

編 者 的 話

1961年9月，苏联批准了以国际单位制（СИ）作为国家标准。

国际单位制是通用的，它沟通了所有的机械学、热学、电学、磁学以及其他学科的度量单位。

在这本书的所有計算中，作者应用了米·公斤(力)·秒工程单位制（МКГСС）。为了将它們換算成相应的国际单位制的单位，下面列举了一些換算用的系数：

$$1\text{kg}=9.81\text{n};$$

$$1\text{公斤}=9.81\text{牛頓};$$

$$1\text{kg}/\text{m}^2=9.81\text{n}/\text{m}^2;$$

$$1\text{公斤}/\text{米}^2=9.81\text{牛頓}/\text{米}^2;$$

$$1\text{at（工程）}=1\text{kg}/\text{cm}^2=98066.6\text{n}/\text{m}^2;$$

$$1\text{工程大气压}=1\text{公斤}/\text{厘米}^2=98066.6\text{牛頓}/\text{米}^2;$$

$$1\text{mm-Hg}=133.322\text{n}/\text{m}^2;$$

$$1\text{毫米汞柱}=133.322\text{牛頓}/\text{米}^2;$$

$$1\text{mm-H}_2\text{O}=9.80665\text{n}/\text{m}^2;$$

$$1\text{毫米水柱}=9.80665\text{牛頓}/\text{米}^2;$$

$$1\text{kcal}=4186.8\text{j}=4.1868\text{kJ};$$

$$1\text{仟卡}=4186.8\text{焦耳}=4.1868\text{仟焦耳};$$

$$1\text{kwhr}=3.6\times 10^6\text{j}=1000\text{n}\cdot\text{m}/\text{sec};$$

$$1\text{仟瓦小时}=3.6\times 10^6\text{焦耳}=1000\text{牛頓}\cdot\text{米}/\text{秒};$$

$$1\text{kcal}/\text{m}\cdot\text{hr}\cdot^\circ\text{C}=4186.8\text{j}/\text{m}\cdot\text{hr}\cdot^\circ\text{C}.$$

$$1\text{仟卡}/\text{米}\cdot\text{小时}\cdot\text{度}=4186.8\text{焦耳}/\text{米}\cdot\text{小时}\cdot\text{度}.$$

序 言

苏联工业在控制气氛的制取和应用方面的指标不久以前还是落在其他国家类似指标的后面。

例如：美国以及其他资本主义国家中，实际上所有的从事于炉子设计及操作的公司，都拥有许多实验基地；可是在苏联，在保护气体方面只有少数小型的实验室在进行研究。

由于近年来苏联大力提高汽车钢板、镀锡薄板、电工钢、铁粉等等的产量，保护气体的需要量也大大增加了。

苏维埃第一个由工业氮及氨制取保护气体的发生站，在1957年的产量一共只有 $120\text{nm}^3/\text{hr}$ 而1961年在新李彼茨克冶金工厂投产的同类的发生站，第一期的产量就等于 $2000\text{nm}^3/\text{hr}$ 左右。这样大幅度的增长就要求从根本上改善这一技术领域内的工艺和设备，以及广泛采用自动化装备。

试验研究基地的扩充也使控制气氛的制取和应用方面的理论基础加深和丰富起来了。

近十年来苏联在这一技术领域内的发展还是沿着独立的道路前进的，因为从1947年起，实际上停止了从美国进口保护气体制取设备和炉子设备，而国外的技术情报并没有具体的可以在设备设计和炉子设计中应用的资料。

现在苏联和美国之间在保护气体方面的差距正在日益缩小。

进一步提高作为现代工业基础的金属产量，是国民经济的一个最重要的课题。

用于轧材热处理的现代化的炉子机组应当是连续的，应当保证有高速加热和光亮的金属表面。成卷钢带热处理用的最有前途的炉子应当认为是塔式炉。所以黑色冶金企业的发展和在炉子上

广泛应用控制气氛有着直接联系。

在大多数情况下，薄板及薄带热处理时采用了控制气氛以后，不仅防止了金属氧化，而且金属还和气体起着有效的化学反应，从而改变了它的成分和性质，使铁转变成钢，而使碳钢转变成合金钢（气体合金化）。

