الفصل الخامس

كيمياء مواد اللصق والتقوية

Chemistry of Adhesives and Consolidants

يُعرف اللاصق adhesive 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 المقويات فهي عبارة عن راتنجات في محاليل سائلة الهدف من استخدامها هو تقوية المادة الهشة الضعيفة. والمقويات المستخدمة في مجال ترميم وصيانة الآثار متاحة إما في صورة راتنج نقي Pure Resin عبارة عن حبوب أو بللورات صغيرة تذاب في مذيب، أو مستحلب Emulsion وهو عبارة عن معلق الراتنج أو المذيب في محلول مائي، وقبل جفاف المستحلب فإنه يذاب بالمذيب الذي يذيب الراتنج. والمستحلبات مع الوقت تتغير كيميائياً حيث تصبح أقل ذوباناً في الماء. وكثير من المستحلبات تصبح ذات لون أصفر مع تعرضها لضوء الشمس.

٥,١ طبيعة مواد اللصق والتقوية Nature of Adhesives and Consolidants

واللواصق تستخدم الكثير من المواد الكيميائية على نطاق واسع في مجال ترميم وصيانة المواد الآثرية المختلفة بغرض التقوية أو العزل. والكثير من هذه المواد متاح تحت أسمائها الأصلية أو تحت أسماء تجارية عديدة.

وتنقسم اللواصق حسب طبيعتها إلى: لواصق من أصول عضوية، نباتية أو حيوانية، ولواصق صناعية. ويتألف الجزء الأساسي للمادة اللاصقة من مركبات ذات وزن جزيئي مرتفع تتكون من وحدات متعددة بوليميرات Polymers، أو من وحدات مفردة، أو أحادية مونوميرات Monymers.

وتحضر المواد اللاصقة في حالتها المائعة وتستخدم، إما بشكلها السائل أو منحلة في مذيبات، أو بالشكل المصهور. وقد يُضاف إلى المادة الأساسية في اللاصق أو التقوية مواد أخرى محسِنة، حدوث بعض التغيرات في الخواص الفيزيائية والكيمياوية، مثل: المذيبات، والمواد المالئة، والمقسيات Hardeners، والمسرِّعات، والملدِّنات والمثبِّتات، والمواد المساعدة على التشابك. وترتبط قوة الالتصاق بثبات جزيء المادة اللاصقة على السطح المراد لصقه، والتماسك الداخلي للمادة اللاصقة (Pocius, 2002).

واللصق قد يكون في صورة لصق ميكانيكي Mechanical adhesion ينتج من تغلغل المادة اللاصقة عبر المسامات السطحية في المادة المراد لصقها مؤدية إلى ارتباط وثيق وتماسك السطوح المسامية والليفية، مثل: الورق والخشب، وقد يكون في صورة لصق كيميائي Chemical adhesion، الذي يحقق الارتباط بين مادتين بعمليات فيزيائية وترموديناميكية (حرارية وحركية) على السطح الفاصل بينهما، وتشكيل روابط كيمياوية بينهما. 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 (Skeist, 1989).

وهناك **متطلبات** يجب أن توجد في المادة المستخدمة كلاصق للمواد الأثرية، أولها أنها يجب أن تلتصق بالسطح التصاقاً جيداً وأن تقاوم الضغوط الداخلية وألاّ تتعرض للانكماش، وأن يقاوم التآكل فلا يتعرض للأكسدة، ولا يتأثر بالضوء، وأن يتجنب التصاق الأتربة والغبار عليه، وأن يتصف بالاسترجاعية، أي يمكن إزالته دون أن يحدث تلف للأثر نفسه، وهذا الأمر مهم في المادة اللاصقة والغطاء الواقي (Newey et al., 1983: 112).

واللواصق المذابة هي الأكثر استخداماً في مجال الترميم والصيانة؛ لأنها أكثر ملاءمة مع طبيعة المواد الأثرية المختلفة. ويقوم أساس استخدامها على قابليتها في الإذابة في أحد المذيبات العضوية المناسبة وبالتالي يمكن تطبيقها في صورة سائلة على السطح، حيث يتبخر المذيب بعد ذلك ليترك اللاصق على السطح، وفي هذه الحالة ترتبط جزيئات اللاصق مع جزيئات السطح. ومن مميزات هذه النوعية من اللواصق أنها تنتشر بسهولة على سطح الأثر المعدني نتيجة الذوبانية المنخفضة، كما أنها من الممكن أن يتم استرجاعها. ومع هذه المميزات إلاّ أن لها بعض العيوب منها قابليتها للتقلص أو الانكماش Shrinkage، وتعرضها للتفتت Brittleness، وهو ما يمكن أن يحدث خلال التقادم بصورة رئيسة نتيجة فقدان المذيب (Newey et al., 1983: 49-50).

وكذلك تستخدم العديد من المواد المقوية في مجال ترميم وصيانة الآثار لتقوية الآثار الضعيفة والهشة، قد تستخدم كمواد لاصقة أيضاً، وتشمل هذه المواد، طبقاً لتركيبها، مواد عضوية ومواد غير عضوية. غير أن استخدام المقويات العضوية صار محدوداً، بعد اكتشاف المقويات الحديثة، وذلك لأن البعض منها كان يؤدي إلى اصفرار السطح وغمقانه، والبعض الآخر يعرض السطح للتلف الميكروبيولوجي في وجود الرطوبة، كما أن بعضها يجعل السطح لامعاً ومعرضاً لجذب الأتربة (علي، ٢٠٠٣م: ١٣٣). ولقد ظهرت لواصق مخلقة تشبه في التركيب اللواصق الطبيعية وتتفوق عليها في مقاومتها للفطريات والحشرات، مثل: الكربوكسي ميثيل السليلوز Carboxy Methyl Cellulose (C.M.C.). وهو من اللواصق شائعة الاستخدام في مجال ترميم المواد العضوية وخاصة المخطوطات. وهو يتركب من مشتقات السليلوز مع مجموعات الكربوكسي ميثيل ($-CH_2-COOH$) المرتبطة مع بعض مجموعات الهيدروكسيل. ولكن قوة لصقه ضعيفة ويحتاج لإضافة تركيز من لاصق طبيعي قوي له ليقوي خاصيته اللاصقة، ويستفاد من خاصيته المقاومة للفطريات والحشرات في الوقت نفسه. واستعمال اللواصق أو المقويات المخلقة يعطي عملاً أكثر نظافة من المواد الطبيعية، كما أنها لا تهاجم بالفطريات والحشرات، ودرجة ثباتها ودوامها عالية، غير أن لها بعض العيوب هي الأخرى، منها أنها يصعب أو يستحيل إزالتها، ويحتاج استعمالها إلى مهارات خاصة ودراية بطبيعة هذه المواد، كما أن تأثيرها مستقبلاً على دوام وبقاء الأثر غير مأمون (عبد الحميد، ١٩٨٤م: ١٧١).

