



FHMW TECHNOLOGY

一重技术

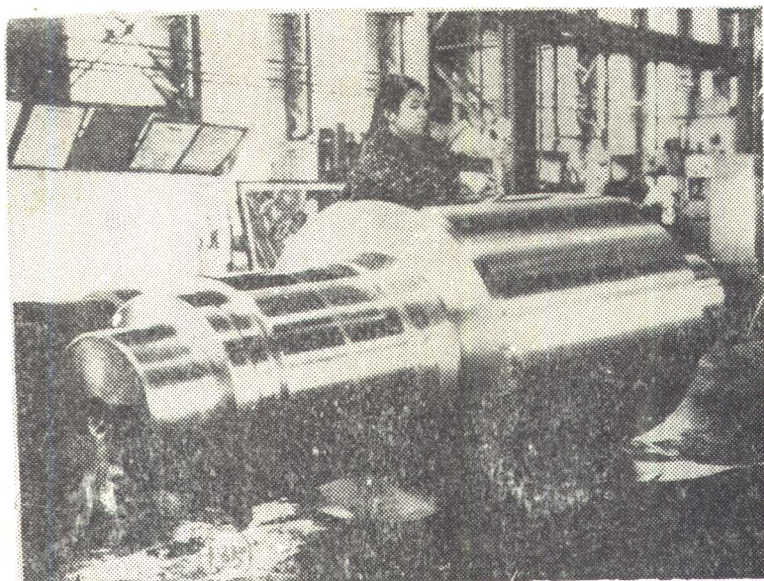
(二十五周年热处理专辑)

赠 燕女 (冬) 世 第

2

敬亮 16/12-86 1986

第一重型机器厂



封面设计：李世忠

1986年第2期 《一重技术》（总33期）
（二十五周年热处理专辑）

编辑出版：第一重型机器厂科学技术协会
第一重型机器厂技术情报科

印刷：齐齐哈尔第三印刷厂
责任编辑：孟庆平 一九八六年十月

（赠阅、请交流）

黑龙江省期刊登记证第424号 本刊代号：33-120

目 录

二十五年来热处理生产技术的进展

.....罗国伟 (1)

我厂大型支承辊热处理技术的进展

.....罗国伟 李燕芳 赵永祥 田学敏 (5)

大型支承辊的差温热处理

.....田学敏 (10)

大型发电机转子的质量与调质处理

.....曹文亮 (13)

用25CrNi3MoV钢制造发电机转子

.....王而震 (17)

回火参数的引用及初步效果

.....李若苓 (27)

钢的回火工艺试验回归方程

.....赵 谦 (32)

白点、白斑及其鉴别

.....姚铁光 (36)

蒸汽机车十字头断裂故障分析

.....姚铁光 (40)

GCr15环规表面致裂原因分析

.....李福利 (45)

中碳钢薄壁管件的工频淬火

.....赵永祥 阎仁午 张俊彦 (48)

桥式起重机走行轮的工频淬火

.....张俊彦 赵永祥 阎仁午 钱井春 (52)

低温加载矫齿正扇变形

.....周世昌 (54)

二十五年来热处理生产技术的进展

热处理分厂厂长工程师 罗国伟

今天，我们的工厂——第一重型机器厂已经渡过了开工生产以来的二十五个春秋。在这四分之一世纪里，我们的工厂已生产了数十万吨的重型机器产品和大型铸锻件。其中许多产品填补了国内的空白，成为我国工业与国防建设的重要装备，为“四化”大业做出了贡献。

重型机器厂是综合性工厂，各个专业都有自己的作用和地位。热处理和金属材料工作者虽不能直接塑造产品零部件的躯体和容貌，但却能够改变零件的内部组织结构，使其具备一定的机械与物理化学特性，以满足制造和使用过程的需要。可以说，零件的硬度、强度、塑性、韧性、耐磨性、耐腐蚀性等各项性能的提高都包含着材料热处理工作者的心血和劳动的结晶。

重型机器厂的产品名目繁多，涉及到的热处理生产技术也多种多样，但综合起来三个主要方面是缺一不可的：工艺是主体，材料是基础，装备是手段。热处理专业与冷、热加工各专业有着密切的联系。热处理工艺的进步和质量的提高，在很大程度上依赖于炼钢、铸造、锻造、焊接、冷加工等各方面的技术进步，而大件的热处理工艺改进则常常需要进行系统的试验研究、科学分析和生产性试验。多年来，许多科研单位和大专院校，如上海材料研究所、北京机电研究所、北京钢铁研究院、沈阳铸造研究所、东北重型机械学院等，都曾与我们共同协作，对我厂热处理生产技术的发展做出了有益的贡献。

一、轧 辊

轧机是我厂的主要产品。轧辊是轧机的重

要部件，分为热轧辊、冷轧工作辊、支承辊等。我厂是国内第一个生产1150初轧机的厂家，其中热轧辊用60CrNi钢制造，经正火回火，硬度达HB217—269。针对我国资源情况，我厂研制了60CrMnMo钢热轧辊，它成为廿五年来我厂的主要生产品种。随后，我们又改进了生产工艺，以调质取代正火回火，硬度可提高至HB241~286或HB255~302，质量又进一步提高。七十年代末期，根据外贸的需要，我厂发展了50CrNiMo、50CrMnMo等钢号，生产了各种级别硬度并且有纵向、切向机械性能要求的各种热轧辊，并已远销国外。近两年来，我厂研制锻造铸铁热轧辊新品种，通过试生产已初步摸索到这种材料的淬火工艺方法。

冷轧工作辊要求硬度Hs90以上。六十年代以前国内尚未掌握其制造技术，全靠国外进口（据介绍，国外冷轧辊淬火废品率也很高）。1962年我厂开始试制冷轧工作辊，钢号是9Cr2W和9Cr2Mo，采用井式炉辊身快速加热（辊颈绝热保护），然后在水槽激冷圈中淬火。在试制过程中，通过自己的理论计算和实物加热测温试验，编制出具有本厂特点的快速加热工艺。首批试制成功的直径500毫米工作辊在鞍钢进行使用鉴定，其寿命超过当时从苏联进口的轧辊，与英国轧辊的水平基本相当。1964年我厂建成了工频感应加热淬火机床等设备，冷轧辊采用工频感应加热渐进式淬火的新工艺。1978年，我厂又试验工频双感应器加热（以往是单感应器），并逐步将这一技术推广应用于各种大直径冷轧辊工频淬火。双感应器加热工艺，延长了奥氏体化时间，增加了加热深度

