المؤتمر الدولي الرابع لكلية الفنون التطبيقية
الفنون التطبيقية
(إبداع - تصميم - إنتاج - تنافسية)
٢٨-٢٩ فبراير ٢٠١٦
مجلة التصميم الدولية

دراسة تجريبية لتطوير تقنية إعادة تشكيل مسحوق الزجاج حراريا باستخدام اللواصق

An experimental study to develop Pate de verre technique for reforming the glass powder thermally by using adhesives

أ.م.د/ نيفين سعد الدين عبد الرحمن
أستاذ مساعد بقسم الزجاج – كلية الفنون التطبيقية - جامعة حلوان

الملخص

تعرف تقنية اعادة تشكيل مسحوق الزجاج حراريا بمصطلح Pate de verre ، حيث يسحق الزجاج ويمزج بالماء أو باللواصق ويضاف داخل قوالب حرارية ليعاد صهره وينتج المنحوتات الزجاجية المرغوب فيها .

وتعد تلك التقنية من أقدم تقنيات اعادة تشكيل الزجاج حراريا ، فقد ظهرت في بلاد العالم القديم منذ العصر البرونزي (١٦٠٠-١٢٠٠ ق.م) ، حيث كانت تصنع نماذج نحتية صغيرة من الشمع ويشكل فوقها قوالب مفتوحة أو مغلقة من الطين ، ثم يصهر الشمع ليترك الشكل النحتي السلبي في القالب ليملأ بعد ذلك بمسحوق من الزجاج يعاد صهره حراريا لينتج الشكل النحتي الزجاجي ، وعلى الرغم من التطور الزمني بعد ذلك الا ان تلك التقنية ظلت محتفظة بطرق وأساليب انتاجها الى حد كبير .

ونظرا لما يمثله اللاصق من أهمية ودور كبير في تشكيل مسحوق الزجاج قبل وأثناء اعادة صهره حراريا ، وبالتالي امكانية تطوير أساليب تلك التقنية والخروج عن انماطها التقليدية في استخدام النماذج والقوالب الحرارية، ظهرت مشكلة البحث في التساؤلات التالية ما هو أفضل أنواع اللواصق الطبيعية والصناعية التي تصلح للصق وتماسك حبيبات مسحوق الزجاج قبل واثناء الحريق؟ ، هل يتغير لون وشكل وحجم مسحوق الزجاج وقابليته للتشكيل بتغير نوع وكمية اللاصق المستخدم ؟ ، ما هي أفضل أنواع اللواصق التي تساعد في تشكيل مسحوق الزجاج تشكيلا حرا دون قالب أو باستخدام قوالب مساعدة ؟. فالبحث يهدف لتحديد العلاقة والأثر التقني للواصق في اعادة تشكيل مسحوق الزجاج حراريا ، وترجع أهمية البحث في تطوير اساليب تقنية اعادة تشكيل مسحوق الزجاج حراريا باستخدام اللواصق المختلفة . فالبحث يفترض أنه باستخدام أنواع مختلفة من اللواصق الطبيعية والصناعية في لصق حبيبات مسحوق الزجاج يمكن تطوير اساليب التقنية في امكانية تشكيل المسحوق تشكيلا حرا دون استخدام قوالب او باستخدام قوالب مساعدة . وقد توصلت الدراسة التجريبية للبحث لامكانية تطوير الأساليب التكنولوجية في اعادة تشكيل مسحوق الزجاج حراريا ، ذلك بالاستفادة من اثر اللواصق المختلفة لعمل تشكيلات متنوعة من مسحوق الزجاج التي يصعب انتاجها بالطرق التقليدية لإعادة تشكيل الزجاج حراريا ، وبالتالي امكانية إنتاج العديد من التطبيقات المتميزة التي تضيف اثرا جماليا وتقنيا .

كلمات مرجعية

مسحوق الزجاج المعاد تشكيله حراريا Pate de verre – اللواصق Adhesives – اللواصق الطبيعية – اللواصق الصناعية.

المقدمة

ان تقنية اعادة تشكيل مسحوق الزجاج حراريا المعروفة بمصطلح Pate de verre هي تقنية قديمة جدا ترجع للألفية الأولى قبل الميلاد حيث صنع منها المصريون القدماء التمائم والمرصعات ، وأعيد اكتشافها في حقبة فن الآرت نوفو في اواخر ١٨٠٠على يد هنري كروس Henry Cros ، ويمكن ترجمة هذا المصطلح حرفيا من اللغة الفرنسية ليكون " الزجاج الملصوق " حيث تصنع منحوتات زجاجية من مسحوق الزجاج (Kervin & Fenton, 2000).

وتستخدم تلك التقنية لعمل منتجات نحتية مصمتة او مفرغة باستخدام القوالب ، وذات تفاصيل كثيرة ودقيقة وبتنوع لوني هائل وكبير . وتعتمد الطريقة التقليدية لتلك التقنية بشكل أساسي على عمل النماذج النحتية من خامات متعددة وعادة ما تكون من الشمع ثم عمل قوالب حرارية على تلك النماذج والتي تستخدم بعد ذلك لإعادة تشكيل مسحوق الزجاج حراريا.

وتتطلب تلك التقنية بالطرق التقليدية العديد من الخامات والأدوات والمهارات العالية لإخراج العمل الزجاجي النحتي بشكل تقني وجمالي عالي القيمة ، وخاصة اللواصق ومن هنا خرجت **مشكلة البحث** في التساؤلات التالية ما هو أفضل أنواع اللواصق الطبيعية والصناعية التي تصلح للصق وتماسك حبيبات مسحوق الزجاج قبل واثناء الحريق؟ ، هل يتغير لون وشكل وحجم مسحوق الزجاج وقابليته للتشكيل بتغير نوع وكمية اللاصق المستخدم ؟ ، ما هي أفضل أنواع اللواصق التي تساعد في تشكيل مسحوق الزجاج تشكيلا حرا دون قالب أو باستخدام قوالب مساعدة ؟. **فالبحث يهدف** لتحديد العلاقة والأثر التقني للواصق في اعادة تشكيل مسحوق الزجاج حراريا ، وترجع **أهمية البحث** في تطوير اساليب تقنية اعادة تشكيل مسحوق الزجاج حراريا باستخدام اللواصق المختلفة . **فالبحث يفترض** أنه باستخدام أنواع مختلفة من اللواصق الطبيعية والصناعية في لصق حبيبات مسحوق الزجاج يمكن تطوير اساليب التقنية في امكانية تشكيل المسحوق تشكيلا حرا دون استخدام قوالب او باستخدام قوالب مساعدة .

ان عملية اعادة تشكيل مسحوق الزجاج حراريا تتوقف بشكل أساسي على عدة عوامل هامة وهي :-

١- نوع الزجاج (التركيب الكيميائي - الخصائص الفيزيائية).
٢- النظام الحراري للزجاج.
٣- مسحوق الزجاج.
٤- اللواصق (طبيعية – صناعية)

١- نوع الزجاج

ان اختيار نوع الزجاج المستخدم يعد أول الاختيارات الهامة لأنه يعتمد عليه بشكل اساسي عملية التشكيل قبل الحريق وكذلك تحديد المنحنى الحراري اللازم لإعادة تشكيل الزجاج حراريا، وكذلك التوافق مع كل الخامات المستخدمة وخاصة عند استخدام اكثر من لون زجاج فيجب عندها ان تكون الألوان من نفس نوع الزجاج لتلافي الإجهاد اثناء الحريق.

فالزجاج كخامة يتكون كيميائيا من مزيج من الأكاسيد المعدنية وبشكل رئيسي من ثاني أكسيد السليكون SiO_2 ولهذا يعرف الزجاج بزجاج السليكا أو الكوارتز ، ويتركب من جزيئات وذرات تترتب داخل تكوين بللوري غير منتظم ، ويوجد العديد من أنواع الزجاج المختلفة التركيب الكيميائي مثل زجاج الكوارتز المصنوع بصهر السليكا النقية عند حوالي ١٨٠٠درجة مئوية والمصهور الزجاجي هنا يكون عالى اللزوجة ويتميز بالقوة والمقاومة العالية جدا ، وزجاج الصودا جير وهنا يضاف القلوي الى السليكا على شكل اكاسيد معدنية ولتحسين المقاومة الكيميائية لتلك النوعية من الزجاج يضاف الالومينا وبالتالي تقل اللزوجة ويسهل عندها عملية تشكيل الزجاج ، وزجاج الرصاص يتكون باضافة اكسيد الرصاص للسليكا بكميات قليلة حيث اضافته بكمية كبيرة تتسبب في احلال ذرات الرصاص بدلا من ذرات السليكا في شبكية الزجاج نظرا لكبر حجم ذرة الرصاص عن ذرة السليكا ويتميز بدرجات انصهاره المنخفضة وخواصه البصرية الرائعة.

