

本文集从国外有关期刊上选择了关于钢的氮化方面文章共17篇。其中：气体软氮化方面文章9篇；气体氮化方面文章4篇；离子氮化方面文章2篇；在氨溶液中高频加热局部氮化文章1篇以及阐明各种磨损类型和机理的“磨损和表面热处理”文章1篇。本书可供从事这方面工作的热处理工人和科技人员参考。

钢 的 氮 化 译 文 集

吴季恂等译

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可出字第117号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ · 印张 $5 \frac{4}{16}$ · 字数 134 千字

1975年9月北京第一版·1975年9月北京第一次印刷

印数 0,001—8,000 · 定价 0.51 元

*

统一书号：15033·4286

前 言

在毛主席无产阶级革命路线指引下，我国近年来对热处理工艺的技术革新取得了很大成绩。在气体氮化和软氮化方面也在不断取得进展。为适应我国当前热处理技术革新和技术改造的需要，本着“洋为中用”的精神，我们选译了有关这方面的部分国外资料，供从事这方面工作的同志们参考。

气体软氮化是一种无公害的先进工艺。最初，它是为了代替盐浴软氮化而迅速发展起来的。同时，它又具有便于生产连续化和自动化，产品质量稳定，成本低，改善劳动条件等许多优点，所用设备又同可控气氛热处理和通用的气体渗碳或气体氮化所用的设备基本一样，或者稍许增设部分装置即可。这就有利于这种先进工艺的推广应用。本文集中选译了有关这方面的资料 9 篇，比较全面地介绍了基本理论和各种不同气体软氮化的工艺。这些文章出处不同，有些内容可能有所重复，但是，为了使读者能够看到全文，未加删节。

气体氮化是一种使用已达半世纪之久的工艺。因为具有氮化层厚，硬度高，能承受较重的载荷等优点，现在仍然广泛应用，并且其工艺不断得到改进。二段氮化法就是这种改进的一个方面。本集中选译了气体氮化的文章 4 篇。

选译了一篇“磨损和表面热处理”，文章阐述了各种磨损类型和机理，也说明了应该针对零件的磨损类型选择表面处理的原则，对热处理工作者和机械设计人员都有参考价值。

文集中还附带编入了一篇介绍在氨溶液中高频加热的氮化工艺的文章，作为一种快速的局部氮化工艺的研究，有参考价值。

离子氮化是最近才开展起来的新工艺，国内在这方面已取得了很好的进展。我们也选译了这方面的两篇文章供参考。

译者水平有限，选材和译文质量必定存在不少问题，希读者批评指正。

译 者

目 录

前 言

磨损和表面热处理.....	1
气体软氮化.....	12
气体软氮化法的实践.....	34
气体碳氮共渗.....	47
低温气体碳氮共渗的应用研究.....	58
关于控制气氛软氮化特性的研究.....	84
氮化气氛中的反应热力学及其测试和控制的可能性.....	91
使用含氮液体有机化合物的滴注式碳氮共渗.....	94
使用尿素的单一气体软氮化法	101
在无发生炉的可控气氛炉内轴承钢100Cr6的碳氮共渗	105
二段氮化	109
感应加热联合氮化法	117
铬钢和铬镍钢的高温氮化	121
含钛钢的氮化	126
在氨水中结构钢的高频加热局部氮化	133
在氮离子冲击下钢铁的氮化现象	136
具有广阔前途的离子氮化法的兴起	150

磨损和表面热处理

吉 田 亨

作为防止磨损的对策之一，金属表面热处理是一种极为有效的方法，但是，未必能说历来都是合理地加以应用的。本文从解决磨损问题这一角度出发，综合考虑了多种金属表面热处理技术，说明其优点和缺点。

一、接 触 的 机 理

物体的表面无论是怎样精密加工，也不可能得到完全理想的平面。一般在表面上都存在着许多小的突起物 (Asperities)，例如，精加工表面的光洁度为 $0.05 \sim 0.10$ 微米，通常的加工面为 $100 \sim 200$ 微米。因此，如果存在这种突起物的两个表面，经一定的力相对压住，那么其突起部分的接触状态如图 1 所示。

