

УДК 549:291,33 – 316.7

М.М. Решетник, старший науковий співробітник
Геологічний музей ННПМ НАНУ

Д.Л. Старокадомський, науковий співробітник
Інститут хімії поверхні ім. О.О. Чуйко НАНУ

Методи виготовлення штучного бурштину та гіпсових відбитків

В статтю представлений авторський алгоритм виробництва декоративних изделий из епоксидных смол и гипса в непромышленных условиях. Приведена максимально простая и дешевая технология заливки насекомых, растений в смолу, полученные изделия могут имитировать янтарь. Описан способ получения гипсовых (с помощью строительного гипса) и полимерных (на основе высоконаполненных эпоксидных композитов) слепков с любых вещей, в частности это могут быть кости, ракушки, кристаллы и другие фрактальные структуры.

In the article the author algorithm production of decorative products from plaster and epoxy resin in non industrial conditions. The above is very simple and cheap technology pouring insects, plants resin derived products can imitate amber. The described method of plaster (using plaster) and polymer (based vysokonapovnenykh epoxy composites) casts on any things in particular it may be bone, shells, crystals and other fractal structure.

У світі цінуються інкорпорації та реплікації комах, тварин і рослин. Тому мають попит ідентичні янтарні вироби з епоксидної смоли та гіпсові відбитки, наприклад, у вигляді брелоків, браслетів та інших елементів декору. Технології роботи зі смолою потрібні і для створення мінімузеїв, де в один «блок» в епоксидну смолу заливається багато маленьких, але дуже пам'ятних (цінних) речей чи їх шматочків [3]. Епоксидний штучний янтар та гіпсові копії цінних експонатів можуть бути потрібні в усіх випадках, коли слід уникати прямого контакту масового глядача (у музеях, на виставках тощо) з оригінальними експонатами. З гіпсу чи епоксидної смоли легко виробляти копії, так би мовити «розмножувати» один примірник.

Завдяки популяризації хендмейду (рукоділья) є актуальною творчість з гіпсу та смоли. Гіпс будівельний є пропечений порошок природного гіпсу, не має запасу та не містить шкідливих для людини домішок. Це дозволяє використовувати його повсюдно, адже він задовольняє санітарні норми, які нерідко обмежують можливість комерційного використання матеріалів штучного декору (зокрема й епоксидної чи поліефірної смоли). Його швидко затвердіння після розведення з водою в сукупності з високою міцністю на стискання, стійкістю до лугів і кислот робить його каменем номер 1 для внутрішніх будівельних і декоративних робіт. Висока здатність до відтворення форм гіпсовими виробами в поєднанні з легкістю об-

робки (вирізання, шліфування) дозволяє швидко робити з нього ідеальні (іноді навіть кращі за оригінал) фігури.

В Інтернеті чимало рекомендацій з техніки виготовлення заливок, тобто речей «залитих» або покритих епоксидною смолою. В основному рекомендації по виготовленню стосуються професійних виробів і містять масу обтяжуючих його моментів (потрібна складна вакуум-установка, дорогі отверджувачі, багато силікону та ін.). Авторська технологія не вимагає дорогих компонентів і витрат на підготовку, а якість отримуваних заливок (після перших невдалих спроб) буде трохи гірше професійних. Цим способом можна виготовляти не тільки мінімузеї, але й довговічні і міцні відбитки і копії, наприклад, для геоло-



джувач ПЕПА (поліетилен-поліамін), який найчастіше поставляється у комплекті.

Для роботи потрібні зразки, які на-



Рисунок 1. Прозорі заливки (рис. 1 Б взято з [3])

гічних або палеонтологічних архівів. У такий спосіб можна виробляти штучний янтар та інші камені, а також заливні композиції з комахами, мінікристалами та іншими крихкими чи нестійкими (наприклад такими, що розмокають) експонатами. У разі вдалого виготовлення зразок буде не лише захищеним, а й добре відтіненим для огляду (наприклад не буде помітно плям, відблисків чи пилу) (рис. 1).

Зважаючи на популяризацію хендмейд, набори, які містять гіпс, іграшкові форми та інструкцію для заливання мають високий попит серед дітей.

