تحسين خواص المواد

د. أحمد علي بصفر

يكتسب علم المواد أهمية خاصة في عصرنا الحاضر ، وذلك لما للمواد من دور كبير في التقدم الصناعي والتقني . فهذه المواد إما أن توجد في الطبيعة كالفلزات و الخزف ، وإما أن يتم تصنيعها من مواد بلاستيكية ومطاطية وغيرها ، ومع ذلك تبقى هذه المواد بصورتها الأولية غير صالحة للإستخدام ، وعليه وجب إستحداث الطرق والتقنيات اللازمة لإكسابها خصائص تؤهلها للإستخدام في مجالات الحياة المتعددة، وتعد أساليب تحسين خواص المواد من أهم خطوات التصنيع ، وبذلك فهي تحظى بإهتمام المراكز البحثية والإنتاجية الحكومية والخاصة .

ولا يكتمل الحديث عن أساليب تحسين خصائص المواد دون التعريف بأنواعها المختلفة المتوفرة في وقتنا الحاضر ، علماً بأن المجال ما زال واسعاً لتطوير مواد جديدة ذات خصائص متعددة. وعموماً تصنف المواد حسب خصائصها الكيميائية والفيزيائية والميكانيكية إلى عدة أنواع ومنها مايلي : ـ

الفلزات

تعد الفلزات أقدم المواد التي إكتشفها الإنسان ، حيث أكتشف الذهب في القرن التاسع عشر قبل الميلاد ، واستخدمه قدماء المصريين في القرن الثالث عشر قبل الميلاد. ثم أكتشف النحاس ، وقد إستخدمه أيضاً قدماء المصريين ، و توالت الإكتشافات حتى العهد قريب لتشكل قائمة من الفلزات .

تستخرج الفلزات من باطن الأرض على شكل مواد خام ، في صورة أكاسيد أو كبريتيدات أو كربونات أو غيرها ، وتبقى المواد الخام غير قابلة للإستخدام لإفتقارها لمقومات المادة التجارية ، لذا يتم إستخلاص الفلزات منها ، وبعد ذلك يتم تحسين خصائصها عبر عدة طرق ، منها تصنيع السبائك .

تتم عملية تصنيع السبائك بخلط عنصرين أو أكثر بهدف الحصول على مادة نهائية ذات خصائص ميكانيكية (مثل مقاومة الشد ، والصلادة وغيرها) ، بحيث تتفوق خصائصها على خصائص أى من العناصر المكونة لها ، وذلك بصهر العناصر مع بعضها. وفي الوقت الراهن فإن جميع الفلزات المستخدمة تجارياً توجد في صورة سبائك ، بإستثناء أسلاك الموصلات الكهربائية المصنوعة من النحاس النقي أو الألمنيوم .

تأخذ السبائك ـ عادة ـ اسم الفلز الموجود بنسبة كبيرة ، مثل سبيكة الذهب ، كما تسمى سبيكة ثنائية عند إحتوائها على عنصرين ، أو سبيكة ثلاثية عند إحتوائها على ثلاثة عناصر ، وتختلف خصائص السبيكة بإختلاف نسبة إضافة هذه العناصر إلى بعضها ، وقد تأخذ السبائك أشكالاً مختلفة من ناحية التجانس بين العناصر المكونة لها ، و ذوبانية العناصر في بعضها .

● طرق تحسين خواص السبائك

هناك ثلاثة طرق رئيسة لتحسين خصائص السبائك وهي :

* **المعالجة الحرارية :** وفيها يتم تسخين السبيكة إلى درجات حرارة معينة ، ثم تبرد بمعدل محدد ، وهي من أهم أساليب معالجة السبائك غير الحديدية التي يلجأ إليها لزيادة الصلابة ، وتتم هذه المعالجة عبر آليتين هما: التصليد بالتزمين (Aging) والتصليد بالترسيب ، ويمكن أن تكون هاتين الآليتين متتابعتين ، فعلى سبيل المثال تقدر قوة الشد لإحدى سبائك الالمنيوم بعد التصليد بالترسيب بـ ٢٨٠ ميقا باسكال (وحدة قياس قوة الشد للمواد) ، بينما تصبح بعد التصليد بالتزمين ٣٥٠ ميقا باسكال .

* **التشكيل على البارد :** ويتم عند درجة الحرارة العادية ، وذلك باستخدام قوة خارجية أكبر من قوة مقاومة السبيكة ذاتها، مثل عمليات سحب الصفائح المعدنية ، وينتج عن هذه العملية فقدان السبيكة لليونتها ، ويمكن تفادي ذلك بالتسخين عند درجة حرارة مرتفعة .

* **التصليد بالترسيب :** ويشمل عملية صهر السبيكة عند درجات حرارة مرتفعة ، ومن ثم التبريد المفاجيء ، وعادة ما يتبع

هذه العملية أسلوب التصليد بالتزمين ، وهو إما طبيعي ـ ترسيب عند درجة حرارة الغرفة (٢٤ درجة مئوية) لمدة ٤ـ٥ أيام ـ أو إصطناعي يتم بعد التسخين لدرجة حرارة مرتفعة . ويوضح شكل (١) تأثير وقت التزمين على خصائص السبائك بشكل عام .

