

防毒面具NR罩体材料与CPU镜片材料的粘接分析

王得印¹, 李小银¹, 皇甫喜乐¹, 戎德功², 王 钢²

(1. 军事科学院防化研究院 国民核生化灾害防护重点实验室, 北京 100191; 2. 山西新华化工有限责任公司, 山西 太原 030008)

摘要: 对防毒面具天然橡胶(NR)罩体材料与柔性浇注型聚氨酯(CPU)镜片材料嵌槽接头粘合性能进行分析。结果表明: 用三氯乙氰尿酸/乙酸乙酯溶液对NR罩体材料进行表面化学处理(氯化反应和环氧化反应), NR罩体材料表面附集大量O和Cl原子, 形貌发生显著变化; NR罩体材料和CPU镜片材料嵌槽接头粘合采用聚氨酯胶粘剂, 嵌槽接头拔出出力为560 N。对NR罩体材料进行表面化学处理是提高接头粘合性能的有效手段。防毒面具NR罩体材料与CPU镜片材料粘接适合采用嵌槽接头。

关键词: 防毒面具; 嵌槽接头; 罩体; 镜片; 天然橡胶; 浇注型聚氨酯; 粘合性能

中图分类号: TQ336.8 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-890X(2018)00-0000-09

防毒面具可保护佩戴人员呼吸道、头部和面部皮肤、眼部免受化学毒剂(CWAs)及工业有毒化学品(TICs)的侵害^[1-2], 通常由橡胶罩体及安装在罩体上的镜片、滤毒罐、通话器等部件组成^[3-6]。橡胶罩体与镜片的连接十分重要, 必须实现良好密封, 避免CWAs或TICs通过连接部位进入橡胶罩体内。目前, 国内通常采用沟槽管件连接或卡箍固定橡胶罩体与镜片, 这种方式适用于橡胶罩体与传统硬质镜片材料(如甲基丙烯酸甲酯和聚碳酸酯等)粘接, 优点是容易拆卸与更换, 缺点是沟槽管件或卡箍的使用增大了面具质量, 降低了面具与其他光学观瞄器材的匹配性。

粘接式柔性镜片防毒面具的研发始于美国军用XM30型防毒面具研究计划, 该计划因粘接问题未得到有效解决而被迫停止。随后经过多年的技术攻关, 粘接技术难题获得突破, XM30型防毒面具成为美国空军和海军的标准防毒面具。由于先进粘接技术的应用有效提高了面具与观瞄器材的匹配性^[6], 同时显著减小了面具质量, 方便了面具折叠储存和携行, 2007年美国开发出更先进的M50型防毒面具, 自此粘接式柔性镜片防毒面具正式成为美国海、陆、空多兵种使用的主流防毒面

具。我国在该领域的研究尚处于追踪阶段。

天然橡胶(NR)是防毒面具罩体常用的胶种之一, 在受力情况下易发生应变诱导结晶(SIC)而具有较高的拉伸强度和撕裂强度^[7-12], 同时其分子内摩擦较小而具有良好的弹性。此外, NR的玻璃化温度较低(-55℃), 使其在绝大部分地区都具有良好的橡胶态响应。浇注型聚氨酯(CPU)是聚氨酯(PU)的主流品种, 具有良好的光学性能, 与传统硬质镜片材料相比具有质量小和抗刮擦、抗冲击、耐挠屈等特点^[13-14]。本研究选用适合的胶粘剂对NR罩体材料与柔性CPU镜片材料进行粘接, 并对NR罩体材料与CPU镜片材料接头的粘合状态进行考察。

1 实验

1.1 原材料

NR罩体材料(邵尔A型硬度为48度), 自制; CPU镜片材料(透光率为92%, 雾度为2.7%, 邵尔A型硬度为94度, 非黄变), 自制; FH-101-I型PU胶粘剂, 市售品; 三氯乙氰尿酸(TCI)和乙酸乙酯(EAC), 分析纯, 国药集团化学试剂有限公司产品。

1.2 试样制备

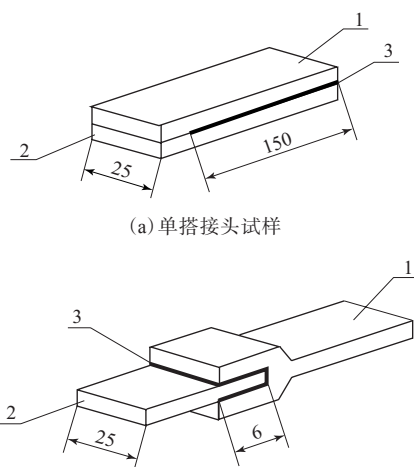
NR罩体材料/CPU镜片材料单搭接头[如图1(a)所示]制样步骤如下。(1)表面处理: NR罩体材料经表面打磨、除屑处理后裁样(试样宽度为25

作者简介: 王得印(1982—), 男, 河南许昌人, 军事科学院防化研究院助理研究员, 博士, 主要从事个体防护领域阻隔性高分子材料的研究工作。

E-mail: xpz2004@sohu.com

mm),试样经TCI/EAC溶液处理后干燥,CPU镜片材料经表面打磨、除屑处理后裁样(试样宽度为25 mm)。(2)涂覆胶粘剂:分别在经处理的NR单体材料试样和CPU柔性镜片材料试样表面涂覆PU胶粘剂。(3)粘接与固化:将涂覆胶粘剂的试样叠合、压平,自然放置48 h以上完成固化。

NR单体材料/CPU镜片材料嵌槽接头[如图1(b)所示]制样方式与单搭接头制样方式基本类似,不同之处在于对NR单体材料的硫化模具进行了喷砂处理,使制得的NR单体材料凹槽表面为粗糙面,因不再对NR单体材料表面进行机械打磨。嵌槽接头试样嵌槽深度为6 mm,宽度为25 mm。



