

文章编号 :1000-2278(2012)04-0528-06

分相乳浊釉的研究现状与发展趋势

周雅琴 曹春娥 卢希龙 余峰

(景德镇陶瓷学院,江西景德镇市 333001)

摘要

无乳浊剂的分相乳浊釉是业内当前的研究热点。本文简述了分相乳浊釉的定义与机理,介绍了分相乳浊釉的研究现状,重点介绍了各种分相乳浊釉的特点、性能、乳浊机理和不同组分对乳浊效果的影响。最后分析了分相乳浊釉存在的主要问题,并指出了其今后的研究方向。

关键词 乳浊釉;分相;研究现状;发展趋势

中图分类号:TQ174.4*3 文献标识码:A

0 引言

众所周知,乳浊釉是建筑卫生陶瓷常用釉料之一。因其有较高的遮盖能力,可使大量劣质原料得以在坯料中使用,有益于改善生态环境和降低成本,近年来在日用陶瓷行业有着广泛的应用,需求量日益增加。常用的乳浊釉可分为三类:即气相乳浊釉、晶相乳浊釉与分相乳浊釉^[1]。其中,气相乳浊是在釉中控制气孔的大小、数量来形成乳浊,这样容易在釉面出现针孔等缺陷,影响釉面的机械性能。晶相乳浊常用的有锆乳浊釉、钛乳浊釉等,但其釉面缺陷较多,其中最常用的原料硅酸锆主要由锆英砂加工而来,价格日渐上涨,生产成本低,且锆英砂中伴生有独居石和磷钇石,这两种物质中存在放射性元素 Th232、U238、Ra226,并有一部分镶嵌在锆英砂的晶体结构内,因而在锆英砂的加工过程中无法去除^[2]。分相乳浊釉因釉中的孤立液滴数量比较多、尺寸小(接近可见光波长)、单个粒子散射能力强,高温粘度较小、釉面质量相对良好,且不需要外加乳浊剂,而是通过优化组成设计及物理化学过程控制实现釉的自生乳浊,并产生良好的乳浊效果。因此,液-液相低成本高质量乳浊釉的研究具有重要意义,成为陶瓷行业的研究热点。

收稿日期 2012-05-04

基金项目:江西省教育厅产学研合作项目(编号:GJJ10002)

通讯联系人:周雅琴,E-mail:aya22aya@126.com

本文简述了乳浊釉的分类与机理,详细介绍了分相乳浊釉的研究现状,重点是各种分相乳浊釉的特点、性能、乳浊机理和不同组分对乳浊效果的影响,最后分析了分相乳浊釉存在的主要问题,指出了分相乳浊釉今后的研究方向。

1 分相乳浊釉

1.1 定义

釉熔体在冷却过程中发生液-液分相,在基质玻璃中分离出体积微小分散度较高的第二相玻璃,称为分相乳浊釉。其使投射在釉表面上的自然光线产生反射、折射以及绕射等作用,将光线进行散射,形成釉的乳浊。研究表明,几乎所有的多元系统都存在着不同程度的分相^[3-4]。釉是覆盖在陶瓷制品表面的无色或有色的玻璃质薄层,因此可以用玻璃的分相理论为基础来研究釉的分相。有关玻璃分相的研究表明:分相是玻璃形成过程中的普遍现象,它对玻璃结构和性质有重大影响^[5-7]。由于分相和析晶有密切关系,分相可为成核提供界面,促进成核剂富集于一相,从而起到晶核作用,因此很多晶体乳浊时往往先分相再析出晶粒。所以,晶粒乳浊和分相乳浊很难明确划分,在很多情况下,是通过分相后再析晶,因此只能以析晶

