

渐开线齿轮制造 经验选编

第一机械工业部技术情报所

1978年

前 言

在毛主席伟大旗帜的指引下，在华主席为首的党中央领导下，一个“农业学大寨”“工业学大庆”的伟大群众运动正在全国深入开展。农机战线广大职工正在为1980年基本实现农业机械化的伟大目标而努力奋斗。

为了总结交流各地提高农机产品质量的经验，促进农机事业的发展，我们搜集了有关齿轮制造方面的经验资料，汇编成《渐开线齿轮制造经验选编》，供有关单位参考。

本汇编针对当前农机齿轮生产中存在的问题，着重选择了适于农机行业采用的齿轮加工、热处理等方面的经验资料。

由于掌握情况不多，收集资料不全，加以水平所限，错误缺点在所难免，请批评指正。

编者

目 录

1. 空气锤锻造拖拉机螺旋伞齿轮毛坯	(1)
2. 粉末锻造齿轮的研究和应用	(5)
3. 粉末锻造高强度齿轮工艺试验	(12)
4. 碳氮共渗在东风-50拖拉机齿轮上的应用	(23)
5. 东方红-54拖拉机大减速齿轮中频感应加热淬火工艺	(35)
6. 井式炉碳氮共渗工艺试验——第一阶段小结	(41)
7. 滴入式碳位自控渗碳及碳氮共渗试验总结——采用 KH-02 型红外线 CO ₂ 碳位 自控仪控制 RQ-90-9D 型井式控制气氛炉	(48)
8. KSZ-80型可控气氛渗碳淬火炉及第一阶段工艺试验	(75)
9. 可控气氛渗碳生产与调整	(87)
10. 时间比例或 PID 仪表控制的电压零触发可控硅电阻炉控温装置	(126)
11. 离子氮化应用于齿轮热处理	(137)
12. 25MnTiBR 钢齿坯锻造正火工艺及金相组织	(145)
13. 25MnTiBR 钢中奥氏体晶粒粗大及混晶问题的研究	(154)
14. Y4710 型单轮挤齿机	(172)
15. 自由传动冷精轧齿轮新工艺的应用	(179)
16. 热轧圆柱斜齿轮	(188)
17. 双刀盘切向高速铣齿机	(196)
18. 双刀盘切向切齿法的分析	(203)
19. 电解加工内齿和链轮	(218)

空气锤锻造拖拉机螺旋伞齿轮毛坯

新疆齿轮厂

过去一直认为：拖拉机螺旋伞齿轮的毛坯，一定要用五吨模锻锤和1250吨平锻机才能锻造。这两种设备复杂、价格昂贵，一般中小型工厂无法配备，从而严重地影响螺旋伞齿轮的生产。新疆齿轮厂职工，以阶级斗争为纲，勇于实践，在国产750公斤空气锤上锻造成功，并大批投产。几年来用“胎模锻”发展成“型砧锻造”，进而又发展成“固定模锻”，无论产品质量、生产效率和原材料消耗，都达到模锻锤和平锻机的水平。为在自由锻锤上进行模锻，创造了经验。这对目前中小型配件厂广泛使用着的空气锤自行解决复杂锻件毛坯，实现锻件模锻化，具有推广意义。必将对加速实现农业机械化作出贡献。

表1、表2分别为5吨模锻锤、1250吨平锻机与空气锤锻造螺旋伞齿轮毛坯与二轴经济效益对比表。

表1 五吨模锻锤与空气锤锻造东方红-54/75拖拉机螺旋伞齿坯对比表

项 目	工 艺 方 案	5 吨 模 锻 锤 锻 造	750公 斤 空 气 锤 锻 造		注
			胎 模 锻	固 定 模 锻	
1	占用设备	5吨模锻锤	750公斤气锤	750公斤气锤	
2	设备价格	昂 贵	便 宜	便 宜	
3	加热火次	一 火	两 火	两 火	
4	原材料消耗	13.8公斤	13.6公斤		
	锻件重/下料重	16公斤	15公斤	15公斤	
	东方红-54		16公斤	16.4公斤	
	东方红-75		17.4公斤		
5	锻件质量	好	较好（不稳定）	好	
6	每班人数		14	8	
7	单件工时		6~7分钟	5~7分钟	
	班产量		50~70件	50~70件	
8	模具用料：球墨铸铁	全部用合金钢	0	3吨	
	合金钢		2.5吨	0.2吨	
9	模具寿命	长	短	长	
10	投产周期	长	短	稍 长	
11	对设备的影响	无偏击冷击	有偏击冷击	无偏击冷击	
12	劳动强度	轻	大	轻	
13	劳动条件	改 善	差	改 善	
14	安全生产	安 全	有一定危险	安 全	

表2 1250吨平锻机与空气锤模锻东方红-54/75拖拉机二轴对比表

项	工 艺 方 案 目	1250 吨 平 锻 机 锻 造	空 气 锤 锻 造		注
			型 砧 卧 锻	固 定 模 立 锻	
1	占用设备	1250吨平锻机	750公斤空气锤	750公斤空气锤	空气锤价 格便宜
2	加热火次	一 火	450公斤 一火可锻两根	一 火	
3	材料消耗 锻件重/下 料重	东方红-54 16.75公斤 东方红-75 17公斤	16公斤×2 16.5公斤×2	16.3公斤 16.5公斤 16.36公斤 16.55公斤	
4	锻件质量	很 好	有 缺 点	很 好	生产率很高
5	每班人数		14	7~8	
6	单件工时 班产量		2.5分钟 150-200件	30-40秒 500-600件	
7	模具用料: 球墨铸铁 合金钢		0.8吨 0.09吨	1.7吨 0.15吨	
8	模具寿命	全部用合金钢			
9	投产周期	长	长	长	
10	对设备的影响	长	短	稍 长	
11	劳动强度	无偏击冷击	无偏击冷击	无偏击冷击	
12	劳动条件	小	大	小	
13	安全生产	好	差	改 善	
		安 全	安 全	安 全	