1—NR单体材料;2—CPU镜片材料;3—粘合界面。

图1 单搭接头和嵌槽接头试样

1.3 测试分析

(1)X射线光电电子能谱(XPS):采用美国ThermoFisher Scientific公司的EscaLab250型XPS仪测试,AlK α 单色源。

(2)衰减全反射红外光谱(ATR-FTIR):采用德国布鲁克公司的VERTEK 70V型红外分析仪测试,波数范围为600~4 000 cm⁻¹。

(3)透射扫描电镜(SEM)分析:采用日本日立公司的Hitachi S4700型SEM观察试样表面(喷金处理)形貌。

(4)扫描电镜能谱(EDS):采用美国EDAX公司的TEAMTM型EDS仪测试,加速电压为20 kV。

(5)粘合性能:粘合拉伸试验采用深圳新三思材料检测有限公司的CMT4104型电子拉力机进

行,拉伸速率为100 mm·min⁻¹;粘合剥离试验按照GB/T 2791—1995进行。

2 结果与讨论

2.1 胶粘剂选择

胶粘剂在NR单体/CPU柔性镜片接头中的功能是连接、定位和弹性密封。由于防毒面具使用时接头部位常常受到弯曲和拉伸等外力作用,要求其胶粘剂必须具有较好的弹性和抗形变位移性能,即该接头密封必须为弹性密封。虽然防毒面具接头部位传递的结构载荷并不大,但其必须具有较大的粘合强度以抵御外力破坏。然而,实现NR单体/CPU镜片的良好粘接却较为困难,主要原因一是NR单体材料与CPU镜片材料极性差异显著,这是由于CPU分子主链上因含有氨基甲酸酯基团(—NHCOO—)而具有较强的极性,NR由于表面能低而呈非极性;二是NR单体材料配方复杂,其中配合剂如硫化剂、促进剂、增塑剂、防老剂等可能迁移至橡胶表面形成潜在的弱界面层,使粘合界面内聚强度降低,导致粘合部位易出现应力破坏;三是NR单体材料/CPU镜片材料的粘接在广义上属于橡胶/橡胶后硫化粘合,即粘接前两种材料内部已形成交联结构,其粘接难以通过界面扩散而形成良好结合。

橡胶/橡胶后硫化粘合通常采用具有良好弹性和韧性的PU、氯丁橡胶或甲基丙烯酸甲酯-氯丁橡胶接枝共聚物、丁腈橡胶等弹性体型胶粘剂。理论上,PU胶粘剂比较适合作为NR单体材料/CPU镜片材料的胶粘剂,这是因为PU胶粘剂与CPU均为强极性材料,且分子结构类似,PU胶粘剂与CPU镜片材料的粘合效果好(CPU镜片材料需打磨、除去脱模剂等,裸露出新鲜高能界面),需要解决的问题是提高NR单体材料与PU胶粘剂之间的粘合性能。

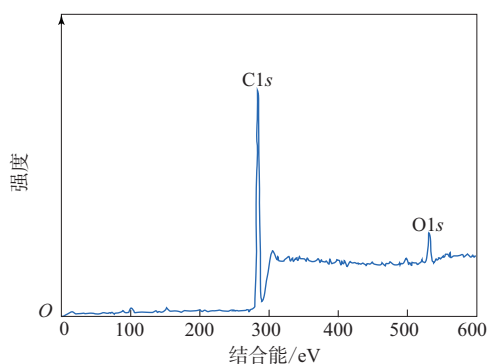
2.2 NR单体材料的表面处理及分析

提高NR单体材料表面极性,使之与PU胶粘剂极性相匹配,是提高NR单体材料与PU胶粘剂粘合性能的关键。化学处理(氯化反应和磺化反应等)是提高橡胶表面极性的有效方法,特别是采用有机氯给予体/有机溶剂体系(如TCI/EAC溶液)进行化学处理是提高非饱和橡胶表面极性的常用手段^[15]。采用质量分数为0.02的TCI/EAC溶液对

NR单体材料进行表面处理(20 min),并对处理前后的单体材料表面进行XPS谱、EDS谱、ATR-FTIR谱和SEM分析。

2.2.1 XPS谱分析

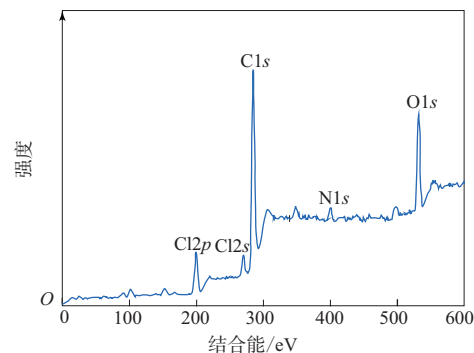
对处理前后的NR单体材料表面进行XPS宽扫



(a) 处理前

描,截取C,O,Cl和N原子对应的峰位谱线(如图2所示),并采用半定量的相对灵敏度因子法(RSF)推算出这些原子的相对含量(如表1所示)。

从图2可以看出,未经处理的NR单体材料表面XPS谱线上仅存在Cl_{1s}峰(284.8 eV)和O_{1s}峰



(b) 处理后

图2 TCI/EAC溶液处理前后NR单体材料表面XPS谱对比

表1 TCI/EAC溶液处理前后NR单体材料表面原子的相对摩尔分数

元素	处理前	处理后
C	0.911	0.691
O	0.052	0.126
Cl	0	0.070
N	0	0.035

(531.9 eV),处理后的NR单体材料表面XPS谱线上出现明显的Cl_{2p}峰(199.9 eV)和Cl_{1s}峰(284.8 eV)以及较微弱的N_{1s}峰(400.4 eV),同时O_{1s}峰(532.1 eV)强度明显提高。上述结果也可以从表1得到佐证,即处理后的NR单体材料表面Cl/C原子摩尔比从0增加到0.1,O/C原子摩尔比从0.06增加到0.18,N/C原子摩尔比从0增加到0.05,说明对NR单体材料进行处理后表面摄入了O,Cl和N原子,尤其是摄入了较多的O和Cl原子。

