

工业科技专题资料

金属软氮化处理

山西省机械设计研究所
山西省图书馆

1978年8月

编者的话

英明领袖华主席在五届人大所作的政府工作报告中指出“机械工业担负着为国民经济各部门提供技术装备的重要任务”，要“努力生产各种高质量的机械设备”。在机械工业中，热处理工艺对于改进机械设备的质量与性能起着关键性的作用。推广先进的新的热处理工艺对高速发展国民经济，加速实现我国的四个现代化具有现实的意义，同时也是一项迫切的任务。

在热处理工艺中，氮化法的应用由来已久，迄今已有半个世纪的历史。近年来国内外对氮化作了大量的研究工作，取得了很大的成就，发展了不少的新工艺和新设备，如离子氮化、气体软氮化、高频氮化、催渗氮化等。这些新工艺的应用将有利于迅速改变我们目前热处理的落后面貌，大幅度地提高产品的内在质量，为国民经济和国防建设各部门提供高质量、长寿命的现代化的机械设备，同时还能给国家节约大量的原材料、燃料和电力。

为此，我们本着“洋为中用”的方针，编辑了这分氮化热处理的专题资料，介绍国外氮化工艺的发展状况，作为学习外国先进科学技术的借鉴。在这分专题资料中我们选择了六篇氮化工艺的译文，编辑了国外部分期刊有关氮化的专题题录，以供从事这方面工作的同志参考。

本专题资料是由山西省机械设计研究所和山西省图书馆共同协作编译。参加译文的，有省机械设计研究所肖庆亮和省图书馆赵威侯两同志。由于我们人力不足，对编纂专题资料又还缺乏经验，译者水平又有限。因此，在搜集资料，选择题录，内容编排以及译文质量等方面，缺点和错误在所难免，希望读者予以批评指正。

太原工学院金相教研组侯增寿同志热心地为本专题资料提供译文，校正译稿，我们在此表示感谢。

目 录

一、钢的快速氮化法	(1)
二、汽车曲轴的软氮化处理	(11)
三、金属模具的表面硬化技术——气体软氮化法	(17)
四、软氮化钢 (RDK401) 在齿轮上的应用	(24)
五、钢的低温碳氮共渗与表层淬火的复合处理	(36)
六、硬化处理及无须修磨的齿轮低温液体氮化法——一种 无变形盐浴热处理	(40)
七、国外部分期刊有关氮化法的专题题录	(42)

一、钢的快速氮化法

Ю.М.Лях И.Н.

现代技术的发展和高参数机器的设计，要求制订保证结构可靠性和耐久性的特殊工艺方法。制品的耐久性取决于疲劳强度，耐磨性的抗介质腐蚀的能力。

采用辐射加热，感应加热或接触电加热，以及在辉光放电等离子中加热来实现，在560—580°C短时间氮化，可在大大缩短工艺过程时间的条件下，显著提高机器的使用可靠性。

可根据渗剂的成分钢的低温碳氮共渗过程区分如下（图1 表1及表2）。

用液体介质渗入的方法，是在含有氰酸钾或氰酸钠的熔盐中进行（表1）。

采用部分分解的氨气，氨气和氮气的混合气，氨气和预先分解的氨气混合气体为气体介质。为了活化处理过程，在氨气—氢气混合气中加入氧气或空气。广泛采用部分分解氨气和含碳组分：天然气，照明气，吸热式气体，放热式气体，和三乙醇胺，合成汽油、煤油、酒精等的热分解产物组成的气氛。

在低温（560—580°C）条件下，无论用何种介质进行处理，都使钢主要饱和氮，且在扩散层中仅形成含氮的 ϵ —， γ —和 α —相。碳（氧）仅影响表面形成的 ϵ —相的组分，它可能是碳氮化合物或氧碳氮化合物。

在图1和表1、表2中列出的各种方法，都应属于氮化。

本文仅论述短时间，高生产率的低温（560—580°C）氮化法。

560—580°C所获得的扩散层的结构完全相同，而与氮化工艺方式无关。

图2指出在分解氨气，氨气和含碳气的混合气及液体盐浴中（Тенифер法）在560—580°C短时间氮化后扩散层的显微组织。在各种规范下，表面都生成六方结构的 ϵ —相（ Fe_3N ，少量 Fe_2N ）。钢在570°C分解氨气中氮化时，碳氮化合物 ϵ —相含7—8%N，由于过程开始阶段的脱碳， ϵ —相中的碳含量比钢的原始含碳量低。

