

铸态奥氏体-贝氏体球墨铸铁的研究

铸造专业研究生 惠梦君 指导教师 吴德海

本文较系统地研究了获得铸态奥氏体-贝氏体球墨铸铁与合金加入量的关系以及冷却速度与合金加入量的关系。为此,首先试验研究了合金元素对不同模数下基体组织的影响。综合了镍、铜、钼和硅的作用以后,作者提出了合金当量-模数-基体组织的关系图和相应的计算公式。关于合金元素对常温机械性能的影响,作者首先试验研究了镍、硅和铜对铸态抗拉性能的影响,在此基础上,作者把不同合金元素的组合对机械性能的影响进行了数理统计分析和回归处理,由此得出了相应的回归公式。为了控制铸态组织,作者测出了奥氏体连续转变曲线和不同模数的冷却曲线。此外,作者还测定了铸态奥-贝球铁的冷脆转变曲线和断裂韧性值以及回火处理的影响等。试验结果表明,通过合金化获得铸态奥氏体-贝氏体球铁是可行的。本试验认为,对于 Y25 标准试块来说, $(\text{Ni} + \text{Mo} + \text{Cu} + \text{Si})$ 量的最佳范围是 5.5~7.5%, 此时强度可达 90kg/mm^2 以上, 延伸率可达 3% 以上。铸态奥-贝球铁有较高的低温冲击韧性, 在 -40°C 时, 冲击韧性值 (V 型缺口) 达 4.6J。常温断裂韧性可高达 $175\text{kg/mm}^{3/2}$, 经 325°C 回火后可再提高 20%。试验表明, 残余奥氏体对于机械性能有良好的作用, 而铁素体牛眼组织在奥氏体-贝氏体球铁中却起着不利的作用。

本文分以下几个部分进行了研究和讨论。

一、合金加入量对于不同模数下基体组织的影响

在这一节中主要研究了镍、铜、硅的加入量以及钼对基体组织的影响, 冷却速度 (铸件模数分别为 0.34cm, 0.67cm, 1.00cm, 1.34cm) 对基体组织的影响, 给出了各元素加入量在不同模数下对基体组织影响的三维关系图以及各元素加入量与模数的对应关系图, 并给出了相应的近似计算公式。综合了镍、钼、铜、硅的作用以后, 作者给出了合金当量-模数-基体组织的对应关系图。

二、合金元素对拉伸性能的影响。

在这一节考察了在获得铸态奥-贝球铁的前提下, 镍、钼、硅合金元素的加入量对机械性能的影响, 给出了合金元素与机械性能的对应关系图。作者还把不同合金元素的组合对机械性能的影响进行了数理统计分析和回归处理。

三、冷却曲线和奥氏体连续转变曲线的测定

为了控制铸态组织, 作者测定了奥氏体连续转变曲线以及铸件不同模数 (0.34~2.3cm) 下的冷却曲线。结论是铸态条件下获得奥-贝组织是可行的。

四、冲击韧性和冷脆转变曲线

这一节中研究了在 $-80^\circ\text{C} \sim 70^\circ\text{C}$ 温度范围内的冲击韧性, 结果表明铸态奥-贝球铁具有相对较高的冲击韧性, 冷却转变曲线平坦, 即对温度的敏感性较小。

五、回火热处理对性能的影响。

铸态奥—贝球铁在 300~350℃温度之间回火热处理以后,机械性能有明显提高。在高于 400℃回火时,机械性能将恶化,在这一节中给出了拉伸断口的扫描照片,以及高倍复膜透射电镜照片。

六、断裂韧性。

铸态奥—贝球铸具有相对较高的断裂韧性,经 325℃回火热处理后,可再提高 20%左右。这一节给出了断口扫描照片以及断口纵剖面金相照片。

答辩日期:1986 年 1 月 31 日

大断面球墨铸铁球化剂的研制

铸造专业研究生 王玉枢 指导教师 吴德海

大断面球墨铸铁由于冷却缓慢、共晶凝固时间长,引起石墨畸变、石墨球数减少、共晶团粗大、元素偏析、晶间化合物以及石墨漂浮等问题,其中严重影响大断面球铁机械性能但又难以解决的问题是大断面球铁中心或热节处经常出现碎块形石墨。所以,生产大断面球铁需用专用球化剂,而国内外目前还没有专用球化剂。因此,大断面球墨铸铁球化剂的研制被列入国家“65”科技攻关项目。

团块球化剂 80 年代开始在美国、英国、日本等国使用。通过分析和对团块球化剂的制作、处理工艺及使用效果进行了大量的试验,认为团块球化剂特别适用于作大断面球铁的专用球化剂,它具有成分易调、均匀、能获得低硅、低稀土成分,处理时能稳定获得球铁。

本试验采用的模拟试验,由于没有外来热源干扰,具有与大断面球铁实际凝固情形更接近,处理工艺和实际生产完全相同,还能取得机械性能数据等特点,是一种既经济又接近生产实际的实验方法。

接着,作者就镁、稀土、铈和钡等元素对大断面球铁的机械性能、石墨形态和基体组织等的影响进行了较系统的研究。结果表明:以工业上生产球铁的生铁作炉料,只用纯镁或 1# 稀土硅铁或 4# 稀土硅铁镁合金处理大断面球铁,均易出现碎块形石墨,导致机械性能下降。铈具有中和轻稀土的作用,但若轻稀土过量,仍会出现碎块形石墨。用以镁为主要球化元素,含有少量钇基重稀土或再加些微量元素(铈、钡)的团块球化剂处理大断面球铁,能消除碎块形石墨,提高机械性能。用少量 4# 稀土硅铁镁合金和团块球化剂混合使用,也能达到消除碎块形石墨的目的,还能改善处理效果,降低成本。大断面球铁团块球化剂的主要成分为: 5—10% Mg、0.5—7% YRE、0—1.7% Ba、0—2% Ca、<4% Si₁。在凝固时间约 140 分钟的 $\phi 270 \times 400$ mm 试块上取样,铸态性能达 QT42—10 牌号。