通过对XPS宽扫描出现的原子进行高分辨扫描(窄扫描),可以确定这些原子的化学态信息,结果如图3—6所示(图中蓝色和红色线分别为实测线和拟合线)。

从图3—6可以得出以下结论。

(1)处理后NR单体材料表面出现明显的Cl_{2p}峰,该峰归属于C—Cl结构,其拟合的两个中心峰(200.3和198.7 eV)分别是光电子从L壳层2p轨道发射时因自旋-轨道耦合分裂而产生的Cl_{2p_{3/2}}和Cl_{2p_{1/2}}峰^[16],Cl_{2p_{3/2}}和Cl_{2p_{1/2}}峰强度比为1.9:1

(接近于理论值2:1);400.4 eV处较弱的N_{1s}峰可归属于C—N结构。

(2)处理前后NR单体材料表面的O_{1s}峰面

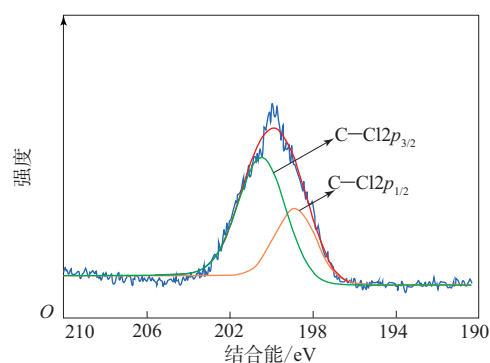


图3 TCI/EAC溶液处理后NR单体材料表面XPS谱Cl_{2p}分峰拟合结果

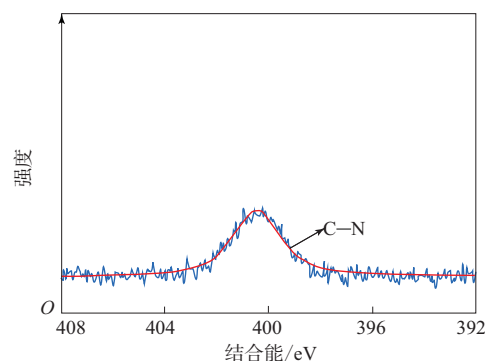


图4 TCI/EAC溶液处理后NR单体材料表面XPS谱N_{1s}分峰拟合结果

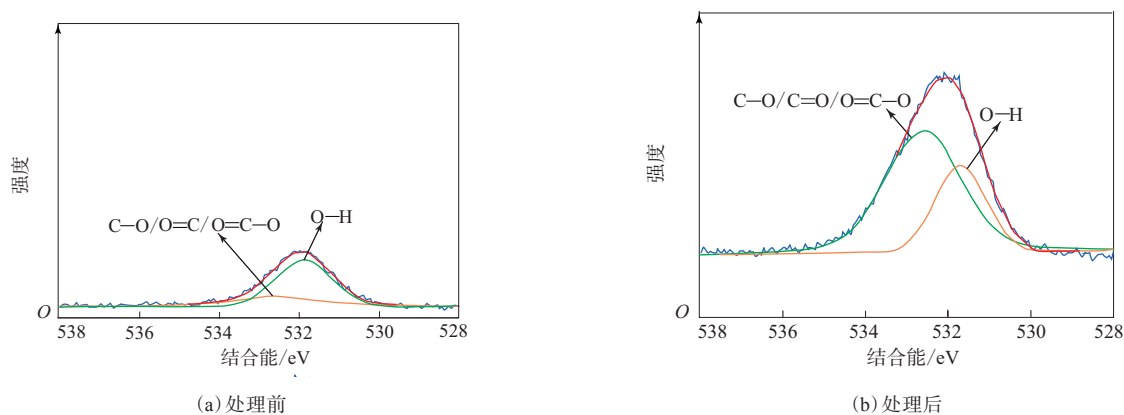


图5 TCI/EAC溶液处理前后NR单体材料表面XPS谱O1s分峰拟合结果

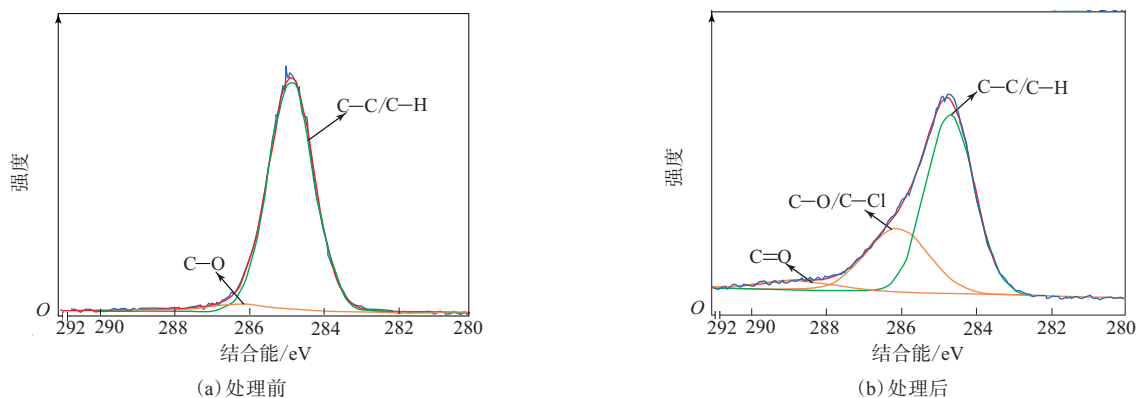


图6 TCI/EAC溶液处理前后NR单体材料表面XPS谱C1s分峰拟合结果

积比为1:3.5,这说明处理后NR单体材料表面的O原子含量显著上升;O1s峰由532.6 eV的C—O/C=O/O=C—O结构峰与531.8 eV的O—H结构峰叠加,处理前后NR单体材料表面的这两个峰强度比分别为0.45:1和1:2.3,也说明经过处理后单体材料表面的O原子含量明显上升。