وبالتالي فان أنواع وكميات الأكاسيد المعدلة التي تضاف للخلطات الزجاجية تؤثر على الشبكية الزجاجية بشكل كبير وعلى حدوث الاجهاد في الزجاج وهو ما يعرف بمدى التمدد الحراري (COE) المؤثر بشكل رئيسي في عملية اعادة التشكيل

الحراري ، وهو عادة ما يعبر عليه برقم من ٠ الى ١٢٠ ولهذا فان كل نوع زجاج له معامل تمدد مختلف وبالتالي يجب الحذر في عدم استخدام نوعين مختلفين لمسحوق الزجاج خوفاً من عدم التوافق في معامل التمدد الحراري وبالتالى الانفصال بينهما بعد عملية إعادة التشكيل الحراري.

٢- النظام الحراري للزجاج

للحصول على نتائج ناجحة في إعادة تشكيل مسحوق الزجاج حراريا يجب معرفة العلاقة بين الخصائص الفيزيائة للزجاج والحرارة ، فعند تغير درجة الحرارة للمسحوق الزجاجي تبدأ حواف كل حبيبة زجاجية ان ترتفع درجة حرارتها وتتمدد في المقاس والحجم وهذا طبقا للتغيير الذي يحدث في شبكية الزجاج وتقل لزوجة الزجاج ، والزيادة تلك في حركة ذرات الشبكية الزجاجية تسمح بأي اجهاد موجود داخل الزجاج ان يظهر ودرجة الحرارة تلك التى تسمح بظهور الإجهاد تسمى بنقطة الإجهاد Strain Point وبالتالى اذا كان التسخين سريعا عند تلك النقطة من الممكن ان يكسر الزجاج ويحدث له صدمة حرارية ، وعند تلك النقطة ايضا تكون نقطة التبريد annealing point وهي حوالي ٥٤٠ درجة مئوية. وعند الاستمرار في رفع درجة حرارة الزجاج فوق هذه النقطة للوصول لمراحل اعادة التشكيل الحراري ، تبدأ حبيبات الزجاج في الليونة طبقاً للجاذبية الأرضية وهو ما يعرف بنقطة الليونة softening point عند حوالي ٧٦٠ درجة مئوية وحتى حوالي ٨١٥ درجة مئوية ، حيث تزداد حركة الذرات داخل الشبكية الزجاجية بسرعة كبيرة ولا يظهر معها اى اجهاد وعندها تبدأ حبيبات الزجاج في الإلتصاق بعضها ببعض ثم الإلتحام الكامل (Kervin & Fenton, 2000).

٣- مسحوق الزجاج

ان مسحوق الزجاج او ما يعرف بالفرت frit هو تحويل للزجاج من قطع كبيرة لحبيبات صغيرة بالسحق . وانه لمن الضروري سحق الزجاج سحقا جيدا قبل مزجه باللواصق ، حيث انه من اصول تقنية اعادة تشكيل مسحوق الزجاج حراريا الا يرى حبيبات كبيرة لمسحوق الزجاج بعد عملية اعادة تشكيله حراريا ، فكلما كان مقاسات الحبيبات صغيرا كلما كان ذلك افضل في عملية الصهر وذلك لانه يقلل من حجم الفجوات الهوائية بين الحبيبات وبالتالي اجهاد اقل في الزجاج الناتج ، وقله حجم تلك الفجوات الهوائية يقلل من ناحية اخرى عملية انزلاق حبيبات مسحوق الزجاج داخل القوالب المستخدمة في اعادة تشكيله حراريا. كما يفضل استخدام اكثر من مقاس لحبيبات مسحوق الزجاج لانه يساعد اكثر في عملية اعادة التشكيل ويقلل من الاجهاد أثناء الحريق (Lundstrom, 1989) . ان قطع الزجاج النحتية المنتجة بمسحوق ناعم (Powder) يشبه الطحين يبدو مظهرها في النهاية معتم مثل الخزف وليس الزجاج ، أما المنتجة بحبيبات مثل السكر (Fine) فيكون مظهرها النهائي نصف شفاف ، وبالتالي كلما كبر مقاس حبيبات الزجاج كلما ذادت شفافية المنتج الزجاجي وذاد معها وجود فقاعات هوائية محبوسة بين حبيبات الزجاج (Kervin & Fenton, 2000).

وانه ليوجد الكثير من الطرق والمعدات لسحق الزجاج فاختلاف طرق ومعدات السحق تنتج مقاسات متنوعة من الحبيبات ، وكذلك اختلاف نوع الزجاج ينتج مقاسات مختلفة عن النوع الآخر حتى مع استخدام نفس المعدة ونفس الطريقة ، والمعروف عن معدات سحق الزجاج الأنابيب المعدنية وحاويات الحديد التي يستخدم بداخلها الماء ويكسر فيها الزجاج الساخن ، وكذلك المطحنة البورسلين اليدوية او الكهربائية المحتوية بكرات البورسلين . ويجب بعد عملية السحق في معظم تلك الادوات والطرق استخدام المغناطيس لإلتقاط حبيبات المعدن الناتجة من معدات السحق المعدنية والممتزجة بحبيبات الزجاج اثر عملية السحق (Lundstrom, 1989) ، كما يفضل غسل مسحوق الزجاج لإزالة اي اتساخات او اى مواد عضوية عالقة ثم يجفف بعد ذلك على ورق جرائد جاف ، وبعدها ينخل المسحوق باستخدام مناخل متعددة المقاسات لحصول على مقاسات متنوعة من الحبيبات الزجاجية (Kervin & Fenton, 2000).

٤- اللواصق (الطبيعية – الصناعية)

يُعرف اللاصق adhesive انطلاقاً من استخدامه الشائع بأنه مركب قادر على مسك المواد بعضها ببعض بربطها سطحياً . وقد توسع استخدام هذا المصطلح ليأخذ مضموناً عاماً يشمل مواد مختلفة مثل الملاط والغراء ، والصمغ النباتي ، والنشاء والعجين اللاصق ، أما مصطلح اللصق adhered فيستخدم عامة للدلالة على جسم ما يُربط بجسم آخر بوساطة اللاصق ،

ومن الممكن أن تسمى عملية اللصق أيضاً بالربط bonding وهو مصطلح عام يحمل ما تعنيه مصطلحات أخرى تُستخدم في بعض المجالات الصناعية الخاصة مثل التغرية gluing والملط cementing .

استعمل المصريون الغراء والصمغ العربي والبيض ومواد غيرها قبل ١٥٠٠ سنة قبل الميلاد للصق قشور الخشب، كما استعمل الزيت ملاطاً في بناء برج بابل، واستعمل الإسفلت والقار لسد شقوق القوارب، وقبل ١٥٠ سنة كان عمال الطلاء يستعملون بياض البيض كمادة رابطة للملونات والأصبغة، وبعد ذلك استعملوا الغراء الحيواني والنشاء للصق، ولكنهم كانوا يعانون من وجود عيب في فسادها بالرطوبة أثر التعفن والجراثيم.

ارتبط استعمال المواد اللاصقة تاريخياً بتحضيرها من مصادر طبيعية ، فبرز الغراء بوصفه مادة لاصقة حُضرت من البروتينات الحيوانية وارتبط استخدامه بالصناعات الخشبية، وكذلك العجين اللاصق ذو القوام اللدن المحضَّر من تسخين مزيج من النشاء والماء ومن ثم تبريده، وأخيراً الصمغ النباتي الموسيلاج mucilage المحضر من مزج الصمغ النباتي مع الماء، وشاع استخدامه في لصق الورق. ومع تطور علم الكيمياء عام ١٩٣٠ ظهرت مواد لاصقة صنعية (تركيبية) من المطاط أو من الراتنجات المتلدنة بالحرارة التي تُبعثر داخل مذيبات عضوية، حيث تقوم بفعلها اللاصق بعد تطبيقها وفقدها للمذيب، وتميز هذا النوع من المواد اللاصقة بمقاومة جيدة للرطوبة والعفن. وكان الفينول فورم ألهيد أول راتنج مُصنَّع استعمل في صناعة الأخشاب ، وجاءت بعده راتنجات اليوريا فورم ألدهيد، والريزورسينول فورم ألدهيد وغيرهما. كذلك تطلبت صناعة الطائرات فيما بعد وجود مواد مناسبة للصق المعادن أدت إلى تطوير الراتنجات الفينولية وتعديلها باحتوائها على مركبات مطاطية مصنعة أبرزت قوتها العالية ضد التقشر. وفي عام ١٩٥٠ ظهرت في الأسواق لاصقات الإيبوكسي وهي ذات متانة عالية وتعد ثورة في عالم اللواصق.

