أثر تعدد تقنيات إعادة التشكيل الحراري على إظهار خصائص (اللون – الشفافية – الملمس) في الزجاج

أ.م.د/ حسام الدين نظمي حسني

أستاذ مساعد بقسم الزجاج – كلية الفنون التطبيقية – جامعة حلوان

ملخص البحث:

تعد تقنيات إعادة التشكيل الحراري للزجاج أحد التقنيات الهامة المؤثرة في مجالات الإنتاج الزجاجي؛ فهي تعتمد على تعريض الزجاج المصنع سابقاً بهيئاته المختلفة إلى درجات حرارة مرتفعة تعمل على إعادة صياغة شكله إلى هيئة جديدة في شكل منتج متنوع الاستخدام، قد يرتبط بالوظيفة الاستخدامية أو الجمالية أو الدمج بينهما، ويرتبط هذا البحث بتقنيات إعادة التشكيل الحراري للزجاج في مجالات الاستخدامات ذات الطبيعة الجمالية، وهو في هذا المسار يتعرض للعناصر المكوِّنة لشكل المنتج مؤكداً على دور عناصر اللون والشفافية والملمس في التأكيد على جماليات المنتج بكل تقنية. وتباين الأساليب الإنتاجية في تقنيات إعادة التشكيل الحراري يوفر اتجاهات متنوعة وقيود في التشكيل لتحقيق متطلبات مطابقة التصميم بالإنتاج متمثلاً في إظهار عناصر بناء الشكل، ومن هنا كانت مشكلة البحث في عدم وجود دراسات كافية حول متطلبات تحقيق خصائص اللون والشفافية والملمس في الزجاج المعاد تشكيله حرارياً في ظل التنوع التقني للطرق والأساليب المستخدمة.

وعلى ذلك كان الهدف الأساسي للبحث هو وضع مجموعة من الاعتبارات المؤثرة في بعض العناصر التشكيلية لمظهر المنتجات الزجاجية من خلال دراسة متطلبات إظهار خصائصها في تقنيات إعادة التشكيل الحراري، وبما يسهم في خدمة المسارات المختلفة المرتبطة بالدراسات الأكاديمية والعملية للتقنية والمرتبطين باستخدامها، ومن هنا جاءت فرضية البحث بإمكانية الوصول إلى مجموعة من الاعتبارات التكنولوجية لتحقيق أهم خصائص إظهار الشكل (اللون – الشفافية – الملمس) في علاقتها بتنوع أساليب وطرق إنتاج الزجاج بإعادة التشكيل الحراري.

وقد طرح البحث مجموعة من المحاور الرئيسية التي حاولت تحقيق هدف البحث، ومنها تحديد الأساسيات العلمية والفنية للون والشفافية والملمس وأثرها في الزجاج المعاد تشكيله حرارياً، كما اتجه المحور الثاني للبحث لتصنيف الأساليب التقنية الرئيسية لإعادة تشكيل الزجاج حرارياً مع تحديد المستويات الحرارية لكل منها، ومن أهم نتائج البحث وضع أهم طرق تحقيق خصائص اللون والشفافية والملمس بكل تقنية، إضافة إلى وضع الاعتبارات التقنية لكل عنصر في علاقته بتنوع الأساليب الإنتاجية للزجاج المعاد تشكيله حرارياً؛ حيث تؤثر هذه الاعتبارات في وضع منظومة إنتاجية تحيل الكثير من الأساليب الذاتية في تنفيذ الزجاج المعاد تشكيله حرارياً إلى نظم علمية وفنية يسهل تطبيقها وبالتالي يمكن تطويرها في مسارات التصميم والإنتاج.

الكلمات المفتاحية: إعادة التشكيل الحراري للزجاج، العناصر التشكيلية لبناء المنتج، اللون، الشفافية، الملمس.

DOI:10.12816/0038027

"The effect of multiple thermoforming techniques on showing properties of (Color – transparency – texture) in glass"

Dr Hossam El Dein Nazmy Hosny
Assistant Professor, Faculty of Applied Arts, Helwan University

Abstract:

Glass thermoforming techniques are one of the most important techniques in glass production. They are based on the exposure of previously manufactured glass to high temperatures, which are reformed into a new shape in the form of a diversified product, which may be related to functional, aesthetic functions or the integration between them.

This research is related to the techniques of the thermoforming of glass in the field of uses of aesthetic nature, which in this trend is exposed to the constituents of the product form. It is emphasizing the function of color, transparency and texture elements in the aesthetics of the product for each technique. The different methods of production in thermoforming techniques provide a variety of directions and constraints in the formation to meet the requirements of the design conforming to the production in showing elements of product construction.

Hence, the research problem was the lack of sufficient studies on the requirements for achieving the characteristics of color, transparency and texture in thermoforming of glass in the technical diversity of the used methods.The main objective of the research is to develop a set of considerations affecting some of the forming elements of the appearance of glass products by studying the requirements of showing their properties in thermoforming techniques. And thus contribute to the service of different paths associated with the academic and practical studies of technology and users, and hence came the hypothesis of research access to a range of technological considerations to achieve the most important characteristics of the appearance of the form (color – transparency – texture) in relation to the diversity of production methods of thermoforming glass.

The research presented a set of main axes that tried to achieve the research objective, including determining the scientific and artistic foundations of color, transparency, texture and its impact on thermally reforming glass. The second axis of the research was to classify the main technical methods of glass thermoforming with the determination of their thermal levels. The most important results of the research to develop important methods to achieve the characteristics of color, transparency and texture with each technique, In addition to the technical considerations of each element in relation to the variety of production methods of thermoforming glass. These considerations affect the development of a production system that transfers a lot of self-techniques in the implementation of thermoformed glass to scientific and technical systems that are easy to apply and can therefore be developed in design and production paths.

Keywords: Thermoforming of glass, Elements of product form, Color, Transparency, Texture.

مقدمة:

تتنوع التقنيات المستخدمة في إعادة التشكيل الحراري للزجاج، بغرض الحصول على أشكال مختلفة من المنتجات التي تحمل سمات فنية مميِّزة لكل تقنية، وعلى هذا فهناك مجموعة من العناصر المكوِّنة للشكل في هذه المنتجات والتي تكون بمثابة اللغة التي يتم التعبير بها عن القيم الجمالية للشكل، ويختلف الثقل النوعي لهذه العناصر في المكونات الشكلية للعمل، ولذا يظهر أثرها متبايناً في التأكيد على المدلول الفني والوظيفي لها. فالنقطة، والخط، والمساحة،والكتلة والفراغ، واللون، والملمس، والظل والنور؛ كلها عناصر تسهم في تكوين الشكل للمنتجات الزجاجية المنفذة بإعادة التشكيل الحراري، والتي عادة ما ترتبط بمنتجات ذات طبيعة فنية في المقام الأول، كما قد تحمل أهدافاً استخداميةً أخرى كتوظيفها في مجالات الإضاءة، أو في العناصر المعمارية المختلفة.

وارتباط تلك التقنيات – بتنوع أساليبها – بتصميم المنتج واضح في أهمية وضع فكرة التصميم طبقاً لمتطلبات التقنية وتأثيرها على إظهار العناصر المكونة للشكل، وتعد الخصائص البصرية المميزة للزجاج بمثابة المكوِّن الرئيسي الذي تقوم عليه الاتجاهات الفنية المعبرة عن الشكل، ومن هنا كانت عناصر اللون والشفافية والملمس من أهم العناصر المؤثرة في إظهار تكوين العمل، والتي تتنوع خصائصها باختلاف التقنيات المستخدمة في إنتاج الزجاج بإعادة التشكيل الحراري، حيث ترتبط كل تقنية بمحددات خاصة في الشكل والهيئة المكونة لمنتجاتها خاصة في منظومة العناصر الثلاث: اللون، الشفافية، الملمس.

مشكلة البحث: عدم وجود دراسات كافية حول متطلبات تحقيق خصائص اللون والشفافية والملمس في الزجاج المعاد تشكيله حرارياً في ظل التنوع التقني للطرق والأساليب المستخدمة.

هدف البحث: وضع مجموعة من الاعتبارات المؤثرة في بعض العناصر التشكيلية لمظهر المنتجات الزجاجية من خلال دراسة متطلبات إظهار خصائصها في تقنيات إعادة التشكيل الحراري.

أهمية البحث: الإسهام في إثراء مجالات إعادة التشكيل الحراري للزجاج بالربط بين متطلبات التقنيات بتعدد اتجاهاتها وعناصر بناء الشكل؛ بما يخدم المسارات المختلفة المرتبطة بالدراسات الأكاديمية والعملية للتقنية.

فرض البحث: يمكن الوصول إلى مجموعة من الاعتبارات التكنولوجية لتحقيق أهم خصائص إظهار الشكل (اللون – الشفافية – الملمس) في علاقتها بتنوع أساليب وطرق إنتاج الزجاج بإعادة التشكيل الحراري.

مصطلحات البحث:

- **إعادة التشكيل الحراري للزجاج:** هي نوع من المعالجة الحرارية للزجاج لإحداث تغير في التكوين الفني العام له من خلال عدة اتجاهات تضم: تغيير في المظهر باستخدام أساليب التصوير اللوني، تغيير في الشكل والهيئة باستخدام مستويات أعلى من الحرارة لدمج الزجاج أو صهره للحصول على هيئات جديدة مسطحة أو مجسمة، وترتبط منتجاته بالوظائف الاستخدامية والجمالية.
- **العناصر التشكيلية لبناء المنتج:** هي مجموعة المكونات الشكلية التي تسهم في تكوين السمات العامة المميزة للعمل من خلال نظام بنائي محدد يعطي للعمل خواصه الأساسية، وتضم عدة عناصر: النقطة، الخط، المساحة، الكتلة والفراغ، اللون، الظل والنور، الملمس.

منهجية البحث: يتبع البحث المنهج التحليلي.

محاور البحث:

المحور الأول: العناصر التشكيلية لبناء المنتج وأساسيات تكوينها في الزجاج المعاد تشكيله حرارياً.

المحور الثاني: تقنيات إعادة التشكيل الحراري للزجاج.

المحور الثالث: طرق واعتبارات تحقيق خصائص اللون والشفافية والملمس في تقنيات إعادة تشكيل الزجاج حرارياً.

المحور الأول: العناصر التشكيلية لبناء المنتج وأساسيات تكوينها في الزجاج المعاد تشكيله حرارياً:

يعتمد بناء شكل المنتج على استخدام مجموعة من العناصر المكوِّنة له، والتي تترابط معاً على هيئة منظومة متوافقة ويكمل كل منها الآخر في حالة التصميم الجيد للمنتج، أو تكون عبارة عن عناصر لا تحمل القدر الكافي من التناغم والتوحد في البنية التكوينية للشكل الأقل شأناً، وعليه فالتكوين الناجح للمنتج يعتمد على ترابط العناصر المكونة له في كلٍ واحدٍ يؤكد على تحقيقه للقيم الجمالية المميزة له، وتتنوع أهمية تلك العناصر وأثرها في إظهار الشكل ما بين النقطة أو الخط أو المساحة أو الكتلة والفراغ أو اللون أو الملمس أو غيرها من العناصر، حيث تترتب هذه العناصر في تكوين معين لوحدات بصرية مكوِّنة للهيئة العامة الكلية للمنتج.

وتعد عناصر اللون والشفافية والملمس من العناصر الرئيسية لتكوين الشكل في المنتج الزجاجي، ويستعرض البحث هذه العناصر معاً لترابطها وصعوبة فصلها؛ حيث ترجع أهمية أثرها على المنتج الزجاجي المعاد تشكيله حرارياً على كون طرق وأساليب الإنتاج بتلك التقنيات تركز على المنتجات ذات الطبيعة الفنية والتي يلعب اللون والملمس مع الضوء دوراً رئيسياً في إبراز شكلها، ومن هنا جاءت أهمية دراستها.

- اللون:

اللون هو تأثير فسيولوجي ناتج عن الأثر الذي يحدث في شبكية العين لاستقبالها للضوء المنعكس عن سطح عنصر ما، سواء كان ناتجاً من مادة ملونة أو ضوء ملون، فامتصاص الزجاج للضوء في منطقة الضوء المرئي تظهر الزجاج ملوناً، والامتصاص والنفاذية في منطقة الأشعة تحت الحمراء وفوق البنفسجية أساسية في إظهار الخصائص البصرية للزجاج[1].

ويتم تحديد اللون من خلال معايير تمييز الألوان وهي:[2] كنه أو أصل أو صفة اللون Hue: (الصفة التي تميز أحد الألوان عن الألوان الأخرى باختلاف أطوال الموجات الضوئية المنعكسة عن الجسم ليظهر بلون محدد "أحمر – أخضر – ....." ، ويمكن تغيير أصل اللون عن طريق مزجه بلون آخر)، قيمة اللون Value : (تشير إلى درجة الإضاءة "النصوع" أو الإعتام في اللون من خلال التأثير المباشر للضوء وشدته على رؤية اللون)، تشبع أو كثافة اللون Saturation : (يدل على مدى نقاء اللون ودرجة اختلاطه بالألوان المحايدة كالأبيض والأسود والرمادي؛ فكلما كان اللون أقوى وأكثر إشعاعاً كان ذلك دليلاً على شدته أو كثافته أو تشبعه). ويؤدي اللون دوراً رئيسياً في إظهار الشكل؛ فهو يعمل على ربط عناصر العمل ويؤكد على الجوانب الجمالية والوظيفية له، إلى جانب تأثيره الفسيولوجي على المتلقي.