(3) 处理前NR单体材料表面C1s峰仅可拟合为284.8 eV的C—C/C—H结构峰和286.1 eV的C—O结构峰,这两个峰面积比为1:0.08;处理后NR单体材料表面的O1s峰可拟合为284.8 eV的C—C/C—H结构峰、286.3 eV的C—O/C—Cl结构峰和288.7 eV的C=O结构峰,这3个峰面积比为1:0.46:0.07。上述结果说明处理后NR单体材料表面摄入较多的Cl和O原子。

2.2.2 EDS谱分析

对处理前后NR单体材料表面进行EDS谱(如图7所示)分析如下。

(1) 处理前后NR单体材料表面均出现C原子峰(0.277 keV)、N原子峰(0.392 keV)、O原子峰(0.525

keV)、Zn原子峰(1.01/8.64/9.57 keV)、S原子峰(2.31/2.47 keV)和Ca原子峰(3.69/4.01 keV)。

(2) 处理后的NR单体材料表面出现明显的Cl原子峰(2.62/2.82 keV),同时O原子峰也明显增强。

(3) 计算得出,处理前后Cl/C原子摩尔比从0显著增至2.5,O/C原子摩尔比从0.15显著增至0.35,N/C原子摩尔比从0.14增至0.16。

上述结果佐证了经过处理后NR单体材料确实摄入了较多的Cl和O原子。

2.2.3 ATR-FTIR分析

处理前后NR单体材料表面的官能团区和指纹区ATR-FTIR谱分别如图8和9所示。

从图8可以看出:对于处理前NR单体材料,在 $3\,375\text{ cm}^{-1}$ 处出现N—H伸缩振动吸收峰;在 $2\,960\text{ cm}^{-1}$ 处出现—CH₃非对称伸缩振动吸收峰;在 $2\,918$ 和 $2\,849\text{ cm}^{-1}$ 处分别出现—CH₂—非对称和对称伸缩振动吸收峰;在 $1\,652$ 和 $1\,537\text{ cm}^{-1}$ 处分别出现仲酰胺基团中C=O伸缩振动吸收峰和C—N—H变形振动吸收峰(酰胺I和II谱带),这是

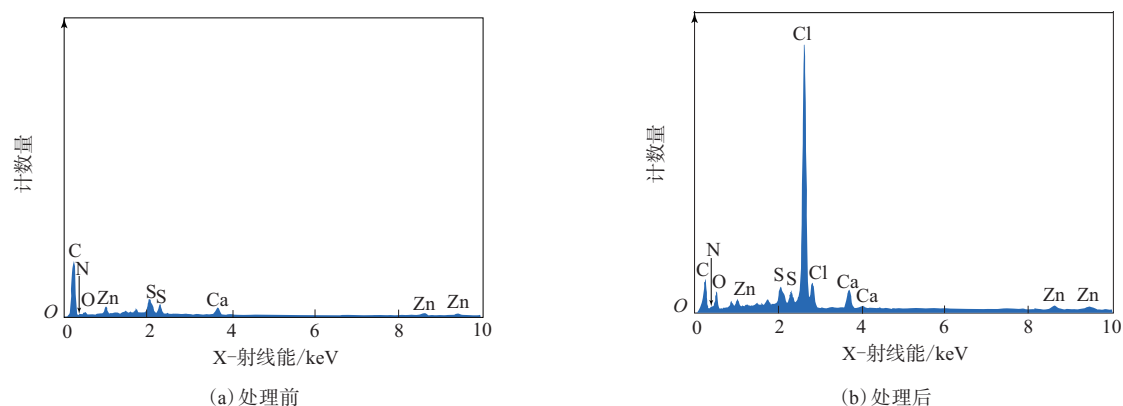


图7 TCI/EAC溶液处理前后NR罩体材料表面的EDS谱

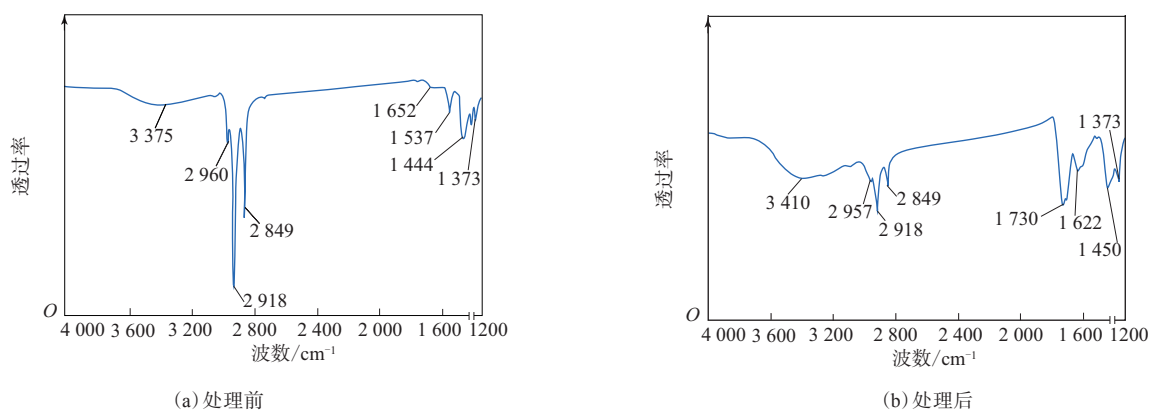


图8 TCI/EAC溶液处理前后NR罩体材料表面的ATR-FTIR谱(官能团区)