البوليمـــرات

يطلق اسم اللدائن على المواد البوليمرية ،وهي إما من أصل عضوي طبيعي ، وإما من عضوي طبيعي معدل ، وإما من تركيبي صنعي ، و تشترك اللدائن بصفة الليونة وقابليتها للإنصهار عند تعريضها للحرارة ، وعودتها لقساوتها عند إزالة مصدر الحرارة ، وهي قابلة للتشكيل والقولبة المتكررة ، ويمكن تصنيف اللدائن إلى قسمين رئيسين: الأول اللدائن التي تنصهر بالحرارة وتتصلب بالتبريد ، ويمكن إعادة تلدينها بنفس الأسلوب لعدة مرات ، وتعرف باللدائن الملدنة بالحرارة (Thermoplastics) ، و الثاني اللدائن التي تنصهر بالحرارة ، وتتصلب عند إزالة مصدر الحرارة وتصبح قاسية بشكل دائم، ولا يمكن إعادة تلدينها ، حتى ولو عرضت لمصدر حراري مرة أخرى ، وتعرف باللدائن المقساة بالحرارة (Thermosettings) ، و هاتان الخاصيتان لا تنطبقان على جميع المواد البوليمرية ، كما وهناك أيضاً المطاط بنوعيه الطبيعي والصناعي ، والذي يصنف تحت مسمى لدائن مطاطية (Elastomers) .

يتكون البوليمر عادة من مادة أساسية تدعى المونومر ، وذلك عبر سلسلة مترابطة لتكوين مركب ذو وزن جزيئي مرتفع ، ويأخذ هذا الترابط أشكالاً مختلفة . كما يمكن لمونومرين من نوعين مختلفين تكوين بوليمر مشترك (Copolymer) .

● مواد تصنيع البوليمر

تدخل في تصنيع البوليمر عدة مواد يمكن تصنيفها حسب أهميتها إلى ما يلي :ـ

* **المواد الأولية :** وتأتي من مصادر مختلفة، وفق ما يلي :ـ

ـ مشتقات الفحم الحجري الناتجة عن تقطير القطران ـ مثل الفينول والكريزول والفورم الدهيد وغيرها التي هي أساس تركيب اللدائن الفينولية والصبغية ـ ومنتجات التكويك (Coking) ومنها غاز الإثيلين .

ـ الغازات الطبيعية وغاز البترول المُسَيَّل والمشتقات البترولية الناتجة عن التقطير والتكسير ، مثل الأوليفينات كالإثيلين والبروبيلين والبيوتلين والبيوتادائين .

ـ مشتقات المواد الطبيعية الحيوانية والنباتية ، ومنها المطاط الطبيعي (لاتكس) والسيليلوز من النباتات والمواد الدسمة من الحيوانات .

ـ مشتقات المواد الطبيعية المعدنية ، ومنها الكبريت الذي يستخدم في صناعة اللدائن المطاطية كمادة أساسية في كبرتة المطاط الطبيعي والصناعي .

* **المواد الوسيطة :** وهي تلك المواد التي تضاف إلى المواد الأولية عبر سلسلة من العمليات ، ومن تلك المواد الوسيطة أكسيد الإثيلين ، والأستيالدهيد ، والفينول ، وغيرها .

* **مواد الصناعات التحويلية :** وتأتي بعد الصناعات الأساسية للمواد البوليمرية ، بحيث تستفيد من المنتجات الأساسية ، فتخلط وتشكل حسب المنتج النهائي المرغوب فيه . وهناك عدة مواد كيميائية تدخل في الصناعات التحويلية ، مثل المواد المضادة للأكسدة الناتجة عن الحرارة والأشعة فوق البنفسجية ، ومنها أملاح الرصاص ، و أملاح القصدير ، وأملاح الباريوم والكادميوم ، وبعض الراتنجات الإيبوكسية. وكذلك المواد المالئة التي تستخدم لتخفيض تكلفة المنتج النهائي ، وتحسين الخصائص الميكانيكية للمواد البوليمرية ، ومنها المواد المعدنية الطبيعية ، مثل الغرافيت ، والمواد العضوية الطبيعية ، مثل دقيق الخشب ، والمواد العضوية التركيبية ، مثل ألياف النايلون .

