

XIANWEIZUZH I DUI BIAO
MIANSHENTAN LINGJIAN
XINGNENG DE YINGXIANG

Geoffrey Parrish 著
王万智 门楚瀛 译

显微组织 对表面渗碳零 件性能的影响

中国铁道出版社

56.8

显微组织对表面渗碳零件 性能的影响

Geoffrey Parrish 著

王万智 门楚瀛 译

中国铁道出版社

1985年·北京

内 容 简 介

本书根据各国专家有关试验研究资料,系统地综述了表面渗碳件的表面显微组织;内氧化、脱碳、碳化物、残余奥氏体、其他显微组织特征、心部性能和渗层深度、淬火后的热处理和机械加工等对零件性能的影响。书中各项数据与论点,一律注明了参考文献,有利于进一步查找资料。本书可供表面渗碳生产工作者和科研人员应用,并可减免有关本专题研试工作中的若干重复劳动。

The Influence of Microstructure
on the Properties of
Case-Carburized Components

显微组织对表面渗碳零件性能的影响

Geoffrey Parrish 著

王万智 门楚瀛 译

中国铁道出版社出版

责任编辑 徐仁杰 封面设计 王毓平

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本: 850×1168 1/32 印张: 6.125 字数: 157 千

1985年2月 第1版第1次印刷

印数: 0001—3,000册 定价: 1.35元

译 者 的 话

钢的渗碳，已经有很久的历史了，是一种极古老的表面强化工艺。今天，随着工农业的高速发展，它的使用越来越广泛和普遍。然而，令人遗憾的是，直到现在还不能说表面硬化工艺已经很成熟了。

目前，国内外很多制造厂、科研单位和有关的大专院校，在表面硬化层组织、性能和使用寿命的关系及各种硬化工艺的研究等方面进行了大量的工作，取得了一些宝贵的数据和资料。但这些资料不能迅速介绍给大家，导致很多研究工作往往带有局限性和重复性，影响了这一工作的进展。

本书较为系统地讨论了内氧化、脱碳、游离碳化物、残余奥氏体和马氏体中的显微裂纹等显微组织形成的条件、控制的方法，以及这些显微组织形态对零件性能的影响；进而讨论了像显微偏析、非金属夹杂物和晶粒大小这些材料本身固有形态的影响；最后讨论了诸如回火、冷处理、磨削、喷丸、滚压等工艺方法对组织和性能的影响。

本书所讨论的性能，主要是人们极为关心的弯曲疲劳、接触疲劳、抗擦伤和耐磨损等性能。本书还着重讨论了硬化过程中产生的残余应力的性质、大小和分布情况，因为残余应力对上述性能有极大的影响。

本书还较系统地介绍了硬化层深度、硬化层的表面碳浓度、心部的强度等因素对零件寿命的影响。

译者翻译这本书的目的是，希望能在以上几个方面给广大读者提供一些资料，以便为进一步提高渗碳件的使用寿命、挖掘企业潜力、节约能源、提高经济效益作出一点贡献。但由于我们的水平有限，翻译错误和不当之处在所难免，希望广大读者多提意

见。

在翻译本书的过程中，承北京轻工业学院机械系陆严清副教授指导，并校审了第7、8两章。全书最后由徐仁杰老师作了全面的审校。书中的金相图片均由黄梦华同志翻拍。在此，谨向他们致谢。

王万智 门楚瀛
1983年9月于北京

前 言

这是一本综述渗碳表面淬火产品的书，也就是说，是一本讨论显微组织形态，以及它们对材料的若干重要性能的影响。本书不准备涉及渗碳过程本身，而主要是综述它的影响、作用和效果等方面的现况，同时还可能指出一些情况不明或论点分歧的某些问题，更重要的是，本书拟向读者指出，由于渗碳淬火和有关过程所涉及的参数众多，整个课题是极其复杂的。

本书在具体内容上承担着传播技术情报的任务，所涉及的工艺过程又是非常重要的。因此对学习工程技术和黑色冶金的人员来说应该是有价值的。

从事现场控制的冶金工作者可以根据控制试件所观察到的某些显微组织形态，更方便地确定其性能的意义。他们又可能寻求或研究迄今未获重视的组织。据此，如有必要即可对控制程序进行修订，而质量或许能得到提高。本综述对从事失效分析人员也是有用的。