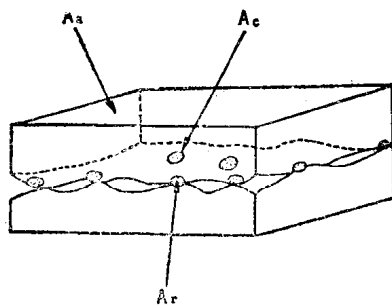


图 1 面和面的接触

在图 1 中，表观接触面积 A_s 由物体的几何形状确定，而与所加载荷没有任何关系。 A_c 是突起部分因承

受载荷而发生弹性和塑性变形所形成的面积，通过它的接触部分的啮合，力发生作用而影响到两边的物体。

A_r 表示真实接触面积，它存在于 A_c 面内，其面积的总和大约与外加载荷成正比。

摩擦现象的复杂性是由于两个平面的相互运动而使这种突起物的接触不断形成和不断破坏所造成的。

同时,在这种接触处发生高温、氧化及其他化学变化,而基体的表面和表面下层(Subsurface)的机械性能也就发生变化,像这样在摩擦过程中的变化,使得磨损的机理更为复杂。

二、表面破损的形态及其分类

由于摩擦而造成的表面破损,其形态可以分类如下:

1. 微观切削

这是当表面上的突起和坚硬的外来物质(砂土、加工硬化了的磨屑等)侵入滑动面很深时产生的。

2. 由交变载荷造成的局部剥落

由于挤入对面的突起物的运动,如图2所示,在它前面产生一个隆起部分。因此使金属表面产生弹性变形,但是,如果突起

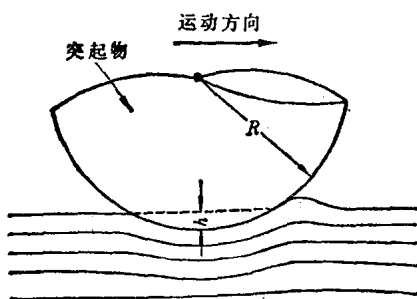


图2 隆起变形

物一移走则表面又恢复原状。如果这样的加载和卸载反复进行,表面层由于形变次数过多而产生疲劳,于是表面剥落。

3. 由胶合而造成的破损

摩擦在某种条件下,一经克服了在实际接触面A部分产生的胶合力,材料内部即随之变形而产生这种破损。因此,根据胶着结合强度和基体金属自身的强度,而决定了摩擦阻力。如果胶着结合力比两边基体金属的强度都要小,则由于摩擦而产生的基体金属内部变形就比较小,而磨损表面就显得平滑。这就是被称为外部摩擦(External Friction)的情形。

与此相反,当胶合力比基体金属的任何一个的强度都大时,应力梯度反而是越在表面下层就越大,于是从基体金属的深处发生破坏。因而摩擦后的表面明显粗糙。这就是内部摩擦(Internal Friction)。

上述三种表面破损在什么条件下发生呢？通过将突起物看成球状而进行的模拟实验，其结果列于表1。如表中所列，破损可分为五种类型，根据胶合的强度、基体金属的强度和相对侵入深度 h/R (R 为突起物的半径， h 为侵入深度) 来决定(参照图2)。磨损是一种由于物体的摩擦而造成的讨厌的剥离现象，但是，如表1所列，造成剥离的条件，却由于各个突起物的情况而不同。整个磨损就是这些个别突起物的破坏的总和，所以，要想把它完全掌握住可以说事实上是不可能的。