和淬硬层深度。1980年以来,试制了冷轧辊新材料9Cr3Mo1钢,该钢号的 $\phi 660$ 毫米工作辊经工频双感应器加热淬火后硬度达Hs93~97,均匀性达Hs ± 1.5 ,其解剖淬硬层分布情况请见图1。在深17毫米处平均硬度Hs90,质量水平与国外七十年代末的水平相当。

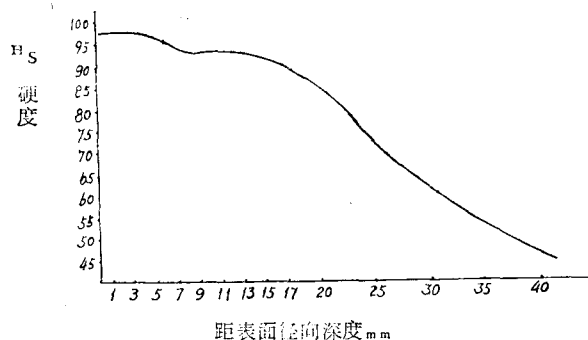


图1 $\phi 660$ 钢号9Cr3Mo1工作辊工频双感应器加热淬火后淬硬层分布

大型支承辊我国五十年代也是全靠进口。六十年代我厂先后试制成功大型整锻支承辊和镶套支承辊。整锻支承辊最常见的是9Cr2Mo钢,直径1150~1500毫米,经正火回火其硬度达Hs40~45。还有80CrNi3W钢直径1300支承辊,正火回火其硬度为Hs45~55。镶套支承辊的辊套是3Cr2Mo锻钢,经调质球化后淬火回火,其硬度为Hs60~85。这些支承辊试制成功,填补了国家的空白,对冶金工业生产起了重要的作用。但是,在十年动乱中,我们的制造技术处于停滞状态,和国外的技术差距拉大了。1977年,针对我厂整锻支承辊长期以来钢号单调(9Cr2Mo)、工艺单一(正火回火)、硬度偏低(Hs45以下)、质量较差(寿命低)的状况,我厂制定了十年赶上国际水平的计划,对热处理工艺、设备、材料进行综合研究,全面改革,大胆创新。在国内首创了采用台车式炉进行大型支承辊快速差温加热淬火回火工艺,先后采用了54CrMnMo、9Cr2Mo、70Cr3Mo等多种材料,进行过油淬、水淬油冷、喷雾淬火等多种淬火方式。在

设备上,我们相应地改造了卧式喷雾装置,并且为支承辊辊身快速加热专门建造了开合卧式差温热处理炉。几年来,我们先后试制成功中档硬度(Hs50左右)和高档硬度(Hs60~70)的整锻支承辊。其中,用于武钢的直径为1570毫米的支承辊(钢号70Cr3Mo),经差温炉快速加热及喷雾淬火,其表面硬度Hs达60~70,均匀性达Hs ± 3 ,淬硬层深度在深75毫米处为Hs60,其质量基本相当于从日本、西德进口的辊子的水平(国外七十年代末水平)。可以说支承辊十年规划的目标已经实现。

二、锻压设备

锻压设备也是我厂的主导产品,1960年我厂生产12,500吨水压机,大立柱每件重百吨以上,采用分段锻造、粗加工后电渣焊成整体的制造技术。为此,我厂自行研制了20MnSiMo钢。该钢种焊接性能较好,电渣焊后经正火回火处理达到较好的综合性能。后来,在生产水轮机大轴和3万吨模锻水压机立柱等特大型铸锻件时也采用了电渣焊结构。所采用的钢种为苏联钢号20MnSi和北京钢铁研究院钢号18MnMoNb,在电渣焊后经正火回火处理都获得良好的综合性能。

水压机的大柱塞过去是低硬度状态使用,耐磨性差,寿命低。1966年我厂利用 $\phi 750$ mm机床进行了 $\phi 1030$ mm柱塞的工频表面淬火,1981年建成 $\phi 1800$ mm机床后又进行了 $\phi 1420$ mm、 $\phi 1290$ mm等大柱塞的工频表面淬火。通过工频淬火,柱塞表面硬度在HRc40以上,大大提高了耐磨性。1975年以来,我厂对模锻锤锤杆进行工频局部表层淬火,提高了疲劳强度。工频淬火提高了锤杆和柱塞的使用寿命,带来了较大的社会效益。

三、大型铸锻件

我厂是我国大型铸锻件的主要生产基地之

一,六十年代初就担负起大型电站铸锻件的生产任务。10万千瓦至20万千瓦火电发电机转子是用34CrNi3Mo钢制造的,水轮机高压转子是用30Cr2MoV钢制造的,它们经过调质热处理后其纵向、切向、径向常温性能和高温持久蠕变强度等项目的质量都达到部颁标准,即苏联五十年代末的水平。七十年代,我厂又新发展了26Cr2Ni4MoV、25CrNi3MoV、28CrNiMoV等电站转子用新钢种。由于炼钢铸锭采用了真空碳脱氧、真空浇注等新工艺,锻件冶金质量的提高给热处理工艺的改革创新创造了有利条件。发电机转子的热处理从原来的正火回火发展到淬火回火,淬火冷却从油冷逐渐发展到水淬油冷、全水冷,即向激冷、深冷发展,从而使转子的综合性能大为提高。20万千瓦发电机转子锻件获得国家质量银牌奖。1984年生产的30万千瓦火电发电机转子的各项性能(其中轴芯的FATT达到 -23°C)和内部质量达到美国西屋公司标准。在水电铸锻件方面,六十年代以来我厂生产了30万千瓦及其他容量的水轮机大轴、转轮、发电机大轴等许多大型铸锻件,经热处理后性能良好,许多产品已在全国各地水电站运行十几年、廿几年。在长江葛洲坝水电站建设项目中,我厂在沈阳铸造研究所的协助下,试制了0Cr13Ni4Mo不锈钢大叶片铸件,研究了该钢号的相变规律,科学地制订热处理工艺,防止了裂纹并获得了较好的综合性能。已生产数十个大叶片,质量达到国外同类产品水

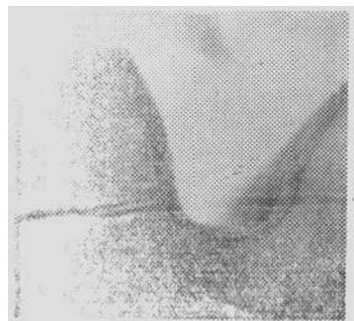
平,为我国的水电事业贡献了力量。

四、高压容器和军工产品

高压容器锻件、特种锅炉的锻件、军工产品锻件往往都有一些特殊的技术要求,如要求细晶粒,不允许有魏氏组织,要求低温冲击韧性和良好地的综合性能,厚靶板要求大截面韧性断口,有的产品要求防辐照脆化——即在长期辐照后仍保持有高的塑性和韧性,耐腐蚀性等等。这些苛刻的要求给热处理生产技术带来了许多难题。但是经过试验研究不断地改进工艺和操作,终于一个个地解决了这些难题,生产出优质的产品。

