

《模锻船用曲柄锻件通用技术条件》团体标准

编制说明

一、工作简况

1、任务来源:

中国一重成立“重型高端复杂锻件制造技术变革型创新团队”，开展大型锻件 FGS 锻造技术研发与工程实践，S90 船用曲柄锻件 FGS 锻造技术研究就是其中一项研究内容，目的是通过 FGS 锻造实现锻件近净成形，使锻件获得均匀良好的内部质量。目前已完成二件 S90 曲柄模锻件成形。由于国内没有关于大型船用曲柄锻件模锻成形方面的通用技术标准，所以拟进行标准立项研究。

协作单位：河北宏润核装备科技有限公司、上海电机学院、上海大件热制造工程技术研究中心、上重铸锻有限公司。

2、主要工作过程:

2018 年 5 月成立宏润项目工作组，双方合作开展 S90 曲柄 FGS 锻造技术研发与工作试制；2019 年 3 月完成技术方案模拟与优化；2019 年 4 月完成模具设计；2020 年 1 月完成二件 S90 曲柄坯料制备；2020 年 6 月完成模具制造；2021 年 5 月完成首件 S90 模锻件成形；2021 年 7 月完成第二件 S90 曲柄模锻成形；2021 年 9 月提出标准立项申请；2021 年 11 月完成标准立项函审意见回复；2022 年 7 月提出标准征求意见稿与编制说明。

标准主要起草人及其所做的工作：标准主要起草人为 xxx，负责 S90 曲柄 FGS 锻造技术总体方案策划与实施。

标准名称更改说明：标准立项申请表中拟定的标准名称为《大型船用曲拐模锻件 技术条件》，征求意见稿重新规划标准名称为《模锻船用曲柄锻件 通用技术条件》，原因如下：

(1) 名称规范化。原标准中的“曲拐”一词多用于制造企业内部，通过网上搜索并咨询行业专家，使用“曲柄”一词更为准确。

(2) 适用范围改变。原标准拟适用于 60 级及以上大型船用曲柄，现重新规划标准适用范围，拟扩大到所有曲柄，故删除“大型”二字。

(3) 标准内容改变。原标准拟规定曲柄模锻件技术条件，偏重于订货适用的验收条件，

但是在标准立项申请函审意见中,有专家指出存在与现行国际相关公司或船级社知识产权侵权风险,所以在编制标准征求意见稿时,为了规避上述风险,将标准内容更改为曲柄模锻件通用技术条件,偏重于规范模锻件制造工艺原则。

二、 调研综述、数据收集及分析报告

目前我国没有自己的大型船用曲柄模锻件通用技术条件,但随着大型压机的建设,很多企业已经具备大型船用曲柄模锻制造的能力,但工艺方法各有不同,技术水平也参差不齐,模锻成形后的曲柄锻件尺寸与内部质量差别较大,为了规范大型船用曲柄锻件模锻成形工艺,一重公司联合宏润公司等企业与院校,开展了大型船用曲柄锻件 FGS 锻造成形技术研发,旨在通过工程实践,验证曲柄模锻成形工艺参数的合理性与可操作性,收集整理实践数据,制定出普遍适用的大型船用曲柄锻件 FGS 锻造成形工艺参数。

一直以来,锻造比是衡量锻件变形量的重要参数,也是评价锻件质量的主要参数之一。但是,由于模锻件形状复杂,按照现有国内外标准的规定,很难计算其锻造比,为了评价模锻件质量,多采用抽样解剖的方式,但这种办法不适用于大型模锻件,原因在于大型模锻件尺寸重量比较大,抽样解剖的成本比较大,周期比较长,用户和制造企业都难以承担。

另一种评价锻件质量的方法是采用解剖方式对首件进行评定,评定合格后,确定锻件取样要求和验收标准,正式生产时采用非破坏式取样,只要检验结果满足根据评定结果制定的验收标准,即认为锻件是合格的。这种评价锻件质量的方法有其局限性,原因在于大型锻件生产制造过程复杂,影响因素繁多且随机性大,质量稳定性和重现性较差,加之大型锻件均质性不好,所以评定件解剖检验数据的普遍适应性和代表性不强,所以正式生产时合格率得不到保证。此外,这种锻件质量评价方法,由于采用了非破坏性,受锻件形状制约,很多取样部位往往是设置在锻件有效尺寸范围之外,不仅造成锻件壁厚增加,而且由于锻件质量最好的部分恰好处于取样位置,使得取样检验结果不能准确地表征锻件其他部位的质量。

大型锻件采用 FGS 锻造技术模锻成形是行业发展趋势,也是装备制造业高质量发展的必由之路。所以需要建立一种新的方法评价大型锻件应用 FGS 技术成形后的质量。现代计算机模拟技术的发展与应用为此提供了技术手段,经过模拟与实践的反复认证和不断修正,工艺参数的模拟优化结果可以预判锻件质量。因此,拟借用模拟技术,依托 S90 型船用曲柄模锻

件研制结果，建立一种适用于大型船用曲柄模锻件的通用技术标准。

为了验证 S90 型船用曲柄模锻工艺的稳定性与重现性，一重公司共试制了 2 件该曲柄模锻件。二件曲柄模锻成形后的主要尺寸测量结果见图 3 与图 4 所示。

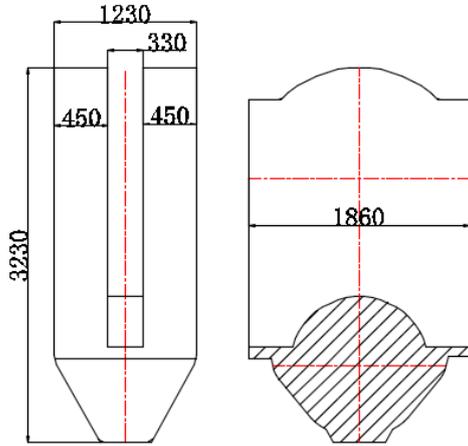


图 3 首件模锻曲柄尺寸测量结果

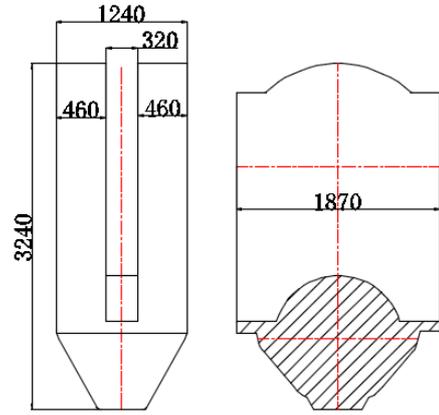


图 4 第二件模锻曲柄尺寸测量结果

三、确定标准主要技术内容（如技术指标、参数、公式、性能要求、实验方法、检验规则等）的论据（包括试验、统计数据）

（1）第5.3.2内容：“5.3.2 船用曲柄锻件的模锻应具有充分且均匀的变形。应用数值模拟软件对模锻成形过程进行模拟，最终成形后锻件等效应变普遍在0.3左右为宜，或平均应力普遍为负值为佳。”