在这本关于控制气氛的书中，反映了国内外近年来在保护气体的制取和应用方面、在理论和实践方面所达到的成就。

根据所提出的材料，提供了关于保护气体的制取以及它在炉子上应用等方面的现代理论和实践资料，即热力学、物理学、化学工艺学、金相学、钢及合金热处理和化学热处理等方面的资料。

作者所得出的结论和提出的建议是根据大量试验而来的，这些试验是在作者带领下，在中央黑色冶金工业动力托拉斯的实验室和许多黑色冶金工厂中进行的。

本书中也是在世界文献中首次提出了作者所拟定的（在苏联科学院计算中心的一部分工作人员参与下）各种炉子内保护气体消耗量的计算方法。这一算法是根据B·E·格鲁姆·格尔日迈洛教授的水力学理论的基本结论推演出来的。它的效果已在实践中得到证明。其中在塔式炉方面，作者所提出的算法是带有商榷性的，因为它还没有经过实践考验（在苏联这样的炉子还处在安装阶段）。

但是根据国外发表过的材料，按照这种方法计算出来的保护气体流量，和美国的一个实际塔式炉的铭牌上的数据极为接近。

不断地改善工艺的要求，整个生产过程进一步自动化的要求以及在操纵和控制方面应用自动装置的要求，都和控制气氛的制取有很大的关系，因为气氛制取设备操作的可靠性，最终也就是金属的热处理质量取决于工艺及自动控制的完善程度。

所以本书对催化过程以及新的国产催化剂给予很大注意，这些催化剂都是最近发现并应用到控制气氛制取上去的。

书中对全盘自动化问题、保护气体生产及其在炉子上的应用

VI

等方面的控制問題，都給了相当的篇幅。

书中詳細地研究了耐热鋼及耐热合金在控制气氛中的氧化問題，并且作者将能形成各种金属氧化物、氮化物、碳化物、硫化物等等所有的表面反应也归納到“氧化”或“腐蝕”的概念下进行研究。

在大量試驗資料的基础上，作者根据合金的使用条件，提出了合金选择方面的建議。

作者深深感謝苏联科学院通訊院士，B.Φ.柯佩托夫，因为他提出了許多宝贵的意見和有益的建議。

目 录

編者的話

序言

第一篇 高温下金属及合金和气体间的反应

第Ⅰ章 金属及合金的氧化	1
第Ⅱ章 金属及合金无氧化加热的理論基础	11
掌握氧化反应及还原反应的规律性	11
混合气体中无甲烷时的水煤气反应	18
混合气体中有甲烷时的水煤气反应	19
第Ⅲ章 鋼的不脫碳加热原理	21
計算气氛的碳势	24

第二篇 控制气氛制备原理

第Ⅳ章 工艺流程及设备	29
由液态氮制取富氮氢混合物	30
由工业氮及氨制取貧氮氢混合物	57
由工业氮及氨制取保护气氛时应用的自动調节系統	65
由分解氨制取貧氮氢混合物	76
应用气态氮直接燃烧法制取貧氮氢混合物	81
由天然气制取控制气氛	86
制取貧氮氢混合物	90
天然气加水蒸汽的轉化法（掺空气或不掺空气）	103
甲烷和水蒸汽的轉化設備	105
气体和空气比例混合部件	106
由丙烷制取控制气氛	108
由煤油制取控制气氛	109
由木炭制取控制气氛	112

VII

第V章 制取控制气氛时催化剂的应用	114
催化作用原理	114
有催化剂时氮的分解	117
有催化剂时工业气体的去氧	127
有催化剂时一氧化碳的转化反应	133
有催化剂时甲烷的转化反应	135
有催化剂时去除气体中的含硫化合物	140
有催化剂时气态氮的直接燃烧	141
第VI章 部分燃烧燃烧室的设计、计算和操作原理	144
第VII章 控制气氛的干燥	159
干燥的工艺过程	159
吸附剂	162
固态吸附剂的再生方式	165
确定吸附剂的体积	172
分子筛及其在控制气氛制取中应用的远景	176

