

超临界水的应用及其环境中材料腐蚀的研究

杨润田¹, 王志锋¹, 张海峰², 程乐明², 毕继诚²

(1. 中国兵器科学研究院宁波分院, 浙江 宁波 315103;

2. 中国科学院山西煤炭化学研究所煤转化国家重点实验室, 山西 太原 030001)

[摘要] 介绍了超临界水特殊的物理、化学性质及其目前在化工、环境领域的应用状况, 超临界水氧化法是一种很有前途的废物处理技术, 在宇航、潜艇、环保等领域具有广泛的应用前景, 但高温高压下设备的腐蚀是限制该技术推广应用的主要因素之一。在介绍超临界水的性质及其主要应用的基础上, 简述了国内外超临界水中材料腐蚀的研究现状, 为新型超临界水反应器的研究与开发提供一定的参考。

[关键词] 超临界水; 氧化; 应用; 腐蚀

[中图分类号] TG172.9

[文献标识码] A

[文章编号] 1001-3660(2007)05-0084-04

Study on Application of Supercritical Water and Relevant Materials Corrosion

YANG Run-tian¹, WANG Zhi-feng¹, ZHANG Hai-feng², CHENG Le-ming², BI Ji-cheng²

(1. Ningbo Branch of China Academy of Ordnance Science, Ningbo 315103, China; 2. State Key Laboratory of Coal Conversion, Institute of Coal Chemistry of the Chinese Academy Sciences, Taiyuan 030001, China)

[Abstract] The special physical, chemical properties of supercritical water (SCW) and its application in the fields of chemical industry and environment were introduced. Supercritical water oxidation is a very promising method for waste disposal. It has widely application foreground in space navigation, nuke and environment protection et al. fields. However the equipment corrosion under high temperature and pressure is one of the chief factors which limits the technology application of SCW. The research state of material corrosion in SCW was described on base of the properties and application of SCW introduction, which provides some reference for SCW reactor study and development.

[Key words] Supercritical water; Oxidation; Application; Corrosion

0 引言

超临界水 (supercritical water, SCW) 是指当水处于其临界点之上时, 表现出许多独特的性质, 此时的水相当于非极性溶剂, 可作为良好的反应介质。目前已经证明超临界水在有机合成、废弃物处理和高含湿物料转化等方面具有独特的优势^[1]。美国、日本等国已将超临界水氧化技术应用于宇航、核潜艇、环保、发电等方面, 取得了巨大的经济、军事和社会效益。美国国家关键技术所列的六大领域之一“能源与环境”中还把超临界水氧化法列为最有前途的废物处理技术^[2]。但另一方面, 由于该技术是在高温、高压状态下运行, 因此, 对设备的材质提出了更高的要求。我国在这方面的研究起步较晚, 主要集中在生物质的利用、有机废水以及固体废弃物的处理等方面^[3,6], 但目前均还处于实验室研究阶段。水在超临界以及近临界状态下对设备材料的腐蚀极大限制了该技术的应用和推广, 因此研究超临界水环境中材料的腐蚀对该技术的推广应用及材料表面防护技术的

研究具有重要的理论和实际意义。

1 超临界水的性质及应用

1.1 超临界水的特性

当水的温度和压力分别高于它的临界温度 T_c (374.2℃) 和临界压力 P_c (22.1MPa) 时, 此时的水称为超临界水^[7], 它与气态和液态水的区别如表 1 所示。

表 1 不同状态水的性质

Table 1 Physical properties of water in different state

性 质	状 态		
	气态	超临界态	液态
密度 $\rho / (\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	10^{-3}	0.1 ~ 0.5	1
扩散系数 $\delta / (\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1})$	10^{-1}	10^{-3}	10^{-5}
运动黏度 $\nu / (\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1})$	10^{-5}	$10^{-4} \sim 10^{-5}$	10^{-3}
介电常数	1	8.4	78.3

从表 1 可以看出, 超临界水具有类似气体的良好流动性, 同时又有远大于气体的密度, 因此具有许多独特的理化性质^[8,9]:

1) SCW 具有独特的溶解性。SCW 对有机溶剂的溶解能力主要取决于密度, 密度增加, 溶解能力增加; 密度降低, 溶解能力减弱, 甚至丧失对溶质的溶解能力。而温度或压力较小的变化

[收稿日期] 2007-07-18

[基金项目] 宁波市自然科学基金 (2007A610059)