作用为主和分相为主来进行区分。玻璃分相的液滴仍然是非晶态的,在X射线衍射曲线上观察不到衍射峰。

1.2 分相乳浊的机理

釉在高温下为均匀的熔体,在冷却过程中或在一定温度下热处理时,由于内部质点的迁移,使某些组份聚集,从而形成化学组成不同的两个组份,此过程称为分相。实践证明,阳离子场强的大小对釉的分相有决定性的作用。氧化物熔体的液相分离是由于阳离子对氧离子的争夺所引起的,产生分相的釉中RO含量较多,这是由于 R^{2+} 的电价较高,与 O^{2-} 之间的键强较大,有在自己周围发展氧键的倾向。在硅酸盐熔体中 R^{2+} 与 Si^{4+} 之间相互争夺氧离子,这样使得一些桥氧聚集在 R^{2+} 的周围形成富RO贫 SiO_2 区,桥氧聚集在 Si^{4+} 周围形成富 SiO_2 区。一般 R^{2+} 的半径越小或极化能力越强则争夺氧的能力越大,分相倾向越大。

分相乳浊釉的乳浊效果与分相的热力学、动力学及显微结构有密切关系。在平衡相图中不混溶区内,存在亚稳分解区和不混溶区。在亚稳分解区,分相是自发的、瞬时的,新相的主要组分由低浓度相向高浓度相扩散。起始浓度波动程度很小,但空间弥散范围较大,随着波动程度的增大,最终形成分相(即亚稳分解机理);在不混溶区内,先形成晶核,再通过扩散来控制新相的长大,开始成核时浓度波动程度很大,而核所牵涉的范围很小(即成核和晶体生长机理)。

玻璃分相的显微结构形貌可以呈球状,也可以在一定微区内形成互相连贯的连通区域,或间断开而收缩成蠕虫状的独立部分^[8]。在粘度大的系统中,液-液分相形成的球滴可能会合并粘连,结合成蠕虫状的形貌。在系统粘度小的情况下,无论分出的是细小的液滴还是互相贯通区域,都很容易收缩长大成球粒。控制分相液滴的尺寸,使之与可见光波长(0.38~0.75 μ m)相近,同时增加液滴在釉中的体积分数,可使液滴达到最强的光散射效果。釉中析出的少量微小晶体可以进一步提高光散射的强度,从而获得乳浊效果和光泽度均佳的光亮乳浊釉。

2 分相乳浊釉的研究现状

2.1 R_2O -RO- Al_2O_3 - SiO_2 系统分相釉

R_2O -RO- Al_2O_3 - SiO_2 系统即普通的传统透明釉,本系统分相釉的研究主要是在无乳浊剂的情况下,通过调整 SiO_2/Al_2O_3 摩尔比和控制碱金属与碱土金属的量进行的。陈显求等^[9]总结出了 R_2O -RO- SiO_2 - Al_2O_3 系分相釉的“10.7”规则,即当釉式中的 SiO_2/Al_2O_3 摩尔数之比为10.7左右的釉都能产生分相。聂曼云^[10]对 K_2O - Na_2O - CaO - MgO - Al_2O_3 - SiO_2 系统瓷釉的分相和析晶进行了系统的研究。在取得基础研究成果的基础上,咸阳陶瓷厂与西北轻工业学院合作,于1993年成功开发出含P、Ti、Zr等较昂贵乳浊剂的分相乳浊釉。此釉具有烧成温度范围宽,工艺稳定性好以及无特殊工艺要求等特点,但釉烧温度较高、烧成周期较长。