1. Епоксидні виробы – замітники бурштину

Хімія епоксидних полімерів є складною й досі неповністю вивченою. Найвідоміші діанові смоли (80–90 % виробництва епоксидів) мають загальну формулу та твердіють лише з додаванням отверджувача (рис. 2). Ним є аміни, ангідриди та ряд інших сполук. Існує розподіл смол на рідкі (порівняно низькомолекулярні), легкоплавкі та тугоплавкі [2]. За радянських часів у нас та Східній Європі найпоширенішою є смола «холодного твердіння» ЕД20 [2], яка зараз має багато зарубіжних аналогів (чеська Ероху520, корейська DER330, саудівська Razeen, DenBraven тощо). До початку століття смола вироблялась в Україні, однак зараз імпортується переважно з Росії, Чехії, Південної Кореї та Китаю/Тайваню. Відповідно, продажна форма найпоширенішого побутового епоксидного клею (ЕДП, клей «Tiger» тощо) й є та сама ЕД20, тільки під різними торговими марками. Для цієї смоли потрібний отвер-

лежить зберегти, та епоксидна смола. Зразки повинні бути сухими. З мокрими і водовмісними матеріалами краще

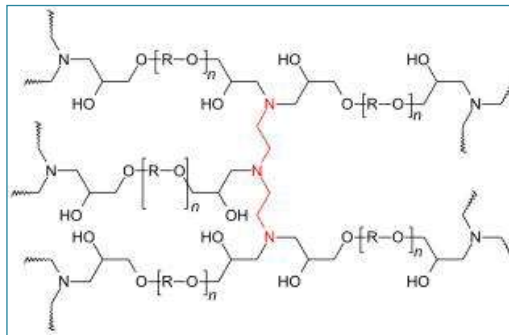
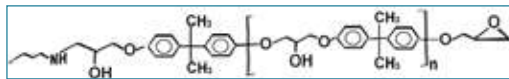


Рисунок 2. Типова формула рідкої епоксидної смоли (зверху) та затверділої смоли (знизу)

не працювати, оскільки в смолі вони будуть продовжувати випаровувати воду, яка у вигляді бульбашок застигне навколо зразка (рис. 3Б). У кращому випадку буде добре видно частину предмета, а решта буде покрита сірим серпанком пари (рис. 3А).

А. Прозорі заливки

Послідовність дій під час заливки виробів може бути такою:

1. Підготовка виробу. Очистити зразок, протерти спиртом (знежирити), висушити, можна підфарбувати або підлакувати, наприклад, золотистим лаком.

2. Підготовка форми. Для того щоб залити зразок смолою, потрібен «посуд», в якому буде застигати зразок і рідка смола. Це може бути будь-який гладкий і бажано прозорий матеріал. Зараз у надлишку є залишки упаковки для електроніки, медичних і дитячих товарів, кондитерських виробів. Вони цілком підійдуть, крім полістиролової (ламкий непрозорий пластик, з нього роблять коробки комп'ютерів і моніторів) і полікарбонатної упаковки (матеріал, з якого виготовлені DVD-диски), а також крім ПВХ (штучна шкіра, ізолююча стрічка, кабель-оболонка). Форму протерти тампоном зі спиртом – ретельно перевірити відсутність пилу, каверн, піщинок. Яка форма – такою буде і форма заливки.

3. Поєднання виробу з формою. Щоб зразок під час заливки смоли не сплив, його бажано прикріпити до форми, наприклад, підклеїти (прихопити) до дна «суперклеєм». Або взяти таку форму, щоб зразок втискувався в неї не змінюючи форми. Якщо немає бажання цим всім «заморочуватися», доведеться підтримувати спливаючий зразок (якщо він легше смоли, а це часто буває), наприклад, дротиком або скляною паличкою. Тоді треба встигнути її витягнути до повного застигання, що буває проблематично; скляну паличку також можна просто залишити у



Рисунок 3. Приклад помутнілої (А) і спіненої (Б) епоксидної заливки

виробі і облямати – заломлення скла майже однакове зі смолою і його буде там майже не видно. До речі, скло може допомогти заощадити смолу – наприклад, його можна накласти зверху на тільки залитий зразок, сформувавши тим самим верхню «кірку» виробу. Скло чудово поєднується з епоксидкою, а видимість через нього буде навіть кращою, ніж через полімер. Але для цього потрібні відповідної форми диски або квадратики скла, які треба навчитися готувати.