管理热处理的工作人员，根据部件工作图或企业制订的标准，制定合乎诸如表面硬度、表层深度要求等等易于测定的特性指标，也还可能会对取得这些性能所使用的正式或非正式的方法提出种种疑问。其结果是测定方法将会根据需要而有所改进。

对研究渗碳的人员来说。本书将为他们在新的研究领域方面提供可资利用的材料和桥梁。

本书试图为应力工程师和设计工程师提供与渗碳部件有关的某些重要性质的定量数据。这些数据以往可能只是“假设”的。鉴于本书的综述涉及既复杂而又相互关联的许多方面的问题；工程师们必将对于冶金师们，有时对于看来是很简单的问题都还不能给出准确答案的情况，表示谅解的。

为本书搜集资料的工作开始于1974年，在当时全面铺开这一工作，不仅对从事实践的人员，而且对从事工业程序计算的人员都是颇为适宜的。随着廿世纪八十年代的到来，将进入了一个崭新时期。人们不仅可以盼望从钢的化学成份和部件图，即可相当精确地预计成品的显微组织、硬度分布情况、残余应力梯度、变形及其成长过程等等特征。当前的重要课题是如何确定材料性能的准确参数，以便输入到拟定的程序中。该程序一方面与渗碳控制程序相连，另一方面又与寿命预测程序相连。希望本书对从事计算机研究的人员也会有帮助。

要为研究领域各异的广大读者编辑综述书籍确非易事。本书也许有些侧重于齿轮的讨论。鉴于在齿轮生产中，往往涉及到渗碳过程，而且作者本人又是从事齿轮制造的，因此，出现这一倾向性，也是不足为奇的。存在一定的倾向性，实际上是无关紧要的，因为不管制造什么成品，渗碳表面淬火，其情况基本相似。

本书所载各篇论文于1976~1977年首次发表在威尔夫逊热处理中心出版的期刊“金属热处理”。其后有关渗碳的数据不断涌出。有些数据与本书所载论文有关，作者将这些材料写成补充说明，列在相应章节的最后部分。

目 录

绪 论	1
I 内 氧 化	3
一、促进内氧化的因素	3
二、内氧化的过程	4
三、内氧化对局部显微组织的影响	8
四、内氧化对材料性能的影响	9
五、防止内氧化的措施	14
(一) 钢的设计	14
(二) 现场实践	15
参考文献	16
注 解	17
II 脱 碳	19
一、脱碳及促进脱碳的因素	19
二、脱碳过程	20
三、脱碳对显微组织的影响	24
四、脱碳对材料性能的影响	26
五、控制脱碳的方法	29
参考文献	30
III 碳 化 物	31
一、球状碳化物	31
(一) 碳化物形成过程	32
(二) 球状碳化物对显微组织的影响	34
(三) 球状碳化物对材料性能的影响	35
(四) 控制碳化物形成的方法	39

二、网状碳化物	39
(一) 网状碳化物形成过程	40
(二) 网状碳化物对显微组织的影响	42
(三) 网状碳化物对材料性能的影响	42
(四) 控制网状碳化物	44
三、薄膜状或层片状碳化物	44
参考文献	45
注 解	48
IV 残余奥氏体	49
一、促进残余奥氏体产生的因素	49
二、 M_s 和残余奥氏体含量之间的关系	51
三、奥氏体的成层	54
四、显微组织中的奥氏体	56
五、残余奥氏体对材料性能的影响	58
六、残余奥氏体的控制	65
参考文献	68
注 解	71
V 其它的显微组织特征	73
一、晶粒大小	73
(一) 影响晶粒大小的因素	74
(二) 晶粒大小和显微组织	77
(三) 晶粒大小对性能的影响	78
二、渗碳表层的微裂	82
(一) 影响微裂的因素	82
(二) 微裂对材料性能的影响	85
三、显微偏析	87
(一) 压力加工和热处理的作用	89
(二) 显微偏析与宏观、微观结构	90
(三) 显微偏析对性能的影响	91
四、非金属夹杂物	94