2.2 R_2O -RO- Al_2O_3 - SiO_2 - B_2O_3 系统分相釉

李伟东等^[11-13]对 R_2O -RO- Al_2O_3 - B_2O_3 - SiO_2 系统快烧自生乳浊釉的化学组成与分相行为进行了系统研究。此釉烧成周期在1h以内,釉烧温度为1100~1180 $^{\circ}C$ 。原因是此系统中 B_2O_3 具有助熔作用,降低了釉烧温度,扩大了釉烧温度范围,因而改善了釉的工艺性能。由分析可知,釉层中分布着大量分相液滴,液滴呈球状或几个液滴相连接而成的椭球状。孤立液滴均为非晶态,一相富Ca、Zn、Mg,贫S、Al,而另一相富Si、Al,贫Ca、Zn、Mg。硼主要在玻璃基质中,使分出的相与基质玻璃相折射率差值大,从而达到较好的乳浊效果。由于 B_2O_3 能够改善釉熔体的粘度温度特性,随着 B_2O_3 的增加,釉熔体从釉烧温度冷却下来的过程中,在冷却速度不变的前提下,粘度下降速度变缓,相对延长了釉熔体在分相温度范围内停留的时间,有助于分相尺度的增大。但也因 B_2O_3 的加入量加大,使釉的热膨胀系数增大,同时也降低了釉的耐酸和抗水侵蚀能力。

包镇红等^[14]利用天然硼钙石替换传统乳浊剂对硼分相乳浊釉进行了研究。研究表明, Al_2O_3 在分相系统中起到抑制分相的作用,随着 Al_2O_3 含量的增多,其对分相抑制力越强,形成乳浊粒子的数目越少,从而降低釉的乳浊度。但 Al_2O_3 通过促使分相熔体的微相功能转化而使釉熔体高温流展性得到改善。因此适量的 Al_2O_3 能够使釉料具有较好的乳浊度,并且能改善釉面质量。硼钙石的加入促进了釉的分相,在此分相釉中,乳浊粒子富K、Ca、Zn,贫Al、Si;基质富Si、

Al、B, 贫 K、Ca、Zn。由于 Zn^{2+} 、 Ca^{2+} 等具有较高的折射率, 两相之间折射率差变大, 增强了乳浊粒子对入射光的散射作用, 使釉层出现较好的乳浊效果。

2.3 $R_2O-RO-Al_2O_3-SiO_2-P_2O_5$ 系统分相釉

研究最早最多的当数磷系统分相釉, 这是因为 P_2O_5 的引入可使原来硅酸盐釉玻璃的网络结构发生断裂, 釉的高温粘度及表面张力下降, 从而使釉面质量得以改善。在上世纪 80 年代, 陶瓷学者对釉分相的研究主要集中在显微结构观察和分相对釉化学稳定性、力学性能等的影响方面。1986 年, 范玉荣^[16]在总结加藤悦三研究成果的基础上, 进一步研究了骨灰分相釉的组成、乳浊机理以及工艺条件, 并成功研究出钙镁系骨灰分相釉。1989 年, 孙洪巍等^[16]在充分借鉴中国古陶瓷和国内外现代分相釉研究成果的基础上, 初步研制出具有分相结构的含锌磷锆质低温卫生瓷用生料乳浊釉。此后, 浙江、唐山、湖北等一些厂家也相继开发成功具有分相或分相与晶体共存的磷锆质乳浊釉, 并逐步在生产中推广应用, 取得了良好的经济效益。

磷酸盐在釉中能使釉产生分相, 也能促进釉熔体的析晶。2005 年, 武秀兰等^[17]对 $R_2O-RO-Al_2O_3-SiO_2-P_2O_5$ 系统分相 - 析晶乳浊釉的乳浊机理进行了研究。样品最佳釉面白度为 85、光泽度为 98, 在 $1230^{\circ}C$ 、保温 15min 烧成。结果表明, 当硅酸盐玻璃中引入一定量电荷高、场强大的 P^{5+} 时, 增大了系统的自由能使其变得不稳定, 为了使系统稳定, 硅酸盐网络中的部分桥氧被 P^{5+} 夺取, 形成大量体积很小的富 P、Si、O 的相, 这些富 P、Si、O 的相与基质硅酸盐玻璃相组成、密度差别大, 相互之间不互溶, 以小液滴状均匀分散在基质中。由于两相的折射率差别大, 加强了光的散射, 从而促进了乳浊。其釉面质量与分散相(第二相玻璃或晶粒)的大小和数量有关。控制分散相粒子的大小和数量是制备分相 - 析晶乳浊釉的关键, 同时, 为获得适宜的分散相, 必须采用合理的配方和烧成制度。