ويعتبر الزجاج من العناصر التي ترتبط في تكوينها باللون؛ وهو يمثل أحد المؤثرات الرئيسية لتحديد كنه العمل ، إضافة إلى الشكل والضوء، وتتحدد خصائص اللون في الزجاج من خلال مجموعة من المتغيرات تضم: [3]

---

[1] Robert H. Doremus: "**Glass Science"** A Willy-Interscience Publication, Second Edition, New York, 1994, p.306.

[2] شاكر عبد الحميد: "التفضيل الجمالي" دراسة في سيكولوجية التذوق الفني – الكويت : عالم المعرفة،العدد: 267، 2001م ، ص 269.

[3] Heike Brachlow: "**Shaping Colour: Density, Light and Form in Solid Glass Sculpture**" Doctor of Philosophy Royal College of Art, 2012 , p.72 .

- حجم المنتج.
- الشفافية والإعتام.
- ملمس سطح الزجاج.
- أصل اللون وقيمته ودرجة تشبعه.
- نوع واتجاه وقوة الضوء الساقط.
- تغير اللون بتغير خصائص الضوء الساقط.

واللون في المنتجات الزجاجية المنفذة بإعادة التشكيل الحراري يتم الحصول عليه بعدة أساليب منها:

- استخدام زجاج ملون في خلطته الأساسية عن طريق الأكاسيد الملوِّنة.
- استخدام طلاءات شفافة أو معتمة لإكساب الزجاج تأثيرات لونية محددة.
- استخدام المينا لتكوين اللون.
- استخدام حبيبات الزجاج الملون.
- استخدام الأكاسيد مع مساعدات الصهر للحصول على درجات لونية مختلفة بين طبقات الزجاج.
- استخدام بعض المواد والخامات بين طبقات الزجاج للحصول على تأثيرات محددة.

ويمكن التعبير عن اللون في الزجاج بطريقة أخرى تعتمد على طريقة تواجد اللون بالزجاج؛ فهو قد يتوجد بشكل كامل في بنية الزجاج Volume color ليعبر عن مقدار اللون الموجود داخل شكل ثلاثي الأبعاد ويتم التعبير عن اللون هنا في حالة اللون الشفاف فقط، أو يتواجد على شكل طبقة رقيقة Film color شفافة أو نصف شفافة تقع بين العين والشكل المرئي. أما طبيعة تكوين اللون داخل الخلطة الزجاجية فتعتمد على طريقتان أساسيتان:

- إذابة العناصر التي تمتص الضوء في أطوال موجية محددة.
- تكوين مشتتات من جزيئات دقيقة معلقة داخل الزجاج، والتي تمتص بدورها الضوء في أطوال موجية محددة.

وكمية الضوء الممتص بتلك الطريقتين يعتمد فقط على الطول الموجي وكمية المواد الملونة في الخلطة الزجاجية، وعلى ذلك فتعتمد كثافة اللون على سمك الزجاج وتركيز المادة الملوِّنة، فالزجاج الملون – الشفاف – السميك يبدو أغمق أو به كمية أكبر من اللون مقارنة مع الزجاج رفيع السمك المكوَّن من نفس التركيب الكيميائي. وتعتبر عملية تكوين الزجاج الملون من العمليات الصعبة نتيجة لتنوع عناصر تكوين اللون بداية من: تركيب الزجاج نفسه، اختلاف معدلات التلوين للمواد الملوَّنة طبقاً للنسب المضافة وظروف الإنتاج، ظروف الصهر في الأفران؛ فكمية الأكسجين الموجودة بفرن الصهر والناتجة من آلية الصهر بالوقود ستؤثر على التفاعلات الحادثة بين العناصر الملوِّنة والخلطة الزجاجية.[4]
وبعض أنواع الزجاج المستخدم في تقنيات إعادة التشكيل الحراري يتغير لونها أو تصبح غير شفافة، وتحدث هذه الظاهرة أثناء التسخين أو التبريد، ويحدث ذلك بصفة خاصة في الزجاج الوردي اللون أو الأحمر، والذي يتحول إلى درجة لونية أغمق، وقد يصبح ذلك لوناً غير مرغوباً فيه؛ مثل تحول اللون البرتقالي أو الأحمر إلى درجة داكنة من اللون البني.

وقد يتأثر لون الزجاج أيضاً بعد خروجه من الفرن نتيجة لتكون طبقة من التبلور Devitrification على سطحه، وهي عبارة عن طبقة من البلورات تتكون على سطح الزجاج، نتيجة لتركيبه من خليط من العناصر المتباينة، والتي يكون لديها ميل للعودة إلى حالتها الأولى قبل تكوينها للزجاج، ويتكون الزجاج من خلال توازن دقيق داخله بين هذه العناصر والمكون

[4] Henery Halem : " **Glass Notes– A Reference for The Glass Artist"** published by Franklin Mills Press, Kent, Ohio, USA, 2006, p. 22.

الرئيسي للزجاج (السليكا) والذي يمنع إعادة تكوين البلورات، وتحدث هذه الحالة (التبلور) عند بقاء الزجاج في درجة حرارة مرتفعة لفترة طويلة بما يؤثر على التوازن، ونتيجة لذلك يصبح الزجاج الشفاف مغطى بطبقة ملبدة من البلورات لتعطيه مظهراً نصف شفاف، كما أنه في حالة الزجاج المعتم فإنه يفقد لمعانه. وقد يحدث التبلور كطبقة فيلمية رقيقة على السطح يمكن إزالتها بالشطف والتلميع أو باستخدام حامض مخفف، أو قد يحدث في الأجزاء الداخلية من الزجاج، وفي بعض الحالات قد تنفصل عن سطح الزجاج مسببة الانهيار الكامل للقطعة نتيجة لاختلاف بنائية البلورات عن بنائية الزجاج. ويمكن منع ذلك بتسريع تبريد الزجاج عند المرحلة التي قد تسمح بتكون بلورات (حتى ما قبل درجات الإجهاد – 600°م في حالة زجاج السليكا صودا جير) ؛ حيث تكون لزوجة الزجاج كبيرة بما لا يسمح بتكوين بلورات عند درجات الحرارة المنخفضة، وتختلف درجة حرارة تكوين البلورات باختلاف نوع الزجاج [5] .

ويمكن زيادة فرصة التبلور بوجود ملوثات على سطح الزجاج أو أتربة داخل فرن التشكيل، مما يستوجب تنظيف الفرن بشكل دوري بعد كل استخدام، وأيضاً تنظيف سطح الزجاج قبل التسخين بالماء المقطر أو الأمونيا. وطرق الإنتاج التي يكون فيها الزجاج في حالة تحرك مثل استخدام الخزانات أو البواتق في طرق التشكيل بالصب تكون أقل عرضة لتكوين التبلور لأن السطح يكون غير ثابت non static . وقد يتسبب أي شئ قابل للاحتراق داخل الفرن إلى تكوين البلورات، كما أن بعض العناصر الموجودة على سطح الزجاج قد تتسبب في إحداث مظهر يشبه التبلور مثل بقايا وسيط الإنامل أو بقايا المواد الرابطة اللاصقة لحبيبات الزجاج في تقنية pate de verre ، وأيضاً بقايا الشمع الملتصق بسطح القالب، وتصبح هذه الملوثات أكثر سوءاً وتأثيراً على سطح الزجاج في حالة استخدام أفران لا تحتوي على مسارات تهوية (مداخن).[6]

وأحد استراتيجيات منع تكوين التبلور هو استخدام طبقة رقيقة من الزجاج السائل fluxing glass على سطح الزجاج قبل التسخين، ويضاف عادة باستخدام فرشاة أو بالرش، وهذا يساعد على بقاء سطح الزجاج في حالة حركة ناعمة كطبقة تغطي السطح وتمنع التبلور وبالتالي تمنع التغير في اللون، ولكن هذه الطبقة قد تتعرض مع مرور الزمن للانفصال عن سطح الزجاج.

– الشفافية:

الشفافية هي صفة مميزة لبعض أنواع الخامات، حيث يتنوع المظهر الخارجي لها ما بين الشفافية أو الإعتام أو نصف الشفافية، ويلعب الضوء دوراً رئيسياً في ذلك الإطار، حيث يعبر الضوء عن إبراز خصائص الشكل وطبيعته الذاتية، فيمنح الإحساس بالأشكال وملامسها ويؤكد قيمة المزج بين الإحساسات المرئية والخفية[7] ، وتعتبر الشفافية هي نسبة مرور الضوء من خلال العمل ، حيث تختلف هذه النسبة طبقاً لطبيعة وخواص المادة. وتنتج شفافية الزجاج من كونه مادة غير متبلورة، تنقل الضوء في مناطق الطيف المرئي وغير المرئي، وتقل هذه الشفافية نتيجة تكوّن بلورات.

وتعد مادة الزجاج من المواد الأساسية التي تعتمد في تشكيلها على اتخاذ موقع واضح؛ للتأكيد على إظهار الخصائص البصرية المرتبطة بالاستفادة من قدرة الزجاج على إنفاذ الضوء بنسب مختلفة، حيث تعتبر شفافيته أحد المميزات الرئيسية التي يجب الاستفادة منها للتعبير عن القيم الوظيفية والجمالية له، وترتبط دراسة شفافية الزجاج في تقنيات إعادة التشكيل الحراري بعدة عوامل مؤثرة منها:

---

[5] Philippa Beveridge, Ignasi Doménech, Eva Pascual, op. cit, p. 67.

[6] Keith Cummings: **Techniques of Kiln –Formed glass**, A&C Black London, 2007, p. 44.

[7] ولاء حامد حمزة: " **اعتبارات تصميم وتنفيذ المنتجات الفنية المشكلة بإعادة صهر الزجاج Pate de verre**" رسالة دكتوراه ، كلية الفنون التطبيقية، جامعة حلوان، القاهرة، 2016م، ص 138.

- طريقة وأسلوب التشكيل الحراري.
- نوع وخواص الزجاج المستخدم.
- سمك الزجاج.
- درجة الحرارة.
- خواص الضوء الساقط.

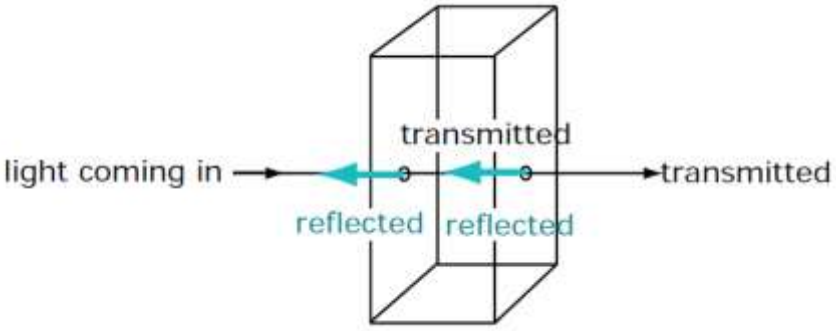
ويعتبر سلوك الزجاج عند تعرضه للضوء مدخلاً أساسياً في التأكيد على أهمية دور الشفافية ، فعند تعرض الزجاج للضوء تحدث بعض العمليات المرتبطة بسلوك الزجاج منها:

- انعكاس Reflection.
- انكسار Refraction.
- نفاذ Transmission.
- تشتيت الضوء Scattering من السطح الخارجي.
- تشتيت الضوء Scattering من داخل كتلة الزجاج.
- امتصاصAbsorption.