在氨气和含碳气体的气氛中或液体盐浴中氮化后，碳氮化合物 ϵ —相含4.5—6%N（图2）和0.8—2.5%C。

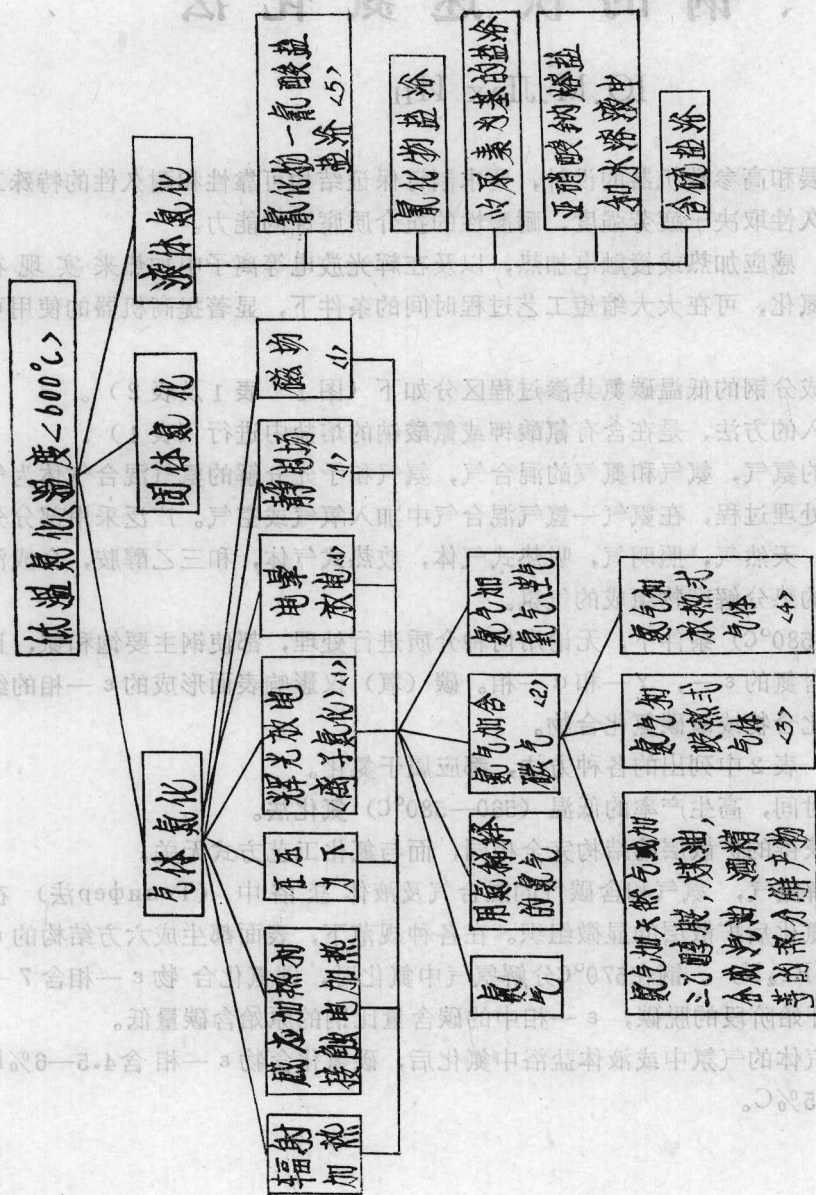


图1 氮化法图解

- 1——可在纯氮中进行氮化。
- 2——低温碳氮共渗，碳氮化。
- 3——辐射加热氮化 (Никотрирование)
- 4——辐射加热氮化 (Нитро法)
- 5——推荐用于扩散层淬火的碳素钢。氮化后却。

表 1

盐 浴 成 分		老化制度	补充混合盐的成分 %	盐浴稳定工作的温度 (°C) 和时间(小时)	备 注
原 始	工 作				
85% NS—1 盐 (40% 氰酸钾 KCNO 和 60% 氰化 钠 NaCN) + 15% 碳酸钠 Na ₂ CO ₃ + ~ 1% 氰胺	42~48% 氰酸钾 (或钠) + 50% 氰化钾(或钠), 其余—碳酸钠	在吹入空气条 件下, 570°C, 70—80 小时; 最低持续时间 48 小时	NS—2 盐(75% 氰化钠 + 25% 氰 化钾)	570	Тенифер法(西 德) Туфтрайд- ниг 法(美国), 用于处理结构钢 (钛坩埚, 将空 气吹入熔盐中)
55% 尿素(NH ₂) ₂ C O + 45% 碳酸钾 K ₂ CO ₃	65~75% 氰酸钾 + 25~35% 碳酸 钾 + ~ 1% 氰化钾	580°C, 10— 12 小时	45% 碳酸钾 + 55% 尿素	560~580	—
55% 尿素(NH ₂) ₂ C O + 45% 碳酸钠 Na ₂ CO ₃	20~40% 氰酸钠 + 12~20% 氰化钠 50~60% 碳酸钠	—	15% 尿素和碳酸 钠(新混合盐比 例 55:45) 或 10% 氰酸钠(每工作 8 小时) 或 4% 尿素(每工作 2 小时)	560~580 8~12 小时	处理结构钢
40% 尿素(NH ₂) ₂ C O + 48% Na ₂ CO ₃ + 12% NaCN	—	—	4% 尿素或 3% 氰酸钠(每工作 2 小时)	—	处理高速钢
TF—1 盐[36% ± 1% 氰酸盐(Na, K) (KCND, CNaCNO) 其余— 碳酸盐], K:Na = 常数	36~39% 氰酸盐, 其余—碳酸盐	—	再生剂 REG— 1 (三氮苯)	570~580	新的 Тенифер法 (原始状态的盐 无毒, 在工作过 程中盐浴的氰化 物数量 0.5~3%, 钛坩埚, 将空气 吹入熔盐中)