تصنيف المواد اللاصقة

تُصنف المواد اللاصقة وفقا لعدة أنماط كما يلي:

١- **التركيب الكيميائي** ويستند إلى تركيب المكونات الأساسية في المواد اللاصقة وهي نوعان:

(١-١) لواصق طبيعية: مثل النشاء والديكسترين والصمغ النباتي والبروتينات من مصادرها النباتية والحيوانية على حد سواء، مثل جلود الحيوانات وعظامها وجلود الأسماك والدم، وطحين فول الصويا، وهناك أيضاً مواد طبيعية أخرى مثل الإسفلت وصمغ التلك shellac ، والمطاط الطبيعي وسيليكات الصوديوم، وأوكسي كلوريد المغنسيوم وغيرها من المواد العضوية .

(١-٢) لواصق صناعية : مثل الراتنجات المتلدنة بالحرارة ومنها إسترات وإيترات السليلوز، واسترات الألكيد والأكريليك، ومتعدد الأميد، متعدد الستيرين، والمطاط الصناعي، متعدد فينيل الكحول ومشتقاته ، الراتنجات المتصلدة بالحرارة مثل اليوريا والميلامين والفينول، والإيبوكسي وأخيراً متعددات الأستر غير المشبعة.

٢- **أنماط الاستخدام الرئيسة:** تُصنف فيها المواد اللاصقة وفق أنماط الاستخدام إلى:

(٢-١) **المواد اللاصقة البنيوية structural adhesives :** ويُستعمل هذا النوع من المواد لربط سطحين والحصول على متانة عالية ضد القص والتوتر أو التقشير كما هي الحال في لصق السطوح المعدنية والخشبية.

(٢-٢) **المواد اللاصقة الرابطة bonding adhesives :** ويُستعمل هذا النوع من المواد لربط سطحين من دون الحاجة إلى أي مقاومة نوعية للإجهاد الخارجي كما هي الحال في تصنيع لواصق الزجاج وفي عمليات التغليف.

(٢-٣) **المواد اللاصقة محكمة السد sealing adhesives** : ويُستعمل هذا النوع من المواد لسد الوصلة بين سطحين سداً محكماً ضد الرطوبة والغازات والأبخرة دون الحاجة إلى توفير متانة نوعية كما هي الحال في تغليف الأغذية والأدوية.

٣- **طبيعة السطح الملصق:** وتُصنف فيه المواد اللاصقة وفقا لطبيعة السطح الملصق إليه حيث ان نوعية السطوح اللاصقة هي التي تحدد طبيعة اللاصق المناسب ، فالأسطح النفاذة مثل الخشب والورق تناسبها كل انواع اللواصق حيث ان

العلاقة هنا تكون فيزيائية ، أما الأسطح الغير نفاذة مثل الزجاج فتحتاج لواصق تحتوي على مجاميع مستقطبة حيث ان التداخل بينهما يكون كيميائيا.

قوى الالتصاق

يتضمن الالتصاق ربطاً ميكانيكياً من خلال تدفق المادة اللاصقة السائلة وتصلبها داخل مسامات السطح المراد لصقه وفجواته. يدعى هذا النوع من الربط بالالتصاق الميكانيكي mechanical adhesion، وتتطلب عملية اللصق تبللاً فعلياً للسطح المراد لصقه بوساطة المادة اللاصقة حيث يضمن حدوث تماس يشمل الجزيء بكامل حجمه وأبعاده ، ويحدث اللصق الدائم عندما تكون الطاقة الحدية ما بين الوجوه لكل من اللاصق والملصق (السطح المراد لصقه) أقل من حاصل جمع الطاقات السطحية لكليهما.

مراحل عملية اللصق

تتعلق جودة عملية اللصق بمواصفة كل من المادة اللاصقة والسطح المراد لصقه ، وتمر عملية اللصق بالمراحل الآتية:

١- إعداد السطح لعملية اللصق وتتضمن معالجة السطح غالباً بطرق كيميائية وميكانيكية.

٢- تحضير المادة اللاصقة ويتضمن تذويب المادة اللاصقة الأساسية أو صهرها وإضافة مواد مساعدة مثل المقسيات والمواد المالئة والمواد الملدنة وغيرها.

-تطبيق اللاصق بتحميله على السطح بطرق عدة منها استخدام الفرشاة أو الطلي أو البخ أو الرش.

-التجميع أو مرحلة التجفيف بالهواء أو التصلب السريع بالتجميد ، تختلف المعالجة في هذه المرحلة حسب نوع المادة اللاصقة المستخدمة، فعند استخدام المواد اللاصقة السريعة التصلب نتيجة تفاعل كيميائي كما هي الحال في الراتنجات المتصلدة بالحرارة، أو التصلب السريع بالتبريد لبعض أنواع المواد اللاصقة المصهورة، لابد والحالة هذه من تجميع السطوح المراد لصقها بسرعة. أما في حالات أخرى كما هي الحال في الراتنجات المتلدنة بالحرارة أو محاليل المطاط في مذيبات عضوية فتحتاج آنئذٍ إلى فترة من الزمن تسبق عملية التجميع يترك فيها السطح المراد لصقه في جو مفتوح يسمح بحدوث تبخر للمذيب، أو يُعمد إلى التجفيف بتيار من الهواء. (واصل، ٢٠٠٥)

لواصق تجميع الزجاج

ان استخدام اللواصق فى لصق الزجاج مهم جدا بالنسبة لتجميع قطع الزجاج ، وان الخصائص الفيزيائية والكيميائية للزجاج لها تاثير هام على اختيار المواد اللاصقة لربط اجزاء الزجاج مع بعضها او مع اى سطح اخر وبما ان الزجاج اساساً من سيليكات الصوديوم ومع مختلف الشوائب فان اللواصق المستقطبة هى المناسبة لربط الزجاج.

وتعبر مرونة وعامل التقلص والتمدد للمواد البوليميرية شيئا هاماً للحصول على اعلى قوة ومتانة للصق ، وقد تحتاج حرارة وضغطاً لانضاجهاً وهذا الانضاج غالباً ما يحدث ضغطا على سطح الزجاج ما قد يسبب فى كسر الزجاج ، ولهذا فمن الضرورى اخذ الحذر عند معالجة اللاصق لغرض لصق الزجاج خصوصاً عند ارتفاع درجة الحرارة فاذا كانت درجة حرارة تشغيل اللاصق ١٥٠ درجة او اكثر فيجب عندئذ تبريد القطع الزجاجية الملصقة ببطء حتى تصل الى درجة حرارة الغرفة. وغالبا ما تضاف الملدنات وبالبوليمرات والمالئات كى توازن الاجهاد المختلف للتجمعات الملصقة. كما ان عدم تساوى تركيز الاجهاد الناتج عن التشقق الشديد للاصق عند عملية الانضاج يمكن ان يسبب تكسير الزجاج تماماً وذلك تحت قوة التمدد الطبيعية للزجاج الذى تم تجميعه ، والمثال على ذلك:-ان البولى فينيل اسيتات يشكل ربطاً جيداً تحت قوة التمدد الطبيعية للزجاج المجموع ولكن تظهر زيادة تركيز الاجهاد عن السطح اللاصق الزجاج.

ان اللواصق التى تعتمد على البولى فينيل بوتيرال او فينوليك بوتيرال او فينيل نتريل سليلوز فينيل "فينيل اسيتات والايبوكسي تصلح للصق الزجاج وعندما يتم انضاج الربط بشكل جيد يظهر ربط قوى وخواص ملائمة لتغير الجو .

ويستعمل سليليوز اسيتات معدل او فينيل اسيتات بولى اكريلليك وايبوكسيات محفزة بالامين كلواصق جيدة لربط الزجاج المستعمل لتركيب زجاج واجهات العرض او لصق الايدى الزجاجية على الابواب الزجاجى المنزلية كى تساعد على فتحها واغلاقها. ولتركيب الجدران الزجاجية ولبناء الواجهات الزجاجية تستعمل البوليمرات المرنة والمواد المستعملة من المطاط اما لصق الزجاج المنقوش فانه يحتاج الى لصق لزج فورى وتعتبر العجينة المعدة من اكسيد النحاس وحمض الفوسفوريك لاصق جيد لربط القطع الزجاجية المخبارية احياناً ، ويفيد الايثيلى سيليكات للصق الزجاج المكسور وينصح باضافة لاصق البولى فينيل اسيتات ولاصق النتروسليليوز لان علاقته الكيميائية للزجاج تجعله جزءا ذا قيمة . (Koob.S.P, 2006)

وفيما يلي سيتم توضيح أنواع اللواصق الأكثر استخداما في لصق الزجاج :-

١- **الصموغ Glues**

الصموغ gluesهي مركبات كيميائية مرتفعة الوزن الجزيئي تكتسب قواماً هلامياً عند تعرضها للرطوبة، قواماً صلباً عند جفافها، منها ما هو طبيعي المصدر ومتعددات السكاريدات ، ومشتقاتها المصنَّعة بتحويرات كيميائية مثل متيل السيللوز، ومنها ما هو تركيبي يُصنع من مركبات منخفضة الوزن الجزيئي مثل متعدد (بولي) فينيل كلوريد ومتعدد الأكريل أميد.

