

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ АРХЕОЛОГІЇ

Т.Ю. ГОШКО

**МЕТАЛООБРОБКА
У НАСЕЛЕННЯ
ПРАВОБЕРЕЖНОЇ
ЛІСОСТЕПОВОЇ УКРАЇНИ
ЗА ДОБИ ПІЗНЬОЇ БРОНЗИ**



КИЇВ • 2011

УДК 903.05(477.4)"6377"
ББК Т4(4УКР 9Пра)263.11 514.6

Гошко Т.Ю. Металообробка у населення Правобережної Лісостепової України за доби пізньої бронзи. — Київ: ІА НАН України, 2011. — 128 с., 39 рис., 15 табл.

Монографію присвячено одній із найцікавіших й поряд із тим складних проблем в археології — металургії та металообробці. Всебічно описані джерела, що включає аналіз наявних мідних родовищ, виробничий інструментарій, хімізм металу та технологію виробництва артефактів з міді—бронзи. Проведено порівняльний аналіз виявлених технологічних знань у населення культур доби пізньої бронзи Лісостепового Правобережжя, виявлені спільні риси та розбіжності в металообробці як в окремих культурах, так і в усьому регіоні.

Для істориків, археологів, металознавців, а також усім, кому цікава історія давньої України, розвиток її виробництва.

Монография посвящена одной из наиболее интересных и в то же время сложных проблем в археологии — металлургии и металлообработке. Всесторонне описаны источники, что включает анализ имеющихся медных месторождений, производственный инструментарий, химизм металла и технология производства артефактов, из меди—бронзы. Проведен сравнительный анализ обнаруженных технологических знаний у населения культур времени поздней бронзы Лесостепного Правобережья, обнаружены общие черты и расхождения в металлообработке как в отдельных культурах, так и во всем регионе.

Для историков, археологов, металловедов, а также всех, кому интересна история древней Украины, развитие ее производства.

Відповідальний редактор:
С.Д. Лисенко, канд. іст. наук

Рецензенти:
С.С. Березанська, докт. іст. наук
В.В. Отрощенко, докт. іст. наук

*Рекомендовано до друку вченою радою
Інституту археології НАН України, протокол № 6 від 21.06.2011 р.*

ISBN 978-966-02-6110-5

© Т.Ю. Гошко, 2011
© Інститут археології НАН України, 2011

Вступ

Однією з найцікавіших і разом з тим складних проблем археології бронзового віку є розвиток металургії. Саме з досягненнями бронзоливарного виробництва, яке тоді переживає небувалий економічний і технічний розквіт, дослідники первісної історії України пов'язують значні етнокультурні зміни, що відбуваються у бронзову добу на просторах від Карпат до степів Північного Передкавказзя. Насамперед, це — активна діяльність Карпато-Причорноморських металургійних виробничих центрів. Необхідність налагодження контактів з цими центрами, запозичення зразків бронзового виробництва сприяло міжетнічним контактам, що в свою чергу впливало на зміни в стилістиці матеріальної культури того чи іншого населення. Все це, з одного боку, спричиняло виникненню різноманітних культурних явищ, а з іншого — ускладнювало їхню ідентифікацію.

Специфікою металообробного виробництва у племен Лісостепового Правобережжя України є відсутність засвідчених давніх розробок мідних руд на цій території та, порівняно зі східними (племена БМЗК) й західними (центральноєвропейські культури) сусідами, відносно невелика кількість металевих інвентаря. Тому дослідники зосереджували свою увагу на вивченні технологій більш ранніх, енеолітичних металевих виробів та пізніших — скіфських, лишаючи поза увагою технологічні досягнення бронзової доби.

Причорноморським металургійним центрам присвячена значна кількість праць багатьох дослідників. Проте дослідженню бронзового виробництва на теренах лісостепової зони Правобережної України приділялось мало уваги, крім датування окремих їх зразків, що ґрунтується на порівнянні окремих зразків бронзових предметів з виробами вказаних центрів. Причиною була бідність джерельної бази — незначна кількість знайдених предметів, так і їхнє походження, яке не давало підстав пов'язувати їх із якимись конкретними осередками місцевого виробництва.