表1 摩擦抗力分类和磨损类型

特 性	类 型				
	I	II	III	IV	V
变形特点	弹性变形	塑性变形	切 削	被膜破坏	基底金属破坏
达到磨损的周数	$n = \infty$	$1 < n < \infty$	$n \rightarrow 1$	$n = \infty$	$n = 1$
条 件	铜 $\frac{h}{R} < 0.001$	无润滑 $\frac{h}{R} < 0.1$	无润滑 $\frac{h}{R} > 0.1$	外部摩擦	内部摩擦
	非铁 $\frac{h}{R} < 0.001$	润 滑 $\frac{h}{R} < 0.3$	润 滑 $\frac{h}{R} > 0.3$		
相应的磨损类型	疲劳磨损	疲劳磨损	磨料磨损	胶合磨损	胶合磨损

可是，我们知道，在技术问题中，实际上，多数情况下只是表1中五种磨损类型中的某一种占支配地位，因而，通常认为可将磨损分为下面三种类型：

(i) 疲劳磨损；(ii) 磨料磨损；(iii) 胶合磨损。

还可以再加上一一种伴有腐蚀的磨损，例如磨蚀和气蚀那样的磨损形态。

三、疲劳磨损及其防止措施

对于表1中I、II类型的磨损，即疲劳磨损来说，存在着金属材料的疲劳性能问题。为了提高金属材料的疲劳强度，将硬度

提高到某种程度是必要的，但是，不能说只要提高硬度就行了。

滚动轴承和齿轮接触面上产生的点蚀和剥落就是疲劳磨损的典型例子，根据多数研究者的资料，发生点蚀的疲劳极限与材料硬度的关系，如图3所示。

从图中可以明显地看出，无论那一种结果都说明材料硬度越高越不容易发生点蚀。然而这些结果是在材料具有一定硬度的同时也保持着相当韧性的情况下得到的。例如，众所周知，对于淬火而未经回火的硬化层，即使硬度很高而疲劳强度并不高，从而容易发生点蚀和剥落。

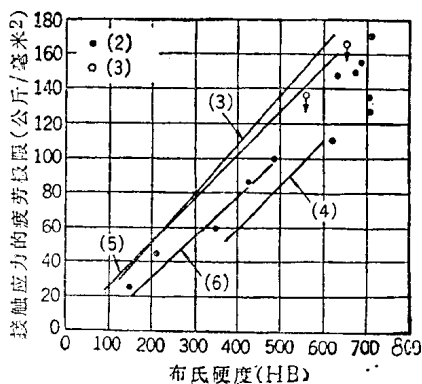


图3 根据几个研究者确定的接触应力的疲劳极限与材料硬度的关系
(图中数字说明引自不同的文献)

四、磨料磨损及其防止措施

磨料磨损是当突起物向对面侵入较深时产生的一种磨损，由砂土和磨屑引起的磨损就是一个典型例子。对于这种磨损来说，除去冲击载荷外，材料越硬则耐磨性越好。然而在磨损过程中，材料会被加工而硬度发生变化，而且研磨材料本身也会发生破碎而形状不断改变，所以，现场的数据很难取得再现性。

总之，对于这种磨损，应该将带有冲击的情况和不带有冲击的情况分别考虑，研究其防止措施。带有冲击时，材料的韧性比硬度更为重要，而很少冲击时，则硬度可以作为耐磨性的大致指标。

五、胶合磨损及其防止措施

胶合磨损是由于和配对金属在实际接触面上发生胶合，金属从一方向他方转移而产生的，所以，为了防止这种类型的磨损，

就要降低和配对金属胶合的结合力。

根据 Bowden 和 Tabor 等的研究, 摩擦系数 f 可用下式表示

$$f = \frac{S}{P} \quad (1)$$

式中: S 表示胶合处的抗剪强度, P 表示基体金属的屈服强度。要使 f 减小就必须使 S 减小, 使 P 增大。也就是说, 必须在屈服强度较高的基底上覆上一层和配对金属结合力较弱的防护膜。摩擦(系数)和磨损未必一定是成比例的, 但是在某一定条件下, 通过减轻摩擦(系数)来防止磨损是可能的。