[作者简介] 杨润田 (1968-) 男, 内蒙包头人, 高级工程师, 硕士, 主要从事金属材料表面腐蚀与防护技术的研究。

可使 SCW 的密度发生较大的变化。因此,有可能借助系统压力和温度的调节,在较宽的范围内变动 SCW 的溶解能力。

2) 高扩散能力。超临界条件下流体的扩散系数介于气相和液相之间,因此可加速常温常压下在液相中受扩散控制的化学反应的速度,也可加速溶解平衡。

3) SCW 具有类似于极性有机溶剂的介电常数。在高密度的超临界高温区域内,其相对介电常数相当于极性溶剂在常态下的相对介电常数的值,为中等极性 10~25。而在低密度的超临界高温区域内,相对介电常数降低了 1 个数量级,这时的超临界水类似于非极性的有机溶剂。根据相似相溶原理,在临界温度以上,几乎全部有机物都能溶解,而无机物的溶解度则迅速降低,强电解质变成了弱电解质。并且 SCW 较高的热容和优良的传质能力能有效消除反应器内部的温度梯度,不致造成反应器内局部过热,这些都有利于降解反应进行。

1.2 超临界水的应用

正是由于超临界水特殊的物理化学性质,该技术引起了国内外研究者的重视。目前研究较多的主要是在有机物的回收转化以及高浓度有机废水的处理等方面。国内从事这方面研究的主要有中科院山西煤炭化学研究所、西安交通大学、大连理工大学等。

1.2.1 有机化合物的回收和转化

近年来,超临界水技术在废弃物处理、煤炭/生物质转化、重质油加工等方面得到了广泛的应用。超临界水作为一种优良的反应媒介,在废旧有机高分子材料的回收过程中起到了重要的作用。Park 等^[10]用间歇反应釜降解废旧橡胶,取得了高达 89% 的气、液收率;苏晓雨等^[11]用体积为 120mL 的间歇反应釜考察了聚乙烯、聚丙烯塑料在超临界水条件下的转化,在 460℃、25MPa 时,油收率达到了 90%;利用超临界水优良的扩散系数,程乐明等^[12]提出了一种合理的低阶煤转化利用途径,小龙潭褐煤在超临界水中转化成为氢气、焦油和活性炭;油页岩的常规转化是在催化剂的存在下通过热解和水解回收油页岩中的有机化合物,Tyler A L 和 Cane R F^[13]比较了有、无超临界水存在时油页岩的热裂解,油页岩在超临界水中湿热解要比干热解产物的不饱和成分低,液体产物多,Yanik J 等^[14]对油页岩的研究也得到了相似结果;重质油的热裂化是重质油轻质化的一种加工工艺,由于催化加工过程的发展,热裂化工艺已被催化加工过程所代替。为了减少生焦、提高液体产物的收率,曾采用在热裂化过程中通入水蒸气的办法。超临界水中重质油的热裂化是近几年才出现的一种重质油加工方法,目前仍处于探索阶段。

1.2.2 高浓度有机废水处理

超临界水氧化技术(Supercritical water oxidation, SCWO)是 20 世纪 80 年代中期由美国学者 M. Modell^[15]提出的一种能彻底破坏有机污染物结构的新型氧化技术。在各种超临界水化学反应中,研究得最多、最深入的就是用 SCWO 去除有毒、有害废物^[16]。它较之其他废水处理技术有其独特的优势,由于有机污染物在水的超临界区可以以任意比例溶解在水中,使得这些污染物可以在超临界水中均相氧化。废物中的 C、H 元素被氧化成 CO₂ 和 H₂O,含高浓度的有机氯化物被氧化成为 HCl 后通过加入碱性物质中和后生成 CO₂、H₂O 和无机盐^[17],P、S 及金属元素分别转化成磷酸盐^[18]、硫酸盐^[19]和无机盐后析出,并通过

降低压力或升温,有选择性地从溶液中分离出来,以达到处理废物的目的,因而没有二次污染,符合全封闭处理的要求;由于实现均相反应,停留时间又短,所以反应器体积小,结构简单;并且,由于有机物在超临界水中氧化时放出大量的热,当有机物浓度很低时即可实现自热反应,节约能源^[20]。