非金属夹杂物对材料性能的影响·····	95
参考文献·····	98
注 解·····	102
(一) 晶粒大小·····	102
(二) 非金属夹杂物·····	103
VI 心部性能和渗层深度·····	104
一、心部性能·····	104
(一) 心部的显微组织与一般性能·····	104
(二) 心部性能对疲劳强度的影响·····	109
二、渗层深度·····	120
(一) 增加渗层深度的影响·····	120
(二) 渗层深度和截面厚度·····	123
三、结 论·····	128
参考文献·····	129
注 解·····	132
VII 淬火后的热处理·····	134
一、回 火·····	134
(一) 回火对显微组织的影响·····	134
(二) 回火对材料性能的影响·····	137
二、冷处理·····	145
参考文献·····	152
注 解·····	154
VIII 淬火后的机械加工·····	156
一、磨削加工·····	156
(一) 磨削加工·····	157
(二) 磨削烧伤·····	158
(三) 工艺参数的影响·····	159
(四) 磨削引起的残余应力·····	163
(五) 疲 劳·····	165
二、滚压抛光·····	168

(一) 滚压对显微结构的影响	168
(二) 滚压对材料性能的影响	169
三、喷丸处理	173
(一) 喷丸处理对显微组织的影响	175
(二) 喷丸处理对材料性能的影响	175
参考文献	178
注 解	181
喷丸处理	181
磨削加工	181

绪 论

由于自然演变、商业化和经济化，渗碳淬火已形成一种具有很多不同参数的热处理工艺。很少有哪两家公司采用完全相同的工艺。不仅在材料、设备或工艺的选择上总是有些差异，而且，在产品的性能上往往有所不同。甚至对待生产实践的评价是好还是坏；对待某些试验是否有效还是无意义等一系列问题上，也存在着意见分歧。对于每一个待处理的零件来说，应有一个最适当的材料和生产工艺的最佳组合。但是，对任一给定零件的材料和工艺的最佳组合，谁能知道是什么呢？多数分歧是由于需要表面硬化的零件类型过广，而可供采用的材料和工艺参数的选择性太大所造成的。

尽管有上述种种问题，渗碳工艺具有的共性是在零件表面层上产生一层富碳材料，这层材料在淬火后（不论用哪种淬火方法）会变成坚硬的表面。令人遗憾的是，现在还看不出表面硬化工艺已经是成熟了。附加的其它显微组织形态可能和所需要的马氏体同时存在，或取代了所需要的马氏体。这对零件的性能确有明显的影响，因而影响它的使用寿命。

这里所指的显微组织形态是：内氧化，脱碳，游离碳化物，残余奥氏体和马氏体中的显微裂纹等。

回火尤其会促使马氏体进一步转变，而淬火后的过冷处理会改变奥氏体与马氏体的比例。用喷丸或滚压方法进行的冷作硬化可使表面显微组织发生变化，并且对零件使用寿命有显著影响。表面研磨也会造成这种效果。

心部显微组织和性能的重要性不容忽视。还有像显微偏析、非金属夹杂物和晶粒大小，这些材料本身固有形态的影响，也是不可忽视的。

上面所提到的种种组织变异都是本书要讨论的主题。并在可能条件下尽量用实例来说明它们对性能的影响。书中所讨论的主要性能，有弯曲疲劳强度、接触疲劳抗力、硬度和抗磨损能力等。选择这些性能进行讨论，是因为采用渗碳硬化处理的主要目的，就是为了改善其中一种或几种性能。齿轮是一个很好的例子，上述各种性能对它来说必须加以考虑。本书还着重安排了一些有关渗碳过程中产生残余应力的讨论内容。因为工件本身的残余应力对于工作应力是起到叠加作用的。

I 内 氧 化

在表面硬化过程中，工件表面层的某些合金元素的氧化，对表面淬透性以及疲劳强度都将产生有害的影响。特别是涉及到气体渗碳的部分，本章研究了促使内氧化的因素和内氧化的机理，讨论了内氧化对显微组织及材料性能的影响，并列举了防止内氧化的一些措施。

一、促进内氧化的因素

气体渗碳一般使用吸热型气体作为载气。它是由天然气、液化石油气或城市煤气与空气按一定比例混合燃烧而产生的。渗碳温度一般控制在 $900\sim 950^{\circ}\text{C}$ 之间。使用天然气制成的吸热型气体典型的成份是： $\text{H}_2=40\%$ ， $\text{CO}=20\%$ ， $\text{CH}_4=0.46\%$ ， $\text{CO}_2=0.27\%$ ，水汽 $=0.77\%$ （露点 $+4^{\circ}\text{C}$ ），其余是氮气。在 925°C 的铁中，碳势接近 0.40% 。为了使钢件渗碳达到最佳的表面碳浓度，要在供给吸热型气体的同时加入适量的富碳的碳氢化合物，即富化气，以满足碳势的要求。