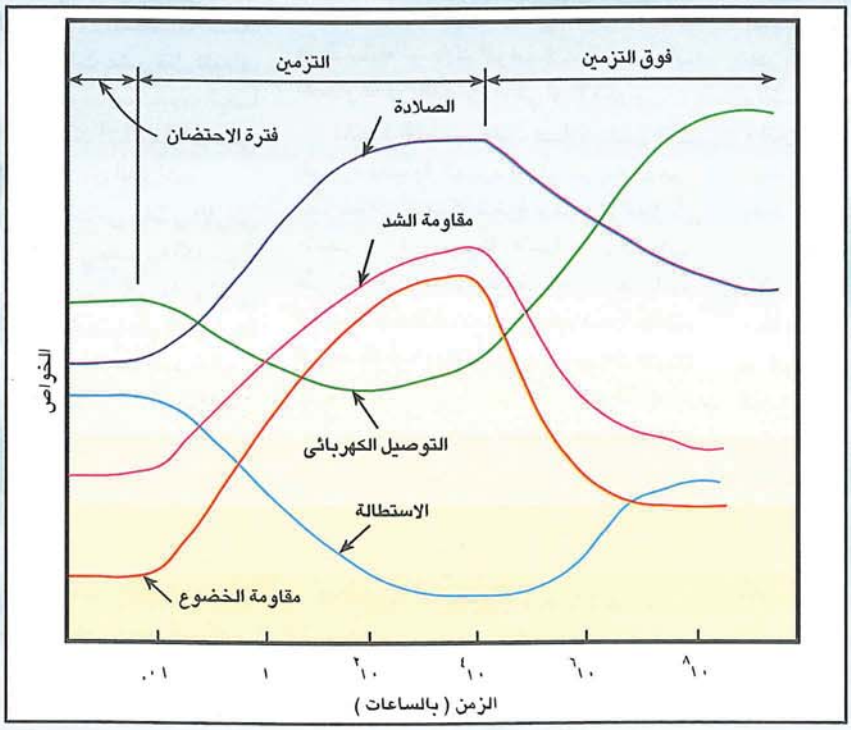
* **مواد الإخضاب (Pigments) والصبغات (Dyes) :** وهي تؤثر على الألوان المطلوبة للمنتج النهائي ، وتتميز الصبغات عن مواد الإخضاب بقابليتها للذوبان في السوائل ، ومن أمثلة مواد الإخضاب ثاني أكسيد التيتانيوم ومركبات الكادميوم ، ويتم إختيار أي من مواد الإخضاب أو الصبغات إستناداً على الإحتياجات التالية :ـ

ـ توافق اللون والبصر وذلك حسب تدرج اللون وشفافيته وصفائه أو لمعانه وقوة جاذبيته .

ـ الثبات الحراري ، وهذا يتعلق بدرجة حرارة تشكيل الجسم الملون سواء بالإخضاب أم بالصبغات .

ـ الهجرة أو قوة الإستنزاف ، والتي يتم خلالها نزوح اللون إلى السطح ليضفي لمعة خاصة على المنتج .

ـ الثبات الضوئي ، ويتم من خلاله إمتصاص نوع معين من الأشعة ، مثل الأشعة فوق



● شكل (١) تأثير وقت التزمين على خصائص السبائك .

البنفسجية بغرض حماية المنتج.

- المقاومة الكيميائية بالتماس ، وهي ضرورية لحماية المنتج من الأحماض والقلويات .

- سهولة التوزيع والإختلاط المتجانس داخل المنتج .

- عدم السمية ، وذلك عند إستخدام المنتج في تغليف المواد الغذئية .

- الخصائص الكهربائية مثل الناقلية ، وذلك عند إستخدام المنتج في صناعة الكابلات .

- التكلفة المنخفضة .

* **الملينات (المُطَريات):** وتستخدم خلال التشكيل والإستخدام لتخفيض تكلفة المنتج النهائي ، وقد تكون الملينات خارجية تختلف بطبيعتها عن المادة البوليمرية ، أو داخلية بحيث تشكل جزء من تركيبة المادة البوليمرية.

ويجب أن تتمتع الملينات بمواصفات عدة ، منها : التلاؤم مع اللدائن ، والإستمرارية ، والدوام ، وعدم تغير خواصها إلى خواص غير صحية أو سمية ، وكذلك الميزات الفيزيائية والكيميائية مثل الرائحة ، وعدم وجود سمية ، ومناعتها للإحتراق ومقاومتها للبرودة الشديدة. وهناك أنواع عديدة من الملينات ، منها :

١- الفثالات (Phathalates) .

٢- مركبات الفوسفات (مثل فوسفات البوتيل) ، وتستخدم لزيادة مقاومة المنتج للماء والعوامل الطبيعية ، واللهب ، ودرجات الحرارة المنخفضة .

٣- المركبات الأديباتية ، مثل أديبات البيوتيل والأوكتيل ، وسيباسات الأوكتيل ، وتستخدم لزيادة النعومة عند درجات الحرارة المنخفضة والمقاومة للماء والثبات للضوء والحرارة .

٤- استيرات الجليكول مثل ثلاثي إيثلين جليكول ، وتستخدم لزيادة المقاومة لدرجات الحرارة المنخفضة جداً .

- البولي استير وتستخدم كمثبت ضد الأكسدة إضافة إلى إضفاء خاصية المرونة ،

- استيرات البولي فينيل .

٥- الاستيرات .

وتجدر الإشارة هنا بأن إختيار الملينات يتم بناءً على الخاصية المرغوب فيها في المنتج النهائي ، وكذلك حسب التوافق مع المادة البوليمرية المستخدمة .

* **مواد الإضافة :** وهي مواد يتم إضافتها للمادة البوليمرية لحفظها خلال التصنيع والتخزين والإستخدام ، وذلك حسب الخصائص النهائية للمنتج المرغوب فيه ، والمناخ الذي ستستخدم فيه ، ومنها :

- مواد مضادة للأكسدة والأشعة فوق البنفسجية والحرارة ، ومنها مركبات الفينولات والمركبات الأمينية .

- مواد مضادة للكهربائية الساكنة بغرض تخفيف أثر التفريغ الكهربائي الساكن الملازم لعمليات تصنيع وتشكيل المواد البوليمرية ، والذي ينتج عنه إلتصاق الغبار الجوي بالمنتج النهائي ، ومنها أملاح رباعية الأمونيوم للحموض الدسمة .