在 $R_2O-RO-Al_2O_3-SiO_2-P_2O_5$ 系统中, 主要有以下不同方向的研究。

2.3.1 $Na_2O-K_2O-CaO-MgO-ZnO-Al_2O_3-SiO_2-P_2O_5$ 系统

为克服锆乳浊釉高温粘度大、釉面缺陷多的不

足 2002 年, 滕元成^[18]对 $Na_2O-K_2O-CaO-MgO-ZnO-Al_2O_3-SiO_2-P_2O_5$ 系统分相乳浊釉进行了研究, 釉烧温度为 $1200\sim 1240^{\circ}C$, 样品白度达 75, 光泽度高、乳浊效果好、表面平整光滑。因为 P_2O_5 的引入破坏了原来硅酸盐釉玻璃的网络结构, 而在釉中产生大量的分相小液滴, 这些分相液滴的尺寸大部分在 $50\sim 100nm$ 之间, 与可见光波长的尺寸比较接近, 引起光强烈的散射, 从而使釉面形成良好的乳浊效果。 ZnO 可降低釉的烧成温度, 对釉的力学强度、弹性、熔融性能均能起到良好的作用, 还能增加釉的光泽度和白度。

武秀兰等^[19]利用天然矿物为主要原料, 通过合理的组成设计和工艺控制对磷系统分相 - 析晶乳浊釉进行了研究。结果表明, 其连续相是富 Al、Si、K、Na, 贫 P、Zn、Mg、Ca 的硅酸盐玻璃; 均匀分布的球形分散相是富 P、Zn、Mg、Ca, 贫 Al、Si、K、Na 的磷硅酸盐玻璃, 粒度约为 $0.3\sim 0.8\mu m$ 。此釉分相的机理, 是由于硅酸盐熔体网络中的部分桥氧被 P^{5+} 夺取, 使 Si-O-Si 键断裂, 形成大量体积很小的富磷硅氧聚集体(富磷硅酸盐玻璃)。由于这些聚集体与基质硅酸盐玻璃相的组成、密度相差较大, 很难与基质形成均匀的硅磷氧玻璃, 而是以液滴状均匀分散在基质硅酸盐玻璃中。富磷硅酸盐玻璃的折射率略大于硅酸盐玻璃, 虽然两相的折射率差值不大, 但由于分散相粒子数量多、直径小(约为 $0.3\sim 0.8\mu m$), 对可见光有最强的散射作用, 所以乳浊效果好、釉面白度和光泽度均较高。

2.3.2 $Li_2O-Na_2O-K_2O-CaO-MgO-Al_2O_3-SiO_2-P_2O_5$ 系统

基于 Li_2O 在釉中的优良性能, 徐晓虹^[20]对锂磷复合乳浊釉及其乳浊机理进行了研究。得到烧成温度为 $1125^{\circ}C$, 样品白度为 56.6, 维氏硬度为 $645.9MPa$, 主晶相为磷石英、钙长石和磷酸钙的低膨胀乳浊釉。结果表明, 随着锂辉石加入量的增多, 热膨胀系数明显降低, 使坯釉结合得更好, 且表面张力减小, 减少了缩釉缺陷的产生。釉层中生成了大量发育良好的磷酸钙晶粒, 尺寸在 $0.5\sim 1\mu m$, 大小不一, 并形成了分相。机理是因为 P^{5+} 和 Si^{4+} 的场强不同, 分别形成了 $[SiO_4]^{4-}$ 和 $[PO_4]^{3-}$ 两种不混溶的网络玻璃, 由于这两种玻璃的折射率有较大差值, 对光形成强烈的散射, 从而产生分相。