4. Підготовка смоли. Змішувати смолу з отверджувачем потрібно за інструкцією (1:10 чи 1:6 тощо), як правило, є небезпечним недозування отверджувача, коли виріб може просто неотвердіти. Передозування призводить до більш швидкого твердіння. Тому краще додавати за принципом «потрібну кількість плюс ще 1-2 краплі». Замість смоли краще вести не менше 5 хвилин, уникаючи появи множинних бульбашок (вони можуть залишитися і в кінцевому виробі).

5. Хід заливки. Підготовлену суміш смоли з отверджувачем акуратно виливаємо у форму з виробом. Як варіант, можна трохи залити у форму смоли, а потім вставити виріб. Якщо він легший за смолу (жук, пемза, дерево), то поступово спливе, і тоді його доведеться притискати паличкою або дротом. Акуратно виконавши це, можна залишити притискач, і після затвердіння він зіграє роль, наприклад, ланцюжка брелока. Залишити форму в сухому теплому місці не менше ніж на добу. Затвердіння може зайняти один день. Після затвердіння форма розрізається, наприклад, канцелярським ножом (акуратно, щоб не подряпати отриману заливку), і знімається, як вже не потрібна.

Можуть виникнути такі проблеми:

А) Недотвердіння (повне або часткове – наприклад, біля дна форми). Як правило, вид заливки зіпсований, але можна почекати 2-3 тижні або прогріти, а неотверділе біля дна знову занурити в новостворену композицію.

Б) Помутніння, в тому числі і з часом (рис. 4). Наслідок попадання вологи або зі смоли\отверджувача (якщо зберігалися в поганих умовах), або з повітря. Тут нічого не поробиш – виправленню не підлягає.

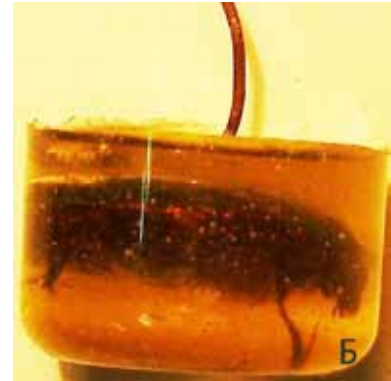
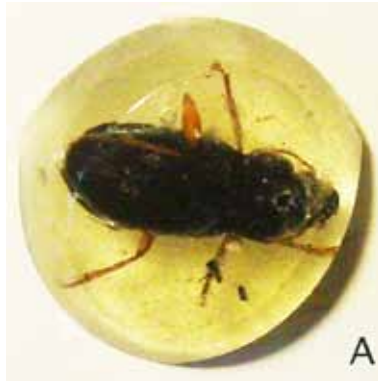


Рисунок 4. Приклади заливки (або обмазування) епоксидною смолою і затвердіння водомістких невисушених зразків: А) вдалий; Б) порівняно вдалий (хрущ); В) частково вдалий (плід шипшини), Г) невдалий (плід шипшини)

В) Поява бульбашок. Зазвичай має місце, коли під час заливки залишається багато бульбашок, а протягом твердіння застосовується прогрів композиції (наприклад, щоб вона швидше тверділа).

До речі, не лише епоксидною смолою можна створювати заливки і облямки. Іноді (наприклад, для різнокольорових або вологих систем) набагато більш зручні водні клеї – акрилові («Дракон», акриловий лак \ смола чи ціакріновий «суперклей») і рідке скло. На базі давно відомого рідкого скла можна отримувати гарні заливки, особливо вологих виробів (личинки, квіти,

стебла й ін. – рис. 5А, рис. 6). Тонкошарові заливки іноді швидко і без втрат кольору вдало виходять з клеєм «Дракон» і його аналогами (рис. 5Б). Перевага водних клеїв – вони не дають помутніння через воду, до того ж набагато краще зберігають багатство забарвлення біоекспонатів (квітів, листя, комах). Але у кожного з водних композицій свої (і нехарактерні для епоксидки) недоліки: клей «Дракон» під час заливки часто перетворюється на тонку злегка спінену плівку (рис. 5Б), а рідке скло без зволоження поступово сохне, лушиться і мутніє.