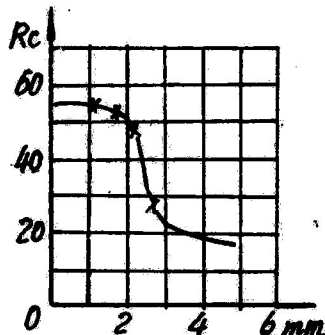
五、表面热处理和各类中小件热处理

表面热处理和化学热处理也是重机行业热处理的一个重要组成部份。大模数齿轮沿齿沟中频淬火是我厂首先试制成功并推广应用的,从图2可以看出其淬硬层分布情况较合理。在双锥形空心辊中频淬火、大凸轮淬火、大八字齿轮轴表面淬火、大件火焰表面淬火、桥式天车走轮工频淬火、细长空心件工频淬火等方面我厂也有独到之处。在渗炭、氮化、渗硼等化学热处理方面,同样有我们的特点。



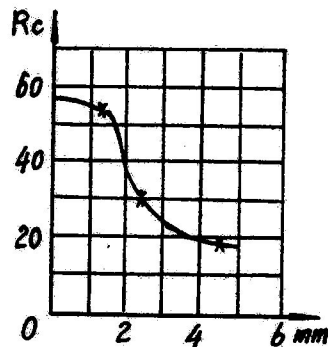
(1)

16号试样沿齿沟中频淬火后
解剖的低倍照片



(2)

16号试样齿根处从表面至中
心硬度分布曲线



(3)

16号试样齿根处从表面至中
心硬度分布曲线

图2、齿轮沿齿沟中频感应淬火后解剖检验情况

大型蝶簧、盘簧等大型特种弹簧是我厂的特有产品，它们要求有高的弹性而又不脆，形状特殊又要求淬火时变形很小，试验和使用中尺寸稳定不产生永久变形等。所以其热处理工艺和操作也另有特色。我厂的大型弹簧在国内颇负盛名。

在工具热处理和机修热处理方面，我厂在新钢种高速钢淬火工艺、拉刀热处理、高速钢焊接刀具、硬质合金刀具焊接、各类机床另件热处理等方面都有许多建树，为本厂提供了大量优质的刃具和工具，为设备修理提供了许多优质的备件。

六、锻后热处理

去除氢气防止产生白点是大锻件锻后热处理的主要任务之一。1965年以前，我厂大锻件绝大多数是用大气浇注钢锭制作的，含氢量比较高。但在实践中我们逐步形成了一套适合本厂技术质量水平的锻后热处理工艺制度，质量是稳定的。十年动乱中，钢的质量下降，去氢时间也一再延长，使锻后热处理总周期一般为数百小时，长的达千余小时。真空浇注大量投产后，钢锭中含氢量的下降为改革锻后热处理工艺创造了条件。近五年来，我厂和东北重型机械学院、大锻件研究所、各兄弟厂一起组成联合课题组，进行了大量的试验研究和生产性试验。通过这些工作，我们对铸件排氢计算、无白点极限氢含量、钢锭结晶和锻造过程中排氢、沿截面氢分布状况等问题提出了一些见解，为今后的工作打了基础。我厂1981~1984四年间缩短去氢时间生产性试验104炉、418

件，节约煤气4060千米³，仅此就节约费用125,860元，取得了明显的经济效益。

七、材料

廿五年来在材料研究方面取得了大量的成绩。六十年代初，我厂对大锻件合金结构钢进行了较系统的研究，提出了五级结构钢材料系统，其中35SiMn、35CrMnMo、32Cr2Mn4Mo、18CrMnMoB等钢号曾较为广泛地应用。后来又将37SiMn2MoV钢从军工移植到民品。此外，还有电站铸锻件用钢、轧辊用钢、电渣焊接用钢、高压容器用钢和军工用钢等也做了许多工作。近几年又发展了电磁铁用钢、锻模钢新品种及石油化工用钢等等。对它们的成份、热加工特性、热处理工艺等做了一些试验研究，为发展我国大型铸锻用钢新品种作出了贡献。

第一重型机器厂已经走过了廿五年的历程。在党和政府及各级组织的领导下，经过全厂职工和工程技术人员的辛勤劳动，我们的工厂在各个方面都获得了长足的进步，取得了显著的成就。上述点滴也仅仅是概略地列出了我厂热处理材料工作者的部份劳动成果，难免挂一漏万。勤劳朴实是中华民族的传统美德，工厂热处理材料工作者将同全厂职工一道，在今后的年代里，为第一重型机器厂的腾飞，为使我们的工厂能够生产出更多具有国际先进水平的产品并跻身于国际先进技术行列，也为振兴中华大业，而埋头工作，发奋努力，做出自己应有的贡献。

仅以此文祝贺我们工厂的二十五周年。

我厂大型支承辊热处理技术的进展

热处理分厂工程师 罗国伟

铸锻焊研究所工程师 李燕芳

热处理分厂工程师 赵永祥

热处理分厂工程师 田学敏

〔提要〕：本文回顾了第一重型机器厂二十五年来大型支承辊热处理技术的发展过程，着重介绍了1977年以来在试验新工艺、研制新材料、建造新设备等方面所取得的综合成果，从而提高了支承辊的制造质量，发展了新品种。

支承辊是冷、热板材轧机上的主要零件，尺寸与重量大，国内一般直径为1100~1600毫米，重量15~55吨，国外目前直径最大达2000毫米，重达240吨。支承辊支撑着工作辊，工作中承受着巨大的轧制压力、冲击负荷、弯矩、扭矩和同工作辊的摩擦力，要求它有高的刚性、精度、耐磨损性能、抗剥落性能和抗断裂性能。因而制造大型支承辊就必须掌握复杂的生产技术，并拥有相应的大型设备。

我国从六十年代初开始试制大型支承辊，很快投入了成批生产，基本上满足了冶金工业的需要。二十多年来，我厂制造大型支承辊的热处理技术的发展是起伏曲折的，大致可分为三个时期，即：62~66年是试制与成批生产的初期；67~76年是技术停滞时期；77年至今是技术新发展时期。

