

第四届轧钢技术经验交流会

论文集

冶金工业部轧钢情报网
中国金属学会轧钢学术委员会
贵阳钢厂钎钢研究所

编 辑：冶金部轧钢情报网钎具专业网
中国金属学会轧钢学术委员会
贵 阳 钢 厂 钎 钢 研 究 所
出版发行：《钎 具 简 讯》编 辑 部

编 辑：黄洁仁 胡 铭
绘 图：翟利亚
贵州省科技报刊登记证 030 号
印 刷：贵州工学院印刷厂

第四届钎钢技术经验交流会论文

目 录

技术论文及经验介绍

1. 全国第四届钎具技术交流会开幕词.....徐曙光 (1)
2. 加强横向合作, 努力改革创新, 迎接中华凿岩钎具工业新的腾飞
.....张国樑 (2)
3. 钎钢轧后控冷工艺的研究.....董鑫业等 (5)
4. 凿岩钎具正弦波形 (SR) 螺纹的成型原理和牙形分析.....王坚 (16)
5. 钎钢寿命试验台的研究.....赵统武、洪达灵、黎炳雄等 (22)
6. 中空钢表面螺旋裂纹产生的原因.....骆楚成 (38)
7. 球齿钎头热嵌固齿工艺的探讨.....原 华、易连忠 (43)
8. 中空钢轧制工艺诸因素对成品精度影响的研究.....何传训 (54)
9. $30CrNi_3Mo$ 渗碳钎杆的心部组织及其与性能的关系胡梦怡 (63)
10. 凿岩钎具研究中的新课题.....张国樑等 (73)
11. 试论极坚韧岩石中小钎头的发展方向.....张国樑等 (76)
12. 凿岩钎具梯形 (FI) 螺纹制造方法的探讨王 坚 (83)
13. 国外冲击凿岩工具近况.....刘宗平 (90)
14. 钢坯机械钻孔工艺攻关总结.....何永侠等 (94)
15. 短应力线轧机在六角中空钢生产中的应用.....何传训 (102)
16. $55SiMnMo$ 六角中空钢轧后控制冷却设施及工艺试验刘展各等 (107)
17. $YYG80-1$ 型液压凿岩机用 $55SiMnMo$ 钎杆寿命的预估.....宋守志等 (112)
18. 几种合金钢钎杆的热处理工艺.....姚良盛等 (117)
19. 菱型中空钢生产工艺初步研究.....杨桂林等 (121)
20. $\phi 27 \phi 28$ 锚杆钻头的研制与使用.....刘礼智 (125)
21. 中频感应钎焊中小钎头的试验研究.....李杰等 (130)
22. $23CrNi_3Mo$ 钢制作 $\phi 38$ 凿岩钎尾的热处理工艺试验研究.....魏 士 (141)
23. 中深孔钎具使用技术的研究.....彭琼林 (145)
24. $YYG80-1$ 型液压凿岩机钎尾的试制研究潘怀绪 (148)
25. $55SiMnMo$ 中空六角钢表面脱碳的研究黄慧红 (152)
26. 凿岩机用钎头材质方面的发展——适合制造柱凿钎头体的
新钢种.....赵长有 (157)

27. *SMZG—38/30P*、*90P*型中空钢麻花钻杆的研制及其在
矿山中的应用.....杜德贵 (160)
28. *YQ—150*型钻头早期失效与强化化处理.....方 群 (168)
29. *HGVZ—1*型液压制钎机.....张兆欣 (171)
30. 柱齿钎头与钎钢的合理使用.....邓锡鹏等 (173)
31. 小能多冲抗力规律在 *YSP45* 型 活塞生产上的应用.....方 群 (177)
32. $\phi 40mm$ 马蹄钎头 *B25* 六角成品钎杆工业推广试验.....刘荣湘等 (181)

(综 合 报 导)

1. 武汉铜材厂铜基钎料用户座谈会在汉口召开..... (188)
2. “五岭”牌小球齿钎头打出好成绩..... (189)
3. “金龙”牌球齿钎头国内外市场两旺..... (189)
4. “中小直径新型硬质合金钎头”成果获国家级科学技术进步三等奖..... (189)
5. 冶金部轧钢情报网钎具专业网成员单位..... (190)
- 中国金属学会轧钢委员会钎钢学组成员..... (190)

全国第四届钎钢技术经验交流

开幕词

北京钢铁研究总院高级工程师 徐曙光

第四届全国钎钢学术技术交流会现在开幕了。

首先，让我代表中国金属学会轧钢学会钎钢学组和冶金部轧钢情报网钎钢专业网来自全国46个单位的82名代表表示热烈欢迎！

我们这次年会能在广济县召开，得到了湖北省广济县领导和长江工具厂的大力支持，县领导在百忙中抽空来参加我们今天的开幕式，让我代表学组和分网以及我们全体代表，向他们表示衷心地感谢与热诚地欢迎！

我们这次年会的召开，还得到了轧钢学会和冶金部轧钢情报网的关心与支持，轧钢学会、轧钢情报网，《钢铁》编辑部都派同志来参加我们的会议，让我们对他们表示热烈欢迎！

自1982年12月昆明第3届钎钢、技术交流会以来，四年过去了。几年来，随着我国经济体制的改革和建设的发展，我们钎具事业又有了新的发展，特别是能源、交通和采矿业的发展，大大地促进了我们钎钢、钎具行业的发展。各钎钢、钎具生产厂及研究院所的同志们，这几年又在我国钎钢钎具的科研与生产方面，作了大量有成效的工作，如在扩大规格品种，提高质量、开发生产新工艺、新装备与新材质，改进钻具结构，研究分析钻具应力状态与破损机制，以及收集国内外钎具发展的技术动态等方面，都取得了不同的进展与突破。