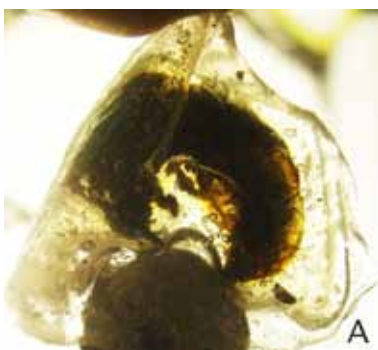


Рисунок 5. Альтернативи «епоксидки». Приклад вдалих виробів із застосуванням рідкого скла (А) і клею «Дракон» (Б)

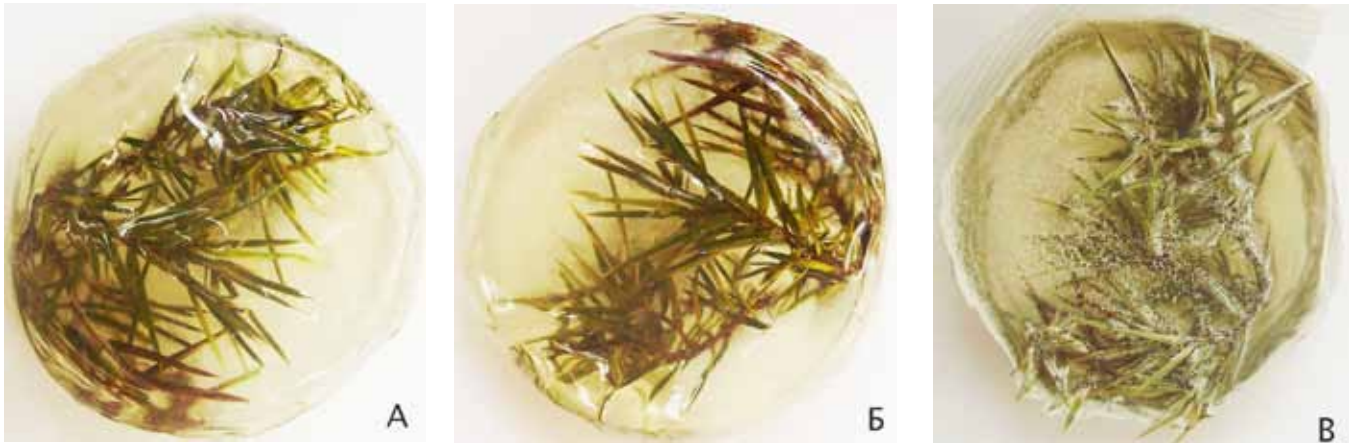


Рисунок 6. Рослини у застиглому рідкому склі: А, Б – вигляд з боку дна; В – вигляд з зовнішньої боку (помітне побіління через пересихання)

Б. Непрозорі (високонаповнені) композити для відбитків

У цьому разі можна використати більш дешевий варіант композиції – смолу, наповнену на 60–80 мас. % піском, цементом, гіпсом, крейдою та іншими дешевими порошками. У цьому випадку треба не заливати зразок у прозору смолу, а відобразити зовнішній вигляд зразка полімерною копією.

Для роботи потрібен модельний пластилін (його можна замінити звичайним, але він буде сильніше прилипати до виробу), жир (силікон або навіть соняшникова олія) для змащування одноразової форми, смола ЕД20, отверджувач ПЕПА (йде в комплекті зі смолою), мікронаповнювачі (гіпс, пісок, цемент, борошно) і макронаповнювачі – камінчики, мотузки, дріт. Професійні моделісти замість пластиліну беруть спецсилікони – але вони дорогі (а звичайні дешеві будівельні не підходять – вони всі липнуть до виробу), до того ж пластилін багаторазовий, а туби силікону вистачає на 5–15 форм.