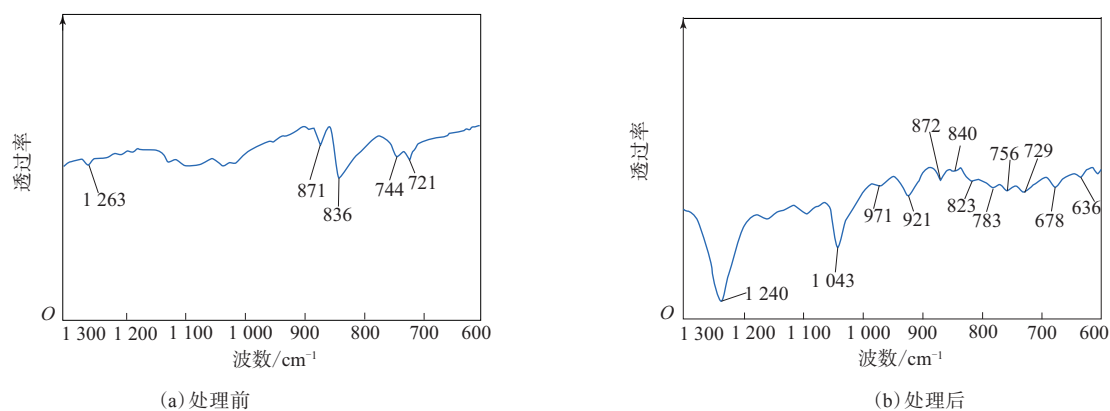


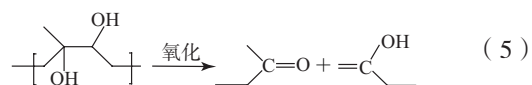
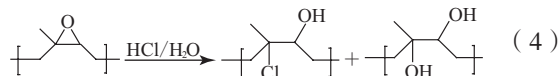
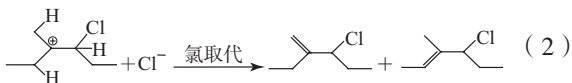
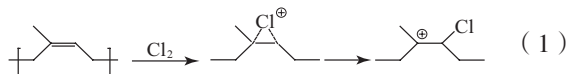
图9 TCI/EAC溶液处理前后NR罩体材料表面的ATR-FTIR谱(指纹区)

NR中蛋白质结构的特征峰;在 $1\,444$ 和 $1\,373\text{ cm}^{-1}$ 处分别出现 $-\text{CH}_2-$ 和 CH_3 —变形振动吸收峰;在 $1\,263\text{ cm}^{-1}$ 处出现 $-\text{CH}_2$ —面外摇摆振动吸收峰;在 871 和 836 cm^{-1} 处分别出现3,4-加成和1,4-加成 $\text{C}=\text{C}-\text{H}$ 结构中 $\text{C}-\text{H}$ 面外弯曲振动吸收峰;在 744 和 721 cm^{-1} 处均出现 $-\text{CH}_2$ —面内摇摆振动吸收峰。对于处理后NR罩体材料,在 $3\,410\text{ cm}^{-1}$ 处

出现宽的 $\text{O}-\text{H}$ 伸缩振动吸收峰;在 $2\,957$, $2\,918$ 和 $2\,849\text{ cm}^{-1}$ 处的 $-\text{CH}_3$ 和 $-\text{CH}_2-$ 振动吸收峰相对减弱;酰胺 I 和 II 谱带消失;在 $1\,730$ 和 $1\,622\text{ cm}^{-1}$ 处分别出现 $\text{C}=\text{O}$ 和 $-\text{COO}-$ 伸缩振动吸收峰;在 $1\,240$ 和 823 cm^{-1} 处分别出现环氧丙烷结构 $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ 对称和非对称伸缩振动吸收峰;在 $1\,043\text{ cm}^{-1}$ 处出现 $\text{C}-\text{OH}$ 伸缩振动吸收峰;在 971 和 921 cm^{-1} 处分

别出现 $=CH-$ 和 $=CH_2$ 面外摇摆振动吸收峰;在 840 cm^{-1} 处出现的 $-CH=CH-$ 结构中 $C-H$ 吸收峰显著减弱;在 783 和 678 cm^{-1} 处均出现 $C-Cl$ 伸缩振动吸收峰;在 636 cm^{-1} 处出现 $C-OH$ 结构中 $C-O-H$ 面外弯曲振动吸收峰。

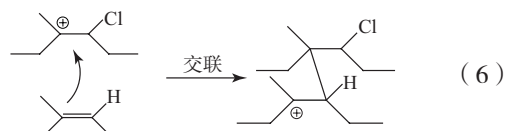
通过谱线对比,可推测出处理后NR羧体材料表面 $C=C$ 键发生氯化、氧化反应,形成 $C-Cl$ 、 $=CH_2$ 、 $=CH$ 、环氧基团、 $C-OH$ 、 $C=O$ 和 $-COO-$ 等结构。通常情况下,氯化反应以取代氯化为主[式(1)~(2)]^[17],形成 $C-Cl$ 、 $=CH_2$ 和 $=CH$ 结构;氧化反应主要以环氧化及次生反应(开环和氧化)[式(3)~(5)]为主,形成环氧基团、 $C-OH$ 、 $C=O$ 和 $-COOH$ 结构。