التركيب الكيميائي للصموغ

تتألف الصموغ من وحدات أحادية السكاريد الحمضية أو المعتدلة مرتبطة بروابط غليكوزيدية. يمكن أن تحمل وظائف حمضية مثل COOH-- و SO3H--وتكون غالباً والحالة هذه على شكل أملاحها .Ca, Mg, Na, K يمكن أن تحمل في بعض الحالات الأخرى مستبدلات أستيلية ومتيلية.

يشير مصطلح «صمغ»تجارياً إلى متعددات السكاريد (المعقدة منها والأقل تعقيداً) ومشتقاتها، ويتميز هذا النوع من الصموغ فيزيائياً بانحلالية عالية وقابلية للتبعثر مرتفعة، وببنية خطية أو متفرعة، إيونية أو معتدلة.

أنواع الصموغ ومصادرها المختلفة

تُصنف الصموغ في مجموعات بحسب مصادرها أو بنيتها الكيميائية.

١) **التصنيف بحسب المصدر:**

(١-١) صموغ مستخلصة من الأعشاب البحرية، مثل الألجينات والآغار.

(١-٢) صموغ نباتية مثل الصمغ العربي ، فهو نوع هش من الصمغ، يستخرج من أشجار السنط الذي ينمو في إفريقيا وجنوب غربي آسيا؛ وذلك بإحداث شقوق في لحاء الشجر لتنساب منها قطرات الصمغ فتُجمع وتستخدم قبل أن تتصليفجل الصمغ العربي في الماء ليكوّن محلولاً لزجاً أو غراء معلقاً . يُقصر الصمغ العربي للحصول على صمغ أبيض شفاف، ويستخدم في الطب وفي صناعة العقاقير والحلوى واللواصق والورق والنسيج ، وقد استخدم قدماء المصريين الصمغ العربي بوصفه مادة لإلصاق نسيج الكتان الذي كانوا يلفون به المومياء.

(١-٣) صموغ مستخلصة من البذور مثل صمغ بذور الخرنوب.

(١-٤) مستخلصات نباتية مثل البكتينpectin ، والنشاء ومشتقاته ومشتقات السيللوز مثل، متيل السيللوز وصوديوم كربوكسي متيل السيللوز.

(١-٥) الصموغ المصنعة مثل، متعدد الأكريل أميد ومتعدد أكسيد الإيتيلين (متعدد الإيتيلين غليكول) والبروتينات والجيلاتين والكازئين.

٢) **التصنيف بحسب التركيب الكيميائي:**

(٢-١) الصموغ الحمضية الحاوية على مكونات حمضية مثل حمض الغلوكورونيك وحمض الغالاكتورونيك ويضاف إلى هذه المكونات مجموعات السولفات والفوسفات والمكونات المعتدلة مثل، الهكسوز والبنتوز، أغوال وإيترات.

(٢-٢) الصموغ المعتدلة التي تحتوي فقط على الهكسوز والبنتوز، أغوال وايترات.

طرق صناعة الصموغ

- **الصموغ الناتجة من الإفرازات النباتية:** تجمع من النبات وتجفف بتعريضها للشمس ومن ثم تسحق وتصنَّف حسب اللون والشوائب.تُنقى هذه الصموغ أحياناً بحلها في الماء وترسيبها ، كما هي الحال عند تحضير الصمغ العربي.
- **الصموغ الناتجة من البذور والجذور والدرنات:** تُستخلص بالماء الساخن وتُجفف وتُطحن.تُسحق البذور أحياناً وتُستبعد القشور قبل الاستخلاص وتُنقى بالترسيب.

٢- الغـــــراء Glue

يعد الغراء glue من أقدم المواد اللاصقة المستخدمة لربط المواد الصلبة غير المعدنية ولصقها من دون التأثير في مواصفاتها وخواصها. يتألف الجزء الأساسي للمادة اللاصقة من مركبات ذات وزن جزيئي مرتفع (متعددة الحد ـ بوليمير) أو من مركباتها المفردة (أحادية الحد ـ مونومير) ويُنسب إلى هذه المركبات البوليميرية الخواص.

تحضر المواد اللاصقة في حالتها المائعة وتستخدم، إما بشكلها السائل أو منحلة في مذيبات، أو بشكل مبعثرات، أو بالشكل المصهور. يُضاف إلى المادة الأساسية في الغراء مواد أخرى محسنة مثل المذيبات والمبعثرات والمواد المالئة والمقسيات والمسرِّعات والملدِّنات والمثبّتات والمواد المساعدة على التشابك.

ترتبط قوة الالتصاق بمواصفتين أساسيتين؛ هما:

١- ثبات جزيء المادة اللاصقة على السطح المراد لصقه.

٢- التماسك الداخلي للمادة اللاصقة، وهناك نوعان من اللصق:

(٢-١) اللصق الميكانيكي: ينتج من تغلغل المادة اللاصقة عبر المسامات السطحية في المادة المراد لصقها مؤدية إلى ارتباط وثيق وتماسك السطوح المسامية والليفية مثل الورق والخشب.

(٢-٢) اللصق النوعي: يحقق هذا النوع من اللصق الارتباط بين مادتين بعمليات فيزيائية وترموديناميكية على السطح الفاصل بينهما، وتشكيل روابط كيميائية. ويُعزى هذا الارتباط إلى تقارب قطبية المادة اللاصقة مع قطبية السطح المراد لصقه ، وقد بينت دراسات القوى بين الجزيئات عند الطبقات السطحية الفاصلة وجود قوى كهربائية ساكنة.

تكوين الغـراء

يتكون الغراء من البروتينات التي تحوي العديد من الذرات القطبية القابلة للتأين، التي تشارك في ارتباط الجزيئات فيما بينها وبين الركيزة، مشكلةً بنيةً شبكيةً تتشابه في خواصها مع العديد من البوليميرات المتشابكة، من حيث المرونة وانتشارها عبر الوسط. يؤدي إضافة مادة مالئة إلى حدوث بعض التغيرات في الخواص الفيزيائية والكيميائية لهذه البروتينات الشبكية.

يعد الكولاجين المادة الكيميائية المسؤولة عن الخواص اللاصقة للغراء، التي على شكل جزيء ضخم ليفي مؤلف من حموض أمينية مرتبطة بروابط (بروتينات) مرتبة بتشكيل معقد. يستخلص الكولاجين من الجلد والأوتار والغضاريف والعظام مشكلاً المادة الأساسية للغراء، ويتكون من ألياف دقيقة وطويلة من الحموض الأمينية المتسلسلة نوعياً ويعطي الشكل النوعي والمتانة بسبب وجود الروابط الهدروجينية الجزيئية الداخلية. وقد كثر الطلب على هذه الألياف الفعالة، بوصفها مواد داعمة ورابطة.

٣- السليكون Silicone

يعد السيليكون بولمير شبه عضوي ذو وزن جزيئي مرتفع يتكوَّن من سلاسل طويلة تضم ذرات من السيلسيوم (السيليكون) والكلور أو الأكسجين، وأول من اكتشف هذا النوع من البولميرات في إنكلترا عام ١٩٠٦ هو فريدريك ستانلي كبينغ ، ويتم صناعة منتجات السيليكون بتفاعلات إضافة الأوليفينات أو تفاعلات التكاثف بوجود الصوديوم وتشمل:

أ- **المنتجات السائلة السيليكونية.fluids silicones**

تتميز البولميرات السيليكونية السائلة بتنوع أوزانها الجزيئية ما يؤهلها لاستخدامات متنوعة. يتم استعمالها من دون إضافات أو مواد مالئة ويغلب استخدامها عند صناعة مواد التشحيم والورانيش المختلفة وفي صناعة اسفنجيات بولي الأوريثان ومعالجة السطوح والمنسوجات والورق والجلود.

ب- الراتنجات السيليكونية.resins silicones

تتشكل الراتنجات السيليكونية عادة بإضافة الماء إلى ثلاثي كلور السيلان ويتم التفاعل بوسط محل من التولوين أو الكسيلين ووسيط من الأوكتات) octatesالأوكتات هي مركبات من الكحولات معالَجَة بالصوديوم أو النفثانات naphthénates .