最后,作者就影响大断面球铁性能的碎块形石墨的形成条件进行了分析,提出在大断面球铁残余液体与奥氏体交界处形核的石墨,受扩散和共晶膨胀力的影响长成碎块形

石墨的见解。

通过本课题的研究以及有关的工作，完成了国家“65”科技攻关专项合同规定的任务，通过了部级鉴定，并给予了较高的评价，认为“研究成果达到了国内先进水平，比国外同类产品有所改进和创新”。由于这种大断面球铁团块球化剂在国内外尚系首，为此，申请了专利，并将该技术向国内工厂作了转让。

答辩日期：1986 年 3 月 12 日

球化剂载体、Y、Ce、稀土对大断面球墨 铸铁中石墨组织影响的研究

铸造专业研究生 李同心 指导教师 柳百成

在大断面球墨铸铁的生产中，能否获得满意的石墨球组织是直接影响大断面球铁质量好坏的关键。然而，国内的大断面球铁中石墨组织畸变十分严重，经常出现大量的碎块形石墨，导致机械性能显著降低。现在普遍认为，国内大断面球铁中碎块形石墨的出现是由于残留稀土量偏高所致。本文正是要研究在大断面球铁中以镁作为球化元素的条件下，随着残留稀土量的变化，石墨组织的变化趋势，更重要的是要研究能否通过添加少量的 Y、Ce 来获得满意的石墨球组织的可能性。国内的稀土资源丰富，如何根据国内的实际生产状况将稀土元素正确地应用于大断面球铁中，是一项十分有意义的研究课题。

大断面球铁中畸变石墨的出现是由于凝固速度非常缓慢所造成的，而凝固速度缓慢又是由于大断面球铁本身结晶潜热逸出速度缓慢所致。所以，如果能设法控制结晶潜热的逸出速度，则有可能在实验室中采用很小的试样来模拟大断面球铁的凝固过程，本文正是依据这一原理来进行大断面球铁的模拟研究的。同时，为了验证模拟试验结果的可靠性，在杭州汽轮机厂浇注了 $\phi 200 \times 400$ 及 $\phi 320 \times 500$ 大型球铁试块进行生产性验证。

模拟试验结果表明：在大断面球铁中，球化剂载体本身对石墨组织具有重大影响，而这种影响在小断面球铁中是不容易观察出来的。通过对球化剂载体的研究，提出了生产高质量大断面球铁应采用的新型球化剂。

对 Y、Ce 的研究结果表明：当 Y、Ce 的残留量在一定范围内时，Y、Ce 能有效地改善石墨球组织、消除水草形石墨，尤其 Y 对石墨组织的改善作用更为显著。当残留 Y、Ce 量偏高时，虽然 Y、Ce 能消除原有的水草形石墨，但由于残留量偏高则导致出现新的畸变石墨形态，Y 残留量偏高时出现蠕虫状石墨，而 Ce 残留量偏高时则出现松散球形石墨（介于球状石墨和碎块形石墨之间的一种过渡型石墨）。当残留 Y、Ce 量过高时，Y、Ce 均促使碎块石墨出现，但 Y 促使形成碎块石墨的临界残留量很高，可以认为在实际生产中，Y 不促使形成碎块石墨。

对 RE、Ce 的研究结果表明，虽然 RE 中主要含有稀土元素 Ce，但 RE、Ce 对大断面球铁中石墨组织的影响完全不同。RE 显著促使大量碎块形石墨出现，即使在残

留 RE 量极低的情况下也是如此。所以,不能把 RE 对石墨组织的影响简单地归于 Ce 对石墨组织的影响,Ce 在大断面球铁中的作用有待重新评价。

进一步的研究表明:大断面球铁中石墨组织的好坏是球化剂载体同 Y、Ce 综合作用的结果。Y、Ce 对石墨组织的改善程度同球化剂载体有密切的联系。

从模拟试验结果得出了一条重要结论:采用新型球化剂并附加一定量的 Y,能在大断面球铁中获得满意的石墨球组织。这一结论在 $\phi 200 \times 400$ 及 $\phi 320 \times 500$ 大型试块的生产验证中得到了证实。试块心部铸态机械性能的检测结果表明: $\phi 200 \times 400$ 试块心部铸态抗拉强度为 64.9 kg/mm^2 ,延伸率为 4%; $\phi 320 \times 500$ 大型球铁试块心部的铸态抗拉强度为 55 kg/mm^2 ,从原来的基础上提高了 17 kg/mm^2 ,延伸率达到 3%。因此,采用新型球化剂并附加一定量的 Y 生产高质量的大断面球铁提供了新的途径。

答辩日期:1986 年 5 月 26 日

熔模真空吸铸工艺的研究

铸造专业研究生 黄将胜 指导教师 于震宗

熔模真空吸铸工艺是七十年代发展起来的一种新的熔模铸造工艺方法,具有许多传统工艺所没有的优点。国内在应用该工艺时还存在许多问题急待解决。采用水玻璃型壳,强度低导致吸铸时型壳的破裂;铸件难于清理,要求型壳具有较好的溃散性;铸件表面质量差;正确选择吸铸时间等,本文针对这些问题进行了研究并提出了一些解决的措施。

研究了型壳在浇注、焙烧过程中温度及强度的变化规律;设计了一套简单的吸铸试验装置,分析了吸铸时型壳爆裂的原因及规律性,对型壳强度、吸铸工艺参数等因素影响型壳吸爆的规律性进行了研究,根据试验结果及理论分析结果提出了确保型壳不被吸爆所需临界强度的计算公式。提出了吸铸工艺参数及型壳的选择原则:在保证充型能力的前提下,尽量采用较低的真空度吸铸;以型壳在吸铸瞬间所具有的强度来判断型壳是否能够满足吸铸要求;热壳吸铸时,尽量缩短出炉到吸铸间的时间。

对型壳的溃散性指标进行了探讨,并自制了一台简单的型壳溃散性测试装置。然后对型壳残留强度同高温强度的关系及型壳残留强度同水玻璃砂型残留强度的一致性等问题进行了研究;试验了几种附加物对型壳残留强度的影响情况。结果表明:型壳残留强度同水玻璃砂残留强度具有一致性,添加附加物是改善型壳溃散性的一条有效途径。