І хоч у розв'язанні культурно-хронологічних проблем археологи постійно звертаються до металу, вони обмежуються лише морфологією виробів та його хімічним складом. Але ж візуальне вивчення археологічних знахідок, пов'язаних із давньою металургією, — це лише початкова стадія дослідження давнього металургійного виробництва. Воно не може розкрити дійсного рівня техніки виплавлення й переробки металу. Вироби з металу перетворюються на повноцінне історичне джерело тільки за умови їхнього комплексного вивчення методами природничих наук разом з методами археологічного та етнографічного дослідження **[Рындина, 1971, с. 10]**.

Разом з тим, на сьогодні зібрано достатньо фактичного матеріалу для системного аналізу металообробки в зазначеному регіоні, а результати проведених аналізів дають нове знання щодо високого рівня металообробки у племен Правобережної України.

Базовими джерелами для вивчення металообробки у населення Правобережної Лісостепової України є речові знахідки на поселеннях, поховальний інвентар, випадкові знахідки та депаспортизовані вироби.

Розкопки Гордіївського могильника на Південному Бузі у 1986—1989 роках відкрили унікальну пам'ятку доби пізньої бронзи на території України. Не дивно, що це викликало великий резонанс серед науковців, а разом із тим породило суперечності в культурній атрибуції пам'ятки. За С.С. Березанською гордіївські культурні традиції сформувалися на Правобережній Україні вже в період VzA2 і саме в цей час відбулося злиття місцевих культурних традицій культури багатоваликової кераміки й середньоевропейських культурних елементів, утворивши найсхіднішу групу середньоевропейської курганної культури **[Berezanskaja, Kločko, 1998, s. 24—25; Березанская, 1999, с. 145—148]**. Інша група фахівців вважає Гордіївку елітним могильником білогрудівської культури **[Клочко, 1998, с. 343—351; Отрошенко, 2005, с. 197; Лисенко, 2005, с. 40—41; Бандрівський, 2005, с. 215]**. Із новою культурною групою, яка виростала з місцевих традицій білозерської, білогрудівської та чорноліської культур, пов'язує Гордіївку Л.І. Крушельницька **[Крушельницька, 1998, с. 196—197]**.

Упродовж останніх років, працюючи над гордіївськими матеріалами, В.І. Клочко прийшов до висновку, що могильник залишила група населення, яка контролювала торгівлю бурштином **[Клочко, 1996, с. 129—131]**.

Особливий інтерес викликає численна колекція виробів з металу — бронзи, золота й заліза. На підставі порівняльного аналізу гордіївського металу (в основному ножів) з центральноевропейськими артефактами розв'язується питання хронології. Хоч, необхідно зауважити, що для цих виробів не знайдено прямих аналогів.

Застосування методів природничих та технічних наук в археології у ХХ ст. виявило колосальні можливості в одержанні нових даних для вивчення стародавніх суспільств, особливо первісного. Дослідження Є.М. Черних та Н.В. Риндіної з питань металообробки племен доби енеоліту та бронзи Лісостепового Правобережжя виявили надзвичайно цікаві дані

щодо поступального місцевого розвитку цього виробництва та його зв'язку з Балкано-Карпатською металургійною провінцією. На жаль, ці розробки і, зокрема, висвітлення історії технології обробки бронзових виробів завершального періоду бронзової доби не знайшли відображення у роботах фахівців.

Одним із питань, яке постає перед дослідниками гордіївського феномену, є питання технології виготовлення чудових бронзових предметів, що часто не мають прямих аналогій, та їхнього походження. Ще складнішим для розв'язання є встановлення ступеню близькості металообробки Гордіївки з металообробкою навколишніх культур та виявлення технологічних відмінностей, притаманних лише гордіївському металу. Окреслені задачі вимагають розглянути в цілому весь металургійний комплекс на Правобережній Лісостеповій України за доби пізньої бронзи.