يمكن أن تتفاعل الراتنجات السيليكونية مع المركبات العضوية مثل مركبات الأيبوكسيدات (بيروكسيد البنزويل على سبيل المثال) معطية مواد تتميز بمقاومة ميكانيكية عالية وثبات حراري مرتفع وعزل كهربائي جيد. تستخدم راتنجات السيليكون في صناعة الزجاج والألياف الزجاجية وفي العوازل الكهربائية.

ج- **المطاطيات السيليكونية. rubber silicones**

تتشكل بوليمرات المطاطياتالسيليكونية بدءاً من بولي ثنائي ميثيل السيلوكسان ويعطي إدخال ذرات من الفلور أو النتروجين في بنية المطاطيات السيليكونية مواصفات ممتازة متمثلة في المقاومة العالية للحرارة (تراوح بين – ٧٠ْس و٢٥٠ْس) ومقاومة للزيوت والبنزن ، وتتميز المطاطيات السيليكونية بخواص عزل كهربائية جيدة ومقاومة ملحوظة للمواد الكيميائية الحمضية منها والقلوية ومقاومتها للأشعة فوق البنفسجية وعوامل الأكسدة. (واصل، ٢٠٠٥)

٤- راتنجات الإيبوكسي Resin Epoxy

مادة كيمائية تعتبر أحد أنواع اللدائن الصلبة بالحرارة ذات مركبين : أساس (resin) ومصلب (hardener) وهي شديدة الالتصاق ومقاوم للاحتكاك والمواد الكيماوية سواء كانت أحماض أو قواعد أو مذيبات، حيث تتشكل طبقة عازلة عند جفافها. تستخدم كطلاء أو مونة أو لاصق. وأول محاولة لإنتاجه من هذه المادة كانت في عام ١٩٢٧ بالولايات المتحدة عبر شركة سيبا السويسرية لإنتاج الكيماويات.

ينتمي راتنج الإيبوكسي إلى مجموعة الراتنجات المتصلبة بالحرارة حيث تتميز هذه الراتنجات بعدم إمكانية إعادة تشكيلها بالحرارة بعد تحولها إلى مادة صلبة نتيجة لتكون سلاسل بوليميرية طويلة متشابكة مع بعضها وهو ما يسمى بالربط التشابكي . يحتوي راتنج الإيوكسي على مجموعتين أو أكثر من مجاميع الإيبوكساید التي تتألف من ذرة أُوكسجين مرتبطة مع ذرتي كاربون ترتبط مجموعة الإيبوكسي كيميائياً مع الجزيئات الأُخرى لتشكيل شبكة ثلاثية الأبعاد ذات ربط تشابكي بعملية المعالجة. يتميز راتنج الإيبوكسي بالصلادة والمقاومة الكيميائية العاليتين نسبياً إضافة إلى ذلك يمتلك هذا الراتنج قابلية إلتصاق نوعي عالي بسبب التركيب الكيميائي لهذا الراتنج والمتمثل في مجموعة الإيثرات والهيدروكسيل والمجاميع القطبية التي تعطي متانة وإلتصاق عالية وتكسب المادة صلادة وقوة ، لذلك يستعمل في التطبيقاتالتي تتطلب إداءاً وظيفياً عالياً . تتفاعل هذه الراتنجات مع المصلدات أثناء المعالجة ويكون التفاعل غير مصحوب بإنبعاث الماء أو تحرر أي منتجات ثانوية مما يجعل التقلص الحجمي قليل جداً وبالتالي يكتسب الراتنج قوة وخواص ميكانيكية عالية إضافة إلى ذلك تمتلك راتنجات الإيبوكسي المعالجة متانة عالية نتيجة للبعد بين نقاط الربط التشابكي ووجود السلاسل الإليفانية المتكاملة .(Biron, 2007)

وتتميز الراتنجات الايبوكسيه بالترابط الجيد مع الزجاج، فمن السهل لصق الزجاج بالزجاج ولكن من الصعب لصق الزجاج بمادة اخرى حيث يمكن ان يحدث فرق كبير فى التمدد الحرارى ولهذا فان الايبوكسيات مناسبة وذلك لنضجهاعند درجة حرارة مناسبة تحمي الزجاج من الكسر.فان راتنج الايبوكسي مع بولى اسيد يعتبر لاصقا جيداً للزجاج وان اضافة مادة مرنة تحسن اللصق من هذه الناحية ويناسب لهذا الغرض المطاط البولى سلفيت، وكذلك يتميز لاصق الايبوكس في عملية لصق الزجاج بسبب قلة تقلصه ونقاوته وقوته العالية، ومع ذلك فان هناك بعض العيوب كالقوة العالية حيث انه اقوى من الزجاج نفسه وبالتالي من الممكن ان يؤثر على الزجاج ويسبب فيه الاجهاد ، كذلك مدة التشغيل الطويلة جدا والميل للاصفرار وخاصة عند التعرض للضوء العالي.

وايضا يمكن حدوث نوع من التشقق بالايبوكسي اذا ذادت نسبته المقررة ب ١-٢%واخيرا نقص المقاومة وخصوصاً فى الرطوبة العالية.(Koob.S.P, 2006)

الدراسة التجريبية:

ركزت الدراسة التجريبية على اللواصق بشكل اساسي لتحديد اثرها على مسحوق الزجاج من حيث (التماسك - القدرة على التشكيل في القوالب المساعدة او التشكيل الحر - الحفاظ على الشكل والحجم واللون للزجاج خلال عملية اعادة التشكيل الحراري) .**وبالتالي تحددت محاور الدراسة التجريبية على ثلاثة تجارب أساسية :-**

١- **تجربة (١)** اثر مقاسات حبيبات مسحوق الزجاج على قابليته للتشكيل الحر أو في قوالب مساعدة.

٢- **تجربة (٢)** اثر استخدام اللواصق الطبيعية على تشكيل مسحوق الزجاج.

٣- **تجربة (٣)** اثر استخدام اللواصق الصناعية على تشكيل مسحوق الزجاج.

كما تم استخدام التقديرات (ضعيف جدا - ضعيف – جيد – جيد جدا – ممتاز) في مناقشة نتائج التجارب لتحديد مدى مستوى اثر اللاصق على حبيبات مسحوق الزجاج .

تجربة (١)

اثر مقاسات حبيبات مسحوق الزجاج على قابليته للتشكيل الحر أو في قوالب مساعدة:

هدف التجربة

تحديد اثر مقاسات حبيبات مسحوق الزجاج على مدى قابلية الزجاج للتشكيل الحر أو في قوالب مساعدة.

فرض التجربة

أنه بمزج مسحوق زجاج مقاس حبيباته (٢مم-١مم) (Fine) وآخر (اقل من ١مم) (Powder) مع تثبيت نسبة الماء (أبسط أنواع اللواصق) ، نوع ولون الزجاج (زجاج أزرق COE 96) ، نوع وشكل القالب المساعد (قوالب السليكون) ومنحني التسخين والتبريد الحراري ، يمكن تحديد أفضل مقاسات حبيبات الزجاج قابلية للتشكيل الحر أو في قوالب مساعدة.

خطوات التجربة

- عينة (١) مزج حبيبات زجاج مقاسات (٢مم-١مم) (Fine) مع الماء .

- عينة (٢) مزج حبيبات زجاج مقاسات (اقل من١مم) (Powder) مع الماء.

- عينة (٣) مزج حبيبات الزجاج مقاسات (٢مم-١مم) (Fine) مع الاخرى (اقل من١مم) (Powder) مع الماء.

- ضغط المزيج داخل قالب مساعد للتشكيل من السليكون المطاطي .

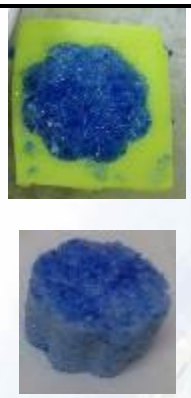
–يجمد قالب التشكيل المساعد بالزجاج في درجة حرارة -٥٣م لمدة ساعة لضمان جودة تماسك الحبيبات.

- يزال الزجاج المشكل من القالب المساعد ويوضع على رف الفرن ويترك للجفاف الكلي.

- يحرق الزجاج بمعدل بطيئ حتى درجة حرارة ٧٦٠ م.

- الجدول (١) توضح نتائج تجربة (١).