根据国内工厂大多使用水玻璃型壳的实际情况,结合国情,提出了一种新的不用氨干的水玻璃—硅酸乙酯复合型壳制壳工艺,对该工艺进行了最佳工艺参数选择,并对其硬化机理进行了研究。结果表明,硅酸乙酯面层硬化的原因是:硅酯乙酯面层干燥过程中硅凝胶的形成,水玻璃对面层的促凝作用及第二层氯化铵硬化所放出的氨气的氨干作用。研究了吸铸工艺及复合型壳对铸件表面质量的影响规律,结果表明,吸铸件的表面光洁度低于重力浇注件;但吸铸工艺可以减轻铸件的表面脱碳。生产验证结果表明:复合型壳应用于生产中可取得较好的经济效益,对改善铸件表面质量,提高表面光洁度降

低脱碳层厚度具有明显的效果。

根据试验结果,推荐了热壳吸铸、冷壳吸铸及要求较高时型壳的选择方案。热壳吸铸时型壳方案为水玻璃石英粉加 30%耐火粘土涂料,撒石英砂,结晶氯化铝硬化;冷壳吸铸时型壳方案为水玻璃铝矾土或匣钵粉涂料,撒铝矾土砂,结晶氯化铝硬化;对铸件表面质量有较高要求时,建议采用复合型壳,加固层可根据热壳或冷壳吸铸的情况进行选择。上述各型壳方案均在生产中得到成功的应用。

本文最后对型壳的导热系数及其测试方法进行了研究。试制了线热源法型壳导热系数测试装置,测试结果同平板法结果可以较好吻合。对型壳的测试结果表明,撒砂材料对型壳导热系数具有较大的影响,而粘结剂的影响较小,铝矾土型壳导热系数约为石英型壳的 1.5 倍。此外,还对计算机预测铸件凝固时间进行了初步研究,编制了型壳直浇道结壳时间的计算程序。对水玻璃石英型壳的预测结果同实际测试结果非常一致,说明了计算机预测的可能性;对其它型壳的预测结果表明,同样条件下,铝矾土型壳内金属的结壳时间明显小于石英型壳。

本文的结论对于实际应用吸铸工艺时型壳的选择及吸铸工艺参数的确定具有指导意义和参考价值。

答辩日期:1986 年 5 月 27 日

酚醛树脂复膜砂工艺及性能的研究

铸造专业研究生 胡 杰 指导教师 吴浚郊

在铸造行业造型材料中,酚醛树脂复膜砂的应用已有较长历史,但现生产中仍存在强度不高,树脂量加入过多,容易引起铸造缺陷并使成本较高的问题。因此,对复膜砂的原材料、工艺和性能测试方面进行了试验研究。

线型酚醛树脂是复膜砂的主要粘结材料。应用示差扫描量热、热重分析、红外光谱等仪器和手段分析了树脂加热过程中的热效应、重量变化、交联度、发气性和红外吸收光谱,掌握了树脂在不同温度时的变化规律和固化、分解反应的特征和条件,为复膜工艺和固化制壳(芯)工艺提供了依据。试验结果表明长春市化工二厂 665 型酚醛树脂在乌洛托平作用下,150℃开始固化反应,300℃时反应完毕,其中 150℃及 260℃是主要反应温度。温度高于 300℃后树脂开始发生分解反应,温度高于 500℃~600℃时树脂已大部气化。

在混砂过程中测量了砂子温度的变化,发现混砂机碾壁温度对砂子温度影响很大。要保持有足够的混砂时间,必须控制碾壁温度在 70℃~100℃,保证混砂时间内砂温不低于 115℃,以便于树脂的流动及与砂子的混合。

试验了复膜温度,复膜时间和混砂机碾壁温度对复膜质量的影响,证明使砂子处于“湿”态混合时间的长短是关键因素,砂子温度和碾壁温度则是保持这一时间的基本条件。只要混砂时间在 4min 以上,初始砂温在 145℃~200℃范围内都可得到同样高的强度的复膜砂。在砂温下降,树脂变粘、砂子结团后继续混砂会因擦伤树脂膜而影响混

砂质量。

对乌洛托平以粉状和以水溶液形式加入砂中的时间、混合分散乌洛托平的时间及水平的单独作用研究证明,加强乌洛托平在砂子中的均匀分布和水份的彻底挥发是保证复膜砂强度的一个重要措施。乌洛托平应以水溶液的形式(水占砂重 1%)在混砂后 40 秒,树脂刚刚全部熔化时加入,并继续混砂两分钟以上。按此工艺要求混制的复膜砂不仅强度高,而且树脂膜光滑、透明利于紧实。

测试了不同固化温度、时间对固化强度的影响,并测量了固化过程中壳(芯)试样内部温度场和固化后热强度的变化。

温度在 150℃时复膜砂才会固化,热态时其强度极低,抗拉强度仅 $5\text{kg}/\text{cm}^2$ 左右,若其表面固化强度过高,则出模时阻力较大,易发生破损,固化温度在 240℃以下时,壳(芯)内外温度较匀,出模阻力小。固化温度低,所用时间长,温度与时间适宜的配合均可得到较高强度的壳(芯)型。

用擦洗脱泥的方法对原砂进行了表面处理,并分析了表面状况的变化,并试验了用硅烷水溶液处理原砂的工艺,使强度分别提高了 30%和 20%左右,擦洗和硅烷的综合作用使强度提高 50%以上。原砂粒度及组成对壳(芯)的紧实比重有一定影响,对不同粒度砂子的假比重测试证明,粒度粗紧实后假比重大。合理的粒度组成对强度有一定提高作用。

在浇注铁水时,测量了壳(芯)内温度场,由于复膜砂导热能力较低,其内部在浇注后几分钟内仍维持在 $300^\circ\text{C} \sim 400^\circ\text{C}$,结合激热抗拉试验、抗弯试验可知此时壳(芯)尚有一定强度(为常温强度的 60%以上)。提高固化温度、加强交联度可以增加热强度。对复膜砂试样的热变形试验表明固化温度越高:变形少膨胀大,而热时间较长,原砂粒度越细,则试样膨胀量小,变形量大,耐热时间长。

自行设计、制造了一台冲击韧性测试仪,用以研究复膜砂的脆性问题。经试验,发现常温下复膜砂壳(芯)型试样的冲击韧性与抗拉强度有线性关系,但在热态时两者的变化趋势有所不同。在固化温度过高时,冲击韧性下降较多,而抗拉强度仍较稳定。目前该冲击韧性仪经改进后已交付常德仪器厂生产样机。