Розділ 1

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИРОБІВ З МІДІ—БРОНЗИ

Цей розділ написаний на побажання колег, щоб їм було легше орієнтуватися, як у методах дослідження виробів з кольорового металу, так і в спеціальній термінології. Вивчення всіх археологічних артефактів, у тому числі металевих виробів і металургії взагалі, потребує специфічної методики.

Провідне місце в методиці вивчення давніх технологій поряд із традиційними морфологічним і типологічним методами наразі посідає структурний (металографічний) аналіз та спектральний аналіз. Фізичне моделювання наразі теж постає як важливий метод.

Почнемо з моделювання. Як приклад, можемо навести експеримент із одним досить дивним елементом у бронзі — хлором, котрий несподівано був виявлений при аналізі кольорового металу сабатинівської, білозерської та висоцької культур [Гошко, Трачук, 2011, с. 93—103]. Виникли дві гіпотези, які б могли пояснити це явище. Першою була проаналізована можливість використання технології хлорування в процесі виплавлення металу з руди в одному металургійному центрі, з якого метал поставлявся до майстрів сабатинівської, білозерської та висоцької культур. Подібна технологія застосовується в сучасній кольоровій металургії для інтенсифікації окислювального процесу. Як хлоруючі агенти використовують дешеві солі, в тому числі кам'яну сіль (NaCl). Метою цього процесу є виділення міді з руди.

Друга — гіпотеза про перехід хлору в метал з окислених, насичених хлоридами, мідних руд, які залягали близько до денної поверхні, в результаті металургійного процесу.

У результаті експериментів встановлено, що хлор переходить в метал із руди і, ймовірно, може виступати одним із важливих діагностичних показників осадових руд. Надалі не відкидаю можливості виявлення інших діагностичних елементів, які можуть наблизити нас до розв'язання складної проблеми ідентифікації рудних джерел міді за готовими виробами.

Мету спектрального аналізу металу на сьогодні можна сформулювати трохи під іншим ракурсом стосовно традиційного спектрально-аналітичного методу, що був розроблений Є.М. Черних [Черных, 1966, с. 13—34]. Визнаючи генетичний зв'язок металу з рудною сировиною, необхідно більше уваги приділяти не тільки з'ясуванню хімічного складу виробів, але й звертати увагу на наявність металів-домішок та інших елементів, що характеризують рудні породи, обов'язково досліджувати мінеральний склад (і хімічний також) шлаків давньої металургії. Такий підхід сформульований в роботах геолога В.І. Манічева [Klochko, Manichev, та ін., 2000; Ключко, Манічев, 2002; Klochko, Manichev та ін., 2003]. Бо світовий досвід вивчення родовищ міді доводить, що наявність високого вмісту домішок у рудах є радше правилом, аніж винятком. У них можуть бути домішки Sn, As, Pb, Zn, Ag, Au, Ni, Sb, Co, Mo та ін., що встановлюється промислово-генетичним типом родовищ: міднопорфірові оруднення, стратиформні, колчеданові, мідноскарнові, мідно-нікелеві, залізорудно-мідні, карбонатного типу. Для кожного з цих оруднень характерні свої хімічні елементи-домішки.

Таким чином, завдяки наявності у мідевмісних рудах значної кількості міді та домішок, давні металурги могли виплавляти метал на основі міді з різними природними домішками супутніх металів. На цей момент звертав увагу В.О. Галібін [Галибин, 1991, с. 59—69]. Тому, маючи на меті встановлення міднорудного джерела, необхідно дотримуватися геохімічних критеріїв і обов'язково з'ясовувати не тільки якісний, але й кількісний склад металів-домішок.