论据：S90 曲柄 FGS 锻造工艺方案计算机模拟优化结果，见图 1。

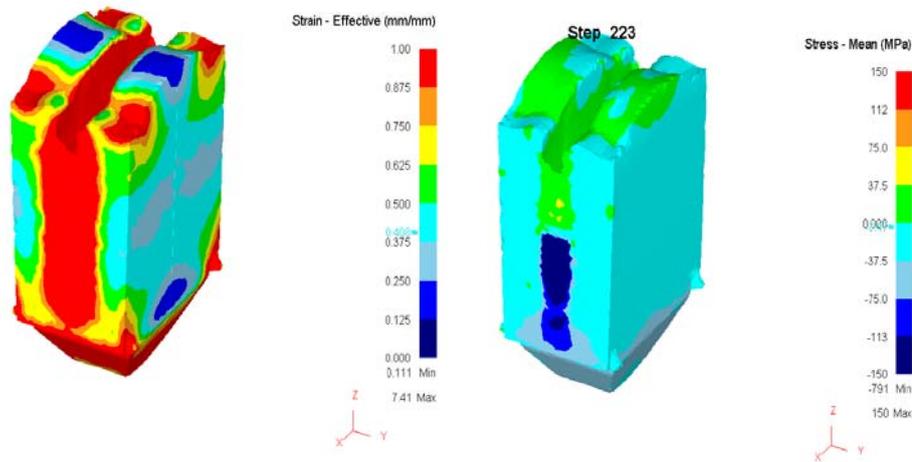


图 1 S90 曲柄模锻工艺模拟优化结果（左为等效应变；右为平均应力）

(2) 第 5.3.2 内容：“5.3.4 模锻成形的船用曲柄锻件机械加工余量设计原则为：考虑终锻温度下锻件冷却到室温时的收缩量、入模时坯料表面氧化铁皮厚度等因素，外表面余量一般为 20-50mm，内表面余量 15-30mm，高度余量 30-60mm。”

论据：S90 曲柄 FGS 锻造工艺方案设计结果与实际模锻尺寸检测结果，见图 2 所示，图中括号尺寸为实际余量。

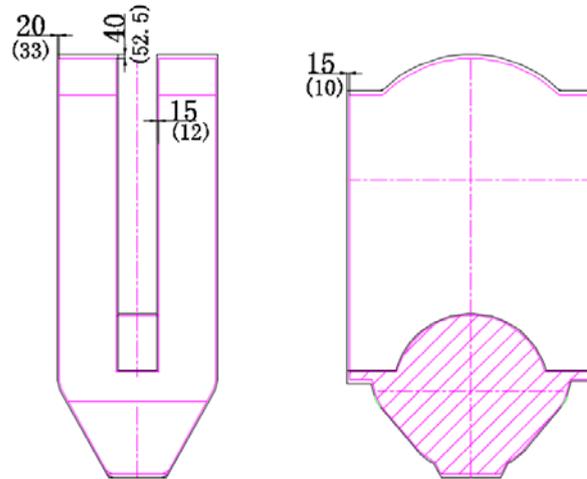


图 2 S90 曲柄模锻件加工余量设计示意图

四、主要试验（验证）的分析、专题试验，试生产验证报告；

结合国内多年曲柄锻件的制造经验，以及近年来国内超大型成形设备建设力度的逐渐加大，中国一重联合河北宏润等单位，以目前世界最大的 S90ME-C 型曲柄（见图 5）为研究对象，共同合作，开发出超大型曲柄锻件“FGS”锻造技术，大幅提高了曲柄锻件的制造效率和材料利用率，同时也提高了锻件质量，为国内船用大型半组合曲轴的制造提供了实践经验，拓展了曲柄的制造思路。

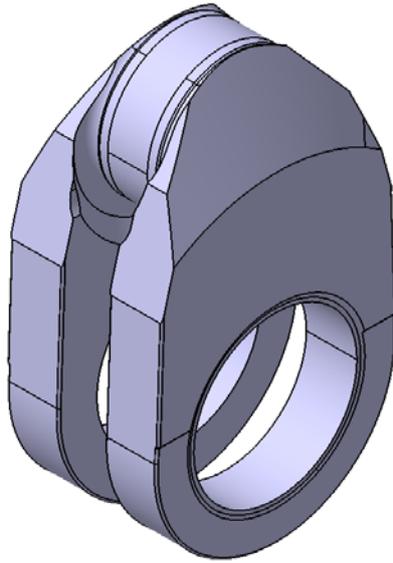


图 5 S90ME-C 半组合曲轴柄立体图

1. 试验方案

曲轴柄是柴油机的重要部件，其工况恶劣，且受反复交变载荷作用，因此质量要求较高。为此，选用双真空钢锭，并在模锻成形前进行开坯处理，压实疏松，破碎铸态组织及冶金缺陷，经两次镦拔后再进行模锻成形。具体试验方案如下所述。

(1) 试制工艺流程

试制件的制造流程为：炼钢、铸锭→锻造（自由锻制坯、模内挤压成形）→锻后热处理→性能热处理→半精加工→UT 自检→精加工→UT、MT、PT→解剖→各项检验→报告审查。

钢液在电炉内冶炼，钢包内精炼。熔炼钢液进行真空处理，以便得到纯净的钢液。在钢液中加入合适的脱氧剂达到去除氧的目的。钢液温度及化学成分达到要求后，在保护气氛下进行浇注，钢锭完全凝固后，运送到锻造厂进行锻造。

(2) 毛坯制备

曲柄锻件图如图 6 所示，锻件重量 37.5t，选用 67t 钢锭进行锻造，其中锻造制坯在 60MN 水压机上完成，在 500MN 挤压机上 FGS 锻造成形曲柄锻件，其坯料锻造工艺流程见表 1。

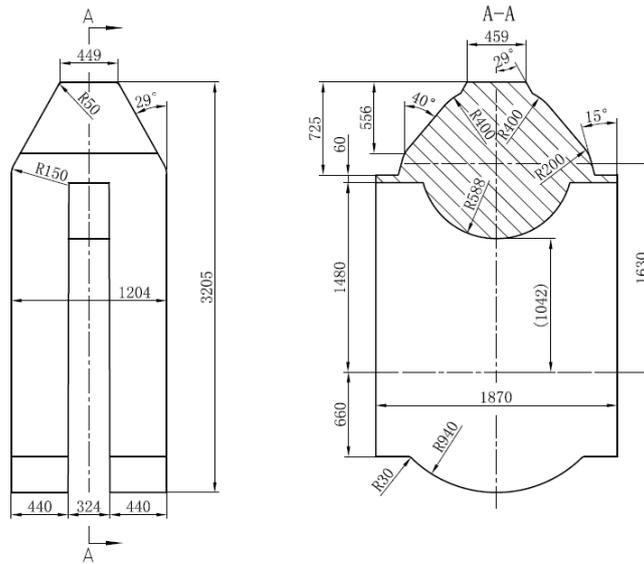
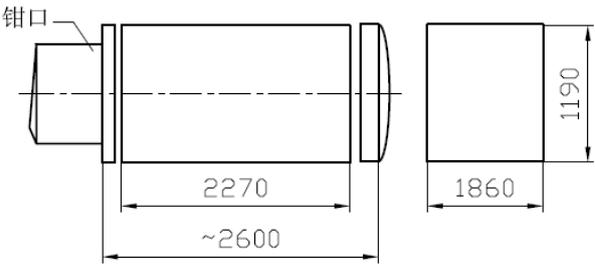


图 6 曲柄锻件图

表 1 曲柄坯料锻造工艺流程

| 序号 | 工序 | 简图 | 设备 |
|----|---|----|-------------------|
| 1 | 压钳口; 倒棱; 切水口弃料。 | | 6000T 或 10000T |
| 2 | 墩粗 H=1300× Φ2440; 拔长至 Φ1600× L=3020。 | | 6000T 或 10000T |
| 3 | 墩粗 H=1500× Φ 2250; 拔方至 □1650× 1850×L=2500。 | | 6000T 或 10000T |

| | | | |
|---|---------------|--|----------------|
| 4 | 平端面，拔扁方气割出成品。 |  | 6000T 或 10000T |
|---|---------------|--|----------------|

(3) 模锻成形方案

锻件的模锻成形方案如图 7 所示，曲柄锻件从形状上看近似于一方形截面锻件，因此坯料设计也应设计成方形截面，更有利于模腔充形。为了实现 FGS 锻造，采用双工位成形，即先进行模内镦粗，随后冲舌板的工艺方案，使锻件模锻后不存在变形死区，且锻件表面均处于压应力状态，更有利于锻件疲劳性能的提升。