根据试验研究结果混制了部分复膜砂在工厂的浇注和强度测试中都获得了满意的结果,经成本核算,试验结果具有经济效益。

答辩日期:1986 年 5 月 27 日

球铁和灰铁凝固特性研究及计算辅助铸造工艺设计

铸造专业研究生 裴清祥 指导教师 白天中 柳百成

本文通过对同一型内五种不同模数($M=1.5\text{cm}$ 、 1.75cm 、 2.0cm 、 2.25cm 、 2.5cm)立方体铸件凝固特性(凝固时间、共晶膨胀力、收缩特性)的测试,研究了浇注温度、铸型条件、铸铁材质、化学成分、孕育处理等因素的影响,得出了一些有益结果。

根据浇冒口设计理论、生产经验和上面研究,作者编制了计算机辅助铸造工艺设计软件。软件包括:(1)模数和铸件重量计算程序(TH1程序),(2)无冒口铸造工艺设计程序(TH2程序),(3)控制压力冒口和压力冒口工艺设计程序(TH3程序)。通过对所编程序的校核及实际生产应用,证明了程序编制正确、使用方便,且大大提高了工艺出品率,具有明显的经济效益。

答辩日期:1987年3月18日

冲击造型试验装置及型砂的研究

铸造专业研究生 吴振卿 指导教师 吴浚郊

空气冲击造型是八十年代初出现的一种新的造型方法。在最近几年它得到了迅速的发展。

标定了铅片式压力计压痕直径——有效压力的关系,并在对比分析的基础上选择砂型湿压强度作为衡量砂型紧实度大小的指标。自行设计制作了两台冲击紧实试验装置。

利用空气冲击造型机(砂箱尺寸:600×450mm)和空气冲击制样机以及先进的电子测试仪器研究了型砂对冲击造型紧实过程及紧实效果的影响,发现型砂紧实率和膨润土加入量对砂型的紧实有强烈的影响,而附加物的影响则较小。

高能锤击制样机可用于定量地模拟冲击造型机来研究冲击造型用型砂。用它做出的四参数网络图在实际生产中有一定的实用价值。

答辩日期:1987年4月23日

Fe-C-Cr 合金的液态急冷及其激光处理

铸造专业研究生 安加林 指导教师 吴德海

Fe-C-Cr合金具有优异的耐磨、耐蚀和耐热性能,因而在工业中得到广泛的应用。用液态急冷方法研究Fe-C-Cr的凝固过程和结晶规律,对进一步提高这种合金的性能和扩大它的应用范围,具有重要意义。

本文研究了Fe-C-Cr合金在液态急冷条件下的凝固特征以及不同的含铬量的Fe-C-Cr合金所具有的结晶规律。探索了Fe-C-Cr-B合金形成非晶态金属的合适的化学成份。此外,本文还分析了液态急冷产物的分解过程,提出了奥氏体含碳量和奥氏体分解温度之间的定量关系。最后,用激光方法对Fe-C-Cr-B合金进行表面处理。结果表明当Fe-C-Cr合金附加硼时,可在液态急冷下获得非晶态,它的分解温度随着含铬量的增加而提高。激光处理后,耐磨性提高。

答辩日期:1987年4月29日

淀粉类型砂附加物的研究

铸造专业研究生 郑殿君 指导教师 于震宗

淀粉类物质作为铸钢、铸铁用型砂的附加材料在国外已有很长的应用历史。我国过去很少在铸造型砂中使用淀粉类材料,使得型砂质量较差而导致在实际生产中出现型废和铸件表面缺陷等现象。在本研究中改进了生产设备,制出适于铸造生产的低成本而又制造工艺简单的 α 淀粉。建立了对淀粉类附加材料的鉴别及性能检测方法,确定了合理的性能指标,同时对自制及国外多种淀粉类材料进行了自身理化性能检测及型砂工艺性能对比试验。自制淀粉类材料与国外同种材料相当。工艺试验表明: α 淀粉能提高型砂韧性、增大表面强度、减少风干粉化量、提高砂子热湿拉强度、对型砂质量的提高有明显的效果。造型及浇注试验也清楚表明淀粉类材料的良好作用。

答辩日期:1987年6月9日

氧电势法炉前快速检测蠕化率的研究

铸造专业研究生 汪哲 指导教师 黄惠松

本文旨在探索解决蠕铁生产中重要的技术问题之一——炉前蠕化率的快速检测方法,为生产稳定化创造条件。

由于蠕铁生产工艺严格,迫切需要简便可靠的炉前检测技术,特别是炉前蠕化率的快速检测方法对生产进行精确控制,现有的蠕化率快速测定方法均因实用性较差而不能在生产中应用。本文对新出现的快速检测蠕化率方法——氧电势法进行了研究。在对测氧探头制作材料进行分析比较的基础上,确定了目前条件下适用的制作材料;实验室及生产现场测试结果表明,氧电势法具有较好的实用性;根据实验结果在提高该方法检测精度方面提出了一些见解,并就实现蠕化率炉前自动测报作出了初步设想。

答辩日期:1987年6月12日

铸态铁素体球墨铸铁离心铸管的试验研究

铸造专业研究生 黄万年 指导教师 柳百成,李春立

通过对铸态铁素体球墨铸铁离心铸管工艺和钛对铸管组织和性能影响的系统试验研究,找出了热模法制作铸态球墨铸铁管的工艺因素的影响规律,确定了球化、孕育处理

的适宜工艺参数,揭示了钛对铸管组织和性能的影响机制,并在实验室条件下,获得了达 ISO 标准的铸态球铁离心铸管。为我国铸铁管的生产提供了可靠的依据。

试验结果表明,采用合适的离心铸管工艺,利用含钛(0.02~0.16%)的生铁可以生产出达 ISO 标准的铸态球铁离心铸管。钛在球铁中主要以碳、氮化合物形式出现,无规律分布于基体内。钛对石墨球化的影响表现为钛化物可作为球墨形核的核心和球化元素的消耗。本试验条件下,钛对铸管的铁素体量和机械性能影响不大。