一、试制、或批生产初期

1962年我厂开始试制大型支承辊，随后投入成批生产。至1966年是制造技术的上升时期，我厂生产的支承辊居国内首位，已基本上满足国内冶金工厂的需要。

最常生产的典型品种是直径1150~1500毫米的9Cr2Mo整体支承辊，要求硬度Hs35~55

(即低档范围)，用碱性—酸性平炉双联冶炼大气浇注钢锭锻造制成。其最终热处理是在台车式煤气炉中进行，正火+回火热处理后硬度为Hs40~45。

我厂还生产过直径1300毫米30CrNi3Mo钢整锻支承辊，正火+回火硬度可达Hs45~55。由于该钢号含Ni高、成本高等原因，仅制造了4件就不再生产了。

直径较小的1000毫米9Cr2Mo支承辊，也采用整体加热淬火+回火的工艺，该件热处理前加工出轴向通孔，辊身部份有直径300毫米鼓形孔。淬火回火后辊身硬度为Hs60~75。

我厂也生产过镶套式支承辊，辊身是9Cr2Mo钢锻造辊套，半精加工后淬火+回火，硬度为Hs65~75或Hs70~85。镶套支承辊冷加工工序比较复杂，成本高，生产能力低，产量比整体锻造的辊子少得多。

这一时期我厂试制生产的大型支承辊是在借鉴苏联工艺制造技术的基础上进行的，从表1的对比中可以看出，其质量情况也与苏联五十年代中后期的水平相当。

二、技术停滞时期

1967~1976年十年动乱中大型支承辊的制

造技术处于停滞时期。品种没有发展，在制造中出现了忽视质量的严重倾向。例如，大量采用碱性平炉冶炼代替碱性—酸性平炉双联冶炼，显然钢的冶金质量差得多。由于管理混乱，在冶炼、铸锭、锻造、冷加工、热处理等工序中有时随意更改工艺，生产安排也往往只图进度，不考虑质量后果。1970年~1973年间9Cr2Mo钢整锻支承辊在本厂内和用户都曾在自然放置过程中发生过断裂事故。支承辊成批断裂是十年动乱中典型的质量事故之一。

这一时期中，也曾用60CrMnMn钢正火+回火，硬度Hs33~40的支承辊去代用9Cr2Mo钢正火+回火、硬度Hs40~45的支承辊。从成份和硬度上可以看出代用品耐磨性差，不能满足冶金工厂的使用要求。

三、技术发展新时期

六、七十年代美、日等先进国家在整体支承辊制造技术上有了显著发展：①在冶金质量上，一般采用碱性电炉炼钢，钢液经过真空除气、吹氩、真空浇注等净化措施；②在热处理工艺上，采用辊身表面深层快速加热淬火+回火（加热方式有差温炉加热与工频感应加热两种），辊身表面有较高的硬度，中档为Hs50~60，高档可达Hs60、Hs65以上，而且心部又有良好的机械性能，从而延长了使用寿命；③材料上相应地降低了含碳量，提高了Cr、Mo含量，即考虑了经受激冷淬火的需要，又可提高抗断裂性能和抗剥落性能；④设备上为尽量保证实现工艺要求，分别使用了轧辊专用差温加热炉、大型工频加热设备和喷水或喷雾淬火冷却装置等。

1977年我厂对自己的生产现状进行了分析。当时我厂采用的冶金工艺是碱性或酸性平炉冶炼，大气浇注，钢水纯净度差；热处理工艺是简单的正火+回火；材料是耐激冷性能较低的9Cr2Mo，钢号单调；设备陈旧，袭用老的台车式加热炉。因而我厂当时生产的支承辊

综合性能低，表面硬度为Hs40~45的低档，产品寿命比国外低得多。

基于这一状态，77年我厂拟定了“整锻支承辊十年赶上世界水平的初步设想”。其中心内容是提高冶金质量，采用真空净化技术，改革热处理工艺，进行差温热处理，研究新材料等，以便使我厂生产的支承辊表面硬度可达中、高档水平，并全面提高支承辊的综合性能，达到或接近七十年代末国外先进产品的水平。

（一）改善冶金质量，强化锻造工艺

为综合提高支承辊的质量，1977年以来在炼钢、铸锭、锻造等方面做了大量工作。77年首先恢复了碱性平炉+酸性平炉双联冶炼工艺，起到了稳定支承辊质量的作用。79年我厂大型真空室投产以后，对支承辊钢锭，从逐步推行到全面采用了真空浇注，大大地提高了钢的纯净度。锻造上为了充分锻合钢锭心部的疏松、孔隙等，也为了减轻或避免出现网状碳化物组织，从加热到锻造变形，在工艺方法上采取了许多有利于心部烧透、锻透的措施。如至少要经过一次锻粗；锻比应大于3；拔长时使用宽砧子并加大压下量；控制恰当的停锻温度等。这些措施为热处理工艺的改进提供了有利的基础条件。

（二）采用差温热处理技术

差温热处理是国外六、七十年代发展起来并大力推广采用的一种热处理新工艺，它能够使轧辊表层获得高硬度、高耐磨性能和高抗剥落性能，而轧辊心部又可具有高抗断裂性能等良好的综合性能，从而将可提高轧辊质量和延长使用寿命。1977年以来，我厂在整锻支承辊采用差温热处理技术上做了不懈的努力。八年来，根据各时期的主、客观条件，先后从工艺、材料、设备等各方面进行了试验、研究和改进，逐步达到综合发展，目前已初步成龙配套，可以生产出中、高档的整体支承辊。

我厂差温热处理的主要工程内容可见于图

1.