下面简单介绍齿坯和二轴的锻造情况:

一、拖拉机螺旋伞齿轮的胎模锻造

我们曾在750公斤空气锤上用开式或半开式胎模,两火能顺利成形,内外均无飞边。锻件充形的好坏,主要在于操作时正确掌握锻造过程每一工步的要点;模具形状;尺寸配合;以及砧面的安装平行性。

锻造时采用了机械抬模钳操作,可节省劳动力、减轻劳动强度。

在锻打过程中,按一般估计,东方红-75大螺旋伞齿轮要比东方红-54大螺旋伞齿轮难打,因为它更薄更大,难充形。但当我们加强了凹槽处的预压形状,并使预压尺寸更接近成形尺寸,结果锻打得更理想。图1是以东方红-54大螺旋伞齿轮的胎模锻造成形工艺为例说明锻造过程。

锻造时采用了机械抬模钳操作胎模,可节省劳动力,减轻劳动强度。单工序班产在100件以上,成品班产在50~70件。

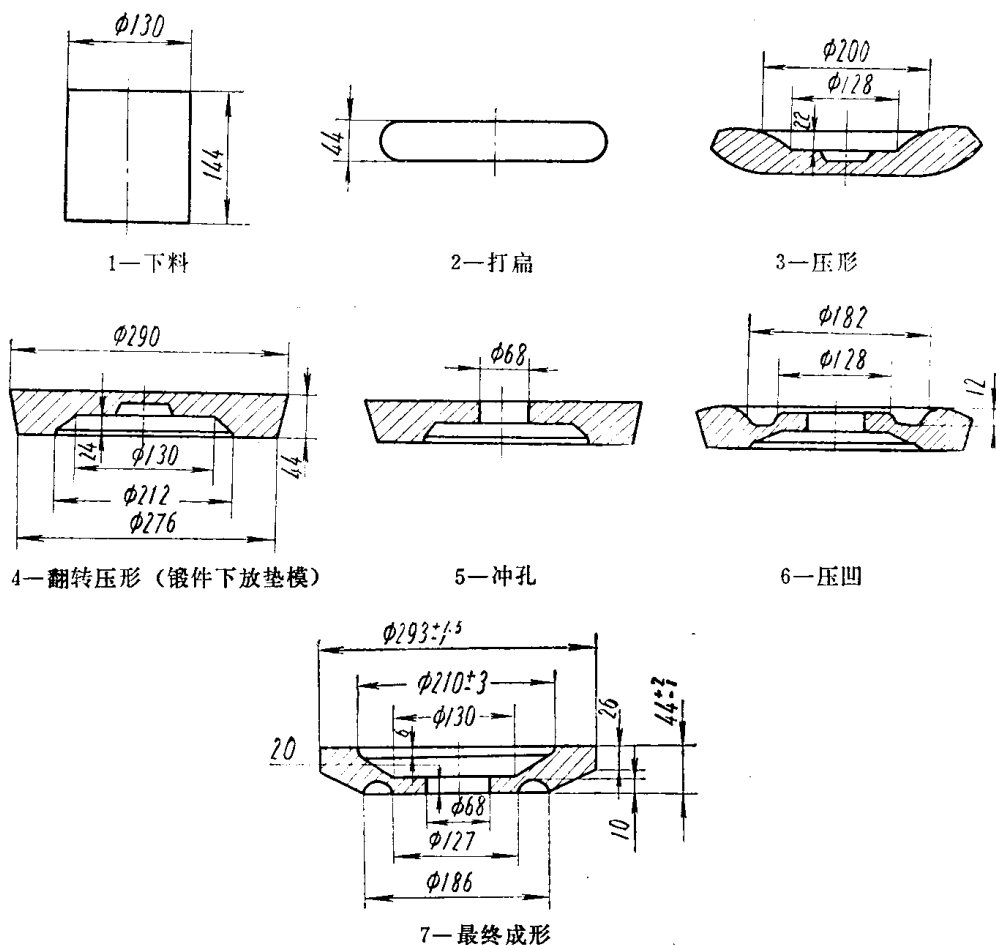


图1 东方红-54螺旋伞齿轮胎膜锻造工艺流程

二、拖拉机第二轴毛坯的型砧卧锻

二轴锻造方案的产生，碰到了两个带理论性问题：小扁方头是直接挤压成形，还是先经制坯后锻粗成形？根据资料，过去曾有人分别在750公斤空气锤和1000吨摩擦压力机上作过实验，得出了一致的结论：“小扁头的形成，需先经制坯，并且形状和尺寸应尽量接近成形尺寸，否则容易充形不满。”有一种工艺是采用 $\phi 100$ 毫米的料，一料双下，“先睡后立再睡三火成形”工艺，打出的扁方头是 $\phi 40$ 毫米的圆柱头，尚需加工，并且劳动强度大；另一种工艺是用 $\phi 90$ 毫米的料单根下料，“先睡后立两火成形”，这种工艺锻件长短无法控制，需在切头机上切头。

我们放手发动群众，集中了群众的智慧。考虑到锻模结构上有一种用小料挤粗的“集料型槽”情况，联系过去用摔子锻造倒挡轴时，凹槽尺寸常易增长而出现废品，经过分析，这时金属是由里向外依次先后流出的。另外又发现一种难得的现象：当我们用型砧锻制类别似一轴的过程中，有时由于操作不慎，往往造成轴台局部缺肉，而在两端还有余料时，则金属会反向由外向里将缺肉处充满。这就给我们一种启示：二轴若用细料睡着挤粗，则必须在模膛中形成两个方向相反的金属流——即扁方头部分和杆部的多余金属都向锥形头大端流去。因此，流向相反的两股金属流，在一定条件下，能同时存在于同一锻造过程中，同时一定条件下又能互相转化。据此，采用一料双下，一次锻造两根的办法。应用了“金属反变形流向”的原理和实践，即将二轴用细料睡着挤粗，在模膛中形成两个方向相反的金属流——使扁方头

