

672892

5171312

38010

八十年代合金钢

ALLOYS FOR THE EIGHTIES

冶金部北京钢铁研究总院 合译
鞍山钢铁公司钢铁研究所



1312
10

鞍钢钢铁研究所

八十年代合金钢

ALLOYS FOR THE EIGHTIES

冶金部北京钢铁研究总院 合译
鞍山钢铁公司钢铁研究所

鞍钢钢铁研究所

一九八二年十二月

出版说明

《八十年代合金钢》，是加拿大麦克马斯特大学某教授来华讲学时带来的一本新书。国外有关书刊曾就该书的内容及学术价值进行过评论，认为是既有理论又有实践经验的一本好书。国内某些从事钢材研究的同志也热情地推荐过这本书。

该书是一本论文集。共有27篇论文，约50万字。分别由美国、日本、苏联等国相应领域内的著名科学家和教授撰写。内容包括汽车制造、铁路运输、石油开采及输送、高压容器、原子能反应堆、化学工业等部门使用钢材的性能研究和检验、轧制及热处理工艺等。涉及的技术领域较广、内容较新、论据具有一定的权威性。该书对从事钢材研究、生产、使用等部门的有关人员，以及有关高等院校师生，具有较大的参考价值。

本书由冶金部北京钢铁研究总院付俊岩、俞元亮、郑建华、何淑萍、王飞、董重宁、东涛、慕成雄、夏放、李楹、金丕钟、张延凯、康喜范；鞍钢钢铁研究所王恩涛、杨思明、林之华、张久信、王明微、吴中莹、林茂丰、鲁赤、韩富义、万木运、唐明孝、高宏适、张魁等同志共同翻译。曹荫之、许振民同志负责全书的总审校。

本书由鞍钢钢铁研究所情报科负责编辑出版工作。金相室协助摄制了全部照片；张钦凤同志描绘了全部的曲线图；许振民、程丽娜等同志负责付印前的校订工作。对于他们的辛勤劳动，特致谢忱。

限于水平，且时间匆促，欢迎对编译工作中的缺点和错误，提出批评指正。

鞍钢钢铁研究所

一九八二年十二月

目 录

第一部分 交通运输用合金钢

汽车用合金钢的未来	1
汽车工业齿轮用钢现状及发展趋势	11
八十年代的汽车薄板	27
轧态Mn—Si—Cr—Mo双相钢中的合金化与相变控制	39
热轧双相钢的生产和应用经验	61
燃气透平用超合金的今后二十年	69
铁路运输用高强度钢	85

第二部分 能源转换系统用合金钢

液体金属快中子增殖反应堆材料	97
气冷及聚变反应堆应用的选材	122
能源系统用厚壁压力容器	135
能源转换系统用可淬12%铬钢的特性	151
太阳能转换用不锈钢	161
大功率燃气轮机今后十年的挑战和回答	165

第三部分 燃料生产及分配系统用合金钢

八十年代的管线要求	182
大口径管线用钢的冶金学	196
控轧超低碳贝氏体大口径管线钢的发展	225
用于油气开采的材料技术	237
火烧油层对八十年代材料的挑战	246
新的矿岩钻头用钢	253
石油和天然气工业用钢	262
酸性油气井用 β 型Ti—15Mo—5Zr—3Al合金	276

第四部分 加工工业用合金钢

化学工业用高耐蚀性含氮不锈钢	281
关于18Cr—2Mo铁素体不锈钢的腐蚀行为	292
碳氢化合物加工工业的材料问题	313
环境控制系统和特殊工艺流程中应用的不锈钢	327
化学加工工业领域的含Mo镍基合金	338
高强度高耐蚀不锈钢	354

汽车用合金钢的未来

通用汽车公司研究所 G.H.罗宾逊

合金钢与汽车有密切的关系。大多数现代低合金、热处理工程用钢是适应工业对材料的需要而发展起来（或设计出来）的，这些材料在受到冲击和反复载荷的极端条件下应保持正常状态。即使在工业发展初期，由于性能和经济方面的要求，都需要重量轻的结构，因此要高度重视结构机理问题。早在1900年，镍合金钢就被应用到车轴上。到1912年，汽车工程协会已经建立起SAE合金钢系列编号。ASTM也公布了包括镍、镍钒、镍铬和镍铬钒汽车用合金钢的标准规格。^[1]1912年，铬钼钢在Wills Sainte Claire汽车上已得到应用，并且，碳锰级钢也于1915年^[2]被别克（Buick）汽车公司所采用。

今天，根据化学成分，冷却速度和最小花费的平衡成分，目前的工作都集中到精确预测淬透性、显微组织和性能方面。因此可以说热处理合金钢的技术似乎已经达到成熟的地步。

这样，预言汽车用合金钢的未来，可能只涉及关于目前合金使用趋势的一个简单推论而已，并要认识推动这种趋势不可缺少的技术和经济力量。

然而，回顾过去在预言未来方面的努力，使每个人都感到要达到定量的预测是不容易的。1956年，L. Boegehold^[3]预言：

“将来的汽车（到1980年末），在轴和齿轮方面都将不使用镍”这样一个简单的推论，

就是根据当时流行的经济力量——50年代镍的成本和经济价值。但是，在使用中过去没有完全消除镍，甚至今天，看来也不可能消除它。他还预言，到1980年底，当使用120辛烷值的汽油时，平均发动机压缩比大于11:1，换句话说，一个合理的预测来源于谋求改善燃料经济价值的技术力量。

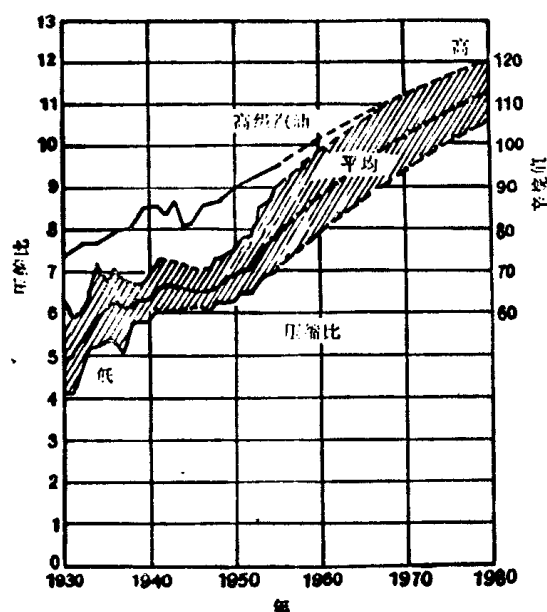


图1 1956年Boegehold预言的压缩比和辛烷值之比的趋势

现行火花点火发动机的实际压缩比平均为8.2:1，并使用大约90辛烷值的燃料。这是由于当时政府对车辆排气没有远见，而未加以严格限制所产生的后果。该规定要求对发动机排气进行催化处理。而催化剂却被为提高辛烷值而加入的铅所污染或钝化而失