第三篇 控制气氛在炉内的应用

总論	182
第VIII章 在控制气氛中耐热材料的抗腐蚀性	187
在木炭发生炉煤气的气氛中合金的腐蚀	193
在渗碳介质中合金的腐蚀	196
第IX章 控制气氛发生装置内设备构件的腐蚀问题	203
在一羟基乙胺水溶液内钢的腐蚀	203
在分解器的反应罐内镍铬钢的腐蚀	204
第X章 炉内控制气氛消耗量的计算原理	207
縫隙或門洞經常敞开的炉子内控制气氛消耗量的計算	207
門洞定期开启的炉子内控制气氛消耗量的計算	214
井式炉内控制气氛消耗量的計算	227
箱式炉内控制气氛消耗量的計算	230
罩式炉内控制气氛消耗量的計算	236
底部开设門口的井式炉内控制气氛消耗量的計算	239
塔式炉内控制气氛消耗量的計算方法	240

有前室的炉子内控制气氛消耗量的计算	242
第Ⅺ章 控制气氛在工业中的实际应用	244
气体渗碳用的无马弗炉	244
消除罩式炉内钢材的脱碳	256
由氧化铁制取铁粉	268
低碳钢在井式炉内的光亮退火	271
高铬钢及合金的光亮退火	275
钢制品在控制气氛中的钎焊	278
合金钢制品的钎焊和烧结	281
第Ⅻ章 在控制气氛中金属的加热速度	285
第Ⅼ章 控制气氛安全操作的基本原则	288
第XIV章 生产检测的方法	291
气体湿度的测定	292
被分析气体成分含量的分别测定	299
气态介质中氢气浓度的测定	303
控制气氛中氧气浓度的测定	307
控制气氛中的微量一氧化碳、二氧化碳和甲烷的测定	312
测定控制气氛内的残余氨	316
控制气氛内硫化氢的测定	318
控制气氛内一氧化氮的测定	320
一羟基乙胺溶液的检测	322
参考文献	325
附录	327

第 一 篇

高温下金属及合金和气体间的反应

第 I 章 金属及合金的氧化

平衡时氧化物的分解压力由这种金属氧化的或然率大小所决定。化学反应的热力学分析，只能确定在金属表面形成某种化合物的或然率，并不能回答形成这种化合物的速度问题。

反应速度随着温度升高而很快增长。有些反应在几分钟内就能结束，另一些反应却需要几十年。由此可知，氧化过程中，表面反应的动力学有着突出的意义。

纯金属或合金的氧化过程包括许多中间阶段。总的氧化速度取决于最慢阶段的速度，弄清楚这个阶段的情况，就可以将复杂的氧化过程归结为单纯研究一个在时间上最长的阶段的规律。

对大多数合金而言，氧化膜中的扩散速度决定着氧化速度。扩散速度用菲克公式表示：

$$m = -AD \frac{dc}{dx}, \quad (1)$$

式中 m ——温度梯度为 $\frac{dc}{dx}$ 、扩散系数为 D 时，每秒钟内通过

截面 A 扩散的溶质数量。

扩散系数 D 和温度的关系可用下列方程式表示：

$$D = D_0 \cdot e^{-\frac{Q_a}{RT}}, \quad (2)$$

式中 D_0 ——作用常数，取决于原子间距离、熵及扩散热；

Q_a ——扩散的活化能，主要取决于溶质在溶剂内的自由能以及两者的原子半径的差值。

在某些情況下，應用下面方程式決定 D 比較方便：

$$s^2 = 2Dt, \quad (3)$$

式中 s^2 ——在 t 時間內原子在一定方向上位移值的平方。

這時可求出 D 的近似值。例如：一個圓柱形試樣在溫度為 930°C 的滲碳氣氛內加熱若干小時，然後淬火，再將試樣切開、拋光和腐蝕，這時在外圈會呈現深色層。將這一層厚度值代替 (3) 式中的 s （以厘米表示），就可以算出碳在鋼中的擴散系數 D 。