各种气体之间的平衡保证了吸热型气体对基体金属铁具有还原作用。然而，对于溶入铁中与铁形成固溶体的那些合金元素，由于它们与氧的亲合力比铁大。这些合金元素就有被氧化的趋势。

吸热型气体中的有害组份是水蒸汽和二氧化碳气。从氧化和还原的气体组份的分压力的比率，即 $P_{\text{H}_2\text{O}}/P_{\text{H}_2}$ 和 $P_{\text{CO}_2}/P_{\text{CO}}$ ，可以得出在钢中使用的主要合金元素的氧势。Kozlovskii^①用图表的方式表达一些合金元素在 930°C 时，用上述方法计算氧势的

结果，如图 1—1 所示。从图中可以看出：在所研究的元素中，Ti、Si、Mn 和 Cr 被氧化；而 Fe、W、Mo、Ni 和 Cu 则没有被氧化。这当然是指那些没有被化合的元素，即以固溶体形式存在的那些元素。

图 1—1 中省略了两种重要的元素 Al 和 V，根据图 1—2 ②，这两种元素在吸热型气体中也会氧化。从热力学观点来判断，Al 看起来比 Ti 稍微容易氧化，而 V 的氧化势则处于硅和锰之间。可以看出：对钢来说，促使内氧化的元素，通常是必要的。这些元素，在热处理过程中，主要为了使钢获得好的淬透性和韧性等方面的性能。但是，相反的，在钢的冶炼和铸造过程中，在某种情况下，它们的作用是帮助脱氧的。

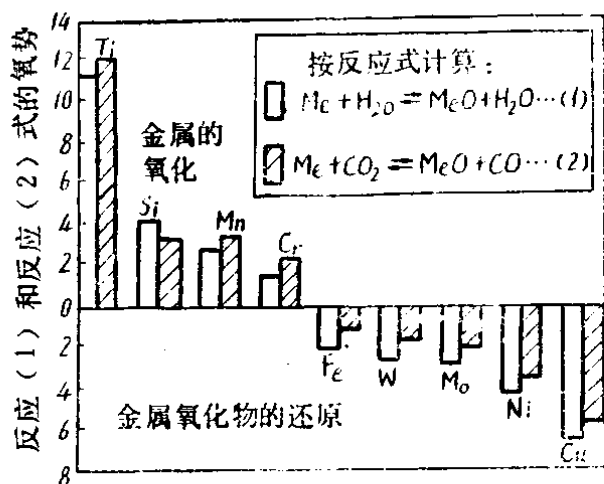


图 1—1 在吸热型气体中加热时合金元素和铁的氧化势

吸热型气体的平均成分：

$H_2 = 40\%$ ， $CO = 20\%$ ， $CH_4 = 1.5\%$ ，
 $CO_2 = 0.5\%$ ， $H_2O = 0.28\%$ （露点 $-10^\circ C$ ）， $N_2 = 37.72\%$ ，温度： $930^\circ C$ 。

二、内氧化的过程

在氧化过程中，氧吸附于金属的表面，然后沿着奥氏体晶粒和亚晶粒边界扩散，从而向表面渗入。用常规的光学显微镜能见到的内氧化物的典型深度，一般少于 $25\mu m$ ($1\mu m = 0.001mm$)。在极个别的情况下，可以在更深的地方发现内氧化与非金属夹杂物混合在一起。在更加远离表面，甚至达 $60\mu m$ 的地方亦可发现内氧化。图 1—3 表明氧渗入的深度显然超过显微镜所能观察到的深度。如果以低氧浓度形成沉淀物，由于沉淀物太小，光学显微镜就无法观察到。