钎具是开发矿业，进行能源、交通、水利、建筑以及国防建设的重要工具消耗品。钎具行业在我国还是一个十分年青的行业，在品种质量及生产技术方面，与国外先进水平比，差距还很大。如我们钎具的品种少，生产装备落后，产品质量不稳定等。国外有很多历史悠久、生产经营完善的矿山工具公司或钻具公司，而我国至今还没有一个。

近年来，我国能源交通工业的迅猛发展，大量新的重型凿岩设备被引进采用，（目前不完全统计为122台）。我国从1979年起已缓和钎钢“供不应求”的矛盾，又出现了新的紧张，大量液压凿岩台车所需的重型钎具，国内还不能大批生产供应，每年尚需花大量外汇进口。“七五”期间，这种台车有可能发展到300~500台，预计每年耗钎2万多根（约600多吨）钎具20~30万个。新的形势，给我们广大钎钢、钎具科研生产工作者，又提出了新的任务，部领导指出要“瞄准瑞典水平，统一规划目标，分工包干研制，占领国内市场”。

为了推动我国钎具事业的不断向前发展，满足各方建设对钎钢、钎具新的、更高的要求，我们召开这次年会，交流学术研究成果与生产技术经验，就显得很有必要。本次大会共收到论文报告38篇，都从不同的侧面反映了我们钎具事业的发展。我们相信通过这次交流，必将促进我国钎钢、钎具事业的发展。

祝会议成功、祝代表们身体健康、祝广济县的工业兴旺发达，获得新的成就！

加强横向合作 努力改革创新 迎接中华凿岩钎具工业新的腾飞

武汉地质学院掘进工程研究室副教授 张国樾

一、钎具工业腾飞之魂

国家和民族利益是革命之魂，是四化之魂，也是中华钎具工业腾飞之魂。国家利益在凿岩钎具行业的具体体现，就是方毅同志提出的“振兴钨业”的战略目标。即发扬我国钨资源优势，发展钨产品深度加工技术，以优质钨工业成品供应国内外市场，为四化建设开源节流。硬质合金凿岩钎具，是主要的大量消耗的钨工业成品，面对无限广阔的国际钎具市场的激烈竞争，面对国内钎具市场在质量、品种方面不断增长的需要，国家利益需要我国凿岩钎具行业和钎具工作者同心协力，共创大业。在改革和竞争中，国家、企业和个人利益之间，既统一又不统一。恰如其分地处理好三者间的关系，对我国钎具工业的兴衰关系极大。着眼国家利益和全社会效益，实行开放政策，依靠技术进步和不断创新，在向社会提供优质产品和优质服务中求得自力的发展，是社会主义先进企业和竞争中强者的显著特色。必须追求企业和每个人的富裕，这只能与艰苦创业和对社会的巨大贡献联系在一起，否则就会走向所追求的反面。牺牲自我为国资利益献力，更是一切志士仁人受人尊崇的原因，因其难能可贵。近十年来我国凿岩钎具工业呈现的前所未有的进步和兴旺景象，自然是由于科学春风的吹拂，又确与钎具行业各方面无私的开拓者息息相关。他们不忘国家民族，不忘振兴中华，不忘团结奋斗。他们注重实践，致力于行动，在凿岩理论、钎具几何结构参数、钎具材料、钎具制造工艺、钎具实验和检测技术，以及钎具使用技术等方面，脚踏实地地赶超世界先进水平，数年、数十年、数十年如一日地为我国钎具质量的腾飞和品种的发展而端智攻坚，流汗流血，以至献出了可贵的生命。他们的精神和业绩，已经使国际竞争者感到了压力，今后仍是我国钎具工业跻身于国际先进行列的可靠保证。

二、加快改革步伐，促进联合创业

去年厦门钎具国标审查会议，今年九月鞍山岩石破碎学术会议，和这次于湖北广济召开的第四届钎钢技术经验交流会，广大钎具科研工作者和企业家，都日益强烈地感到改革和联合创业的必要。目前封闭型的各自为阵的钎具管理、生产、销售和科研体制，造成了下述弊端：① 产品良劣不分，过时和劣质产品长期充斥市场；② 原料供应和价格混乱；③ 中小钎头价格偏低，基本上维持着十年前的价格水平。随着原料与加工费用上升，生产厂无利可图，使这一重要的产品系列质量有下降趋势；④ 企业负担过重。

有的地方额外摊派多如牛毛，不少部门对企业实行竭泽而渔的重税政策，职工要求不断改善待遇的呼声日炽，企业无力进行技术改造和新的开拓，故“厂长难当”，有可能产生新的恶性循环；⑤ 重复工作和重复引进；⑥ 引进与消化创新脱节，有的引进反而被国外企业套上了绞索；⑦ 以邻为壑，工于内斗，内部封锁和内耗严重，在与国家同行的竞争中腹背受敌，不断地丧失时间、机会和优势。所有这些，都不利于行业的技术进步，限制和削弱了国产钎具在国际钎具市场的竞争能力，与国家“振兴钨业”目标背道而驰。因此，从国家利益出发，按照改革与开放的精神，协调好下述各种关系，减少和消除人为内耗而合力对外，已成为同行良知的共同愿望。大家提出的：① 成立体现横向合作的钎具工作者协会，共同切磋学问，共同为我国钎具行业的兴旺发达献计献策；② 建立不同形式和不同程度的钎具联合公司，以加速技术进步和 产品开发，提高产品技术、经济和社会效益，增强产品的市场竞争能力；③ 加强钎具行业的信息和学术交流，包括钎具企业之间的有偿、补偿（互通有无）、或互惠的技术交流与合作；④ 调整现存不合理的钎具价格体系，包括内销和外销标准产品的统一最低定价。例如目前标准 $\phi 40$ 新型马蹄一字形钎头，最低协调价格定为14.00（元/支）是比较合理的；⑤ 按照自然形成的优势和格局，因势利导建成几个各具特色的钎具研究中心，分工合作，不断促进行业的技术进步和国内外学术交流；⑥ 推广和奖励名优产品，限制和淘汰劣质产品。按照已有科技成果和国家钎具标准的要求，所有钎具产品在几何结构参数、原材料、制造工艺路线、实验室物理机械性能和成品质量指标，必须经过严肃行检合格，发放许可证才能生产。与此同时，实施优质原料和优质产品的定点生产和供应，重点扶持名优产品和创汇企业（例如从企业盈利中减收所得税，提成用于技术改造和新产品开发的专项基金），造成一个名优产品锦上添花，劣质产品活不下去的市场环境。获得信誉和优惠名优产品企业经营不善，出现重大质量事故，应及时销牌降级，并鼓励劣质产品和落后企业升级创优；⑦ 实行不拘一格的人才开发政策，和按劳分配的工资奖励制度。凡属有实际工作能力、对行业技术进步和企业发展有实际贡献的能人和专家，勿论其进修履历和外语学历如何，都应授予相应的职称，这些建议为我国钎具工业体制改革，提出了不少重要课题和某些具体设想，显然需要大家在实践中不断修正、补充和完善。这些问题的合理解决，必将为我国钎具工业带来新的繁荣和巨大的社会效益。