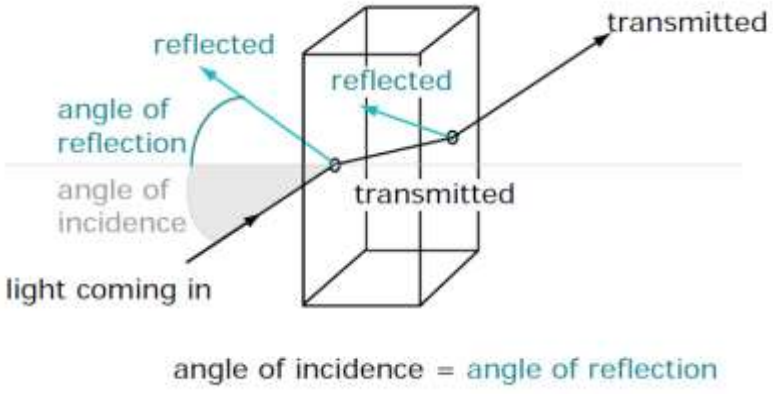
وعند سقوط الضوء على زجاج شفاف فإن جزءاً منه ينعكس وآخر ينفذ، وفي هذه الحالة يحدث نوعين من الانعكاس: انعكاس من السطح الخارجي للزجاج (في الاتجاه نحو الخارج)، انعكاس من السطح الآخر نحو داخل الزجاج، كما هو موضح بالشكل (1)[8]، وتعتمد كمية الانعكاس على الطول الموجي للضوء الساقط وزاوية سقوطه على الزجاج، إضافة إلى طبيعة الزجاج وحالة سطحه. وعند مرور الضوء بزاوية ميل على سطح من الزجاج الشفاف تتغير سرعة الضوء مسببة انكسار الضوء داخل الزجاج، وشعاع الضوء المار هنا يتحرك في خط مستقيم في نفس الاتجاه ولكن بزاوية ميل مختلفة، ويعتمد مقدار التغير في اتجاه شعاع الضوء (معامل الانكسار Refractive index) على كثافة مادة الزجاج؛ فعند مرور الضوء من وسيط ذو كثافة قليلة (الهواء) إلى جسم ذو كثافة أعلى (الزجاج) يحدث إبطاء لسرعة الضوء ويتغير اتجاهه عن المسار الطبيعي له، وعند مرور الضوء من الجسم ذو الكثافة الأكبر (الزجاج) إلى الوسط ذو الكثافة الأقل (الهواء) تزداد سرعته وتتغير زاوية خروجه، ولا يحدث هذا التغير في حالة سقوط الضوء على الجسم بشكل عمودي، والشكل رقم (2) يظهر الانكسار الذي يحدث نتيجة مرور الضوء بشكل مائل على الزجاج، ويظهر تساوي زاوية انعكاس الضوء عن السطح الخارجي مع زاوية سقوط الضوء المائل. ويختلف معامل الانكسار باختلاف نوع الزجاج؛ حيث يبلغ: (1.47 لزجاج البوروسليكات)، (1.8 لزجاج الرصاص)، (1.52 لزجاج السليكا صودا جير)، كما أن زيادة معامل الانكسار تؤدي إلى زيادة لمعان الزجاج. وتعتمد كمية الانكسار أيضاً على تردد موجات الضوء الساقط على الزجاج، فكل طول موجي يميل (ينحرف) بشكل مختلف، فعلى سبيل المثال ينحني الضوء الأزرق أكثر من الضوء الأحمر.

وفي حالة عدم انتظام سطح الزجاج الشفاف (خشونة السطح) يحدث انعكاس وانكسار الضوء بنسبة صغيرة، كما يمكن أن يتفاعل الضوء مع بعض الأشكال والتكوينات داخل الزجاج والتي لها أبعاد قريبة من الطول الموجي للضوء مما يسبب تشتت الضوء Scattering للخارج ويقلل من شدته، والشكل رقم (3) يظهر ذلك. أما امتصاص الضوء Absorption فيحدث عند مرور الضوء من الزجاج، حيث يمتص جزءاً منه، وكلما زاد سمك الزجاج يزيد مقدار الضوء الممتص، ويرتبط اللون الناتج للزجاج بكمية الضوء النافذ والممتص في الزجاج.

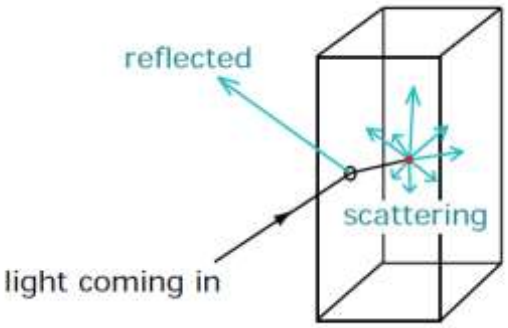
[8] Heike Brachlow op. cit, p.80 .



شكل (1) انعكاس ونفاذية الضوء عند مروره عمودياً بزجاج شفاف



شكل (2) انعكاس ونفاذية وانكسار الضوء عند مروره مائلاً بزجاج شفاف



شكل (3) تشتت الضوء عند مروره مائلاً بزجاج شفاف

- الملمس:

الملمس هو خاصية ناتجة عن ترتيب وتنظيم مظهر السطح الخارجي لسطح العمل، فهو نوع من التأثير البصري للسطح الخارجي الواقع تحت الضوء ليظهر على هيئة محددة تتأكد من خلال الضوء والظل والألوان، ويتضح من خلاله السمات العامة للسطح وما يميزه من مظهر يدرك حسياً أو بصرياً، ويعتمد إدراك الملمس عادة على: عوامل داخلية (خصائص تكوين بنية العمل)، عوامل خارجية (كمية ونوع الإضاءة الساقطة عليه وقدرة الشخص على إدراك قيمة الملمس)، ومن خلال الملمس يمكن إحداث نوع من التأكيد على طابع معين أو وظيفة أو أسلوب إنشاء أو قيم جمالية أو وظيفية محددة. ويمكن تقسيم الملامس إلى عدة تصنيفات: من حيث الدرجة: (ناعمة – خشنة – منتظمة – غير منتظمة)، من حيث النوع: (حقيقية – إيهامية).

ويدخل الملمس كعنصر أساسي في تقنيات إعادة التشكيل الحراري للزجاج، حيث توفر هذه التقنيات الفرصة لتطبيق اتجاهات مختلفة من الملامس الحقيقية الناتجة من تأثيرات على سطح العنصر الحرراي الذي يتشكل فوقه الزجاج، وتتنوع هذه التأثيرات الملمسية ما بين التأثيرات المرتبطة بعناصر الطبيعة إلى التأثيرات المصطنعة المتنوعة الشكل أو التأثيرات ذات الاتجاه الزخرفي المتكرر، كما تعد الملامس الإيهامية المحور الثاني من محاور تطبيق الملمس في الزجاج؛ فهي تتبع من داخل التشكيل البصري للتكوينات التكرارية اللونية أو التشكيلات الملمسية الكامنة داخل كتلة الزجاج الشفاف.
وقوة الضوء واتجاهه تؤثر في إظهار ملمس سطح الزجاج، فالسطح الخشن المعرض لضوء عمودي قوي يبدو أقل خشونة مقارنة بسقوطه باتجاه جانبي؛ حيث أن الاتجاه الجانبي يسبب تأثيرات جانبية تبدو كظلال تؤكد قوة الملمس، كما أن مسافة النظر لها دور في إظهار الملمس؛ فكلما زادت المسافة قل الإحساس بالملمس.

المحور الثاني: تقنيات إعادة التشكيل الحراري للزجاج:

تعد طرق وأساليب إعادة التشكيل الحراري للزجاج أحد التقنيات الهامة لتشكيل الزجاج في هيئة منتجات متعددة الاستخدام، ويغلب عليها الطابع الجمالي، ويرجع تاريخ تقنيات إعادة تشكيل الزجاج حرارياً إلى بدايات ظهور صناعة الزجاج؛ حيث تشير الكثير من الدراسات الأثرية إلى استخدام مصر القديمة وبلاد ما بين النهرين لمجموعة من الأساليب التقنية لتشكيل المنتجات الزجاجية كالخرز والتمائم والمرصعات والأواني بأساليب تعتمد على إعادة صهر الزجاج بمساعدة قوالب للتشكيل بالصب Casting أو بأسلوب القالب المصمت Core forming أو بالتشكيل عن طريق اللهب الصغير الموجه للزجاج A small open fire [9]، وندر استخدام تقنيات إعادة التشكيل الحراري مع اكتشاف طريقة تشكيل الزجاج بالنفخ Blowing في القرن الأول قبل الميلاد، إلى أن أعيد اكتشافها في القرن التاسع عشر على يد الأب المؤسس لها في العصور الحديثة: الفرنسي هنري كروس[10] Henri Cros ، وذلك بإعادة استخدامه لتقنية إعادة صهر حبيبات الزجاج، فيما يعرف حديثاً بتقنية Pate de verre ، وذلك في ثمانينات القرن التاسع عشر بإنتاج نحتيات زجاجية بتأثيرات فنية متنوعة "قد ينظر إليها الآن على أنها أقل شأناً"، ومن ثم تطورت اتجاهات التقنية على يد فنانين آخرين أمثال: جابريل آرجي روسوGabriel Argy-Rousseau ، أمالريك والترAmalric Walter ،ومع التقدم التكنولوجي في مجالات صناعة الزجاج في نهايات القرن التاسع عشر وبدايات القرن العشرين خلال الثورة الصناعية، ظهرت العديد من الفرص لتطوير أساليب تقنية متنوعة تعتمد على الاستفادة من تنوع الدراسات العلمية حول اكتشاف نوعيات مختلفة من الزجاج وخواصها الكيميائية والفيزيائية، إضافة إلى التطور الحادث في مجال أفران إعادة التشكيل الحراري، حيث برع في ذلك المجال فنانين أمثال ليبنسكي وزوجته بريشتوفا Stanislav Libensky & Jaroslava Brychtov ، والفنان سيجلر Vaclav Cigler .

وتعتمد فكرة إعادة التشكيل الحراري للزجاج على تحويل الزجاج الصلب من شكل أو هيئة إلى شكل أو هيئة جديدة لمنتج ما باستخدام الحرارة المناسبة للتشكيل، كأن يتحول الزجاج من هيئته الأساسية قبل التشكيل: (مسطحات زجاجية – قطع زجاجية كبيرة – قطع صغيرة – كتل – أعمدة – أنابيب – حبيبات) إلى قطع زجاجية جديدة تحمل خواصاً جمالية ووظيفية مختلفة، فعند تعريض الزجاج الصلب للحرارة تتغير لزوجته تدريجياً، وهو لا يغلي أو يتبخر كالسوائل، كما لا يسيل فجأة كما في المعادن النقية، وبدلاً من ذلك فهو يمر بحالة من التحول أو التطور خلال مجموعة من المتغيرات حتى يتحول من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة، وخلال أي نقطة من دورة رفع درجة الحرارة؛ يمكن إحداث ثبات لشكل الزجاج على هيئته عند إيقاف رفع درجة الحرارة، وعلى هذا تتنوع طرق إعادة التشكيل الحراري للزجاج باختلاف درجة الحرارة، لتصبح العملية كمعادلة متغيرة لها ثوابت رئيسية وتغيُّر في التفاصيل الدقيقة، وأهم العناصر الرئيسية لهذه المعادلة:

- نوع الزجاج وخواصه. - شكل الزجاج.

[9] Rosemary Lierke, "**Early History of Lamp work - Some Facts, Findings, and Theories,**" Glastech.Ber.65, 1992, p. 342.

[10] Keith Cummings: op. cit, p. 46.

- درجة الحرارة. - القيود المحدِّدة لمسار حركة الزجاج (كالقوالب).

وعلى الرغم من التنوعات والتطورات الكثيرة في التقنية، إلا أنه تبقى الثوابت المؤثرة في الإنتاج هي المحرك الرئيسي للتغير، وتتميز منتجات تقنيات إعادة التشكيل الحراري بعدة خواص عامة منها: (صغر حجمها – قيمتها المادية العالية – زمن إنتاجها بطئ – قيم فنية جمالية مرتفعة مقارنة بالاستخدام الوظيفي – تنوع وثراء التحكم في الشكل واللون والملمس والمظهر)، وقد تختلف هذه الخواص في بعض المنتجات الزجاجية مثل صغر الحجم؛ فهناك منتجات زجاجية كبيرة الحجم تنتج بإعادة التشكيل الحراري لوظائف استخدامية في المقام الأول ومنها: المرايا العاكسة الكبيرة، عدسات التلسكوبات، زجاج الواجهات والفتحات المعمارية والأثاث الزجاجي والسيارات المشكل بالتقويس الحراري.

وتتنوع طرق إعادة التشكيل الحراري للزجاج، ويمكن حصرها في نوعين رئيسيين: إعادة التشكيل الحراري للزجاج باستخدام لهب المشعل، إعادة التشكيل الحراري داخل الأفران المغلقة، وهذا الأخير هو محل الدراسة في هذا البحث والذي يقتصر على المنتجات الزجاجية الشفافة ذات الطبيعة الفنية. ويمكن تقسيم هذه الطرق الإنتاجية إلى عدة أنواع طبقاً لمعدلات درجات حرارة التشكيل وطريقة الإنتاج إلى:

- **المستوى الحراري الخامد Inert Level:** وفي هذا المستوى يتعرض الزجاج لدرجة حرارة أقل من درجة الليونة، وذلك لتليين السطح بدرجة طفيفة تسمح بامتصاصه للمواد المضافة عليه مثل الطلاءات واللاسترات والمينا، وتختلف درجات حرارة التثبيت طبقاً لنوع الطلاء، حيث تتراوح من 450 : 600°م.