效。取消这种铅及所产生较低的辛烷值比,则要求为避免严厉的火花冲击而降低发动机的压缩比。因此有关排气的规定推动了新的技术努力,而这种技术努力又使前述推论失效。

因为在一定时期内,预言合金钢的应用的任何企图都可能含有这种类似的不确定性,所以我们就定性地选择了一个预测汽车合金钢未来的问题。这就是跟踪这些材料发展的多数线索,然后对某些传统合金钢应用的现存材料及潜在的替换材料作统一的分析研究。从这种背景出发,我们将确定,我们所理解的汽车合金钢未来发展问题是什么。

过 去

汽车合金钢的历史是从镍钢开始的,可见,在汽车工业发展的初期,镍钢得到了广泛的应用。这种合金钢的优越地位,今天在SAE系统中也能反映出来。该系统规定2000系列为纯镍钢(1000系列为碳钢)。从那时起,汽车界的冶金工作者们一直努力降低镍含量和合金成本,并取得了显著成功。这2000系列现在已不再使用。在此过程中,许多各种不同成分的汽车零件和其他机械零件得到了发展。图2展示了相当于汽车工业开始发迹的二十世纪初期合金钢增长情况。这个时期汽车工业的动态可由一篇有代表性的文章表示出来,这篇讨论钼钢发展问题的文章发表于1921年《美国钢处理协会月报》^[4]上。作者谈到:“这时所制造的福特汽车的大部分钢件符合下述成分:0.23~0.28% C, 1% Cr, 0.18% V和0.70~0.90% Mn。该成分范围是炼钢生产者(在含碳量范围内)将占总炉次7%的下限炉次和占15%的上限炉次进行平均处理的结果。碳含量下限的炉次钢用作表面硬化零件,碳含量高的钢用作油淬零件。因此,除滚珠轴承和永磁发动机的磁钢等特

殊产品以外,一种成分包括了这种汽车的所有零件。由于钒的专利权和使用它的专利税,开始寻找代替铬钒钢的一种新钢号,而铬钒钢在一种汽车上是普遍使用的”。这位作者继续描写道:“对周期表的系统的和合乎逻辑的研究”发现一种新的合金,这种新合金终于成为一系列铬钼钢。

据报告,这些新钢种的优点显示了铬钼元素的有效性:在钢厂容易生产,抗拉性能和韧性得到改善,锻造和硬化温度敏感性得到消除、机械加工性能得以改进——所有这些都归功于钼的存在。

最初,合金钢的发展几乎完全以合金的这种“神秘性”为特征,在这里,单个元素或多种元素的结合对钢性能的作用是不可缺少的。这种“神秘性”可由钢的生产厂与合金供应的共同实践并提供的“物理性能图表”所固定下来,如图3所示。这些曲线描述了在奥氏体化和淬火之后回火温度对强度、塑性和硬度的影响。因为这些数据是由拉伸样品上获得的,而这种样品又是从1吋(25mm)直径的热处理钢棒上取下来的。这种断面尺寸不会完全硬化的钢不能与真正完全硬化的较高合金钢相比拟。这样,这些图表就能增强这样一种想法即每种合金钢具有其本身独特的,且不同于其他钢种的综合性能。

然而,在三十年代后期,由Janetsky和Boegerts^[5]所做的观察指出,不管合金成分如何,钢的硬度和抗拉强度之间存在着密切的关系。这些观察和由Bain^[6]、Grossman^[7]、Boegehold^[8]及其他人所提出的淬透性这个概念,开始从混乱中变得井井有条。

这种条理性是以某些特殊简化的假设为基础的,即(a)所有相同碳含量和硬度的回火马氏体组织都是一样的,而且(b)合金元素的特有作用,保证了在淬火时获得完全的马氏体组织。

最近几年来,大部分研究团体逐渐改变了研究方向,转向用显微镜研究转变动力学和机理,显微结构的详细形态及结晶学,以及强化机理等问题。

同时,合金化的淬透性概念就是通过研制出一种合理和准确的方法来产生更多数量的马氏体组织。这种方法能根据化学成分和冷却速度预测钢的组织 and 抗拉性能。^[9-11]然而在工厂里实践的冶金工作者虽然接受“淬透性”概念的基本假设,但他们继续保留着某些古老的合金“神秘化”的想法。某些特殊元素的独特影响,例如钼对降低回火脆性敏感性的影响是牢固地树立起来了,但

对其它方面则未充分肯定。

选择汽车零件时,对同等淬透性讲,更多地考虑合金成本。其他方面的考虑包括在早期Cr—Mo钢的已注意到的特性中,例如:退火特征、加工性能、热处理的再现性以及满足各种各样的和复杂的工程用途的能力。

这种需求上的复杂性,结合人们感觉到的(或预感到的)“同等”钢在满足这种需要的特性上的差别,已经引起了与日俱增的合金元素的结合。到1940年,SAE系统列出了65个低合金钢的标准级别,现在有90种,还不包括“H—带”系列,以及由个别生产者所专用的很多所谓“变态”钢种。同时,