超临界水氧化作为一种新型的废水处理技术,在处理含氮废水,含芳香族有机废水,造纸废水,焦化废水等难处理废水等领域具有广阔的应用前景。1994 年,Huntsman^[21]公司在 Texas 建立了第一家利用 SCWO 技术的民用污水处理厂,采用的是非特种合金材料的管式反应器,反应器长 200m,操作参数为:温度 540~600℃,压力 25~28MPa,进料量 1100kg/h。原料废水中主要含有醇和胺类,总有机碳量(total organic carbon,简称 TOC) > 50g/L。反应后,排出水中 TOC 降为 3~10mg/L,TOC 氧化率达 99.98%。

除此之外,超临界水还在军工、航空、电力等方面具有很大的应用潜力^[22]。

2 超临界水中材料腐蚀研究状况

由于超临界水特殊的性质及潜在的应用前景,世界各国都在为尽快有效地解决制约该技术大规模产业化应用的技术难题而努力,其中超临界水环境中材料的腐蚀即为难题之一,引起国内外研究者的广泛关注。美国、日本和德国等近年来针对可能用于超临界水环境下的反应器、预热器、冷却器等所用材料如不锈钢、镍基高温合金、钛及钛合金以及陶瓷等,展开了广泛的研究^[23-24]。我国中科院金属所、浙江工业大学等单位近年来也在积极开展这方面的工作。目前针对超临界水中材料腐蚀的研究主要集中在 2 个方面,一是材料的选择,二是介质的影响。

2.1 材料的选择

在超临界水应用技术中一般选用耐蚀性较好的合金材料,其中对镍基合金和钛合金研究相对较多。镍基超合金是目前认为用于超临界水中的较好材料,然而其腐蚀问题也不能忽视^[25]。王保峰等^[26]研究了 1Cr18Ni9Ti、316L、U2、SAF2507、Sanicro28 五种不锈钢和 Ni825 镍基合金在 192℃、292℃ 和 392℃ 高温高压水中的耐腐蚀性。结果表明,在实验条件下,所有的合金都表现出某种程度的不稳定性,均匀腐蚀轻微,点蚀是最主要的腐蚀形式。相比较而言,高合金不锈钢 Sanicro28 和镍基合金 Ni825 在该环境中表现出较好的耐蚀性,金、铂、钛等稳定的贵金属,在超临界水氧化环境中也都表现出不同程度的腐蚀。

马承恩等^[27]研究了钛合金(纯钛和铸钛)在超临界水氧化条件下(温度为 400~600℃、压力为 28~32MPa)分解含氯废水时的腐蚀,结果表明,2 种金属在含氯水溶液超临界水氧化条件下均存在腐蚀且为全面腐蚀。并认为钛合金不锈钢在超临界水中的腐蚀机理主要为闭塞电池腐蚀和氢脆。另外他们还研究了 4 种镍基合金不锈钢试样(1Cr18Ni9Ti、316L、0Cr18Ni12Ti 和 QLC12)在超临界水氧化过程中(400~620℃, 28~32MPa)处理含氯废水时的腐蚀情况^[28]。经过 30d 的实验,结果表明,4 种合金在 15% 含氯水溶液中经过超临界水氧化反应均存在腐蚀,其中 1Cr18Ni9Ti 和 316L 腐蚀速率较大,而 QLC12 腐蚀速率最小。

实验发现 0Cr18Ni12Ti 存在晶间腐蚀现象,认为其原因是晶界周围出现“贫 Cr”现象以及合金表面存在氢脆现象。镍基不锈钢在超临界水中的腐蚀机理主要为氢脆现象、氯氧化腐蚀以及吸氧腐蚀。

朱小梅等^[29]研究了 2 种不同的催化剂 ($\text{CuO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 和 $\text{MnO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) 在不锈钢 (1Cr18Ni9Ti) 反应器中进行了超临界水氧化偏二甲肼的实验,实验的温度为 400 ~ 500℃,压力为 24 ~ 26MPa。结果表明,不锈钢和催化剂在超临界水中都受到不同程度的腐蚀和溶解,腐蚀程度随系统内温度和压力的升高而加剧。

Le Clerq 等人研究了多种陶瓷材料在含无机酸的 SCWO 环境中的腐蚀,发现陶瓷材料的耐 SCWO 腐蚀性能也较差,如 SiC 和 Si_3N_4 基的陶瓷失重达 90%, BN 、 B_4C 、 TiB_2 和 Y_2O_3 基的陶瓷发生分解, ZrO_2 和 Al_2O_3 基的陶瓷腐蚀相对较轻一些^[30]。