六、作为防止磨损措施的表面热处理

作为提高金属耐磨性的措施, 很早以来就已研究出种种表面热处理方法, 并正在工业中实际应用着, 可是其中每一种方法都具有各自的优点和缺点, 而不是到处都可以使用的万能的方法。

正如已经说明的那样, 磨损形式是多种多样的, 应该针对其磨损形式、磨损类型选择最恰当的处理方法。通常认为, 金属的表面耐磨处理可以分成下列三类, 即表 2 中的扩散处理、表面处理和被覆处理。

表 2 金属表面耐磨处理的分类

扩 散 处 理	表 面 处 理	被 覆 处 理
渗 碳 氮 化 渗 金 属	蒸 汽 处 理 渗 硫 处 理 磷 化 处 理	镀 硬 铬 粉 末 溶 电 火 花 强 堆 化 焊

1. 扩散处理

是一种在金属表面上使不同于基体的物质进行吸附和扩散的方法。这时, 为了容易扩散, 希望这种物质的原子直径比基体金属的原子直径要小。

渗碳和氮化就是属于这种处理方法, 渗金属也是属于这一类。

2. 表面处理

是在金属表面上形成一层与基体金属不同的化合物层或非金属层的方法。这种方法的特征是，同扩散处理不同，所得的界面层成为一个明显的断层，而没有所谓扩散层。

蒸汽处理，渗硫（硫化）处理，磷酸盐被膜处理等就是属于这一类。

3. 被覆处理

是在金属表面覆上一层和基体不同的金属或者化合物的方法，电镀铬和堆焊等等就属于这一类。其特点是比其他方法进行局部处理。

金属的表面耐磨处理可分成以上三类，但是，这里只讨论利用热处理的方法，即只讨论表面热处理。如果对于作为防止磨损手段的表面热处理再分类的话，大概又可分成：表面硬化的方法，同时赋予硬度和韧性的方法，赋予表面润滑性能的方法等。

对于不带有冲击的磨料磨损，只要采用表面硬化法就可望获得非常耐磨的效果。但是，对于滚动接触的疲劳磨损，则必须使其同时具备硬度和韧性，而且在硬化层分界处的硬度梯度不能过陡。因此，最好采用象渗碳那样的处理方法。

然而，对于滑动面上的胶合磨损，而且是处于外部磨损形态时，只要降低同配对金属的胶合力就可以了，所以最好采用表面处理。

另一方面，当发生内部摩擦时，在减弱同配对金属的胶合力的同时，必须提高基体金属本身的硬度，所以最好采用诸如硫氮共渗处理[●]等方法。因此，为了提高耐磨性而进行表面热处理以前，应该预先弄清楚工件的磨损是属于表1中的哪一个类型。也就是说必须正确进行磨损分析[●]。由此就能够选用恰当的表面热处理。

● 硫氮共渗，如果以渗硫为主，则属于表2中的表面处理，但是如果着眼于氮化则也可称为扩散处理。

● 研究机械零件的破损部分以查明其破损原因通常称为破损分析。仿此，根据磨损的类型来弄清楚磨损的原因，可取名为磨损分析。

七、扩散处理

1. 渗碳

渗碳的目的在于使碳在低碳钢的表面吸附和扩散，形成含碳量高的表面层，然后将其淬火，形成一个由富于韧性的心部支承的，耐磨性优良的硬化层。渗碳钢能够通过同一热处理而获得性能彼此不同的渗碳层和心部，而不能象通常的热处理那样，通过回火温度来控制其硬度和韧性。

(1) 硬化深度和耐磨性

为了使渗碳硬化的表面，具有刚好能够承受加在它上面的集中载荷的硬化深度，同时其心部又保持整个工件的韧性，因而，不能过深地硬化。

对于局部承受大的集中载荷的零件，如象齿轮和滚动轴承等的接触面，必须保持和实际使用时的载荷状态相适应的最好的硬化层深度。例如，齿轮接触面所必要的硬化深度 t ，可以通过下式求出：

$$\frac{t}{m} = 0.234 \times 10^{-4} \frac{p_m}{\frac{1}{z_1} + \frac{1}{z_2}} \quad (2)$$