在大多數情況下 D 值要用複雜的試驗方法來決定。

氧化速度和時間的關係

任何金屬都會在不同的程度上遭受氧化。

氧化膜的增長速度取決於金屬或合金對氧化的安定性。

實驗發現了氧化速度和時間的關係有以下三種形式。

直線關係是：

$$\Delta m = k_1 t, \quad (4)$$

式中 Δm ——增重。

服從這一關係的是能形成多孔或易揮發氧化膜的金屬和合金。如果表面一層化合物的比容小於金屬相的比容，這時就會生成多孔的氧化膜。這種化合物不能生成致密的氧化膜，故而不能保護金屬表面，使之免於繼續氧化。室溫下鋁在空氣內的氧化就是一個典型的例子。

高溫下生成易揮發氧化物的實例是鉬及鎢，以及大量含有這兩種金屬的合金。

拋物線關係是

$$(\Delta m)^2 = k_p t, \quad (5)$$

而對數關係則是

$$\Delta m = k_e \cdot \log(at + 1), \quad (6)$$

後一個式子中包括兩個常數： a 及 k_e 。

直綫定律适合于金属并不能形成保护性膜的场合，这种金属在实践中应用时也受一系列条件的限制。氧化速度值介于直綫关系和拋物綫关系之間的合金，它們的应用在某种程度上也是受限制的。例如鋁及鎢在高溫下只能在无氧化性的气氛中使用。

鎂也应当在含 SO_2 （或 CO_2 ）的气氛中加热，因为它在含氧气氛中的氧化速度服从于直綫定律，而在 SO_2 气氛中則服从于拋物綫定律。

氧化的动力学曲綫服从于对数規律的金属和合金是属于耐热材料这一类的。

氧化速度和氧的分压的关系

氧化速度和气态介质中氧的分压有关。在真空中， H_2O 、 CO 或 CO_2 的介质中加热时，由于氧的分压小，形成氧化物的自由能相应地也要比在空气中或氧气中来得小（图1）。例如在純水蒸汽气氛中，溫度超过 100° 时，某些金属（鈷、鎳、銅、鉛、鉍、鋇）是稳定的。

如果气体同时和金属形成碳化物或硫化物，自由能的数值也会起根本的变化，这些正說明为什么某些合金在氧的分压值特別小的渗碳气氛中氧化加速的原因。

压力范围在 $1\sim 760\text{mm-Hg}$ 內时，氧化速度和氧压力的关系通常是很小的。所以举例說来，在工业氮气氛中（ $1\sim 5\%\text{O}_2$ ）的氧化速度，实际上和在空气中是一样的（图2）。