Порядок дій щодо створення композитних відбитків може бути таким:

1. Підготовка форми. Модельний пластилін (або силіконову форму) готують у необхідній кількості та втискають у нього змащений жиром чи силіконом виріб. У класичному варіанті це втиснення наполовину форми – в цьому разі друга половина сформує одну форму. Однак нерідко вигідніше втиснути макет на 2/3 його форми – тоді основні деталі відбитку будуть майже готові наступного дня. Через добу затверділий відбиток слід сумістити з

протилежною формою (з залишковою половиною чи третьою макету).

У класичному (і напівпромислового) моделюванні, як правило, оперують більш складною й дорогою технологією одноразової заливки в силіконову форму, яка повністю відтворює макет. Однак у дрібнокустарному (домашньому) виробництві це не завжди рентабельно, оскільки вимагає досвіду виготовлення складних форм з дорогого силікону.

Форму слід повторно промазати роздільником (рослинною або силіконовою олією).

2. Підготовка композиту. При додаванні декількох компонентів в смолу рекомендується такий порядок: пластифікатор; пігменти; наповнювачі; отверджувач. Перед додаванням чого-небудь смолу можна прогріти (на водяній бані, радіаторі й ін.) для зручності розмішування.

Після введення отверджувача прогрівати суміш вже не можна, оскільки вона може дуже швидко затвердіти або ж взагалі моментально «закипіти». Реакція затвердіння епоксиду екзотермічна (з саморозігріву) та відповідно до законів термодинаміки додатковий прогрів змістить рівновагу в бік прискорення реакції.

Слід розмішати компоненти протягом 5–6 хвилин. Потім композиція готова до роботи протягом 1 години, а потім почне «спрацьовувати» – тобто в'язкість стане підвищуватися і працювати з нею буде все важче.

Перед роботою слід додати наповнювача або розчинника (спирт) стільки, щоб консистенція композиту була в'язкотекучою (як сметана). Занадто рідкий композит буде стікати до центру

(дна) форми. Це призведе або до недоформування фрагментів виробу або до необхідності утримувати композицію в усіх кутах форми (наприклад, масивною прокладкою склотканини або бинта). Занадто густий композит не дасть відформувати тонкі деталі.

Консистенція повинна дозволити складу самостійно залишитися на вертикальних стінках форми без додаткового армування.

3. Заливка і викладка. Здійснюється шляхом наливу із стаканчика або шпателем (рис. 7). Якщо епоксидної смоли не жаліти, то можна залити композитом всю форму, але це нерозумно через великі (в умовах нинішніх цін) витрати композиту. У разі економного витрачання цілісна заливка виконується лише для навантажуваних елементів виробу (наприклад, лапи в іграшки-тваринки або тонкі перегородки в деталі) (рис. 8). Стінки форми футеруються композицією до повного обмазування форми. Після чого у місцях потенційного стікання маси вклеюється армування (наприклад, скло) або бавовняне волокно.



Рисунок 7. Вигляд типової наповненої епоксидної композиції для виготовлення відбитків і копій



Рисунок 8. Вигляд палеовідбитків-іграшок з епоксидних композитів

II. Гіпсові відбитки

Фізико-хімія перетворень гіпсу порівняно проста (у порівнянні, наприклад, з цементом чи алюмосилікатами) – це приєднання молекул води. При цьому напівводна форма ($\text{CaSO}_4 \times 1\frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) переходить у двоводну [5] ($\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$). Після контакту з об'ємною водою (на відміну від цементу, який здатний захоплювати й домішкову чи атмосферну воду) алебастр дуже швидко (за 5–15 хв.) перетворюється на камінь. Після 1–2 діб сушки це вже цілком самостійний кам'яний матеріал до напівводної форми з утворенням двоводної. За 50–150 оС відбувається структуризація отверділої форми і видалення залишкової води. Видалення кристалічної води відбувається починаючи від 170–200 °С (у цьому разі утворюється дуже гігроскопічний матеріал драєрит) і вище (утворення алебастру).