Металографічний метод дослідження металевих виробів за тим чи іншим типом структури металу розкриває способи його виробництва й обробки. Дослідження серій металевих виробів дозволяє виявити конструктивні схеми й технологічні варіанти обробки металу й сплавів, характерних для різних культур і територій та походження виробів (чи йдеться про місцеве виробництво, чи про імпорт готових виробів, чи про поступове проникнення й розповсюдження техніки виробництва та обробки металу). Технологічні схеми серій виробів дозволяють інколи говорити й про форми цього розповсюдження.

Із початку застосування металографічного методу при дослідженнях давнього металу, зокрема міді та бронзи, для розшифровування структур використовували сучасні промислові атласи. Але не треба забувати, що давні кольорові метали мають інший склад, а технологія їх обробки помітно відрізняється від сучасної. Тому промислові атласи часто не дають відповіді на питання, які виникають при вивченні археологічного металу. Над цією проблемою плідно працюють Н.В. Риндіна, І.Г. Равич та ін. [Рындина, 1971, с. 45—46; Равич, Седов, Шемаханская, 1982, с. 19—34; Равич, 1983, с. 136—143; Равич, Рындина, 1984, с. 114—123; Равич, Рындина, 1989, с. 92—99].

Дана робота написана на основі металографічного методу дослідження структури металу за допомогою оптичної мікроскопії.

Перед тим, як приступити до дослідження структури (для цього з виробу вирізається невеликий фрагмент), необхідно провести докладне візуальне обстеження поверхні предмета, яке часто дає багато додаткової інформації про технологію виготовлення кожного окремого екземпляра, без чого чисто металографічний аналіз втрачає повноту.

Одним із найпоширеніших способів отримання виробів з кольорових металів є лиття. Ливарники користувалися різноманітними способами: виливанням у тверді ливарні форми (кам'яні), пластичні форми (глина), за восковою моделлю зі збереженням форми, за восковою моделлю зі втратою форми. Морфологічний аналіз дозволяє іноді виявити, в який спосіб майстер виливав ту чи іншу річ. Хоч це вдається не завжди, бо завершальна обробка виробу — доробка куванням, шліфуванням чи поліруванням — могла знищити всі сліди лиття.

Так, наприклад, при відливанні виробу в односторонній формі з кришкою, за умови нещільного прилягання обох, лишається ливарний шов, що буде розташований ближче до одного з боків литва [Рибаков, 1948, с. 147].

Особливої уваги заслуговує технологія лиття за восковою моделлю. Тут майстри-ливарники за доби пізньої бронзи досягли високої майстерності. Воскова модель допускає отримання литва дуже складних об'ємних конфігурацій. Основні ознаки визначення литва за восковою моделлю наводить Б.О. Рибаков. Якщо поперечний переріз деталей може бути рівним або меншим за 180°, то така форма могла використовуватися багаторазово. Коли ж переріз був більшим за 180°, то в такому випадку метал заклинювався у формі й виїняти виріб можна було тільки розламавши форму [Рибаков, 1948, с. 158].

Ознаки застосування воскових моделей та способи й назви окремих прийомів, застосованих майстром при їх формуванні, що можна відтворити за відливками, чітко викладені в роботі Р.С. Мінасяна [Минасян, 1986, с. 64]. Це можуть бути сліди загладжування воску на моделі, паяльний модельний шов, що утворюється на моделі, в якій окремі деталі спаяні розплавленим воском. Клеєний модельний шов утворюється при склеюванні деталей моделі й простежується у вигляді виступів.

Прискіпливий аналіз поверхонь виробів дозволить уперше виявити цю технологію серед таких археологічних культур доби фінальної бронзи як Ноуа, білозерська та висоцька й на предметах із поховань Гордіївського могильника. Хоч уже в IV тис. до н. е. в Південно-Східній Європі, так само як і в Месопотамії, широко застосовувалося лиття за восковими моделями в закритих формах. Р.С. Мінасян слушно вважає, що цей, на перший погляд складний прийом, насправді був одним із найпростіших, бо не потребував виготовлення складних форм для тиражування литва. Як приклад, дослідник наводить дані трасологічного обстеження багатьох мідних і золотих виробів з Варненського некрополя [Минасян, 1997, с. 144—145].