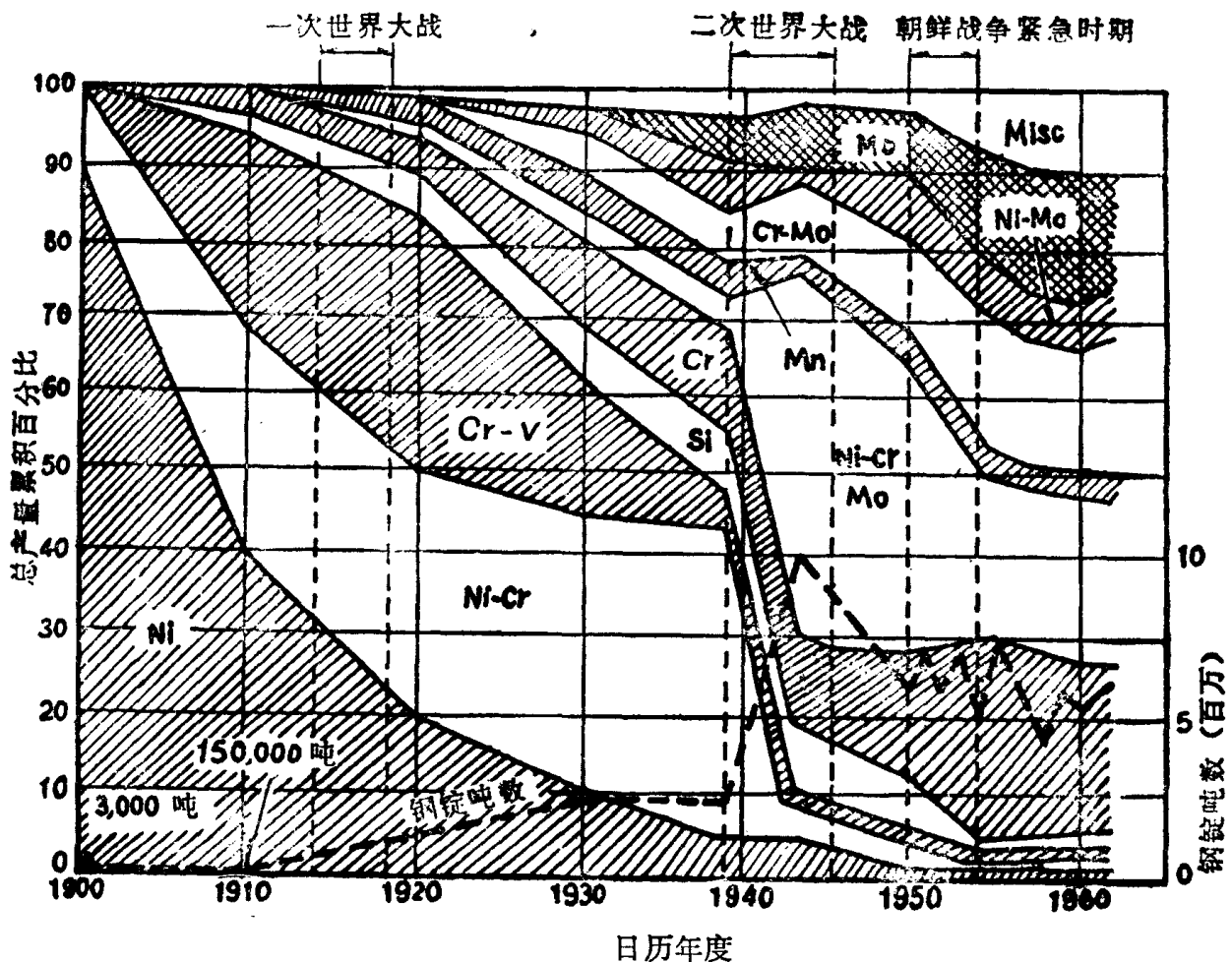


图2 按年生产的合金钢类别的累积百分比

多数商品上不再使用的88种陈旧的钢种已被淘汰。这些一连串的变化表明,合金钢的技

术,实际上离成熟阶段还相差很远。

而且，在传统可锻合金钢之后，不断探索汽车零件用新的更好材料正在扩大着，而竞争也在增长。

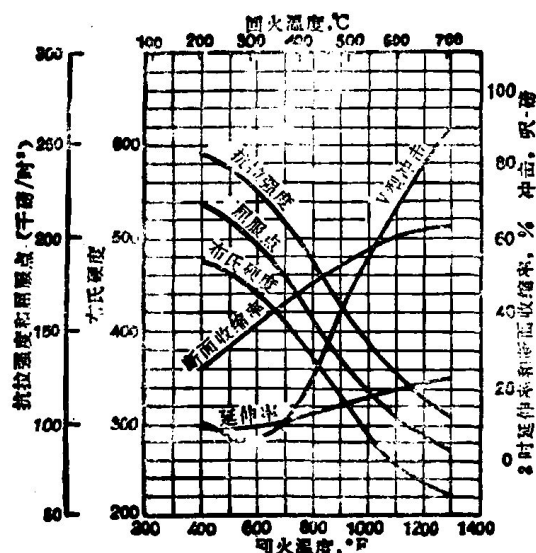


图3 镍铬合金钢典型物理性能图

竞争——合金钢的代用品

目前，对汽车用合金钢最强大的竞争者是铸铁。大概第一次替换材料出现在引擎阀传动机组上。这里用的淬硬钢凸轮和升降机构都被合金灰口铸铁所取代。虽然最后的益处在经济上，但是代用的主要力量是技术。硬化的合金铸铁的不均匀的显微组织是由石墨和马氏体基体上的大块碳化物组成；在边界润滑条件较其所取代的淬硬钢有效得多的情况下，这种不均匀显微组织提供了一个防止阻滞的表面。

50年代开始，挤进合金钢领域里的另一个打击出现在曲轴上。在早期的发动机中，曲轴的疲劳性能是一个普遍的问题。这个问题要求高质量的回火马氏体组织，在某些机型上还要求感应淬火的圆角或氮化表层，以防止断裂。原因是：早期的单排长冲程发动机要求具有抵抗高弯曲应力的长而呈纺锤状

的曲轴。由于发动机越来越变得紧凑，曲轴也越来越粗壮，而且设计极限是扭曲强度而不是疲劳强度，技术上的这种变化，促成了从钢到珠光体可锻铸铁和珠光体球墨铸铁的强大转化。同样，在连杆上加速用球墨铸铁代替合金钢的这种变化也正在出现。

奥氏体等温处理的球墨铸铁用在后轴环形驱动齿轮上是最近的成功用例之一。而这些零件习惯上都是由渗碳合金钢制作的〔12〕（图4）。球墨铸铁在减少噪音和防止划伤方面起着良好的作用，此外还大大改进了加工性能。由于比重较钢小，这使一套220mm（8 $\frac{1}{2}$ 吋）的齿轮降低重量约1公斤（2.2磅）左右。