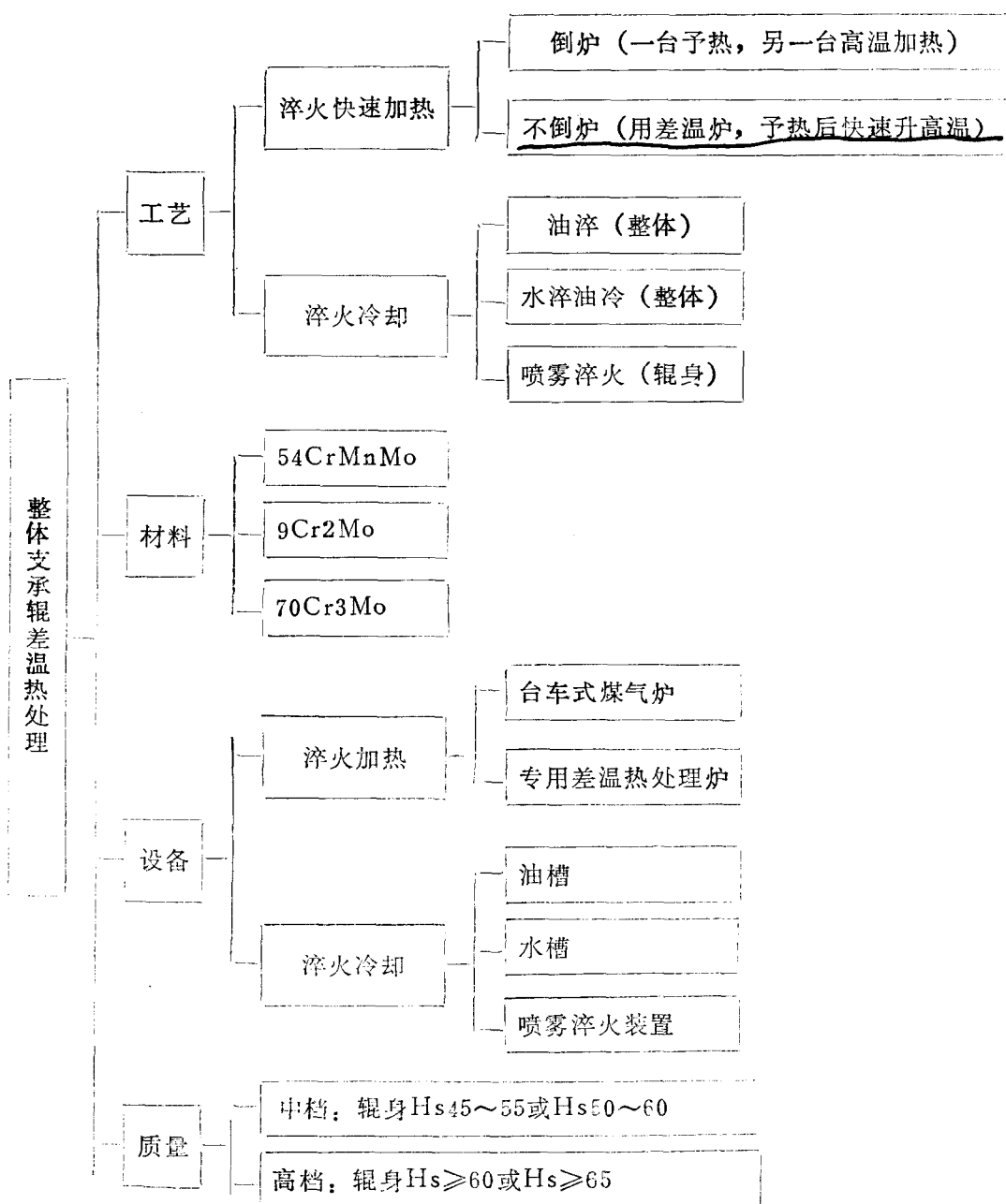


图1 支承辊差温热处理主要工程内容示意图

1、54CrMnMo钢差温淬火支承辊:

为了减少淬火开裂危险性和提高心部的强韧性,我厂采用中炭的54CrMnMo钢,试制首批差温淬火支承辊。该钢号是以热锻模钢5CrMnMo为基础,并提高了合金元素含量。

在制造工艺上采用碱性—酸性平炉双联冶炼,锻造和锻后热处理也分别采用一些提高心部质量的措施。其心部金相和机械性能试验结果确实比以前碱性平炉冶炼的9Cr2Mo钢支承辊要好,这就为差温淬火创造了条件。

54CrMnMo支承辊差温快速加热设备是使用原来的台车式煤气炉，这在国内是首次采用。

为了摸索工艺，我们曾进行加热冷却测温试验。淬火前辊身表面温度为860℃，深150毫米处温度在Ac₁以上，心部约650℃，达到差温加热的目的。支承辊经油淬并回火后表面硬度为Hs50~60。曾两次切试片检查径向硬度分布等，在深120毫米处硬度为Hs47或以上。金相组织和机械性能均较好。

54CrMnMo钢支承辊差温淬火试制成功为我厂支承辊热处理技术的发展开拓了一条新路。支承辊辊身硬度从低档进入中档范围，但是用户反映其耐磨性仍不够理想。我们认为可能是该钢号C、Cr、Mo含量较低，差温淬火支承辊的试制应扩大钢号范围。

2、9Cr2Mo支承辊的差温淬火：

9Cr2Mo支承辊原采用正火+回火工艺，硬度为Hs40~45。1981年用户要求提高硬度至Hs45~55，我们采用差温加热正火的工艺未能达到要求。于是决定在9Cr2Mo钢真空浇注钢锭制成的锻件中选用探伤检查质量良好的支承辊进行差温加热淬火试验，其工艺与54CrMnMo钢相似。试制结果硬度达到Hs45~60，四年来已连续生产了50余件。

9Cr2Mo是高碳工具钢，大型整体支承辊过去一般不敢淬火激冷。五十年代苏联工艺调质油冷时辊身要加工出直径400毫米的鼓形孔，我厂的9Cr2Mo大型支承辊在只有直径150的轴孔或实心的情况下，采用差温加热淬火工艺获得成功，是一项十分可喜的进步，其中炼钢、铸锭、锻造等工序也为热处理工艺改进提供了良好保证。

9Cr2Mo钢支承辊在台车式炉内进行差温加热和油淬时，轴颈硬度往往偏高，给精加工带来了困难。如用绝热，又易造成硬度不均匀。1982年我们对原有卧式喷雾淬火装置进行改造，将原来固定距离的喷嘴改进为可调整式的，可以适当地调节冷却强度。支承辊在该设备上淬火，辊身可喷雾，辊颈可空冷或吹风冷

却，有利于控制辊颈硬度范围。1984年我厂建成专用差温炉，9Cr2Mo支承辊采用差温炉加热辊身、卧式喷雾淬火的工艺，质量更为稳定。

3、70Cr3Mo钢支承辊的差温淬火：

整体支承辊要向高档硬度发展，54CrMnMo钢和9Cr2Mo钢都不大合适。一是合金元素含量较低，二是后者难以经受住更激烈的淬火。我厂在参照日、美材料的基础上，决定试制70Cr3Mo钢支承辊，质量的主要目标是硬度Hs60~70、层深100毫米左右的高档标准。对该钢号我们一边在试验室进行试验研究，一边进行轧辊试生产。

1982年投产了直径1250毫米的70Cr3Mo支承辊，在台车式炉差温加热淬火，经油冷的硬度达到Hs55~65，经水淬油冷的硬度达到Hs62~66。这些辊子在鞍钢使用时反映良好。

