且，由于大型压机与高压缩性铁粉的发展，扩大到了高强度与大型零件。兹将现在的应用状况按汽车各个部分加以介绍。

发动机零件

最初考虑到含油性，而被烧结合金化的是凸轮轴止推板。其系使用密度6.2~6.4克/厘米³的低密度的铁碳系或铁铜碳系材料。之后用机械加工很难加工的具有次摆线曲线的油泵外转子与内转子被烧结化了。另外HC发动机的摇臂球也有被烧结化的例子。在发动机零件中最近被烧结化与被注意者有定时链轮，油泵链轮，凸轮链轮等链轮。这些链轮一般用Fe-Ni-C系，由于辛辛哪提(Cincinnati)公司500吨压机等大型压机的采用而变成了可能，和由于高缩铁粉等的采用，用一次压制密度即可达到6.8~7.0克/厘米³左右的中高密度。在要求链轮的耐摩

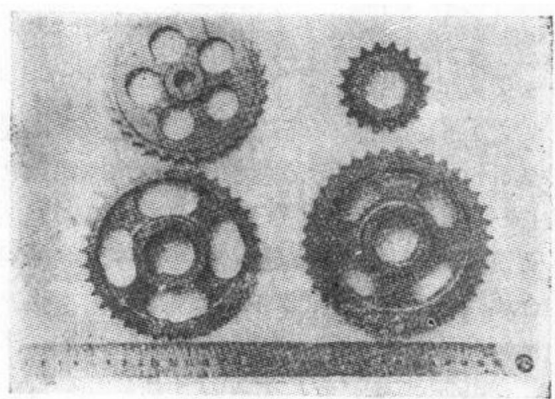


图8 烧结合金链轮类实例

性的场合,要进行高频淬火。图8示这种链轮的实例。中碳钢或高强度铸铁的机械加工零件,由于烧结合金化,因加工省掉了,故成本降低了,这是最近烧结合金用量急增的一个原因。

变速器零件

在手动变速器零件中,离合器毂和同步器键是有代表性的例子。进行再压制再烧结和以密度 7.2克/厘米^3 左右使用的键可被看作是日前汽车零件的代表性例子,其系渗碳淬火后使用,但因工艺复杂与其他技术竞争有问题。离合器毂也是最近被烧结合金化的零件的代表性例子。这时大多使用铁铜碳系或铁镍碳系,密度为 $6.6\sim 6.9\text{克/厘米}^3$ 左右。在美国汽车公司的有代表性的烧结零件使用例的自动变速器中,因为所要求的强度特性不太严格,因此广泛地采用了烧结合金。日本也已成立了自动变速器联合公司。考虑到急速普及的进展,看来今后烧结零件的使用也会急增。有各种压力板,油泵齿轮,涡轮毂等,都是采用铁铜碳系和密度为 $6.6\sim 6.9\text{克/厘米}^3$ 的中高密度零件。实例示于图9。看来,今后和美国一样,其在烧结合金零件的增长中将占主要部分。

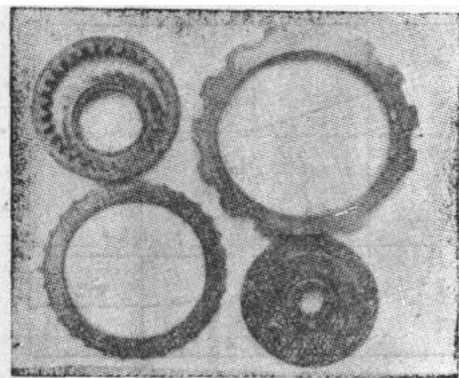


图9 自动变速器烧合金零件实例

底盘、车身零件

在底盘方面利用含油性的有球座,其系使用铁铜碳系和密度为 $6.4\sim 7.0\text{克/厘米}^3$ 的烧结材料,并要进行淬火或渗碳淬火。另外,由于形状复杂,除粉末冶金外被认为近乎无法加工的零件中有减震器零件,活塞,导向器,阀座等,系使用铁碳系或铁铜碳系和密度为 $6.2\sim 6.6\text{克/厘米}^3$ 左右的中等密度材料。

在本身方面使用的有车门的撞锤与小齿轮等,但从安全性看来,要求高强度,所以有高密度化的倾向。リクライニングシの棘轮凸轮等也在使用,零件虽小,但大多要求高密度和高强度。

如上所述烧结合金已被使用于各方面,但考虑到要求于汽车零件的强度与可靠性,按照现在的强度使用范围的扩大将是有限的。为了扩大应用范围,技术上必须急速进展,关于这一点必须加以研讨。

烧结合金的动向与未来的展望

最近的动向

为人们所注意的烧结合金,最近的动向是由于采用高压压缩性铁粉,高强度零件的发展和大型机械压机的普及大型多台阶零件的实用化,链轮类与自动变速器零件的采用得到了急速增长,高压压缩性铁粉,由于A.O 史密斯公司的水雾化粉,用同样的压制压力就能获得高密度,从而使用一次压制法制造高密度零件成为了可能,使之能进行价格竞争。其后还发展了魁北克金属公司利用精炼钛的副产品制造的雾化粉等价格便宜的粉末。日本也在通过技术合作与独自研究正在进行发展,但还未见于市场。现在还处于试生产阶段,这种粉末一旦大量生产,就其制造方法来考虑,预计是非常便宜的,这对扩大烧结合金的范围将是有益的,因为雾化法适于生产合金粉,所以若能供给这些合金粉,再配合以热处理,生产强度更高的零件