三、积极开发新材料、新工艺、新设备、新产品，加速钎具行业的技术改造

国产钎具在质量和品种方面，从总的来说，和瑞典等先进国家比较还有明显劣势。由于国内外凿岩条件的多变和工业水平的提高，采掘工业部门对进一步提高凿岩效率、降低凿岩成本、改善凿岩工作条件的要求越来越高，这只有依靠钎具制造和使用技术的进步，不断向市场提供适应性强的优质、多样的钎具产品。才能满足。随着现代爆破技术、液压凿岩设备、内燃和电动凿岩设备，以及“新奥法”掘进施工方法的推广，大、中、小直径球齿钎头、一次性使用的片状和球齿钎头，片状和球齿形硬质合金整体钎子、以及重型螺纹钎杆的需要量都有增加。根据国内外凿岩钎具的市场动向和已取得的公认的技术进步，我国冲击式凿岩钎具在新材料、新工艺、新设备、新产品开发和市场开拓方面，当前需要优先作好以下工作：（一）**新产品**：① 宣传、实施国家钎具标准，以

新型一字、三刃、十字、 α 形和球齿钎头，取代传统的老式钎头；②以优质合金钢成品钎杆，取代传统的碳钢钎杆，和自制劣质钎杆；③各种特殊凿岩条件的专用钎具，如一次性使用的片状和球齿钎头，极坚韧岩层专用的重型钎头等；④各种轻、中、重型液压凿岩机用的钎头、钎杆、钎套、钎尾；⑤B28、B32、B35、B38重型螺纹（波形和梯形）钎杆；⑥B19、B22、B25片状和球齿形硬质合金整体钎子；⑦锥体连接钎头的卸钎工具（如DY-I型滑锤式卸钎器）。（二）**新材料**：①含Ni、Cr成分的低中碳优质合金中空钢；②含Ni、Cr成分的钎头专用合金钢（如24SiMnNi2CrMo，45NiCrMoV，30Cr2Ni4Mo）；③优质铜基钎焊料（如105、801焊料），和低熔点银基焊料；④优质矿用硬质合金（如YJ系列合金，YG105、YG11c以及其它经过热等静压技术处理的优质低钴粗晶粒YG系列合金等）；⑤专用焊剂。（三）**新工艺**：①钎头钢体全机械切削加工或精锻成型工艺；②中空钢的钻孔和控制轧制工艺；③轻磨合金片、基片制原焊缝、不锈钢金属丝或毛刺定位的钎头配件工艺（主要针对一字形钎头）；④片状合金钎头单支整体10~40（千赫）感应加热钎焊固片和控制冷却（空冷或风冷）工艺；⑤小直径球齿钎头“沉底式感应钎焊固齿”和控制冷却工艺；⑥中大直径球齿钎头“热嵌固齿”工艺；⑦钎具喷丸强化工艺；⑧钎具自泳漆防腐和光饰工艺；⑨钎头锥孔软金属喷涂工艺；⑩钎杆和整体钎子中频（2.5千赫）锻前加热工艺；⑪螺纹钎杆的化学热处理工艺（气体渗碳或碳氮共渗，控制冷却）；⑫钎柄带针小变形锻造工艺；⑬钎头喷漆或薄层塑料包装工艺；⑭钎杆和整体钎子塑料垫和塑料套包装工艺。（四）**新设备**：①2.5千赫中频加热炉；②10~40千赫中频或超音频加热炉；③50~100吨液压锻钎机；④数控或微机自动控制（如武汉地院测试中心提供的DSS-1型微机自控系统）专用机床；⑤气动量规和球齿孔高效、高精度加工设备；⑥精密长度计量和金属物理、力学性能检测仪表和设备；⑦井式气体渗碳炉；⑧杆状通过式抛丸机；⑨自泳漆防腐设备；⑩锥孔软金属热喷涂设备；⑪封闭式喷砂和喷漆设备；⑫薄层塑料喷涂设备；⑬钎杆和钎头凿岩试验台；⑭一字、三刃、十字、 α 形、球齿钎头和硬质合金整体钎子修磨设备。

四、钎具工业腾飞需要更多的 知识分子为之献力

纵观古今中外的文明历史，农业和采掘工业都是国民经济的基础，为民生之本。然而正是这两个最重要、最复杂、最艰苦的部门，技术最为落后。其原因之一，就是历来的知识分子愿为这两个部门献力的不多。因此，也给我们留下了可以大有作为的广茅的未被开垦处女地。凿岩钎具工业是采掘工业的先导，是人类征服岩石的主要工具，是生产力的构成要素。它的状况如何，直接影响人类征服自然的实力。知识分子能够为这一伟大的事业献力，应当说是无尚光荣的。