随之，我们投产了直径1525~1570毫米的70Cr3Mo钢支承辊，开始是在台车式炉差温加热然后喷雾淬火，辊身硬度可达Hs62~67或Hs65~70，但在硬度均匀性和辊颈硬度的控制上感到比较困难。台车式炉技术性能是有限度的，生产中档硬度或虽是高档硬度但均匀性要求不苛刻的支承辊，在认真仔细操作的情况下可以生产出合格的产品，而对于高档硬度并且均匀性要求苛刻的支承辊，台车式炉的工程技术能力就不够充分了。我厂从1981年开始筹建差温加热炉，在部设计总院的共同努力下，1984年专用的开合卧式轧辊差温热处理炉建成投产了。此后70Cr3Mo钢支承辊采用差温炉预热并直接快速升温加热、卧式喷雾淬火工艺。

差温炉的加热和喷雾淬火工艺是在测温试验的基础上确定的，我厂的接触式同步旋转测温技术是一项重要的技术成果，在国内同行业中居领先地位。

70Cr3Mo钢支承辊淬火还做了验证试验件，用试棒和切片检查径向硬度分布等。轧辊成品表面硬度为Hs62~67或Hs65~70，辊身表面硬度均匀性为±Hs2.5个单位，辊颈硬度为Hs40±5，试件检验在深75毫米处为Hs60，

全面达到武钢支承辊的技术要求，与进口支承辊质量大致相当。可以说经过八年的努力，已经基本上实现了1977年提出的十年规划目标。一重厂的整体支承辊热处理技术已达到能够生产低、中、高三档硬度的多种材质的大型支承辊的水平，质量上也大致与国外七十年代末期的水平相当。

四、结 语

八年来经过全厂各部门的共同努力，在支承辊热处理技术上取得了十分可喜的进步，但还有许多问题需要进一步研究。

1、需要进一步熟悉和完善专用差温炉和喷淬设备。今明年准备建成中低温回火电炉，使回火工序的温度控制更加准确可靠，使支承辊的硬度更趋均匀稳定。

2、仍需要对70Cr3Mo钢进行试验研究，适当调整成份范围，寻找最佳组合，并完善基础研究工作。在70Cr3Mo钢成批稳定生产的同时，还应着手开发支承辊新钢种。

3、差温淬火仍是一项不够成熟的新工艺，对加热、冷却参数应开展一些基础研究工作。温度场的测定和应力场的分析是一项重要而较困难的课题。现场的实测试验和现代的数学计算的结合，也是一项十分艰巨的工作。相信不久的将来我厂支承辊的差温加热、淬火冷却工艺参数的确定会从依靠经验升华到科学计算分析的轨道上。

参考文献

〔1〕“整锻支承辊十年赶超设想”，本厂资料，1977年。

〔2〕“碱性平炉冶炼9Cr2Mo钢制作支承辊总结”，本厂资料，1975年。

〔3〕“54CrMnMo钢整锻支承辊快速加热淬火首批试制总结”，本厂资料，1980年。

〔4〕“支承辊差温热处理测温试验总结”，本厂资料，1980年。

〔5〕“9Cr2Mo钢支承辊快速加热差温淬火生产总结”，本厂资料，1982年。

〔6〕“70Cr3Mo支承辊首批试制生产资料汇总”本厂资料，1982年。

〔7〕“用台车式煤气炉进行大型支承辊的差温热处理”，《一重技术》1985年2期。

〔8〕“赴美国和日本轧辊考察报告”，1981年3月中国技术进口总公司轧辊技术考察组。

〔9〕“大型锻件生产技术赴日本考察资料”，1979年10月一机部赴日大型锻件技术考察组。

〔10〕“锻钢轧辊生产技术”，1981年9月，第二重机厂大锻件研究所。

〔11〕“JSN锻钢冷轧工作辊和锻钢支承辊生产介绍”，1981年9月，二重厂大锻件研究所。

〔12〕“轧辊译文集”，1974年10月，一机部情报所。

〔13〕“接触式同步旋转测温技术”，《一重技术》1985年2期。

〔14〕“延长轧辊寿命和改善性能的方法——差温热处理”，《大型铸锻件文集》1983年1期。

大型支承辊的差温热处理

热处理分厂工程师 田学敏

〔提要〕文章叙述了我厂大型支承辊差温热处理的工艺过程及设备概况。实践证明，我厂为武钢热轧机生产的支承辊同国外产品相当。

为适应由于轧机发展而带来的其机械备件需求量日益增多的趋势，我厂于一九八二年开始高硬支承辊的试生产。

支承辊是轧机中耗量大、吨位最重的常用备件。根据一九八一～八四年热处理记录统计，每年要有600～800吨订货，其中一九八一年超过1000吨。因此占领这个阵地也是我厂生存和发展所必须。

一、技术条件

武钢的这两条连轧线是我国目前自动化程度最高、生产能力最大、基本上能代表国际水平的连轧线，自投产以来其支承辊备件全部外购。按图纸要求支承辊冷、热加工方面的技术条件都高于我厂现有水平，因此生产出合格产品也必将促使我厂技术水平上升一步。图1是热轧线精轧机座支承辊主要尺寸图。

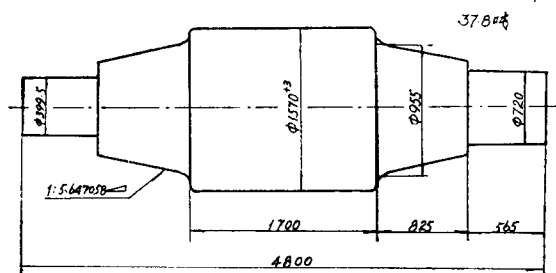


图1、热支承辊主要尺寸

武钢连轧机轧制速度高，热轧线精轧机座可达20～25米/秒。轧制力强，工作辊每米辊身可达1500～1700吨。轧材对工作辊产生的高频

率反复弯曲及冲击应力全部要由支承辊负担。因此要求支承辊辊身除了具有高的表面硬度（HRc48～50左右）、深的淬硬层外还需要有强韧的心部，以承受在轧制过程中各种巨大应力。辊颈在上轧机时要与套筒相配镶入油膜轴承，要求有适中的硬度（HB240左右）和良好的综合性能。表1中的技术条件就是上述要求的体现。