总体而言,钛在超临界水中的耐腐蚀性能较好,比较适合作衬里。大多数陶瓷在超临界水中也是不稳定的,以钛基体涂覆的多层钛化物陶瓷表现出良好的耐腐蚀性能。添加碱性物质或降低 HCl 的解离度(增加温度或降低压力)可以降低超临界水氧化系统中材料的腐蚀速度^[31]。因此,通过选择和分离原料或针对不同的原料在反应器的不同部位应用不同的材料,可使腐蚀降到最低的程度。

2.2 介质的影响

同样的材料在超临界水环境下处理不同的溶剂时造成的腐蚀程度也不一样。P. Kritzer 等人^[32]研究了超临界水条件下, NiCr22Mo9Nb 在磷酸浓度为 0.05 ~ 1.0mol/kg、氧浓度为 0.48 mol/kg 时的腐蚀状况^[32]。研究结果表明:在 400℃ 以下,由于在该合金表面生成 1 层磷酸盐钝化膜,因此,没有发生在其它酸中所发生的腐蚀现象。当温度高于 400℃、磷酸浓度为 0.05 mol/kg 时没有腐蚀发生,而当浓度高于 0.1mol/kg 时,温度在 400 ~ 490℃ 时,发生严重的局部腐蚀,最大腐蚀速率达 850 $\mu\text{m}/\text{h}$,因此,在用 SCWO 处理浓度大于 0.1mol/kg 磷酸溶液时不宜用镍基合金材料作反应器。

在处理含 S、Cl、P 等有机物时,孔腐蚀与均匀腐蚀同时进行,发生原因可能是低熔点金属氯化物的产生,而且含卤素、S 或 P 的有机物在 SCW 环境下会产生酸,使反应器严重腐蚀^[33]。金属材料的防腐性主要依赖于氧化物保护层的溶解性,基于氧化物保护层的两性特征,氧化物无论在强酸性还是强碱性的高温溶液中都具有很大的溶解性,溶液密度的增大增加了进攻物种(酸、碱)的解离性,导致较高的 H^+ 和 OH^- 浓度,因此,腐蚀会由于密度增大而得到加速^[28];另外,在腐蚀过程中阴离子也起着非常重要的作用,氯化物和溴化物对氧化膜有破坏性,阴离子效应依赖于金属和阴离子 2 个方面,如氯离子对不锈钢具有很强的腐蚀性,而对钛钢没有腐蚀性。强碱性水溶液在超临界温度和氧化条件下能溶解氧化物保护层,原因是一种液体氢氧化物溶解,致使类似起保护作用的盐溶解,但是在亚临界温度下 NaOH 对镍基合金几乎没有腐蚀。

针对超临界水环境下材料的腐蚀要具体情况具体分析,因为处理的溶液不同,所选用的材料也不同。如钛合金在高温高压下盐酸溶液中具有很好的耐蚀性,而镍基合金却不行。同样在高温高压硫酸溶液中,镍基合金显示出较好的耐蚀性,而钛合

金却容易遭到腐蚀。

3 结 语

基于超临界水特殊的性质而发展起来的超临界水氧化技术是一种新兴的且具有广泛应用前景的废物处理技术。在常规方法不能完全清除或难以彻底处理的废物、化学武器、核电站非放射性废物、潜艇废弃燃油等方面均有良好的发展前景。虽然目前该技术的商业化应用仍存在一定的困难,但随着新材料设计的不断发展,表面处理技术及反应器设计水平的不断提高,超临界水必将在有害有机废物的处理及资源化利用方面显示出极大的技术优势和应用价值。

[参 考 文 献]