我国钨矿资源居世界之半，迄今为止，国家仍被迫出口钨精矿砂而进口某些钎具产品，这种半殖民地经济烙印，是历史给我们留下的耻辱。以当前国际钎具市场的现状而论，苏、美等工业大国拥有一定的技术和资源优势，但无暇及此；瑞典、日本等工业大国，产品拥有质量优势，但资源匮乏，劳务费用很高，竞争能力有限；其余第三世界国家，技术、资源均不如我。然而无论天涯海角，无时无刻都在大量消耗着凿岩钎具。从

国内条件看，国家励行改革、开放政策，尊重知识，尊重人才，有一个“天阔任鸟飞”的开明政治环境。经过十年奋斗，各行各业包括钎具工业在内，技术上已经大大缩小了与先进工业国家的差距。以此天时和技术条件，再加上我得天独厚的资源、地利、劳力和价格优势，中国钎具逐渐取瑞典、日本产品而代之的可能性是很大的。这个光复旧物、造福子孙为四化开源节流的重任，已经历史地落在了我们这一、二、三代人的身上。

产品的竞争归根到底是人才的竞争。中国钎具工业腾飞，需要具有现代文化科学知识的企业家和专家，这必须是一支浩浩荡荡的队伍。钎具工业包容了现代科学技术知识的各个领域，任何个人勿论从知识结构或精力讲，都不可能成为“万能博士”，也不可能作完所有的事。但是，任何个人都可以在自己感兴趣的领域，获得优势和成就，从而为共同事业作出自己光荣的贡献。因此，无所作为和骄傲自满都是一种盲目性。这里最为可贵的，是“为大众事业献力”的事业心，是“天生我才必有用”的自信心，是“自强不息”的进取心，是“君有奇才我不负”的合作创业精神。

诚然，为凿岩钎具工业献力是艰苦的。我们的任务是开拓与创新，这就是新产品的创造，新技术的运用，新材料、新工艺、新设备的发明，以及新市场的开辟。这需要我仍在比较艰苦的环境中，奉献出毕生精力。但是，人为万物之灵，人生的意义就在于追求与贡献。前人的追求，已经带给我们以自由和不愁冻饿的幸福。我们的追求，将带给自己和子孙以光荣和富裕，将造就钎具行业千百颗灿烂的明星。纵使我们作出了更多的牺牲，我们将在物资和精神下得到充实的幸福。因为，“追求幸福比幸福本身更幸福”，创造性的劳动本身就是一种幸福。马克思说：“科学绝不是一种自私自利的享乐。有幸能够致力于科学研究的人，首先应该拿自己的学识为人类服务”。能够用自己的劳动，证实自己能够为人民和社会谋福，这是何等的幸福啊！朋友们，我们的事业虽苦，但乐在其中。

钎钢轧后控冷工艺的研究

冶金部钢铁研究总院 董鑫叶 徐曙光 方成悦

贵阳钢厂 刘展各 谢子健 彭季云

55SiMnMo 钢用来生产六角中空钎钢已有十多年历史，它是贝氏体钢，通常是经正火后使用，杆体硬度控制在 $HRC30\sim40$ 具有较高的凿岩使用寿命。此钢淬透性较好，其硬度除与成分有关，与冷却速度关系也很大（尤其是成分在上限时）。为了得到合适的硬度，除了控制成分、终轧温度等，重要的就是控制适当的轧后冷却速度。在“六五”低合金钢及合金钢攻关中，钢铁研究总院、贵阳钢厂开展了这一工作，通过试验室及生产厂的试验表明，经轧后控冷的中空钎钢与经正火处理的中空钎钢表面硬度和组

织相当。而轧后控冷工艺取消了中空钎钢在制钎过程中的正火工序、缩短生产周期、节约能源、降低了生产成本。

一、试验室试验

(一) 热加工模拟试验机

1. 试验方法

使用压缩变形方式的热加工模拟试验机，可模拟控轧、控冷、过程中的一些工艺参数，如加热温度、变形中道次变形量的分配、终轧温度、轧后冷却速度、变形过程中钢材的变形抗力等。

试样的化学成分见表1，试样尺寸 $\phi 8 \times 12$ 毫米，变形温度 920°C ，变形道次为一道，变形量35%，变形速率40/秒。变形后采用不同的冷却速度对试样进行冷却(由 920°C 冷到 200°C)，即 $0.1^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 、 $0.2^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 、 $0.75^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 、 $1^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 、 $1.5^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 、 $2^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 、 $3^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 、 $4^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 、 $5^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 、 $10^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ ，整个试验按事先给定的程序自行控制。为了对比，还做了一组不变形，仅仅冷却的试样。

表1 试样用钢化学成分

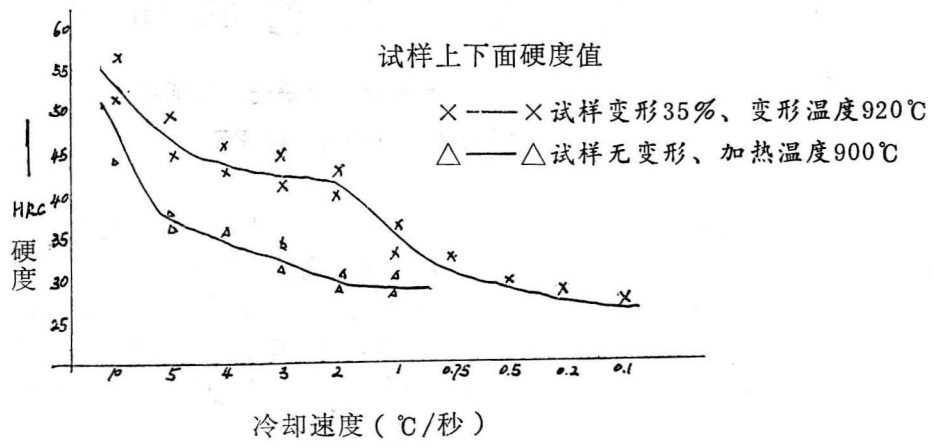
元素	C	Si	Mn	Mo	P	S	Cu
%	0.57	1.30	0.75	0.44	0.009	0.009	0.08