كما أن للواصق Adhesives متطلبات وشروطاً يجب أن تتحقق حتى تؤدي دورها على أتم وجه، فإن للمقويات Consolidants أو المادة المستخدمة في التقوية، متطلباتها هي الأخرى، أولها أن تكون ذات قدرة على التغلغل والنفاذية Penetration خلال المادة المراد تقويتها، وتقوم بالربط بين جزيئاتها تماماً كما تقوم المادة اللاصقة بالربط بينها. والواقع أن هناك الكثير من التوافق بين دور كل من اللواصق والمقويات، فالعديد من متطلبات المادة اللاصقة هي نفسها متطلبات المادة المقوية إلاّ أن متطلبات المواد المقوية أكثر صرامة عنه بالنسبة للواصق والطلاءات الواقية.

ويتألف الجزء الأساسي للمادة اللاصقة من مركبات متعددة الجزيئات (بوليميرات Polymers) أو من مركباتها المفردة أحادية الجزيئات (مونوميرات Monemers)، ويُنسب إلى هذه المركبات البوليميرية خاصية اللزوجة.

والمقويات مثل المواد اللاصقة تبدأ عملها في صورة سائلة ثم تنتهي إلى مادة صلبة، ومع ذلك فإن المادة المقوية لابد أن تتغلغل وتنفذ خلال المادة المعالجة إلى أقصى حدٍّ ممكن (Newey etal., 1983:123-124).

وتعتمد نفاذية أو تغلغل المواد اللاصقة أو المقوية على كثير من العوامل المهمة، مثل. (شاهين، ١٩٩٧م: ١٥٦-١٥٧):

- المسامية Porosity، وتقدر مسامية المادة بنسبة وزن الفراغات الموجودة بين حبيبات المادة إلى وزن المادة ذاتها معبراً عنها بالنسبة المئوية.
- حجم حبيبات المادة الأثرية، وهل هو حجم كبير أم صغير.
- شكل الحبيبات، هل في صورة حبيبات مستديرة أم مفلطحة أم غيرها من الأشكال.
- السطح النوعي لهذه الحبيبات Specific surface وهو مجموع المساحة السطحية للحبيبات.
- الشد السطحي لسوائل اللصق أو التقوية Surface tesnsion.
- النفاذية، وهي من الخواص المهمة التي يجب معرفتها وتقدير قيمتها قبل إجراء عمليات التقوية، سواء بأسلوب الحقن العادي، أو الحقن تحت ضغط، أو بأسلوب الإسقاء Impregnation.
- درجة اللزوجة Viscosity لمواد اللصق والتقوية، ويقصد باللزوجة مقاومة السائل للسيولة أو الجريان، ويتوقف ذلك على قوى الارتباط بين الجزيئات، وهي خاصية عامة لجميع السوائل، وتنشأ عن قوى التجاذب بين جزيئات السائل، ويرمز لمعامل اللزوجة لسائل ما بالرمز n. وتعني القيمة العالية لمعامل اللزوجة أن السائل لا ينساب بسهولة، أي أنه لزجٌ مثل الجلسرين، وإذا كان معامل اللزوجة صغيراً فإن السائل ينساب بسهولة (مبارك، ١٩٩٨م: ٢٣٧؛ Horie, 1990:3-82)

٥,٢ اللواصق و المقويات الطبيعية

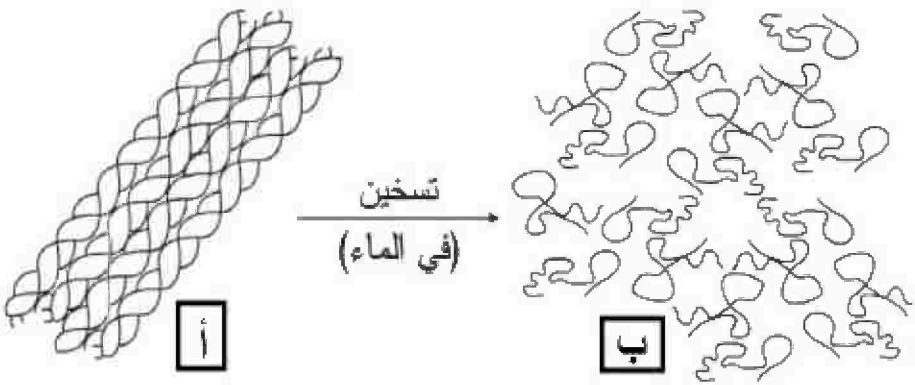
Natural Adhesives and Consolidaants

هناك العديد من المواد الطبيعية التي تستخدم كلواصق ومقويات في مجال الترميم والصيانة، منها الغراء الحيواني Animal glue، والصمغ العربي Arabic Gum.

٥,٢,١ الغراء الحيواني Animal Glue

وهو من أقدم المواد اللاصقة المستخدمة لربط المواد الصلبة غير المعدنية ولصقها دون تأثير في خواصها، كما يستخدم كلاصق على أسطح اللوحات الجدارية، والفسيفساء، قبل إزالتها من الحامل أو المونة (عبد المقصود، ٢٠٠٥م: ٥١). وهي مادة تصنع من بروتين حيواني، من عظام الحيوانات وقرونها، وذلك بعد إزالة المادة الدهنية. ويحضر الغراء بغلي العظام والجلود الحيوانية فيحدث لها تحلل مائي معقد ينتج عنه مركبات كيميائية جديدة لها خواص لاصقة. ويعد الكولاجين المادة الكيميائية المسؤولة عن الخواص اللاصقة للغراء.

ويتكون الغراء بصورة رئيسة من العناصر الأساسية التالية بنسب مختلفة: الكربون ٥١ـ٥٢٪، الهيدروجين ٦ـ٧٪، الأكسجين ٢٥،٢٤٪، النتروجين ١٨ـ ١٩٪. وتوجد مادة الكولاجين على شكل جزيء ضخم ليفي مؤلف من أحماض أمينية. ويستخلص الكولاجين من الجلد، والأوتار، والغضاريف والعظام، مشكلاً المادة الأساسية للغراء، ويتكون من ألياف دقيقة وطويلة من الأحماض الأمينية المتسلسلة نوعياً، والمرتبطة بروابط ببتيدية (بروتينية) مرتبة بشكل معقد، هو الذي يعطي الشكل النوعي والمتانة بفعل الروابط الهدروجينية الجزيئية الداخلية. وتتجمع بعض هذه الألياف مع بعض عنقودياً، لتؤلف حزماً كبيرة (الشكل ٣٨ أ)، تعطي الكولاجين متانته في الخلية الحية. وتنفصل هذه الحزم المتضاعفة عند تسخين الكولاجين في الماء إلى حزم منفردة مشكلة محلولاً مائياً (الشكل ٣٨ب)؛ لأن الروابط الهدروجينية في الغراء الحيواني تتفكك بالحرارة والرطوبة، ولكنها تعيد ترتيب نفسها بعد زوالهما متزامنة مع تشكل عدد أكبر من الروابط الهدروجينية من دون إغفال الدور المهم للمادة المالئة في عملية إعادة التشكيل هذه لإعطاء الغراء خواص المتانة والمرونة.



الشكل (٣٨). تحلل الكولاجين إلى حزم منفردة بفعل الماء.