- مواد ضامة وألياف تقوية تؤدي إلى الإرتباط بين المركبات العضوية واللاعضوية ، وتؤدي إلى تحسين مقاومة المنتج للشد وقابلية النفاذية للماء ، ومنها ألياف السيلان ، وألياف الفحم والزجاج التي تتمتع بخفة وزنها .

- معيقات الإشتعال وسريان اللهب اللذان يضافان في مرحلة تصنيع المادة الأساسية، أو في مرحلة التصنيع والتشكيل النهائي ، ويكتسب المنتج النهائي خاصية عدم سريان اللهب في جزيئاته القابلة للإلتهاب بإضافة الأحماض الهالوجينية ، مثل رباعي بروموالفثاليك ورباعي كلوروالفثاليك والكحولات المهلجنة أو الفوسفورية مثل ثنائي بورمو البروبانول .

- عوامل الإرغاء وهي مركبات معدنية أو عضوية تستخدم في صناعة الأسفنج وتسمى هذه المركبات عوامل النفخ .

- المواد الحافظة وتستخدم لحماية المواد البوليمرية من البكتيريا أو الفطريات ، والتي قد تؤثر على الخصائص الميكانيكية والعزل الكهربائي والألوان للمنتج النهائي، ومنها ثالث ألكيل القصدير .

- المواد المزلقة التي تستخدم لتسهيل عملية إنزلاق المواد البوليمرية خلال أجهزة التصنيع والتشكيل المختلفة ، ومنها ما يستخدم داخل المنتج ، أو على سطح الآلات المستخدمة في التصنيع ، ومنها البارافينات وفوسفات الآليل .

- مواد لمنع الإلتصاق في تجويف القوالب وتوضع على سطح القوالب ، ومن ذلك سيليكونات فلورية .

● تحسين خواص المواد البوليمرية

يتم تحسين خصائص المواد البوليمرية بناءاً على متطلبات الاستخدام الفعلية من قوة وصلادة ومناعة لأشعة الشمس والحرارة والمواد الكيميائية . فعلى سبيل المثال يتطلب تصنيع المنتجات التي تستخدم في الأجواء المناخية الخارجية - المتعرضة لأشعة الشمس والحرارة- إضافة مضادات للأشعة فوق البنفسجية ، ومضادات الأكسدة ، بالإضافة إلى الملينات عند الضرورة ، كذلك يتطلب تصنيع المنتجات المستخدمة في صناعة عوازل الكابلات إضافة مضادات الأكسدة ، ومعيقات الأشتعال وسريان اللهب لإكسابها المناعة اللازمة ضد الحرارة والإحتراق ، بالإضافة إلى المواد المالئة التي تكسبها قوة وصلادة أفضل ، وتخفض في تكلفة الإنتاج . كما يتم إستخدام الصبغات ومواد الإخضاب لحماية المنتجات خلال عملية التشكيل ، ولزيادة مقاومتها للضوء ولإكسابها ألوان تجارية جذابة .

ومن الأساليب الحديثة لتحسين خصائص المواد البوليمرية - سواء البلاستيك أو المطاط - إستخدام الأشعاعات المؤينة في عمليات المعالجة بدلاً من المواد الكيميائية ، ويتم خلال هذه العمليات إكساب المنتجات البلاستيكية خصائص ميكانيكية ومقاومة للظروف البيئية من رطوبة وحرارة وأشعة فوق بنفسجية ، ويتم إستخدام هذا الأسلوب في عدد كبير من دول العالم المتقدمة مثل الولايات المتحدة الأمريكية وأوربا واليابان .

ويؤدي تعريض المواد البوليمرية للإشعاع بشكل عام إلى إيجاد روابط كيميائية بين جزئيات المادة ، مما يؤدي إلى زيادة الوزن الجزيئي ، ومن ثم تحسين الخصائص المختلفة ، وهذا ما يحدث لمادة البولي إيثلين ومطاط الستايرين بيتادين ، أو قد يؤدي إلى تفكك الروابط الكيميائية ، مما يؤدي إلى تخفيض في الوزن الجزيئي ، وهذا بدوره يقود إلى مركبات ناعمة جداً تدخل في صناعات الدهان ، كما في مادة التيفلون .

وتجدر الإشارة إلى أن أساليب تحسين الخصائص للمواد البوليمرية بأنواعها المختلفة متعددة جداً ، ويصعب حصرها في هذه السطور ، وقد يتم خلط أنواع مختلفة من المواد للحصول على خصائص مركبة

من مجموع خصائص هذه المواد ، أو يتم إضافة مادة مطاطية إلى مادة بلاستيكية لإكسابها صلادة فائقة أو غيرها ، علماً بأن تحسين بعض الخصائص عادة ما يكون على حساب خصائص أخرى ، وهنا يكون دور البحوث والتطوير في الوصول إلى صيغة مثالية غاية في الأهمية.

البوليمرات المعدلة

يقصد بالبوليمرات المعدلة هنا المواد البوليمرية المقواة بالألياف الزجاجية أو الكربونية أو غيرها ، وذلك بغرض إكسابها خصائص ميكانيكية وصلادة متميزة ، بالإضافة إلى خفة في الوزن دون المساس بخصائصها الكيميائية. وقد لاقت هذه المواد رواجاً كبيراً في صناعات الأنابيب، وخزانات المياه ، وكذلك في بعض التطبيقات العسكرية لأغلفة الصواريخ الباليستية ومجسمات طائرات الهيلوكوبتر . وتستعمل عادة الألياف بشكل خيوط مستمرة ، أو شعيرات ، أو كريات صغيرة تمزج مع المواد الخام بأساليب متعددة .