2.3.3 $R_2O-RO-B_2O_3-SiO_2-Al_2O_3-P_2O_5-CaF_2$ 系统

在无乳浊剂分相釉的研究中,发现由于釉中析出的钙钠长石晶体多呈针状和柱状,晶体多以一组一组的分簇聚集的状态存在,各簇之间相距较远,簇与簇之间的玻璃相均是均匀的分相结构,且孤立液滴相的尺寸约在 $0.3\sim 0.6\mu m$,与可见光波长相近,引起光的散射,从而能得到较好的乳浊效果。江伟辉等^[21]通过正交试验方法优化釉料组成和烧成工艺,对 $R_2O-RO-B_2O_3-SiO_2-Al_2O_3-P_2O_5-CaF_2$ 多元系光亮无锆的分相-析晶乳浊釉进行了研究。他们根据 $K_2O(Na_2O)-CaO-Al_2O_3-SiO_2$ 四元相图 $CaO-Al_2O_3-SiO_2$ 平衡相图,得到基础釉的组成点,该点位于钙长石与磷石英的界线附近,这为钙长石的析晶提供了化学基础和可能。 P_2O_5 促进分相的作用是由于 P^{5+} 的场强(2.94)大于 Si^{4+} 的场强(1.54),即 P^{5+} 对氧的吸引力要大于 Si^{4+} 的,因此 P^{5+} 更易与氧形成强键,形成磷氧聚合体,从而形成分相结构。而玻璃的分相为析晶提供了界面,具有高原子迁移率的分散相,使得富碱土金属相的液滴中析出钙钠长石。研究指出,析晶与分相结构并存、分相促进析晶,尺寸接近可见光波长的孤立液滴和所析出的钙钠长石晶体是釉面产生乳浊的根本原因。

廖桂华等^[22]利用磷灰石和萤石作乳浊剂研制出一种不含锆的乳浊釉。从最佳配方的 XRD 分析得出,釉全由非晶相组成,因此,此种乳浊釉应该是因釉层玻璃中存在大量均布的微小气泡或不相溶液滴而乳浊的。实验结果表明,磷灰石的加入量在 3.0~4.5% 之间时釉面质量较好。萤石作为辅助乳浊剂和助熔剂,控制 2% 的加入量,有利于乳浊和提高白度以及降低烧成温度。

2.3.4 $Na_2O-K_2O-CaO-MgO-Al_2O_3-SiO_2-P_2O_5-ZrO_2$ 系统

徐晓虹等^[23]对磷锆系统进行了研究,釉料配方中采用价格低廉的磷灰石取代或部分取代锆英石作为乳浊剂制备磷锆复合乳浊釉,经 $1180^\circ C$ 、保温 15min 烧成。研究表明,传统锆乳浊釉中的乳浊相以残余的锆英石晶粒为主,分布不均匀、浑圆状、颗粒较大。但随着磷灰石的加入,残余乳浊相颗粒变小,并析出新相为尖形细小均匀的小颗粒,分布均匀。磷灰石加入量为 10% 左右开始出现分相,并在大的分相液滴的

界面上存有大量的细小的锆英石晶粒,即说明分相达到一定程度后,分散相具有较高的原子迁移率,从而促进硅酸锆新相的析出。此系统乳浊机理可归结于未熔的 $ZrSiO_4$ 晶体、再析出的 $ZrSiO_4$ 晶体和分相的不混溶微滴共同造成的乳浊,釉面白度从而也得到提高。