由于曲柄下模模腔为方形，其用于模内镦粗的镦粗杆也为一方形截面模具，这就为模锻前的对中创造了较大难度，舌板为一长方形扁方模具，为避免冲形后抱死，一方面，舌板应预制一定的拔模斜度，因此下模模腔也需随形预制拔模斜度，从而使锻件成形后两支臂上下厚度一致，此外舌板的宽度方向与下模之间的间隙也需进行合理设计，间隙过大则冲形后两侧不能冲透，间隙过小，则冲形过程中可能会因为冲偏造成舌板与下模干涉，破坏下模模腔表面。对于 S90ME-C 型曲柄，设计间隙为单边 10mm。下模内腔下端预制一水平凸台，从而保证坯料放入模腔后能够保持垂直且不倾倒至一侧，另外坯料与下模之间的间隙也不宜过大，这样才能保证坯料对中。

模锻过程采用 500MN 压机的双工位功能，即采用异形镦粗杆先进行模内镦粗，成形曲柄支臂上端轮廓，随后再用舌板冲形，成形曲柄内裆。模内镦粗时不必将下端模腔充满，将上端轮廓成形即可，在冲舌板时，由于舌板冲形深度较深，下模内腔会继续充形直至完全充满。成形后采用退料叉压住坯料将舌板拔出，随后用顶出缸将锻件顶出，从而可实现曲柄的连续制造。

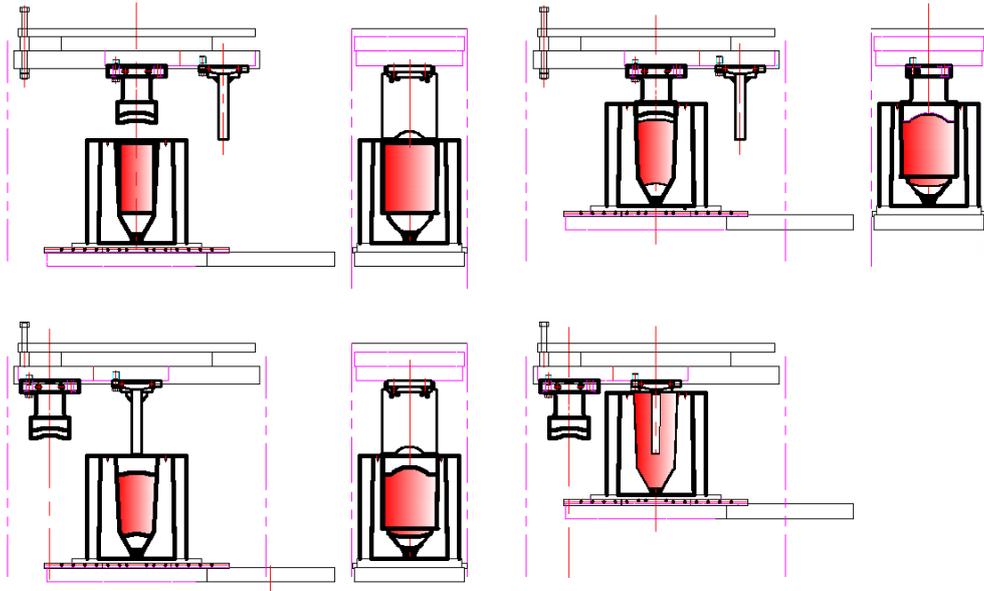


图 7 曲柄锻件模锻成形过程

(4) 模锻成形数值模拟

图 8 为曲柄模锻成形过程数值模拟结果，模锻成形经模内镦粗，冲盲孔两工序。成形温度 1250°C （炉温），采用长方形块体坯料，放入下模后，坯料自动找正，然后用镦粗杆镦粗，上端轮廓成形后换第二工位冲舌板，坯料反挤压的同时，下端继续充形饱满。模拟模内镦粗最大成形力 110MN ，冲盲孔成形力为 170MN 。从模拟结果可以看出，锻件各处充形效果完好，采用双工位功能，则进一步降低了整体成形载荷，相比于单工位的 390MN 载荷，采用双工位成形不仅使金属流动更为合理，同时也降低了设备及模具损耗。曲柄锻件模锻各工位的变形过程见图 9。

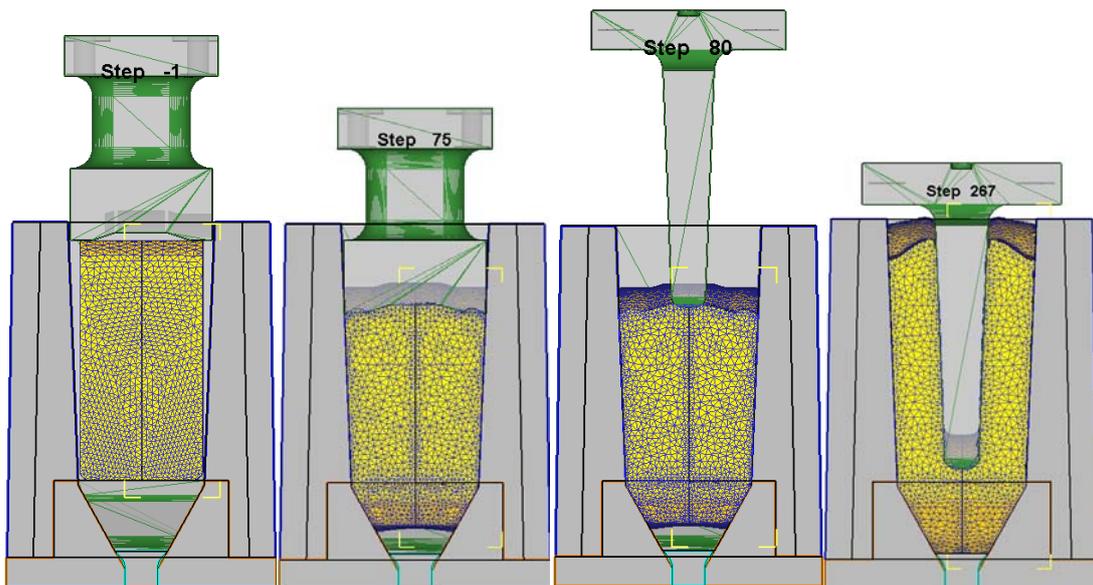


图 8 曲柄锻件模锻成形数值模拟过程

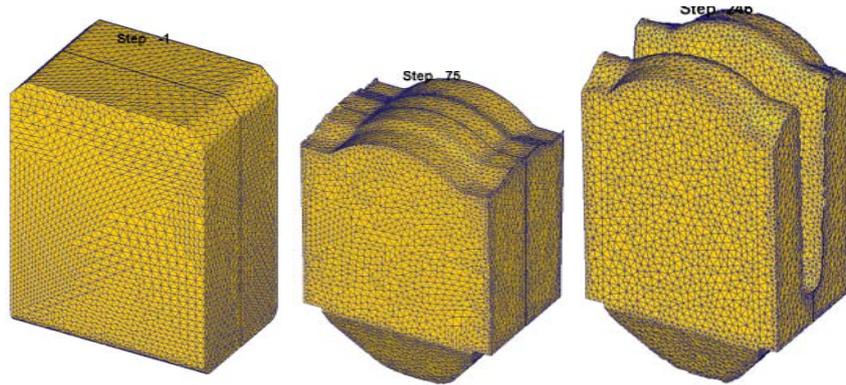


图 9 曲柄锻件模锻变形过程

图 10 为曲柄两工位成形过程中各工序完成后的等效应变分布情况,从图 10 中可以看出,模内锻粗成形后,锻件心部位置变形量较小,且上部端面圆弧位置存在一定区域的变形死区,下端中心位置变形量较小,坯料四角位置由于其轮廓变化较大,因此变形量也较大。舌板冲形后,各位置均发生了较大变形,锻件大部分区域的等效应变在 0.3 左右。