Наступним кроком візуального аналізу має бути виявлення таких видів ливарних вад як *затікання металу, усадочні раковини, розпори* та

недолив, які часто зустрічаються на давніх бронзових виробах. Розглянемо їх детальніше.

Усадочна раковина — це дефект структури, пов'язаний з охолодженням відливки у формі, яке супроводжується зменшенням її ливарних розмірів. Сплави міді, що кристалізуються у вузькому температурному інтервалі, мають схильність до утворення скупчених усадочних раковин, що розташовуються у верхній частині, яка застигає пізніше [Атлас литейных пороков, 1958].

Розпори (місцеві потовщення) утворюються на відливках під дією тиску металу на стінки вставного стрижня. Складність виймання вставних стрижнів з відливка й бажання зробити його більш піддатливим змушувало майстра шукати такі матеріали, які б підходили для цієї мети. Наприклад, для формування воскової моделі з цієї метою могли використовуватися центральні стрижні з дерева, або навіть туго перев'язаний жмут соломи, можливо обмащений глиною. В такому випадку спостерігається наявність характерних розпорів всередині литва, що пояснюється усадкою матеріалу, яка призводить до його стискання, відтворюючи при цьому у внутрішній порожнині контури стрижня, що біконічно сходяться [Атлас лит. пороков, с. 46; Рындина, 1998, с. 14].

Явище *недоливу* спричиняється або заливанням форми недостатньо розігрітим металом, або недостатньою температурою ливарної форми, або перериванням струменя металу чи малою кількістю металу [Рожнецкий, Колесниченко, Иванов, 1973, с. 8].

У вивченні давніх технологій стають у пригоді довідники з сучасних ювелірних технологій, особливо в тих моментах, що стосуються ручних операцій з виготовлення виробів, можливих дефектів, а також пристосувань та інструментів. Вони допомагають зрозуміти техніку виготовлення давніх металевих предметів, уникнути плутанини в її визначенні і, таким чином, чіткіше відтворити рівень майстерності давніх майстрів.

Так, наприклад, залишки ковальських дефектів проявляються у вигляді *нерівномірності перерізу*. Коли з товстої заготовки треба викувати смужку або прут (круглого або квадратного перерізу), заготовку кладуть на ковадло і, тримаючи її кліщами, наносять удари молотом по всій довжині заготовки. Тоді поковку повертають на 90° і операцію повторюють.

Найчастіше застосовувана ковальська операція у давнину — *витягування*, за допомогою якого збільшують довжину заготовки за рахунок зменшення її поперечного перерізу. Воно має декілька різновидів. Щоб поковка витягувалася більше в довжину і не розширювалась уперек, використовували жолобчасті ковадла. Ще кращий результат для витягування круглих заготовок дає застосування обтисків. Повертаючи поковку навколо осі й просуваючи її вперед, б'ють молотом по обтисках. При роботі в обтисках заготовка не тільки витягується в довжину, але й вигладжується.

Операція *розплющування* частіше застосовувалась за доби енеоліту і ранньої бронзи. У пізньобронзовий час вона використовується рідше. Розплющування використовують у тих випадках, коли необхідно збільшити

площу заготовки за рахунок її висоти, тобто отримати поковку у формі пластини [Гутов, Никитин, 1995, с. 176—177].

Часто на бронзових виробках можна простежити *прошивку*. Це така операція, яку застосовують для отримання наскрізних отворів за допомогою пробійників. Прошивка отворів буває однобічною або двобічною.

Досить часто на давніх виробках зустрічається *закручування* — коли одну частину поковки повертають по відношенню до іншої під кутом навколо спільної осі. Коли закручування виконувалось багаторазово на 360°, то в результаті скручений квадратний стрижень набуває перевитого характеру [Гутов, Никитин, 1995, с. 179].