- **مستوى الثني أو الانسدال Bending Level[11]** : وهو عبارة عن تعريض الزجاج للحرارة وصولاً إلى تقويسه أو انسداله وتغيير شكله تحت تأثير ثقل وزنه وانخفاض لزوجته بتأثير الحرارة المرتفعة أو باستخدام قوالب أو وسائل تشكيل مساعدة تساعد على تحديد اتجاه ومسار حركة التقويس أوالثني، وتبلغ درجة حرارة التشكيل من 600 : 700 °م، ويمكن زيادتها طبقاً للتأثير المطلوب.وهناك عدة أساليب لهذه الطريقة منها:
  - الانسدال خلال قالب أولي Bending through a mold ، بتعريض الزجاج للانسدال من خلال أجزاء حرارية أو معدنية تعمل كقوالب أولية لتحوله من هيئة مسطحة إلى مجسمة.
  - الانسدال داخل قالب Bending into a mold ، بتعريض الزجاج للانسدال داخل قالب تشكيل ليأخذ الزجاج التفاصيل البارزة أو الغائرة بالقالب.
  - الانسدال فوق قالب Bending over a mold ، بتعريض الزجاج للانسدال فوق قالب التشكيل، وفي هذه الحالة يعتمد الشكل النهائي للمنتج على درجة انحناء الخط الخارجي للقالب، فعلى سبيل المثال عند زيادة انحناء وارتفاع قالب تشكيل طبق فني؛ فينسدل الزجاج فوقه بطريقة غير منتظمة تؤدي إلى التواء الزجاج عند منطقة الفوهة ويمكن استغلال ذلك في الحصول على تأثيرات فنية متميزة.
  - الانسدال بالتعليق Bending from a mold by suspension ، ويتم التشكيل بتعليق الزجاج المسطح باستخدام أسلاك أو أعمدة معدنية؛ لينسدل الزجاج بهيئات مختلفة تحت تأثير درجة الحرارة وبالاعتماد على أسلوب التعليق وشكل ووزن الزجاج.
- **مستوى التمدد والدمج Stretching and Fusing Level [12]**: وتبلغ درجة الحرارة في هذا المستوى من 750 : 800 °م، وينتشر في هذه التقنية استخدام التشكيل بمساعدة الملامس والعناصر أو الوحدات الزخرفية التكرارية، ويستخدم لهذا الغرض أنواع مختلفة من قوالب التشكيل أو العناصر المساعدة التي يمكن من خلالها الحصول على ملامس متنوعة. كما يضم هذا المستوى إمكانية استخدام طبقات مختلفة من الزجاج

[11] Philippa Beveridge, Ignasi Doménech, Eva Pascual: op. cit, p. 92 - 99.
[12] Philippa Beveridge, Ignasi Doménech, Eva Pascual: op. cit, p. 84 - 91.

Lamination معاً لتعطي تأثيرات متنوعة تعتمد على الاستفادة من تنوع ألوان الطبقات الزجاجية المستخدمة مع مراعاة تنوع وتغير هذه الدرجات اللونية تحت تأثير خواص شفافية الزجاج. ويمكن وضع إضافات مختلفة بين طبقات الزجاج Inclusions لتعطي تأثيرات متنوعة مثال (طلاءات المينا – حبيبات الزجاج – معادن مختلفة على هيئة حبيبات أو شرائح أو أسلاك – الفايبر جلاس)، كما يمكن استخدام المواد العضوية كأوراق الشجر والأغصان لتحترق بين طبقات الزجاج وتتحول إلى طبقة من الكربون المشابه لأصل العنصر في الشكل الجمالي والتأثير البنائي.

- **مستوى تقنيات التدفق Flow Techniques Level [13]**: في هذه المرحلة يكون الزجاج سائلاً بدرجة كبيرة، ولكن يكون به قدرة على التماسك ومقاومة التدفق الكامل، وهو بهذا يسمح بفرصة استخدامه في العديد من الأساليب التقنية للتشكيل مثل:
  - التشكيل بالصهر في درجات حرارة عالية High temperature fusing : وفي هذه المرحلة يتم صهر أجزاء الزجاج معاً لدرجة حرارة عالية تسمح بالاندماج بينها، ويصبح قطاعها عبارة عن أجزاء متداخلة تشبه الميلفيوري؛ حيث تتداخل الأجزاء في تأثير فني متميز، ويمكن استخدام هذا الأسلوب في عمل تشكيلات فنية مفردة، كما يمكن استخدامه لعمل تكوينات وكتل من الزجاج يتم تقطيعها بنشرها على هيئة قطاعات تحمل تأثيرات ملمسية ولونية مختلفة، ويعاد استخدامها مرة أخرى وتشكيلها بالحرارة.
  - الصب Pouring : وهي عملية يتم فيها الاستفادة من التدفق النسبي للزجاج المنصهر عند درجات حرارة تتجاوز 850 °م، وذلك بإحداث تأثير الموجات في الزجاج، والذي يتم بطريقتين: السماح بنزول الزجاج من فوهة البوتقة بعد صهره، أوالسماح بنزول المصهور من خلال ثقب أو فتحة بقاعدة البوتقة أثناء الصهر. ويعتمد التغير في حركة لون الزجاج داخل تشكيل الموجات على شكل الفتحة أو الفتحات وعددها والمسافة بينها وبين سطح سقوطها (الأرضية)، كما يعتمد أيضاً على هيئة الزجاج المستخدم (قطع – كتل – أعمدة – حبيبات).

- **مستوى تقنيات السبك Casting Techniques Level [14]**: يتم استخدام تلك التقنية عادة في تنفيذ نحتيات زجاجية متنوعة في قوالب تشكيل، وهناك عدة أساليب متبعة لتحقيق ذلك الغرض تعتمد على الخصائص العامة لشكل العمل، فيستخدم أسلوب السبك من زجاج مصهور مسبقاً إلى داخل قالب التشكيل للحصول على عمل يحتوي على نسبة عالية من الشفافية، مقارنة مع السبك باستخدام كتل أو حبيبات زجاجية، حيث تتسبب هذه الكتل أو الحبيبات في تكوين فقاقيع من الهواء المحبوس داخل الزجاج، وتزيد فرصة تكوين الشفافية بصهر كتلة واحدة أو كتل كبيرة من الزجاج مقارنة مع استخدام قطع صغيرة أو حبيبات، فبزيادة مساحة سطح قطع الزجاج المستخدم يكون الحصول على صهر متجانس شفاف أقل، فكل قطعة من الزجاج ستترك أثرها على التكوين النهائي للعمل من خلال حجمها ولونها ومكان وجودها ودرجة إعتامها أو شفافيتها. وهناك عدة أنواع من تقنيات السبك: [15]

---

[13] Keith Cummings: op. cit, p. 72.

[14] Jim Kervin and Dan Fenton: "**Pate de Verre and Kiln Casting of Glass**" Glass Wear Studios, (2nd ed.), 2000, p. 109 .

[15] Keith Cummings: op. cit, p. 81.

- Slump Casting: عبارة عن استخدام كتلة أو قطعة واحدة من الزجاج للانصهار داخل قالب تشكيل مفتوح، حيث لا يُسمح بالتدفق الكامل للزجاج المنصهر.
- Dribble Casting: ويتم فيه السماح للزجاج بالسيولة الكاملة لينساب داخل أجزاء القالب من خلال المغذيات المثقوبة (البواتق)، وتضم هذه التقنية عادة مسارات مختلفة للتعبير الفني بإمكانية تحقيق التنوع والتداخل اللوني المميز لتأثير الموجات.
- Static Casting: حيث يملأ القالب نفسه بأجزاء الزجاج والتي يتم تعريضها للصهر، كما يمكن إضافة كميات أخرى من الزجاج داخل القالب بالتتابع.

ويمكن اعتبار تشكيل الزجاج بإعادة صهر حبيباته pate de verre أحد أنواع تقنيات السبك، وإن كانت قد يستخدم فيها درجات حرارة أقل من الصهر الكامل (درجات التصاق حبيبات الزجاج)، إلا أنه يمكن استخدامها لتشكيل المنتجات الزجاجية بتقنيات السبك السابقة، وذلك باستخدام حبيبات الزجاج فقط كمصدر لتكوين المنتج، أو استخدام الحبيبات كأحد هيئات الزجاج المستخدمة في التشكيل مع هيئات أخرى كالقطع الزجاجية الكبيرة، وبالطبع لكل هيئة مستخدمة أثر في إظهار اللون والشفافية والملمس.

المحور الثالث: طرق واعتبارات تحقيق خصائص اللون والشفافية والملمس في تقنيات إعادة تشكيل الزجاج حرارياً:

تتنوع طرق تحقيق اللون والشفافية والملمس في الزجاج المنتج بإعادة التشكيل الحراري، حيث تتأثر كل تقنية بمجموعة من العوامل التي تؤكد على مسار هذه العناصر في التكوين العام للمنتج، وباختلاف هذه التقنيات تتنوع الاعتبارات التكنولوجية المؤثرة في تحقيق خصائص هذه العناصر، وفيما يلي أهم الطرق والاعتبارات المرتبطة بتحقيق هذه الخصائص:

1- تقنيات المستوى الحراري الخامد:

أولا: طرق تحقيق خصائص (اللون – الشفافية – الملمس) في تقنيات المستوى الحراري الخامد:

ترتبط هذه التقنيات بتطبيق الملونات المختلفة فوق الزجاج وبأساليب متنوعة لتعطي خصائص متميزة للزجاج تعتمد على الاستخدام المفرد أو المتداخل للملونات، ويتم في هذه الحالة استخدام أنواع مختلفة من الملونات الشفافة أو المعتمة أو الطلاء بالمينا الزجاجية، ويتم تطبيق هذه الملونات بعدة أساليب منها:

- استخدام وسائل يدوية كفرش وأدوات الرسم المختلفة ، والأدوات الاسفنجية، الاستنسل.
- استخدام أسلوب نثر الملونات أو المينا الجافة يدوياً أو من خلال مناخل.
- استخدام جهاز رش الملونات Air Brush .
- الطباعة باستخدام الشاشة الحريرية.
- استخدام ورق اللصق الحراري (الديكال).
- الطباعة الرقمية.

وغالبية هذه الأساليب تستخدم درجات حرارة منخفضة (قبل درجة الليونة) لتثبيت الملونات، فيما عدا بعض أنواع ملونات المينا التي يمكن تثبيتها في درجات حرارة أعلى تتعدى درجات الليونة وبالتالي يمكن استخدامها في أساليب تقنية تعتمد على استخدام مستويات عليا من الحرارة، أما الطباعة الرقمية فتعتمد على تطبيق الملونات على سطح الزجاج بدون معالجات حرارية، وهناك بعض نوعيات منها يتم فيها المعالجة الحرارية في درجات حرارة منخفضة تصل إلى 200° م.

أما عنصر الشفافية وتأثيره في التصوير بالملونات على سطح الزجاج فيتم تحقيقه من خلال عدة أساليب تقنية تعتمد على:

- نوعية الزجاج ودرجة شفافيته: تؤثر درجة شفافية الزجاج أو إعتامه في التأكيد على الظل والنور المرتبط بالتصوير اللوني، فاستخدام زجاج له درجة شفافية عالية يقلل من تأثير ظهور قيمة اللون مقارنة مع استخدام زجاج له درجة شفافية أقل أو معتم؛ حيث يؤثر الضوء المار من الزجاج على إظهارالدرجة الحقيقية للون (خاصة في حالة استخدام ملونات شفافة).
- نوع الملونات المستخدمة: بتنوع استخدام الملونات الشفافة والمعتمة في التصوير على الزجاج يختلف تحقيق درجة الظل والنور في العمل، فاستخدام الألوان المعتمة يمنع الشفافية، في حين يؤكدها استخدام الألوان الشفافة.
- طريقة تطبيق الملونات على سطح الزجاج: تؤثر طريقة تطبيق الملونات على سطح الزجاج على إظهار الظل والنور ودرجة الشفافية، ويمكن في بعض أساليب التصوير استخدام الملونات الشفافة والمعتمة معاً لتحقيق التنوع في إظهار الظل والنور وشفافية اللون، ويتم ذلك عادة بتطبيق الملونات المعتمة أولاً ثم تثبيتها حرارياً، ويلي ذلك إضافة الملونات الشفافة ومن ثم تثبيتها.

ويمكن تحقيق الملامس الحقيقية والإيهامية بطرق مختلفة عن طريق التصوير اللوني باستخدام الملونات الحرارية؛ ومنها:

- استخدام الملونات بطريقة تؤكد على إظهار ملمس لوني يدرك بصرياً، ويتم ذلك بتوزيع الملونات بأساليب محددة تظهر تأثير الملامس المختلفة.
- تحقيق اختلاف ملمس التصوير اللوني باختلاف أساليب تطبيقه على الزجاج.
- توزيع الملونات باستخدام أدوات مساعدة تعمل على إحداث تأثيرات حسية للون، ويستخدم في هذه الحالة ملونات ذات درجة لزوجة مرتفعة تحافظ على بقاء اللون على حالته بعد التشكيل.
- استخدام نوعيات من الزجاج لها ملامس محددة ومن ثم تلوينها.