式中 m ——齿轮模数；

p_m ——赫兹接触压力（公斤/毫米²）；

z_1, z_2 ——所求齿轮和配对齿轮的齿数。

通常为了安全起见，采用由式（2）所求出的数值的两倍作为必要的硬化深度。

(2) 渗碳硬化层的耐磨特性

渗碳零件的表面碳浓度对其表面硬度和金属组织有显著的影响。对于一般的磨损来说，金属组织最好是不存在奥氏体的细马氏体组织。然而对于气体渗碳零件来说，从渗碳温度进行直接淬火，金属组织不一定成为最好的状态。这是为了减少淬火变形和考虑经济性的效果而进行的。

当处理工件的磨损类型是属于疲劳磨损时，当然，硬化层的

耐疲劳性就成了问题。因此，从高温淬火的粗大马氏体组织不能获得高的耐磨性。特别是淬火后未经回火的零件，众所周知，其耐疲劳磨损能力是非常低的。

还有，当磨损类型是疲劳磨损时，表层含碳量最好在共析点（0.83%）以下，但是对于磨料磨损，而且是不带有冲击的场合，或者对于以胶合磨损为主的场合，表层含碳量较高时，耐磨能力可能会增大。但是，如果过共析组织中的过剩碳化物一呈网状析出，表面硬化层就有容易剥落的危险。

2. 氮化

如果在含氮的介质中将钢加热，在钢的表面就会形成氮化物，不用将钢淬火就能使表面硬化。硬化层的硬度可达 HV1000 以上，但是为此必须使用含有 Al、Cr、Mo、Ti、V 等和氮有较高的亲和力，并且能形成硬的化合物的元素的钢材。虽然使用不含这些元素的碳钢也能进行氮化，但是，这时不能期望得到上述那样高的硬度，这就是所谓软氮化^①。

这种方法优于渗碳硬化的地方，就是不必要进行淬火，因此，尺寸变化很小。还有，氮化层不仅很硬，而且在耐热性和耐蚀性方面也非常好。

它的缺点，就是不能得到象渗碳那样深的硬化层，而且硬化层本身的韧性较低。因此，对于必须抵抗疲劳磨损的滚动接触面等等，是不适宜的。

氮化是在能放出氮的介质中，即在氨气或含氰的盐浴中将钢加热而进行的。前者是气体氮化，后者是盐浴氮化。

（1）气体氮化

将钢置于氨气流中加热到500℃左右，氨气由于同钢的表面接触而分解，分解生成的初生氮被钢吸附和扩散，在表面形成氮化物。

气体氮化时，在钢的最表面形成一层称为白层的氮浓度极高的化合层（ $\text{Fe}_3\text{N}-\epsilon$ 氮化物）^②，但是这层非常脆弱，容易剥落，

① 表面硬度没有提高，但是，由于产生残余应力而使疲劳强度显著改善。

② 原文误为“ $\text{Fe}_3\text{N}-\epsilon$ 氮化物”。——译者

所以，通过研磨可将这层除掉。采用通常的处理工艺时，白层厚度约为 0.025~0.050 毫米，如果采用特殊的处理工艺，例如 Flo-process 或离子氮化法则可能使其薄到 0.010 毫米的程度。

(2) 盐浴氮化

是一种将钢置于含氰盐浴中加热，由氰分解而生成的氮使表面氮化的方法。比气体氮化法设备简单，适用于多品种小量生产。同时还有比气体氮化法处理时间较短这样一个很大的优点。这是因为，和气体氮化法不同，本应在表面生成的白层，由于盐浴侵蚀而不能形成，因此，不会由于白层生成而妨碍氮的吸附和扩散。