答辩日期:1987 年 6 月 15 日

轴对称类锻件模锻工步的优化研究

压力加工专业研究生 李 浩 指导教师 陆其仁 叶庆荣

本文通过理论分析和模拟实验,系统地论述了轴对称类锻件预成形工步的设计原则,并编制了计算机程序。从对模腔充满的难易程度、磨损特征、能耗及材料利用率的影响出发,使用塑泥作为模拟实验材料,通过实验和理论分析比较了各种预成形模腔的线型,得出直线—圆弧型模腔是预成形设计的最优线型。同时用实验方法得到了这种最优线型的最佳预成形设计参数。本文提出了复杂轴对称类锻件的合理化锻造工艺流程,分析比较了预成形与预锻的优劣及适应范围,认为预成形是复杂轴对称类锻件在曲柄压床上模锻所必需采用的一道工步。最后对二汽锻造厂的东风 EQ240—1700C—056 锻件进行了铅材料的模拟实验,并与原工艺作了比较,结果表明:新工艺的锻件质量稳定、能耗小、材料利用率高达约 90%,比原工艺提高了 10%。同时,预成形模腔基本上满足金属流动性的要求,不要再作修改即可使用,大大节省了原工艺试生产过程所花费的大量资金与人力,经济效益明显提高。

答辩日期:1986 年 1 月 25 日

应力场强法及其材料疲劳曲线测定规范的研究

压力加工专业研究生 王少华 指导教师 俞新陆 颜永年

一、前言

各种机械零部件中,疲劳失效越来越占主要地位,因此疲劳问题的研究日益受到重视。研究工作者们提出许多方法:如常规疲劳设计方法、局部应力应变法、应力梯度法等等。由于疲劳问题的复杂性和困难性,都未能得到令人满意的结果,所以研究疲劳寿命估算是十分必要的。本课题组的博士研究生在其博士论文中提出了一种以危险点附近应力场的应力参量——应力场强 σ_{RD} 为判据的高周疲劳寿命估算方法,其对实验的结果的处理取得了可喜的效果。展示了良好的前景。

应力场强法的基本计算步骤为:先根据危险点附近应力场的应力分布,以第四强度的等效应力 σ_i 用以下公式累加得到场强值:

$$\sigma_R = \sqrt{\sum_{i=1}^n [\sigma_i (1 - CD)]^2 / n}$$

再由 σ_R 随载荷的变化, 借用循环应力应变迟滞回线假设, 求得场强幅和场强平均值, 由平均应力折算公式求得整体的场强 σ_{RD} 。

应力场强法作为一种新的方法, 其本身还有许多不完善的地方, 如场强、场径的物理意义、场强计算步骤、疲劳数据测试方法等方面有待进一步研究。

从机械零部件的可靠性设计要求看, 材料的概率——载荷——寿命曲线是十分重要的。因此作者结合以上两方面的情况, 选题如下:

通过 45# 正火钢、50# 退火钢的疲劳试验, 取得疲劳数据结果, 以验证和进一步研究探索应力场强法、研究场径的意义及 $\sigma_{RD} \lg N$ 曲线, 建立测定 $P \sigma_{RD} \lg N$ 曲线的初步规范, 并试测 45# 正火钢的 $P \sigma_{RD} \lg N$ 曲线。

二、疲劳试验

实验的目的是取得疲劳数据, 同时为建立测试规范积累经验。实验包括 45# 钢正火材料的机械性能测试, 50# 退火钢、45# 正火钢的疲劳试验。试验中共制试件约 200 个, 花费时间约两个月。

三、应力场场处理模式及场参量计算的研究

① 论证了场参量计算中以第四强度理论的等效应力作为场参量计算参数的合理性, 主要是分析了层片状珠光体中疲劳裂纹形成和初期扩展与局部的歪形能、剪应力的关系。

② 进行应力场参量计算衰减模式选用的分析, 提出了以下的计算公式:

$$\sigma_{RD} = \sqrt{\sum_{i=1}^n [\sigma_i' (1 - CD)]^2 / n}$$

其中: C 为材料的衰减系数。

由缺口局部的平均应力不均匀分析, 提出了先逐点折算平均应力影响, 再求整体场强的设想, 上式中 σ_i' 为折算平均应力影响后的应力参量值。

③ 通过设想方案与原应力场强法的分析和计算结果比较, 证实了设想方案中逐点折算平均应力影响的合理性和优越性, 并且通过衰减系数 C 概念的建立, 克服了场径概念的弱点。

④ 对场强计算中网络间距大小和 C 值计算精度对 $\sigma_{RD} \lg N$ 曲线拟合结果的影响作了分析, 得到了 D_2 在一定条件下影响不大的结论, 并且由计算量的比较和估算精度的比较, 提出了间距 D_2 选取为计算范围的 1/5, C 值精度应控制在 $\pm 5\%$ 以内的基本选择标准。

四、45# 正火钢的 $P \sigma_{RD} \lg N$ 曲线测定

在这一部分中, 作者先根据试验数据的正态分布检验, 证实了服从正态分布的假设。在中值场强——寿命 ($\sigma_{RD} \lg N$) 曲线的基础上, 由统计处理, 求得了不同可靠度下的 $\sigma_{RD} \lg N_R$ 曲线, 即 $P \sigma_{RD} \lg N$ 曲线, 结尾分析提出了试验中有待于改进的几个问题。

五、疲劳试验规范研究和场强法的验证。

① 通过对 50# 退火材料各组试验数据的不同组合的拟合计算及其结果分析,得到了各组合中,试件应力集中系数 K_t 相差值 ΔK_t 对衰减系数、 $\sigma_{RD}-\lg N$ 曲线的影响规律。在此基础上,提出了衰减系数拟合时,一般应选用三组试件,并且试件的最大 K_t 差值应超过 1.0 的初步选择规范。结合疲劳试验得到的一些经验,参考其他资料,提出了测定 $P-\sigma_{RD}-\lg N$ 曲线的初步规范,其中包括材料选择、要求、缺口试件的应力集中系数选取、试件数量及试验计划安排等。

② 从分组拟合的结果中,发现了衰减系数 C 值的稳定性,即用不同的试件组合,当应力集中系数差值比较大时,其拟合的 C 值相当稳定,证实了 C 值与 K_t 无关的推测。作者通过数学原理的分析,论述了衰减系数 C 是反应材料疲劳特征这一事实的可靠性,有力地支持了应力场强法。

六、主要结论

作者在原应力场强法的基础上,通过实验、理论分析和计算结果比较,得出以下几点结论和结果:

① 发展和完善了应力场强法;

提出了物理意义更为明确的场参量计算模式;提出了逐点处理平均应力影响的方案,并证实了其合理性和优越性,得到了衰减系数与 K_t 无关的重要结论,支持和肯定应力场强法的基本概念和方法。并提出了网格间距和衰减系数计算精度选择的初步标准。