朱建峰等^[24]在基础釉中添加复合乳浊剂锆英石和磷灰石,以改善单一乳浊的各种缺陷。研究表明,在硅酸盐玻璃中引入少量 P_2O_5 后,易发生分相。分相后基质中富含 SiO_2 ,而球形分散相中富含 P_2O_5 和碱土金属氧化物。这样,基质相的折射率低,分散相的折射率高,两相的折射率差别越大则乳浊效果越好。球形分散离子的直径以 $0.3\sim 0.7\mu m$ 为宜,磷酸盐乳浊剂的加入量对分散相离子的尺寸起重要的影响。随着 P_2O_5 含量的提高,分相结构尺寸增大。由于磷灰石的引入,同时引入了 P_2O_5 、 CaO 和 F ,降低了釉玻璃的网络结构程度,使釉的高温粘度和烧成温度都下降。由于 F 的引入与原网络中负离子 O^{2-} 的性质不同,而起到促进分相的作用。因此,适当控制磷乳浊剂的加入量,可得到釉面质量较好的乳浊釉。同时,液-液分相对析晶也有影响,分相促进了釉中锆英石的析出,从而增强釉的乳浊效果。

2.4 $R_2O-RO-Al_2O_3-SiO_2-P_2O_5-B_2O_3$ 系统分相釉

硼磷复合系统的思路是控制 B_2O_3/P_2O_5 质量比,使釉熔体中出现微相功能转换,从而产生较好的乳浊效果。王芬等^[25]采用四角配料法制备 $R_2O-RO-Al_2O_3-SiO_2-P_2O_5-B_2O_3$ 系统多相乳浊釉,其中磷酸钙的质量含量为 3%~15%、 B_2O_3/P_2O_5 质量比在 $1/2\sim 2$ 范围内, $1200^\circ C$ 烧成,白度可达 87。结果表明, B_2O_3/P_2O_5 质量比不同时,釉熔体产生多次不混溶相,出现微相功能转换,乳浊度也随之改变。在此系统中同时存在场强不同的玻璃形成体化合物 SiO_2 、 P_2O_5 和 B_2O_3 ,釉中磷以 $[PO_4]^{3-}$ 四面体的形式存在,硅以 $[SiO_4]^{4-}$ 四面体的形式存在,硼以 $[BO_3]^{3-}$ 三角体的形式存在。在 B_2O_3 与 P_2O_5 的质量比为 1 时, $[BO_3]^{3-}$ 三角体向 $[BO_4]^{5-}$ 四面体转变,使釉中出现磷硅酸盐玻璃基体相、富硼液滴相、富硅相等多种玻璃相,增大基相与分散相相互之间的折射率差,提高乳浊度。由于 B_2O_3 进一步增加,使富硼的相尺寸与可见光的波长相近,光散射增强,助于乳浊。

2.5 其他分相釉

除上述分相釉以外,国内外陶瓷工作者还相继研究了硼钛乳浊釉、硼磷钛乳浊釉、自洁、抗菌分相乳浊釉、分相变色艺术釉等具有分相结构特征的乳浊釉。EncarnaBou等^[26]对 K_2O - CaO - Al_2O_3 - SiO_2 - B_2O_3 - (P_2O_5) - TiO_2 系统进行了研究,在此系统中,添加1%的 P_2O_5 会使釉乳浊, P_2O_5 能使釉中玻璃分相形成小颗粒乳浊相,抑制硅灰石的形成,同时有助于形成微小晶体。而在高温烧制时 P_2O_5 效果会消失。K. Pekkan等^[27]对无铅 K_2O - MgO - CaO - ZnO - Al_2O_3 - B_2O_3 - SiO_2 系统进行了研究,发现在釉中因分相而促进了新的晶相的形成,从而可以在不用添加乳浊剂的情况下仍然会有很好的乳浊效果。晶相和玻璃基质的数量与碱金属氧化物的碱性程度有关,当玻璃基质的数量上升,釉的光泽度自然就提高了。高比例的 Al_2O_3 增大了釉的表面张力,用透辉石和钙硅石晶体代替锆英石减少了50%~60%的生产成本。这些乳浊釉各具特点,用途各异,在建筑卫生陶瓷中也有成功的用例。因篇幅所限,此处不再一一赘述。