近年来碱金属氰酸盐 (NaCNO , KCNO 等等) 已能在工业上廉价生产，所以已经设计成利用含有约 20% 这类氰盐的盐浴氮化方法。其中有代表性的是 Degussa 公司发明的盐浴软氮化法。

3. 渗金属

为了提高钢的表面耐磨性和耐蚀性，正采用一种渗入各种各样金属的处理方法。对钢来说，一般采用 Al、B、Cr、Si、Ti、W 等作为渗入金属。

渗碳和氮化也可以说是渗入法的一种，但是，在渗金属中，渗入金属和碳氮渗入不同，原子直径较大，所以不能间隙固溶在铁原子的点阵之间，而是通过置换铁原子而固溶于钢中，因此，扩散速度较慢，必须在相当高的温度下长时间加热。

将铬渗入钢的表面称为渗铬。它适用于提高表面耐蚀性比提高耐磨性更为重要的场合。此外，将硼渗入钢的表面称为渗硼。而渗硼钢的表面具有 HV1000 以上的硬度。渗钛就是使钛渗入钢的表面，接着使其表面氮化的一种表面硬化法。

八、表面处理

1. 蒸汽处理

这是将钢制工具等的表面用过热蒸汽氧化，在表面生成氧化物，以提高工具的耐磨性和改善外观质量的一种方法。处理温度约为 500°C ，在这个温度下蒸汽分解，分解产生的氧在化学上是

活性的，所以，使钢的表面氧化而生成蓝黑色的氧化铁保护膜 (Fe_3O_4)。氧化膜厚度，当 500°C 处理 30 分钟时，约为 $0.0025 \sim 0.0050$ 毫米。如果对铁的粉末冶金零件进行蒸汽处理，则氧化物填满粉末冶金零件的孔隙，使耐磨性显著地改善。钻头、铰刀等切削工具最后研磨后，如果施行这种处理，一般说来刃部磨损时间可以延长 $50 \sim 100\%$ 。由于这种方法的处理温度和时间是和高速钢的回火工艺一致的，所以这种处理能够兼作工具的回火工艺，因而是极为经济的。

2. 渗硫（或硫化）处理

是将钢铁表面进行硫化而形成 FeS ，以防止金属与配对金属发生热胶合和咬伤，也就是防止发生胶合磨损，提高耐磨性能的一种方法。到现在为止，已发明的渗硫或硫化处理方法载于表 3 中。

表 3 各种渗硫法

分 类	名 称	渗 硫 剂	处理温度	方 法	文献或专利
液体法	水溶液法	$25 \sim 60\% \text{NaOH}$, $0.5 \sim 1.5\% \text{S}$ 水溶液	$66 \sim 135^\circ\text{C}$	浸入 1 小时	美国专利 N2266377
	电解法	$5 \sim 10\% (\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + \text{KCNS})$ 水溶液	$50 \sim 75^\circ\text{C}$	电解, 5×10^{-3} 安/厘米 ²	日本专利 昭 38-21869
	盐浴法	$\text{NaCN} + \text{NaCNO} + \text{Na}_2\text{SO}_3$	$500 \sim 600^\circ\text{C}$	浸入 2~3 小时	法国 Sulf Inuz 法
气体法	气体法	H_2S $10 \sim 15$ 毫升/分	$250 \sim 600^\circ\text{C}$	3 小时	山崎
	气体法	$\text{H}_2\text{S} + \text{H}_2$	$200 \sim 600^\circ\text{C}$	几小时	野村
固体法	固 体 渗硫法	吸附 H_2S 的 炭 + 还原剂	$200 \sim 600^\circ\text{C}$	1~3 小时	吉田