الخزف

يقصد بالخزف المواد السيراميكية ، وقد أشتقت كلمة سيراميك من كلمة كيراموس اليونانية ، والتي تعني مواد صنع الأواني ، وقد أستعمل السيراميك من قبل المصريين واليونانيين والرومان في العصور القديمة لصناعة الحلى واللوحات الكتابية ، وتم تأسيس أول مصنع للبورسلان الإنجليزي (Wedge wood) في إنجلترا عام ١٧٠٤م . وتنقسم المواد الخزفية إلى ثلاث مجموعات ، هي كالتالي :

- مواد ترابية (ذات مسامات) منها مواد للبناء مثل القرميد وأحواض الزهور .
- مواد ملينة (غير نفوذة) ، منها قطع غير شفافة مثل مواد البناء والمواد المنزلية ، وقطع شفافة ، ومنها كذلك مواد للبناء مثل البورسلان الكهربائي ومواد منزلية .
- مواد ذات مقاومة عالية للحرارة والكهرباء وتستخدم كعوازل للكهرباء أو في أفران صهر الفلزات وسبائكها .

● مواد صناعة الخزف

تعتمد صناعة الخزف على مواد أساسية ومواد إضافية لتحسين خصائصه ، وكلما زادت لزوجة هذه المواد ساعدت على التشكيل اليدوي ، ومن تلك المواد ما يلي :-

* **التون (الغضار)** : وتتشكل خاماته إما جيولوجياً مثل مجموعة الكاولينيت (سيليكات الألمنيوم) ، ومجموعة مونتمو ريلونيت (سيليكات الألمنيوم والمغنيسيوم) ومجموعة الجليمر (سيليكات الألمنيوم والبوتاسيوم) ، وإما كيميائياً ، مثل الكاؤولينيت والديكيت وبايدليت وبيروفيليت ، وتحضر بطريقة نول (Nool) ، ومثال ذلك ما يحضر بطريقة **آرون وسيجر** وبطريقة **كلاونروماتيكا** وطريقة **كيبلر** .
* **الرمل (أحجار الرمل ، كوارتز ، كوارتزيت)** : وتؤدي إضافته إلى الخزف إلى تحسين المقاومة الكيميائية ، وتحمل درجات الحرارة العالية (حتى ١٧٢٣م) ، وتقليص المسامية لمنع رشح السوائل وخاصة الماء .
* **إضافات أخرى** : وتؤدي إلى تحسين الخصائص المختلفة للخزف ، مثل سيليكات الزركونيوم والتي تستخدم في طلاء الخزف ، وكربيد السيلينيوم ، ويؤدي إلى تحسين مقاومة الخزف للحرارة العالية ، ومركبات التيتانيوم وتستخدم في تصنيع الخزف ذو العزل الكهربائي المرتفع .

● مراحل تصنيع الخزف

يتم تصنيع المنتجات الخزفيه عبر مراحل تصنيعية علي النحو التالي :-

* **تحضير المواد الأولية ثم العجينة :** وتشمل عملية التكسير بإستخدام مكسرات فكية أو مخروطية للمواد القاسية ، مثل الكوارتز ، أو مكسرات جرانيتية ، أو نابذة للمواد اللينة ، بحيث تصل نعومة المواد إلى ٧مم ، ويعقب ذلك الطحن والتجفيف بالهواء. كما تشمل هذه المرحلة الغربلة بإستخدام مناخل مختلفة للوصول إلى درجة نعومة فائقة، كما يتم في هذه المرحلة مزج المواد الأولية بنسب مختلفة ، ومن ثم يضاف الماء والمواد المحرضة ، وهناك المزج الجاف ، أو نصف الجاف .
* **تحضير الهياكل :** ويتم في هذه المرحلة مزج العجينة في ثلاث حالات وهي عجينة قليلة الرطوبة تصنع بإستخدام المكابس الضاغطة الآلية ، وعجينة لزجة ويتم قولبتها على طاولة صغيرة دوارة باليد أو بإستخدام قوالب ومكابس خاصة في حالة الأنابيب ، وعجينة سائلة وتقولب بالصب وذلك مثل الصفائح السيراميكة .
* **التجفيف :** ويتم ذلك عبر ثلاث مراحل ، وهي إزالة الماء الموجود في المسامات لتحقيق فقد للماء يصل إلى (٦٪) ، وتستغرق هذه المرحلة ١٢ ساعة ، و من ثم متابعة إزالة الماء لتحقيق فقد للماء يوازي (٢٢٪) ، وتستغرق ٦٠ ساعة ، وإزالة الماء كلياً ، وتشكل المسام نهائياً ، وتنتهي بمرور ٥ أيام من التجفيف .
* **الحرق :** وتؤدي إلى التجفيف الكامل حتى تتحول المركبات إلى أجسام صلبة تقاوم الماء والمواد ، وتختلف درجة حرارة الحرق بإختلاف المادة السيراميكة ، ويتم ذلك بإستخدام أفران اللهب المباشر أو غير المباشر ، ولا يطرأ بعد الحرق أى تغير على عدد المسامات .