再生剂是含 C₂N₂ 和 H₂ 的聚合物型的有机化合物, 当盐浴中氰酸钠含量减低至 1% 时, 加入的数量为盐槽容积 0.6%。

表 2

氮 化	氮 气 组 成	在560—580°C 氮化时间 (小时)	备 注
氨 气	氨气 ($a=30\%$)	0.5—6	为了获得爆炸危险较小的混合气氛,建议用氮气(达80% N_2) 来稀释氨气
氨气加含氧气	94~99% NH_3 + 1~6% O_2	0.5—8	—
氨气加含碳气	50%氨气 + 50%丙烷 (甲烷)	2—8	Нитемпер法 (美国)
	50%氨气 + 50%吸热式气体	0.5—5	
	(40% H_2 + 20% CO + 40% N_2) 50%氨气 + 50%放热—吸热式 气体 (26% H_2 + 20% CO + 60% N_2 ; 露点温度 0°C)	0.5—6	
氨气 + 液体渗碳剂 (合成汽油, 煤油, 三乙醇胺) 的热分解产物 (比率 1 : 1.3)	氨气 + 放热式气体 (90% N_2 + 10% CO_2) 比率 1 : 2	1—4	推荐处理工具钢
	或 95% NH_3 + 5% CO_2	1—5	Нитрок法
两段复合处理	第一段: 20~30%氨气 + 80~70% 预先分解的氨气	1—5	加速过程达0.5倍,
	第二段: 30~50%氨气 + 50~70% 渗碳气体	0.5—3	提高耐磨性

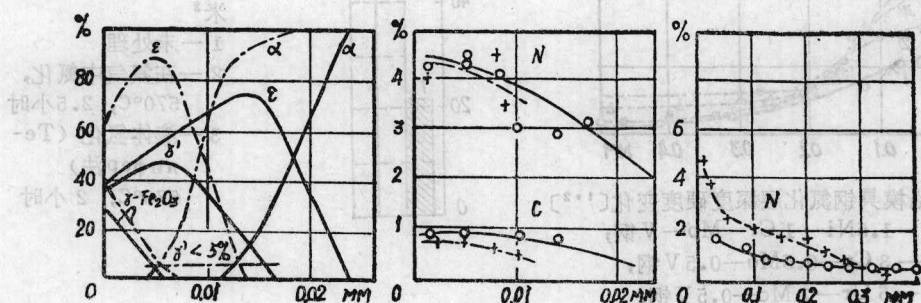


图2 沿氮化层深度的相组成和化学成分的变化

——0.52%C, 1.67%Ni, 1.09%Cr, 0.36%Mo, 0.22%V钢

——0.33%C, 4.53%Cr, 1.26%Mo, 0.4%V钢

在氨气和含碳气的混合气中氮化, 580°C、4小时^(1,2)

含0.15—0.4%C低碳结构钢氮化时, 碳氮化合物层中的碳量强烈增加。合金钢处理时, 在 ϵ —相中含有合金元素 $(Fe, M)_3NC$ 和 $(FeM)_2NC$, 在加入氧的气氛中, ϵ —相为 $(Fe, M)_3(N, C, O)$ 。

图2中列出著作〔1,2〕对模具钢在氨气和含碳气体的混合气中氮化后, 沿氮化层深度的x—射线显微分析结果。在表面层除 ϵ —相处, 还观察到 γ' —相 (Fe_4N) 和铁的氧化物 Fe_2O_3 , 这大概是炉子密封性不好所致。

随着气氛中含碳气的增加, 扩散层中 γ' —相的数量减少。

在短时间氮化后, 含氮的 ϵ —相是致密的而且塑性较好。长时间氮化(24小时或更长), ϵ —相因含氮增加至9—11%N而脆化。

低含氮量的碳氮化合物 ϵ —相, 与高含氮量的比较, 脆性破坏倾向较小, 具有高度的耐磨性和高度的耐腐蚀性。表面硬度依处理的钢种而变化, 从HV500至HV1200。钢的合金度愈大, 硬度愈高。在表面形成的碳氮化合物 ϵ —相常常出现疏松(参看图2, e)。这会降低钢的硬度和接触疲劳强度。

由含氮的 α —固溶体, 铁的氮化物(γ')和合金元素的氮化物(内氮化区)组成的扩散层的主要部分与 ϵ —相表面层毗邻。这部分渗层, 在缓慢冷却后, 在铁素体中析出过剩的 γ' —相。在显微组织中以渗层的总深度应包括腐蚀较深的带层。内氮化区的硬度取决于钢的合金度(图3)。

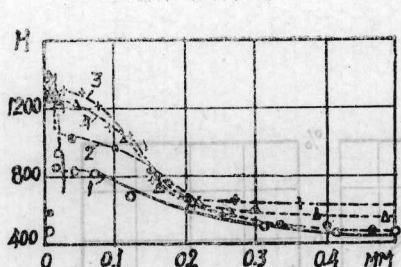


图3 沿模具钢氮化层深度硬度变化[10²]

- 1—1.5Ni—1Cr—Mo—V钢;
- 2—3Cr—0.5Mo—0.5V钢;
- 3—5Cr—1Mo—0.5V钢;
- 4—5Cr—1Mo—0.5V钢。

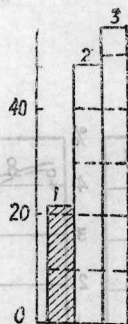


图4 氮化对40x钢疲劳极限的影响[缺口试样] (4) 单位公斤/毫米²

- 1—未处理
- 2—在氨气中氮化, 570°C, 2.5小时
- 3—液体氮化 (Тенифер法) 570°C, 2小时

低温氮化的结果显著提高疲劳极限 (图4) 和减低应力集中的敏感性。我们的研究, 以及著作 [3—6] 都指出, 气体和液体氮化后, 钢的耐磨性 (图5) 和疲劳极限 (参看图4) 实际上是相同的。在光亮油中或保护气氛中冷却可进一步提高疲劳极限。