② 提出了测定 $P-\sigma_{RD}-\lg N$ 曲线的规范草案,为测定完备的 $P-\sigma_{RD}-\lg N$ 曲线建立了基础,并在原有实验的基础上,进行了 45# 正火材料的 $P-\sigma_{RD}-\lg N$ 曲线测定的尝试。

答辩日期:1986 年 3 月 14 日

凹砧型人造金刚石超高压装置的研究

压力加工专业研究生 周开勇 指导教师 郭和德 顾永年

本文研究人造金刚石超高压装置。根据国内外人造金刚石工业的发展情况,超高压装置的大型化是提高金刚石产量和质量,降低成本的关键。通过比较现有各种超高压装置,作者认为凹砧和 FB 型模具的受力较合理,便于实现大型化。并且选定了受力合理、操作简便的凹砧进行研究。作者提出,通过改进模具结构,使模具受力合理,从而改用强度稍低,但制造容易、成本低廉、尺寸效应较小的材料(如高速钢等)代替硬质合金制做模芯,是大型化的发展方向。

本文从现有装置的结构和研究方法中,总结出一些值得借鉴的设计思想和方法,并提出了一些作者的想法。通过分析凹砧型腔对高压室压力场的影响,认识到现有凹砧型腔的局限性,提出了能够彻底改善压力场的楔块密封平底凹砧结构。研究了叫蜡石的力

学性能, 推导了松散介质轴对称滑移线场的基本方程, 并编写出能解几种滑移线场的 FORTRAN 程序。利用该程序, 计算了双阴模密封边内的滑移线场和应力分布。其径向压力分布与苏联超硬材料所的实测结果相似。该分析方法可用于凹砧型腔的设计, 密封结构设计和确定凹砧所承受载荷分布, 具有一定的参考价值。本文引用了一些压力场, 温度场的实测结果, 它们说明凹砧高压室的压力分布不均匀, 轴向压应力大于径向压应力, 轴向温度梯度较大, 中心温度明显比两端高等, 给出了凹砧高压室的基本特点。

本文采用有限元法分析了凹砧在予紧状态和合成状态的应力分布。从这些应力分布看, 凹砧在予紧状态的危险应力是由于予紧力引起的轴向拉应力。合成状态的危险应力是由工作载荷引起的底面径向拉应力和凹坑底部的最大剪应力, 它们均随予紧力增大而降低。予紧力的确定要兼顾上述两个状态的要求。在 2000 吨级凹砧的设计中, 作者分别对三种凹砧尺寸: 外径和高度为 $\phi 100 \times 49$ 、 $\phi 110 \times 44$ 、 $\phi 90 \times 49$, 在各种予紧力下的两个状态的应力分布进行了有限元分析。参考了已有 1000 吨级凹砧的应力分布, 对以上各方案进行比较, 确定了应力分布比较合理的以 $100\text{kg}/\text{mm}^2$ 予紧力予紧的 $\phi 100 \times 49$ 凹砧的设计方案。

根据工厂调查情况, 作者总结出凹砧的几种主要破坏形式。其一是由于予紧力过大或过小引起的破坏。予紧力过大, 发生横向断裂, 证明了应力分析中得出的予紧状态轴向拉应力是危险应力的结论。予紧力太小, 发生纵向断裂, 证实了合成状态工作载荷引起的底面径向拉应力是危险应力的结论。其二是凹砧型腔凸台发生剥落。其原因是型腔表面的摩擦力形成局部拉应力, 再加上卸载时“放炮”引起的冲击载荷引起的。应力分析时未考虑该摩擦力和“放炮”, 所以从应力分布看此处不受危险应力。因此, 该摩擦力和“放炮”是不容忽视的。

在凹砧的压装试验中, 作者总结出两条经验。其一是予紧环之间应用酒精或丙酮调好的 MoS_2 涂敷或喷涂, 才能保证压装和拆卸顺利。其二是在压装脆性的硬质合金凹砧时, 应使此时予紧力较小, 即最好先与 1 号环压装。否则将在入口处形成较大的拉应力, 致使凹砧破坏。此外压装时应使压块在入口上方与凹砧充分接触, 以产生压应力来抵消入口处的拉应力, 保证凹砧安全。

在 1000 吨级凹砧的试验中, 作者对高压室进行了标定。在 1000 吨级阴阳模上, 标定出 B1 相变压力, 即 2.55GPa , 发生相变时压机吨位为 225 吨。经过试验, 发现阴阳模结构的一些不足, 并提出了改进方案。针对阴阳模卸载时的“放炮”问题提出了采用双阴模的方案。试验证明只要卸载缓慢, 双阴模不会发生“放炮”现象。阴阳模高压室材料挤流严重, 说明压力场不均匀, 三向压力不等, 它将降低金刚石的产量和质量。为此, 作者设计了带骨架密封结构。在密封边内设一骨架, 与双阴模型腔形成楔合, 从而增强密封能力, 尤其是密封能力较差的上下对称面处的密封能力得到了加强, 减轻高压室畸变的作用。此外, 降低了样品高度, 使之在建立高压前没有很多材料挤出。经试验, 该密封结构使高压室挤流减轻, 并在 760 吨达到了 Ba 相变压力, 即 5.5GPa 。此外, 作者还试验了无骨架结构, 其挤流较严重, 但在 760 吨也达到了 Ba 相变压力。

在 2000 吨级凹砧的试验, 由于加工问题, 造成凹砧与 1 号环间存在一个台阶, 此台阶阻碍了密封边材料向外挤流, 使密封边消耗吨位大, 总消耗吨位也随之增大。试验

中达到 Bi 点压力所需吨位达 1070 吨, 高于估计值。对密封边材料减少后, 此问题稍有缓和, 在 788 吨达到了 Bi 相变压力。但当继续升压时, 问题又突出, 加压到 1830 吨仍未出现 Ba 相变。该凹砧在数次加压后底面出现纵向裂纹。证明由于予紧力偏小等因素引起了底面拉应力, 造成了纵向开裂。