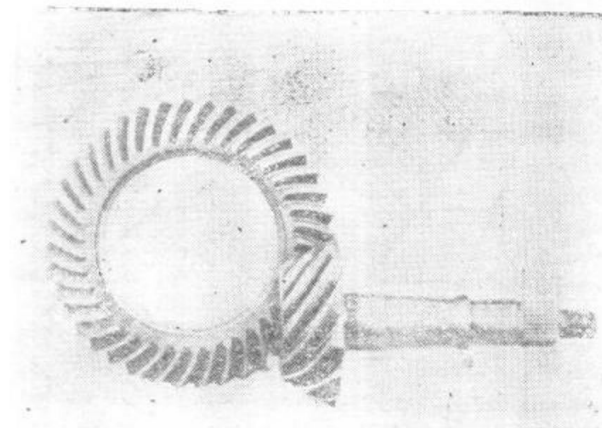


图4 球墨铸铁的后轴环形齿轮和驱动装置

对可锻合金钢的另一个可行的代替是高密度烧结铁粉。一台1976式的GM（通用汽车公司——译者注）带有自动传动和动力转向的中型汽车含有3.5公斤（7.7磅）左右的烧结铁，它们包括油泵齿轮、摇臂轴支座和离合器压盘（图5）。〔13〕许多过去应用的密度相对低的材料主要由灰口铸铁所取代。然而，对理论密度讲，热成型能提供一个近于中硬度热处理合金钢的性能。差速器半轴齿轮（图6）已成功地用热成型生产出来，而传动转子离合器（图7）已经大批地用热成型烧结铁生产多年了。粉末冶金在传统合金钢上的进一步应用的主要障碍是粉末的清洁度。今天，

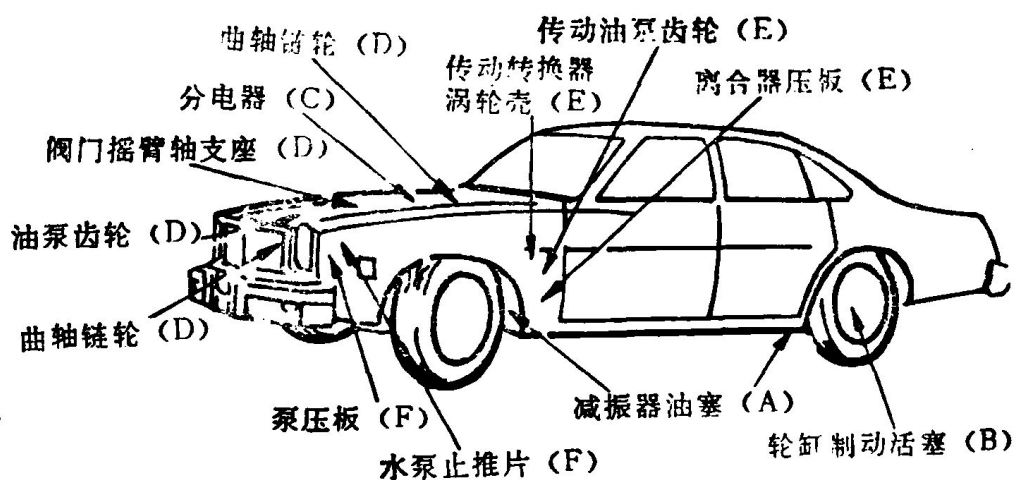


图5 1976式中型汽车上的烧结铁零件

	公 斤	(磅)
A) 振动吸收器	0.16	0.342
B) 制动器	0.16	0.347
C) 点火系统	0.06	0.122
D) 发动机	0.56	1.242
E) 自动传动	1.93	4.254
F) 转向系统	0.62	1.376
总合	3.49	7.683

商用雾化铁和铁合金粉末都包含有杂质：矿渣、耐火材料或脱氧产物。这些产物影响加工性能，尤其更重要的是这些产物严重降低疲劳持久性能。不过，改变这种情况用现在的技术就可办到，而进一步扩大应用几乎是可以肯定的。

在更远的将来，当其他竞争者代替淬硬钢时就会看到实际的方法。一种可能是将现时由淬硬合金（主要是耐磨的）制造的零件改用陶瓷材料；另一种可能是借纤维增强复

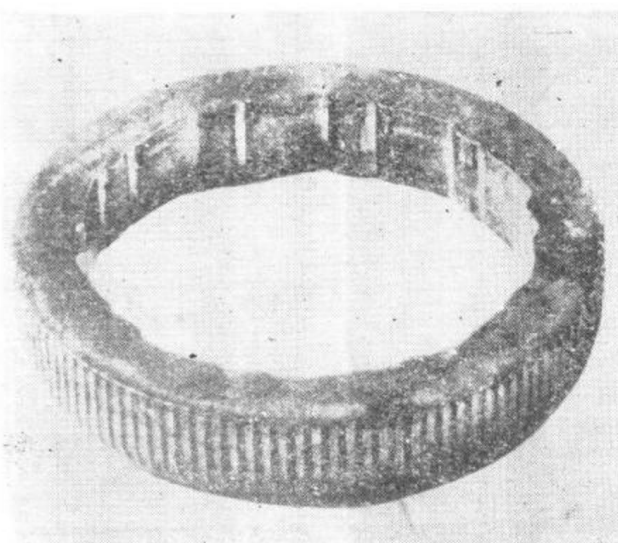


图7 烧结和热成型传动转子离合器

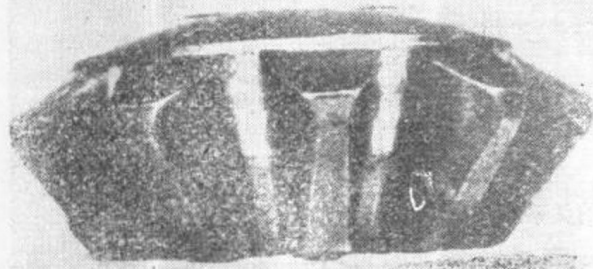


图6 烧结和成型的差速器半轴齿轮

合材料来代替。这种复合材料可在具有简单几何形状和承受载荷的零件上得到应用，例如在抗扭零件和板状弹簧上等。

一般来说，技术和经济力量的继续推动，重量不断降低及节约材料与能量的不断

要求，将起到少用普通热处理钢的作用。

替换材料看来似乎不应当用在那些承受最高应力的部件上，例如动力传动齿轮和轴，滚珠轴承及弹件等。这些构件可以完全淬透，用感应加热使表面硬化或表面渗碳，其特点是高硬度：HRC达50甚至更高。同时，高硬度钢的工艺则是热处理钢最少被人了解的一个方面，而表面硬度，表层深度，心部性能以至合金的成分这些参数，是完全根据过去的经验和部件的试验来确定的。