部分和杆部的多余金属都向锥形头大端流去。从而实现了用750公斤和450公斤空气锤同时联合作业，经两付球墨铸铁型砧，两付特制小棒子卧锻成形的先进工艺。打破了过去认为：“小扁头的形成，需先经制坯，并且形状和尺寸应尽量接近成形尺寸，否则容易充形不满。”和“必须先睡后立再睡三火成形。”或“先睡后立两火成形”的传统结论。

三、拖拉机第二轴的固定模锻

在胎模锻的基础上，我们也进行了固定模锻，效果良好。

采用具有三个模块两个分型面带有锁扣定位的锥体两半模立锻模具。配备了吊挂式专用两半模操作钳。用 $\phi 65$ 毫米的料，头部局部加热经5-7锤即可成形。班产达到600根以上。为了解决锻粗长度超过直径三倍以上而产生弯曲的难题，采用予锻帽成功地代替了平锻机模块上的予锻锥形筒。创建了别具风格的专用烧头反射炉，满足了生产率的需要。

在这样的立锻装置中，争论不休的二轴小扁方头，不经任何制坯，完全可以直接挤压出来，否定了那种认为“不经制坯不能直接成形”的结论。

现以东方红-54拖拉机第二轴锻造工艺为例（图2）说明其锻造过程。（东方红-75的二4轴比54更易锻打。）

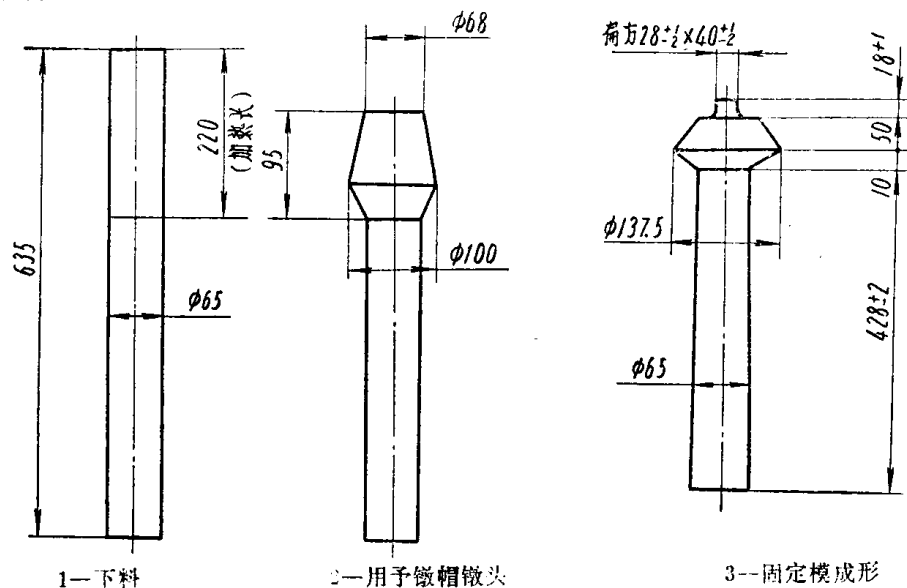


图 2

四、结 论

实践证明：没有5吨模锻锤和1250吨平锻机，在750公斤空气锤上，不仅可以用胎模锻造、型砧锻造的方法，而且可以用固定模锻的方法，锻制东方红-54/75拖拉机螺旋伞齿轮和二轴锻件，产品质量完全可以达到洋设备的锻件水平，二轴的生产率也是很高的。

对于大螺旋伞齿轮锻件，今后还应探求更高生产率的方法，例如滚轧等。

当前存在的主要问题是：现用的球墨铸铁砧座重约1.2吨，我厂目前尚不能热处理这样大的球铁件，而不经热处理，强度不够，曾被打裂，因此，固定模锻砧座的结构和尺寸是目前存在的主要问题，有待进一步解决。

粉末锻造齿轮的研究和应用

北京市粉末冶金研究所

用传统粉末冶金工艺生产齿轮和机械零件已有悠久的历史。这种工艺使产品具有生产率高，精度高，模具、设备简单、成本低等一系列优点。但是，由于粉末制品中残存较多孔隙，使得其强度和冲击韧性较低，这样就限制了粉末制品只能应用在中、低负荷的结构零件上。为了提高粉末制品的强度，采用了添加合金元素，二次压烧，渗铜等方法，但其机械物理性能的提高是有限的。粉末锻造法的出现对传统粉末冶金工艺的局限产生了突破。粉末锻造基本消除了制品的孔隙，使制品密度达到或接近理论密度。与此相应，粉末锻造制品的机械物理性能接近、达到或超过精炼钢的水平。粉末锻造工艺综合了传统粉末冶金和精密锻造两种工艺的优点，具有生产率高、制品精度高、光洁度理想、可锻造形状极为复杂的零件、强度高、材料利用率高、锻造吨位小、模具寿命高、设备简单等一系列优越性。因此，粉末锻造工艺近年来在我国和世界先进工业国家引起普遍重视，并得到迅速发展。尤其在汽车，拖拉机齿轮和零件的生产领域更显示出优异的成果。