作者采用 1000 吨级双阴模凹砧进行了金刚石合成试验, 分别用带骨架和无骨架密封结构合成出人造金刚石。在试验中对合成的压力温度范围进行了研究, 找出了一些提高金刚石质量的规律。为了改善反应室温度场, 作者对导电片的绝热性作了研究。提出必须增加导电片厚度才能使它具备足够的绝热性, 使高压室温度场均匀。因此, 要求增加高压室的高径比, 以提高工作腔体的有效性, 所以要求改进型腔。

最后, 作者提出了组合式楔块密封平底凹砧结构。该凹砧受力合理, 高压室压力场均匀, 三向等压, 腔体高径比合理, 便于实现大型化, 是一种有希望的模具型式。

答辩日期: 1986 年 3 月 14 日

箱形结构零件的计算机辅助设计分析方法

压力加工专业研究生 全 宁 指导教师 杨津光 郭和德

在压力加工行业中, 大中型机械压力机和液压机在生产实际中发生损坏的现象较为严重, 发生损坏的部位大多在压力机的横梁和立柱这些部位上, 发生破坏的原因是局部应力过大而产生裂纹, 而在所发生的破坏事故中, 大多数是因设计时考虑不周所致, 因此, 迫切需要一种先进的设计方法。由于压力机的横梁和立柱属于箱形结构零件, 因而我们就确立了以箱形结构零件为对象, 以计算机辅助设计为手段的题目。论文中提供的箱形结构零件的计算机辅助设计分析方法, 不仅可以解决锻压机械设计中的问题, 同时也可以应用到各种机械的箱形结构零件的设计中去。

用传统方法设计箱形零件(如压机的上梁、立柱等)采用的是材料力学的方法, 它的局限性在于只能通过特殊的截面的材力设计计算结果来作设计箱形结构零件的依据。为了从根本上去掉材力方法的局限性, 论文中采用了用空间板系有限元进行计算的方法。利用该方法可以计算出板系结构零件中任何板的任意位置上的应力状态。为使这种空间板系结构有限元能有效地应用, 论文中的计算机辅助设计方法包括了有限元的前后处理功能——节点、单元及厚度的自动生成功能和绘制变形曲线和应力等值线的功能, 从而彻底地减少了应用空间板系结构有限元的复杂程度。同时, 为了使该计算机辅助设计的方法得以在工程实践中广泛地应用, 论文作者将该方法在微机上调试成功。为了解决有限元计算要求大的存储量和微机内存小的矛盾, 该方法还包括了优化(减少)有限元计算的内存量的程序。为了证明该方法的有效性, 作者还用模拟实验进行了验证。通过实验和几种不同计算方法的结果相比较, 证实了论文中提出的箱形结构零件的计算机

辅助设计分析方法是先进的方法。

论文中关于节点、单元及厚度自动生成的方法是作者根据有限元对前处理的要求和本教研组的条件提出的一种新的有限元前处理的方法。该方法的原理是：将有限元网络看作是由若干条线段组成的图形，在将网格网的信息输入计算机以后，由计算机通过寻找线段与线段的交点的办法来寻找节点，这种有限元网格中的节点信息便自动生成（包括节点号和节点坐标的自动生成）；通过让计算机寻找网格图中指定的形状（如三角形或四边形）来自动生成单元的信息（单元的编号和每个单元的相关节点号），在作者实现的程序中，只包括对三角形单元的自动自成的功能；通过程序中的循环语句，将每块板中的所有单元赋以一个确定的厚度。至此，进行有限元计算所需的大部分信息（节点、单元及厚度）便自动生成。使用该方法的步骤是：首先由人工画出空间板系结构中的每块板的网格图，然后用图形数字化仪将每块板的网格图的图形信息转变成数据信息分别输入计算机，由计算机自动地生成整个空间板系结构的节点、单元及厚度的信息，最后由绘图机分别绘制出网格图并标出节点和单元在网格中的位置。该方法优于一般的有限元网格自动生成的方法。使用该方法时，无需将板系结构的外围轮廓和网格的分布用数学的形式表示出来，它可以对任意的外围轮廓和所要求的任何网格分布进行有限元网格中节点、单元及厚度的自动生成。使用该方法的效率比人工准备数据高几倍到十几倍，而且数据的准备性也比人工准备的多得多，因而是一个十分有效的平面及空间板系有限元的前处理程序，具有较高的实用价值。该部分在整个辅助设计方法中是一个独立的部分，它可以很方便地和其它的有限元程序相联接。

为使有限元计算时少占计算机内存，扩大在微机上解题的规模，本文包括了优化带宽的程序。实验表明，该优化程序的使用效果是良好的，可以将一般的有限元计算的内存量减少 20%~40%。

论文中的有限元计算部分的主要思想取自 S.S.RAO 的著作。该有限元计算的对象是空间板系结构，当然可以很方便地解决平面有限元问题。作者在该部分求解应力方面做了一定的工作，将一般在局部坐标系下输出的应力变为在总体坐标系下输出，这样既便于人工分析有限元的计算结果，也便于让绘图机绘制出整个板的应力等值线，为计算结果的后处理提供了条件。

论文还提供了对有限元的计算结果进行后处理的功能——绘制应力等值线和变形图。绘制应力等值线的方法的基本思想取自刘岳等人的著作。论文中的后处理功能是很强的。大大地减轻了使用人员的工作量，提高了结果的分析精度和效率。该部分在本文的辅助设计方法中也是一个独立的部分，可以很方便地与其它有限元程序相联接。而且，在机械行业中使用的有限元专用程序中利用绘制应力等值线的方法进行后处理工作在国内还未曾见有人做过。

论文提出的箱形结构零件的计算机辅助设计方法包括四个独立的部分：有限元原始数据（节点、单元及厚度）的自动生成的部分，带宽（内存）优化部分，空间板系有限元计算部分和有限元结果的后处理（绘制应力等值线和变形图）的部分。

在论文工作中，作者还用三种设计计算方法（材力设计方法、平面有限元和空间有限元计算方法）对一台 8000 千牛的机械压机上梁进行了静力分析，同时还用模拟实验

的方法对该上梁进行了实验测试, 计算和测试的结果表明, 在所选用的一种计算方法中, 空间板系有限元计算的结果与实验测得的结果最为接近, 因而从一个方面证实了空间板系有限元计算方法的实用价值。同时, 计算的过程表明, 由于使用了论文中提出的有效的有限元的前后处理功能, 使得用空间板系有限元进行计算的时间和复杂程度都不比其它的方法高太多。该方法便于掌握易于操作, 是很适合于工程应用的方法。