表1

工 件	辊 身 辊 颈			
	硬度 (Hs)	硬度均 匀度 (Hs)	淬硬度	机械性能
热 支 承 辊	62～67	±1.5	距表面 以下61 mm处 Hs≥ 58	40±3 $\sigma_b \geq 70 \text{ kg/mm}^2$ $ak \geq 2 \text{ kg-m/cm}^2$ K1c提供试料
冷 支 承 辊	65～70	±1.5	距表面 以下63 mm处 Hs≥ 60	40±5 记录 σ_b 、 σ_s 、 ψ 、 δ 。ak数值不作考核

二、热处理

支承辊的热处理共分两步，第一步是预备热处理，第二步是最终热处理。工件材质选定我厂自炼70Cr3Mo钢号，真空浇铸成锭，成份范围如表2，毛坯经过锻后处理与机械加工后便可进行热处理。

表 2

元素名称	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
含量 (%)	0.65 0.75	0.40 0.70	0.40 0.70	$\leq$ 0.025	$\leq$ 0.025	2.80 3.40	0.60 0.80	0.80 1.10
允许偏差 (%)	± 0.01	± 0.05	± 0.05					

1、预备热处理

预备热处理一般采用调质。调质的目的在于使工件内部金属组织获得较细晶粒度并具有良好的综合机械性能。辊身心部及辊颈的这种细密组织及性能应当保留在工件整个服役过程。

调质的加热工序在普通台车炉进行，而冷却工序应视其内部组织的优劣采用不同方式。当工件无损探伤各项指标合格时可采用较快方式如水—油冷、油冷等；内部有某些缺陷但仍可继续加工者可采用较缓和的冷却方式，如风冷或喷雾冷却等方式。较快的冷速及适当高的回火温度是获得良好性能的条件。

2、最终热处理

最终热处理采用对辊身进行差温热处理方法，包括差温加热、冷却、回火三部分。

经过调质后的工件应对辊身再进行一次探伤以确定其内部没有产生新的缺陷后即可进行差温加热。差温加热一般应用专业设备进行。我厂在差温炉建成前曾用普通台车炉加热，此时弊病在于①加热温度不均匀；②加热速度慢，工件蓄热量大，造成冷却时间加长，由此而带来冷却过程工件应力状态恶化及心部性能失效；③辊颈随炉被加热。因而失去了调质后所具有的性能，并极易造成最终达不到技术要求。

差温炉是专门用来对支承辊辊身进行差温加热的专用设备。由于采用无焰高速气流加热，且工件在炉内旋转，因而加热速度快，工件表面加热均匀。我厂差温炉在负荷前状态下，从500~1000℃加热阶段升温速度可以达到200~250℃/时。工件辊身沿轴向温差在淬火前可控制在15~20℃之内，当然这个温差目前还算

比较大，操作者还应当加强技术训练以减小温差。图2是差温加热炉示意图。从图2可以看出，辊颈在加热过程中受到冷却水套的保护，因而保留了调质后的性能。

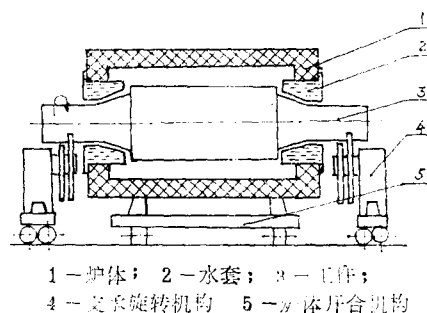


图2、差温加热炉示意图

图3为差温加热时辊身截面组织转变图。辊身受到大功率加热器产生的高温、高速气流的加热而使表面一定深度内达到 A_{c3} 以上温度，金相组织完全奥氏体化。再向内是 A_{c1} ~ A_{c3} 之间的半奥氏体区，而心部区间仍然是调质后的组织区，未发生相变，也就保留了调质后所获得的良好性能。

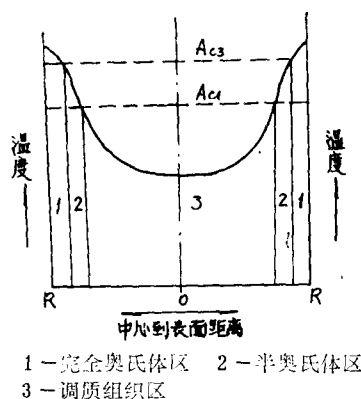


图3、差温加热时辊身截面组织转变图

差温加热后的冷却（淬火）是达到所需要技术条件的关键工序。所用的冷却介质和冷却方法各厂家都不相同。据有关资料介绍，国外如美、日等国多采用喷水冷却，国内有的厂家采用水—油冷方法制出了令人满意的产品，而我厂则采用喷雾冷却。无论哪种方法关键在于必须使辊身的完全奥氏体区在冷却时得到均匀的“淬火”，以期获得硬度均匀、具有相当深度的坚实的表面耐磨层。根据我厂某件辊淬火脱肩部位实测肖氏硬度 $Hs77\sim78$ （合 $HRC58$ ）分析，喷雾冷却后外壳层应为马氏体与下贝氏体混合组织。图4为淬火后工件截面硬度分布图。沿辊身的均匀冷却是使辊身硬度均匀性控制在要求范围内的先决条件。因此必须严

格执行在淬火前调整所使用的每个喷嘴冷却能力使之符合要求，以免导致淬火失败而功亏一篑。

喷水、喷雾冷却同属于局部冷却方法。这种方法的优点在于对工件的冷却强度和冷却部位可以随时按需要进行调整。在对辊身进行强冷时辊颈部位可以得到自然冷却从而降低了其热应力，这对于工件使用性能也是非常有利的。对于终冷温度的控制各厂家亦不相同，一般认为当工件内部材质优良时终冷温度可压低以期组织彻底转变，获得表层优良的使用性能。当工件内部材质稍差时则应提高终冷温度，以期减少应力。

工件冷却结束时应立即进炉回火。按我厂所用钢种和热处理条件，回火温度控制在 $500\sim520^{\circ}\text{C}$ 上下是比较合适的，可以满足技术条件要求。降低回火温度不利于延长使用寿命。

三、使用情况

我厂于一九八四年初按技术条件制造出冷、热支承辊各一对，同年六月热辊开始上轧线服役。经过十个月的实际生产证明，我厂的辊子并不差于外国，可以胜任连轧线生产。虽然由于试用时间较短，不能做出全面技术鉴定，但是用户对我厂的产品有了信心，已经签约订购合同。因此，只要我们在原有的基础上继续提高质量，保证技术条件，我们的支承辊就将有可能占领更多的冷热轧线阵地。