氧化速度和气流速度的关系

金属的氧化速度取决于气态介质的性质——它的成分、气流的速度以及杂质的含量，反应就是在这种介质中进行的。

金属氧化速度和气流速度間的关系，已經有不少人进行了研究。

根据麦富、武德、焦米尼等人的研究^[2]，存在着所謂气流的临界速度，低于这个速度时軟鋼的氧化速度随流速的增加而增

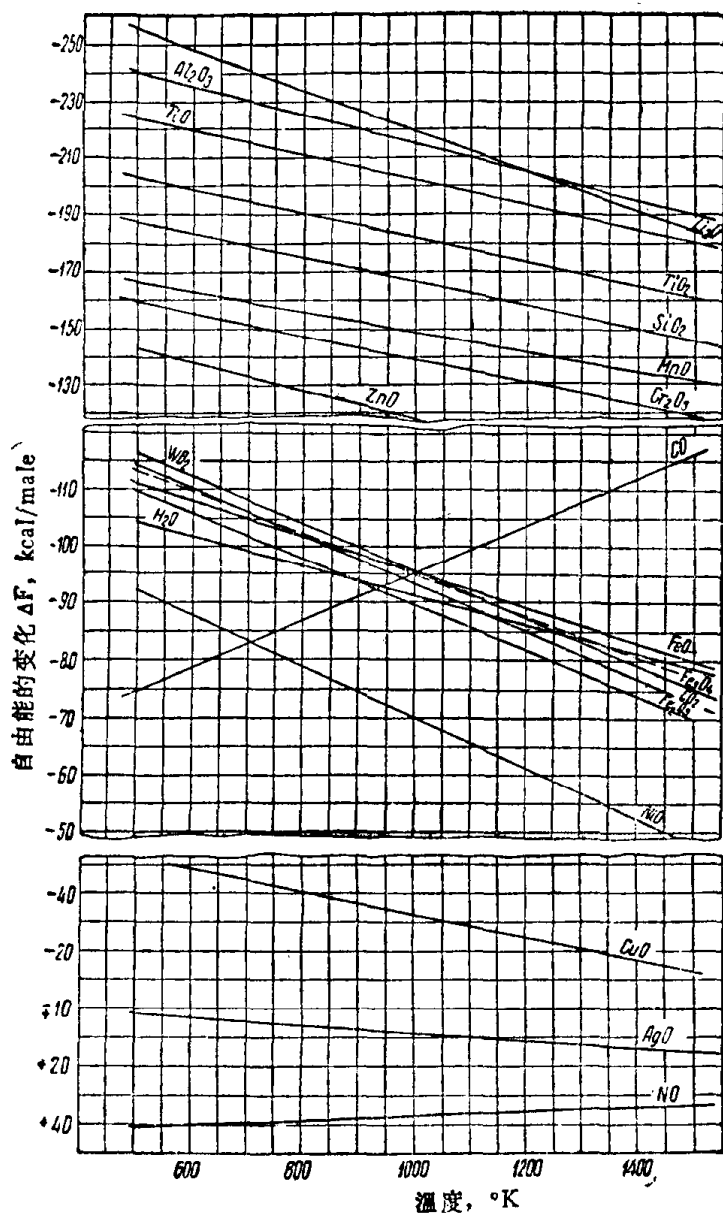


图 1 由每一克分子 (mole) 元素形成氧化物的
自由能——氧势

加，而高于这个速度时，气流流速虽然增加但氧化速度保持不变。一氧化碳的临界速度等于 1.2；空气是 1.5 而水蒸汽则是 7.5m/min。試驗是在 1250° 的溫度下进行的。

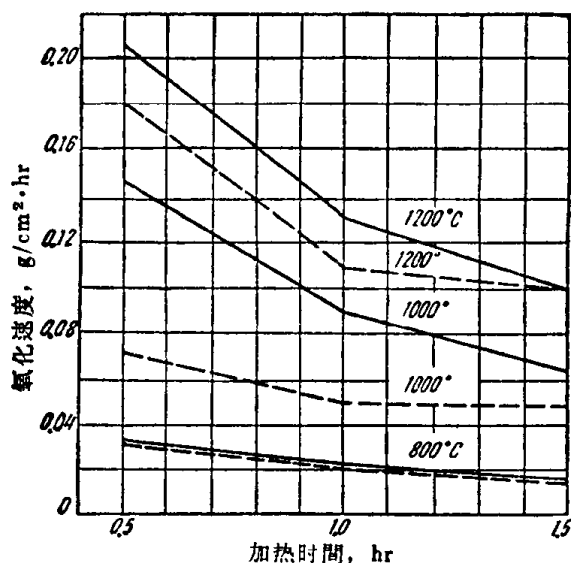


图 2 在不同溫度下，T8A 鋼在空气中和工业氮中的氧化速度（实綫是在空气中加热；虛綫是在工业氮中加热）[1]

他們还提出临界速度和溫度間的关系。例如阿姆可純鉄在干燥空气內氧化时，临界速度由 600° 时的 9m/min 改变到 800° 时的 30m/min，高于或低于这个临界值，氧化速度就和气流速度无关。

R.布尔格拉夫[3]在溫度为 1000~1300°C 的净化气体 (O_2 、 CO_2 、50% O_2 和 50% N_2 的混合物中掺入 10% CO_2 、空气和 N_2) 中，在 0.8~8m/min 范围内，并没有发现气流速度对軟鋼氧化速度的影响。