渗硫层的耐磨特性，在特别恶劣的磨损条件下仍能发挥其有效性。也就是说，应用于发生高温磨损的零件，和由于滑动面很大，不可能供给润滑油的个别场合，是很有效的。

这里，虽然简单地都称为渗硫处理，但对于象盐浴法那样在渗硫的同时还进行氮化的方法，和对于象电解法及水溶液法那

样只生成硫化膜的方法，其适用范围是完全不同的。即对于后者，由于处理温度低，所以能够应用于已经淬火硬化的工件，而对于盐浴法，由于处理温度是 $500\sim 600^{\circ}\text{C}$ ，所以如果用于已经淬火硬化的工件，就会由于回火而软化。

九、被膜处理（电火花强化及其他）

作为提高耐磨性的被膜处理，有镀硬铬和粉末溶射及其他各种各样的方法，但是由于本文是以表面热处理作为主题，所以，只提出电火花强化法作为代表加以讨论。

这是苏联发明的一种技术。方法是在金属表面产生火花放电，使作为阳极的电极材料在作为阴极的被加工工件的表面进行喷镀。利用这种方法使工具和机械零件局部硬化（参照图4），能够提高其耐磨性。由于这种方法是通过电极的移动来进行表面硬化，所以它的缺点是不适用于太大面积的硬化。

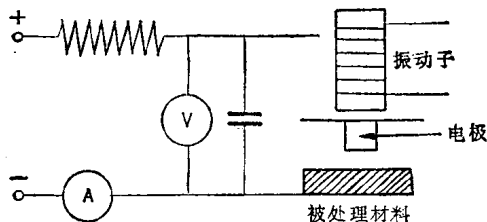


图4 电火花强化的基本电路●

在日本几年前也创制了电火花强化装置并已商品化，但还谈不上充分利用，而在苏联则已在很多方面应用。

参 考 文 献

（从 略）

吴季恂译自《金属材料》1972年Vol. 12, No. 4, 10~15页。

气体软氮化

高瀬孝夫

1923年德国人A·Fry把 NH_3 气应用于氮化钢的氮化，这是氮化法的开端。这种方法是将材料在 500°C 左右的低温下进行处理，它具有提高耐磨性和耐疲劳性以及尺寸变化较小的特点。即使现在也还有很多地方采用着二段氮化法。然而这种方法的缺点是处理时间长，对所处理的钢材有所限制。

最近西德的Degussa公司发展了一种盐浴氮化的软氮化法(Tufftride Process)。在日本也引进了这种技术，并且得到广泛应用。众所周知，这种方法是使用以氰酸盐类作为主要成分的盐浴，从涂钛坩锅底部吹进空气(O_2)，在 570°C 将工件处理数分钟以至4小时，比起以前的只用 NH_3 气的氮化法，处理时间短，并且在表面能获得耐磨性好的化合层，与此同时，在内部又能获得显著提高疲劳强度的氮扩散层，而且对钢材也没有限制。

然而最近以来，因限制氰基公害的问题，这些使用氰盐的方法的现状是，正在苦心钻研防止公害的措施。正是因为有解决公害问题的必要性，也就必然产生了气体软氮化法。

气体软氮化，在日本首先是由石川岛播磨重工业公司把一种称为“Ni-temper”的方法从美国的Ipsen公司引入的。另一方面几个日本公司又依靠自己的技术发展了这种方法，使之逐渐达到能够实际应用的地步。这些方法都是在 570°C 的低温处理。现将钢的各种低温硬化处理大致区别如下：

(1) 使用 NH_3 气在 $500\sim 550^\circ\text{C}$ 的氮化：二段氮化（长时间），使用氮化钢，应用于一般情况。

(2) 盐浴氮化：主要成分为 $\text{NaCN} + \text{NaCNO}$ （或 $\text{KCN} + \text{KCNO}$ ），使用涂钛坩锅，从坩锅底部吹进空气， 570°C 处理。