在毛主席的无产阶级革命路线指引下，北京粉末冶金研究所、一机部天津设计院、天津内燃机齿轮厂等单位协作，发挥自力更生，艰苦奋斗的革命精神，树立赶超世界先进水平的雄心壮志，从1973年至现在，先后研究试制了北京 130 汽车后桥行星齿轮，北京 212 汽车后桥行星齿轮，东方红-20拖拉机后桥行星齿轮，东方红-20拖拉机二倒档直齿轮（内孔带花键），并已全部装车试验，性能良好。经过一年的努力，现已初步建成一条粉末锻造连续生产线。（见图 1）



图 1 粉末锻造连续生产线

一、粉末锻造齿轮的制造工艺

粉末锻造齿轮工艺包括：铁粉还原—混粉—予制坯压制—予制坯烧结—锻造—热处理—磨加工等工序。

1. 铁粉还原

粉末锻造制品对原铁粉质量要求较高，杂质少，含氧量低。因此在混粉前需要将铁粉于氢气中还原，还原温度 $680^{\circ}\text{C}\sim 700^{\circ}\text{C}$ ，还原时间40分钟。还原后成份：铁 98.65%，碳 0.06%，氧 0.36%。

2. 混粉

粉锻齿轮中的合金成份以铁合金形式加入，粒度为-200目。

成份配比：

成份 含量	Fe	C	Mn	Mo	B	20 + 机油
%	余量	0.35~0.4	1.6	0.5	0.1	0.2

其中，机油为外加成分。

石墨粉：灰分 0.5% 左右。

混粉采用锥形混料机，混粉2.5小时。

3. 压制

混合均匀的粉料在冷压模具中压制预制坯。预制坯尺寸公差要求不严格，但要选择最适当的外型，以便于冷压成型，也利于热锻时金属流动，填满模腔。行星齿轮的预制坯为带有锥台的圆柱体。见图 2。

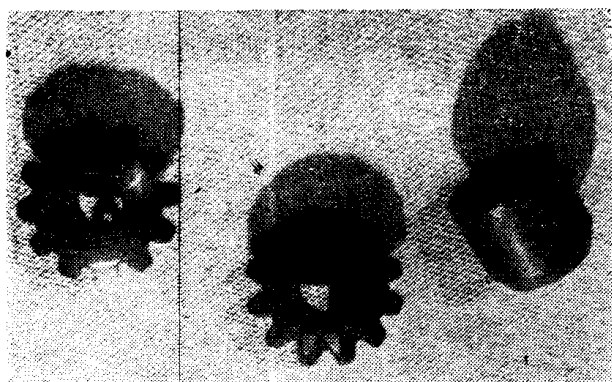


图 2 行星齿轮预制坯及未经任何加工的东方红-20粉锻行星齿轮

由于采用无飞边封闭模锻造，因此预制坯的重量要严格控制，一般不超过 $\pm 0.5\%$ 。预制坯压制压力为 5 吨/厘米²，密度控制在 6.2~6.5 克/厘米³。（中等密度）

4. 烧结及锻前加热：

压制后的预制坯要在保护气氛中烧结以防止氧化、脱炭，烧结时要达到充分合金化。并要严格控制含碳量。据设备情况和具体工艺条件，烧结后可直接进行锻造，也可烧结后冷却，锻造时再重新加热。

新建成的粉末锻造齿轮连续生产线就是采用中频感应一次烧结加热工艺。中频电源为 100 瓩，1000 赫兹可控硅中频电源。炉体长 2600 毫米，内可装坯料 60 个左右。炉头部分装有定时气动推料机构，以 1 个/分的速度连续向前推进。出料端同样以 1 个/分的速度连续出料，将烧结过的预制坯送入锻模锻造。

感应烧结锻造炉最高温度为 1200°C ，高温带长 1500 毫米。

炉体部分在感应圈内安装氧化铝炉管。

在烧结过程中，炉管内通入煤油裂化气，或 RX 吸热式气氛，以防止工件在烧结过程中氧化和脱炭，炉管两端用火封保护。

中频感应一次烧结加热工艺的优越性，可以使工艺简化，容易实现连续自动化生产，成

本降低。

5. 锻造

锻造成型是粉末锻造齿轮的重要工序,将烧结后的粉末预制坯放在热锻模具中锻造成型。由于粉末预制坯的多孔性,密度低,流动抗力小的特点,又由于粉末预制件重量控制精确,可实现无飞边封闭锻造,所以与精密锻造相比,粉末锻造所需要的锻造吨位小,模具寿命也相应提高。

在锻造时,为了防止模具温度剧变,需将模具预热至 $200\sim 300^{\circ}\text{C}$,每次锻造后,用空气冷却。为了便于金属流动和脱模,模腔内用石墨二硫化钼等润滑剂进行润滑。锻造后的齿轮放入石墨粉中缓慢冷却。锻件实物见图2。

依合金成分不同,锻件密度可分别为 $7.65\sim 7.81\text{克/厘米}^3$,为理论密度的 $98\sim 100\%$ 。

要能够锻出合格齿轮,必须做到下面几点:

① 需要制造高精度的模具,以保证能够达到齿轮各项图纸要求,同时也可能使必要的机加工量减至最少。

② 较好的模具材料。粉末锻造齿轮要求模具材料具有高的耐热性和高的回火稳定性。在高温下受冲击载荷时,具有良好的耐磨性和热疲劳性。同时还要求一定的冲击韧性和导热性,以保证一定的模具寿命。

③ 少无飞边封闭锻造。为了充分发挥粉末锻造的优越性,锻造模具应该实现少、无飞边的封闭式锻造。这样,既减少了后序机加工的工作量,提高了材料利用率。又可降低所需要的锻造力。