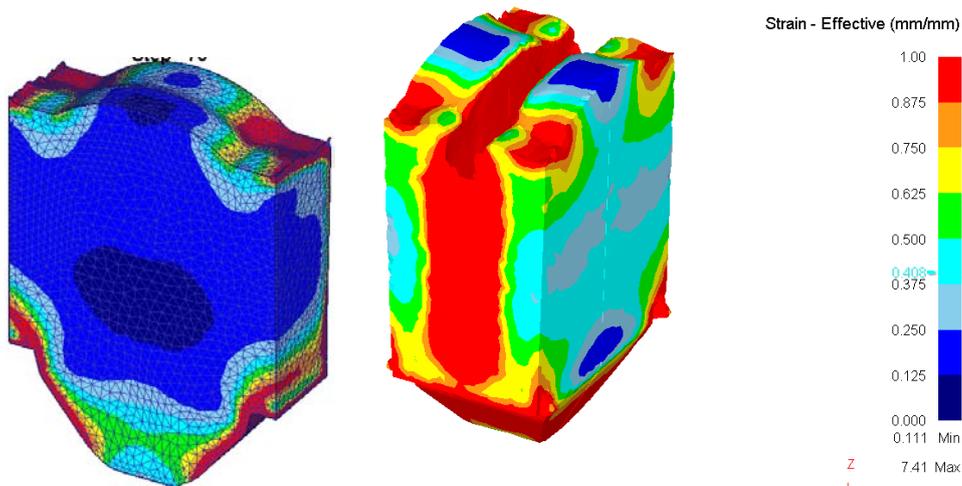


图 10 曲柄模锻件等效应变分布情况

2. 工程试验

(1) 坯料制备

冶炼两只 67t 双真空钢锭,经压钳口、锻拔、锻粗归方后拔扁方出成品。为保证入模尺寸,坯料进行粗加工。坯料制备过程见图 11。

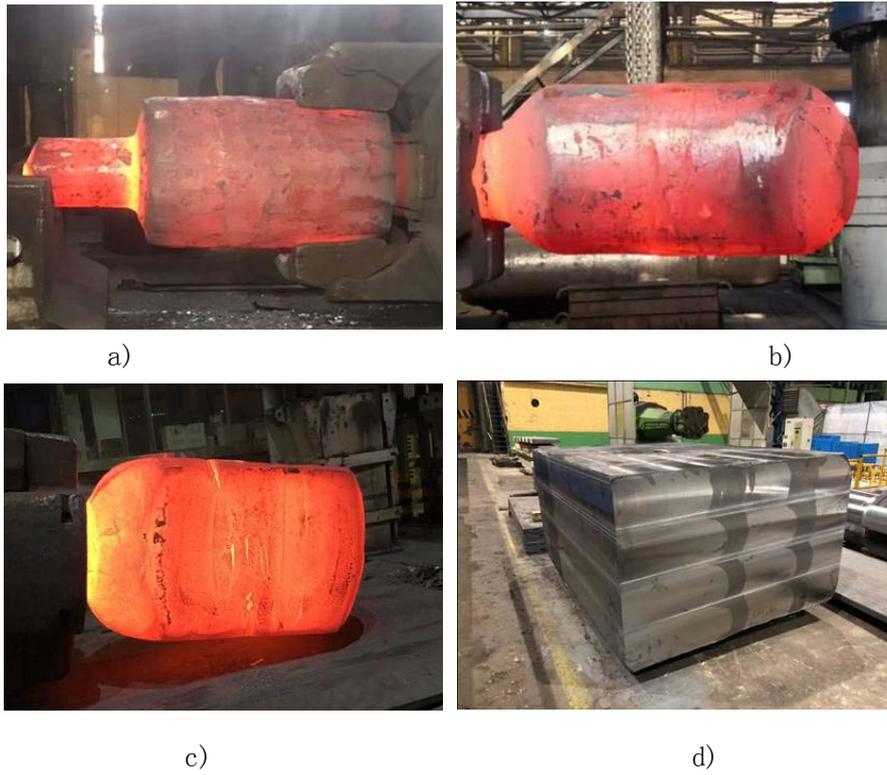


图 11 曲柄坯料制备过程

a) 压钳口 b) 锻拔 c) 归方后拔扁方出成品 d) 粗加工

(2) FGS 锻造

曲柄 FGS 锻造成形所用两件凸模设计立体图如图 12 所示，即用于模内锻粗成形的锻粗锤头及用于反挤压成形的舌板。

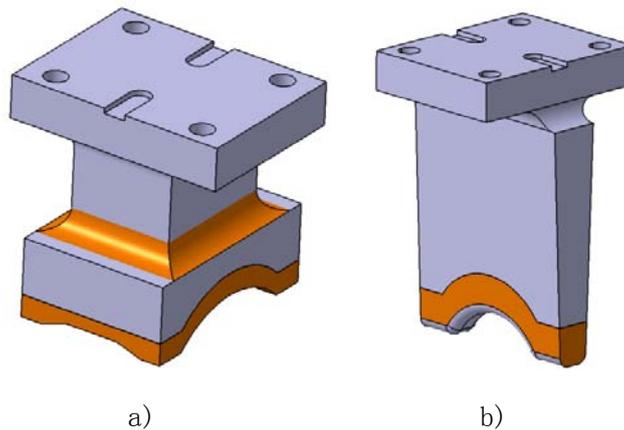


图 12 凸模立体图

a) 锻粗锤头 b) 舌板

曲柄模锻用下模采用分体组合设计，一方面利于制造，从而降低制造成本，另一方面

也避免了局部位置损坏导致整个下模报废的风险，具体装配如图 13 所示。组合内模分为 5 部分，模具装配后整体外部轮廓为圆柱形，与相应外套适应，内模由 4 块侧板（图 13 中灰色和绿色部分）以及一个底座（图 13 中黄色部分）构成，五件模具共同构成曲柄方形模腔。其中，4 块侧板由于在成形过程中受摩擦力较大，为提高模具使用寿命，采用铬钼钢锻件，底座为普通碳钢铸件。

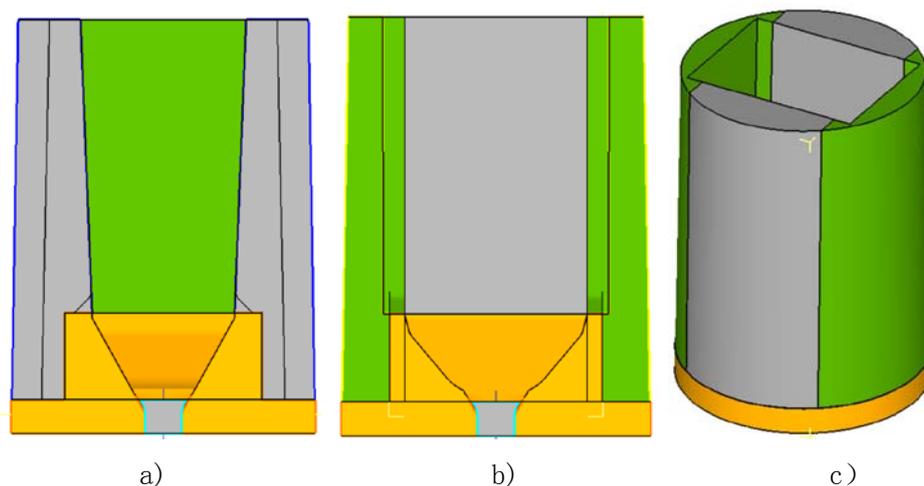


图 13 曲柄模锻用组合式下模结构示意图

a) 沿 c 图灰色组件纵轴线剖切 b) 沿 c 图绿色组件纵轴线剖切 c) 装配后

曲柄模腔、上模组件以及坯料均为方形，这给上下模、坯料与下模之间的对中造成了较大难度，上模与下模之间理论间隙控制在 $10\sim 15\text{mm}$ 左右，但由于压机存在误差，导致 4 处位置间隙很难实现一致。图 14 为双工位上模座调试以实现模具对中。



a)

b)