ويمر تحضير الغراء بمراحل متعددة، أولها: غسل المكونات من الجلد، أو الأوتار والغضاريف لإزالة الأوساخ، ثم نقعها في ماء الجير (ماء الكلس) مدة ٦٠ -٩٠ يوم، يعقبها الغسيل الجيد لإزالة أية بقايا من الشعر والكلس، ثم معادلة الناتج بالحمض ويغسل بعدها مرتين، يُضاف الماء إلى ناتج الغسل، ويُسخن حتى الدرجة ٤٠ -٥٠ °م (١١٠-١٢٠ درجة فهرنهايت) لمدة ٢-٤ ساعة، وتُدعى هذه العملية بالاستخلاص. بعد ذلك يُؤخذ محلول الغراء الممدد، ويبخر، ويبرد ويجفف، ويطحن. وتكرر المرحلتان الأخيرتان لاستخلاص الغراء كله مع رفع درجة الحرارة ٥-١٠ درجات مئوية في كل مرة.

ويضاف إلى الكولاجين- المستخلص بوصفه مادة أساسية في الغراء- مواد مالئة ضخمة الجزيء (بوليميرات)، حيث تجتمع الخواص الكيميائية للكولاجين مع الخواص الفيزيائية للمادة المالئة لتعطي التركيب النهائي للغراء. ونظراً لأن الغراء الحيواني سريع التحلل فإنه يضاف له مواد حافظة من الفطريات والبكتيريا المحللة، مثل: الفورمالدهيد، والفينول، وحمض البوريك، وغيرها (عبد الحميد، ١٩٨٤م : ١٦١).

ويستخدم الغراء في لصق الآثار الخشبية والورقية، ومن عيوبه أنه حساس للرطوبة حيث يمتص الرطوبة عندما تكون مرتفعة، ويصبح رطباً، أو سائلاً، للدرجة التي تفقده خاصية اللصق، أما إذا

انخفضت الرطوبة النسبية إلى أقل من ٤٠٪ في الوسط المحيط، فإن الغراء يجف ويصبح هشاً ويتشقق، ويفقد خاصية اللصق أيضاً. والمحاليل الغروية تتحول من الحالة السائلة إلى حالة تشبة حالة "الجيلي" بانخفاض درجة الحرارة وتعود إلى الحالة السائلة بارتفاع درجة الحرارة (عبد الحميد، ١٩٨٤م : ١٦٢). وينتج الغراء بأشكال عديدة منها: الغراء الحمصي في صورة كريات، والغراء المرن في شكل شرائح (الشكل ٣٩).

الشكل (٣٩). الغراء الحيواني "الحمصي (أ) والمرن (ب)".

٥,٢,٢ الصمغ العربي Arabic Gum

يعرف الصمغ العربي أيضاً باسم gum acacia، chaar gund، char goond أو meska، هو صمغ طبيعي يصنع من سائل يؤخذ من نوعين من أشجار السنط هما: السنط السنغالي Acacia senegal وسنط سيال Acacia seyal في صورة مادة لزجة، أو إفراز لزج عند طرقها، أو إزالة اللحاء الخارجي للفروع أو السيقان، أو عند هجوم الحشرات ففي هذه الحالة يتم إفرازه كأداة دفاع ويخرج الصمغ في شكل قطرات تسيل وتجف عندما تتعرض للهواء الخارجي وتصبح في شكل كرة. والصموغ عديدة الأشكال ومختلفة التراكيب باختلاف أصولها ومواردها، وهي عادة تنقسم إلى نوعين أحدهما قابل للذوبان والآخر يمتص الماء. والصمغ العربي خليط من بروتين سكري

وسكريات متعددة Polysaccharides. وهو مادة لا لون لها، وإن أخذت المظهر البني المصفر أحياناً (الشكل ٤٠)، ولا رائحة لها. وهو مادة تذوب في الماء الساخن ويكوّن خيوطاً لزجة طعمها حامض خفيف ولا يذوب في الكحول والإيثر، أو المذيبات الأخرى المماثلة.

الشكل (٤٠). عينات من الصمغ العربي.

ويستعمل الصمغ العربي في إصلاح وصناعة أغلفة الكتب، وترميم المخطوطات، وتركيب الأحبار القديمة. والتركيبة التي تستخدم كلاصق من الصمغ العربي تتكون من ٥٠جم من الصمغ العربي، و١جم هيدروكسيد كالسيوم، و٤جم جلسرين إلى ١٢٥سم^3 ماء تذاب هذه المكونات مع بعضها مع التقليب من وقت لآخر حتى تمام الذوبان، ثم يترك المحلول ليترسب ثم يرشح المحلول الرائق الذي يستعمل كلاصق (عبد الحميد، ١٩٨٤م: ١٦٧).

٥,٣ اللواصق والمقويات الصناعية

Synthetic Adhesives and Consolidates

اللواصق والمقويات الصناعية هي راتنجات، أو لدائن من مواد ذات تيلمر عال، وتتميز بدرجة كبيرة من الشفافية، وتتكون من جزيئات تم تحويرها كيميائياً حتى تكتسب الصفات التي لا تتوفر في المواد

الطبيعية. وتتركب الراتنجات من سلسلة مترابطة من وحدات بسيطة مفردة (مونمرات Monomers) ذات وزن جزيئي صغير تتحد مع بعضها، أو مع جزيئات، أو مركبات أخرى لتكون مركبات مبلمرة (البوليمرات polymers). ويتم الاتحاد بين تلك الوحدات البسيطة بالتكثيف ثم التبلمر، أو بالتبلمر فقط. وتتميز الراتنجات الصناعية بأنه يمكن تشكيلها في حالة السيولة، أو الليونة ثم تتجمد، وتحتفظ بشكلها تماما بعد التجمد (شاهين، ١٩٩٤م: ٣٠٢-٣٠٣). أما اللدائن Plastics فهي تتكون من الراتنجات بعد أن يضاف إليها مساحيق الألوان والمواد المالئة والمواد الملدنة Plasticizers، التي تساعد على سهولة تشكيل اللدائن، وتكسبها الدرجة المناسبة من اللدونة، وتنقسم اللدائن إلى نوعين رئيسين هما:

- لدائن طبيعية ناتجة عن تحوير بعض المواد الطبيعية، مثل: لدائن الكازيين، ومشتقات السليلوز.
- لدائن صناعية، مثل: لدائن الفينول، واليوريا، والميلامين، والاكريل، والفينايل وغيرها.

اما الملدنات plasticizers فهي مواد تضاف إلى الراتنجات الصناعية لتحوير خواصها الطبيعية، وعلى وجه الخصوص لإكسابها الدرجة المطلوبة من اللدونة. والمواد الملدنة منها أنواع قابلة للتطاير Volatile وأنواع غير قابلة للتطاير Non-volatile. ويتميز النوع الأخير بوزنه الجزيئي الكبير وخواصه الطبيعية، التي تتشابه مع الخواص الطبيعية للمتبلمرات. والواقع أن المواد الملدنة القابلة للتطاير لا تبقى بالراتنجات مدة طويلة من الزمن، بل تفقد ببطء الأمر الذي يترتب عليه ضياع اللدونة وتحول الراتنجات مع الوقت إلى مواد صلبة هشة.

وهناك طريقة أخرى لإكساب الراتنجات الصناعية الدرجة المناسبة من اللدونة وذلك عن طريق مزج مونمورين ينتج عنهما راتنج يتميز بدرجة مناسبة من اللدونة. وبهذه الطريقة سوف تكون اللدونة خاصية كامنة ودائمة في الراتنج ذاته ويعرف هذا النوع من الراتنجات باسم الراتنجات المشتركة Co-polymers.