جدول (١) نتائج تجربة (١) اثر مقاسات حبيبات مسحوق الزجاج على قابليته للتشكيل الحر أو في قوالب مساعدة

رقم العينة	(١)		(٢)		(٣)	
اللاصق المستخدم	الماء الفاتر Water		الماء الفاتر Water		الماء الفاتر Water	
	قبل الحريق	بعد الحريق	قبل الحريق	بعد الحريق	قبل الحريق	بعد الحريق
شكل العينة						
قابلية التشكيل في قالب مساعد	ضعيف	-	جيد جدا	-	جيد	-
قابلية التشكيل الحر بدون قالب	ضعيف جدا (غير قابل للتشكيل)	-	جيد	-	ضعيف	-
التماسك بين الحبيبات	ضعيف	ممتاز	جيد جدا	جيد جدا	جيد	جيد
الاحتفاظ بالشكل	ضعيف	ضعيف جدا (انهيار كامل)	جيد جدا	جيد جدا	جيد	جيد
الاحتفاظ بالحجم	جيد	جيد جدا	جيد جدا	جيد جدا	جيد	جيد

النتائج ومناقشتها

- أفضل العينات عينة (٢) (الأقل في مقاس الحبيبات) ذلك من حيث القابلية للتشكيل الحر والتشكيل في القالب المساعد.
- كلما صغرمقاس الحبيبات زاد تماسكها وسهولة تشكيلها وكذلك الاحتفاظ بالشكل والحجم.
- يتميز كبر مقاسات الحبيبات بالاحتفاظ بشفافية الزجاج ولونه وسهولة عملية اعادة تشكيل الزجاج حراريا.

تجربة (٢)
اثر استخدام اللواصق الطبيعية على تشكيل مسحوق الزجاج:

هدف التجربة

دراسة أثر اللواصق الطبيعية على مسحوق الزجاج من حيث التماسك ومدى القابلية للتشكيل الحر أو في قوالب مساعدة وعلى عملية اعادة التشكيل حراريا.

فرض التجربة

أنه بمزج مسحوق زجاج مقاس حبيباته (اقل من ١مم) (Powder) مع أنواع متعددة من اللواصق الطبيعية بنسب ثابتة ، وتثبيت نوع ولون الزجاج (زجاج أزرق COE96) ، نوع وشكل القالب المساعد (قوالب السليكون) ومنحني التسخين والتبريد الحراري ، يمكن تحديد أثر كل لاصق على مسحوق الزجاج من حيث قابليتة للتشكيل الحر او في قوالب مساعدة وكذلك على عملية اعادة التشكيل الحراري.

اللواصق الطبيعية المستخدمة

الماء water– الطحين flour– النشا starch - الصمغ العربي Arabic gum.

خطوات التجربة

- مزج عينات من مسحوق زجاج مقاسات (اقل من١مم) (Powder) مع نسبة ثابتة من اللاصق الطبيعي .
- ضغط المزيج داخل قالب مساعد للتشكيل من السليكون المطاطي .
- يجمد قالب التشكيل المساعد بالزجاج في درجة حرارة -٣٥م لمدة ساعة لضمان جودة تشكيل المسحوق.
- يزال الزجاج المشكل من القالب ويوضع على رف الفرن ويترك للجفاف الكلي.
- يشكل جزء من المسحوق الممزوج باللاصق الطبيعي تشكيلا حرا لتوضيح مدى نجاح كل لاصق لجعل مسحوق الزجاج يتشكل تشكيلا حراً .
- يحرق الزجاج بمعدل بطيئ حتى درجة حرارة ٧٦٠ م.
- الجداول (٢) و (٣) توضح نتائج تجربة (٢).

جدول (٢) نتائج تجربة (٢) اثر استخدام اللواصق الطبيعية على تشكيل مسحوق الزجاج لعينتي (٤ و٥)

رقم العينة	(٤)		(٥)	
اللاصق المستخدم	الماء الفاتر Water		الطحين flour	
	قبل الحريق	بعد الحريق	قبل الحريق	بعد الحريق
شكل العينة				
قابلية التشكيل في قالب مساعد	جيد جدا	-	ممتاز	-
قابلية التشكيل الحر بدون قالب	جيد	-	ممتاز	-
التماسك بين الحبيبات	جيد جدا	جيد جدا	جيد جدا	جيد جدا
الاحتفاظ بالشكل	جيد جدا	جيد جدا	جيد جدا	جيد جدا
الاحتفاظ بالحجم	جيد جدا	جيد	ضعيف	ضعيف
الاحتفاظ بدرجة اللون	جيد	جيد جدا	ضعيف	جيد
النتائج ومناقشتها	- الماء كلاصق جيد جدا للصق حبيبات مسحوق الزجاج وبالتالي سهولة التشكيل في قوالب مساعدة. - يسهل تشكيل الحبيبات الزجاجية تشكيلا حرا في الإتجاه الأفقي . - يصعب تشكيل المسحوق الممزوج بالماء كتشكيل حر لأشكال نحتية لضعف التماسك بين حبيباته في الاتجاه العكسي للجاذبية الارضية. - ينكمش منتج الزجاج الممزوج بالماء بعد الحريق بحوالي ١٠% من حجمه الاصلي. - يتميز الماء بالحفاظ على درجة لون الزجاج ونقاء الحريق من الروائح والابخرة وكذلك الرواسب داخل الزجاج.		- الطحين كلاصق ممتاز للصق حبيبات مسحوق الزجاج مما يسهل من تشكيله في قوالب مساعدة وكتشكيل حر فيجعل الحبيبات اشبه بالعجين. - ينكمش الزجاج الممزوج بالطحين بعد الحريق بحوالي ٢٥% من حجمه الاصلي. - يتكون بعض الرواسب البيضاء بين حبيبات مسحوق الزجاج وخاصة عند القاعدة البعيدة عن مصدر حرارة الفرن اثناء اعادة التشكيل الحراري ويرجع ذلك لصعوبة الاحتراق الكامل للاصق في الاجزاء البعيده عن الحرارة.	

جدول (٣) نتائج تجربة (٢) اثر استخدام اللواصق الطبيعية على تشكيل مسحوق الزجاج لعينتي (٦ و٧)

رقم العينة	(٦)		(٧)	
اللاصق المستخدم	النشا starch		الصمغ العربي Arabic gum	
	قبل الحريق	بعد الحريق	قبل الحريق	بعد الحريق
شكل العينة				
قابلية التشكيل في قالب مساعد	جيد	-	ممتاز	-
قابلية التشكيل الحر بدون قالب	ضعيف	-	جيد جدا	-
التماسك بين الحبيبات	جيد	ضعيف	جيد جدا	ممتاز
الاحتفاظ بالشكل	ضعيف	ضعيف جدا	جيد	جيد
الاحتفاظ بالحجم	ضعيف	ضعيف جدا	جيد جدا	جيد جدا
الاحتفاظ بدرجة اللون	ضعيف	ضعيف	جيد جدا	جيد جدا
النتائج ومناقشتها	-النشا يجعل مسحوق الزجاج مطاطياً مائعاً . - يصعب احتفاظ مسحوق الزجاج الممزوج بالنشا بشكل القالب او التشكيل الحر لفترة طويلة نظرا لميوعة المزيج. - يؤثر النشا تاثيرا كبيرا على درجة لون الزجاج نظرا لتكتل اللاصق على سطح الحبيبات . - يؤثر النشا بشكل مباشر على تماسك الحبيبات بعد الحريق ويجعل الزجاج هشً سهل الكسر.		- الصمغ العربي يجعل مسحوق الزجاج يشبه العجين المطاطي. - يتغير بدرجة طفيفة تماسك وشكل حبيبات الزجاج الممزوجة بالصمغ العربي. - يتميز الصمغ العربي بالحفاظ على درجة لون الزجاج ونقاء الحريق من الابخرة والرواسب على سطح الزجاج. - يؤثر الصمغ العربي على انكماش حجم مسحوق الزجاج بنسبة حوالي ٥%.	

تجربة (٣)

اثر استخدام اللواصق الصناعية على تشكيل مسحوق الزجاج:

هدف التجربة

دراسة أثر اللواصق الصناعية على مسحوق الزجاج من حيث التماسك ومدى القابلية للتشكيل الحر أو في قوالب مساعدة وعلى عملية اعادة التشكيل حراريا.

فرض التجربة

أنه بمزج مسحوق زجاج مقاس حبيباته (اقل من ١مم) (Powder) مع أنواع متعددة من اللواصق الصناعية بنسب ثابتة ، وتثبيت نوع ولون الزجاج (زجاج أزرق COE96) ، نوع وشكل القالب المساعد (قوالب السليكون) ومنحني التسخين والتبريد الحراري ، يمكن تحديد أثر كل لاصق على مسحوق الزجاج من حيث قابليتة للتشكيل الحر او في قوالب مساعدة وكذلك على عملية اعادة التشكيل الحراري.