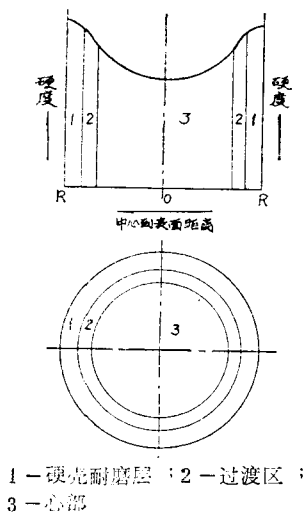


图4、淬火后工件截面硬度分布图

大型发电机转子的质量与调质处理

热处理分厂工程师 曹文亮

〔提要〕本文叙述了发电机转子、尤其是30万千瓦发电机转子的典型调质热处理工艺及其结果。

一、前言

转子被列为发电机的四大关键件之首。随着电机容量的不断增加，转子锻件也在向大型化和高质量方向发展。

转子外形如图1所示。发电机运行过程中转子将在高速（1500~3000转/分）下运转，因而将产生相当大的离心力、扭转应力和弯曲

应力，特别是中心孔部位承受应力更大。此外，转子还必须在长达20~30年内长期运行。所以要求转子锻件须具备很高的综合性能：

①心部均匀的高强度、高韧性，且中心孔表面不允许有裂纹、氧化皮及其它非金属夹杂；②整个锻件不允许有裂纹、白点及当量大于 $\phi 2\text{mm}$ 的非金属夹杂；③残余应力小；④高的抗疲劳性能；⑤磁滞损失少等等。表1列出了国内外生产的发电机转子的主要技术数据。

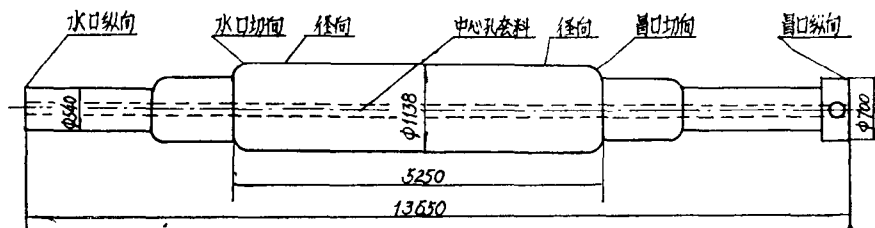


图1、30万千瓦转子粗加工取样图

生产转子的工艺流程是：冶炼—浇铸—锻造—正火—整修—粗车—超声波检查—调质—车外圆—超声波检查—取试样—打中心孔—取中心孔试样—中心孔粗加工—检查—外圆精车—外观检查、表面磁粉探伤—消除应力回火—安装热稳定试验—中心孔研磨—切余料—出厂前检查—包装出厂。其中的炼钢、锻造、热处理是确保转子主要质量指标的三个主要工序。

近年来几乎所有的转子均使用“精炼钢锭”，同时相继应用了“出钢除气”、“真空碳脱氧”等炉外精炼技术。锻造则采用宽V型砧等先进技术，并在解决锻后粗大晶粒方面有了可靠的办法。做为保证转子质量的最后工序

——调质处理，近年来也有了迅速发展。

二、转子的调质热处理

调质包括淬火、回火工序，其目的在于赋予转子以尽可能均匀的综合性能。即保证足够高的常温性能和韧性，又保证在长期运转下不发生脆断。近年来由于“脆性事故”教训更注重于与断裂韧性 k_{Ic} 值有关的脆性转变温度值。调质工艺制度正是针对各项要求的具体指标来制定的。

1、调质工艺形式

①、一次奥氏体化淬火+高温回火，主要

表 1

几种转子的主要技术数据

(万 容量)	钢 号	粗加工尺寸	重量 (吨)		性 能 要 求							备 注
			锭重	粗加工		σ_s	σ_b	δ	ψ	ak	FATT	
5	34CrNi3Mo	ϕ 860×9450	45.7	22.1	纵	50	65	17	40	8		
					切	50	65	16	35	6		
					径	45	60	15	22			
10	34CrNi3Mo	ϕ 1048×10030	87.0	37.0	纵	55	70	17	40	8		
	26Cr2Ni4MoV				切	55	70	16	35	6		
					径	50	65	15	22			
20	34CrNi3Mo	ϕ 1040×10030	125.0	53.5	纵	60	75	16	40	8		
	26Cr2Ni4MoV				切	60	75	15	30	6		
					径	55	70	14	22			
30	26Cr2Ni4MoV	ϕ 1138×13650	137.0	66.8	纵	60	75	16	40	5		
					切	60	75	16	35	4		
					径	55	70	14	22		-7℃	
					中心	55	70	14	22		+5℃	
60	26Cr2Ni4MoV	ϕ 1210×16370	210.0	95.0	纵	67	80	16	40	8		
					切	67	80	14	30	6		
					径	62	75				-18℃	
100	Ni-Cr-Mo-V	ϕ 1710×17400	317	180	纵	51/58	63/71	24/	64/65			(美)
					径	56.2		26.5				
					中心	48.2					29℃	
150	26Cr2Ni4MoV	ϕ 1808×16780	500	247	纵	65	75	23	75			(日)
					中心	60/63	73/76	18/22	61/73		18℃/42℃	

用于10万瓩以下的中小型转子 (如图 2 a)。

残余应力值。

②、两次奥氏体化淬火+高温回火：用于
10万瓩以上大型转子 (如图 2 b)。

为防止晶粒长大一般在相变区尽快升温。

2、淬火冷却方式

每次奥氏体化温度取决于钢的化学成分。
回火温度在于调整其机械性能及满足所要求的

性能取决于组织，而组织由淬火冷却速
度决定。表 4 是同时投产的四根转子风冷和油

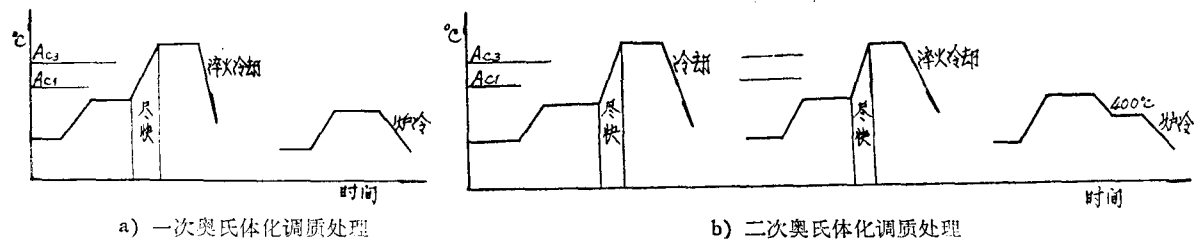


图 2、电机转子调质工艺形式