واللدائن الصناعية تتعرض للتحلل بفعل العوامل البيئية، مثل: الحرارة Heat، والضوء Light، ويعدّ غاز الأكسجين هو العامل الأساس، خاصة في وجود الضوء، والأشعة فوق البنفسجية، التي تعدّ أخطر أنواع الأشعة على المواد المصنعة من اللدائن الصناعية. وأكسدة اللدائن تقوم بتكسير

الجزيئات الطويلة وتكوين جزيئات صغيرة مؤكسدة، مما ينتج عنه تشوه لوني Discoloration، وفقد قوة الشد بين الجزيئات loss of tensile strength وهو ما يؤدي بالتالي إلى الهشاشة أو التفتت brittleness، (Torraca, 1982: 127). ويلاحظ أن راتنجات الأكريلك تعطي مقاومة عالية ضد الأكسجين، والأشعة فوق البنفسجية Ulraviolet، في حين أن راتنجات الأيبوكسي يتغير لونها بسرعة، لذلك لا يجب استخدامها في الأسطح الظاهرة، أو المعرضة للجو والضوء. والايبوكسات والبولي إستر تبدي مقاومة جيدة ضد عمليات التقادم Aging لو حفظت بعيدة عن الضوء والأكسجين، مثلما يحدث عند استخدامها كلواصق. والأمر يتطلب أن يتم اختبار تقادم لمثل هذه المواد عند استخدامها في مجال الترميم والصيانة (Torraca, 1982: 128). وتنقسم الراتنجات الصناعية تبعا لاستخدامها في مجال الترميم والصيانة إلى ثلاثة أنواع رئيسة هي:

أ) راتنجات الثرموبلاستيك التي تلين بالحرارة Thermoplastic

ب) الراتنجات المتجمدة بالحرارة أو الثرموسيتنج Thermosettings

ج) والراتنجات التي تتجمد عند درجة حرارة الغرفة Coldsettings resins .

٥,٣,١ راتنجات الثرموبلاستيك Thermoplastic Resins

وهي مواد صلبة تنصهر وتلين بالحرارة ثم تتجمد ثانية عندما تبرد دون تغير في تركيبها الكيميائي، وترجع هذه الخاصية إلى ضعف قوة الترابط بين جزيئات البوليمر (الفقي، ٢٠٠٤م: ٦٣). وهي تتألف من سلاسل طويلة من جزيئات مفردة ومتكررة، والسلاسل الطويلة في الغالب تكون مرنة ومتنافرة، وغير منتظمة مكونة أجزاء غير متبلورة، بينما توجد أحياناً سلاسل متوازية، ومنتظمة في الأجزاء المتبلورة. وتختلف هذه الراتنجات باختلاف طول السلاسل الهيدروكربونية المكونة لها، والتي تنتج عن عدد من هذه الجزيئات المؤلفة لهذه السلاسل وطريقة تراص هذه الجزيئات.

مثل هذه الراتنجات تكون في الغالب قابلة للذوبان في المذيبات العضوية إلاّ إذا كانت ذات تبلمر عال جداً، أي ذات الجزيئات الطويلة؛ لأن جزيئات المذيب تتأخر في التحلل في هذه الجزيئات. لذلك فهي تمر بمرحلة متوسطة قبل عملية التحلل وهي مرحلة الانتفاخ Swelling، وفيها تتشبع المادة بالمذيب وتصير لدنة، ويحدث التحلل الكامل عندما تنفصل جزيئات المادة بعضها عن

البعض يفعل المذيب مكونة محلول (Torraca, 1982: 121). وفي حالة البوليمرات ذات الجزيئات الصغيرة تنحلل بسهولة، ومحاليلها تكون أقل لزوجة من محاليل البوليمرات ذات الجزيئات الكبيرة، إلاّ أن قوتها الميكانيكية في الحالة الصلبة تكون أقل، لذلك فإنها تكون مناسبة أكثر لعمليات التحلل في المواد المسامية من خلال عملية التشبيع Impregnation.

ومن أنواع الراتنجات التي تلين بالحرارة Thermoplastics المستخدمة في مجال الترميم والصيانة راتنجات الفينيل المبلمرة ومنها خلات الفينيل المبلمرة Polyvinyl acetate، والأكريلات Acrylates، مثل: متعدد الميثيل أكريلات، ومتعدد إيثيل أكريلات (عبد الهادي، ١٩٩٧م: ١٠٠). وهي راتنجات مناسبة لتكوين مستحلبات مع الماء معتمة وغير رائقة، وبيضاء اللون مثل اللبن. ويرجع السبب في اعتام هذه المستحلبات إلى احتوائها على جزيئات متجمعة في صورة عناقيد من البوليمر معلقة في الماء، وهذه تؤدي إلى تشتيت الضوء الأبيض، الذي يمر خلالها. بينما في المحاليل الحقيقية تكون الجزيئات المفردة منفصلة عن بعضها، وبالتالي لا تسبب تشتت الضوء؛ لأنها تكون أصغر بكثير من طول موجة الضوء (Torraca, 1982: 123). ويعدّ استخدام المستحلبات في الترميم محدوداً وذلك لأنها تحتوي على صابون وإضافات أخرى غير مضمون سلوكها، كما أنها لا تستخدم مع المواد المسامية لأن جزيئاتها الطويلة لا تنفذ بسهولة في المسام. وغالباً ما تستخدم مستحلبات الثرموبلاستيك في أعمال الترميم والصيانة كلواصق أو كإضافة للحبر، والجبس، أو المواد الرابطة عند عمل المونة لرفع مقاومة المون للانثناء وتقليل هشاشتها (Torraca, 1982: 124).

أهم راتنجات الثرموبلاتيك المستخدمة في اللصق والتقوية:

١ – راتنجات الفينيل Vinyl resins

راتنجات الفينيل هي راتنجات صناعية تتكون من بلمرة مركبات كيميائية تحتوي على مجموعة الفينيل Vinyl group (CH2=CH-)، حيث يمكن لمختلف الذرات والمجموعات الجانبية من الارتباط بمجموعة الفينيل لإنتاج بوليمرات ذات خواص متباينة من أهمها عديد خلات الفينيل Polyvinyl acetate، وعديد كلوريد الفينول Polyvinyl chloride، وعديد كلوريد الفينيليدين Polyvinylidene chloride. وتستخدم هذه الراتنجات في أغراض متعددة من أغراض الصيانة،

مثل: اللصق، والتقوية، والعزل، أو الطلاء الواقي والورنيشات، وذلك لما تتميز به هذه الراتنجات من خواص جيدة من أهمها مقاومتها الكبيرة للشد والتحوية، إلى جانب مقاومتها للماء والأحماض والقلويات، ومقاومتها للضوء، والتآكل، والرطوبة، والأكسدة (الفقي، ٢٠٠٤م: ٦٨). إلاّ أن من عيوبها أنها لا تذوب إلاّ في المذيبات القوية، مثل: الكيتونات، والمذيبات العضوية الأروماتية، بالإضافة إلى حساسيتها للأشعة فوق البنفسجية والحرارة (الفقي، ٢٠٠٤م: ٦٨)، ومن أشهر راتنجات الفينيل المستخدمة في حقل الترميم والصيانة:

عديد خلات الفينيل المبلمرة Polyvinyl Acetate (P.V.A.)