某些国家广泛应用所谓 Тенифер 法的液体氮化法 (表1)。以尿素和碳酸钾为基, 并添加三氮苯 (Триазин) 再生剂的盐浴效果较好, 三氮苯能使工作过程中的盐浴复原, 并阻止铁的残渣沉淀。

以尿素为基的盐浴, 在原始状态是无毒的, 但在使用时, 盐浴中形成氰化物 (0.5—3.0%)。新用盐的剧毒性, 含氰废盐中和的复杂性, 调节扩散层的组织和成分以及控制盐浴组成的艰巨性, 妨碍了液体氮化的普遍推广。最有前途的是气体氮化法 (表2), 它可广泛应用于高循环应力和接触负荷不太大的磨损条件下工作的零件。

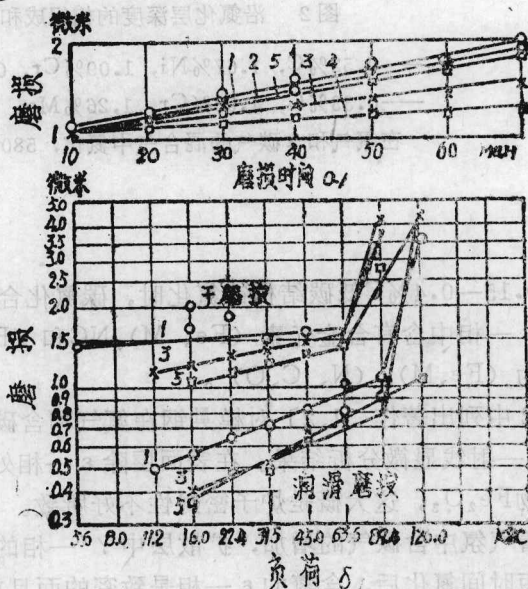


图5 短时间氮化 (580°C) 对40x钢耐磨性的影响[5.6]

α—经不同时间的润滑摩擦 ($p = 5$ 公斤/毫米², $n = 576$ 转/分, $v = 5.5$ 米/分)

δ—在不同负荷下干摩擦和润滑摩擦;

1, 2—液体氮化; 3—5—气体氮化;

1—3小时; 2—6小时; 3—2.5小时;

4—3.5小时; 5—6小时。

气体氮化时间比液体氮化 (Тенифер法) 时间长50%, 才能获得同样深的渗层。

短时间气体氮化法正在研究中。

《经典的》氮化法在520—540°C进行, 或分两段在520—560°C进行, 为了获得深度0.3—0.8毫米的渗层, 需要24—90小时, 38CrMoAlA钢的氮化层硬度最高 (HV1100—1200)。如果技术条件允许较低的硬度, 则可采用40CrV、20G3W、20Cr3MoW、30Cr-3 MoV、25Cr2Ni2MoV、25Cr3Ni3MoV等钢种氮化。

我们的研究指出, 对许多结构钢和工具钢制品, 可推荐在570°C氨气中短时间氮化处理 (1—10小时)。

这种处理使工业纯铁获得深度0.1—0.8毫米渗层, 使结构钢获得0.1—0.4毫米渗层, 氮化物层厚度达10—20微米。

对不同钢种, 采用不同气氛氮化, 可以得到最佳的氮化层结构和成分。扩散层的结构也取决于工艺过程。

如果氮化气氛的分压小于基体金属氮化物的分解压, 则扩散层仅由内氮化区组成, 即氮在基体金属的固溶体及基体金属和合金元素的氮化物。

这种方法可推荐用于高速钢工具和氮化钢零件的强化。

当氮的分压较高时, 形成多层区, 在表面层展布连续的基体金属氮化物薄层。渗层的这种组织可保证高的耐磨性、抗擦伤性、工作表面的磨合性和抗腐蚀性。在上述两种情况下疲劳极限都能提高。

用予先分解的氨气 ($H_2 + N_2$), 氮气, 惰性气体或氢气来稀释氨气, 可以控制气氛的氮势。

最简单的氮化法是在予先分解的氨气 ($N_2 + H_2$) 与新鲜的氨气 NH_3 的混合气氛中进行。

如果气氛的氮势等于氮在 α -相中的极限溶解度, 则不生成氮化物区。这样可显著加速内氮化区的增厚。

在氨气及其分解产物 ($NH_3 + N_2 + H_2$) 的气氛中氮化时, 为了获得仅由内氮化区组成的最深的扩散层, 氨气的含量应为22—30%。只有靠自动调节才能稳定地维持气

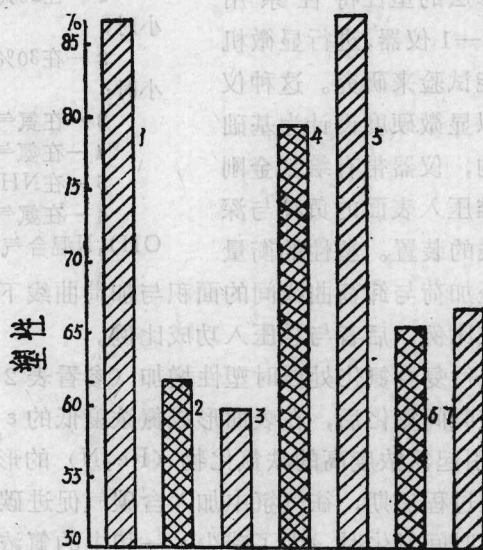


图6 饱和介质和氮化方法对38CrMoAlA钢扩散层相对塑性的影响。

- 1、2、3—在氨气中氮化, 1、3和9小时;
- 4—在30% $NH_3 + 70\% (N_2 + H_2)$ 混合气中氮化3小时;
- 5—在20% $NH_3 + 80\% (N_2 + H_2)$ 混合气中氮化3小时;
- 6—在氨气和含碳气混合气中氮化3小时;
- 7—在氨气中氮化3小时, 随后在氨气和含碳气混合气中氮化3小时。