W.施烈杰指出[4]：气流的速度自 30 提高到 500m/min 时，軟鋼在 1000°C 下的氧化速度沒有改变。

既然在絕大多数情况下氧化速度是由扩散速度所决定，气流

速度对氧化速度也不应当有很大影响。况且考虑到实验也证实了这一观点，于是可以断定：气流速度实际上对氧化速度不发生影响。

氧化速度和杂质含量的关系

氧化速度取决于气体中杂质的含量。水蒸汽的存在，不仅改变了氧化速度，也改变了钢表面上形成的氧化铁皮的组成（温度为 $1000 \sim 1175^{\circ}\text{C}$ 时）。

含有惰性气体时，对氧化性气体的吸附过程也有影响。因之，分压为 0.21 表压的纯氧和纯空气的使用效果并不是没有区别的。

微量的含硫气体、二氧化碳、煤粉对氧化速度也有影响。

氧化和气态介质的成分的关系

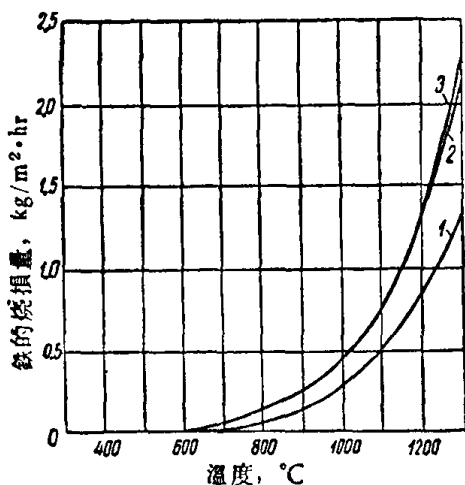


图 3 铁在炼铁煤气燃烧生成物中的烧损和空气消耗系数间的关系：

1— $\alpha=0.6$ 时；2— $\alpha=1.0$ 时；3— $\alpha=1.4$ 时

和金属或合金接触的气态介质的成份，对氧化速度以及氧化铁皮的组成有着决定性的影响。

图 3 表示了铁在炼铁煤气的燃烧生成物气氛中时，烧损的特点和空气消耗系数间的关系。

分析了图 3 的曲线后指出：炼铁煤气燃烧生成物中，在 $\alpha=0.6 \sim 1.4$ 的范围内，氧化速度和空气消耗系数的关系不大。例如在温度为 1200°C 时氧化速度如下：

α	氧化速度, $\text{kg/m}^2\text{hr}$
1.4	1.3
1.0	1.2
0.6	0.95

在 $\text{CO}-\text{CO}_2$ 混合气体中只是 CO 的浓度高的时候, 铁的氧化速度才显著降低。例如在 1300°C , 比值 $\text{CO}_2/\text{CO} \leq 1.00$ 时, 氧化速度就能降到相当低的程度。

在 $\text{CO}_2/\text{CO} = 0.25$ 时, 1300°C 下的氧化速度实际上等于零。在 800° 时, 铜在氧中的氧化速度和氧中水蒸汽的含量 (小于 3.9%) 没有关系。对大多数铜合金而言掺加 10% 以下的水蒸汽对氧化速度的影响很小或者完全没有影响。

K. 亨德霍斐及 B.M. 拉森^[5]指出, 温度为 $700 \sim 1100^\circ\text{C}$ 时, 铁在水蒸汽中形成单一的 FeO 层, 而在空气中则是形成好几层 ($\text{FeO} + \text{Fe}_3\text{O}_4$ 、 Fe_3O_4 及 Fe_2O_3)。

在水蒸汽作用下形成的氧化膜, 冷却时不易龟裂或剥落。

温度为 $650 \sim 1050^\circ\text{C}$ 时, 在水蒸汽中镍的氧化速度只是空气中的一半, 而钴的氧化速度要比在氧气中快一倍。这可以解释成氧化镍是一种阳离子不足的半导体, 阳离子的数量随氧气分压的提高而增长。二氧化钴则是阴离子不足的半导体, 在它上面应当出现相反的现象。铁在 CO_2 气氛中生成的铁鳞和在 H_2O 中生成的铁鳞相似, 因为出现的只是单一的 FeO 。