عُرف هذا الراتنج منذ عام ١٩١٢م في ألمانيا نتيجة إضافة حمض الخليك إلى الأسيتلين Acetylene ليتكون مونمر عديد خلات الفينيل بواسطة البلمرة، والصيغة الكيميائية له هي: $(CH3\text{-}CH\text{-}CH3COO)_n$ حيث (n) هي درجة التبلمر. وهو من أكثر الراتنجات استخداماً في مجال الترميم والصيانة في صورة لاصق، وفي صورة مادة مقوية، وفي صورة غطاء واق. وكمادة لاصقة تستخدم في لصق وتدعيم المنسوجات، ولصق السيراميك والأحجار (Newey et al., 1983: 50).

خواصها:

تتوفر هذه الراتنجات في صورة بللورات شبه شفافة عديمة اللون، ويمكن أن تستخدم في صورة محلول أو مستحلب. والعديد من لواصق عديد خلات الفينيل متاحة تجارياً وتحمل العلامة **PVA**. وتذوب خلات الفينيل المبلمرة في العديد من المذيبات العضوية، مثل: التولوين، وفي المذيبات الأروماتية، وفي الكحولات. وتتعلق ذوبانية خلات الفينيل المبلمرة بصورة مباشرة بدرجة تبخر المذيب، فكلما كان المذيب أكثر تبخراً كانت ذوبانية خلات الفينيل المبلمرة، وكلما كانت ذوبانية خلات الفينيل المبلمرة أفضل كانت أكثر نفاذية لها خلال الأثر المعالج.

وخلات الفينيل المبلمرة مادة عديمة اللون، والطعم، والرائحة، وذات مقاومة جيدة للحرارة وإن كان يتعرض للإصفرار قليلاً إذا ما حفظ في درجة حرارة فوق ١٢٠°م. ومن الصفات التي ترجح استخدامها في مجال الترميم والصيانة أنها مادة جيدة لجميع أغراض اللصق حيث تثبت

بسرعة، وتذوب في المذيبات العضوية، مثل: الأسيتون، والتولوين بالنسب المطلوبة. وهي من أكثر راتنجات الثرموبلاستيك استخداما للمواد العضوية سواء أكان ذلك في الحفائر أم في معمل الترميم.

وتستخدم خلات الفينيل المبلمرة في ترميم وصيانة المواد الأثرية كمادة لاصقة Adhesive، أو مادة مقوية Consolidate لبنية العديد من المواد الأثرية، مثل: الأحجار، والمونة، والصور الجدارية، والأخشاب (Torraca 1982: 122)، أو مادة واقية Coating على الأحجار والصور الجدارية، وغيرها من أسطح المواد الأثرية. كما تستخدم كورنيش للوحات الزيتية في صورة محلول مخفف في الأسيتون، أو الكحول النقي المضاف إليه الماء بنسبة ضئيلة جداً (الفقي، ٢٠٠٤م: ٦٩).

وتتميز خلات الفينيل المبلمرة بثباتها في الضوء وعدم تعرضها للاصفرار، وتبقى قابلة للذوبان وغير استرجاعية، وفي التركيزات القوية، وخاصة عندما تكون اللزوجة مرتفعة، يمكن أن تستخدم كمقوي سطحي أو كلاصق مع الآثار الفخارية، غير أن الأواني المصنوعة من السيراميك، التي تلصق بخلات الفينيل المبلمرة عند هذا التركيز، أحيانا ما تتعرض للانفصال تحت تأثير ظروف البيئة المحيطة من حرارة ورطوبة. كما يمكن أن تستخدم هذه المادة على أي من المواد غير المعدنية، مثل: العظم، والعاج، والخشب، والعينات النباتية، والمنسوجات، والأحجار. وفي حالة التركيزات، أو اللزوجة المنخفضة، تستخدم كمادة مقوية للمشغولات الهشة عن طريق الرش أو المسح. وفي بعض الحالات، التي يراد تقويتها بشدة، يكون من المفيد غمر الأثر مرات عديدة في محلول مخفف لهذه المادة، وغالباً ما تميل إلى تكوين غشاءٍ لامعٍ، ويمكن استبعاد ذلك عن طريق السماح للأثر أن يجف وهو معلقٌ فوق إناء مفتوح مملوء بالمذيب وذلك لإذابة ما يزيد منها. كما يمكن التخلص من المظهر اللامع عن طريق مسح السطح بقطعة قماش خالية من الوبر a lint-free cloth مشبعة بالمذيب العضوي المستخدم مع خلات الفينيل المبلمرة. وخلال عملية الجفاف يحدث انكماش لخلات الفينيل المبلمرة مما يتسبب في تشويه الأسطح الملونة الرقيقة، والقطع الهشة، والمنسوجات والآثار الضعيفة المماثلة.

عديد خلات الكحول Poly vinyl alcohol (PVOH)

يوجد عديد خلات الكحول، أو بولي فينيل الكحول $(CH_2\text{-}CH_2\text{-}CH\text{-}OCOC\ H_3)n$ في صورة مسحوق أو بودرة غير متبلورة، تلين عند درجة حرارة ١٠٠°م، وتذوب في الماء والكحول، وذات قطبية عالية. وهو راتنج لا يتأثر إلى حدٍّ كبير بالضوء، إلاّ أن التعرض المستمر للضوء الشديد يؤدي إلى إضعاف قوته، كما أن التعرض لدرجة حرارة أعلى من ١٠٠°م يؤدي إلى حدوث اصفرار في لونه، كما تؤثر في قابليته للذوبان. وجميع أنواع بولى فينيل الكحول قابلة للذوبان في الماء، وتلين حتى تصل إلى مرحلة الانصهار عند درجة حرارة تتراوح بين١٢٠°م -١٥٠°م. ويستخدم عديد فينيل الكحول في التقوية بدرجات تركيز منخفضة، ويعرف باسم (Gelvatol 40-20) (علي، ٢٠٠٣م: ١٣٩). وجميع الأنواع منها، وخاصة الأنواع ذات درجات التبلمر العالية، تعطي بعد جفافها غشاءً يتميز بدرجة كبيرة من المتانة، والمرونة، وعدم قابليته لنفاذ الغازات الجوية. وتعتمد متانة الأغشية المتكونة بعد جفاف عديد فينيل الكحول علي الرطوبة. والمحاليل المائية منه ذات درجات التركيز المنخفضة لها قابلية كبيرة لنمو الفطريات عليها. وللتغلب على ذلك يضاف إليها كمية من الكلورفينولات، مثل: البنتاكلوروفينول (شاهين، ١٩٩٤م: ٣٠٧-٣٠٨).