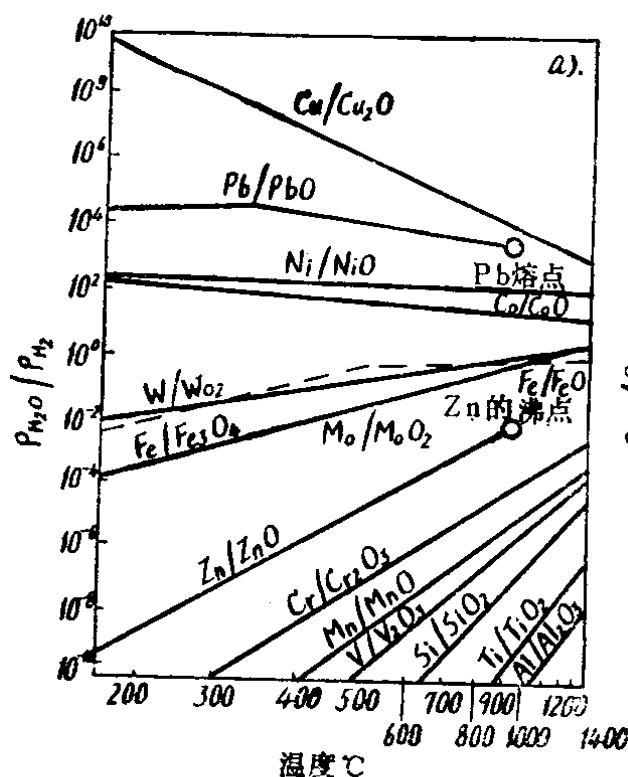


图 1—2a 在含有水蒸气和氢的气氛中
某些金属的氧化对温度的临界条件

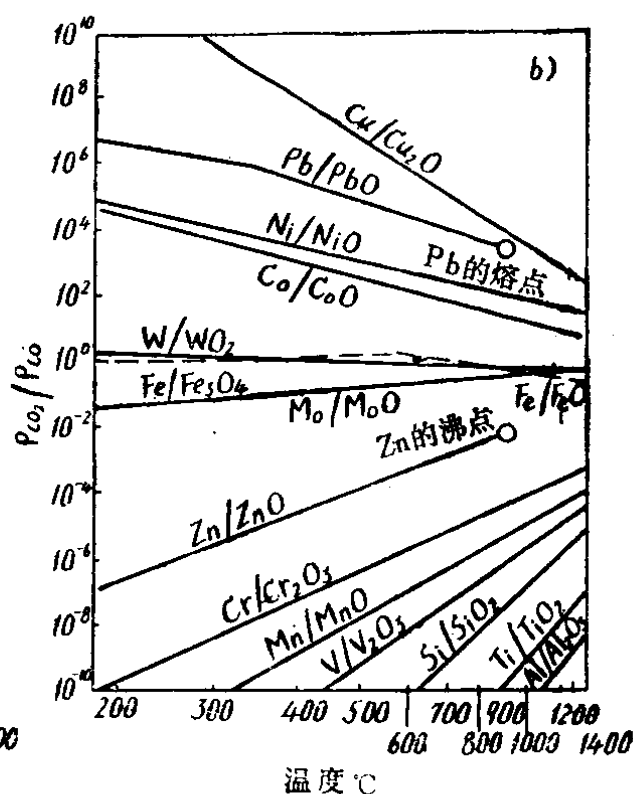


图 1—2b 在含有二氧化碳和一氧化碳^②的气氛中某些金属氧化对温度的
临界条件

由于扩散主要是沿着奥氏体晶界进行，所以，可以认为在这些地方出现的氧化物是连续或半连续相。然而当氧化很严重、以及钢的化学成份又起促进作用时，可能在晶粒内找到析出的氧化物粒子，如图 1—4 所示。而且会出现这样的现象：在晶粒内形成氧化物的可能性却随着晶粒尺寸的减小而增加^③。