④ 快速脱模。锻件能不能快速脱模直接关系到模具寿命。锻件在模具中停留时间拖延,模具温度升高,会导致模具寿命降低。

⑤ 坯料自动找正。为了保证加热坯料放在模具中快速锻造,保证锻造温度,防止氧化和减少坯料及模具接触时间,要求坯料放入模腔后,坯料能够自动找正。

⑥ 锻造时要有足够的锻造力,以保证零件的密度。据国外资料介绍,粉末锻造需要 $8\sim 11\text{吨/厘米}^2$ 的锻造力才能达到 99% 的理论密度。

6. 车加工

锻造后的齿轮按图纸要求进行车加工,如内孔倒角,车球面等。

7. 热处理

35MnMoB 粉末冶金材料热处理工艺是:渗碳温度 930°C ,淬火温度 840°C ,回火温度 180°C ,渗碳层为 $0.8\sim 1.2\text{毫米}$ 。渗碳基金相组织为针状马氏体加细小碳化物及少量残余奥氏体,心部组织为低碳马氏体加铁素体。表面硬度HRC56~60,心部硬度HRC25~35。

8. 磨加工

经过热处理的齿轮,在磨床上用节圆卡具磨内孔,使其达到图纸要求的尺寸和光洁度。

二、粉末锻造齿轮精度

行星齿轮精度等级为8—Dc,其中径向跳动误差 $\leq 0.065\text{毫米}$,周节累积误差 $\leq 0.08\text{毫米}$,接触斑点按长度不小于 50% 。齿轮成品实测基本上都在8—Dc的允差范围之内。其中径向跳动 $0.04\sim 0.07\text{毫米}$,周节累积误差 $0.05\sim 0.07\text{毫米}$,接触面符合要求。

二倒档直齿轮精度等级为 8-7-7Db。其中径向跳动误差 ≤ 0.065 毫米，公法线长度变动量公差 ≤ 0.038 毫米，周节累积误差 0.08毫米，接触斑点按长度不小于 50%。齿轮成品实测：径向跳动0.04~0.07毫米，公法线变动量0.02毫米，周节累积误差0.06毫米，接触面符合要求。基本上符合 8—7—7—Db的精度要求。

三、粉末锻造齿轮机械性能及装车试验

粉末锻造齿轮与 18CrMnTi 钢切削齿轮进行了单齿静弯载荷的对比试验，试验结果见表 1。

表 1 行星齿轮单齿弯断载荷对比试验结果		
弯 断 载 荷 齿 轮	粉末锻造 (吨)	18CrMnTi切削加工 (吨)
212汽车行星齿轮	8~9.5	8~10
东方红—20拖拉机行星齿轮	大于 8	8~11

注：以上为齿轮弯断数据。渗碳层开始断裂载荷，粉末锻造与18CrMnTi相同，均为 5~6 吨。

粉末锻造齿轮与18 Cr Mn Ti 切削齿轮进行了单齿弯曲疲劳对比试验，试验结果见图 3。

由以上试验结果可以看出：粉末锻造齿轮在承受静载荷和动载荷方面都接近或达到、甚至超过18CrMnTi 钢切削齿轮的强度指标。

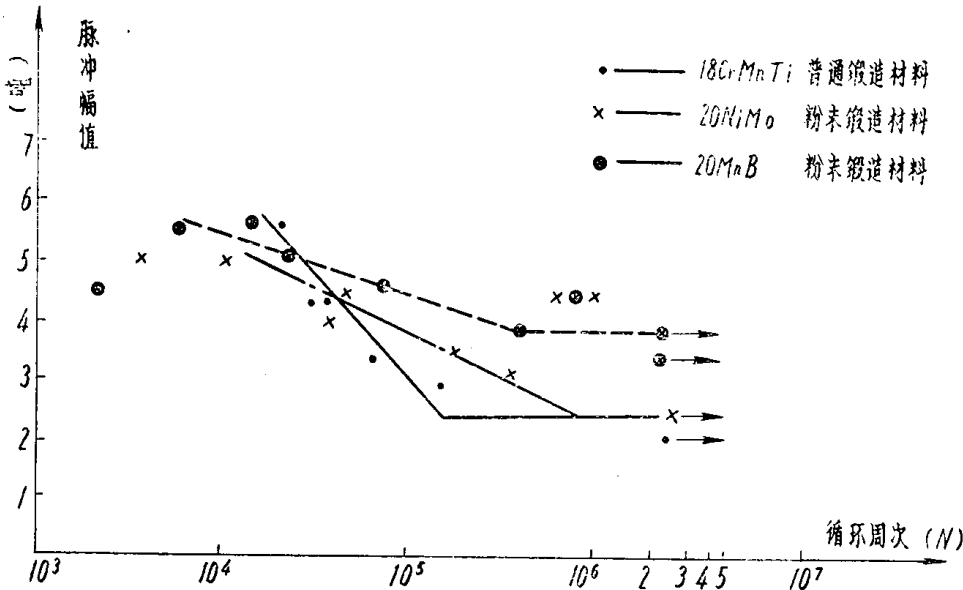


图 3 各种材料齿轮单齿弯曲疲劳强度对比

粉末锻造齿轮的动载强度甚至能够超过18CrMnTi 锻钢切削齿轮，看来是由于粉锻齿轮光滑的齿面，没有机加工刀痕和没有被切断的锻造纤维所决定的。所以，尽管由于原料铁粉

质量不算太好，锻造齿轮内部还存在少量孔隙和夹杂物，粉锻齿轮仍能达到较高水平。

粉锻东方红-20拖拉机行星齿轮进行了实际装车试验，共装了200台拖拉机，天津市武清县南蔡公社郭官屯大队试验，运行3000小时（其中耕地1000小时），齿轮拆下，磨损量极小。其余拖拉机使用正常，未发现问题。