ومن لدائن أو راتنجات الفينيل الأخرى: عديد فينيل فورمال Polyvinyl Formal، وعديد فينيل أسيتال Polyvinyl acetal، وعديد فينيل بيوترال .Polyvinyl Butyral. وجميعها من لدائن الثرموبلاستيك التي تحضر من كحولات عديد الفينيل بتفاعلها جزئياً مع الفورمالدهيد (CH_2O)، والأسيتالدهيد ($CH_3\ CHO$)، والبيوتيرالدهيد ($CH_3CH_2CH_2CHO$) على التوالي. والأول منها يذوب فقط في المذيبات العضوية القوية، أما الثاني والثالث فإنهما يذوبان في الكحولات، والأسيتون، والهيدروكربونات الأروماتية. وثلاثة أنواع تعطي أغشية أو طبقات رقيقة صلبة. وتعدّ أغشية عديد فينيل فورمال أكثرها صلابة بينما أغشية عديد فينيل بيوتورال أكثرها لدونة، ولهذا فإنها تستخدم كورنيش لتغطية الصور والنقوش (شاهين، ١٩٩٤م: ٣٠٧-٣٠٨).

٢- راتنجات الأكريليك Acrylic resins

الأكريلات اسم لمجموعة من البوليمرات التي تحتوي على حمض الكريليك Acrylic acid ($CH_2=CHCO_2H$). وتمتاز هذه الراتنجات بالشفافية العالية، وهي ذات معامل انكسار كبير، ولها

قدرة عالية على مقاومة الضوء، وتقاوم الحرارة بصورة جيدة حتى درجة حرارة ١٨٠°م بعدها يبدأ اللون في التغير، وعندما تصل الحرارة إلى ٢٧٠°م يبدأ البوليمر في التكسر معطياً المونمرات المكونة له. وهي تقاوم الزيوت والشحوم بصورة جيدة، أما مقاومتها للماء فمتوسطة، فهي ضعيفة الامتصاص للرطوبة. وقد يحدث لها ابيضاض خاصة في حالة راتنجات الأكريليك ذات الوزن الجزيئي المنخفض نسبياً، كما تتسم هذه الراتنجات بأنها ذات بريق سطحي، وضعيفة المقاومة للخدش، وقد تتأثر ببعض الكيماويات ومحاليل التنظيف. وهي تتوفر بشكل واسع في الأسواق إما في صورة بلورات Crystals شفافة عديمة اللون، أو في صورة محاليل Solutions، أو مستحلبات Emulsions (الفقي، ٢٠٠٤م: ٦٥)، وبالتالي فهي صالحة لأغراض كثيرة في الترميم والصيانة، وخاصة في اللواصق والأغطية الواقية. وهي قابلة للذوبان في التولوين، والهيدروكربونات الأليفاتية، التي تحتوي على نسبة تتراوح بين ٢٥-٣٥٪ من الهيدروكربونات الأروماتية، وتعطي بعد جفافها غطاءً صلباً لامعاً شفافاً (شاهين، ١٩٩٤م: ٣١٠).

وتعدّ راتنجات الأكريلك، مثل: الباراليويد Paraloid، والبريمال Primal، والكالتون Calton المذابة في المذيبات العضوية المختلفة من أهم المواد التي تستخدم في تقوية المواد الأثرية الضعيفة، مثل: الأحجار، والطوب اللبن لأنها تتميز بقدرة عالية في التسرب إلى الأعماق الداخلية لتلك المواد، فضلاً عن أنها تتميز بقدرتها على مقاومة تأثير الحرارة والرطوبة. وتضاف إليها عادة نسبة من المواد القاتلة للحشرات والفطريات؛ لكي تحمي المواد الأثرية من تأثيراتها المتلفة. ويمكن تطبيق هذه المواد بالرش Spraying، أو الحقن Injection، أو حتى الغمر Immersion، إذا سمحت حالة الأثر بذلك (عبد الهادى، ١٩٩٧م: ١٤٩). وينصح بإذابة هذه الراتنجات في مذيب عضوي بطيء التبخر، مثل: التولوين Toulene حتى يتحقق لعمليات التقوية أن تنجح من خلال التغلغل إلى معظم أجزاء المادة الأثرية.

وهذه الراتنجات من راتنجات الثرموبلاستيك الشفافة، التي تسمح بنفاذ ما يقرب من ٩٢٪ من الضوء المرئي، وتقوم بترشيح وتنقية الأشعة فوق البنفسجية Ultra violet rays، إلاّ أنها تسمح بنفاذ الأشعة تحت الحمراء Infra red rays التي يصل طولها الموجي إلى ٢٨٠٠ نانومتر وتمنع نفاذ الأشعة تحت الحمراء التي يصل طولها الموجي إلى ٢٥٠٠٠نانومتر. والأنواع المختلفة الملونة من

عديد الميثاكريلات تسمح بنفاذ أطوال موجية محددة من الأشعة تحت الحمراء، بينما تمنع نفاذ الضوء المرئي Visible light. وهي تنتفخ وتذوب في العديد من المذيبات العضوية بينما تكون أقل مقاومة للعديد من المواد الكيميائية، ومع ذلك فإن مقاومته للظروف الجوية تعدّ الأفضل بالنسبة لمنتجات الثرموبلاستيك الأخرى مثل: عديد السيترين Polystyrene وعديد الإيثيلين Polyethylene، ولهذه الأسباب فهي تُفضل للاستخدام في البيئة المفتوحة (Ezrin, 1996: 168).

٣- راتنجات عديد الميثاكريلات Poly methacrylate Resins

هذه النوعية من الراتنجات لا تتأثر بالضوء وثابتة حتى درجة حرارة ٢٥٠°م، كما أن جميعها قابلة للذوبان في التولوين، وزيت التربنتين، والهيدروكربونات الأليفاتية، التي تحتوي على نسبة تتراوح بين ٢٥-٣٥٪ من الهيدروكربونات الأروماتية، وتعطي بعد جفافها غطاءً أو غشاءً صلباً لامعاً شفافاً (شاهين، ١٩٩٤م: ٣٠٩).

وأشهر هذه الراتنجات وأكثرها شيوعاً واستخداما، عديد الميثيل ميثاكريليت Poly methyl metacrylate، ويسمى أحيانا بزجاج الأكريلك Acrylic glass، وهو عبارة عن أستر لحمض الميثاكريليك ($CH_2=C[CH_3]CO_2H$)، في صورة مادة شفافة وصلبة، وكان يحمل الاسم التجاري Plexiglass منذ عام ١٩٣٣م، ومنذ ذلك التاريخ ويباع تجارياً الآن تحت أسماء عديدة منها Lucite و Perspex. وهو مادة قوية خفيفة الوزن سهل الحمل والتشكيل، فكثافته تتراوح بين ١،١٧-١،٢٠جم/سم٣ أي أقل من نصف كثافة الزجاج (٢،٦ جم/سم٣).وهي تشتعل عند درجة حرارة ٤٦٠°م، وتحترق مكونة ثاني أكسيد كربون، وماء، وأول أكسيد الكربون، ومركبات ذات وزن جزيئي منخفض شاملة الفورمالدهيد. وهو مادة شفافة تسمح بنفاذ ٩٢٪ من الضوء المرئي ويقوم بترشيح الأشعة فوق البنفسجية عند الأطوال الموجية ٣٠٠ نانومتر، وقد يضاف إليه بعض الإضافات، أو المواد الكيميائية لتحسين خاصية ترشيح هذه الأشعة حتى طول موجي ٣٠٠-٤٠٠ نانومتر. وهي تسمح بمرور الأشعة تحت الحمراء حتى ٢٨٠٠ نانومتر بينما يمنع نفاذ الأطوال الموجية الأطول حتى ٢٥٠٠٠ نانومتر. والنوعيات الملونة من عديد ميثيل الميثاكريلات تسمح لنوعيات معينة من الأطول الموجية للأشعة تحت الحمراء بالمرور، بينما تمنع نفاذ الأشعة