2. 试验结果和分析

(1) 硬度

从图1可以看出：

① 当冷却速度是 $1 \sim 10^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 时，试样侧面硬制值比上下面硬度值高出 $5 \sim 10\text{HRC}$ ，这是由于试样在变形和冷却过程中，上下面垫有石英垫块，其导热性差，减慢了冷却速度所致。而测量冷却速度的热电偶是焊在试样侧面，所以应以侧面硬度为准。冷却速度是 $0.1 \sim 0.75^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 时，试样侧面和上下面的硬度值相近。



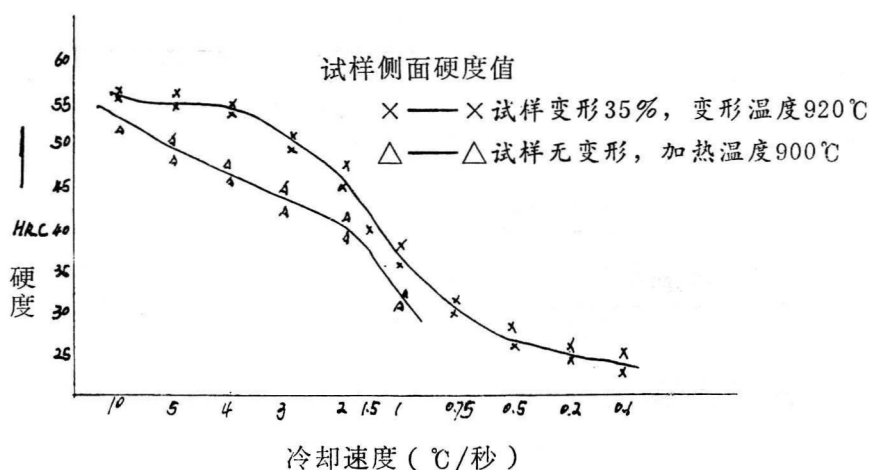


图1 试样硬度值

② 由于加工硬化因素的影响, 变形比不变形试样的硬度高, 侧面硬度一般高出 $5 \sim 7HRC$ 。

③ 试样经变形, 冷却速度 $0.75 \sim 1.5^\circ\text{C}/\text{秒}$, 可得到 $HRC30 \sim 40$ 的硬度。

(2) 金相

图2A ($1^\circ\text{C}/\text{秒}$) 组织为上贝氏体及一定数量的块状组织 ($M+B_{\text{上}}+A_{\text{残}}$) , 图2B ($0.2^\circ\text{C}/\text{秒}$) 还有珠光体和铁素体, 图2C ($2^\circ\text{C}/\text{秒}$) 由于冷却速度增大, 上贝氏体减少、下贝氏体和马氏体增多。

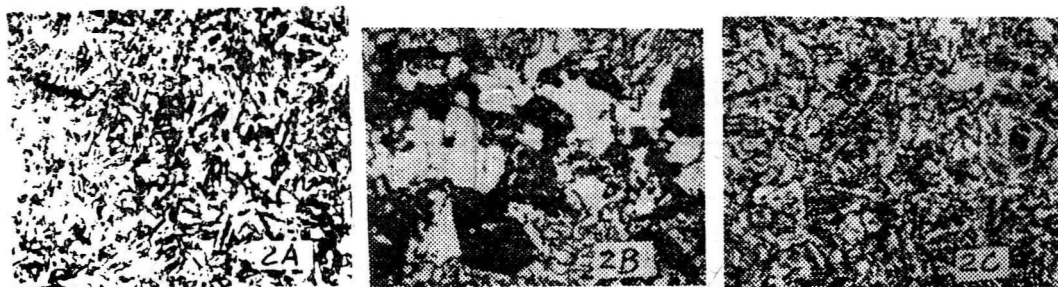


图2 试样金相图 $\times 500$

(3) 连续冷却转变曲线

试验机测定的 $55SiMnMo$ 钢的变形连续冷却转变曲线示于图3 (实线部分), M_s 为马氏体点, 从图上可以看出上下贝氏体形成温度区域明显分开, 随着冷却速度的增加, 贝氏体相对减少。图3 (虚线部分) 是 $55SiMnMo$ 钢无变形的连续冷却转变曲线 [1], 比较实线、虚线部分可以看出:

① 由于变形因素的存在, 形变诱导相变, 整个曲线左移, 变形使贝氏体转变提前。

② 由于变形因素的存在, 形变诱导相变, 在相同冷却速度的前提下, 贝氏体转变温度升高, 同时上贝氏体形成的温度区域变窄。

钢的变形过冷奥氏体连续冷却转变曲线

55SiMnMo

	C	Si	Mn	Mo	P	S	Cu				
实线,	0.57	1.30	0.75	0.44	0.009	0.009	0.08				
虚线,	0.53	1.30	0.72	0.43	0.016	0.013					