(3) 气体软氮化: 吸热式 RX 气体 50%, NH_3 气 50%, 露点以 $0^\circ C$ 为标准, $570^\circ C$ 短时间处理。

(a) Uninite 法。

(b) Tuffnite 法。

(c) Nitemper 法。

上述 (a)、(b)、(c) 都是应用同一原理, 即采用 RX 气和 NH_3 气。

(d) Unisof 法: 这方法是利用尿素热分解而产生的 CO 和 NH_3 。

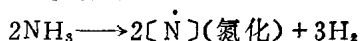
(4) 等离子氮化法: 利用氮气的等离子 (N 离子), 处理温度在 $350^\circ C$ 以上。由瑞士发明。

(5) 其他还有高压氮化、超声波氮化、放电氮化等等。

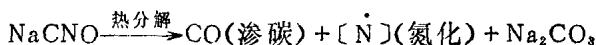
下面叙述一下近来人们特别感兴趣的气体软氮化的基础及其特点。至于氮化炉的问题, 各制造厂都各有其特点, 此处不多叙述。

一、氮化反应

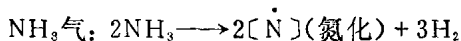
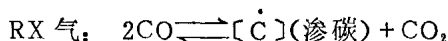
(1) 用 NH_3 气氮化:



(2) 盐浴氮化:



(3) 气体软氮化:



由上述 (2)、(3) 可知, 无论盐浴氮化还是气体软氮化, 都有同时发生氮化和渗碳的重要特点。有碳存在, 这是同仅用

● RX 气体是吸热式可控气体之一, 其主要成分为 CO 20%、 H_2 40%、 CH_4 0.4%、 N_2 40%, 其露点为 $5 \sim -15^\circ C$ 。——译者

NH_3 气氮化的不同点。这种碳起着促进氮化的作用，同时，在软氮化的最外层中所形成的 ϵ 相，其特征是，除氮以外，还固溶相当量的碳，是所谓碳氮化合物。盐浴软氮化法和气体软氮化法都同时供应氮和碳，只是碳、氮的来源不同而已，处理后所得到的特性也极其相似，这在原理上是可以理解的。

二、Fe-N 系及 Fe-N-C 系相图

在判断软氮化处理过的钢材性质上最重要的是 Fe-N 系及 Fe-N-C 系相图。图 1 是 Fe-N 系相图，图 2 表示由氮化产生的 ϵ 相（密排六方晶格）的 a 、 c 轴和含氮量的关系。图 3 表示 Fe-N 系的 αFe 中氮的溶解度。图 4 表示 Fe-C 系中碳的溶解度。

这里应该特别提出的是，对 αFe 来说，氮最多可以固溶 0.1%，但是碳的固溶量不超过 0.022%。软氮化时，如前所述，属于 Fe-N-C 三元系，所以，在 570°C 附近的相图是必要的。根

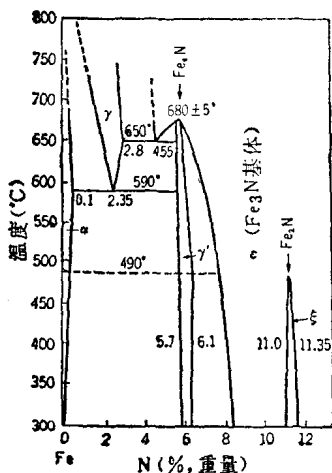


图 1 Fe-N 系相图

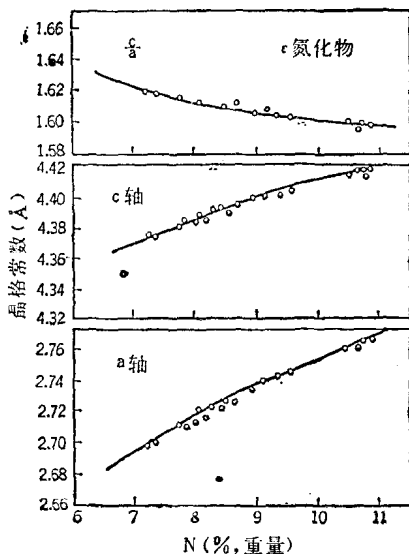


图 2 ϵ 氮化物的晶格常数