答辩日期: 1986 年 3 月 11 日

宽砧强压轴类大型锻件的云纹法模拟研究

压力加工专业研究生 钟 杰 指导教师 曹起骧 谢 冰

本文首次运用光电扫描云纹法模拟研究了宽砧强压轴类大型锻件内部孔穴的闭合规律以及内部的应力、应变分布规律, 为大型锻件生产和科研的发展提供了科学依据。

随着科学技术的发展, 在电力、化工、造船和重型机器制造等各个部门都提出了制造大容量、大功率、高性能、高参数大型锻件的需要, 这些大型锻件一般都是一些大型成套设备中的关键零件, 所需钢锭一般为几十~几百吨, 其生产周期长, 制造难度大, 价格昂贵, 报废一个锻件就会给国家带来几十万, 甚至几百万元的经济损失, 更重要的是这可能会直接影响到大型成套项目的建设, 以至影响整个国民经济的发展, 因此如何生产出优质锻件一直是人们关心的问题。

钢锭内部存在的缺陷往往是导致锻件报废的一个致命原因, 依靠锻压来消除这些缺陷已为众所公认。早在 50 年代, 美国伯利恒钢铁公司就根据锻造插入芯棒的锻件, 得到了心部收缩率, 以此得出宽平砧的锻造效果最好, 以后东德学者 G. Jureteek 又进一步指出宽平砧锻造时, 最理想的砧宽比范围是 0.6~0.8, 到 70 年代中, 西德学者又根据锻造带有人工缺陷孔的锻件, 指出最佳砧宽比为 0.65, 到 80 年代, 日本学者福井义典根据刚塑性有限元计算, 指出砧宽比应大于 0.8, 显然, 在实际中存在这样大的最佳砧宽比范围是不合理的, 造成这种情况的主要原因是测量或计算的精度低以及测量的标准不统一, 不是以孔的临界闭合作判据, 因此, 探索一种新的先进方法来进一步研究是很有必要的。

日本学者曾研究过内部的变形分布, 但仅局限于砧下对称横截面上的平面变形, 而且精度较低, 因此为了研究每砧的锻造效果, 有必要研究砧下整个作用面内的变形分布及变形规律、应力规律、孔穴闭合规律。

平砧锻造已成为当前世界大锻件生产的发展趋势, 但目前对于最佳砧宽比、压下率、翻转次数等都还不甚了解。为生产出优质大锻件, 工厂迫切需要提供锻合内部缺陷所需要的锻造工艺参数, 而要做到这一步, 必须系统地进行研究, 为此, 我们以一种新型的平砧锻造工艺——“WHF 锻造法”为研究对象, 以工厂即将投产的 $\phi 2\text{m}$ 轧辊的制造作为问题研究的生产背景, 首次利用两种先进的试验手段, 密栅云纹法和临界压合

气动测试法,系统地研究了锻件内部孔穴的临界压合状况,研究了锻件内部的变形规律、应力规律以及内部孔穴闭合规律,并为工厂提供合理的锻造工艺参数,这就是本文将要进行的工作,可以预计,本论文的工作将为推进大型锻件生产和科研的发展提供科学依据。

本试验选用纯度为 99.99% 的铅作为模拟材料,经 $\sigma-\epsilon$, $\sigma-\delta$ 曲线以及摩擦系数 μ 的测定,结果表明它符合塑性模拟准则,可以模拟热态下钢的锻造。

基于以前孔穴闭合测量困难、精度低,我们开发了一种新型的测试方法——临界压合气动测试法,该法具有结构简单,使用方便,能够准确地测定孔穴临界闭合时的压下量,并能进行连续多点同时测量,为探索内部孔穴的临界闭合规律提供了一种新的有效方法。

根据这台“临界压合气动测试仪”,我们获得了不同砧宽比下、不同位置孔穴的临界闭合曲线,并获得于砧下 $1/5D_0$ 区内孔穴的闭合图。

最后用三种方法检验了临界压合气动测试法的精度,表明该方法是相当可靠的。

通过云纹法试验得到了不同砧宽比下、各个变形阶段的变形云纹图。从云纹图可以很直观地分析内部的变形分布,当砧宽比 $w/N_0 \leq 0.4$ 时,可以很清楚地看到“双鼓”形产生,表明心部受较大拉应力,变形也很不均匀,从而孔穴闭合不利。

通过对等 ϵ_t 图的分析,得到了一种大变形区的概念,在这个区内缺陷都能锻合。这个区在小砧宽比时呈“□”形,在大砧宽比时变成“△”或“□”形,说明砧宽比大时对心部变形有利。同时也分析了应变沿 X , Y 方向的分布规律,表明砧宽比过大或过小都不利于心部均匀变形,故推荐砧宽比为 $0.5 \sim 0.7$ 。

此外,对变形体内部的应力也进行了初步分析,获得了应力分布曲线。

1. 锻合缺陷范围不超过砧宽的 $60 \sim 65\%$,因此在翻转或后续锻造中,应尽量使未压合区处于砧子作用中心。

2. 砧宽比的优选顺序为 $0.6 \sim 0.7 - 0.6 \sim 0.8$ 或 $0.5 \sim 0.8$,使 $\phi 1$ 人工孔穴闭合的最佳压下率范围为 $20 \sim 28\%$ 。

3. 锻造中在不产生折叠情况下尽量满砧送进。

结论

1. 设计、制造了一台临界压合气动测试仪,结果表明这是一种测定孔穴临界闭合的有效方法。

2. 利用这台仪器测定了模拟试件内部孔穴的临界闭合曲线,研究了三种模拟孔穴($\phi 1$, $\phi 0.8$, $\phi 1.5$)的临界闭合规律,表明存在着一个约占砧宽 $35 \sim 40\%$ 的砧下“不闭合区”。

3. 用云纹法研究了“WHF”锻造法的变形特征,变形分布及应力分布,并对孔穴闭合及变形区的深入与扩展进行了研究。

4. 从不同角度提出了最佳砧宽比范围:

①临界压合试验结果: $w/H_0 = 0.6 \sim 0.8$;

②从最大变形区 ($1/5D_0$ 内): $w/H_0 = 0.6 \sim 0.8$;

③从变形均匀性, $w/H_0 = 0.5 \sim 0.7$;