图 14 双工位上模座调试

a) 调整镦粗锤头 b) 调整舌板

曲柄模锻工艺方案中设计镦粗行程为 1800mm，冲孔行程为 2400mm。为了避免镦粗过程中翻料，曲柄坯料上端面按图 15 所示气割倒角，气割后将气割面打磨光滑。



a) b)

图 15 入炉前的曲柄坯料

a) 曲柄坯料 1 b) 曲柄坯料 2

此模锻法成形曲柄锻件的难点之一就是舌板的脱模问题。为防止舌板冲形后抱死，工艺方案中设计在舌板冲形过程中，当动梁行程位置分别到达 1050mm，1700mm，2100mm 时，舌板抬起，撒入气化剂(三位置压入深度如图 16)。动梁最终行程 2400mm，参考成形载荷 210MN。

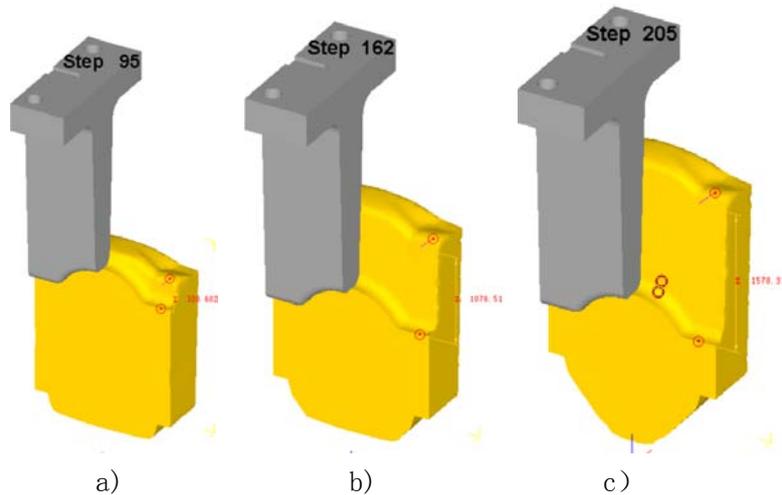


图 16 三次放气化剂时冲杆位置

a) 首次撒入气化剂 b) 再次撒入气化剂 c) 三次撒入气化剂

坯料按图 17 炉位装炉，坯料到温后出炉清理表面氧化铁皮，随后入炉补温 1h。



a)

b)

图 17 曲柄坯料装炉

a) 曲柄坯料 1 b) 曲柄坯料 2

FGS 锻造前将下模内腔涂抹润滑涂料，并再次检查各工序对中找正情况，随后将下模预热，一方面可以有效减小成形力，另一方面也有利于避免模腔内部的热应力，保护模腔在成形后不发生微裂纹。

坯料出炉后 6min 入模，入模前坯料表面状态如图 18 所示。坯料入模见图 19。FGS 锻造见图 20。



a)

b)

图 18 坯料入模前表面状态

a) 曲柄坯料 1 b) 曲柄坯料 2



a)

b)

图 19 坯料入模

a) 曲柄坯料 1 b) 曲柄坯料 2



a)

b)

图 20 曲柄 FGS 锻造

a) 曲柄 1 b) 曲柄 2

模锻行程按照锻造工艺执行，镦粗行程 1800mm，成形力 110MN，冲孔行程 2400mm，成

形力 170MN。

FGS 锻造完成后，压机动梁落下，完成脱模动作，见图 21。将下模外套拆掉后，取出锻件，锻件模锻后形貌如图 22 所示，锻件整体充满型腔，且表面质量极佳。

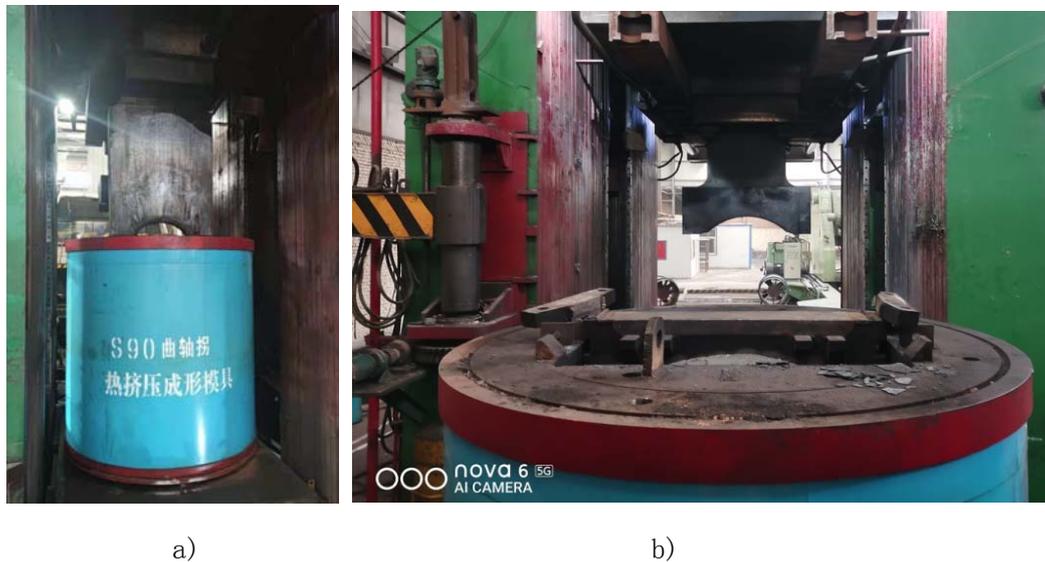


图 21 曲柄 FGS 锻造结束

a) 曲柄 1 b) 曲柄 2



图 22 曲柄模锻后状态

a) 曲柄 1 b) 曲柄 2

(3) 尺寸检测

曲柄模锻后尺寸检查结果件图 23 所示。

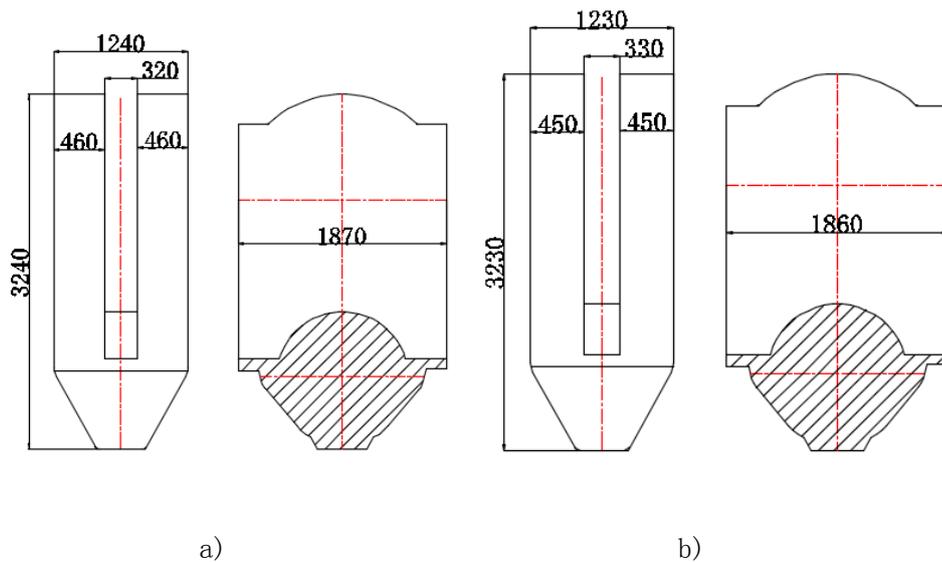


图 23 曲柄模锻后尺寸

a) 曲柄 1 b) 曲柄 2

五、 国内外水平对标

曲轴是机器中传递动力与运动的部件，广泛用于以内燃机为动力的机器。当曲轴的尺寸与重量比较大时，实现整体制造有着巨大的技术与经济两方面的困难，因此当主轴颈超过 300mm 以后采用组合结构。组合曲轴由自由端、曲柄、主轴颈和输出端四种零件组合而成，其中曲柄是形状最复杂、重量最大、数量最多和承载状态最苛刻的零件，因此其制造难度最大，技术要求也最高。