- [1] 刘永,周家华,王保金,等. 超临界水氧化技术[J]. 化工科技, 2002, 10(3): 46-49
- [2] 戴航,黄卫红,钱晓良. 超临界水氧化技术进展[J]. 化工环保, 2003, 21(2): 79
- [3] Su Xiaoli, Zhao Yulong, Zhang Rong, et al. Investigation on degradation of polyethylene to oils in supercritical water[J]. Fuel Processing Technology, 2004, 85 (8-10): 1249-1258
- [4] James W Griffith, Dennis H Raymond. The first commercial supercritical water oxidation sludge processing plant[J]. Waste Management, 2002, (22): 453-459
- [5] 咎元峰,王树众,林宗虎. 超临界水氧化工艺处理城市污泥[J]. 中国给水排水, 2004, 20(9): 9-12
- [6] 曲先锋,彭辉,毕继诚,等. 生物质在超临界水中热解行为的初步探讨[J]. 燃料化学学报, 2003, 31(3): 230-233
- [7] 杨旭,徐明仙. 临界水的物理化学性质[J]. 浙江工业大学学报, 2001, 29(4): 386-390
- [8] 张丽莉,陈丽,赵雪峰,等. 超临界水的特性及其应用[J]. 化学工业与工程, 2003, 20(1): 33-39
- [9] 田宜灵,冯季军,秦颖. 超临界水的性质及其在化学反应中的应用[J]. 化学通报, 2002, (6): 396-402
- [10] Sangdo P, Earnest F G. Statistical study of the liquefaction of used rubber tyre in supercritical water[J]. Fuel, 1997, 76(11): 999-1003
- [11] 苏晓丽,赵玉龙,张荣,等. 超临界水中聚乙烯油化的研究[J]. 燃料化学学报, 2004, 32(12): 750-755
- [12] Cheng Leming, Zhang rong, Bi Jicheng, et al. Pyrolysis of a low-rank coal in sub- and supercritical water[J]. Fuel Processing Technology, 2004, 85(8-10): 921-932
- [13] Tyle A L, Cane R F. Pyrolysis of oil shale and related organic compounds in supercritical steam[J]. Energy Technol Conf Proc, 1982, (9): 580-591
- [14] Yanik J, Saglam M, Olukcu N, et al. Characterization of the oil fractions of shale oil obtained by pyrolysis and supercritical water extraction[J]. Fuel, 1995, 74(1): 46-50
- [15] Modell M, Gaudet G G, Hong G T, et al. Supercritical water testing reveals new process holds promise[J]. Solid Wastes Management, 1982, 25(8): 26-28
- [16] Olubunmi M, Oguniola. Decomposition of isoquinoline and quinoline by supercritical water[J]. Journal of Hazardous Materials, 2000,

- (B74): 187-195
- [17] Bernardi F, Michaeli S, Stevenj B, et al. Hydrothermal processing of chlorinated hydrocarbons in a titanium reactor[J]. Environ Sci Technol, 1996, (30): 2790-2799
- [18] 林春绵, 方建平, 袁细宁. 超临界水氧化法降解氧乐果的研究[J]. 中国环境科学, 2000, 20(4): 305-308
- [19] 杨民, 孙承林, 陈拥军, 等. 催化湿式氧化处理高含硫废水的研究[J]. 环境污染治理技术及设备, 2003, 4(5): 74-76
- [20] 贾金平, 何翊. 超临界流体的应用现状[J]. 化学世界, 1998, 39(1): 3-6
- [21] 王晓东, 杨秋华, 刘宇. 超临界水氧化法处理有机废水的研究进展[J]. 工业水处理, 2001, 21(7): 1-3
- [22] 王雅娟. 超临界水氧化技术[J]. 舰船防化, 2006, (1): 9-12
- [23] 李学锋. 铬含量对镍基合金涂层高温氧化行为的影响机理[J]. 表面技术, 2004, 33(6): 37-39
- [24] 卢金斌. 真空熔结镍基合金涂层性能的研究[J]. 表面技术, 2006, 35(6): 25-26
- [25] 咎元峰, 王树众, 段百齐, 等. 超临界水氧化技术的研究进展[J]. 石油化工, 2004, 33(2): 184-189
- [26] 王保峰, 卢建树, 张九渊, 等. 不锈钢及镍基合金在高温水中的腐蚀研究[J]. 腐蚀与防护, 2001, 22(5): 187-190
- [27] 马承恩, 姜安玺, 彭英利, 等. 钛合金在超临界水氧化含氯废水介质中腐蚀的研究[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2006, 28(S1): 274-276
- [28] 马承恩, 姜安玺, 彭英利, 等. 含氯介质超临界水氧化过程中几种镍基合金腐蚀的实验研究[J]. 过程工程学报, 2006, 6(1): 124-127
- [29] 朱小梅, 葛红光. 超临界水氧化中设备腐蚀及催化剂稳定性研究[J]. 化学世界, 2004, (12): 627-628
- [30] 张丽, 王俭秋, 关辉, 等. 超临界水氧化技术及其环境中材料的腐蚀研究现状[J]. 腐蚀科学与防护技术, 2001, 13(5): 270-274
- [31] 张志杰, 葛红光, 陈开勋. 超临界水氧化处理废水研究进展[J]. 环境污染治理技术与设备, 2003, 4(2): 41-43
- [32] Kritzer P, Boukis N, Dinjus E. The corrosion of alloy 625 (NiCr22Mo9Nb; 2. 4856) in high-temperature, high-pressure aqueous solutions of phosphoric acid and oxygen[J]. Materials and Corrosion, 1998, (49): 831-839
- [33] 张丽, 韩恩厚, 张召恩, 等. 不锈钢及镍基合金在亚临界水环境中的腐蚀[J]. 金属学报, 2003, 39(6): 649-654