氮的组成。氮势的控制可靠籍能对混合装置发生作用的电离传感器来实现。

未来的复合氮化法是在低氮势气氛中获得较深的内氮化区，在过程后期，向炉内供给氨气和含碳气，形成碳氮化合物（参看表2）。

短时间氮化可获得塑性良好（图6），并具有高耐磨性的表层图7。

在部分分解的氨气（-30%）中氮化1小时后，表面层有少量氮化物相，具有最大的塑性。在这种情况下表面生成 γ' 相（ Fe_4N ）。在氨气介质（-30%）中长时间氮化后表面形成塑性低的高氮 ε —相（ Fe_2N ）。

渗层的塑性特性系用YПМ—1仪器，进行显微机械性能试验来研究。这种仪器是以显微硬度设计为基础制成的，仪器带有绘制金刚石角锥压入表面的负荷与深度曲线的装置。塑性的衡量标准是加荷与卸荷曲线间的面积与加荷曲线下面的总面积之比〔7〕。前者与永久塑性变形功成比例，后者与总压入功成比例。

进行复合氮化处理时塑性增加（参看表2及图6）。

短时间氮化后，在表面形成氮浓度低的 ε —相时，具有最高的耐磨性。较长的氮化时间，引起氮浓度高的铁氮化物（ Fe_2N ）的形成，降低耐磨性。

在过程后期，往气氛中加入含碳气促进碳氮化合物的形成，提高耐磨性。

短时间氮化时，为了减少 ε —相中的氮浓度（降低脆性）并减小 ε 相的厚度，建议用80—90%N或含氮气体（ $\text{N}_2 + 40\% \text{H}_2$ ）来稀释氨气。在氨气—氢气气氛中加入氧（空气，二氧化碳气）可加速氮化层的形成，而且也可改善耐磨性〔8—10〕。

在氨气和30—50%含碳气或三乙醇胺热分解产物的气氛中的氮化法被普遍采用。

在氨气和渗碳气的混合气中氮化，最先是由苏联莫斯科色曼高等技术学校，于1940—1960年制订的。在1964—1966年，苏联将三乙醇胺热分解产物引用于化学热处理过程（3.11—13）。

在30%氨气和70%天然气的气氛中氮化，建议用未强化在低接触负荷条件下工作的

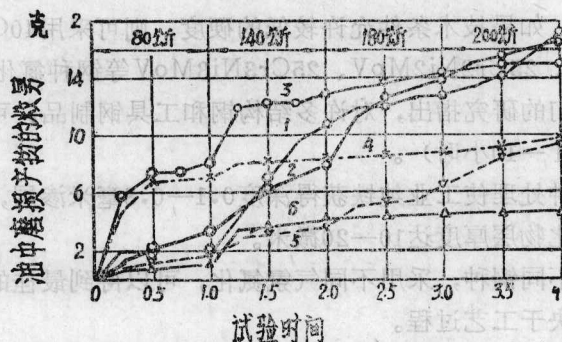


图7 工作付滚子（氮化45钢）——轴套（青铜）的耐磨性与氮化规范的关系（在CMg—2试验机上试验）；

- 1—在20% $\text{NH}_3 + 80\% (\text{N}_2 + \text{H}_2)$ 混合气中氮化6小时；
- 2—在30% $\text{NH}_3 + 80\% (\text{N}_2 + \text{H}_2)$ 混合气中氮化3小时；
- 3—在氨气中氮化6小时；
- 4—在氨气中氮化2小时；
- 5—在 $\text{NH}_3 + (\text{C}_2\text{H}_4\text{OH})_3\text{N}$ 混合气中氮化3小时；
- 6—在氨气中氮化1.5小时，随后在 $\text{NH}_3 + (\text{C}_2\text{H}_4\text{OH})_3\text{N}$ 混合气中氮化1.5小时。

齿轮, 缸套等⁽¹⁾。

在添加含碳气的气氛中氮化用于提高高速钢工具和压铸模的寿命。

对于高速钢工具, 处理温度应与回火温度 (550—560°C) 相符, 保温时间 1—2 小时; 对于高铬钢 Cr12、Cr12VI 的工具, 处理温度应降低至 510—520°C。

采用三乙醇胺氮化可按不同工艺方案进行: 在三乙醇胺分解产物中添加或不添加氨气, 三乙醇胺也可不予先热分解直接滴入炉内。

按规范: 570—580°C 经 6—10 小时所获得的扩散层具有最佳的性能, 此时结构钢渗层的总厚度达 0.3—0.5 毫米, 碳氮化合物层的厚度 7—12 微米。此厚度的 ε —相层具有高的耐磨性, 低的摩擦系数, 且没有脆性破坏倾向。

在三乙醇胺热分解产物的气氛中氮化, 被用于强化纺织机械各种零件。经表面强化的纺织机械零件的寿命可提高 1—5 倍⁽⁸⁾。

1970 年, 美国易卜生公司发表在 50% 氨气和 50% 丙烷或吸热式气体的混合气中气体氮化。在美国, 这种方法叫《Нитемпер》, 在西德叫《Никотрирование》, 在日本叫《Найтемпер》⁽¹⁴⁾。