المرئية. وهي تذوب في العديد من المذيبات العضوية، ومقاومتها ضعيفة للعديد من الكيماويات، ومع ذلك فلها قوة ثبات عالية ضد الظروف الجوية مقارنة بالعديد من المواد البلاستيكية الأخرى مثل عديد السيترين وعديد الإيثيلين؛ ولهذا غالباً ما تفضل للاستخدام في البيئة المفتوحة (Ezrin, 1996: 168). ومن أمثلة راتنجات الميثاكريلات شائعة الاستخدام في ترميم وصيانة الآثار:

أكرالويد ب ٧٢ Acryloid B-72

هو أحد مركبات الأكريليك، ويعرف باسم البارالويد ب ٧٢ Paraloid B72، وهو راتنج جيد لكل أغراض التقوية، ويتميز بأنه عديم اللون، ثابت لدرجة كبيرة في الظروف الجوية المختلفة، كما أن درجة توغله داخل المادة جيدة. ينتج في صورة كريات صلبة شفافة من البوليمر المشترك النقي بنسبة ٥٠٪ لكل من الإيثيل ميثاكريلات والميثيل أكريلات، حيث يتركب كيميائياً من Ethyl methacrylate methyl acrylate copolymer. وهو مادة مسترجعة يذاب في الاسيتون والتولوين، ويستخدم في أغراض التقوية، واللصق، والعزل لكثير من المواد الأثرية، وكورنيش للوحات الزيتية (الفقي ٢٠٠٤م: ٦٧).

أكرالويد أو أرالديت من نوع **Araldite C.Y. 219**، الذي يستخدم في تقوية الأخشاب، واستكمال الأجزاء الناقصة، أو سد الثقوب (عبد الحميد، ١٩٨٤م: ٢٧٩).

٥,٣,٢ راتنجات أو لدائن الثرموسيتنج Thermosetting Resins

وتنتج هذه الراتنجات من تفاعلات التكثيف بين جزيئات هذه الراتنجات في ظل معدلات حرارة عالية حتى تتصلب وتأخذ شكلها النهائي بعد التجمد، ولا يمكن تطريتها وصهرها بالحرارة بعد ذلك (كما في الثرموبلاستيكات)، كما أنها تصبح غير قابلة للذوبان في المذيبات العضوية، وتكون الجزيئات فيها مرتبطة ببعضها على شكل نسيج شبكي (عبد الهادي، ١٩٩٧م: ١٠١).

وتتجمد هذه الراتنجات نتيجة لحدوث تفاعل كيميائي بينها وبين المجمد Hardner الخاص بها. وتختلف طريقة استخدام هذا النوع من الراتنجات باختلاف كيفية مزج المجمد بالراتنج. وتوجد ثلاثة أساليب لمزج المجمد بالراتنج الخاص به وهي (شاهين، ١٩٩٤م: ٣١٢):

- إضافة المجمد إلى الراتنج السائل بنسبة معينة، ومزجهما جيداً بحيث يمكن أن يتجمد المزيج بعد فترة وجيزة من عملية المزج.
- دهان أحد الأسطح المراد لصقها بالمجمد، بينما يدهن السطح الآخر بالراتنج ثم يوضع السطحان معاً ويضغط فوقهما ببعض الأثقال، أو بمكبس يدوي، أو آلي، وبذلك يتجمد الراتنج ويلتصقا معاً.
- ينتج الراتنج ممزوجاً بالمجمد الخاص به على هيئة مسحوق، أو بودرة جافة يضاف إليها الماء قبل الاستعمال مباشرة، وبذلك ينشط التفاعل بينهما مما يؤدي إلى تجمد الراتنج.

وتستخدم هذه المجموعة من الراتنجات في صناعة المواد اللاصقة، وتشتمل على عدة أنواع منها:

١- **راتنجات الفينول** Phenol resins، وتحضر بتكثيف الفينول (C_6H_5OH) مع الفورمالدهيد (CH_2O)، وقد تتسبب في إكساب السطح المعالج بها لوناً قاتماً كريهاً.

٢- **لدائن اليوريافورمالدهيد** $(C_2H_4)_nH_2$، وتحضر بتكثيف الفورمالدهيد (CH_2O)، وهي من أفضل الأنواع التي يمكن استخدامها في أغراض علاج وترميم المواد الأثرية.

٣- **راتنجات الميلامين فورمالدهيد**، وتحضر بتكثيف الميلامين ($C_3H_6N_6$)، والفورمالدهيد (CH_2O).

ومن لدائن الثرموسيتنج شائعة الاستخدام في مجال الترميم والصيانة:

راتنجات الأيبوكسي Epoxy resins

مادة كيمائية تعد أحد أنواع اللدائن التي تتجمد بالحرارة. ذات مركبين: مركب أساس وهو الراتنج Resin والمساعد على التصلب أو التجمد وهو المجمد Hardener. وهو مادة شديدة الالتصاق وتستخدم كطلاء Coating، أو لاصق Adhesive، أو مادة مكملة أو مساعدة على الاستكمال للمواد الأثرية وخاصة غير العضوية. الإيبوكسي لاصق جيد مقاوم للاحتكاك، وللماء، وللعديد من المواد الكيميائية سواء أكانت أحماضاً ، أو قواعد، أو مذيبات، فهو من أشهر راتنجات الثرموسيتنج التي لا تذوب في معظم المذيبات (Torraca, 1982: 126).

والعديد من كيماويات اللواصق والمقويات التي تعتمد في تركيبها على راتنجات الأيبوكسي شائعة الاستعمال في ترميم وصيانة الأحجار، حيث تستخدم في إعادة تثبيت، وتجميع كتل

الأحجار الأثرية المكسورة، وسد الشقوق بها وتقوية بنيتها الداخلية (عبد الهادي، ١٩٩٧م: ١٠١). وهناك عدد غير محدود من اللواصق والمقويات يستخدم في الترميم والصيانة، والأنواع الحديثة منها يتم تطويرها بصورة منتظمة (Dowman, 1970). ومن أهم راتنجات الأيبوكسي المستخدمة حالياً النوع المعروف باسم الأرالديت، وهو ضمن أنواع وأصناف متعددة لها درجة لزوجة متفاوتة لإستخدامها في الأغراض المختلفة كاللصق والتقوية.

٥,٣,٣ راتنجات الكولدسيتنج Coldsetting Resins

وهي راتنجات ذات طبيعة خاصة حيث تتجمد عند درجة الحرارة العادية وبدون ضغط، وذلك عن طريق خلط المونمر بالمجمد الخاص به بنسب معينة حيث تتوقف هذه النسبة، وكذلك الوقت اللازم للتجميد على نوع المونمر Monomer ونوع المجمد Hardner وبعد التجمد لا يمكن تطرية الراتنج المتكون، أو صهره بالتسخين، كما أنه يصبح غير قابل للذوبان في المذيبات العضوية. ويتوفر حالياً عدد كبير من هذا النوع من الراتنجات في الأسواق.