(上接第45页)

- [2] Evans T E, Hart A C, Skedgell A N. The nature of the film on colored stainless steel[J]. Transactions of the Institute of Metal Finishing, 1973, 51: 108
- [3] 贾法龙, 郭稚弧. 不锈钢着色法研究的新进展[J]. 腐蚀与防护, 2002, 23(6): 249-253
- [4] Karina V, Nerilso B, Romeu C et al. An environmentally friendly and practical method for obtaining color on stainless steel by interference [J]. The Electrochemical Society, 2005, 152(11): B491-B494
- [5] 张俊喜, 魏增福, 乔亦男, 等. 不锈钢着色的“绿色”工艺研究[J]. 腐蚀与防护, 2004, 25(1): 13-16
- [6] 宋诗哲. 腐蚀电化学研究方法[M]. 北京: 化学工业出版社, 1988. 84-90
- [7] Allen J Bard, Larry R Faulkner. Electrochemical methods Fundamentals and Applications [M]. New York: John Wiley & Sons, INC., 1980. 226-255

(上接第63页)

- [36] Hamid, Abdel Z, Ghayad I M, et al. Electrodeposition and characterization of chromium-tungsten carbide composite coatings from a trivalent chromium bath[J]. Surface and Interface Analysis, 2005, 37(6): 573-579
- [37] Donald L, Snyder. Decorative chromium plating[J]. Metal Finishing, 1999, 97(1): 219-226
- [38] Bayati M R, Shariat M H, Janghorban K. Design of chemical composition and optimum working conditions for trivalent black chromium electroplating bath used for solar thermal collectors[J]. Renew Energ, 2005, 30(14): 2163-2178
- [39] Kwon S C, Kim M, Park S U, et al. Characterization of intermediate Cr-C layer fabricated by electrodeposition in hexavalent and trivalent chromium baths[J]. Mater Sci Forum, 2005, 475-479 (Part 1-5): 3823-3826
- [40] Wang Feng, Watanabe Tohru. Preparation and characterization of the electrodeposited Fe-Cr alloy film[J]. Materials Science & Engineering, 2003, A349: 183-190
- [41] Pye Maurice. Alternatives to decorative hexavalent chrome electrodeposits[J]. Trans. IMF, 2001, 79(5): B83-84

专利名称: 齿轮气体碳氮共渗热处理中的内氧化组织消除方法

专利申请号: 200310110831.6

公开号: CN1540029

申请日: 2003-10-28

公开日: 2004-10-27

申请人: 昆明理工大学

本发明涉及齿轮气体碳氮共渗热处理中的内氧化组织消除方法, 属金属材料表面化学热处理技术领域。本方法采用在气体渗碳剂煤油中, 加入6%~8%的 CCl_4 , 使共渗炉内的 CCl_4 分解出新生的 Cl_2 , 使已形成的合金元素内氧化物还原; 在渗碳剂氮气入共渗炉前, 先经过硅胶瓶或桶及粒状氯化钙瓶或桶过滤, 吸附掉氮气中的残留水蒸汽, 再经过5A分子筛瓶或桶吸附掉氮气中的残留氧; 在靠近炉顶位置的点火管周围缠绕带瓷环的电阻丝, 靠电阻丝的副带加热, 使排气中的 NH_4Cl 不凝结结块等措施实现内氧化组织的消除。本发明与现有技术相比, 具有在不增加共渗成本的前提下, 不仅能消出气体CN共渗过程中的内氧化组织, 而且操作方便, 共渗速度有所提高等优点。