Гіпсові вироби є найкращими для музейної, дрібнопромислової та домашньої творчості. Вироби на основі гіпсу чудово копіюють деталі зразка, при цьому відбиток має сніжно-білий колір вихідного природного каменю. У такий спосіб можна формувати відбитки фігур і решток тварин/комаха, кристалів, порід та просто іграшкові фігурки для дітей (рис. 9). Він дуже зручний (й навіть унікальний) для дрібнопромислового кустарного виробництва, оскільки

формує дешевий, нетоксичний та пожегобезпечний матеріал з нескінченним строком придатності.

На відміну від епоксидної смоли, акрилатів, поліефірів та неорганічних матеріалів (глини, цементу), гіпсовий виріб у первинному вигляді готовий вже через 10–15 хвилин після заливки у форму. У подальшому його треба добре просушити – 1–2 доби в нормальних умовах (20–30 °С) або прискорено в печі (130–150 °С). Сушка за нижчих температур може затягнутися на 3–5 діб. Сушка за вищих температур може призвести до видалення надмірної кількості води та утворення легкого розсипчастого й дуже водонестійкого матеріалу – драєриту. Про перетворення гіпсу на драєрит (пересушений гіпс) свідчить надзвичайна легкість виробу та його шерехтіння при протиранні. Якщо такий виріб змочити водою чи навіть водним клеєм (ПВА, акриловим грунтом), він одразу розм'якне.

Під час створення гіпсових відбитків та виробів слід пам'ятати таке:

1. Гіпс (на відміну від цементу, сатенгіпсу тощо) «не любить» ніяких добавок – ні полімерних (ПВА, акрилу, тим більше масових поліпарафінів – ПЕ, ПП, ПС), ні неорганічних (піску, цементу, рідкого скла тощо). Рекомендації щодо покращення гіпсових розчинів простим додаванням ПВА експериментально не підтверджуються (міцність падає з ростом вмісту ПВА), в усякому

випадку потрібна серйозна наукова оптимізація такого складу. Не слід змішувати його і з сатенгіпсом, останній призначений для поверхневих обмазувань і суттєво (від 10 хвилин до 1–2 діб) гальмує швидкість отвердіння гіпсового розчину. Ефект від додавання крейди також послаблюючий і має сенс лише коли крейда для виробника є безкоштовною чи дуже дешевою. Також до деструктивних наслідків призводить додавання у розчин цементу і рідкого скла.

Ефективним є додавання до гіпсу (перед поєднанням з водою) піску чи подрібненої глини. Пісок добре суміщається з гіпсом й підвищує його стійкість до стирання та зносу (однак дещо знижує міцність при згині та стисканні). Глина додає розчину добру в'язкість і підвищує час життя розчину, не погіршуючи міцності каменю після отвердіння.

2. Гіпс не має адгезії до полімерних матеріалів, за виключенням декількох – полікарбонату (з нього роблять ДВД-диски), резини, поролону. Це, як правило, не дає можливості наповнювати гіпсові вироби пластиковими фрагментами. Не дуже висока адгезія в нього і до масових металів та сплавів (сталі, міді тощо), і у гіпсі (на відміну від бетону) металева арматура як правило деструктує виріб зсередини.

Як наповнювачі ідеально підходять фрагменти цегли, бетону, гіпсу й змочені у розчині бавовняні чи неорганічні тканини. Непогана адгезія в гіпсу спостерігається до скла. Наповнення може зекономити сам гіпс, хоча його дешевизна поки не потребує цього. В основному введення шматочків цегли чи бетону доцільне для фіксації текучого розчину біля складних деталей форми; додавання тканини армує виріб (що давно використовується для фіксації кінцівок у медицині). Додавання піску (не більш як 25 %, інакше після отвердіння виріб розсипатиметься) доцільне для підвищення стійкості до стирання. Але найціннішою функцією піщаного покриву є запобігання розпорощенню гіпсу при контакті з водою: піщаний покрив не дає підійматися гіпсовому пилу під час заводнення.

3. Міцність (особливо найважливіша – до згину) виробу різко падає після потоншення гіпсового виробу чи його фрагменту менш як до 1 см. Слід уни-



Рисунок 9. Гіпсові відбитки іграшок для дітей

кати таких форм або укріпляти їх ребрами жорсткості чи покривати адгезивами (наприклад, клеєм «Дракон» чи акриловими герметиками) після отвердіння.

Порядок виготовлення виробу з пластінової форми включає такі стадії.