由于大型曲柄锻件模锻所需设备吨位大且品种数量多，因此模锻生产线建设的投资比较大，而相应于投资较大的生产线产能而言，其批量又很小，造成设备开动率低，投资成本回收期长，技术与经济的综合效益差。因此目前世界上还没有大型曲柄模锻专用生产线，其锻造成形都是在通用锻压设备上完成，这为提高曲柄锻件的尺寸精度和生产效率造成了困难，但也为大型曲柄锻件成形技术的不断进步创造了可能。

大型曲柄锻件成形技术的进步走过了如下历程：

1. 块锻法：将多个曲柄锻件合并锻造成一个较大长方体，然后利用气割或机加工方式分离，最后再将分离后的多个较小长方体分别加工成曲柄零件（见图 24 所示）。块锻法属于完全自由锻成形，成形操作简单容易，但材料消耗大，加工后的曲柄零件纤维流线不连续，存

在断头纤维，这对工作中承载状态最苛刻的曲柄而言是及其不利的。

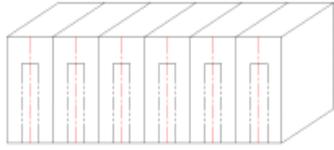


图 24 大型曲柄锻件块锻法示意图

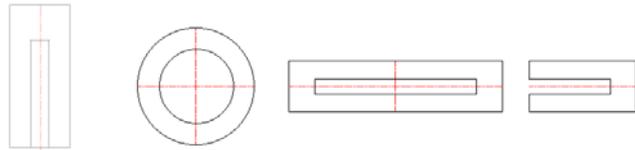


图 25 大型曲柄锻件环锻法示意图

2. 环锻法：将二个曲柄锻件合并锻造。首先采用中空钢锭或冲孔的锻坯，进行自由锻扩孔操作，形成一个等壁厚的圆筒；然后利用模具将该圆筒锻成扁方环；最后采用气割或机加工方法从中间将扁方环切断，成形为 U 型坯料，得到两个曲柄锻件（见图 25）。环锻法特点是提高了材料利用率，减小了后续切削的工作量，金属纤维连续分布合理，但锻件成形工序多且复杂，工装模具更换多，生产效率低，现已很少应用。

3. 胎模锻法：由日本神户制钢发明，其成形过程见图 26 所示。首先将锭坯锻成长方形截面的毛坯，其次将长方形坯料放入浅凹模中施压成形曲柄颈端(图 26-a)，再次利用舌板从上端沿对称面将坯料劈开(图 26-b)，最后将坯料（舌板不取出）放倒(图 26-c)，拔长两臂并精整完成锻造(图 26-d)。该方法主要缺点，一是施压工序多，需采用三种凸模，顺序施压，更换凸模操作繁琐且时间长，降低了生产效率；二是锻件尺寸形状精度低，材料利用率低，后续加工量大，技术与经济效益较差。

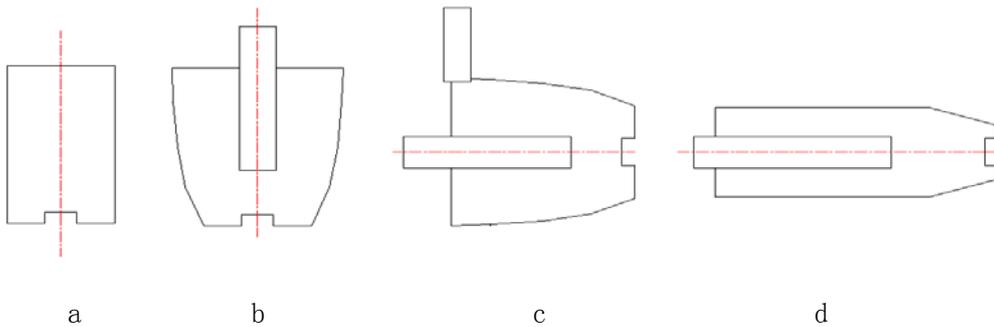
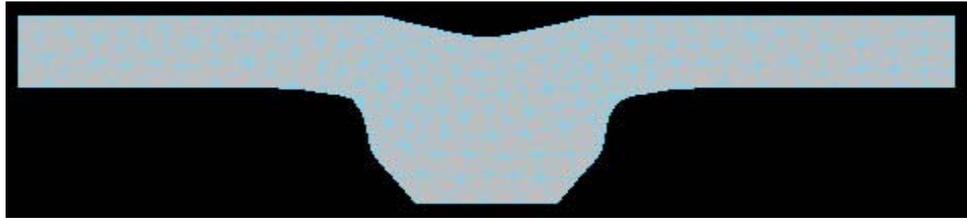


图 26 日本神户制钢发明的大型曲柄锻件胎模锻法示意图

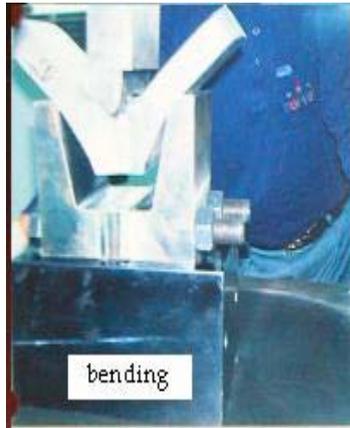
4. 弯锻法；这是目前国内外普遍应用的方法，其成形工艺流程是将锭坯锻成曲柄展开后的形状（见图 27-a），然后弯曲成形（见图 27-b、图 27-c），最后压平修整（见图 27-d）得到锻件（见图 27）。弯锻法的特点是金属纤维连续分布合理，工装模具相对简单，操作方便，成形容易；但锻件材料利用率低，在曲柄销处容易产生折叠、超宽、缺料等缺陷（见图 28）。



a



b



c



d

图 27 大型曲柄锻件弯锻成形法示意图

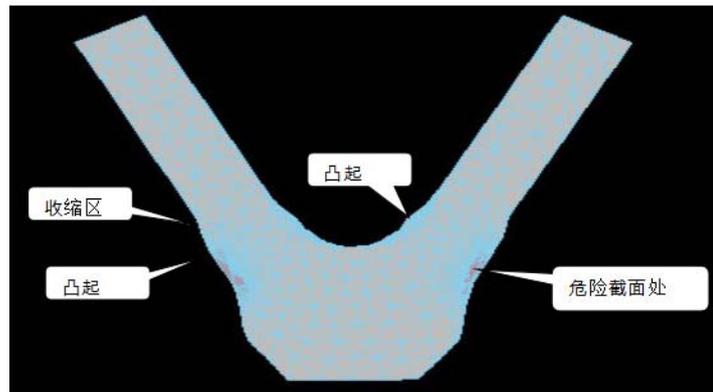


图 28 弯锻法成形曲柄易产生的形状缺陷

5. 模锻法：大型曲柄锻件模锻法最早由上重公司、上海电机学院、宏润公司共同联合开发，利用 500MN 压机将长方形坯料模锻成曲柄锻件，其工艺流程是：利用曲面凸模将长方形坯料在凹模内进行模内镦粗（见图 29-a），然后利用舌板冲形凹槽（见图 29-b），使得曲柄两臂长高，完成模锻成形（见图 29-c）。