淬硬钢定量疲劳性能的不确定性，由Garwood^[14]的试验予以概括，他所发现的某些情况示于图8。他的结果证实了人们已经认识的东西，即疲劳的可预言性和部件的可靠性随着硬度增加到某一极值而迅速下

降。这极大值看来似乎取决于碳含量以及合金的成分。

Garwood对SAE 4140钢进行淬火而后回火到各种硬度值的数据显示了一种性能（图9）。值得注意的是，HRC46试验钢没有显示出疲劳持久极限，而HRC50试验钢，甚至连平均应力——寿命关系都无法显示出来。

类似的情况出于图10中。该图取自Fisher和Sheehan的著作，而作者们想使S—N曲线适合于数据这一点是不足之处，这样作法是危险的。因为S—N曲线上无数数据点，要想找到它，必须到设计师们所用的手册中。这是因为设计工程师把它当作一条解析关系线应用到计算中。

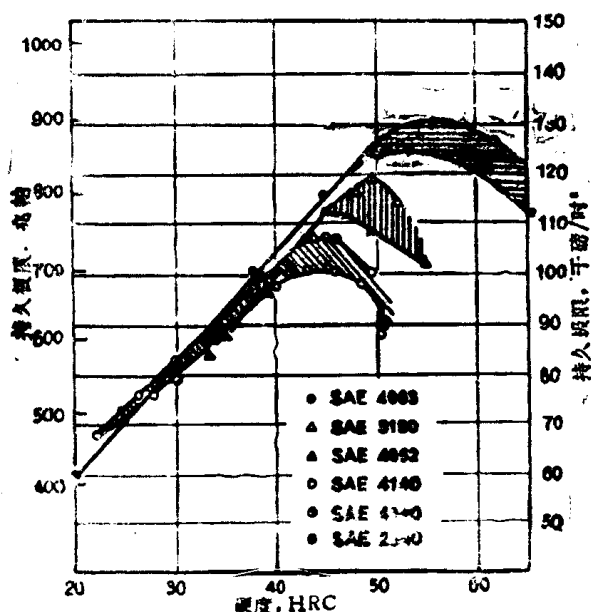


图8 持久极限与硬度的关系（中碳合金钢）

高硬度钢广泛而成功地应用于疲劳条件下的各种零件上，这一事实表明，人们设计这

些零件以适应较低频率的一边。因此，要更有效地使用合金钢仍存在较大的问题。

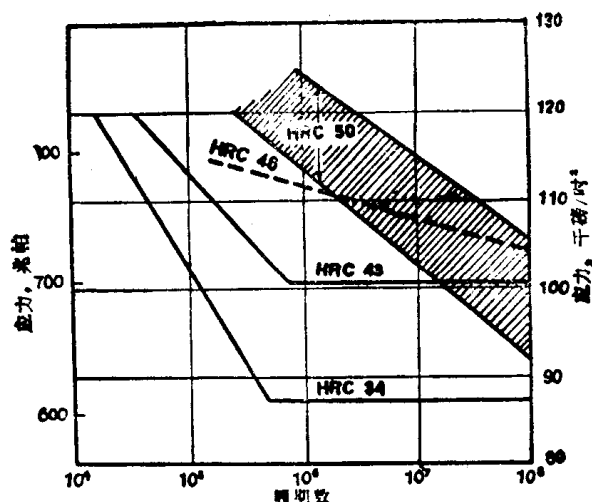


图9 SAE4140钢S—N曲线(反复弯曲)

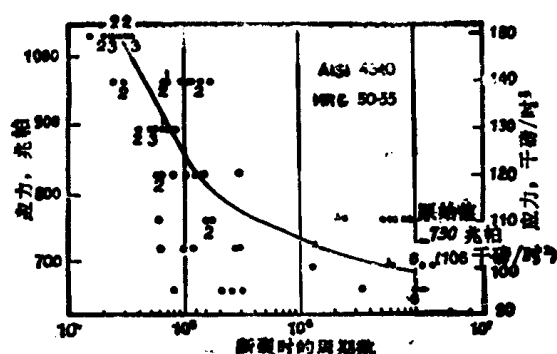


图10 旋转梁疲劳数据

问题

通用汽车公司研究所在50年代末期和60年代初期曾几次试图弄清高硬度钢的疲劳性能, 结果都没有成功。[16, 17]但他们提出的某些发现和对问题的评论, 在这个重要而又困难的研究领域里可以用来促进进一步的研究。

通用汽车公司研究所试验研究所用的材料是SAE52100钢, 经淬火和回火硬度达HRC61~63。选择这种含1%C和1.5Cr的合金, 是因为通过调整奥氏体化温度, 能够很容易地改变残留奥氏体量。原始组织是铁素体中的球状碳化物, 当奥氏体化温度升高

时, 增加了碳化物的熔解, 这样就产生一个含碳量较高的基体, 因而在热处理后, 奥氏体含量较高。

所有疲劳试验都是在单一应力值下进行的。因为在这样高硬度的材料中确定持久极限是困难的。矩形横断面的试样用单方向弯曲加载, 应力模型简略地示于图11。

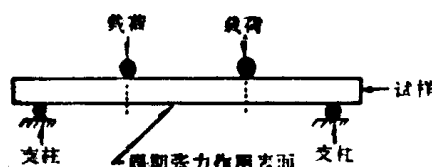


图11 单方向疲劳试验的加载方法

这种对称载荷在离试样中心50mm(2吋)的部位上产生一个均匀的弯曲力矩。这样加载是为了使样品的大部分容易受到最大应力, 这个位置比R.R. Moore的传统样品更有助于显示材料的平均性能。在传统样品上, 只有在直径最小的地方的那个小区域经受最大应力。