● أنواع الخزف

هناك ثلاثة أنواع من الخزف ، وهي :-

* **القرميد :** ويستخدم في البناء ويتميز بمقاومة الرشح والعوامل الجوية وتحمل الضغط .
* **البورسلان :** ومنه النوع القاسي ، ويتميز بكثافة عالية وشفافية ومقاومة للكهرباء ، ويعد أقسى من الفولاذ . وتستخدم بعض المواد المُحَسنة في تصنيعه ، مثل أكسيد المغنيسيوم فَيحول البورسلان إلى مادة شفافة ، وأكسيد الألمنيوم الذي يزيد من الناقلية الحرارية ، كما تستخدم بعض المواد الأخرى في تلوين البورسلان حسب ما هو موضح في الجدول (١) . وكذلك هناك البورسلان اللين ويختلف عن القاسي بإحتوائه على نسب منخفضة من ثنائي أكسيد السيكيلون ونسبة عالية من الفلدسبار ،

أكسيد	اللون الناتج
الكوبالت	الأزرق
النحاس	الأزرق المخضر
الكروم	الأخضر
المنجنيز	البني
الحديد	البني ، الأحمر ،الأصفر
اليورانيوم	الأسود

● جدول (١) مواد تلوين البورسلان .

ويختلف كذلك في طرق تشكله وحرقه، ويتوازى مع القاسي في المقاومة الكيميائية والحرارية، ومن أهم أنواعه بورسلان العظام، والبورسلان الصيني، والياباني، وبورسلان سيجر.

* **الأحجار النارية:** وهي من نواتج الخزف ذات الحبيبات الكبيرة، وتتحمل درجة حرارة حتى ١٨٠٠م، وتستخدم في صناعات صهر المعادن وسبائكها والزجاج وتحضير الإسمنت، وهناك الأحجار النارية الطبيعية التي تصنع نتيجة المعالجة الميكانيكية للأحجار الطبيعية مثل حجر الرمل، وتحضر على شكل صفائح لتغليف أفران حرق الكلس والأسمنت من الداخل. وهناك الأحجار النارية الصناعية، مثل حجر السيليكا الذي يستخدم في تبطين أفران الحرق العامة لأنها تتحمل الحرارة العالية (١٦٠٠-١٨٠٠م)، وكذلك حجر الشاموت الذي يستخدم في تغليف الأفران العالية من الداخل، وفي مسخنات الهواء وسدادات فوهات بوتقات صهر الفلزات، وفي افران مصانع الأسمنت والكلس والزجاج. ومنها أيضاً الأحجار النارية القلوية المصنعة من أكسيد المغنيسيوم والدولوميت (كربونات المغنيسيوم والكلسيوم)، والأحجار النارية المعتدلة مثل أحجار الكروميت والزركونيوم والكروميت المغنيسية، وكذلك الأحجار النارية الكربونية، مثل أحجار الغرافيت، وتستخدم جميع هذه الأحجار في صناعات تتطلب درجات حرارة عالية ومقاومة ميكانيكية.

الزجاج

تشير الدلائل بأن قدماء المصريين استخدموا الزجاج منذ ١٦٠٠ سنة قبل الميلاد، حيث كانت صناعته مرتبطة بصناعة المعادن، كما إستخدمه الفينيقيون والرومان، وفي القرون الوسطى تم تصنيع أشكال ملونة ومختلفة من الزجاج، نتيجة للتحسين الذي طرأ على أفران صهر فقد ظهرت صناعات جديدة للزجاج، وذلك في مطلع القرن الثامن عشر والتاسع عشر، وفي أوائل القرن العشرين تمت ميكنة صناعة الزجاج بأشكال مختلفة.

ويطلق إسم الزجاج على المواد الشفافة عديمة الشكل، والتي تتشابه في تركيبها مع السوائل، وتعادل صلابتها صلابة الأجسام الصلبة في درجة الحرارة العادية، ويطلق إسم فيتروئيد (Vitroide) على المواد الزجاجية.

● مكونات الزجاج

يتكون الزجاج كيميائياً من مجموعة من السيليكات المعدنية المؤلفة من الأكاسيد المعدنية، والتي يمكن تصنيفها إلى أربع مجموعات رئيسة، هي:

١- مجموعة الأكاسيد الحامضية، مثل أكسيد السيليكون (SiO_2) وتشكل الشبكة الزجاجية.

٢- مجموعة الأكاسيد القلوية، مثل أكسيد الصوديوم (Na_2O) وتساعد على تخفيض درجة حرارة الصهر.

٣- مجموعة الأكاسيد القلوية الترابية، مثل أكسيد الكالسيوم (CaO) وتساهم في التصلب المبكر، إضافة إلى تحسين عامل المتانة وتثبيت الزجاج.

٤- مجموعة المواد الإضافية التي تحسن نوعية الزجاج، مثل أكسيد الألمنيوم (Al_2O_3).

● خواص الزجاج

يمتلك الزجاج عدة خواص تميزه عن بقية المواد، وهي كالتالي:-

* **الكثافة والتمدد الحراري:** حيث تتغير الكثافة بتغيير المكونات - تتراوح ما بين ٣ الى ١٢,٢ جرام/سم٣ - للزجاج الصلب وعند تسخينه يتمدد قليلاً، وتنقص كثافته، ولا سيما عند الوصول لدرجة الليونة. أما التمدد الحراري فيرتبط بمكونات الزجاج الأساسية، فالأكاسيد القلوية ترفع من قيمة التمدد الحراري، ويؤدي كل من أكسيد البور (B_2O_3) والكلس وأكسيد التيتانيوم إلى تخفيض التمدد الحراري.