Гравіювання — один із найдавніших способів обробки, при якому спеціальним інструментом — різцем (штихелем) на поверхні виробу вирізають різноманітні орнаменти. Ріжуча поверхня штихеля має форму клинця, що знімає з поверхні металу стружку. Ця техніка застосовується для різблення тонких глибоких ліній [Гутов, Никитин, 1995, с. 310].

Суть *чеканки* полягає в обробці матеріалу спеціальним інструментом — чеканом, котрий ставиться вертикально і по верхньому кінцю якого наносять удари молотком, у результаті чого робочий кінець лише відбиток на матеріалі. Одним з видів чеканки є розходка, коли створюють контур малюнка. Від гравіювання розходка відрізняється тим, що її заглиблені лінії ніжніші, м'якші через те, що при цьому не утворюється стружка, а метал втискається всередину [Гутов, Никитин, 1995, с. 313—314].

Тільки після закінчення візуального вивчення виробу можна приступати до вивчення мікроструктури. Закономірності утворення структури металів та сплавів досліджує *металографія*, вивчаючи макро- та мікроструктуру металу. *Мікроструктура* — це будова металу або сплаву, яку видно при великих збільшеннях під мікроскопом. Для виявлення структурних характеристик металу відполірована поверхня підлягає обробці хімічними реактивами, які витравлюють ті чи інші структурні дефекти. Найбільш характерною особливістю мікроструктури є наявність внутрішніх границь, які розділяють зерна в металі. Мікроструктура й відповідно властивості металу не постійні, вони видозмінюються під дією різних зовнішніх факторів, таких як механічні сили, теплова дія. Тому вона залежить від режимів обробки й умов експлуатації металевих виробів.

Метали й сплави складаються з великої кількості кристалів неправильної форми (*зерен*). Зерна можуть бути округлої чи витягнутої форми, можуть бути крупними чи дрібними та розташовуватися одне відносно одного в усталеному порядку або випадково. Форма, розміри й розташування та орієнтація залежать від умов їхнього утворення.

Величину та форму зерен металу можна змінити механічним впливом — *куванням, штамповкою, волочінням* та іншими способами, так званої *пластичної деформації*. В результаті пластичної холодної деформації метал зміцнюється, набуваючи *наклеп*, при цьому зерна його здрібнюються й стають схожими на волокна. Така внутрішня будова деформованого металу нестабільна. Але її можна покращити нагріванням, під дією

якого виникають нові зерна з недеформованою кристалічною решіткою. Цей процес називається *рекристалізацією*, а температура, при якій починається утворення нових зерен — *температурою рекристалізації*.

Метал, з яким доводилося мати справу в процесі цього дослідження, в основному, був бронзою й тільки інколи траплялися предмети, виготовлені з міді. Детальне описання методики вивчення структур археологічної міді подані в роботах Н.В. Риндіної та І.Г. Равич [Равич, 1983, с. 136—143; Равич, Рындина, 1989, с. 91—100]. Тому, доцільно лише стисло зупинитися на деяких моментах.

Отже, *олов'яниста бронза* — це метал на основі міді зі значною домішкою олова (вище 1 %), в якому можуть бути наявними, як домішки-супутники, інші метали. Однією з важливих умов металографічного аналізу є встановлення якісного й кількісного складу металу, від чого безпосередньо залежать способи його обробки. Бронза твердне не при постійній температурі, а в певному інтервалі температур. Відповідно до вмісту олова застигання бронзового литва кристали α -твердого розчину набувають деревовидної форми й називаються *дендритами*. Їхні осі й гілки (кристалічні скелети) будуть більше збагачені міддю, ніж основна матриця сплаву. Чим повільніше остигання, тим крупніші дендрити й тим більший об'єм будуть займати місця, збагачені оловом [Бартельс, 1930, с. 254—253].