发生器中吸热式气体露点的温度 0—1°C, 在低温氮化 (Никотрирование) 时无须再用露点或 CO₂ 量控制吸热式气氛。

为了加速过程, 可在气氛中添加 0.5—1% O₂。推荐比率: CH₄/NH₃=1 和 (CH₄+NH₃)/O₂=25÷30。

在整个处理周期, 必须使炉子工作区维持正压, 以免将空气吸入炉内工作区, 并应保证设备没有爆炸的危险性。在加热和冷却时, 最好用中性气体吹扫炉罐。在炉子入口应使气体燃烧, 从工作室排出的废气应用抽风机吸出并在出口处燃烧, 也即在炉子的入口和出口应规定有火帘。

采用吸热式气体氮化时, 箱式炉的操作必须遵守如下安全技术措施。

在装料口建立火帘; 炉子运转时必须遵守的条件: 炉子加热至 800°C, 供给氮化气氛 (吸热式气体和氨气), 冷却至工作温度, 按工艺规范进行氮化。应该指出, 当炉子连续工作时, 就无需预先加热至 800°C。

近年来, 西德 (《Айхелин》公司) 提出加入渗碳气和氧化气的氮化性, 称为 НИТРОК 法 (参看表 2)。НИТРОК 法的氮化气氛由氨气和放热式气体组成⁽⁹⁾。

采用放热式气体, 可保证氮化法没有爆炸危险性。二氧化碳气是氧化性的, 而与氨气的混合气可用作渗碳组分。

渗层的相成分与气氛的氮势, 碳势和氧势有关 (图 8)。

在氨气和添加含碳气的吸热式或放热式气体的混合气中氮化, 被用来强化齿轮轴和曲轴, 活塞杆, 制动滚筒、齿轮、精密机械、水压机、纺织机械的零件和工具等。

有时也采用硫氰共渗, 就是使钢表面同时渗入氮、碳和硫。该法是在 560—580°C, 于含 2—25% 硫化盐或硫酸盐 (Na₂S₂O₃, Na₂SO₂, Na₂SO₄, Na₂S 等) 的高氰化盐浴中进行。

行。

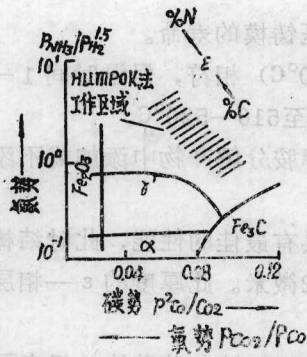


图8 渗层的相成分与HITPOK法的碳势、氮势和氧势、氮势和氧势的关系。

金属和合金表面氮化基础理论的发展有着更重要的意义。为此必须建立可以推断强化工艺规范和氮化钢及合金的最佳合金化的组织模式和数学模式。

在此五年期间，应提高氮化的效率和质量指标，工艺过程持续时间的缩短，就可以使生产率提高。

因而必须继续发展可以获得最佳扩散层组织的氮化控制方法，以保证处理工件有高的使用性能。

未来的氮化将是整个过程完全自动化，工艺参数采用程序控制，而准备工序全部机械化。

这里方向之一将是建立用电子计算机操纵的，完全自动化的氮化工部，提高机械制造中的劳动生产率。

在低温辉光放电等离子体中，在静电场中和真空中的氮化法将被广泛采用。

由于烧结的铁合金和难熔金属采用氮化，氮化材料的品种正在扩大。

结构钢零件和工具的氮化物或碳氮化合物渗层已获得广泛应用。

参考文献（从略）

肖庆亮译自《МИТОМ》1976. №5. 2—10

二、汽车曲轴的软氮化处理

(日) 久松定兴

气体或盐浴软氮化处理, 提高钢及铸铁零件的疲劳强度、耐磨性, 汽车零件已大量采用。其中, 德国莎公司开发的盐浴软氮化处理, 由于处理时间短、处理温度低, 因而处理变形小, 所以, 已广泛应用于汽车零件。但是, 盐浴软氮化处理, 因使用氰系盐浴, 须严格管理, 对处理产生的废液, 要采取措施防止公害, 增加费用, 最近, 取代它的低氰盐浴处理及在氨气和 R_x^* 或 N_x^{**} 气的混和气氛中, 进行低温气体碳氮共渗处理的气体软氮化发展很快, 已被应用。

本文对采用软氮化处理的汽车零件, 主要是属于最大零件的重型车用曲轴的软氮化处理, 进行说明。

一、曲轴的强化方法

重型车用的曲轴, 通常是锻钢零件, 为了提高耐磨性对于轴承接触的滑动面施行高频淬火。近年来, 要求高性能、轻型化的曲轴, 对其强化方法进行大量的研究。

钢铁曲轴的强化方法有:

(1) 提高材质的强度

(2) 圆角滚压

(3) 圆角高频淬火

(4) 软氮化处理

等等。

作为材质强化的方法, 是用锰钢、铬钢、铬钼钢等代替常用的碳钢调质材料, 提高硬度后使用, 但考虑到大量生产和加工的限制, 不希望布氏硬度超过 HB300。而且在价格和总重量上这也不是善策。

圆角滚压是用滚轮在圆角处旋转滚压, 使表面塑性变形, 提高表面光洁度, 并通过加工硬化与残留压缩应力, 从而提高疲劳强度的方法。这种方法对滚轮形状, 负荷大小, 加荷时间等的规定很重要, 通常可提高疲劳强度20~30%。此法, 只要是在原来的工序中增加上滚压机就行了, 处理费用、生产性方面较佳。