粉锻北京 130 汽车后桥行星齿轮装车进行满载道路行车试验，运行 6 万 5 千公里，齿轮磨损量极小。

粉锻北京 212 汽车后桥行星齿轮装车试验已正常运行 7 万公里。

实践证明，粉末锻造行星齿轮的强度完全能满足使用要求，可以代替18 CrMnTi 锻钢切削齿轮。

四、粉末锻造齿轮的模具设计

封闭锻造是使所锻零件达到精度高，密度高，材料利用率高和少、无切削的必要手段。只有实现封闭锻造才能更充分地发挥粉末热锻工艺固有的优越性。

锻压设备为 300 吨摩擦压力机。

锻造模具动作见示意图 4

当合模后锻造时（图4c），流动的金属对上阴模有很大的向上推力，因此为保证模具封闭起见，模具的合模装置必须有较大的合模锁紧力。而合模锁紧机构又必须与压机锻造动作同步。这一点是通过一种具有平面凸轮的挂钩式锁紧合模装置实现的。

图 4，锻完开模后，工件由下顶出套筒顶出。顶出套筒的动作由液压机构实现。

模具有上、中、下三块模板。上模板固定于压机上锤头；下模板固定于压机工作台；中模板由导柱、导套导向，并由气动机构控制升降。模具外形见图 5。

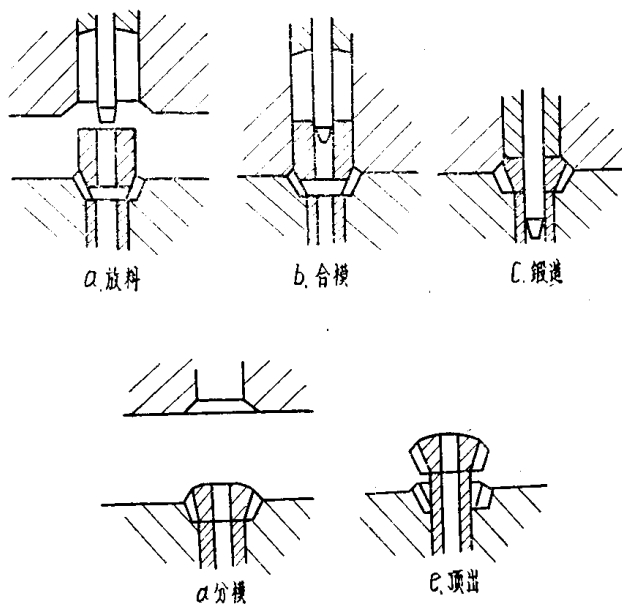


图 4 锻造模具分步动作

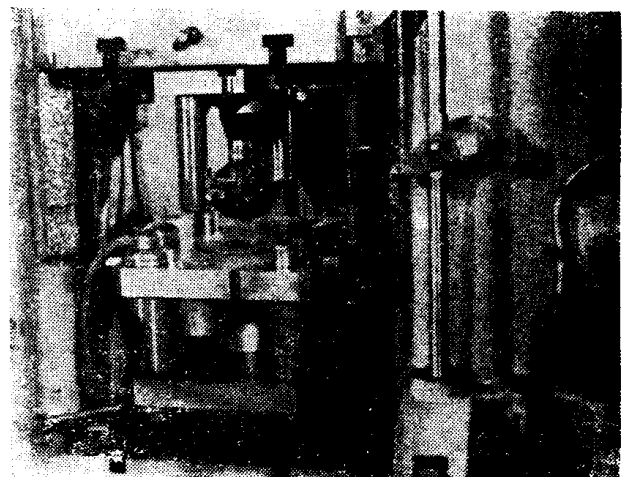


图 5 封闭式锻模外形

加工阴模的电极材料：粗电极采用紫铜，精电极采用 Cu-W80 合金。

电极精度直接影响阴模精度，特别是精电极精度要严格控制。由于锻造齿轮的热胀冷缩，因此齿轮电极的压力角要加以修正。

五、粉末锻造齿轮的经济效果

1. 节约钢材

由于采用少、无飞边的封闭式锻模；粉末预制坯的重量能够精确地控制；锻件成型精确，只需极少量的后序机加工，因此材料利用率与机加工和精密锻造相比大大提高。见表2。

表2 材料利用率的比较

指 标	东方红—20行星齿轮		东方红—20二倒档齿轮	
	切削加工（公斤）	粉末冶金热锻齿轮（公斤）	切削加工（公斤）	粉末冶金热锻（公斤）
材 料	18CrMnTi	35MnMoB	18CrMnTi	35MnMoB
零件重量	0.235	0.215	0.4	0.395
锻件重量	0.53	0.22	0.96	0.465
消耗定额	0.6	0.225	1.0	0.47
材料利用率	39%	95%	40%	84.9%

2. 节约工时：工时定额比较见表3。

表3 工 时 定 额 比 较

东方红—20行星齿轮				东方红—20 1倒档滑动齿轮			
切削加工工时		粉末冶金热锻工时		切削加工工时		粉末冶金热锻工时	
生产工艺	工时（分）	生产工艺	工时（分）	生产工艺	工时（分）	生产工艺	工时（分）
正 火	1	混 料	1	正 火	1	混 料	1.5
粗 车	18.5	压 制	1	粗 车	20	压 制	2
拉 孔	1	中频加热 烧结及锻 造	1	拉 孔	2	中频加热 烧结及锻 造	3
精 车	18.5			精 车	9.5		
刨 齿	64	倒 角	1	切 槽	55	倒花键角	5
去 刺	5	渗碳淬火	1	插 齿	19	切 槽	5.5
渗碳淬火	1	磨 孔	12	倒 角	14.9	倒 角	9
磨 孔	12	磨 球 面	6	渗碳淬火	2	冷 挤	2
				磨 内 孔	8	渗碳淬火	1
						磨 内 孔	8
合 计	121	合计相当于 切削加工19%	23	合 计	81.9	合计相当于 切削加工45%	37