* **الحرارة النوعية والناقلية الحرارية:** وتختلف بإختلاف التركيب الكيميائي للزجاج وتتراوح ما بين ٠,٦ إلى ٠,٢٩ كلفن/سم، وتزداد بإزدياد الحرارة. وتؤدي الأكاسيد الثقيلة إلى إنخفاض الحرارة النوعية، كما تؤدي الأكاسيد القلوية إلى إرتفاعها. أما الناقلية الحرارية فتنخفض في درجات الحرارة العادية، وتختلف بإختلاف التركيب الكيميائي، وتتراوح ما بين ٠,٠٧ إلى ١,٢ كيلو حريرة/متر.ساعة. درجة مئوية.

* **الخصائص الميكانيكية:** حيث يعد الزجاج جسم هش سريع التحطم، ولا يغير شكله عند الضغط أو الصدمة كالفلزات، ويتميز بالمتانة عند السحب والضغط، وتتراوح عند السحب بين ٥ الى ١٤ كجم/مم٢، وتتأثر بالسطح الخارجي، مثل وجود فقاعات أو إنقطاعات. وتتراوح المتانة عند الضغط مابين ٦٠ الى ١٢٠ كجم/مم٢ وتصل إلى ٢٣٠ كجم/مم٢ في زجاج الكوارتز، وتتأثر بالتركيب الكيميائي، وتزداد في وجود أكاسيد الكالسيوم والرصاص والمغنيسيوم والألمنيوم. كما تتراوح قساوة الزجاج ما بين ٥ الى ٧ وفق جدول «موس».

* **الخصائص الضوئية والكهربائية:** حيث يتميز الزجاج بشدة نثره وبعثرته للضوء، ويعود ذلك إلى بنيته الفراغية (البنية الشبكية)، ويمتاز الصلب والجاف منه بعزله الجيد. وتقل مقاومته الكهربائية عند تغطية سطحه ببخار الماء، ولا سيما في الزجاج القلوي، الذي يمكن أن ينقل التيار الكهربائي.

أما الناقلية الكهربائية فتزداد عند رفع درجة الحرارة، حيث تصل عند درجات الحرارة العالية إلى ٨ أوم. سم، ويؤدي وجود شوارد الصوديوم على سطح الزجاج إلى النقل الكهربائي، لذا تزداد الناقلية الكهربائية له بإزدياد نسبة أكسيد الصوديوم فيه.

* **الخصائص الكيميائية:** حيث يقاوم الزجاج بشكل عام المحاليل الكيميائية عدا حامض فلور الماء والمُصَهرات القلوية التي تذيبه بسهوله. ويؤثر الماءَ على الزجاج بعد تعرضه لفترة طويلة، وخاصة في أنواع الزجاج التي يحوي كمية كبيرة من أكسيدي الصوديوم والكالسيوم، بينما لا تتأثر الأنواع التي تحوي أكسيدي البور والسيليسيوم، وكذلك زجاج الكوارتز. كما يزداد تأثر الزجاج بالأحماض عند إرتفاع درجة الحرارة، كما توثر القلويات في الزجاج عند درجات الحرارة العالية، ويمكن ربط الثبات الكيميائي للزجاج بشكل عام بكمية أكسيد السيليكون الذي يزيد الثبات الكيميائي بعكس القلويات التي تقلله.

* **خاصية الليونة:** وهي درجة الحرارة

التي يبدأ عندها الهيكل الزجاجي يتحطم، أو يتغير شكله، وتتراوح ما بين ٦٠٠الى٩٠٠م، وتصل إلى ١٥٥٠م لزجاج الكوارتز. وترتبط درجة الليونة بالتركيب الكيميائي، وتنقسم المواد الأولية إلى قسمين:

(أ) مواد رافعه لدرجة الليونة، مثل الألومينا وأكسيد السيليكون ($Al_2O_3 . SiO_2$).

(ب) مواد خافضة لدرجة الليونة، مثل (Na_2O , K_2O, Li_2O).

● التركيب الكيميائي

يلعب التركيب الكيميائي للزجاج دوراً مهماً في تحسين خصائصه، وعليه سيتم إستعراض بعض مكونات الزجاج الأساسية والثانوية، وتأثيرها على خصائصه المختلفة، وهي كالتالي:

* **المواد الأساسية:** وتشمل ما يلي:-

- **الأكاسيد الحامضية**، وهي:-

١- الرمل (أكسيد السيليكون) (SiO_2): ويعد المادة الأساسية في صناعة الزجاج، ويستخدم على شكل رمل، ويدخل رمل الكوارتز بنسبة ٢٪ لتحضير زجاج الكوارتز فقط، ويشترط بأن يحوي الرمل المستخدم على نسبة عالية من أكسيد السيليكون، وأن لا يحتوي على شوائب، ولا سيما الملونة، مثل مركبات الحديد. كما تحدد نسبة ثاني أكسيد السيليكون نوعية الزجاج المنتج، وذلك حسب الجدول (٢). ويؤدي إزدياد نسبة ثاني أكسيد السيليكون إلى إرتفاع درجة الحرارة اللازمة لصهر الزجاج، وكذلك زيادة لزوجته، ومقاومته الكيميائية، وتناقص في معامل التمدد الطولي، كما يؤدي نقصانه إلى إزدياد قابليته للكسر، أو نقصان المقاومة الميكانيكية.