3 分相乳浊釉的发展趋势

随着低碳经济与生态文明建设的推行,全球范围内的节能降耗和降低成本已经成为各主要经济体的共识。我国政府也正在顺应时代要求,积极地履行相应的国际义务。作为一种陶瓷材料,分相乳浊釉具有成本低、环境友好、釉面自然等优点,因此分相乳浊釉的研究与应用具有非常可观的经济与环境效益。虽然分相乳浊釉的研究有较长时间,但到目前为止还没有大规模应用于工业生产。究其原因,分相乳浊釉主要存在釉浆性能差和乳浊能力弱这两大问题,其发展势必应围绕这两大问题的解决。

3.1 釉浆性能差

分相乳浊釉一般都以骨灰或天然磷灰石矿作为分相乳浊剂,不论是生料釉还是熔块釉,釉浆在细磨过程中或陈腐一段时间后,往往会出现稠化而导致一系列后续工序缺陷的产生,诸如吸浆密度低、可溶性盐的偏析、干燥缓慢、釉烧后存在较多气泡等等。这是由于磷酸钙和磷酸盐熔块都具有一定的水溶性和较强的亲水性,特别是在细磨过程中以及后期陈腐中

时间与水接触,会与水反应生成可溶性的磷酸盐水合物,导致釉浆变稠。这是制约其工业应用的主要原因,长期以来没有得到较好的解决,也未见相关的系统研究报道。针对此问题,笔者认为可以在釉中加入相关有机或无机添加剂,抑制磷酸钙与水的反应,从而改善釉浆性能。

3.2 乳浊能力弱

与常用的铅乳浊釉相比,分相乳浊釉分散相玻璃与玻璃基质之间折射率的差值较小,因此其乳浊能力弱,需要增加釉层厚度才能达到一定的乳浊效果。所以,分相乳浊釉釉层一般都比较厚,可以应用于建筑及卫生陶瓷的某些产品。但是如果应用到釉层较薄的日用瓷上,从技术上讲还有一定的难度。解决思路可以在铅乳浊釉基础上,引入一定量的磷酸钙,从而形成晶相-分相复合乳浊机制,这方面已有部分研究报道。今后还可在一定的技术标准下,最大限度地增加磷酸钙的引入量,从而降低釉的成本。

当然,上述两大问题解决后,与其他釉料一样,分相乳浊釉还可朝着进一步降低生产成本、提高附加值等方向努力。如:在更低的温度下烧成、高品质生料分相乳浊釉、釉的时装化-分相乳浊色釉、釉的功能化-各种新型功能分相乳浊釉的研发等等。

参考文献

- 1 李家驹.陶瓷工艺学.北京:中国轻工业出版社,2009,222~223
- 2 郝小勇等.硅酸锆放射性测试中存在的问题.陶瓷,2009,3:45~47
- 3 李伟东,黄建国.快烧无铅分相乳浊釉的形成.硅酸盐学报,2001,29(3):282~285
- 4 KONDRASHOV V I, POLKAN G A, GORINA I N, et al. Aspects of synthesis of decorite opacified glass. Glass and Ceramics, 2001, 58(122): 8~11
- 5 VOGEL W 著.玻璃化学.谢于生译.北京:轻工业出版社,1988,97~134
- 6 MAZURIN O V, PORAI-KOSHITS E A, ANDREEV N S, et al. Phase Separation in Glass. Amsterdam: North-Holland Pub. Co., 1984, 21~25
- 7 JAMES P F. Liquid-phase separation in glass-forming systems. J. Mater. Sci., 1975, 10: 1802~1825
- 8 诸培南.无机非金属材料显微结构图册.武汉:武汉工业大学出版社,1994.118