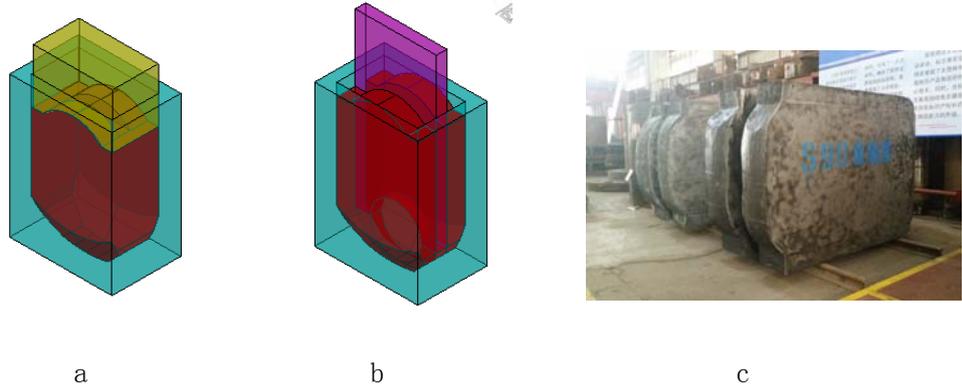


图 29 大型曲柄锻件模锻成形法示意图（上重）

由于在试制中出现脱模困难、成形力较大、端面不平齐等问题，继上重公司 S90 曲柄模锻成形开发试制后，一重与宏润合作，继续研制 S90 曲柄模锻成形技术，在上重 S90 曲柄模锻成形技术基础上，优化了曲面凸模形状以减轻舌板冲形后造成的端面勒料现象，使成形后的曲柄端面高度差由 100mm 减小到 30mm（见图 30-a），同时增加舌板与下模中成形侧板的拔模斜度以方便脱模（见图 30-b）。

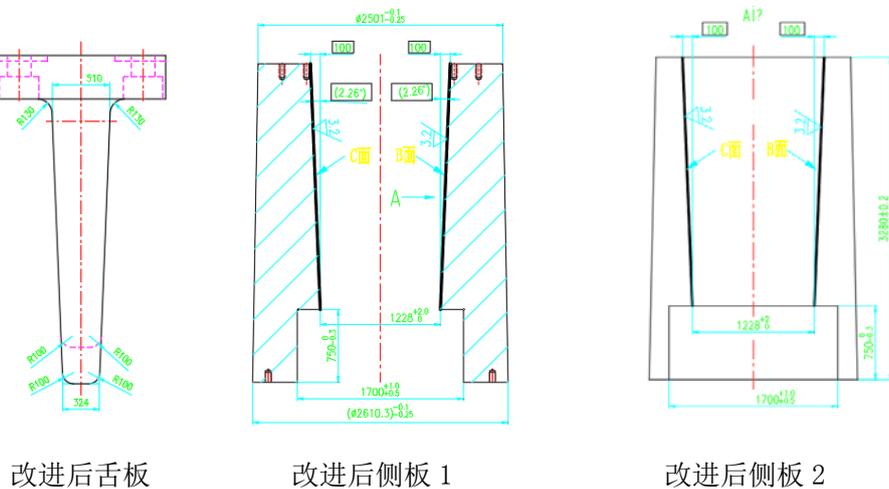
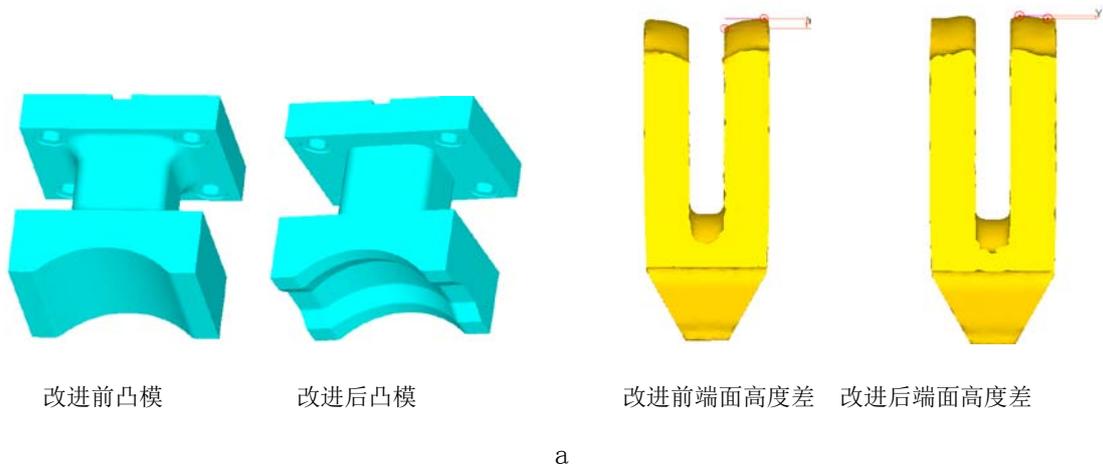


图 30 一重 S90 曲柄模锻成形技术改进

六、标准中涉及专利的情况

本标准不涉及专利问题。

七、预期达到的社会效益或经济效果

船用曲柄锻件因其尺寸与重量都比较大，所以一般采用胎膜锻工艺锻造成形，其工艺流程为自由锻成形异形板坯，然后胎膜锻折弯 180° 最终成形。由于折弯成形时锻件底部变形量较小，基本属于高温无锻比状态，因此这种胎膜锻成形后的曲拐锻件在外形尺寸与内部质量方面都存在较大问题，为此开始研究模锻成形工艺。曲柄模锻成形后在尺寸精度与内部质量方面都有较大提升，而且质量稳定，材料利用率提高，成形火次减少，适用性能亦得到提高，对行业技术进步与碳达峰碳中和具有重要意义。目前我国没有自己的船用曲柄模锻件通用技术条件，但随着大型压机的建设，很多企业已经具备大型船用曲柄模锻制造的能力，但工艺方法各有不同，技术水平也参差不齐，模锻成形后的曲柄锻件尺寸与内部质量差别较大，为了规范大型船用曲柄锻件模锻成形工艺，一重公司联合宏润公司等企业与院校，开展了大型船用曲柄锻件 FGS 锻造成形技术研发，旨在通过工程实践，验证曲柄模锻成形工艺参数的合理性与可操作性，收集整理实践数据，制定出普遍适用的大型船用曲柄锻件 FGS 锻造成形工艺参数。

大型锻件采用 FGS 锻造技术模锻成形是行业发展趋势，也是装备制造业高质量发展的必由之路。所以需要建立一种新的方法评价大型锻件应用 FGS 技术成形后的质量。现代计算机模拟技术的发展与应用为此提供了技术手段，经过模拟与实践的反复认证和不断修正，工艺参数的模拟优化结果可以预判锻件质量。因此，借用模拟技术，依托 S90 型船用曲柄模锻件研制结果，建立一种适用于大型船用曲柄模锻件的通用技术标准，对大型锻件高质量发展具有深远意义。

目前国内曲柄的需求厂家主要为曲轴生产企业，主要有大连华锐船用曲轴有限公司、中船重工青岛海西重工有限责任公司、上海船用曲轴有限公司三家。其中大连华锐市场占比最大，约占 50%；其他两家市场占有率相近，约占 20%。通过对大连华锐船用曲轴有限公司调研，50-90 型为其主要大型船用曲轴类型，其中以 70 型最为典型。70 型曲柄的单重 16 吨，