注：表中切削加工工时未包括锯料及锻造工时。

3. 大量降低齿轮的制造成本。

4. 设备厂房投资小

由于粉末锻造齿轮工序简单，不需要传统切削加工所必须的大量昂贵的金属切削机床及其刀具，因此厂房设备投资低。齿轮成本低，见表4。

表4 粉末锻造齿轮与机加工齿轮成本比较

名 称	东 方 红 — 20 行 星 齿 轮		东 方 红 2 倒 档 滑 动 齿 轮	
	切削加工 (元)	粉末加工 (元)	切削加工 (元)	粉末加工 (元)
工时综合费用	6	1.65	4.14	2.175
材料费用	0.94	0.264	1.67	0.564
合 计	6.94	1.914	5.81	2.739

注：混粉料1.2元/公斤，锻料1.7元/公斤。工时费用每小时按统计算。

5. 锻造设备吨位小，模具费用低

由于多孔性预制坯材料变形抗力小，金属易于流动，因此和精密锻造相比，粉末锻造设备吨位小，模具磨损小，寿命长。

综上所述粉末锻造工艺比传统机械加工和精密锻造工艺有一系列的优越性。可以展望，随着粉末锻造工艺的进一步发展和完善，这种新工艺必将为社会主义革命和建设的发展，贡献更大力量。

粉末锻造高强度齿轮工艺

上海粉末冶金厂

粉末锻造，是粉末冶金技术领域中最近几年发展起来的一项新工艺。它保有粉末冶金的优点，并有锻压成型的特点，可以制造外形复杂和强度要求高的零件，是金属成形的一项先进技术。同机加工和钢材模锻、挤压相比较，简化了工序，大大减少切削和设备，有更高的材料利用率（一般在90%以上）因此，获得迅速的发展。（1）、（2）

我厂在上级部门的大力支持以及上海汽车齿轮厂等兄弟单位协助下，于1971年开始用粉末锻造法试制高强度齿轮。先后试制过上海2吨货车（SH-130）后轿行星齿轮，解放牌4吨货车（CA-10B）后轿行星齿轮，丰收—35拖拉机后轿行星齿轮等。并对粉末锻造材料性能，工艺参数，热处理等作了试验。

一、粉末锻造工艺试验

粉末锻造，有称烧结锻造，通常是将粉末金属压坯或预烧结坯，加热（或同烧结结合），在封闭模中一次锻造成形，使成品达到或接近致密（铁为7.8克/厘米³），从而获得高的强度。典型粉末锻造工艺流程如图1。

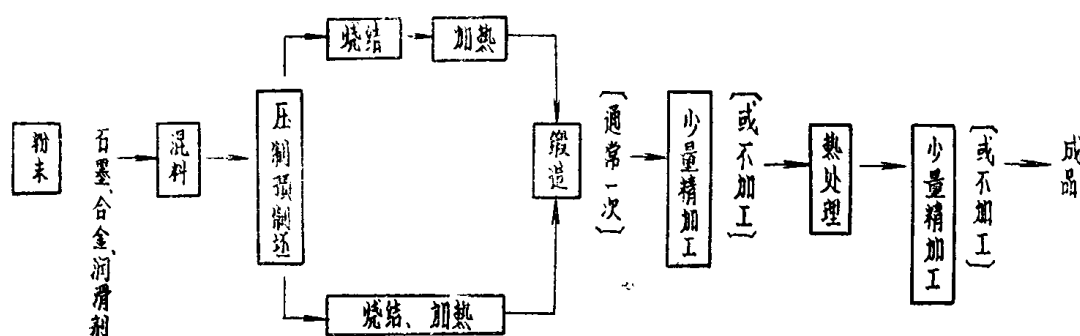


图1 典型粉末锻造工艺流程

1. 粉末锻造用粉末。

粉末锻造比一般粉末冶金对原粉的冶金化和非金属夹杂物有更严格的要求。为了达到合金化的目的。最好采用雾化法生产的预合金钢粉。

国外最初采用主要是 AISI Ni-Mo 系4600 以及 Cr-Ni-Mo 系 8600, 9400 (3)。最近发展有一个明显趋势，就是降低镍的含量而采用锰及铬，因而出现所谓变型4600，变型8600，变型9400 以及 40F₂ (0.5Mn, 0.55Mo)、46F₂ (0.35Mn, 0.45Mo, 0.45Ni)。但是，锰的使用浓度仍控制在较低的范围，因为考虑到通常使用的保护气氛不易使它们的氧化物还原以及易于发生氧化。值得注意的是，有报道（4）指出：在铁的稀溶液中，当含量<1%时，能避免氧化。一种第二代的包含锰及铬的粉末正在积极发展中。

我厂主要采用是 Mn-Mo 系（5）如 CA-10B 汽车以及丰收—35 拖拉机行星齿轮，其成份为 30MnMo（0.8~1.0Mn, 0.5Mo）。用掺入法，在还原铁粉中配入锰、钼铁合金粉。还原铁粉及锰、钼铁合金粉性能如表 1，表 2。石墨加入量在 0.5% 左右。由于烧结过程会烧损部份碳，因此，碳的配入量应以最终产品含碳量控制在 0.20~0.30% 为准。混料尚加入 0.5% 硬脂酸锌。

表 1 还原铁粉化学成分与物理性能

化 学 成 份 （%）		物 理 性 能	
Fe	98.5	筛分析（%）	
C	0.04	C	+ 100目 0
Si	0.15	Si	+ 160目 24.2
S	0.02	S	+ 200目 17.2
P	0.08	P	+ 250目 10.4
Mn	0.34	Mn	+ 250目 48.2
盐酸不溶物	0.23	流速（秒）	35
0 值*	0.43	压制性能((14T)克/厘米 ³)	6.02
		松装比重(克/厘米 ³)	2.3