在压力等于 0.6mm-Hg 、温度为 980°C 时, A. 德拉夫尼克斯^[6]曾经确定对金属有侵蚀性的气氛的排列次序如下: 氧、空气、水蒸汽、二氧化碳、一氧化碳。在一氧化碳中的氧化速度只是氧中的六分之一。

镁基合金在二氧化碳中的处理, 由于生成了防护性的碳酸盐薄膜, 使机械性能有所改善。为此目的, 也可采用二氧化硫。

在干燥的空气中掺入少量 (0.01%) 二氧化硫, 实际上对软钢、锌或铜这类金属的氧化速度不发生影响; 但如空气的湿度超过 50~60%, 在室温时就已经出现强烈的反应。在干燥空气中

即使 SO_2 的掺入量达 10%，铜的腐蚀速度也不会改变，但含有水蒸汽时，便引起迅速腐蚀。

温度为 400°C 时，在气氛中掺入 0.1% SO_2 就会使空气对铜及其合金的反应加速。只有含 Al 量超过 10% 的合金能保持稳定。研究了一系列的不锈钢在灯用煤气以不同的过剩空气率（都是大于 1）燃烧所得的燃烧生成物中的耐蚀性以后看出： SO_2 含量为 0.5% 时，一直到最高使用温度为止， SO_2 实际上对氧化速度没有影响。不完全燃烧时，在温度 1100° 下加入硫则耐热钢的腐蚀就会加速。

镍及镍合金和硫的作用很强烈，特别是在非氧化性气氛中，因为形成疏松的 NiS 膜。甚至在含 80% Ni 及 20% Cr 的合金上也是这一类型的腐蚀在起作用。

提高钢中铬的含量（达 30%）同时将镍含量控制在 28% 以下，

在含硫的气氛中能表现出较好的耐蚀性。镍钢及镍合金表面渗硅以后也得到良好的结果。

在还原性气氛中硫的腐蚀作用，比在氧化性气氛中表现得更为强烈，因为在还原性气氛中硫是以 H_2S 的形式出现的。

温度高于 700°C 时钢中的含碳量对铁的氧化过程有着显著的影响[7]，这是由脱碳作用引起的。在这时形成的一氧化碳作用之下氧化膜上出现裂纹并使其成份改变。图 4

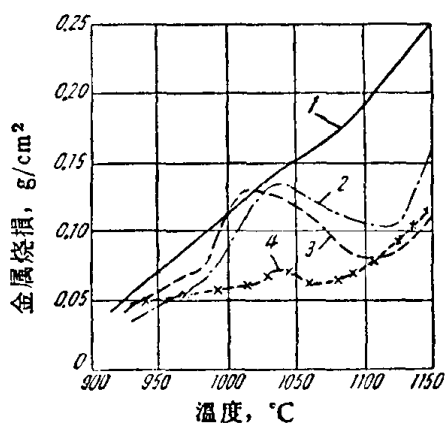


图 4 保温时间为一小时而加热温度不同时含碳量对金属烧损的影响：
1—阿姆可纯铁；2—0.15% 的钢；3—0.47% C 的钢；4—0.90% C 的钢

表示了阿姆可纯铁和含碳量自 0.15 至 0.9% 的钢在空气中的氧化曲线，温度为 $950 \sim 1150^\circ\text{C}$ 。曲线在形式上的区别就表明了脱碳对过程的影响。

鋼中的其他成份影响更大，諸如 Al、Cr、Si 等都能显著地提高鋼在氧化性气氛中的热稳定性。Al、Si、Cr 赋予鉄以形成保护膜的能力，后者有效地阻止了氧的透入。

图 5 表示了某些元素对鉄氧化的影响。鉻的含量从 12% 开始就使鉄的氧化速度迅速降低。这里还应当注意到鋁对鋼的耐蝕性的影响。鋁含量为 8% 时，溫度低于 1100°C 的范围内气体腐蝕实际上趋近于零。硅也有相似的表现。