وفيما يلي نماذج من منتجات زجاجية تم تطبيق الملونات عليها بأساليب مختلفة تظهر خصائص اللون والملمس والشفافية، كما هو موضح بالأشكال (4) إلى (9) :

شكل (4) لوحة من الزجاج المؤلف بالرصاص تم فيها تطبيق الملونات على سطح الزجاج باستخدام الفرشاة، مع إمكانية استخدام الألوان المعتمة والشفافة لإبراز عناصر الشكل الطبيعي والزخرفي والتشكيل اللوني ثلاثي الأبعاد.
(https://img1.etsystatic.com/030/0/8590924)

شكل (5) عمل تصويري من الزجاج الملون باستخدام الفرشاة، مع استخدام الألوان المعتمة والشفافة الساخنة والباردة لإبراز عناصر الشكل من خلال التراكب اللوني والدرجات الظلية للون الواحد.
(https://www.pinterest.com/pin/313703930273907962)

شكل (6) تشكيل لوني باستخدام الطباعة على ورق اللصق الحراري (الديكال) فوق زجاج ملون.
(www.miketrask.com/c2b29b-microwave-glass-fusing-quick-shopping)

شكل (7) عمل تصويري فوق الزجاج باستخدام تقنية رش الملونات الحرارية ثم تثبيتها حرارياً.
(www.contemporary-stilllife.com/guydejaegher.html)

شكل (8) تصوير على سطح الزجاج يظهر تحقيق الملامس اللونية باستخدام أدوات التصوير الزيتي.
(www.wikiwand.com/en/Reverse_glass_painting)

شكل (9) تشكيل لوني يظهر تحقيق الملامس الإيهامية، إضافة إلى إظهار تأثير الظل والضوء من خلال عنصر شفافية الزجاج.
(www.nevadastainedglass.com/)

ثانياً اعتبارات تحقيق خصائص (اللون – الشفافية – الملمس) في تقنيات المستوى الحراري الخامد:

اعتبارات تحقيق خصائص اللون:

- يتم تحديد تقنية التصوير باللون على الزجاج طبقاً للتأثير الفني المطلوب، فكل أسلوب تصويري ينتج تأثيرات وخصائص لونية مختلفة.
- تطبيق المنحنى الحراري المناسب (450 : 600° م) طبقاً لنوع الملونات المستخدمة.
- استخدام الملونات المعتمة أو المينا عند التصوير على الزجاج المعتم، حيث أن الملونات الشفافة لا تظهر على سطح الزجاج المعتم.
- يراعى تأثير كثافة الملونات على إظهار اللون، فبعض الملونات كاللاسترات عند زيادة سمكها تحترق وتكون طبقة كربونية وتفقد لونها. [16]
- يمكن استخدام الملونات كالمينا كمادة لاصقة بين أجزاء الزجاج في درجات حرارة منخفضة نسبيًا (ما قبل درجة الليونة)، وهي في ذلك تعطي تأثيرًا لونيًا وملمسيًا مميزًا.

[16] Boyce Lundstrom : " **Advanced Fusing Techniques** - Glass Fusing Book Two " published by Vitreous Publications, Canada, 1991, p.65.

- عند استخدام نوعيات مختلفة من الملونات كما في حالة تقنية الزجاج الملون المؤلف بالرصاص قد يتم تثبيت الملونات حرارياً على عدة مراحل طبقاً لمراحل تطبيق الملونات وتثبيتها، ويراعى تثبيت الملونات ذات درجة الحرارة الأقل أولاً، كما يتم تثبيت صبغة الفضة Silver stain في المرحلة الأخيرة؛ بتكثيف اللون على السطح السفلي بوضع الزجاج معكوساً داخل الفرن (طلاء الصبغة ملامساً لأرضية الفرن أو الرف الحراري).
- يجب التخلص من الوسائط المستخدمة لتثبيت الملونات أثناء الحرق لضمان عدم تلوث الملونات بالكربون، ويتم ذلك بإتاحة الفرصة لخروج الغازات من الفرن عند درجات: (200 : 400 مº).

اعتبارات تحقيق خصائص الشفافية:

- يتم ظهور درجة الظل والنور والشفافية طبقاً لنوع الزجاج ونوع الملونات وطريقة تطبيقها لتحقيق التأثير الفني المطلوب.
- لإظهار الشفافية على الزجاج الشفاف يراعى استخدام الملونات الشفافة، كما يمكن استخدام الملونات المعتمة لتحقيق جزء من الشفافية عن طريق توزيعها باستخدام فرشاة خشنة أو اسفنجة.
- يراعى تأثير درجة حرارة تثبيت الملونات على إظهار درجة شفافيتها، فبعض الملونات عند زيادة درجة حرارة تثبيتها تصبح درجة شفافيتها أعلى، وقد يختفي اللون نهائياً.
- يجب مراعاة تأثير التراكب اللوني عند استخدام الملونات الشفافة معاً، حيث يظهر اللون بشكل مختلف عند تراكب لونين معا، في حين يكون التراكب اللوني للألوان المعتمة مختلفاً فيظهر اللون العلوي بطبيعته دون تغير، وفي حالة الرغبة في عدم تداخل الملونات معاً يتم إضافة اللون ثم الانتظار حتى يجف لإضافة اللون الآخر.

اعتبارات تحقيق خصائص الملمس:

- تستخدم الملونات الشفافة للحصول على ملامس حسية وبصرية ناعمة.
- تستخدم الملونات المعتمة للحصول على ملامس متنوعة ناعمة أو خشنة طبقاً لأسلوب تطبيقها.
- يمكن تحقيق الملامس الإيهامية باستخدام تداخلات لونية متنوعة ناتجة عن تحريك الملونات على سطح الزجاج.
- تتحكم طريقة تطبيق الملونات في الحصول على ملامس مختلفة، فعلى سبيل المثال يمكن نثر المينا الجافة فوق سطح زجاج مطلي بملامس من مواد لاصقة كالصمغ العربي لتسمح بالتصاق حبيبات اللون بنفس التأثير الملمسي.
- يمكن استخدام الملونات ذات درجة التثبيت الحراري (كما في بعض أنواع المينا حيث قد تصل درجة تثبيتها إلى: 750مº) الأعلى للحصول على تأثيرات ملمسية متنوعة؛ سواء كانت الملامس ناتجة عن طريقة تطبيق الملونات أو ناتجة من ملامس على السطح العلوي أو السفلي للزجاج.

2- تقنيات الثني والانسدال:

أولا: طرق تحقيق خصائص (اللون – الشفافية – الملمس) في تقنيات الثني والانسدال:

تتنوع الأساليب المستخدمة في تقنيات التشكيل بالثني والانسدال؛ حيث تعد هذه التقنيات الأشهر في مجال إعادة التشكيل الحراري للزجاج لسهولة التعامل معها وتشكيلها فنياً باتجاهات جمالية مختلفة، كما تتميز بكونها المدخل الرئيسي لتحويل الزجاج المسطح إلى شكل مجسم تحت تأثير درجة الحرارة وبمساعدة قوالب أولية أو أساسية تسهم في تشكيل الزجاج بأساليب مختلفة، وتعتمد عمليات التشكيل على استخدام طبقة أو طبقات من الزجاج المسطح، ومن ثم تعريضها لدرجات حرارة عالية تعمل على التصاق أو دمج هذه الطبقات معاً.

ويتم تحقيق اللون في هذه التقنيات بعدة أساليب منها:

- استخدام طبقة أو طبقات من الزجاج الملون معاً ومن ثم تليينها بتأثير الحرارة لتعطي تأثير لوني مختلف يعتمد على ألوان الزجاج ودرجة شفافيته.
- استخدام بعض أنواع الملونات التي تتحمل درجات الحرارة العالية.
- استخدام بعض الأكاسيد الملوِّنة لتوضع بين طبقات الزجاج وتعطي تأثيرات لونية تشبه الفقاقيع الملونة.
- يمكن استخدام الزجاج الملون مثل الأعمدة الملونة والقطع الصغيرة أو الحبيبات لتعطي تأثيرات لونية مختلفة.
- يمكن الدمج بين العديد من الأساليب السابقة معاً للحصول على تكوينات لونية متباينة.
- استخدام شرائح (قطاعات) من كتل زجاجية ملونة تم تكوينها بإعادة الصهر الحراري، ثم تقطيعها إلى شرائح وإعادة استخدامها في تقنيات الثني والانسدال.
- يمكن استخدام أساليب في تكوين اللون تعتمد على إعادة صهر قطع صغيرة من الزجاج الملون معاً إلى درجات حرارة مرتفعة للحصول على تكوين لوني مسطح، وفي مرحلة تالية يتم إعادة ثنيها أو انسدالها بتأثير الحرارة.

أما عنصر الشفافية وتأثيره في الزجاج المشكل بالثني والانسدال فيتم تحقيقه من خلال عدة أساليب تقنية تعتمد على:

- نوعية الزجاج ودرجة شفافيته: تؤثر درجة شفافية طبقات الزجاج أو إعتامها في التأكيد على الظل والنور المرتبط بتكوين الشكل، فاستخدام زجاج له درجة شفافية عالية يؤدي إلى الحصول على منتج زجاجي أقل شفافية، كما أن استخدام طبقات من زجاج بدرجات شفافة غامقة تقل فيه الشفافية بنسبة كبيرة مقارنة مع طبقات الزجاج الأفتح.
- نوع الملونات المستخدمة: تؤثر المواد الملونة المختلفة في نسبة الشفافية الناتجة في الزجاج، ويعتمد ذلك على درجة شفافية أو إعتام هذه المواد وطريقة تطبيقها.
- طريقة توزيع عناصر المواد الملونة: تؤثر طريقة توزيع هذه العناصر على إظهار الظل والنور ودرجة الشفافية، فتقل الشفافية في المناطق التي تحتوي على عناصر ملوِّنة أكثر كثافة وسمكاً.
- درجة الحرارة: تؤثر درجة الحرارة على نسبة شفافية الزجاج خاصة في حالة استخدام ملونات أو أكاسيد بين طبقات الزجاج.
- سمك الزجاج: بزيادة سمك طبقات الزجاج تقل شفافيته.

ويمكن تحقيق الملامس للزجاج المشكل بالثني والانسدال بطرق مختلفة منها:

- استخدام زجاج له ملامس محددة؛ بحيث تكون الملامس على السطح العلوي من العمل ليعطي ملامس حسية.
- يمكن تشكيل ملامس متنوعة من خلال قالب التشكيل (خاصة في درجات الحرارة العالية التي تسمح بتشكل الزجاج داخل جزيئات القالب.
- تشكيل ملامس حسية واضحة عند استخدام قطع صغيرة أو حبيبات على السطح العلوي للزجاج، ويختلف شكل الملامس باختلاف هيئة الزجاج وطريقة توزيعه ودرجة الحرارة.
- يمكن إحداث مجموعة من الملامس الإيهامية المتنوعة باستخدام العناصر الملونة الموزعة بين طبقات الزجاج.
- يمكن استخدام العوازل الحرارية (مثل الكاولين أوأكسيد الألومنيوم أو التلك) وأسلوب إضافتها على القالب أو فوق الرف الحراري لتكوين ملامس متنوعة كالتالي:
  - استخدام العوازل في حالتها الرطبة تعطي ملامس مختلفة عن طريق إضافتها بالفرش أو الوسائل المتنوعة لتطبيقها على القالب.
  - يمكن نثر العوازل في صورتها الجافة powder لتعطي ملامس ناعمة للزجاج أو محببة.
  - يمكن الحصول على ملامس محببة خشنة برش العوازل برذاذ الماء.

- يمكن الحصول على ملامس متنوعة بمطابقة مواد أخرى طبيعية أو صناعية عند تنفيذ قوالب حرارية لتعطي أنواع متباينة من الملامس، والتي يمكن التحكم بشكلها وتوزيعها وهيئتها النهائية المؤثرة في الشكل النهائي لملمس الزجاج الناتج، لتكون الأجزاء البارزة بالقالب غائرة بالزجاج والعكس صحيح.
- يتم إعطاء ملمس إيهامي بين طبقات الزجاج بشكل منتظم بعمل تجاويف داخله قبل التشكيل الحراري لضمان حبس الهواء، ويتم ذلك باستخدام الحفر بالرمال الناعمة أو بالثقب، كما يمكن تطبيق ذلك باستخدام زجاج له ملامس غائرة منتظمة أو بإضافة أجزاء صغيرة من الزجاج بين طبقتين. وفي حالة رفع درجة الحرارة بنسبة كبيرة تسمح بتمدد تجويف الهواء داخل الزجاج اللين ليصبح كالفقاعة، ويمكن استخدام مواد أخرى تعمل على توليد هواء بين طبقات الزجاج مثل استخدام صودا الغسيل Washing soda .