圆角高频淬火, 与圆角滚压一样是圆角有效的强化方法, 比其它圆角强化方法的提高率大。这种方法是将一般采用的轴滑动面的高频淬火, 扩展到圆角处, 淬火后的校直, 磨削工序则利用过去的办法。大量生产时的措施是提高高频淬火后的回火温度, 使

* R_x 气——吸热式气体 ** N_x 气——放热式气体

表面硬度降低至HRC50左右。

近年来, 重型车用V型发动机等迅速发展, 曲轴复杂的扭曲振动成了问题, 只对圆角部分强化的方法并不能满足要求。为了提高扭转强度, 除圆角强化外, 还要求对油孔内侧, 平衡去重孔内侧等强化。

例如: 高频淬火曲轴, 由于扭曲振动从油孔内侧疲劳损坏以及从油孔内侧损坏时, 以高频淬硬层为起点产生疲劳损坏等。作为这些部位的强化方法, 软氮化处理最为有效。

二、曲轴的软氮化处理

曲轴的软氮化处理, 除钢制曲轴外, 铸铁曲轴也采用, 本文只谈钢制曲轴的软氮化处理。

曲轴的软氮化处理, 对材质的选定、处理后的冷却方法, 防止软氮化处理前各道工序产生弯曲、软氮化处理卡具的设计, 处理后的校直方法等项的研究都是重要的。

(1) 材质对疲劳强度的影响

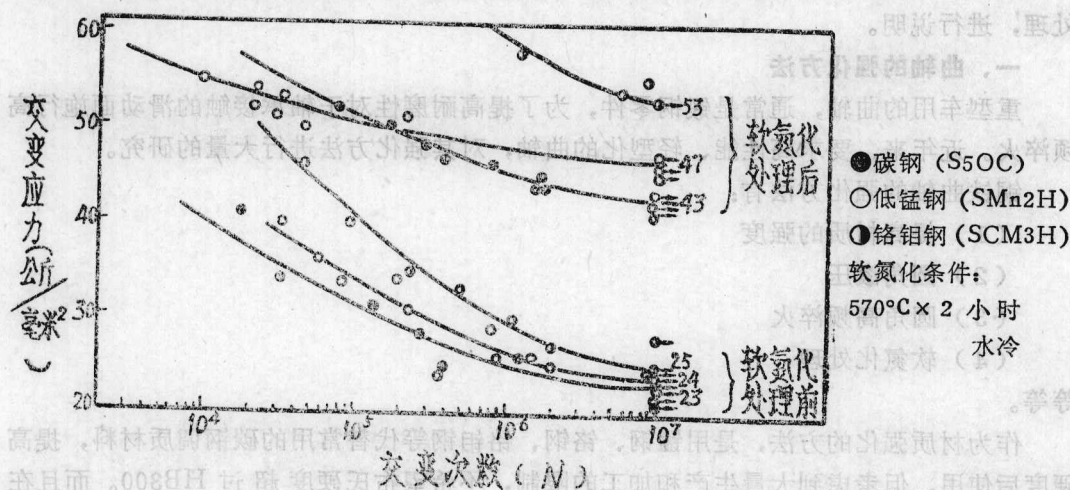


图 (1) 软氮化处理的疲劳强度 (材质的影响)

U形缺口 $\alpha_k = 1.78$

软氮化处理后材料的疲劳强度如图 (1) 所示, 合金钢比碳钢高。但是根据后面所述的理由, 曲轴要求采用碳钢。而在采用碳钢时, 如图 (2) 所示, 处理前疲劳强度高的, 也即处理前硬度高的, 处理后疲劳强度也高。所以, 处理前的硬度很重要。

但是, 若处理前的回火温度低于软氮化处理温度 (570°C), 就成为软氮化处理时发生弯曲的主要原因。所以, 规定处理前的硬度必须从疲劳强度, 产生弯曲两方面进行考虑。

(2) 软氮化处理后的冷却方法。

软氮化处理后的冷却,也应兼顾到疲劳强度和处理产生的弯曲。图(3)指出碳钢水冷和在180°C油冷的疲劳试验结果。水冷比油冷更提高疲劳强度,像重型车曲轴之类变形成为严重问题的零件,油冷能减少弯曲,虽然使疲劳强度的提高较少,但采用油冷仍是较好的办法。

(3) 材质对校直的影响

高频淬火的曲轴,可用最终的磨削加工来修正轴的弯曲,但施行软氮化处理的曲轴,化合物会很薄,约10 μ 左右,处理后只能用砂纸磨削。因此,软氮化处理后最好无变形,但在大量生产中这是不可能的,有一部分要进行校直。如下所述,校直严重影响疲劳强度。对软氮化处理的曲轴,因材质不同,校直的影响有很大差别。

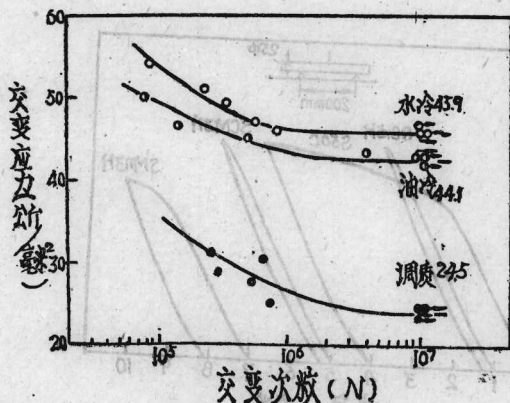
图(4)指出碳钢,低锰钢,铬钼钢试样进行校直试验的结果。由此可见,合金钢因表面生成铬等的氮化物,化合物层的硬度高,疲劳强度也高,校直时容易产生裂纹。所以合金钢几乎不能校直,对曲轴来说,必须采用碳钢。