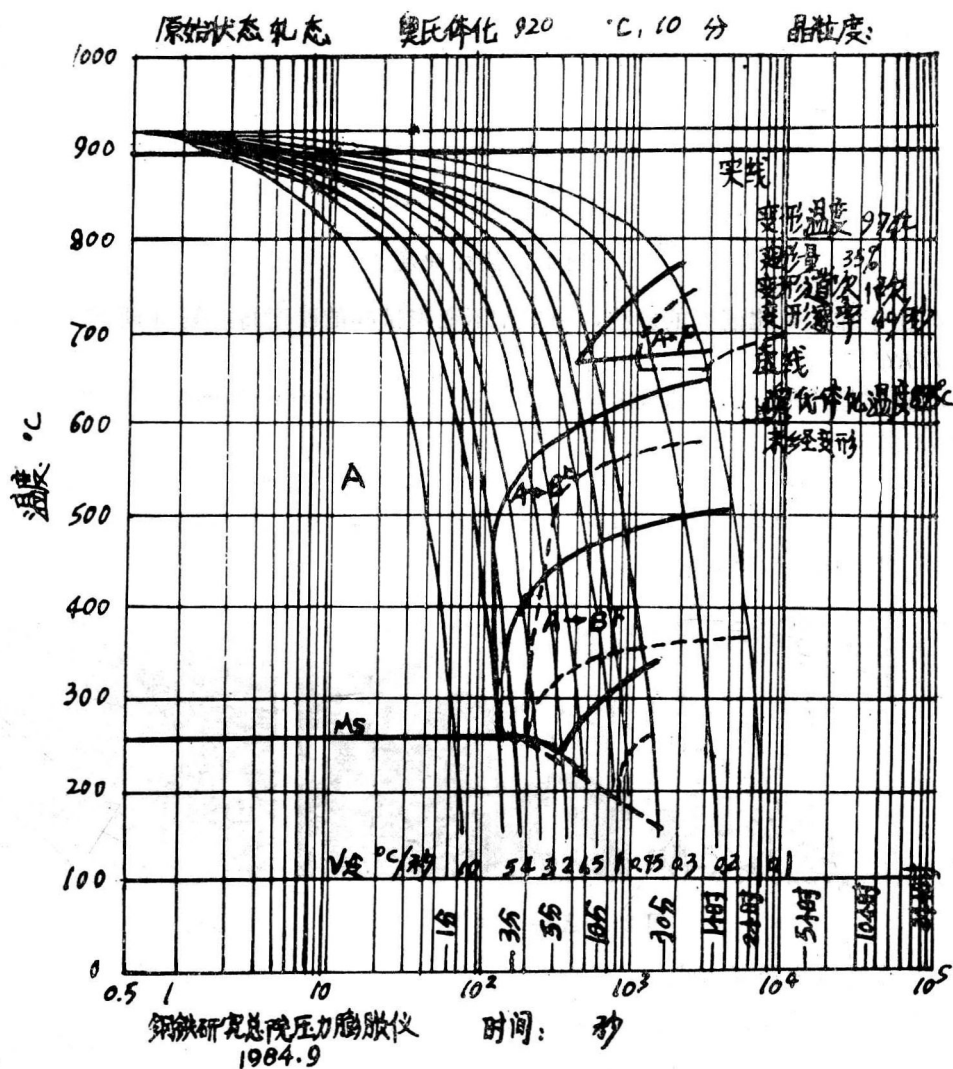


图 3

③ 有变形时, 当冷却速度大于 5 °C/秒时, 无贝氏体转变, 全部形成马氏体。无变形时, 冷却速度约在大于 3.5 °C/秒时, 无贝氏体转变, 全部形成马氏体。

④ 冷却速度低于 0.75 °C/秒时, 有明显的珠光体转变。

3. 小结

根据热加工模拟试验机的试验结果, 钢材硬度要在 HRC30~40, 并有相应的金相

组织，55SiMnMo 钢热变形后的冷却速度应控制在 0.75~1.5℃/秒。

(二) 轧机轧后控冷试验

热加工模拟试验机的试样尺寸，变形条件和六角钎钢在生产中不十分相近，为了验证试验机的试验结果，进一步模拟生产条件，在试验轧机上进行了试验。

1. 试验方法

坯料尺寸为55×55毫米，加热温度1150℃，经四道轧成20×65×150毫米的试样(四道的压下率分别为27%、29%、17%、17%)、终轧温度920℃。轧后 分别采取空冷、风冷、水冷加空冷、水冷加风冷、雾冷，轧制中、轧后进行测温 and 测时、并对试样进行了硬度、金相检验。试验用钢的化学成分见表 2。

表 2 试 验 轧 机 用 钢 化 学 成 分

元 素	C	Si	Mn	Mo	P	S	Cu
%	0.55	1.21	0.70	0.41	0.013	0.009	0.15

2. 试验结果和分析

(1) 硬度

表 3 不 同 冷 却 方 式 的 试 样 硬 度 值

试样号	控冷工艺	水淬后返温 温度 ℃	硬度 HRC	试样号	控冷工艺	水淬后返温 温度 ℃	硬度 HRC
1	空 冷		27~29	10	水淬 4 秒加风冷	520	39~44
2	空 冷		27~30	11	”	510	40~44
3	风 冷		31~33	13	”	560	35~37
4	风 冷		31~32	19	水淬 4 秒加风冷	500	40~43
5	水淬 1 秒加空冷	740	28~30	7	水淬 5 秒加空冷	500	40~43
6	水淬 3 秒加空冷	670	31~34	8	”	500	41~45
12	水淬 3 秒加风冷	590	35~36	15	雾冷到400℃		43~45
9	水淬 4 秒加空冷	510	39~42	16	”		44~46
14	”	530	40~42	17	雾冷到500℃		33~34
20	”	510	39~42	18	”		32~33

从表 3 可看出：随着冷却速度的增加，硬度增高。

(2) 金相

从图 4 的金相照片可看出：图4A（空冷）、图4B（雾冷到500℃）的组织系上贝氏体加少量的块状组织，而4C 由于冷却速度增大，上贝氏体量减少，下贝氏体和马氏体量

增多。

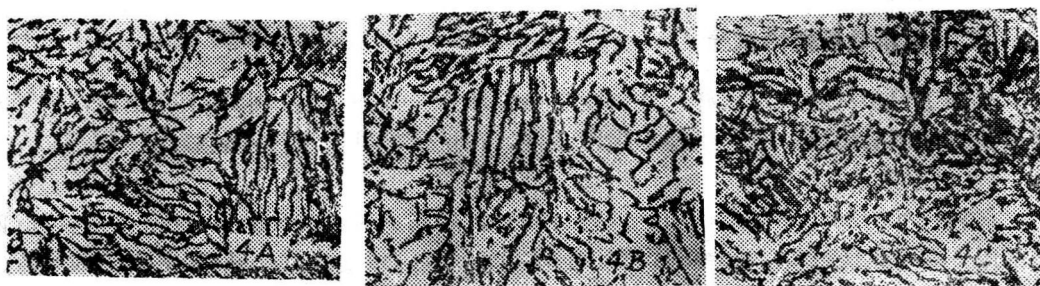


图4 试验轧机的试验金相图 $\times 1000$

3. 小结

根据表3、图4、图5：为了得到 $HRC30\sim40$ 的表面硬度，并有相宜的金相组织，轧后可采用风冷；或水冷加风冷，即水冷3~3.5秒，并保证相应的返温温度550~600℃而后吹风；或雾冷，即雾冷到450~500℃，而后空冷。