Якщо у сплаві кількість олова становить 6—8 %, то на межах зерен утворюється хімічна сполука олова з міддю — так звана *евтектоїдна фаза* $\alpha + \beta - \text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$, що спостерігається під мікроскопом як світло-голубі глобулі. Межа появи евтектоїдної фази значною мірою залежить від швидкості охолодження. У сплавах Cu-Sn, що твердішають зі швидкістю 2—4°С/хв, евтектоїд з'являється при концентраціях 1,8 % Sn. Отже, наявність евтектоїду в сплаві з ~1,8 % Sn може свідчити про повільне остигання литва [Литейные бронзы, 1973, с. 15].

Наявність евтектоїдної фази значно погіршує ковкість литва, бо значно знижується пластичність металу та робить його крихким. Але при нагріванні до температури вище 520 °С евтектоїд стає більш пластичним, що й дозволяє подальше кування. При відпалюванні евтектоїд зникає. І.Г. Равич експериментами встановила, що в бронзах з 10 % Sn досить відпалювання на протязі 15 хв. при температурі 600 °С, щоб евтектоїд зник. Але, щоб сплав набув нормальної поліедричної структури, необхідна вища температура — 700 °С і витримка при ній 1 годину [Равич, 1983, с. 141, табл. 1].

Ливарні якості сплаву значно погіршуються, якщо в ньому в рідкому стані є гази, що потім виділяються в процесі кристалізації. Причому з підвищенням температури перегріву розчинення газів у розплаві збільшується. Якщо гази виділяються зі сплаву у період існування двох фаз, твердої й рідкої, то сплав надувається й розбризкується, через що не може заповнити всіх обрисів ливарної форми. Коли ж гази виділяються перед самим моментом тверднення, то вони не можуть повністю виділитись і залишаються в литві у вигляді газових бульбашок [Бартольс, 1930, с. 73—74].

Структура олов'янистої бронзи на давніх металевих предметах може мати різний характер, обумовлений технологією виготовлення — лиття, кування у холодному стані чи нагрітому.

Структура бронзи, кованої в холодному стані. В процесі холодної деформації зерна поступово змінюють форму й орієнтацію. При деформації до 20 % всередині кристалів з'являються окремі прямі лінії — «*лінії зсуву*», при цьому форма самих зерен не змінюється. Деформація до 60 % викликає в окремих зернах появу криволінійних вузьких ділянок — *смуг деформації*, а самі зерна значно витягуються, набуваючи певної орієнтації. Утворюється текстура деформації [Равич, 1983, с. 139—140]. При подальшому куванні можуть з'явитися *деформаційні тріщини*.

Евтектоїд при холодній деформації бронзи подрібнюється й теж помітно витягується в напрямку деформації.

Структура бронзи, кованої в гарячому стані. При вивченні давньої бронзи все ж частіше доводиться зустрічатися із куванням гарячого металу, що завжди було направлене на доробку вилитої заготовки, усунення ливарного браку. Воно могло проводитися як з попереднім холодним проковуванням, так і без нього.

Гаряче кування бронз вже при температурі 600°C призводить до появи нових дрібних рекристалізованих зерен на тлі первинної вилитої дендритної структури — за деформації 20—40 %. Однорідна поліедрична структура з'являється після 60—80 % деформації [Равич, 1983, с. 140]. Евтектоїд при нагріванні втрачає крихкість і характерними плавними ланцюжками витягується у напрямку деформації.

Із сказаного вище випливає, що технологічне дослідження металевих виробів — робота копітка й потребує певного часу і спеціальних знань та спостережливості.

Розділ 2

ДЖЕРЕЛА ВИВЧЕННЯ МЕТАЛООБРОБНОГО ВИРОБНИЦТВА

Джерелами для вивчення металургійного виробництва племен, що заселяли території Правобережної України за доби пізнього бронзового віку, є, у першу чергу, металеві вироби. Їхня кількість, місце та умови знахідок і різновиди, що вказують на їхнє призначення, дозволяють хоча б у найбільш загальних рисах скласти уявлення про рівень і характер металургійного виробництва. Звичайно, що джерелом для вивчення й розуміння металургійного виробництва є все, пов'язане з виробництвом металу, — горна, плавильні печі, ливарні форми, глиняні сопла, тиглі та лячки. Особливу групу дуже важливих джерел складають копальні й рудопрояви, з якими може бути пов'язаним місцевий видобуток металу.