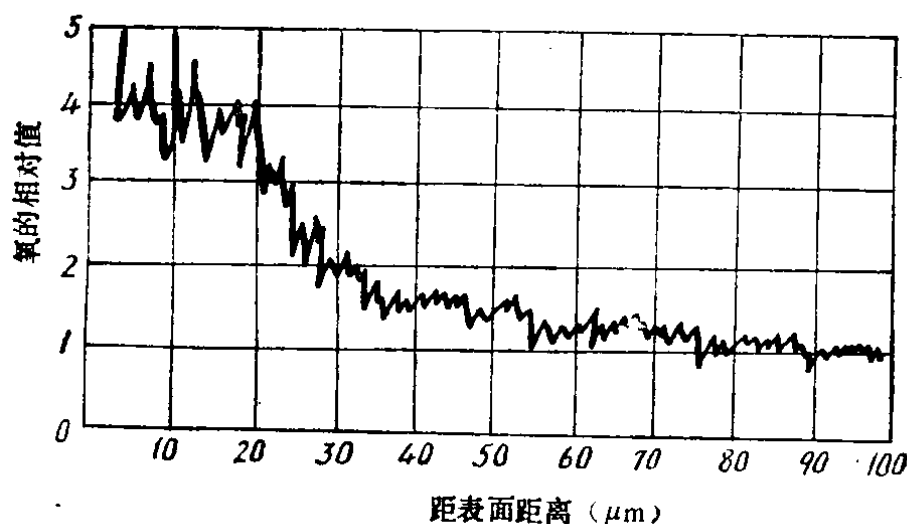


图 1—3 在吸热型气氛中渗碳的Cr-Mn-Ti钢 (25KhGT)
中，氧在表面的定性分布^③

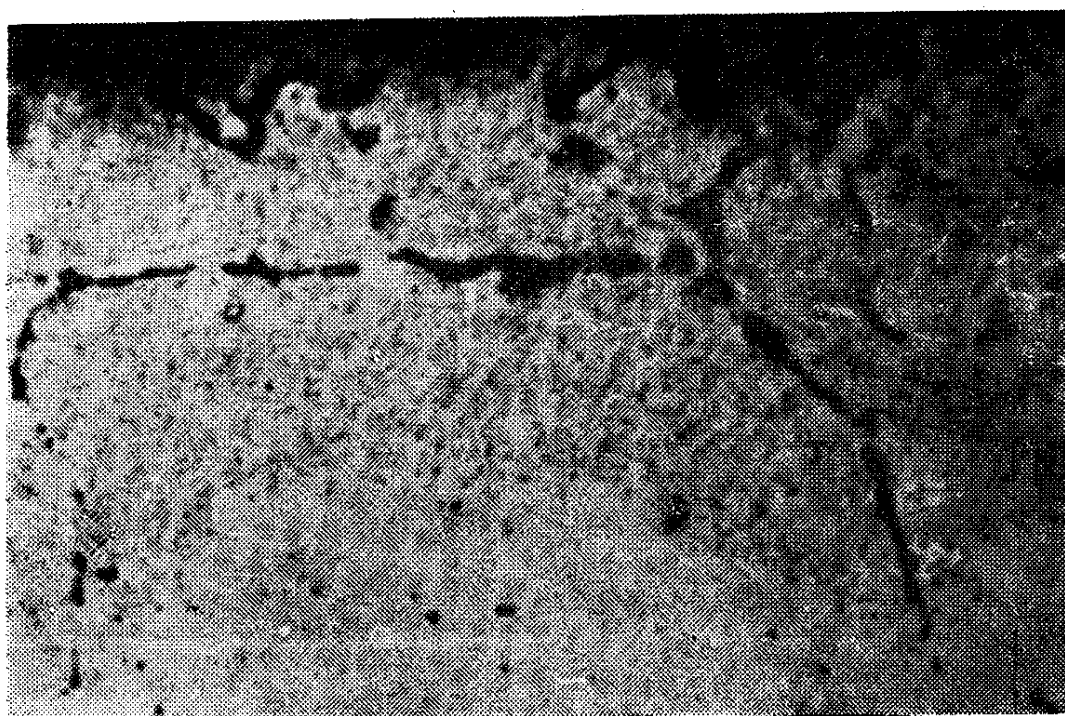


图 1—4 在实验室炉中渗碳的Ni-Cr钢的内氧化。显示着晶界和晶粒内氧化物析出，（ $\times 550$ ）

氧化物的类型、深度和数量与许多因素有关。首先,要使反应产物达到可测定的程度,则参加反应的反应物就必须要有足够数量。再者,无论在何种温度范围内发生反应,必需具备反应所需要的充分时间。Dawes和Cooksey^④提出了这些因素的重要性。他们认为,当吸热型气体的典型组成成分是20%CO和0.2~1.0%CO₂时,在这种气氛中进行渗碳,钢的内氧化是不可避免的。他们估计^⑤,对含有1%Cr的钢来说,为了防止内氧化,吸热型气氛中的CO₂不能超过0.2%;对含有1%Mn的钢来说,为了防止内氧化,吸热型气氛中的CO₂不能大于0.01%。他们用图表说明了^⑤内氧化是如何随锰含量的增加而增加的。但氧化浸蚀的严重程度也与层深有关。因为层深在任何温度条件下总是受渗碳时间支配的。因此,可以更恰当地说:氧化浸蚀的严重程度与气体跟金属进行反应的时间有关。

在再次研究合金含量时,Arkhipov^⑥使用18Kh2N4VA钢。他发现硅和锰没有氧化而铬却氧化了。此种钢的铬含量是1.65%。而另一种铬的含量为0.80%的Cr-Ni钢,内氧化程度较低。Ar-