标准程序是将被统一加工的样品至少十个一组进行试验并利用Weibull分布函数[18]来估计平均寿命。Weibull分析的方便之处在于它能在同一坐标系中掌握分布的

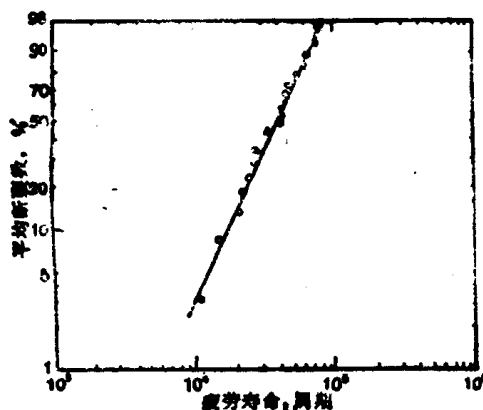


图12 疲劳寿命的Weibull图

变化。一系列典型的结果显示于图12。

起初，我们估计到几个因素会影响淬硬钢的疲劳性能，例如晶粒大小和残留奥氏体含量等。图13表明用很多不同奥氏体化处理

所得结果，这些处理方式使显微组织产生了很多明显的差别。图中每个棒中心线表示该组的平均寿命。令人惊奇的是，当考虑置信带宽度时，它们显然没有实质上的差别。

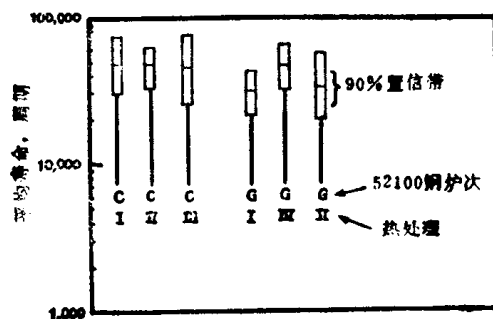


图13 热处理变化对SAE52100淬硬钢疲劳寿命的影响

符号	第一次奥氏体化	第二次奥氏体化	回火C (F)
I	845°C (1555°F) 油淬	—	175 (345)
II	970°C (1780°F) 油淬	860°C (1580°F) 油淬	175 (345)
III	845°C (1555°F) 油淬	—	120 (250)
IV	925°C (1695°F) 油淬	—	175 (345)
V	860°C (1580°F) 油淬	925°C (1695°F) 油淬	175 (345)

当增加样品批量来改进置信统计及所做的进一步干扰研究表明，所画曲线有着寿命分布的“精细结构”。这种图象之一如图14。四十个相同样品的寿命分成不同的三组：低值组、高值组和中间组。

当按分离总体法重画这些数据（图15）的曲线时，则得出一些直线，每条直线都有一个正常分布的倾斜特征，周密检查每组样品没有发现明显的差别。

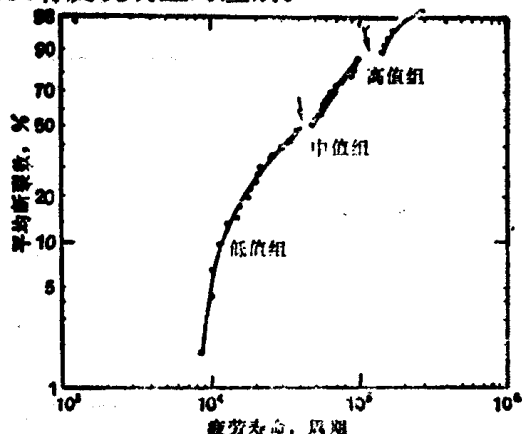


图14 SAE52100淬硬钢40个样品疲劳数据的Weibull图

由其他研究者检查淬硬合金钢疲劳数据的类似多量寿命分布还表明，这一现象与某

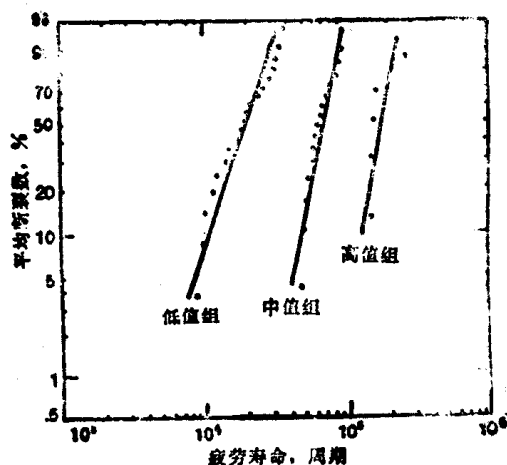


图15 由图数据所画各组曲线（各组分离开）

一特殊材料或试验技术无关。根据Frith[19]的报告所画出的图16是观察到的性能行为的典型表现。

很明显，零件的设计必须受最薄弱的环节——最低值组的性能的限制。

如果低寿命组和中寿命组的产生原因能

被统一起来并消除掉,那么淬硬钢零件的有效性能和可靠性会大大改进。然而,至今关于多量分布的满意解释还未见报导。

起来。

参 考 文 献

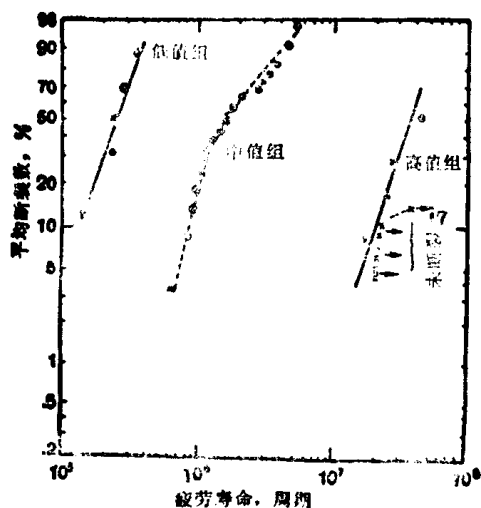


图16 硬度达HRC62的EN31 (C—Cr) 钢反复弯曲试验的Weibull图

另一方面,合金钢技术更普遍的问题是早已谈到的合金的“奥妙”之处。某些合金元素对性能确实有独特的影响,另一些元素的影响则难于确定。现在需要做的事情是一致应用现代技术来确定中碳、高碳钢中合金化的效能及有关机理问题。依据这种认识,各种特殊用途的合金可以达到最佳化,而且真正级别相当的合金就可能被识别出来以保存那些关键性的合金元素。

总 结

汽车制造工艺的发展趋势表明,低等和中等硬度的合金钢不断被其他材料,特别是铸铁和金属粉末产品所代替。高硬度钢的主要作用将继续在高应力状态下使用,并要求有最大的抗疲劳性能,而且对合金钢技术来讲,主要的问题是了解和控制疲劳行为。最后,通过对各种合金元素单独的和结合的特殊作用及对材料性能和使用特性方面的影响的不断了解,合金钢的利用将会迅速地扩大