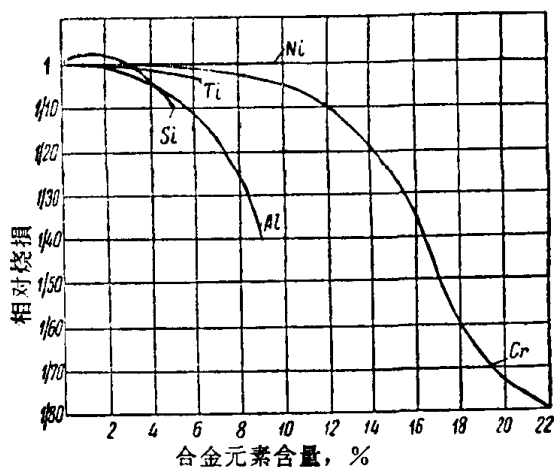


图 5 溫度范围为 900~1100°C 时各元素对鉄氧化的影响
(以純鉄的烧損量作为 1)

氧化速度和溫度的关系

对大多数氧化过程而言，氧化速度和溫度的关系可用阿累尼烏斯方程式表示：

$$k = A \cdot e^{\frac{-Q_a}{RT}}, \quad (7)$$

式中 Q_a ——活化能或分解能；

A ——常数（按照新的理論概念， A 值和溫度的关系不大）；

k ——氧化速度常数；

R ——气体常数；

T ——絕對溫度，°K。

作为例子，在图 6 中提供了西姆那特和別切諾尔^[8]实验的，

純鐵在干燥的氧气中氧化速度常数 k 和溫度的关系。

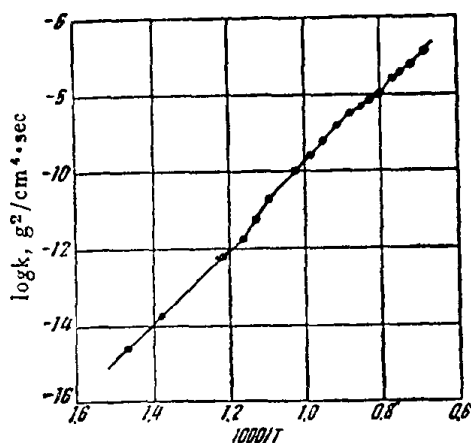


图 6 純鐵的氧化速度常数和溫度的关系

920°C 时阿姆可純鐵的氧化过程是前三十分钟按照拋物綫定律，平均速度是 $17.5 \times 10^{-9} g^2/cm^4 \cdot sec$ ；后九十分钟則按照直綫定律，平均速度是 $3.67 \times 10^{-6} g/cm^2 \cdot sec$ 。

灰鑄鐵的氧化曲綫系由三段組成。最前面的两小时氧化过程符合拋物綫定律，平均速度是 $2.1 \times 10^{-9} g^2/cm^4 \cdot sec$ ；中間两小时是过渡范围；最后两小时符合直

綫定律，平均速度是 $1.1 \times 10^{-6} g/cm^2 \cdot sec$ 。

例如，我們来算一下溫度为 920° 时，在阿姆可純鐵表面上要形成氧化色为黄色的氧化膜（膜厚是 460 Å）所需要的时间。

由方程式 (5)， $\Delta m^2 = 17.5 \times 10^{-9} t$ ，

式中 Δm ——每 $1 cm^2$ 面积上的增重或氧化膜中氧的重量， g/cm^2 。

920° 时的氧化膜实际上完全由 FeO ($\gamma = 5.9 g/cm^3$) 組成，此时

$$\Delta m = 0.2228 \times 460 \times 5.99 \times 10^{-7} = 6.14 \times 10^{-5} g/cm^2.$$

由此，

$$t = \frac{37.6 \times 10^{-10}}{17.5 \times 10^{-9}} \approx 0.215 sec.$$

如果应用西姆那特和別切諾尔的数据（參看图 6），則

$$t = \frac{37.6 \times 10^{-10}}{10^{-8}} \approx 0.376 sec.$$

注：因为在气体混合物中，各气体的克分子数之間和它們的分压之間