وفيما يلي توضح الأشكال من (10) إلى (17) نماذج من منتجات زجاجية تم تشكيلها بأساليب الثني والانسدال تظهر خصائص اللون والملمس والشفافية:

شكل (10) طبق فني منفذ بالثني داخل قالب يظهر استخدام الزجاج الملون الشفاف لإعطاء تأثيرات لونية وملمسية سطحية متنوعة.
(https://www.pinterest.com/explore/fused-glass-bowl/)

شكل (11) تكوين فني لتشكيل الزجاج بالتعليق يظهر اختلاف تأثير الشفافية نتيجة للتراكب بين عناصر التكوين.
(https://www.pinterest.com/napero/pipaluk-lake/)

شكل (12) طبق فني منفذ بالثني الحراري داخل قالب يظهر استخدام الزجاج الملون مع أرضية شفافة لإعطاء تأثيرات لونية، كما يبدو تأثير الملمس باستخدام حبيبات الزجاج.
(www.ceramicsglass.com/glassspring.html)

شكل (13) طبق فني منفذ بالثني الحراري، ويظهر استخدام الأسلوب التصويري في التشكيل والاعتماد على الإظهار الفني من خلال مجموعة لونية واحدة.
(www.valerieadamsglass.com/smaller_pieces.html)

شكل (14) طبق فني منفذ بالثني الحراري، ويظهر التأكيد على شفافية الزجاج، إضافة إلى الملامس الحسية الناتجة عن قطع الزجاج.(https://www.pinterest.com/explore/fused-glass-plates)

شكل (15) طبق فني منفذ بالثني الحراري، ويظهر التنوع في استخدام الزجاج الشفاف مع المعتم، والملامس المميزة لقطع الزجاج المنصهرة. (https://www.pinterest.com › Art › Glass)

شكل (16) تكوين فني مجسم منفذ بالثني الحراري، ويظهر التنوع في استخدام الدرجات اللونية للزجاج الشفاف، مع إظهار الشكل من خلال علاقة الكتلة مع الفراغ. (www.quigglys.com/events.php)

شكل (17) طبق فني منفذ على مرحلتين: صهر قطع زجاجية ملونة غير شفافة على شكل مسطح معتم، ثم تجسيمها بالثني الحراري، ويظهر تأكيد اللون مع زجاج أسود كأرضية. (https://www.pinterest.com/tbryant1845/fusion-glass)

ثانياً اعتبارات تحقيق خصائص (اللون – الشفافية – الملمس) في تقنيات الثني والانسدال:

اعتبارات تحقيق خصائص اللون:

- يتم تحديد أسلوب الإظهار اللوني بتقنيات الثني والانسدال للزجاج طبقاً للتأثير الفني المطلوب، فتنوع التقنيات يتيح مدى واسع من التغيرات المتاحة في التشكيل اللوني.
- يراعى تطبيق المنحنى الحراري المناسب لكل تقنية (600 : 700 مº) للحصول على التكوين العام للشكل والخصائص اللونية والملمسية له.
- في حالة استخدام طبقات لنوعيات مختلفة من الزجاج الملون يجب التأكد من التوافق في معامل التمدد الحراري للزجاج (COE Coefficient Of Expansion) ضماناً لعدم تكون شروخ أو كسر للزجاج نتيجة للإجهاد.
- في حالة استخدام طبقات من الزجاج الشفاف الملون معاً يراعى التغير في اللون النهائي الناتج عن تراكب الألوان المختلفة.
- للحصول على منتجات زجاجية غير متبلورة تستخدم نوعيات من الزجاج لا تدعم تكوين البلورات، كما يمكن تعريض الزجاج لتبريد سريع بعد وصوله للحد الأعلى للحرارة ، وذلك حتى ما قبل درجة الإجهاد.[17]

[17] Boyce Lundstrom : " op. cit, p. 93.

- يستخدم الزجاج المعتم للحصول على تأثيرات لونية قوية مقارنة مع استخدام الزجاج الشفاف؛ حيث تسمح الشفافية بنفاذ جزء كبير من الضوء، والذي يقلل بدوره من قوة اللون ليبدو أفتح.
- يراعى تغير اللون في بعض نوعيات الزجاج التي يتغير تركيب العناصر الملونة بها تحت تأثير الحرارة، فعلى سبيل المثال في بعض نوعيات الزجاج الأحمر يتغير إلى اللون الأصفر، كما قد يتغير اللون البرتقالي أو الأحمر إلى البني.
- تختلف درجة لون الزجاج بتغير سمكه، وذلك بصفة خاصة في المنتجات التي تُشكل بتقنيات الانسدال بدون قالب أو الانسدال بالتعليق، حيث تتحرك طبقة الزجاج الملون مسافة أكبر وبالتالي يقل السمك ليصبح اللون أكثر شفافية، ويزيد السمك في أماكن أخرى ليصبح اللون بدرجة أغمق.

اعتبارات تحقيق خصائص الشفافية:

- استخدام زجاج شفاف أو نصف شفاف كطبقات يؤدي إلى الحصول على منتج زجاجي به شفافية بنسبة أقل نتيجة للتراكب اللوني بين الزجاج الملون.
- في حالة استخدام الزجاج المعتم أو نصف شفاف كطبقة قاعدية للعمل يتم استخدام زجاج معتم لإظهار الشكل، حيث أن استخدام الزجاج الشفاف فوق المعتم لا يظهر اللون بشكل جيد.
- استخدام طبقات من الزجاج ذو الشفافية المنخفضة معاً يؤدي إلى الحصول على منتج بألوان ذات كثافة أعلى فتزيد قيمة اللون.
- يراعى عدم السماح بتكون بلورة سطحية على الزجاج الشفاف لأنها تخفض من الشفافية بنسبة كبيرة.
- يجب استخدام نوعيات خاصة من الزجاج لها خواص حرارية لا تسمح بتكون تأثيرات سطحية (انكماشات سطحية للزجاج) تقلل من شفافيته وتسبب ملامس سطحية غير مرغوب بها.

اعتبارات تحقيق خصائص الملمس:

- تنوع تقنيات الثني والانسدال توفر درجة كبيرة من التحكم في تكوين ملامس متنوعة للزجاج وبأساليب مختلفة تستفيد من زيادة معدلات درجات الحرارة المستخدمة.
- يمكن استخدام درجات الحرارة المناسبة للحصول على التأثيرات الملمسية الدقيقة الموجودة على سطح القالب.
- للحصول على ملامس ناعمة للزجاج المشكل بالثني الحراري داخل أو فوق قالب؛ يتم ذلك في الاتجاه الغير ملامس للقالب، حيث يؤدي تلامس الزجاج مع القالب (خاصة في درجات الحرارة العالية) إلى تكوين ملامس.
- للحصول على ملامس إيهامية بين طبقات الزجاج يتم رفع درجات الحرارة بنسبة كبيرة تسمح بتداخل الألوان على هيئة ملامس بصرية.
- عند تطبيق ملامس إيهامية على هيئة فقاقيع بين طبقات الزجاج باستخدام الأكاسيد الملوِّنة؛ يجب التحكم في توزيعها مع المواد الصهارة، بما يسمح بتواجد فقاقيع صغيرة شفافة غير ملونة أو ملونة، وبحجم مناسب يظهر التأثير المطلوب دون الوصول إلى تكوين فقاقيع كبيرة قد تكسر طبقة الزجاج أو تقلل سمكها فتضعفها.

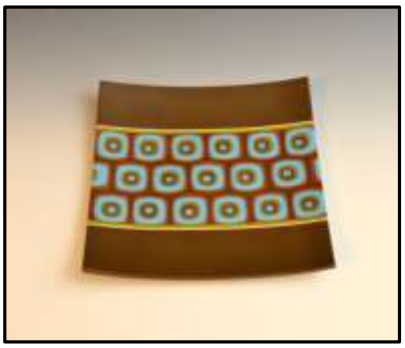
3- تقنيات التمدد والدمج:

أولا: طرق تحقيق خصائص (اللون – الشفافية – الملمس) في تقنيات التمدد والدمج:

تستخدم تقنيات التمدد والدمج لتشكيل منتجات زجاجية في درجات حرارة مرتفعة تصل إلى الاندماج الكامل بين طبقات الزجاج، وتتنوع خصائص هذه المنتجات طبقاً لخصائص وألوان الزجاج المستخدمة أو المواد المضافة بين الطبقات، كما تتنوع أشكالها ما بين المسطح والمجسم. ويتم تحقيق اللون في هذه التقنيات بعدة أساليب مشابهة لتحقيقه في تقنية الثني

والانسدال، إلا أنها تعتمد على تشكيل المنتجات على هيئة مسطحة أولاً، ومن ثم يمكن تجسيمها في مرحلة تالية بالثني والانسدال، كما يمكن استخدام عناصر متنوعة بين طبقات الزجاج لتضفي تأثيرات لونية وملمسية مختلفة، ويعطي الارتفاع الكبير في درجات الحرارة المستخدمة فرصة كبيرة في تكوين تشكيلات ملمسية متنوعة في السطح السفلي للزجاج. أما عنصر الشفافية وتأثيره في الزجاج المشكل بتقنيات التمدد والدمج فيتم تحقيقه من خلال عدة أساليب تقنية تعتمد على: نوعية الزجاج ودرجة شفافيته، نوع الملونات المستخدمة وطريقة توزيعها، درجة الحرارة، سمك الزجاج.

وفيما يلي توضح الأشكال من (18) إلى (20) نماذج من منتجات زجاجية تم تشكيلها بأساليب التمدد والدمج تظهر خصائص اللون والملمس والشفافية:



شكل (18) طبق فني منفذ على مرحلتين: صهر قطع زجاجية ملونة غير شفافة على زجاج مسطح (مستوى التمدد والدمج)، ثم تجسيمها بالثني الحراري داخل قالب.
(https://www.pinterest.com/lisamagnanocrai/fused-glass)

شكل (19) طبق فني منفذ على مرحلتين: صهر قطع زجاجية ملونة غير شفافة على زجاج شفاف مسطح (مستوى التمدد والدمج)، ثم تجسيمها بالثني الحراري فوق قالب.
(https://www.pinterest.com/jackiequilts/colored-glass)

شكل (19) تكوين فني منفذ من طبقات زجاجية شفافة (ملونة وغير ملونة) باستخدام التشكيل في مستوى التمدد والدمج.
(https://uk.pinterest.com/explore/glass-wall-art)

شكل (20) طبق فني منفذ بصهر قطع زجاجية شفافة وغير شفافة مع وضع إضافات معدنية بين قطع الزجاج باستخدام التشكيل في مستوى التمدد والدمج.
(https://www.pinterest.com/mconnergross/fused-glass-fish)

ثانياً اعتبارات تحقيق خصائص (اللون – الشفافية – الملمس) في تقنيات التمدد والدمج:

اعتبارات تحقيق خصائص اللون:

- يتم تطبيق المنحنى الحراري المناسب لتقنيات التمدد والدمج (750 : 800 °م) للحصول على التكوين العام للشكل والخصائص اللونية والملمسية له.

- تتشابه اعتبارات تحقيق خصائص اللون والشفافية والملمس في معظمها مع تقنيات الثني والانسدال، إلا أن تقنيات التمدد والدمج تقترن دائماً باستخدام طبقات من الزجاج تدمج معاً بتأثير الحرارة، أما في تقنيات الثني والانسدال يمكن استخدام طبقة واحدة من الزجاج.
- نتيجة لدرجة الحرارة العالية المستخدمة يراعى التغير الذي يحدث في درجة لون بعض أنواع الزجاج، إضافة إلى إمكانية التداخل اللوني بين طبقات الزجاج.
- يجب حساب التغير في درجة لون بعض المواد المعدنية بين طبقات الزجاج، والتي تؤدي بالتالي لتأثيرات لونية في الزجاج قد تكون غير مرغوب فيها، فعلى سبيل المثال عند استخدام شرائح من النحاس قد يتغير لونها بتأثير الحرارة وجو الفرن (مختزل – مؤكسد)[18] .

اعتبارات تحقيق خصائص الشفافية:

- يرتبط تحقيق درجة الشفافية والإعتام بنوع الزجاج المستخدم وسمكه وظروف الإنتاج.
- يراعى تحديد نسب الشفافية والإعتام الناتجة عن المواد المضافة بين طبقات الزجاج.
- عند استخدام مواد لاصقة مؤقتة لتثبيت طبقات الزجاج (مثل الصمغ العربي) يجب استخدام كميات ضئيلة منه وعلى طرف قطعة الزجاج للسماح بخروج البقايا وعدم حبسها داخل الزجاج على هيئة تأثير غير مرغوب به.

اعتبارات تحقيق خصائص الملمس:

- تنوع أساليب التشكيل بالتمدد والدمج توفر درجة كبيرة من التحكم في تكوين ملامس متنوعة للزجاج وبأساليب مختلفة تستفيد من زيادة معدلات درجات الحرارة المستخدمة.
- يتم استخدام طبقات الزجاج ذات التجاويف أو الملامس الكبيرة في الحصول على تأثيرات ملمسية بصرية بين طبقات الزجاج.
- للحصول على تأثيرات ملمسية من الطبيعة (كأوراق الأشجار أو الأغضان) يراعى حصر هذه العناصر بين طبقات الزجاج لضمان ثبات تأثير حرقها.

4- تقنيات التدفق:

أولا: طرق تحقيق خصائص (اللون – الشفافية – الملمس) في تقنيات التدفق:

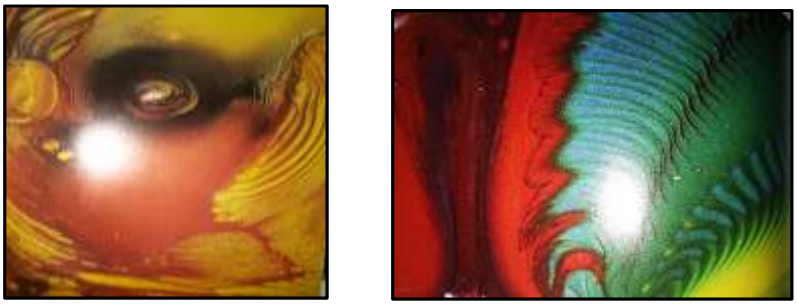
ترتبط تقنيات التدفق بمستوى مرتفع من درجات الحرارة المستخدمة في صهر الزجاج، وصولاً إلى زيادة درجة سيولته بنسبة كبيرة بما يسمح بالتداخل والتراكب اللوني بين الزجاج الملون بألوان مختلفة، ويستخدم هذا الأسلوب إما لتشكيل المنتج بصورة نهائية، أو استخدامه كأحد مراحل التشكيل المبدئي للزجاج، حيث يسمح التراكب اللوني بتوالد تأثيرات لونية متميزة يصعب تنفيذها بأساليب تقنية أخرى؛ فقد يستخدم هذا الأسلوب في تنفيذ كتل زجاجية سميكة، ومن ثم يُعاد تقطيعها إلى قطاعات رأسية أو أفقية ذات سمك أرفع تحتوي على تشكيلات لونية متميزة؛ ليتسنى إعادة تشكيلها بالحرارة بأساليب تقنية مختلفة.