(三) 六角钎钢室内控冷试验

考察环境温度（模拟贵阳的冬天、夏天）对冷却速度和硬度的影响。

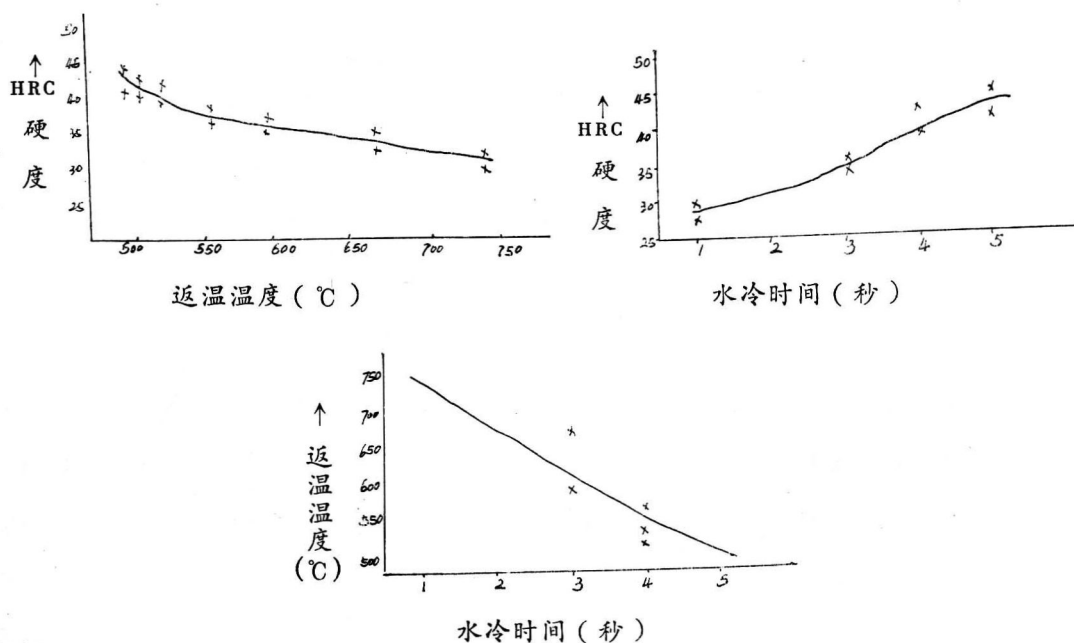


图 5

1. 试验方法

试验用钢化学成分见表1，把热电偶焊在六角钎钢（未抽芯）试样表面，加热到900℃，而后试样在不同环境温度中（30℃、28℃、25℃、20℃、15℃、5℃），分别采用空冷、风冷，并用 $x-y$ 记录仪记录冷却曲线。

2. 试验结果

由表 4 的结果可以看出：在相同的冷却方式下，环境温度对冷却速度影响不大。同时环境温度对硬度影响也不大，如空冷 HRC 在 28~30，风冷 HRC 在 30~33。

表 4 环境温度与冷速、硬度的关系

环境温度	冷却速度 $^{\circ}C/秒$				硬度 HRC	
	900 $^{\circ}C$ 冷至 500 $^{\circ}C$		900 $^{\circ}C$ 冷至 200 $^{\circ}C$		空 冷	风 冷
	空 冷	风 冷	空 冷	风 冷		
30 $^{\circ}C$		3.2		1.4		29~32
28 $^{\circ}C$	2.1	3.2	0.7	1.4	28~29	30~32
25 $^{\circ}C$	2.3	3.7	0.7	1.5	30~31	32~34
20 $^{\circ}C$	2.0	3.0	0.7	1.3	27~29	29~32
15 $^{\circ}C$	1.8	3.0	0.7	1.4	29	30~33
5 $^{\circ}C$	2.2	3.7	0.8	1.5	28~29	31.5~32.5

3. 小结

本试验的环境温度 5 $^{\circ}C$ 及 28 $^{\circ}C$ ，对贵阳当地气温（冬天、夏天）较有代表性。而在相同冷却方式下，环境温度对冷却速度、硬度影响不大。所以就贵阳钢厂而言，在相同冷却方式下，可不考虑环境温度波动（5~30 $^{\circ}C$ ）对冷却速度和硬度的影响。

二、工业性试验

根据试验室的结果，我们在贵阳钢厂一轧分厂进行了水冷加风冷和风冷的工业性试验。

（一）水冷加风冷试验

水冷设备比较简陋，即轧机后安装两组冷却水管，管径 $\phi 100 \sim 150$ 毫米，管上部进水、两端出水。轧后的中空钢材通过水管穿水冷却，而后在冷床上用风机风冷。通过这种水冷加风冷的钢材在辊式矫直机矫直时，发现有少量的钢材有被矫断的现象（即断成一小截、一小截的），为了找出矫断的原因，做了以下的检验分析。