اللواصق الصناعية المستخدمة

الصمغ Glue – الغراء الأبيض White Glue – چلpate de verr glue – صمغ Fuse master – صمغ Glastac – الايبوكسي عالي الشفافية Epoxy – لاصق السليكون Silicon.

خطوات التجربة

- مزج عينات من مسحوق زجاج مقاسات حبيباته (اقل من١مم) (Powder) مع نسبة ثابتة من اللاصق الصناعي.
- ضغط المزيج داخل قالب مساعد للتشكيل من السليكون المطاطي .
- يجمد قالب التشكيل المساعد بالزجاج في درجة حرارة -٣٥م لمدة ساعة لضمان جودة تشكيل الحبيبات.
- يزال الزجاج المشكل من القالب المساعد ويوضع على رف الفرن ويترك للجفاف الكلي.
- يشكل جزء من مسحوق الزجاج باللاصق الصناعي تشكيلا حرا لتوضيح مدى نجاح كل لاصق لجعل مسحوق الزجاج يتشكل تشكيلا حراً .
- يحرق الزجاج بمعدل بطيئ حتى درجة حرارة ٧٦٠ م.
- الجداول (٤) ، (٥) ، (٦) توضح نتائج عينات التجربة.

جدول (٤) نتائج تجربة (٣) اثر استخدام اللواصق الصناعية على تشكيل مسحوق الزجاج لعينتي (٨ و٩)

رقم العينة	(٨)		(٩)	
اللاصق المستخدم	صمغ (Eco Universal Glue)[1]		الغراء الأبيض White glue	
	قبل الحريق	بعد الحريق	قبل الحريق	بعد الحريق
شكل العينة				
قابلية التشكيل في قالب مساعد	ضعيف جدا	-	جيد جدا	-
قابلية التشكيل الحر بدون قالب	جيد	-	ضعيف	-
التماسك بين الحبيبات	ضعيف	ضعيف	جيد	جيد جدا
الاحتفاظ بالشكل	جيد	جيد جدا	جيد جدا	جيد جدا
الاحتفاظ بالحجم	جيد	جيد	جيد جدا	جيد
الاحتفاظ بدرجة اللون	ضعيف	ضعيف	ضعيف	ضعيف
النتائج ومناقشتها	-الصمغ يجعل مزيج مسحوق الزجاج مطاطياً لدناً مما يصعب تشكيله في القالب المساعد. - يسهل تشكيل مسحوق الزجاج الممزوج بالصمغ تشكيلا نحتيا ولكن خلال فترة زمنية قصيرة قبل تصلب المزيج على حسب نوع الصمغ المستخدم. - يؤثر الصمغ تاثيرا كبيرا على درجة لون الزجاج. - يضعف الصمغ الصناعي تماسك حبيبات مسحوق الزجاج وبالتالي سهولة كسر الزجاج بعد الحريق.		- الغراء الأبيض يجعل مزيج مسحوق الزجاج يشبه العجين المرن. - يسهل تشكيل مسحوق الزجاج الممزوج بالغراء الابيض في القوالب المساعدة في حين صعوبة تشكيلها تشكيلا حرا نظرا لقلة لزوجة المزيج . - يؤثر الغراء الابيض تاثيرا كبيرا على الاحتفاظ بدرجة لون الزجاج وتترك رواسب على سطح الزجاج. - ينكمش منتج الزجاج بعد الحريق بحوالي ١٠% من حجمه الاصلي.	

[1] نوع من انواع الصموغ الصناعية الشفافة القوية تستخدم للصق جميع الأسطح عامة مثل الزجاج والورق.

جدول (٥) نتائج تجربة (٣) اثر استخدام اللواصق الصناعية على تشكيل مسحوق الزجاج لعينتي (١٠ و ١١)

رقم العينة	(١٠)		(١١)	
اللاصق المستخدم	جل pate de verr glue [٢]		صمغ Fuse master [٣]	
	قبل الحريق	بعد الحريق	قبل الحريق	بعد الحريق
شكل العينة				
قابلية التشكيل في قالب مساعد	ممتاز	-	جيد جدا	-
قابلية التشكيل الحر بدون قالب	جيد	-	ضعيف	-
التماسك بين الحبيبات	جيد	جيد جدا	جيد	جيد جدا
الاحتفاظ بالشكل	جيد جدا	جيد جدا	جيد جدا	جيد جدا
الاحتفاظ بالحجم	جيد جدا	جيد جدا	جيد جدا	جيد
الاحتفاظ بدرجة اللون	جيد	ضعيف	ضعيف	ضعيف
النتائج ومناقشتها	- الجل يجعل مزيج مسحوق الزجاج مرنا متوسط اللزوجة مما يسهل من عملية تشكيله في القالب المساعد وتشكيله حرا في الاتجاه الافقي على الاسطح الزجاجية ، ولكن على الجانب الاخر يصعب من تشكيله تشكيلا حرا نحتياً . - يؤثر الجل تاثيرا ملحوظا على درجة لون الزجاج. - يتميز بانه يعطي الزجاج قوة تماسك كبيرة بين حبيبات المسحوق ، وحريق نظيف دون رواسب أو روائح وأبخرة وانكماش ضعيف لحجم منتج الزجاج.		- صمغ سائل يجعل مزيج مسحوق الزجاج مرنا منخفض اللزوجة مما يسهل من عملية تشكيله في القالب المساعد وتشكيله حرا في الاتجاه الافقي على الاسطح الزجاجية ولكن على الجانب الاخر يصعب من تشكيلهتشكيلا حرا نحتياً ضد الجاذبية الارضية . - يؤثر تاثيرا ملحوظا على درجة لون الزجاج.	

[٢] نوع من انواع الصموغ الصناعية (جل) منتج بواسطة شركة fuse master الامريكية صنع خصيصا للصق حبيبات الزجاج والرسم بها على الاسطح الزجاجية.

[٣] نوع من انواع الصموغ الصناعية (سائل) منتج بواسطة شركة fuse master الامريكية صنع خصيصا للصق حبيبات الزجاج والرسم بها على الاسطح الزجاجية.

جدول (٦) نتائج تجربة (٣) اثر استخدام اللواصق الصناعية على تشكيل مسحوق الزجاج للعينات(١٢ و١٣ و١٤)

رقم العينة	(١٢)		(١٣)		(١٤)	
اللاصق المستخدم	صمغ Glastac [٤]		الإيبوكسي عالي الشفافية Epoxy [٥]		لاصق السليكون Silicon	
	قبل الحريق	بعد الحريق	قبل الحريق	بعد الحريق	قبل الحريق	بعد الحريق
شكل العينة						
قابلية التشكيل في قالب مساعد	جيد جدا	-	ممتاز	-	جيد	-
قابلية التشكيل الحر بدون قالب	ضعيف	-	جيد جدا	-	جيد	-
التماسك بين الحبيبات	جيد	جيد	جيد جدا	جيد جدا	جيد	ممتاز
الاحتفاظ بالشكل	جيد جدا	جيد جدا	جيد جدا	جيد جدا	جيد	جيد
الاحتفاظ بالحجم	جيد جدا	جيد	جيد جدا	ممتاز	جيد جدا	جيد جدا
الاحتفاظ بدرجة اللون	ضعيف	ضعيف	جيد جدا	جيد	جيد	جيد
النتائج ومناقشتها	- صمغ سائل يجعل مزيج مسحوق الزجاج مرنا منخفض اللزوجة مما يسهل من عملية تشكيله في القالب المساعد وتشكيله حرا في الاتجاه الافقي على الاسطح الزجاجية ، ولكن على الجانب الاخر يصعب من تشكيله تشكيلا حرا نحتياً . - يؤثر تاثيرا ملحوظا على درجة لون الزجاج.		راتنج الإيبوكسي يجعل مزيج مسحوق الزجاج عجينا لزجاً مما يسهل من عملية تشكيله في القالب المساعد وتشكيله لأعمال نحتية مجسمة ، في حين صعوبة التشكيل في الاتجاه الافقي لفترة طويلة نتيجة لقصر زمن تصلبه . - يساعد على احتفاظ منتج الزجاج بالشكل والحجم مع التغيير نوعاً ما في درجة اللون. - خروج روائح اثناء الحريق .		لاصق السليكون يجعل مزيج مسحوق الزجاج عجينا متوسط اللزوجة مما يسهل من عملية تشكيله في القالب المساعد وتشكيله حرا لمجسمات نحتية. - يساعد على احتفاظ منتج الزجاج بالشكل والحجم مع التغيير نوعاً ما في درجة اللون. - خروج روائح اثناء الحريق.	