1. The Sorby Centennial Symposium on the History of Alloy Steels, C. S. Smith Ed., Cordon and Breach Science publishers, New York, 1965, 473.
2. Anon., Automotive Industries, 155 (1), July 1976, 36.
3. A. L. Boegehold, Metal progress, 70, Sept. 1956, 103.
4. C. McKnight, Transactions of American Society for Steel Treating, 1 (6), 1921, 288.
5. ASM Metals Handbook, 1948 Ed., 456.
6. E. C. Bain, Trans. AIME, 100, 1932, 13.
7. M. A. Grossman, Trans. AIME, 150, 1942, 227.
8. A. L. Boegehold, Trans. SAE, 49, 1941, 266.
9. Hardenability Concepts with Applications to Steel, D. Doane and J. Kirkaldy, Ed., TMS-AIME, 1978, 518.
10. Ibid., 493.
11. Ibid., 546.
12. Central Foundry Division, GMC (brochures).
13. P. Vernia, proceedings, Powder Metal Technical Conference, Hoeganaes Corp., 1978.
14. Interpretation of Tests and Correlation with Service, ASM, 1951, 1.
15. J. I. Fisher and J. P. Sheehan, WADC Technical Report 58-289, Feb. 1959, 3.
16. R. F. Thomson, ASM Transactions

Quarterly, 56 (4) , 1963, 80.

17. E. R. Mantel and C. H. Robinson,
Metal progress, 92 (5) , Nov. 1967,
65.

18. L. G. Johnson, Industrial Mathe-

metics, 2, 1951, 1.

19. P. H. Frith, Journal of the Iron
and Steel Institute, 180 (II) ,
1955, 26.

王恩涛译 万木运校

汽车工业齿轮用钢的现状和发展趋向

台尔默—奔驰公司 C.拉津姆

在选择承受高应力的传动部件材料时，需考虑三个基本的经济因素，即：

1. 使用性能；
2. 加工工艺性能；
3. 材料的成本。

三者间的关系必须取得很好的平衡，如图 1。

原则上，每种零部件在成批生产流程中，都允许有废品率，无论数量多小，但必然都有。在图 1 中，废品率以距离 AS 表示。A 点确定部件制造费用（距离 BS）及材料费用（距离 CS）确定废品率的位置。在机械加工工业中，材料费用约占总费用的 50%。因此，材料的选择特别重要。

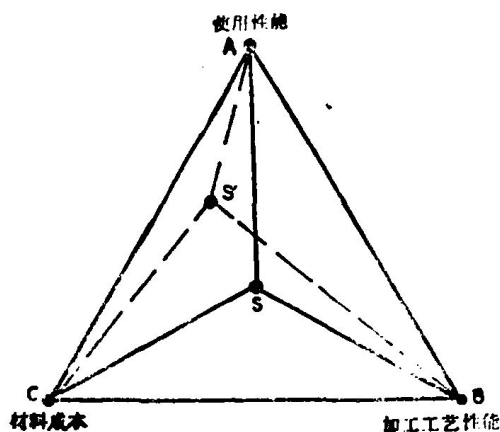


图1 选择材料的原则

对高效能传动件讲，因此就产生了有关最佳表面硬化钢及其工艺的问题。

高效能齿轮受力状态

用典型的齿轮损伤形貌，可以最好地说明齿轮可能承受的应力类型，其中最重要的如图 2。

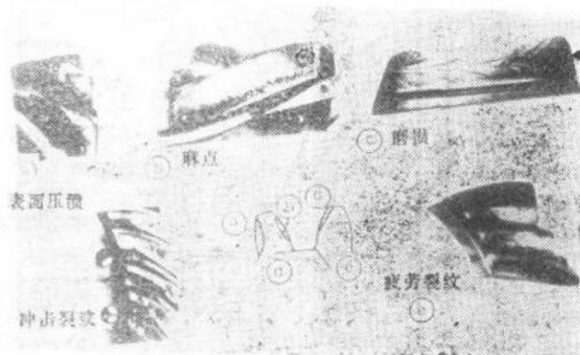


图2 齿轮损伤的类型

图2a是“表面压溃”，裂纹在表皮下伸展，最后导致齿侧面呈贝壳状崩落。

与此相反，图2b的齿侧的损伤麻点，经常是比较小型的，不会直接导致功能丧失。它们大部分局限在节圆的下部，并且不很深。

纯表面损伤示如图2c。磨蚀——是磨损的一种可能出现形式——导致齿侧的局部磨损。由“腐蚀磨损”（粘附磨损）及“磨耗”（研磨磨损）所造成的磨损，也被认为是齿侧的损伤，在本文中也将加以引用。