А. Виготовлення форми – таке саме, як при виготовленні композитного виробу. Майстер-модель втискається у розм'якшений пластилін, однак треба слідкувати, щоб не утворювалися тонкі чи важковидальні з форми фрагменти. Отверділий виріб повинен виходити з форми легко, не застрягаючи, що дозволяє використовувати форму до 10 раз. Після отримання форми її слід несильно (інакше надлишок жиру зіспеє зовнішній вигляд виробу) зажирити – полісиланом або безбарвною олією.

Б. Виготовлення й використання розчину. Гіпс насипають у зручну ємність, за бажання посипають зверху піском або глиною для знепилювання. Додають води, приблизно такий самий об'єм, що й об'єм гіпсу, й очікують повного просочення. Далі перемішують, додаючи води для отримання консистенції ряжанки. Після виливу у форму, донний залишок можна ще раз розбавити водою й знову злити у форму. Залишки гіпсу водою більше розбавляти не можна (сформується суміш, яка не твердіє). Найкраще зібрати їх марлею, тканиною чи ватою, яку також вміщують у форму як арматуру.

В. Після 10–15 хвилин отвердіння виріб виймають з форми й викладають для просушки. Залежно від температури вона може зайняти часу до доби.



Рисунок 10. Копії палеовідбитків з гіпсу, зроблених за поданою методикою)



Рисунок 11. Гіпсова копія рапани – вигляд зверху (декорована фарбою) і на звороті

Для прискорення слід вогрівати виріб за температури 100–130 °С протягом 3–6 годин у відкритому місці (наприклад, на плитці або у фруктосушарці).

Г. Грунтовка та лакування. Після просушки виріб грунтують зануренням в акрилову грунтовку або її суміш з акриловим лаком чи клеєм ПВА. При бажанні отримати глянцево покриття після повторної просушки повторно занурюють в акриловий лак (чи клей ПВА). Тут під час сушки слід уникати контакту з поверхнями, які склеюють, наприклад папером (рис. 10, 11).

Таким чином, запропоновані прості методи виготовлення епоксидних та гіпсових виробів значно здешевлюють існуючі технології та дозволяють отримати вироби задовільної якості. На базі експериментального досвіду надано рекомендації щодо найбільш оптимальних складів композицій, умов їх отвердіння та формування виробів. Авторські методи виготовлення виробів не потребують дорогого обладнання та дорогих отверджувачів і можуть бути корисними музейним робітникам, спеціалістам з коштовного, декоративного каміння та просто пересічним користувачам.

Використана література

1. Голуб М. Нерівна битва: охорона довкілля VS бурштинова лихоманка <http://corruptua.org/2016/02/nerivna-bitva-ohorona-dovkillya-vs-burshtinova-lihomanka/>. -18.02.2016.
2. Мацуй В.М. Алатырь-камень – янтарь / В.М. Мацуй, Ю.М. Епатко. – К.: Дажбог, 2006. – 116 с.
3. <http://hi-news.ru/entertainment/na-kickstarter-sobrali-dengi-na-mini-muzej-s-pamyatnymi-obrazcami-zemli.html>
4. Лапицкий В.А., Крицук А.А. Физико-механические свойства эпоксидных полимеров и стеклопластиков. – К.: Наукова Думка, 1986. – 95 с.
5. Композиты эпоксиполимера с 50 мас. % гипса, цемента и мела: оценка физико-механических свойств, химстойкости и микроструктуры // Вісник Укр. матеріалознавч. тов-ва. – 2015. – № 1. – С.75–89.
6. Старокадомский Д.Л., Ткаченко А.А., Гаращенко И.И., Верещак В.М. Эпоксиполимерные композиции с 10–75 мас % гипса: влияние наполнителя на прочность, термо-, химстойкость и оценка перспектив применения // Хім. промисловість України. – № 6. – С. 17–24.
7. Саматадзе А.И. Формирование структуры и комплекса свойств полимерных композиционных материалов, получаемых из эмульсий на основе терморезактивных олигомеров // Дис. хім. н. спец. 05.17.06 – Технология и переработка полимеров и композитов – ИИХС РАН. – Москва, 2011.