2.2.4 SEM分析

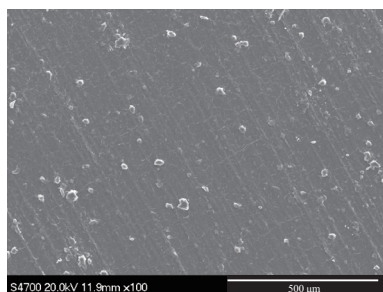
对NR羧体材料表面进行化学处理不仅会使表面组成变化,还对表面形貌产生较大影响。处理前后NR羧体材料表面形貌的SEM照片如图10所示。

从图10可以看出,处理前NR羧体材料表面存在微小裂纹,处理后NR羧体材料表面没有出现微裂纹增多的现象,而是形成很多瘤状凸起,这些瘤状凸起增大了表面的粗糙度和物理接触面积,对粘合并有利。另外,对NR羧体材料的处理时间不宜过长。试验中发现过长的处理时间容易造成羧体表面变硬、发脆,这可能源于如式(6)的交联反应。

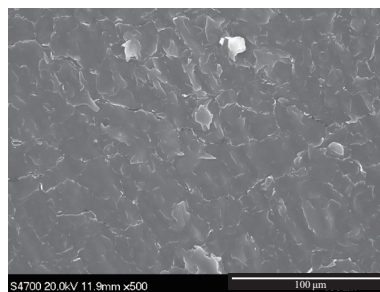


2.3 接头粘合性能

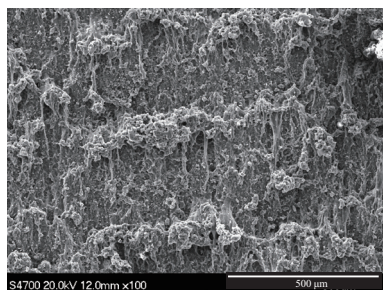
NR羧体/CPU镜片接头采用CPU镜片嵌入NR羧体凹槽的嵌槽接头形式,嵌槽接头可以看作由双搭接头和对接接头组成。嵌槽接头中,双搭接头的承载力大于对接接头(对接接头承载力可忽略不计),因此嵌槽接头受拉伸载荷时,其胶层主



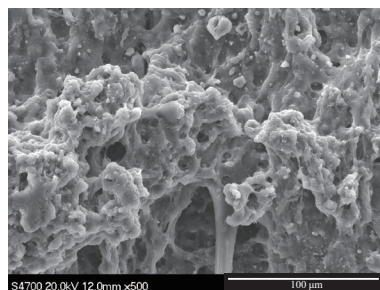
(a) 处理前(放大100倍)



(b) 处理前(放大500倍)



(c) 处理后(放大100倍)



(d) 处理后(放大500倍)

图10 处理前后NR羧体材料表面形貌的SEM照片

要受剪切作用,同时接头粘合面积大,受力良好,外表美观。嵌槽接头受轴向拉伸作用时的拉力-位移曲线如图11所示(NR罩体材料经TCI/EAC溶液处理,硫化模具经喷砂处理)。

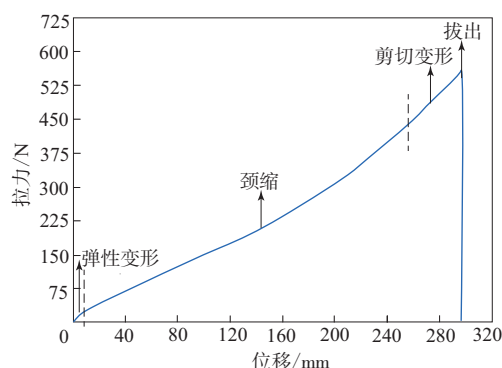


图11 嵌槽接头拉力-位移曲线

从图11可以看出,嵌槽接头的拉力-位移状态变化可分为3个阶段。第1阶段为接头弹性变形阶段:NR罩体材料的弹性模量约为CPU镜片材料弹性模量的1/20,在微小轴向载荷作用下弹性模量较低的NR罩体材料率先发生弹性(虎克弹性)变形。第2阶段为接头颈缩阶段:随轴向载荷的增大,NR罩体材料在不大的应力下发生高弹形变,并表现出明显的颈缩,随后CPU镜片材料也发生颈缩,但其颈缩远不如NR罩体材料明显。第3阶段为接头剪切变形阶段:轴向载荷继续增大,NR罩体材料所受剪切力急剧上升,接头发生明显的剪切变形,NR罩体材料/胶粘剂之间的界面层逐渐裸露出来,直到CPU镜片材料从NR罩体材料凹槽中拔出,导致接头失效(560 N)。实际上,从受力开始到颈缩阶段,嵌槽接头拉力-位移状态是NR罩体材料与CPU镜片材料两种弹性体的拉力-位移状态叠加。

不同处理方式的嵌槽接头拔出力为:NR罩体材料未经TCI/EAC溶液处理/硫化模具未经喷砂处理 75 N,NR罩体材料未经TCI/EAC溶液处理/硫化模具经喷砂处理 120 N,NR罩体材料经TCI/EAC溶液处理/硫化模具未经喷砂处理 380 N,NR罩体材料经TCI/EAC溶液处理/硫化模具经喷砂处理 560 N。可以看出:当NR罩体材料未经TCI/EAC溶液处理时,其硫化模具不经喷砂处理,硫化的NR罩体材料表面光滑,接头拔出力较小;NR罩体材料硫化具模即使经喷砂处理,NR罩体材

料凹槽内表面粗糙,其对提高接头粘合强度提高效果并不明显。当NR罩体材料经TCI/EAC溶液处理后,接头拔出力显著提高。这表明TCI/EAC溶液对NR罩体材料进行处理是提高接头粘合性能的有效手段。