[٤] نوع من انواع الصموغ الصناعية (سائل) التي تتكون بشكل اساسي من السليلوز المثيلي منتج بواسطة شركة Bullseye Glass الامريكية للصق حبيبات الزجاج ويحترق عند حوالي ١٠٠ درجة مئوية.

[٥] هو راتنج ايبوكسي عالى الشفافية سريع الجفاف بعد المزج بالمصلب بعد خمس دقائق.

وبعد ما توصلت اليه نتائج الدراسة التجريبية من أساليب تكنولوجية مستحدثة في اعادة تشكيل مسحوق الزجاج حراريا بالاستفادة من اثر اللواصق المختلفة لعمل تشكيلات متنوعة من مسحوق الزجاج لا تنتج بالطرق التقليدية لإعادة تشكيل الزجاج حراريا ، أمكن إنتاج العديد من التطبيقات المتميزة التي أضافتاثرا جماليا وتقنيا مستحدثاً كما يلي :-

التطبيق (١)

الهدف

التأكيد على امكانية التشكيل الحر لمسحوق الزجاج في الإتجاه الأفقي بأشكال زخرفية مفرغة باستخدام لاصقي الماء والصمغ العربي .

اللواصق المستخدمة

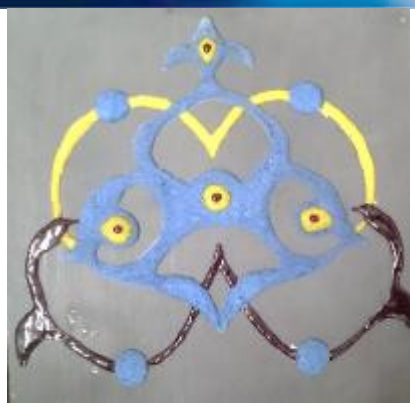
الماء Water – الصمغ العربي Arabic gum

خطوات التنفيذ

- يمزج مسحوق زجاج باللون الأصفر والأحمر بمقاسات حبيبات (اقل من١مم) (Powder) مع الماء ، ومزج مسحوق زجاج باللون الأزرق بمقاسات حبيبات (اقل من١مم) (Powder) مع الصمغ العربي.
- وضع التصميم على الورق الحراري فوق رف الفرن.
- باستخدام الأدوات يرسم ويسوى مزيج مسحوق الزجاج على الأشكال الزخرفية وتزال الذوائد بفرشاة تلوين.
- يوضع الرف داخل الفرن ويترك للجفاف الكلي ويوضح شكل (١) خطوات التنفيذ.

شكل (١) خطوات تنفيذ التطبيق الأول

- يحرق الزجاج بمعدل بطيئ حتى درجة حرارة ٧٦٠ °م.
- يوضح شكل (٢) المنتج التطبيقي.



شكل (٢) شكل المنتج التطبيقي

التطبيق (٢)

الهدف

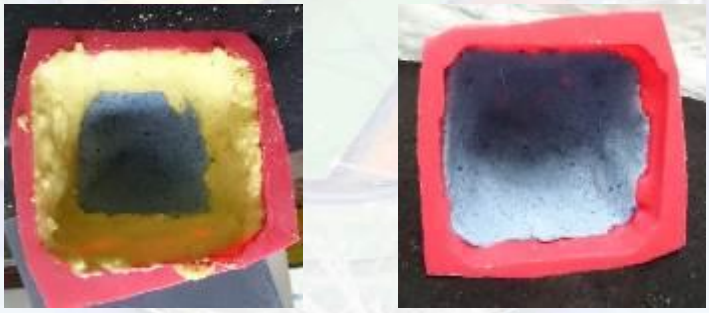
التأكيد على مميزات استخدام لاصق الطحين لتشكيل مسحوق الزجاج لأشكال نحتية مجسمة ومفرغة باستخدام القوالب المساعدة .

اللواصق المستخدمة

الطحين flour

خطوات التنفيذ

- مزج مسحوق الزجاج باللونين الأصفر واللون الازرق بمقاسات حبيبات (اقل من١مم) (Powder) مع الطحين .
- عمل كتلة عجين لكل لون زجاج من مزيج مسحوق الزجاج مع الطحين والماء.
- باستخدام قالب مساعد يوزع العجين على الجدران الداخلية للقالب بالسمك المرغوب فيه.
- يترك العجين ليجف ويخرج من القالب ويوضع على الرف داخل الفرن ويترك للجفاف الكلي ، ويوضح شكل (٣) خطوات وضع المسحوق داخل القالب المساعد.



شكل (٣) خطوات وضع المسحوق داخل القالب المساعد.

- يحرق الزجاج بمعدل بطيئ حتى درجة حرارة ٧٦٠ °م.
- يوضح شكل (٤) شكل المنتج التطبيقي.

شكل (٤) شكل المنتج التطبيقي

التطبيق (٣)

الهدف

التأكيد على مميزات استخدام لاصق الإيبوكسي في تشكيل مسحوق الزجاج تشكيلا حرا لمجسمات نحتية.

اللواصق المستخدمة

الإيبوكسي عالي الشفافية Epoxy

خطوات التنفيذ

- مزج مسحوق الزجاج باللون الأصفر وأخرى باللون الاحمر بمقاسات حبيبات (اقل من١مم) (Powder) مع الايبوكسي.
- عمل كتل عجين لكل لون زجاج من مزيج مسحوق الزجاج مع الايبوكسي.
- يتم التشكيل الحر المطلوب للمجسم النحتي جزء جزء حتى اكتمال البنية للشكل.
- يترك المجسم النحتي ليجف ويوضع على الرف داخل الفرن ويترك للجفاف الكلي.
- يحرق الزجاج بمعدل بطيئ حتى درجة حرارة ٧٦٠ °م.
- يوضح شكل (٥) شكل المنتج التطبيقي.

شكل (٥) شكل المنتج التطبيقي

نتائج البحث ومناقشتها

- يمكن باستخدام اللواصق المختلفة الخروج من الطرق التقليدية لاعادة تشكيل مسحوق الزجاج حراريا من لزوم عمل نماذج وقوالب للتشكيل الى امكانية التشكيل الحر او بالقوالب المساعدة .

- يعد لاصقي الماء والصمغ العربي أنقي وأفضل اللواصق الطبيعية ، من حيث الحفاظ على درجات لون وحجم وشكل المنتج الزجاجي ، مع نقاء الحريق من الروائح والأدخنة او ترك رواسب على سطح الزجاج.

- يتميز لاصقي الماء والصمغ العربي بالتأثير على مسحوق الزجاج في قابليته للتشكيل الحر في الاتجاه الافقي ، ولكن يصعب باستخدامهم تشكيل مسحوق الزجاج تشكيلاً حراً لأشكال نحتية مجسمة دون اللجوء لقالب مساعد.

- باستخدام مميزات الماء والصمغ العربي كلواصق يمكن عمل أشكالا زخرفية دقيقة ومفرغة بارتفاعات متنوعة دون الحاجة لإستخدام التكنولوجيا التقليدية المعقدة في استخدام منشار الزجاج لتقطيع مثل تلك الاشكال الزخرفية .

- يتميز الطحين كلاصق طبيعي بأثره الفعال على عمل عجين مطاطي من مسحوق الزجاج يسهل تشكيله لمجسمات نحتية ، وعلى الرغم من اثره كلاصق في الحفاظ على شكل الزجاج الا انه ينكمش بعد الحريق ويتسبب في تغيير درجة لون الزجاج وترك بعض الرواسب على سطح الزجاج.

- باستخدام لاصق الطحين يمكن عمل مجسمات نحتية بمسحوق الزجاج بأسماك رقيقة ، ومفرغة من الداخل باستخدام قوالب مساعدة دون الحاجة لعمل قوالب مركبة من اكثر من جزء كما في الطرق التقليدية.

- يعتبر الايبوكسي من أفضل اللواصق الصناعية في تماسك مسحوق الزجاج وحفاظه على درجة اللون والشكل والحجم ، مع تميزه بسهولة تشكيل الزجاج تشكيلا حرا لمجسمات نحتية ، لكن مع عيوب لزاجه ملمسه وقصر زمن التشكيل مع خروج روائح اثناء الحريق.

المراجع

١- واصل, م. م. (2005). *كيمياء البوليمرات*. دار الفجر للنشر والتوزيع.

2- Biron, M. (2007). *Thermoplastics and thermoplastic Composites* (1st ed.). Elsevier.

3- Kervin, J., & Fenton, D. (2000). *Pate de verre and kiln casting of glass.* CA: Glass Wear Studios.

4- Koob.S.P. (2006). *Conservation and Care of Glass Objects.* London: Archetype publications Ltd.

5- Lundstrom, B. (1989). *Glass Casting and Mold making.* Canada: Vitreous Publications.