ويتم تحقيق اللون في هذه التقنيات باستخدام نوعيات مختلفة من الزجاج الملون على هيئة مسطحات أو قطع أو كتل زجاجية، وقد تستخدم بعض الأكاسيد الملونة التي تتحمل درجات الحرارة المرتفعة لتعطي تأثيرات لونية مختلفة تتدرج بين

[18] Jim Kervin and Dan ton: op. cit, p. 119

الفاتح والغامق طبقاً للون الزجاج وسمكه. كما تستخدم درجة الشفافية والإعتام بالزجاج المشكل من خلال تقنيات التدفق في إظهار التكوين الفني المميز لها، فالصهر الكامل للزجاج يؤدي إلى إحداث تداخل لوني يؤثر على درجة شفافية الزجاج، كما أن السمك الكبير للزجاج الناتج قد يؤدي إلى تقليل الشفافية بنسبة كبيرة قد تصل بها إلى الإعتام الكامل، كما هو الحال عند استخدام زجاج بدرجات لونية كثيفة أو غامقة. أما عنصر الملمس في هذه التقنيات فيمكن إظهاره بشكل أساسي عن طريق الملامس الإيهامية التي يلعب فيها توزيع اللون الدور الأكبر في توجيه رؤية القيمة الملمسية، كما يمكن إظهار الملامس الحسية من خلال قوالب التشكيل المستخدمة.

وفيما يلي نماذج من منتجات زجاجية تم تشكيلها بأساليب التدفق تظهر خصائص اللون والملمس والشفافية، كما هو موضح بالأشكال (21) ، (22) :



شكل (21) نماذج من تأثير حركة اللون في تقنيات التدفق

شكل (22) تكوينات فنية منفذة من طبقات زجاجية شفافة باستخدام التشكيل بتقنيات التدفق، ويظهر الاختلاف في اللون والشفافية تحت تأثير تغير سمك الزجاج.(https://artemest.com/artisans/daniela-forti)

ثانياً اعتبارات تحقيق خصائص (اللون – الشفافية – الملمس) في تقنيات التدفق:

اعتبارات تحقيق خصائص اللون:

- يتم تطبيق المنحنى الحراري المناسب للتقنيات بمعدل حراري يتجاوز (850 °م) لضمان صهر الزجاج للحصول على التكوين العام للشكل والخصائص اللونية والملمسية له.
- يتم استخدام نوعيات مختلفة من الزجاج الملون للحصول على تأثيرات لونية متميزة، وتعتمد هذه التأثيرات على:
  - ألوان الزجاج المستخدم في التشكيل.
  - هيئة الزجاج (شرائح – قطع – حبيبات – كتل).
  - طريقة توزيع الزجاج داخل القالب أو بوتقة الصهر.
  - درجة الحرارة.
  - الإضافات اللونية المستخدمة.

- شكل المنتج.

– في حالة استخدام الصهر في بواتق يجب مراعاة شكل الفتحات وعددها والمسافة الفاصلة بين البواتق والقالب.، حيث تؤدي هذه المتغيرات في التأثير على المسار اللوني بالزجاج.
– يجب حساب التغير في درجات ألوان الزجاج تحت تأثير الحرارة العالية والتراكب اللوني بين درجاته المختلفة.

اعتبارات تحقيق خصائص الشفافية:

– يرتبط تحقيق درجة الشفافية والإعتام بنوع الزجاج المستخدم وخواصه، وظروف الإنتاج في درجات حرارة التشكيل.
– يعتبر سمك الزجاج من العناصر الرئيسية المؤثرة في نسب الشفافية والإعتام، لذا لضمان الحصول على تأثير الظل والنور المطلوب بالعمل يجب تحديد أثره على الزجاج، مع الوضع في الاعتبار خصائص الضوء الساقط لإظهار الشكل.

اعتبارات تحقيق خصائص الملمس:

– يمكن الحصول على ملامس إيهامية متنوعة بهذه التقنية تحت تأثير الحرارة الكبيرة المستخدمة في التشكيل، لذا يراعى تحديد كيفية تطبيقها والمتغيرات المؤثرة في تكوينها.
– للحصول على ملامس حقيقية على سطح الزجاج تستخدم اتجاهات مختلفة لتنفيذها على القالب، مع ضرورة توفير العزل المناسب بين الزجاج والقالب لضمان عدم الالتصاق تحت تأثير درجات الحرارة العالية.
– يمكن إحداث ملامس تشبه قطرات الماء المتساقطة إلا أنه يجب تبريد الزجاج للحفاظ على ثبات قطرات الزجاج.
– للحصول على ملامس ناعمة في الكثير من تقنيات إعادة التشكيل الحرراي للزجاج يجب رفع درجة حرارة التشكيل بنسبة كبيرة لضمان الصهر الكامل للزجاج، كما أنه يمكن تحقيق الملمس الناعم لزجاج هذه التقنيات في حالة تشكيله أو بعض أجزائه بدون ملامسة القالب؛ حيث يؤدي القالب عادة لظهور ملامس مختلفة على الزجاج.

5- تقنيات السبك (الصب):

أولا: طرق تحقيق خصائص (اللون – الشفافية – الملمس) في تقنيات السبك:

تعتبر تقنيات تشكيل الزجاج بالسبك Casting من الطرق الإنتاجية الهامة في تشكيل الزجاج بإعادة صهره؛ حيث تعد النحتيات الزجاجية المشكلة بتلك التقنيات الأشهر في إظهار جماليات المنتجات الزجاجية ذات الطبيعة النحتية، وتعد من أوائل تقنيات تشكيل الزجاج عامة، كما أنها المدخل الرئيسي لإعادة اكتشاف إنتاج الزجاج بأساليب إعادة الصهر، وتنوعت أساليب تشكيل الزجاج بهذه التقنيات ما بين استخدام حبيبات الزجاج pate de veree في الإنتاج، إلى استخدام مسطحات أو قطع أو كتل زجاجية، ونظراً للتنوع الكبير في هذه الأساليب فإن تأثير اللون والشفافية والملمس على المنتجات الزجاجية المشكلة بها يتنوع ما بين البساطة والتعقيد والعلاقات التبادلية لهذه العناصر مع المكونات الأخرى من عناصر تكوين شكل العمل.

ويتم تكوين اللون في هذه التقنيات إما عن طريق استخدام زجاج ملون، أو استخدام أكاسيد ملونة تضاف مع قطع أو حبيبات الزجاج قبل التشكيل، وقد يتم صهر الزجاج مع الأكاسيد الملونة أولاً داخل بواتق للحصول على زجاج ملون، ثم يعاد استخدامه ككتلة أو كحبيبات لتنصهر داخل قالب التشكيل. وتتنوع خصائص اللون في منتجات هذه التقنيات طبقاً لعدة متغيرات تتضمن:

- نوع الزجاج: تختلف مواصفات اللون في المنتج الزجاجي طبقاً لنوع الزجاج المستخدم ومواصفات ألوانه.
- هيئة الزجاج: يتنوع ظهور اللون باختلاف هيئة الزجاج المستخدم (مسطحات – قطع – كتل – حبيبات – أعمدة)؛ فتختلف خصائص اللون الناتج من هيئات مختلفة للزجاج، فالمنتج المشكل من حبيبات زجاجية على سبيل المثال يمكن أن يحتوي على تكوين لوني محبب ناتج عن حجم الحبيبات المستخدمة .
- سمك الزجاج: يؤثر سمك النحتيات الزجاجية على ظهور اللون، فعند تنفيذ عمل من زجاج ملون شفاف يصبح اللون أفتح (لسهولة نفاذ الضوء) في السمك الرفيع بينما يتجه إلى الإظلام بزيادة السمك.
- درجة الحرارة: تنوع درجات الحرارة يؤثر في خصائص اللون الناتج؛ فدرجات الحرارة المرتفعة تؤدي لصهر كامل للزجاج وتوزيع منتظم نسبياً للون.
- نوع المواد الملونة وخواصها: تؤثر نوع الملونات التي يمكن إضافتها للزجاج في خصائص اللون، حيث تختلف البنية اللونية الناتجة باختلاف الحرارة اللازمة للصهر، وفترة الثبات عند درجة الحرارة القصوى، وتركيز المادة الملونة، إضافة إلى الجو المؤكسد أو المختزل داخل الفرن.
- شكل المنتج وأبعاده: تتغير خصائص اللون باختلاف شكل المنتجات؛ فالأشكال ذات الفراغات البينية في التركيب تسمح بمرور جزء أكبر من الضوء وبالتالي تظهر قيمة اللون أو نصوعه بشكل أوضح مقارنة مع الكتل المصمتة. كما أن الأبعاد الكبيرة للمنتجات تتطلب عادة سمكا أكبر للزجاج وبالتالي تزيد نسبة الإعتام اللوني.
- طريقة الإنتاج: تؤثر طرق الإنتاج المختلفة على خصائص اللون، فطرق الإنتاج المعتمدة على استخدام بواتق الصهر Dribble Casting يختلف مظهر اللون الناتج عنها مقارنة مع طرق الإنتاج التي يُملأ بها القالب نفسه بالزجاج Static Casting.

أما الشفافية في تقنيات السبك فترتبط بشكل عام بالمتغيرات المؤثرة في اللون، فدرجة اللون وخواصه تؤثر على مظهر الشفافية والإعتام، كما أن خواص الضوء الخارجي تؤثر في نسب شفافية الزجاج، إضافة إلى نوع الزجاج وهيئته، وسمك المنتج وصفاته الشكلية.

ويمكن تحقيق الملامس للزجاج المشكل بالسبك بطرق مختلفة عن طريق تحقيق الملامس الإيهامية الناتجة من حركة وتداخل الزجاج الملون، والملامس الحقيقية المتنوعة التي يمكن إظهارها من خلال قوالب التشكيل المستخدمة بالحفر البارز أو الغائر، كما أن استخدام حبيبات الزجاج في الإنتاج يؤثر في ملامس الزجاج الناتج وشفافيته.

وفيما يلي توضح الأشكال من (23) إلى (31) نماذج من منتجات زجاجية تم تشكيلها بأساليب السبك تظهر خصائص اللون والملمس والشفافية:

شكل (23) تشكيل نحتي يظهر اختلاف اللون والشفافية بتنوع سمك الزجاج، مع التأكيد على الجمع بين الملامس الناعمة والخشنة.
(https://www.pinterest.se/eddiersculpture/glass)

شكل (24) تشكيل نحتي يظهر اختلاف اللون والشفافية بتنوع سمك الزجاج، مع إظهار تأثير الفراغ الداخلي بالتكوين على إنفاذ الضوء وبالتالي زيادة شفافية اللون.
(https://www.pinterest.com/pin/327285097903566130)

شكل (25) تشكيل نحتي يظهر أهمية الملامس في التأكيد على جماليات التكوين
(https://www.pinterest.com/terimonka/glass-objects/)

شكل (26) تشكيل نحتي يظهر دور الملامس الطولية مع تنوع السمك في إظهار الشكل.
(https://www.pinterest.com/derinlik/glass-art/)

شكل (27) تكوينات من النحت الزجاجي المشكل بالسبك يظهر تأثير السمك في إظهار خصائص اللون والشفافية والملمس، مع إظهار أثر التراكب اللوني للزجاج الشفاف على إظهار جماليات الشكل
(https://www.pinterest.com/soconfused1619/glass/)

شكل (28) تكوينات من النحت الزجاجي تظهر العلاقة بين الشفافية والإعتام والملامس في إظهار الشكل
(https://www.pinterest.com/sabrinaxie65/fragile)

شكل (29) تشكيل نحتي يظهر دور الملامس الشفافة ونصف الشفافة في جماليات التكوين
(www.littletonvogel.com/portfolio/cast/Reflecting.html)

شكل (30) تشكيل فني مسطح بتقنية pate de verre يظهر التحكم في توزيع اللون من حبيبات الزجاج وأثرها على تكوين الملمس
(https://www.pinterest.com/carolyndavis66/art-design-glass/)

شكل (31) قطع زجاجية فنية مشكلة بتقنية pate de verre ، ويظهر التحكم في توزيع الدرجات اللونية المختلفة، كما تظهر درجات الشفافية والملامس طبقاً لنوعية الزجاج المستخدم. (https://www.pinterest.com/YouSnowGirl/bowls)

ثانياً اعتبارات تحقيق خصائص (اللون – الشفافية – الملمس) في تقنيات السبك:

اعتبارات تحقيق خصائص اللون:

- تتشابه اعتبارات تقنيات السبك مع تقنيات التدفق لتقارب معدل درجات الحرارة فيها، إلا أن تقنيات السبك تتميز بالقدرة على التحكم في مسار حركة لون الزجاج بشكل أكبر، خاصة في تقنيات السبك باستخدام حبيبات الزجاج؛ حيث تتوافر إمكانية توزيع اللون بدرجات لونية متنوعة سواء كانت ألوان مفردة أو تدريجات باللون الواحد أو تداخلات لونية للألوان الشفافة.
- يمكن إحداث العديد من التنوعات في الخصائص اللونية للمنتجات المنفذة بالسبك بضبط المتغيرات المؤثرة في إظهار اللون كنوع وسمك الزجاج، ودرجة الحرارة، وشكل المنتج وأبعاده، وطرق التشكيل.
- يجب تطبيق المنحنى الحراري المناسب لتشكيل المنتج، لضمان عدم إجهاد المنتج والحصول على الهيئة المطلوبة للون وشفافية الزجاج دون السماح بتكوين تبلور على سطح الزجاج يغير من هيئة اللون وشفافية المنتج.
- يعد التحكم في توزيع الزجاج وكميته في البوتقة أو قالب التشكيل من الأساسيات الهامة لإظهار خصائص اللون به.
- تختلف درجة التحكم بتوزيع اللون في العمل طبقاً لتنوع أساليب تطبيقه، فعلى سبيل المثال يمكن توزيع اللون بدرجات لونية وتدريجات ظلية متنوعة عن طريق صهر حبيبات الزجاج[19] .
- يمكن الاستفادة من استخدام اللون وتأثيراته المختلفة في التعبير عن خامات أخرى مثل السيراميك والرخام.