1. 断口

两根矫断钢材的典型断口，见图 6。

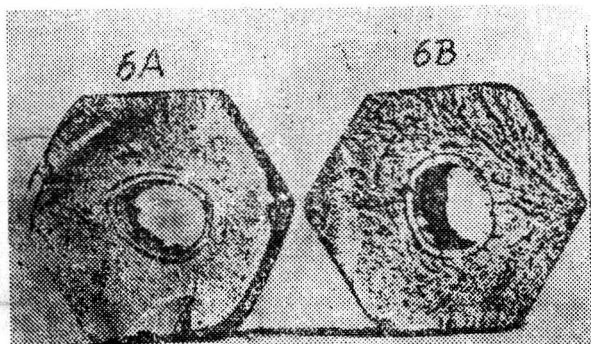


图 6 矫断钢材的断口

图 6A 为瓷状断口，是一种具有绸缎光泽、致密、类似细瓷碎片的亮灰色断口。此种断口常出现在过共析钢和某些合金钢经淬火或淬火及低温回火的钢材上，且瓷状断口的细致程度与马氏体针的大小有关。图 6B 为结晶状断口，是一种具有强烈的金属光泽、有明显的结晶颗粒、断口平齐的银灰色断口，常出现在热轧或退火的钢材上。结晶状断口是钢材受载破坏时，未出现明显的宏观变形而断裂的断口。

2. 钢材表面应力状态

钢材在辊式矫直机矫直时，实际上是个反复弯曲过程，就其钢材表面来说也反复受着外界控、压应力的作用。如果钢材表面是残余压应力，则将全部或部分与外界拉应力相抵消，否则将加大拉应力的作用，使钢材容易矫断。用 X 射线应力测定仪测定经穿水后钢材表面的残余应力值见表 5，其值为残余压应力。

表 5 钢材表面残余应力值

控 冷 工 艺	残余应力值 <i>kgf/mm²</i>		
	4	5	6
穿 水 冷 却	-34.01	-39.06	-30.87

3. 钢材表面硬度

见表 6

表 6

样 号	硬度	HRC	断口	控冷工艺	样 号	硬度	HRC	断口	控冷工艺
2	-1面	33.5 34 33	结晶状 断口	一组穿水 加风冷	10	-1面	65 65 64.5	瓷状 断口	两组穿水 加风冷
	-2面	32 34 34				-2面	59 67 57		
	-3面	47 52 48							
3	-1面	63 64 66	"	"	11	-1面	47 55 51	"	"
	-2面	34 34 35				-2面	47 56.5 52		
	-3面	33 33 34							
4	-1面	28.5 33 30	"	"	12	-1面	50.5 54.5 49	"	"
	-2面	31 28 36.5				-2面	48 53 51		
	-3面	47 47 46							
5	-1面	32 34 32.5	"	"	13	-1面	57 58 57	"	"
	-2面	30.5 34 32.5				-2面	55 56 56		
	-3面	55 58 59				-3面	55 56 57		
					14	-1面	49 50 51	"	"
						-2面	49 54 48		

4. 金相

两组穿水加风冷的试样，如10、11、12、13为淬火马氏体组织，其深度由表面算起

可达4~6毫米。一组穿水加风冷的试样，如5的1,2面及3的2,3面为正常组织，但5的3面及3的1面为淬火马氏体组织。

5. 小结

(1) 两组穿水加风冷的试样，由于水冷速度过快，冷却温度太低，而形成淬火马氏体，是钢材因故在冷却水管内停留时间太久而造成黑钢。

(2) 一组穿水加风冷的试样，由于水冷却不均匀，而造成钢材有的面形成淬火马氏体。

(3) 淬火马氏体很脆，所以钢材易被矫断。

(4) 此水冷装置过于简陋，不适于在生产中使用。

(二) 风冷

考虑到贵阳钢厂的水质及车间布置和施工等具体问题，决定采用强制风冷的方案（见图7），即共采用25台T40风机均匀地分配在辊道及冷床上（辊道上10台。风量总和 $93100M^3/时$ 、冷却面积 12×5 米）。

为了保证控制轧制温度及轧后冷却速度，安装了温度监测系统。本系统由红外线温度计、电信号处理机、超范报警装置、数字显示仪、计算机、打字机组组成（见图8）。监控点分布在加热炉出口、成品轧机进口、入冷床前、入集材料前。红外线温度计及报警装置放在监控点，其它仪器集中安放在控制室。此系统工作正常，温度测量准确，反应快，还可进行数据处理，记录结果直观，是控冷系统实现自动化的有效采样方法。

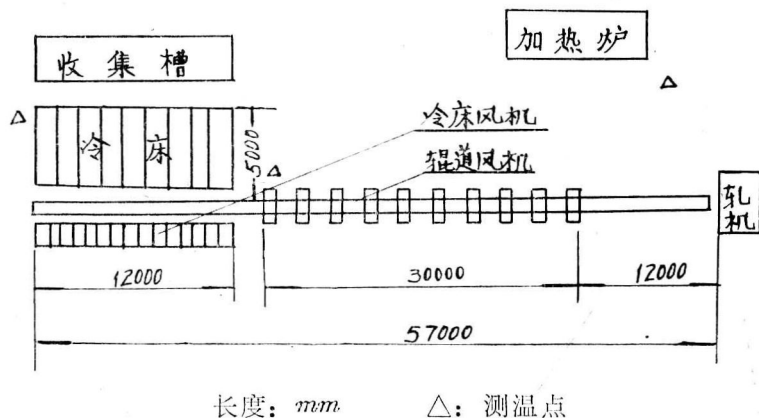


图7 控冷系统示意图

在生产中比较严格地控制各监测点的温度，以便得到合适的冷却速度来保证合格的硬度。出炉钢温 $1100 \sim 1150^{\circ}C$ 、成品轧机前 $900 \sim 950^{\circ}C$ 、入冷床前 $700 \sim 750^{\circ}C$ 、入集料槽前 $350^{\circ}C$ 以下，通过控制和实测冷却速度是 $1.7 \sim 1.8^{\circ}C/秒$ 。

1. 金相

图9A是经 $920^{\circ}C$ 正火后的组织，图9B是 $950^{\circ}C$ 终轧、而后强制风冷的组织，两者组织相近，均为上贝氏体及一定数量的块状组织（ $M + B_{下} + A_{残}$ ）。

2. 硬度

标准规定以及从凿岩使用情况来看，钎杆杆体硬度控制在 $HRC30 \sim 40$ 为宜。不控