(4) 校直对疲劳强度的影响。

软氮化处理后的校直,会减少表面残留压缩应力,从而使疲劳强度降低。同时过度的校直还会在化合物层产生微细裂纹,进一步降低疲劳强度,所以软氮化处理后的校直,必须很好的加以管理。

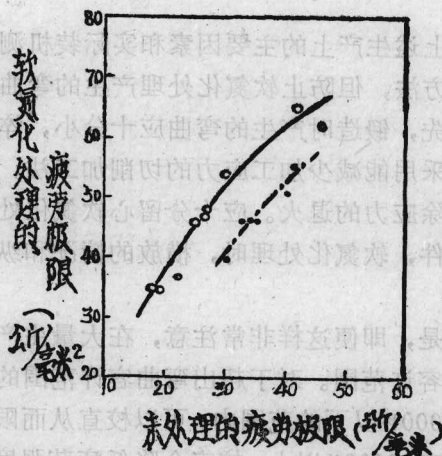
进行校直时,加负荷使圆角处产生的负荷应变与疲劳强度降低率的关系示于图(5)。可见超过10000 μ 疲劳强度开始显著降低,达到20000 μ 就与未软氮化处理的疲劳强度相同,超过20000 μ 则比不处理的疲劳强度还低。

(5) 大量生产中防止产生弯曲和校直的方法



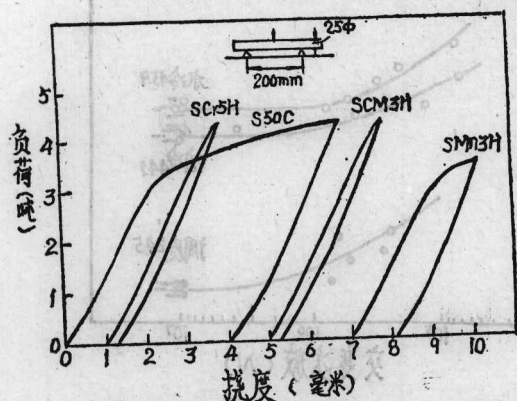
图(2) 软氮化处理的疲劳强度(冷却方法的影响)

材料: S50C; 软氮化处理:
570°C × 3 小时; U形缺口 $\alpha k = 1.78$

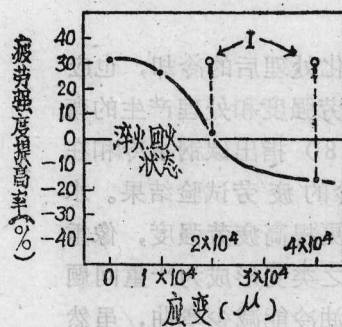


图(3) 软氮化处理时,未处理的疲劳极限与处理的疲劳极限的关系。

(○570°C × 2 小时水冷; ●570°C × 3 小时油冷)



(图4) 不同材质校直的影响。(软氮化条件: $570^{\circ}\text{C} \times 3$ 小时油冷)



图(5) 软氮化处理件校直使疲劳强度降低。(材料: S50C, 软氮化条件: $570^{\circ}\text{C} \times 3$ 小时, 油冷); I: 再软氮化处理, $570^{\circ}\text{C} \times 1$ 小时油冷

将上述生产上的主要因素和实际装机测出的曲轴应加以对比, 便可以规定大量生产的加工方法, 但防止软氮化处理产生的弯曲还是极为重要。

首先, 锻造时产生的弯曲应十分小, 淬火后的回火应在较高的温度下进行, 机械加工时应采用能减少加工应力的切削加工法, 而且, 希望软氮化处理前不要校直, 否则应进行消除应力的退火。应十分留心软氮化处理卡具不发生弯曲。像重型车用曲轴那样长的零件, 软氮化处理时, 横放的情况和纵放的情况, 产生的弯曲大不相同, 必须纵放。

但是, 即便这样非常注意, 在大量生产工序中, 软氮化处理后总有百分之几达不到弯曲的容许范围。对于超出弯曲容许范围的曲轴, 如前节(4)所述, 圆角处的应变, 若在 10000μ 以下的范围内, 可以校直从而限定变形量, 便可以进行校直而不使疲劳降低。若在 10000μ 以上, 校直会降低疲劳强度, 如图(5)所示。校直后再施行软氮化处理, 能恢复疲劳强度。然而再处理后的校直条件复杂, 且成本增加, 所以很少这样做。

三、气体软氮化处理的应用

气体软氮化处理, 因为在公害方面、成本方面有优点, 近年来已被普遍应用。但处理的稳定性比盐浴法稍差。气体软氮化处理, 重要的是气氛的控制及炉内温度分布的均匀性, 若采取有效措施, 可得到与盐浴法同样的稳定性。

(1) 气体软氮化处理气氛的控制

重型车的曲轴, 长达一米以上, 将其直立放显得炉子是比较特殊的。为了使炉内温度、气氛均匀, 根据经验, 必须注意气体的搅拌方式, 加热方式等。

此外, 氨气量与 R_x 或 N_x 气体量的比率, 氨分解率的控制方法等必须严格执行。炉内气氛与表面硬化化合物层厚度的关系示于图(6)。如图所示, 气氛的调整对性能有