- 9 陈显求.铁红釉的液相分离.瓷器, 1979, (3): 1~24
- 10 聂曼云.一种新型陶瓷乳浊釉研究成功.建材工业信息,1994, (6):7
- 11 LI Weidong, LI Jiazhi, WU Jun, et al. Study on the phase-separated opaque glaze in ancient China from Qionglai kiln. *Ceramics International*, 2003, 29: 933~937
- 12 LI Weidong, LI Jiazhi, DENG Zequn, et al. Study on Ru ware glaze of the Northern Song dynasty: One of the earliest crystalline-phase separated glazes in ancient China. *Ceramics International*, 2005, 31: 487~494
- 13 LI W D, LUO H J, LI J N, et al. Studies on the microstructure of the black-glazed bowl sherds excavated from the Jian kiln site of ancient China. *Ceramics International*, 2008, 34: 1473~1480
- 14 包镇红等.低温烧成硼分相生料乳浊釉的研制.中国陶瓷, 2011,47(12): 67~69
- 15 范玉荣. 骨灰乳浊釉的组成范围 - 乳浊机理及影响因素.西北轻工业学院硕士论文,1989,17(2):118~124
- 16 孙洪巍.低温卫生瓷用锆磷质生料乳浊釉的研制.西北轻工业学院硕士论文,1990, 8(4): 75~87
- 17 武秀兰, 任强, 王芬. $R_2O-RO-Al_2O_3-SiO_2-P_2O_5$ 系统分相 - 析晶乳浊釉乳浊粒子的形成机理. 硅酸盐通报, 2006(1): 26~29
- 18 滕元成.磷乳浊釉的研究.中国陶瓷, 2002, 38(1): 20~23
- 19 武秀兰,任强,王芬.组成及工艺条件对分相 - 析晶乳浊釉乳浊行为的影响.中国陶瓷,2005,41(9):26~28
- 20 徐晓虹等.锂磷复合乳浊釉及其乳浊机理的研究.武汉理工大学学报, 2010, 32(12): 5~9
- 21 江伟辉,廖奇丽. $R_2O-RO-B_2O_3-SiO_2-Al_2O_3-P_2O_5-CaF_2$ 系分相 - 析晶乳浊釉的形成机理.硅酸盐学报, 2006, 34(11): 1356~1361
- 22 廖桂华等.无锆生料乳浊釉的研制.中国陶瓷, 2001, 37(1): 12~16
- 23 徐晓虹,陈绪娟,吴建锋.新型乳浊釉制备及其微观结构研究.武汉理工大学学报,2009,31(10): 11~13
- 24 朱建峰,王玉时.复合乳浊釉的研制.佛山陶瓷, 2003, 70(1): 3~6
- 25 王芬,李强等.磷硼多相乳浊釉的乳浊机理.硅酸盐学报, 2010, 35(5): 924~930
- 26 BOU E, MORENO A, ESCARDINO A, et al. Microstructural study of opaque glazes obtained from frits of the system: $SiO_2-Al_2O_3-B_2O_3-(P_2O_5)-CaO-K_2O-TiO_2$. *Journal of the European Ceramic Society*, 2007, 27: 1791~1796
- 27 PEKKAN K, KARASU B. Zircon-free frits suitable for single fast-firing opaque wall tile glazes and their industrial productions. *Journal of the European Ceramic Society*, 2009, 29: 1571~1578

Current State and Development Trends of Phase-separated Opaque Glaze

ZHOU Yaqin CAO Chun'e LU Xilong YU Feng

(Jingdezhen Ceramic Institute, Jingdezhen Jiangxi 333001, China)

Abstract

Opacifier-free phase-separated opaque glaze is the research hotspot to date in the ceramic industry. In this review, definitions and mechanisms of phase-separated opaque glaze were summarized and current state of the art was introduced with emphasis laid on characteristics, performance, mechanisms of opacifying and the effects of different ingredients on opacifying behavior. At last, the main problems phase-separated opaque glaze confronting were analyzed and several solutions were proposed.

Key words opaque glaze; phase separation; current research situation; development trends

Received on May. 4, 2012

ZHOU Yaqin, E-mail: aya22aya@126.com

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>