اعتبارات تحقيق خصائص الشفافية:

- يرتبط تحقيق درجة الشفافية والإعتام بنوع الزجاج المستخدم ، فعلى سبيل المثال فإن استخدام زجاج (الكريستال المحتوي على نسبة من الرصاص) يوفر نسبة أعلى من الشفافية مقارنة مع زجاج (السليكا – صودا – جير).
- يعتبر سمك الزجاج من العناصر الرئيسية المؤثرة في نسب الشفافية والإعتام، لذا لضمان الحصول على تأثير الظل والنور المطلوب بالعمل يجب تحديد أثره على الزجاج، مع الوضع في الاعتبار خصائص الضوء الساقط لإظهار الشكل.
- يتم التحكم في اختيار ألوان وخصائص الزجاج المستخدم بهدف الوصول إلى نسب الشفافية والإعتام في المنتج.

[19] Jim Kervin and Dan ton: op. cit, p. 117

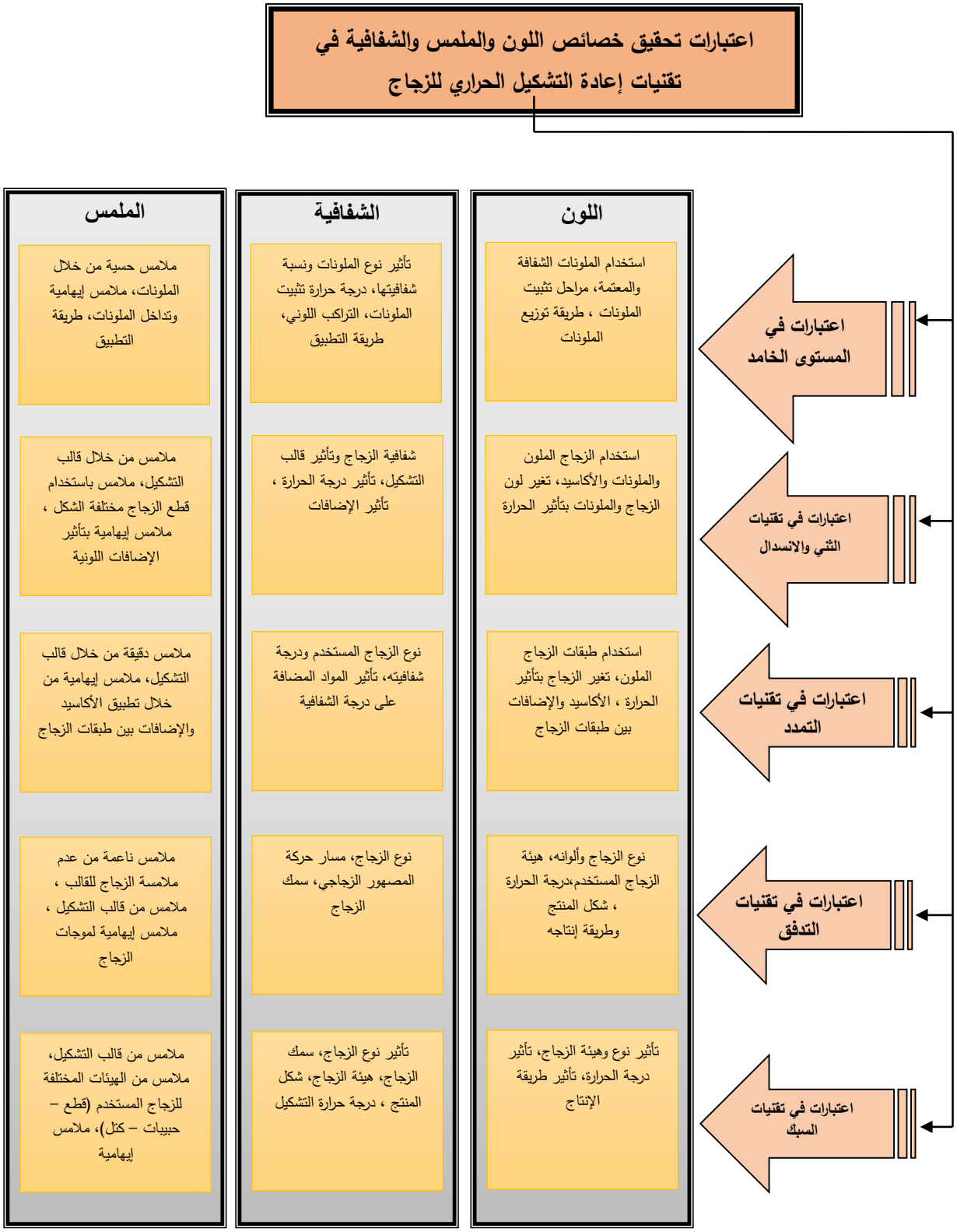
- تختلف درجة الشفافية بتغير هيئة الزجاج المستخدم لصهره، لذا يجب مراعاة خصائص كل هيئة في إظهار الشفافية والإعتام، فعلى سبيل المثال تقل درجة شفافية المنتج عند تشكيله من حبيبات زجاجية دقيقة الحجم مقارنة مع تشكيله من حبيبات أكبر حجماً، أو من كتل زجاجية والتي توفر أعلى نسبة من الشفافية؛ حيث تقل المعوقات أو الفراغات البينية التي تقلل من الشفافية.
- تؤثر طريقة الإنتاج على شفافية الزجاج؛ فعلى سبيل المثال فإن استخدام طريقة السبك عن طريق الصهر في بواتق (لضمان عدم وجود فقاعات هوائية) ثم صب المصهور داخل تجويف القالب يسمح بزيادة فرص الشفافية.
- يمكن زيادة فرص إظهار الشفافية في تقنية صهر حبيبات الزجاج عن طريق استخدام حبيبات زجاجية ناتجة عن صهر الزجاج ثم تعريضه لصدمة حرارية بالتبريد المفاجئ، مقارنة مع الحبيبات الناتجة بالمعالجة الميكانيكية بالطحن.
- يجب تحديد درجات حرارة مناسبة لتشكيل المنتج وتأثيرها على نسب الشفافية، فزيادة درجة الحرارة تسمح بالصهر الكامل للزجاج وتزيد من شفافيته.
- يؤثر شكل المنتج على إظهار الشفافية وتأثير الظل والنور بالتكوين الفني، فاحتواء الشكل على فراغات بينية بأسماك رفيعة تزيد من فرص إنفاذ الضوء وبالتالي يبدو أكثر شفافية.
- تقل شفافية الزجاج في حالة المجسمات الزجاجية الدائرية لوصول قدر ضئيل من الضوء بسبب انحناء المنتج مما يحجب وصول كل الضوء مقارنة مع المنتجات ذات الأسطح المستوية.[20]
- تؤثر خصاص الضوء الساقط على الزجاج في إظهار اللون ودرجة الشفافية وحتى التأكيد على ظهور الملامس بهيئة محددة.

اعتبارات تحقيق خصائص الملمس:

- نتيجة للمعدل الحراري المتباين في تقنيات السبك يتم الاستفادة منه في الحصول على ملامس مختلفة ناتجة عن تأثير درجة الحرارة على الزجاج.
- يمكن إظهار الملامس الإيهامية للنحتيات الزجاجية المسبوكة عن طريق التحكم في التداخلات اللونية وطريقة توزيعها، إضافة إلى إمكانية تضمين الزجاج لفقاعات هوائية بأساليب مختلفة تؤكد على الملمس الإيهامي.
- تتنوع أساليب تحقيق الملامس الحقيقية في الزجاج المسبوك سواء الملامس الناعمة (الناتجة عن الصهر الكامل للزجاج أو استخدام آليات لتشطيب وتنعيم المنتج بعد تشكيله حرارياً)، أو الملامس الناتجة من قوالب التشكيل المستخدمة، أو الملامس الناتجة عن استخدام هيئات مختلفة من الزجاج (حبيبات – قطع – كتل).
- تختلف درجة خشونة الملمس في تقنية صهر حبيبات الزجاج باختلاف درجة الحرارة؛ فزيادة درجة الحرارة بشكل كبير تؤدي إلى صهر الحبيبات والحصول على ملمس ناعم، وذلك مقارنة مع الملمس الخشن الناتج عن درجة الحرارة الأقل.

[20] ولاء حامد محمد: مرجع سابق، ص: 138.

ويوضح الشكل رقم (32) تخطيط لبعض اعتبارات تحقيق خصائص اللون والملمس والشفافية في تقنيات إعادة التشكيل الحراري للزجاج.



شكل (32) اعتبارات تحقيق خصائص اللون والملمس والشفافية في تقنيات إعادة التشكيل الحراري للزجاج

نتائج البحث:

- تم التأكيد على أهمية عناصر اللون والشفافية والملمس باعتبارها من عناصر تكوين الشكل في المنتجات الزجاجية المعاد تشكيلها حرارياً لتحقيق القيم الجمالية والوظيفية به.
- تم تحديد أهم تقنيات إعادة التشكيل الحراري للزجاج طبقاً للمستوى الحراري لها ومنها: تقنيات المستوى الحراري الخامد، تقنيات الثني والانسدال، تقنيات التمدد والدمج، تقنيات التدفق، تقنيات السبك.
- قامت الدراسة بتحديد أهم الأساليب المستخدمة لتحقيق خصائص اللون والشفافية والملمس في كل تقنية من تقنيات إعادة التشكيل الحراري للزجاج، مع استعراض لبعض النماذج الموضِّحة للأسلوب الإنتاجي.
- وضع مجموعة من الاعتبارات في تقنيات إعادة التشكيل الحراري للزجاج لتحقيق الخصائص الرئيسية للون والشفافية والملمس في كل منها.

- توصيات البحث:

- التوسع في دراسة تطوير أساليب وطرق إعادة التشكيل الحراري للزجاج في علاقتها باعتبارات تصميم المنتج.
- دعم التوجهات البحثية في مجالات إنتاج الزجاج للوصول إلى المشكلات وإيجاد الحلول والبدائل لها.
- ضرورة الاهتمام بزيادة توظيف تقنيات إعادة التشكيل الحراري للزجاج في المجالات الاستخدامية والجمالية المختلفة بمصر، لدعم التقنيات وزيادة فرص استخدامها كأحد مشروعات الصناعات الصغيرة.

- المراجع العربية:

1- شاكر عبد الحميد: "**التفضيل الجمالي**" دراسة في سيكولوجية التذوق الفني – الكويت : عالم المعرفة،العدد: 267، 2001م .

2- ولاء حامد حمزة: " **اعتبارات تصميم وتنفيذ المنتجات الفنية المشكلة بإعادة صهر الزجاج Pate de verre**" رسالة دكتوراه ، كلية الفنون التطبيقية، جامعة حلوان، القاهرة، 2016م.

- المراجع الأجنبية:

1- Boyce Lundstrom : " **Advanced Fusing Techniques** - Glass Fusing Book Two " published by Vitreous Publications, Canada, 1991.
2- Heike Brachlow: "**Shaping Colour: Density, Light and Form in Solid Glass Sculpture**" Doctor of Philosophy Royal College of Art, 2012.
3- Henery Halem : " **Glass Notes– A Reference for The Glass Artist"** published by Franklin Mills Press, Kent, Ohio, USA, 2006.
4- Jim Kervin and Dan Fenton: "**Pate de Verre and Kiln Casting of Glass**" Glass Wear Studios, (2nd ed.), 2000.
5- Keith Cummings: **Techniques of Kiln –Formed glass**, A&C Black London, 2007.
6- Philippa Beveridge, Ignasi Doménech, Eva Pascual: "**Warm Glass: A Complete Guide to Kiln-Forming Techniques: Fusing, Slumping, Casting** ", published by Lark Books, Spain, 2005.
7- Robert H. Doremus: "**Glass Science"** A Willy-Interscience Publication, Second Edition, New York, 1994.
8- Rosemary Lierke, "**Early History of Lamp work - Some Facts, Findings, and Theories,**" Glastech.Ber.65, 1992.