ومن أشهرها وأكثرها شيوعاً في الاستخدام عديد الإستر والسيليكون. وكل منهما يوجد في صورة سوائل لزجة تتجمد بدون التسخين، ولكن بإضافة سوائل أخرى تسمى المجمد Hardener أو المحفز Calatlyst (Torraca, 1982: 125). وتتجمد هذه الراتنجات نتيجة لحدوث تفاعل كيميائي بينها وبين المجمد الخاص بها. وتختلف طريقة استخدام هذا النوع من الراتنجات باختلاف الكيفية التي يمزج بها المجمد بالراتنج.

وعندما تتصلد هذه الراتنجات تظل السلاسل الطويلة للجزيئات المكونة لها مرتبطة مع بعضها البعض بروابط كيميائية قوية وليس بالقوى الجزيئية الضعيفة التي ترتبط بها سلاسل راتنجات الثرموبلاستيك، ولذلك فإن هذه الراتنجات تكون أصلد من راتنجات الثرموبلاستيك غير أنها تكون أكثر عرضة للهشاشة Brittleness. من أجل ذلك يتم تحسين الخواص الميكانيكية لهذه الراتنجات بإضافة مواد مالئة لسائل الراتنج قبل التصلد، ومن أشهر المواد المالئة: الصوف الزجاجي

Fiberglass ، الذي يزيد من مقاومة وصلابة هذه الراتنجات، والمواد الملدنة، التي تحسن من خواص المرونة (Torraca, 1982: 126).

ومن أشهر هذه الراتنجات المستخدمة في حقل الترميم والصيانة:

١ – راتنجات البولي إستر Polyester resins

وتتكون بتفاعل الكحولات عديدة الهيدروكسيل مع الأحماض عديدة الكربوكسيل. وتوجد منها أنواع كثيرة تعتمد على الطبيعة الخاصة للأسترات. وهي أقل مقاومة كيميائيا من الأيبوكسي، لكنها أقل تكلفة منه. والبولي إستر المسلح بألياف الزجاج مادة واسعة الاستخدام في تدعيم مواد البناء الأثرية، كما يستخدم البولي إستر في حقن الشروخ الدقيقة حيث يتصلب داخلها ويسمح بتقويتها (Torraca, 1982: 126). هذا بالإضافة إلى استخدامه في عمل قوالب لنسخ القطع الفنية الأثرية وغيرها، أو نسخ أجزاء منها.

٢ – راتنجات السليلوز Cellulose resins

ومنها: لدائن نترات السليلوز،وهي من أقدم اللدائن أو الرتنجات الصناعية، التي استخدمت وما زالت تستخدم في مجال الترميم والصيانة وذلك لما تعطية من نتائج مقبولة، حيث مازالت تستخدم لأغراض اللصق وخاصة للآثار الفخارية، وكغطاء واق (Newey et al., 1983: 50, 115). وتتكون نترات السيليلوز من تفاعل حمض النيتريك مع بعض المجموعات الجانبية من الهيدروكسيد (OH-) في جزيء السليلوز. والمذيبات التي عادة ما تستخدم في لواصق نترات السليلوز هي مخاليط من الأسيتون والإيثانول وخلات البيوتل. وخلال استخدامها الطويل في مجال الترميم والصيانة لم يتم رصد أي آثار جانبية لها، وبعد العديد من السنوات وجد أنها تظل في حالة مذابة وبالتالي تتصف بالاسترجاعية. ومع ذلك فلها عيوب ثلاثة رئيسة، هي: الانكماش، والتعرض للتفتت، وانبعاث حمض النيتريك عند التحلل break down (Newey et al., 1983: 50).

لدائن خلات السليلوز Cellulose acetate، وتعرف بالأسماء zylonite, و Cellon و Rhodoid وتستخدم بكثرة في أعمال الترميم والصيانة، وهي تتميز بشفافيتها، وعدم تغير لونها بفعل الضوء، كما تتميز بدرجة معقولة من الثبات الكيميائي (شاهين، ١٩٩٢م: ٣١٢).

لدائن خلات بيوتيرات السليلوز (Celluloseacetobutyrat (CAB، وتتميز بشفافيتها وبأنها أكثر لدائن مشتقات السليلوز ثباتاً من الناحية الكيميائية، فهي تحافظ على شفافيتها وصلابتها. وهي بذلك من أصلح اللدائن استخداما في أعمال الترميم والصيانة، وهي تذوب في الاسيتون والتولوين والكحول الإيثيلي.

٣- راتنجات السيليكون Silicon resins

تعدّ السيلكونيات من المواد الراتنجية التي شاع استخدامها في الوقت الحاضر في علاج وصيانة معظم المواد الأثرية، التي تعرضت للتلف بدرجات متفاوتة. وهي تتكون باتحاد مجموعات الكربون وذرات الهيدروجين عندما تتصل مباشرة بالسيليكون من خلال رابطة السيليكون والكربون (Si-C) وتحتوي على روابط السيلان C-Si (Torraca, 1982: 132). وتتمتع هذه الراتنجات بمميزات عديدة أهمها أنها تذوب في العديد من المذيبات العضوية، إلاّ أنه يفضل استخدامها مع الزيلين Xylene ورابع كلوريد الكربون، أو التولوين. وهذه الراتنجات لها القدرة على مقاومة تأثير الرطوبة، وبالتالي تتحول المواد المعالجة بها إلى مواد طاردة للماء. كما أن هذه المواد تتمتع بفاعلية العلاج أطول فترة ممكنة، ويمكن استخدامها في الظروف البيئية المختلفة.

ولكي تعطي الراتنجات السيليكونية، نتائج مرجوة في العلاج فإن كثيراً من المتخصصين، ينصحون باستخدام الراتنجات الأكريليكية مع الراتنجات السيليكونية في علاج وصيانة مواد البناء الأثرية، التي وصلت إلى مرحلة خطيرة من التلف، وتحولت إلى مواد هشة فاقدة التماسك؛ لأن هذا النوع من العلاج يعمل على تماسك مكوناتها المعدنية وترابط طبقاتها، ويعيد إليها قوتها الميكانيكية (عبد الهادي، ١٩٩٧م: ١٧٨).

ومن أهم هذه الراتنجات استرات السيليكون، التي تستخدم في تقوية الأحجار الأثرية، مثل: الأحجار الجيرية، والرخام، وخاصة الأحجار الرطبة. وتتكون هذه المادة من ثلاث مكونات كيميائية رئيسة هي:

أ) مادة المونمر، وهي من رباعي إيثيل الاورثوسيليكات Tetra ethyl orthosilicate.

ب) ومادة ايثيل سيليكات ٤٠ (Ethyl silicate 40) التي تحتوي على ٤٠٪ من ذرات السيليكون.

ج) خليط مكون من ميثيل ثلاثي ايزوكسي سيلين Methyl triethoxy silane. هذا الخليط يذاب في الأسيتون أو التولوين ويضاف إليه ١٪ حمض الهيدروكلوريك، أو مادة لتنشيط التفاعل تعرف تجارياً باسم (Wacker H) (عبد الهادي، ١٩٩٧م: ١٨٠).