* 按北京市粉末冶金研究所滴定法测定。

表 2 锰、钼铁粉及石墨成份（%）

名 称	Mn	Mo	C	Si	P	S	Fe	筛 目
中 炭 锰 铁	81.36	—	0.45	2.36	0.248	—	余量	— 200
551钼 铁	—	85.85	0.04	0.94	0.027	<0.1	〃	— 200
石 墨	灰 份 <5%							— 200

2. 混料

我厂采用的是 125 升六角混料器。根据混料不同时间取样分析碳含量的变化。确定混料时间为 3 小时（见图 2）。

3. 预制坯的压制

预制坯在 250 吨半自动液压机上压制。压坯重量误差控制在 100±0.5 克范围。压坯密度控制在 6.3~6.5 克/厘米³。过高的压坯密度并不希望，因为要成指数倍地增加模具磨损（6），同时对锻件的最终密度没有更大的好处（7）。

预制坯形状的设计，是一个值得探索的问题（8）。开始时，我厂采用的是全锥状预制坯

（图 3a）。结果由于底部金属流动不大，影响了锻造后齿轮密度的分布。将锻成的齿轮分段切片，测得密度变化如图 4a。改用半锥状的预制坯（图 3b），密度分布的不均匀，情况有所改善（图 4b）。预制坯圆柱体与锥体接合处应稍带圆弧，不应该是尖角或有明显的过渡线，否则

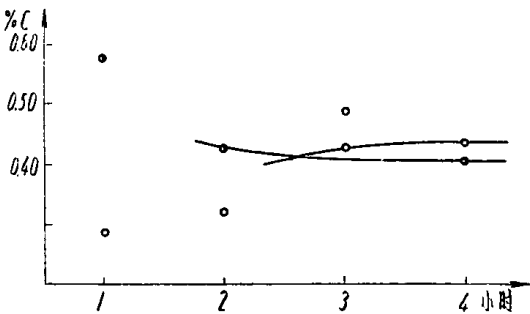


图 2 混料时间的确定

在锻齿中部容易形成一圈折纹（图 5）。关于预制坯的高径比（ H/D ），武汉粉末冶金厂（9）建议采用1.25~1.3。

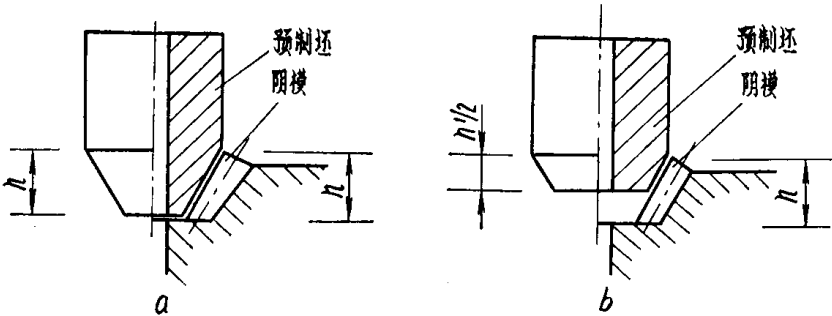


图 3 预制坯与阴模的配置
a—全锥状；b—半锥状

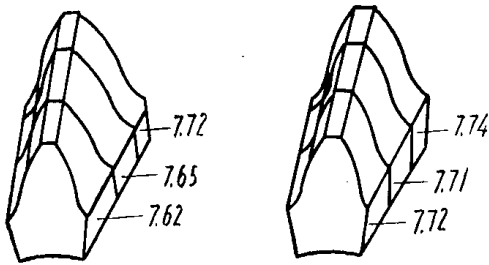


图 4 粉锻 CA-10B 行星齿轮沿齿宽方向的密度分布
a—全锥状预制坯锻成；b—半锥状预制坯锻成。

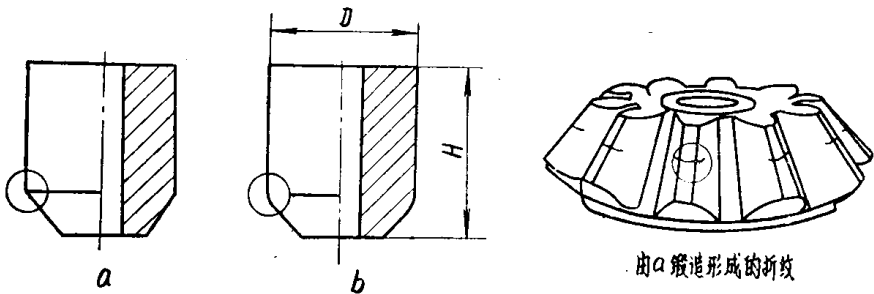


图 5 由于预制坯锥体接合处尖角形成的折纹
a—不正确；b—正确。

4. 烧结

在采用合金掺入法的情况下，烧结过程对促使合金元素的充分扩散和合金化起着重要作用。诚然，从合金化角度考虑，合金元素（如锰、钼等）以锰铁形式加入铁粉中比以纯金属形式加入会好得多。为了确定烧结时间，我们曾从不同时间分别取样分析。图 6a，为 Fe—Mn—Mo 系在 1150℃ 干氢中烧结 60 分钟锻后油淬试样。图 6b，烧结两小时锻后淬火情况。可以看出：前者合金元素尚未扩散完全，将烧结时间增加到两小时，有比较好的改善。

提高烧结温度对促进合金元素的扩散会有好处，但相应的烧结炉及保护气氛要求更高。Fe—Mn—Mo 系我厂采用的烧结温度是 1150℃，Fe—Ni—Mo 系 1180℃，Fe—Cu—Mo 系 1120℃。我厂采用的是钼丝炉，炉膛尺寸 150×200 毫米，加热段 2500 毫米；水冷段 2000 毫米。