图2d是冲击载荷造成的齿轮损伤的例子。整个齿面剥落，导致立即功能丧失。

最后, 图2e是由于重复超载而造成的带有小残余裂纹的疲劳裂纹, 同样的, 也导致

部件失效。对这些损伤作了进一步理论上的应力分析, 取得的各种材料力学关系如图3。

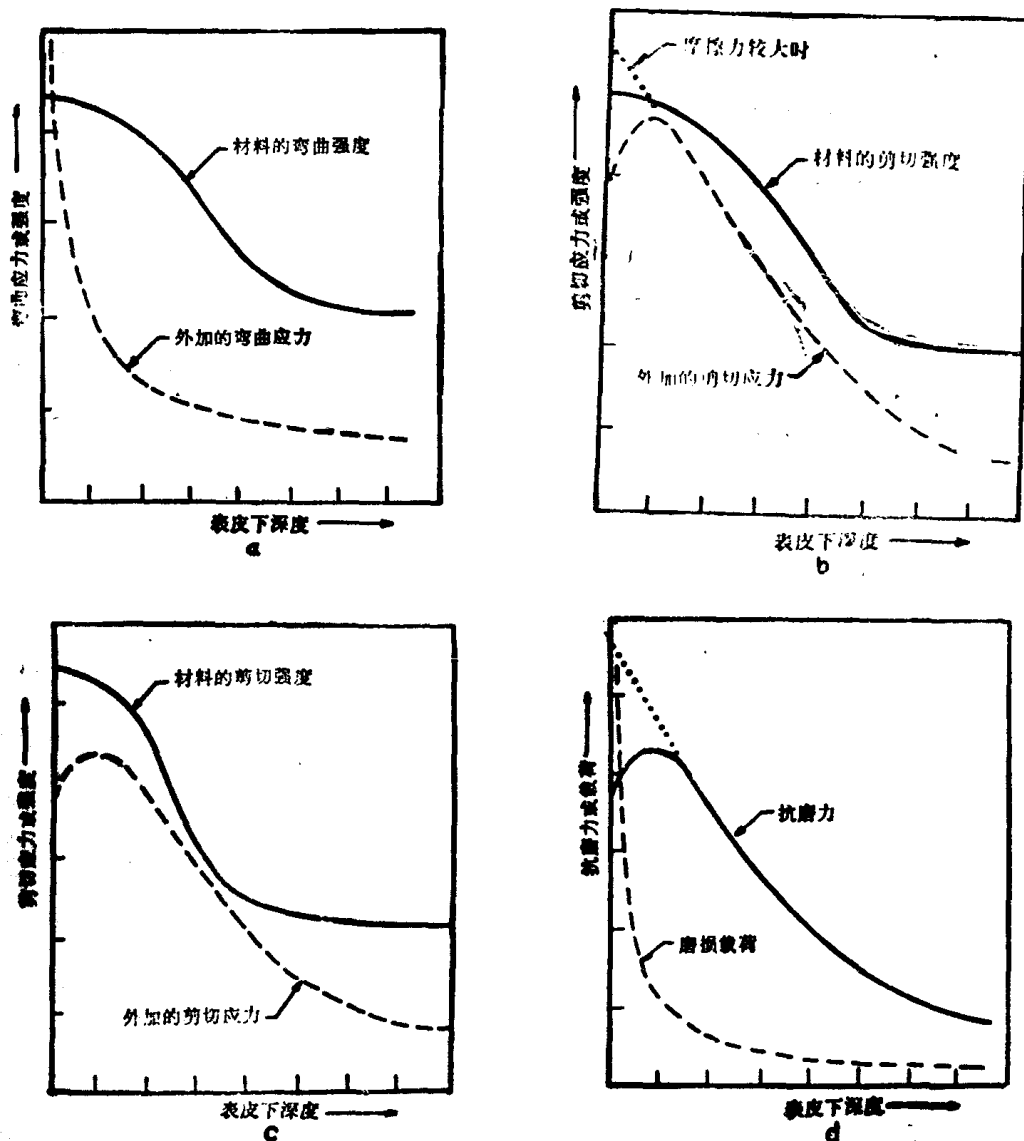


图3 表面硬化钢的应力—强度比

齿型及运动学决定应力的类型, 在图2d及2e情况下, 可认为主要是弯曲应力。载荷的分布示如图3a。最大的应力在表皮, 从而确定了最大应变点。如应力超过材料的相应的弯曲强度, 则在齿根部位产生疲劳裂纹。因此需要经常的区分, 为主的是骤加载荷还是比较平缓的载荷。

产生图2b麻点的应力是另一种完全不同的类型。在纯滚动应力状态下, 作用在表

皮下的最大剪应力由于接近表皮或直接加在表皮上的附加摩擦力的影响产生了变化, 对照图2b及3b可看出, 损伤都发生在邻近表皮的部位。如忽略某些例外情况, 则裂纹源通常位于负滑动区的齿侧的表面。[3]只有当剪切应力与剪切强度之比超过一个临界值(至今, 不准确知道)时才会发生这种类型的损伤。

对于由表面压溃而产生的损伤, 剪应力

与剪切强度之比也是明确的。然而,在这种情况下,重要的不是表面,而是从渗碳的表面到芯材的过度区(图3c)。这里也有一个不能逾越的临界值。R. Pedersen及S. L. Rice为这个值给了一个近似值0.6。

用表面硬度法对表面硬化部件作出了第一个耐磨性的近似值。由于加工制造不良,齿侧之间产生直接接触,会产生一定的磨损(图3d)。表面硬度愈低,磨损愈大。

在齿轮上可能产生的最重要的损伤类型列于表1。确定这些损伤在表中的位置,基本上确定这些损伤类型的发展过程。这些性

能再与最终决定材料性能的参数(如合金或组织类型)作比较。影响显微组织的因素也已列入表中。在生产过程中,这些因素不断发生变化并对部件的性能产生明确的影响。最重要的因素是表面氧化(SO),残余奥氏体量(RA),表面碳含量(SC),低温冷却(SR)及滚动加工硬化(WH)。这些因素专一地影响表面硬化部件的表面带,即图3中的承受最大应力区。从这个观点看,所有冶金学上的办法都是最重要的,因为它们对表面带都有影响。

表1 影响表面硬化齿轮失效的因素

失效类型	需要的性能	理想的组织	关键因素	成分的影响
高周疲劳	强度 (σ_{e1})	表面: 马氏体 心部: 马氏体 + (贝氏体)	RA↓, SO↓, SR↓, SC↑, WH↑	
冲击疲劳	强度 (σ_{e1}) 形变能力 (ϵ_{e1})	表面: 马氏体 心部: 马氏体 + (贝氏体)	RA↓, SO?, SR↓, SC↓, WH?	Cr↓ C↓ 心部
弯曲强度 (冲击)	强度 (σ_{e1}) 形变能力 (ϵ_{p1})	"	Brugger ⊕ ? RA↓, SO, SR, SC, WH ICS↓ ↓ ↓ ↓ ↑	Ni↑
表面疲劳	强度 (σ_{e1})	"	RA↑, SO⊖, SR?, SC↑, WH↑	
磨 损	硬度 (HV)	"	RA↓, SO↑, SR↑, SC↑, WH↑	

σ_{e1} = 弹性极限

ϵ_{p1} = 断裂后的延伸率

HV = 维氏硬度

RA = 残余奥氏体

SO = 表面氧化

SR = 零下冷冻

SC = 表面碳含量

WH = 加工硬化

ICS = 初始裂纹应力

碳及铬的重要意义

如H. V. Meyer所说,从渗碳性能这个观点看,钢的化学成分非常重要。

众所周知,随渗碳条件中的碳位不同,典型的合金表面碳量是可获得的(如图4)。

碳量水平与钢中碳的活性有关,同时又直接取决于溶质的合金化元素量。〔6〕铬是一种可强烈改变溶质与过饱和碳之间的平衡,使向较低碳量方向转变的重要元素。〔7〕这与著名的过度渗碳趋向具有同等意义,与作为高碳位气氛渗碳的结果的图4也是一致的。

对一个已知合金讲,在一个相当长时间