CPU镜片材料从NR罩体材料凹槽中拔出的破坏除拉伸破坏外,还可能发生剥离破坏,可以以单搭接头形式进行粘合剥离试验。与嵌槽接头受轴向拉伸载荷时发生剪切断裂不同,单搭接头受剥离作用时发生劈裂断裂。CPU镜片材料/NR罩体材料单搭接头的剥离力-剥离长度曲线如图12所示(NR罩体材料经打磨处理/经TCI/EAC溶液处理)。从图12可以得出,单搭接头的剥离强度为 $3.7 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$ 。

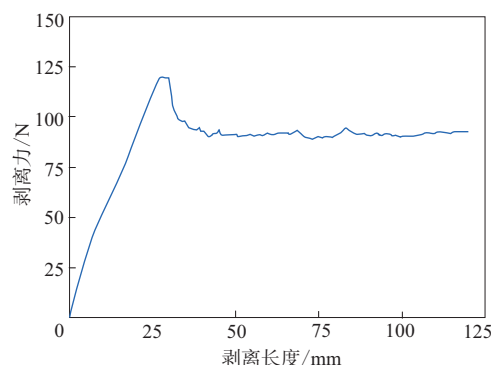


图12 单搭接头的剥离力-剥离长度曲线

不同处理方式的单搭接头剥离强度为:NR罩体材料未经打磨处理/未经TCI/EAC溶液处理 $1.3 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$,NR罩体材料经打磨处理/未经TCI/EAC溶液处理 $1.6 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$,NR罩体材料未经打磨处理/经TCI/EAC溶液处理 $3.5 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$,NR罩体材料经打磨处理/经TCI/EAC溶液处理 $3.7 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$ 。可以看出,TCI/EAC溶液对NR罩体材料进行处理可以有效提高接头的粘合性能。

单搭接头剥离后粘合界面的EDS谱如图13所示。从图13可以看出,NR罩体材料和CPU镜片材料粘合界面的EDS谱中均存在Ca,S,Zn和Cl原子特征峰。其中,Ca,S和Zn原子分别对应NR罩体材料中的碳酸钙、硫黄和氧化锌,Cl原子由TCI/EAC溶液处理时引入。这说明单搭接头破坏类型不可能仅是界面破坏或胶粘剂内聚破坏或NR罩体材料-CPU镜片材料破坏,而可能是混合破坏。

单搭接头剥离后粘合界面的SEM照片如图14所示。从图14可以看出,剥离后NR罩体材料粘合

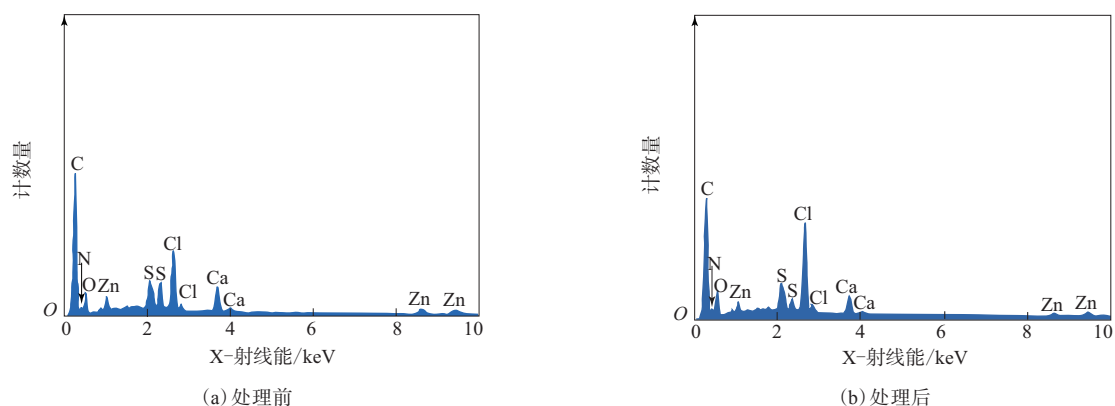


图13 单搭接头剥离后粘合界面的EDS谱

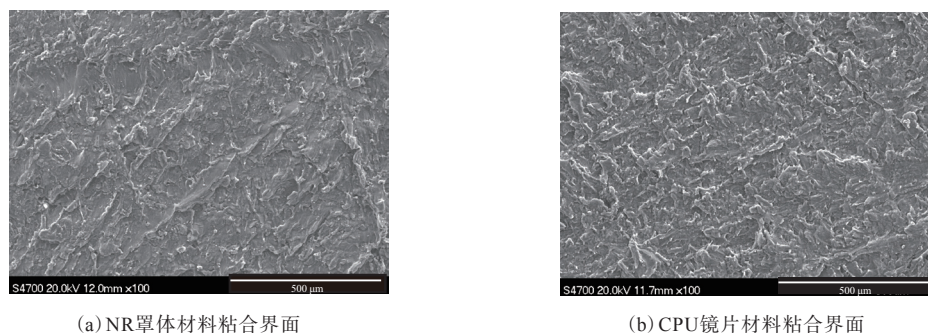


图14 单搭接头剥离后粘合界面SEM照片

界面和CPU镜片材料粘合界面存在斑驳的胶膜^[18],推测接头破坏类型更倾向于NR单体材料-CPU镜片材料破坏。

3 结论

(1) NR单体材料与CPU镜片材料间显著的极性差异是其接头难以良好粘合的主要原因。在NR单体材料/CPU柔性镜片材料接头中胶粘剂的主要作用是连接、定位和弹性密封,适宜采用弹性体型PU胶粘剂。