且以 6 缸柴油机居多，每套曲轴包括 6 件曲柄，每套 70 型曲柄总重约 96 吨，单价 2.15 万元/吨。2017 年大连华锐公司生产曲轴 60 套，约 1 万吨，约占国内市场 50%；以 70 型曲柄为例，2017 年全国曲拐产量约 120 套，重量 11520 吨，合同额约 2.45 亿元。

前瞻产业研究院整理的资料表明，2018 年全国出口船完工量 3164 万载重吨，新接出口船订单量 3205 万载重吨（见图 31）。

按照《中国船舶制造行业市场需求预测与投资战略分析报告》，2019 年全国造船完工量 3500 万载重吨，新接订单量 3000 万吨载重量，年底手持订单量 8500 万载重吨。



图 31 前瞻产业研究院整理的 2018 年出口船完工量与新接订单量

从上述几年的统计数据可以看出，每年的大型曲柄需求量基本平稳，波动不大，因此预计未来每年曲柄需求约 100-120 套，数量 700 件，重量约 11200 吨，每年市场规模约 2.4 亿元。

此外，一重公司 1600mm 垂直铸机项目建成后，生产的 $\Phi 1600\text{mm}$ 圆柱还可用于 S70 及以下型号船用曲柄的模锻成形，届时曲柄锻件生产成本将大幅下降，市场竞争力将大幅提升。

据克拉克森公司 2019 年 6 月公布的 2019 年世界排名前 50 造船厂的生产统计数据（见图 32）表明：中国造船 778 艘（含台湾 16 艘），韩国 413 艘，日本 276 艘；按修正总吨（CGT）计算，韩国 1984.3 万吨，排名第一，占 26.2%，中国 1958.9 万吨，排名第二，占 25.9%，日本 724.9 万吨，排名第三，占 9.6%。

由于价格原因，目前国内曲柄锻件多数从韩国、日本进口，生产大型低速柴油机曲轴的企业主要由国外垄断，日韩占到世界产量的 80%。模锻曲柄标准立项推广后，将会推动模锻曲柄技术的普遍应用，从而降低制造成本，提高质量，最终凭借价格与质量优势替代进口。

| 排名 | 船厂 | 所在地 | 艘数 | DWT('000) | CGT('000) |
|----|----------------------|------|------|-----------|-----------|
| 1 | 三星重工 | 韩国 | 95 | 10073 | 5186 |
| 2 | 大宇造船 | 韩国 | 67 | 11725 | 4534 |
| 3 | 现代重工 | 韩国 | 78 | 12151 | 4033 |
| 4 | 现代三湖重工 | 韩国 | 67 | 11590 | 3712 |
| 5 | 芬坎蒂尼 (Monfalcone) | 意大利 | 15 | 45 | 1993 |
| 6 | 现代尾浦重工 | 韩国 | 83 | 2976 | 1737 |
| 7 | 外高桥造船厂 | 中国 | 46 | 8339 | 1719 |
| 8 | 梅尔造船厂 | 德国 | 12 | 81 | 1587 |
| 9 | 大岛造船 | 日本 | 86 | 5773 | 1528 |
| 10 | 新时代造船 | 中国 | 50 | 7852 | 1499 |
| 11 | 大西洋造船厂 | 法国 | 9 | 47 | 1418 |
| 12 | 江南造船 | 中国 | 40 | 2722 | 1365 |
| 13 | 今治造船 (Marugame) | 日本 | 38 | 4572 | 1355 |
| 14 | 广船国际南沙船厂 | 中国 | 44 | 2474 | 1196 |
| 15 | 扬子江船业 | 中国 | 57 | 3043 | 1139 |
| 16 | 梅尔造船厂 (Turku) | 芬兰 | 7 | 90 | 1124 |
| 17 | 芬坎蒂尼 (Marghera) | 意大利 | 8 | 10 | 1067 |
| 18 | 中船黄埔文冲 | 中国 | 64 | 2051 | 1042 |
| 19 | 华南造船 | 中国 | 9 | 1424 | 724 |
| 20 | 江苏扬子鑫福造船 | 中国 | 26 | 5236 | 986 |
| 21 | 今治造船 (Saijo) | 日本 | 20 | 4651 | 964 |
| 22 | 北海船舶重工 | 中国 | 26 | 6048 | 959 |
| 23 | 扬州中远海运重工 | 中国 | 36 | 4547 | 888 |
| 24 | 大连船舶重工 | 中国 | 25 | 5098 | 850 |
| 25 | 今治造船 | 日本 | 48 | 1696 | 815 |
| 26 | 常石集团 (舟山) 造船 | 中国 | 41 | 1824 | 813 |
| 27 | 今治造船 (Hiroshima) | 日本 | 22 | 3028 | 800 |
| 28 | 芬坎蒂尼 (Sestri) | 意大利 | 8 | 8 | 756 |
| 29 | 南通象屿造船厂 | 中国 | 42 | 2178 | 716 |
| 30 | 南京金陵船厂 | 中国 | 28 | 594 | 681 |
| 31 | 大韩造船 | 韩国 | 23 | 2849 | 641 |
| 32 | 常石集团 (Cebu) | 菲律宾 | 35 | 2108 | 599 |
| 33 | 马尾造船 | 中国 | 52 | 706 | 591 |
| 34 | 天津新港船舶重工 | 中国 | 18 | 2470 | 551 |
| 35 | 芬坎蒂尼 (Ancona) | 意大利 | 8 | 41 | 548 |
| 36 | 沪东中华造船 | 中国 | 15 | 663 | 514 |
| 37 | 南通中远海运川崎 | 中国 | 21 | 2641 | 511 |
| 38 | 日本造船联合(Ariake) | 日本 | 12 | 3522 | 510 |
| 39 | 中船澄西 | 中国 | 27 | 2 | 491 |
| 40 | 现代重工 (Vinashin Ninh) | 越南 | 21 | 1185 | 489 |
| 41 | 株式会社名村造船所 | 日本 | 16 | 2705 | 470 |
| 42 | 日本造船联合(Kure) | 日本 | 16 | 1961 | 448 |
| 43 | 大连中远海运重工 | 中国 | 19 | 1994 | 420 |
| 44 | 招商局重工(江苏) | 中国 | 14 | 416 | 418 |
| 45 | 台船国际 | 中国台湾 | 16 | 988 | 398 |
| 46 | 泰州三福船舶重工 | 中国 | 25 | 913 | 388 |
| 47 | 红星造船厂 | 俄罗斯 | 16 | 1117 | 380 |
| 48 | 舟山中远海运重工 | 中国 | 14 | 1208 | 366 |
| 49 | 泰州口岸船舶有限公司 | 中国 | 23 | 1179 | 364 |
| 50 | 尾道造船 | 日本 | 18 | 1045 | 359 |
| 小计 | — | — | 1606 | 151659 | 56642 |
| 总计 | — | — | 3055 | 189584 | 75770 |

图 32 世界排名前 50 船厂生产数据 (克拉克森公司 2019 年 6 月公布)

八、在标准体系中的位置，与现行相关法律、法规、规章及相关标准，特别是强制性标准的协调性

本标准与现行相关法律、法规、规章及相关标准协调一致。

九、大分歧意见的处理经过和依据

无。

十、标准性质的建议说明

建议本标准的性质为推荐性标准。

十一、贯彻标准的要求和措施建议

本标准发布实施后，CCMI 将给相关企业寄送标准文本，并通过相关网站、期刊、会议等渠道宣贯本标准，使广大企业了解、掌握、执行本标准。

建议本标准批准发布 2 个月后实施。

十二、废止现行相关标准的建议

无。

十三、其他应予说明的事项

无。

《模锻船用曲柄锻件 通用技术条件》起草工作组
2022. 8. 4