٢- حامض البوريك (H_3BO_3) والبوراكس: يستخدم حامض البور أو البوراكس بنوعيه الصناعي (Na_2B_4O) و الطبيعي (راسوريت أو باندرميت) في صناعة الزجاج، ويؤدي إلى تحسين درجة الصهر ودرجة الصب والليونة (يستخدم في صناعة الألياف الزجاجية) والمقاومة الحرارية، والتوتر السطحي، والمقاومة الكيميائية. لذلك تستخدم مركبات البور في صناعة الأدوات المخبرية والمنتجات التي تتحمل الحرارة نتيجة إنخفاض معامل التمدد الحراري.

الدرجة	نوعية الزجاج المصنع	المكونات (٪)			
		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO MgO
الأولى	شفاف، أبيض، كريستال، عدسات، مرايا	٩٩,٦	٠,٥	٠,٠٢	٠,١
الثانية	الأواني، القوارير، ألواح تجارية، الأبيض الإقتصادي	٩٨,٥	٠,٥	,٠٣٥	٠,٢
الثالث	المسلح، نصف الأبيض	٩٨,٥	٠,٥	٠,٠٦	٠,٥
الرابعة	الملون	٩٣	٠,٥	٠,٣	٠,٥

● جدول (٢) أنواع مختلفة من الزجاج ونسب المكونات الداخلة في تصنيعه.

٣- حامض الفوسفور ومركبات الفوسفات: يستخدم حامض الفوسفور أو مركباته، مثل (فوسفات الباريوم أو فوسفات الصوديوم) بكميات قليلة في صناعة الزجاج المقاوم لحامض الفلور (خاص بالأبحاث الذرية)، وكذلك في صناعة الأجهزة الضوئية لأنه يحقق درجة متوسطة لتشتت الضوء، كما يستخدم لصنع الأجهزة الزجاجية التي تسمح بمرور الأشعة فوق البنفسجية، أولصنع الزجاج الحليبي (غير الشفاف) بغية حجب الرؤية، ولكن لا يبدي هذا النوع من الزجاج مقاومة كيميائية، وكذلك لا يستخدم في الأدوات المخبرية.

- **الأكاسيد القلوية والقلوية الترابية**، ومنها:-

١- كربونات الصوديوم وكبريتاته ونتراته: وتستخدم كمصادر لأكسيد الصوديوم الذي يدخل في صناعة الزجاج، ويؤدي إلى انخفاض درجة الإنصهار (مادة صاهرة)، ويساعد في تشكيل الزجاج.

٢- كربونات البوتاسيوم ونتراته: وتستخدم لتأمين الجو المؤكسد في صناعة الزجاج، وذلك بتوفير مصدر لأكسيد البوتاسيوم، ويؤدي إلى تحسين لزوجة الزجاج، وبريقه، وقدرته على النقل الكهربائي (الكريستال المستخدم لاغراض الزينة).

٣- مركبات الليثيوم: وتستخدم كبديل لأكسيد الصوديوم أو البوتاسيوم في صناعة الزجاج، ويؤدي إلى تحسين صهر الزجاج، حيث يقلل من درجة اللزوجة، ويزيد من القدرة على النقل الكهربائي.

٤- الكلس والدولوميت: يؤدي إستخدام الكلس إلى تصلب الزجاج، ويجب أن يكون خالياً من الشوائب التي قد تؤثر على خصائص الزجاج. ويستخدم الدولوميت كمصدر لأكسيد الكالسيوم وأكسيد المغنيسيوم، والذي يسهل من تشكيل الزجاج في القوالب.

٥- كربونات الباريوم الصناعية: وتستخدم كمصدر لأكسيد الباريوم، وتؤدي إلى تحسين خاصية إنكسار الضوء في الزجاج، وبريقه، وسهولة صهره وتصنيعه، وزيادة وزنه النوعي. كما يستخدم للتخلص من الفقاعات الغازية فيه.

٦- أكسيد الألمنيوم: ويستخدم بأشكاله المختلفة، مثل النقي، والفلدشبات، والكاؤولين، والتراخيت، ويؤدي إلى زيادة اللزوجة والمقاومة الكيميائية والميكانيكية، مثل زيادة تحمل الضغط لقوارير المياه المعدنية.

* **المواد الثانوية:** وتستخدم لتحسين نوعية الزجاج، أو لتحضير زجاج وفق مواصفات معينة كالمقاومة الكيميائية، والحرارية، واللزوجة، واللون، وسرعة الإنصهار. ومن أهم المواد الإضافية: كلوريد الصوديوم، وأكسيد الخارصين، ومركبات الكروم (اللون الأخضر)، ومركبات الكوبالت (اللون الأرزق)، وأكسيد الرصاص لتحسين معامل (قرينة) الإنكسار.

* **كسارة الزجاج:** وتستخدم لتحسين الإنصهار والتجانس، وذلك عندما تضاف قبل التغذية، ولتخفيض تكلفة الإنتاج.