(2) 采用TCI/EAC溶液对NR单体材料表面进行处理,通过氯化反应和环氧化反应使NR单体材料表面附集大量Cl和O原子,同时形貌显著变化。

(3) 采用PU胶粘剂对NR单体材料与CPU镜片材料进行粘接,单搭接头剥离强度达到 $3.7 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$,嵌槽接头拔出力为560 N。对NR单体材料进行表面化学处理是提高接头粘合性能的有效手段。

(4) 防毒面具NR单体与CPU镜片粘接适合采用嵌槽接头。

参考文献:

- [1] Jennifer V R, Jock W H S, Braden M S, et al. Gas Adsorption Properties of the Ternary ZnO/CuO/CuCl₂ Impregnated Activated Carbon System for Multigas Respirator Applications Assessed through Combinatorial Methods and Dynamic Adsorption Studies[J]. ACS Comb. Sci., 2011, 13 (6): 639-645.
- [2] Donald R C, Bruce J T. Improvement of Commercial Gas Mask Canisters Using Adsorbents Enhanced by Sintered Microfibrillar Networks[J]. Ind. Eng. Chem. Res., 2014, 53 (15): 6509-6520.
- [3] Dubey V, Gupta A K, Maiti S N. Mechanism of the Diffusion of Sulfur Mustard, a Chemical Warfare Agent, in Butyl and Nitrile Rubbers[J]. J. Polym. Sci. Pol. Phys., 2002, 40 (17): 1821-1827.
- [4] Rivina D, Lindsay R S, Shuely W J, et al. Liquid Permeation Through Nonporous Barrier Materials[J]. J. Membrane Sci., 2005, 246 (1): 39-47.
- [5] Korley L T J, Pate B D, Thomas E L, et al. Effect of the Degree of Soft and Hard Segment Ordering on the Morphology and Mechanical Behavior of Semi Crystalline Segmented Polyurethanes[J]. Polymer, 2006, 47 (9): 3073-3082.
- [6] Lenhart M K. Medical Aspects of Chemical Warfare[M]. Washington D C: U. S. Government Printing Office, 2009.
- [7] Fukahori Y. Mechanism of the Self-reinforcement of Cross-linked

- NR Generated through the Strain-induced Crystallization[J]. Polymer, 2010, 51 (1) : 1621-1631.
- [8] Zhang H P, Niemczura J, Dennis G, et al. Toughening Effect of Strain-induced Crystallites in Natural Rubber[J]. Phys. Rev. Lett. , 2009, 102 (24) : 245503.
- [9] Toki S, Hsiao B S. Nature of Strain-induced Structures in Natural and Synthetic Rubbers under Stretching[J]. Macromolecules, 2003, 36 (16) : 5915-5917.
- [10] Gent A N, Zhang L Q. Strain-induced Crystallization and Strength of Rubber[J]. Rubb. Chem. Technol. , 2002, 75 (5) : 923-934.
- [11] 郑龙, 姜健, 张立群, 等. 不同硫化体系对天然橡胶动静态性能的影响[J]. 橡胶工业, 2018, 65 (4) : 421-425.
- [12] 林广义, 孔令伟, 井源, 等. 不同产地天然橡胶标准胶的微观结构和性能[J]. 橡胶工业, 2018, 65 (6) : 605-611.
- [13] Ashrafizadeh H, Mertiny P, McDonald A. Evaluation of the Effect of Temperature on Mechanical Properties and Wear Resistance of Polyurethane Elastomers[J]. Wear, 2016, 368-369: 26-38.
- [14] Zimmer B, Nies C, Schmitt C, et al. Chemistry, Polymer Dynamics and Mechanical Properties of a Two-part Polyurethane Elastomer during and after Crosslinking. Part I: Dry Conditions[J]. Polymer, 2017, 115: 77-95.
- [15] Romero-Sanchez M D, Pastor-Blas M M, Ferrandiz-Gomez T P, et al. Durability of the Halogenation in Synthetic Rubber[J]. Int. J. Adhes. & Adhes., 2001, 21: 101-106.
- [16] Tyczkowski J, Krawczyk I, Wozniak B, et al. Low-pressure Plasma Chlorination of Styrene-Butadiene Block Copolymer for Improved Adhesion to Polyurethane Adhesives[J]. Euro. Polym. J. , 2009, 45 (6) : 1826-1835.
- [17] Shinzo K, Yuko I. Chemistry, Manufacture and Applications of Natural Rubber[M]. Sawston: Wood-Head Publishing, 2014.
- [18] Zain N M, Ahmad S H, Ali E S. Effect of Surface Treatments on the Durability of Green Polyurethane Adhesive Bonded Aluminium Alloy[J]. Int. J. Adhes. & Adhes. , 2014, 55: 43-55.

收稿日期: 2018-07-08

Analysis of Adhesion between NR Faceblank Material and CPU Flexible Lens Material for Respirator

WANG Deyin¹, LI Xiaoyin¹, HUANGFU Xile¹, RONG Degong², WANG Gang²

(1. Research Institute of Chemical Defense, Academy of Military Sciences PLA China, Beijing 100191, China; 2. Shanxi Xinhua Chemicals Co., Ltd, Taiyuan 030008, China)

Abstract: Bonding property of the dado joints between natural rubber (NR) faceblank material and casting polyurethane (CPU) flexible lens material for the respirator was analyzed. The results showed that the surface of NR faceblank material concentrated a large amount of Cl and O atoms by chemical treatment (chlorination and epoxidation) using trichloroisocyanuric acid/ethyl acetate solution, and surface morphology changed greatly. Using polyurethane adhesive, the pull out force of the dado joint between NR faceblank material and CPU lens material was 560 N. Surface chemical treatment for NR faceblank material was an effective method to improve the adhesion property of the joint. The dado joint was suitable for bonding NR faceblank material and CPU flexible lens material for the respirator.

Key words: Respirator; dado joint; faceblank; lens; natural rubber; casting polyurethane; bonding property