В останні роки вивчення в Україні копалень значно розвинулось за рахунок залучення до цієї проблеми геологів. У результаті плідного співробітництва з'явилася серія робіт, що містять важливі відомості щодо рудопроявів в Україні та їх використання давнім населенням.

На досліджуваній території — Правобережній Лісостеповій Україні — металевих виробів порівняно зі степовими районами й Прикарпаттям знайдено відносно мало. В основному це — прикраси, рідше — предмети озброєння. Більша їхня частина — випадкові знахідки, менша — знайдена у похованнях і зовсім невелика кількість — на поселеннях. Скарбів металевих виробів, якими такий багатий степ і Карпатський регіон, на Лісостеповому Правобережжі Дніпра знайдено буквально одиниці. Такою є загальна картина.

2.1. РОДОВИЩА ТА РУДОПРОЯВИ

Територія Правобережної Наддніпрянищини зазвичай вважається збідненою на родовища та рудопрояви мідних руд [Черных, 1976, с. 14], хоч у прогнозованому оцінюванні геологів відмічена насиченість цієї території не-

великими родовищами. Можна припустити існування давніх розробок невеликих рудопроявів, що виходили на поверхню. На території Правобережної України на цей час відомі понад 150 рудопроявів, окремі з яких можуть розглядатися як потенційні родовища [Гурський, Єсипчук, Калінін та ін., 2006]. Нижче розглянемо лише ті прояви міді, які виходять на денну поверхню або перекриті малопотужними четвертинними відкладеннями. Ці прояви, а також, імовірно, розміщені поряд, ще не відкриті геологами, могли бути предметом видобутку мідних руд у стародавні часи.

На Волині мідна мінералізація локалізована у вулканогенно-осадових породах трапової формації венду в межах північної частини Волино-Подільської плити [Гурський, Єсипчук, Калінін та ін., 2006; Приходько, Мельничук, Матеюк та ін., 2010]. На денну поверхню прояви міді виходять у Рафалівському рудному вузлі й представлені самородною міддю, що знаходиться у вигляді самородків у базальтах і лавобрекчіях ратненської світи. Найбільший, масою 700 г, самородок міді знайдений у Полицькому кар'єрі, що поблизу залізничної станції Рафалівка. Самородна мідь Волині містить незначні, в межах 1 %, домішки заліза, ще менше — срібла, нікелю, кобальту та хрому. У вулканогенно-осадових породах венду, що підстилають базальти, також наявна мідна мінералізація у вигляді халькозину, рідше — самородної міді, часто в асоціації з галенітом.

У Середньому Придністров'ї в районі м. Заліщики в долинах річок Серет, Стрипа, Джурин і Коропець виходять на поверхню міденосні аргиліти й алевроліти дністровської серії нижнього девону. Тут відомо 64 аномалії й прояви міді, що розміщуються на шести стратиграфічних рівнях [Компанець, Ковальчук, 1999]. Вміст міді подекуди сягають 18 %, мінералізація представлена халькозином, рідше — борнітом. Поклади міді мають незначну — від декількох сантиметрів до 0,7 м — потужність; вони фіксуються в сучасних природних і техногенних відслоненнях, а тому могли бути предметом давнього видобутку.

Карпатська складчаста область містить значну кількість невеликих як за вмістом, так і за ресурсами проявів міді. У Рахівському масиві [Гурський, Єсипчук, Калінін та ін., 2006, с. 83—95] мідна мінералізація потужністю до 1—3 м зосереджена в кварц-хлорит-серицитових сланцях і металіпаритах діловецької світи палеозою. Вміст міді сягає 0,83 %, Pb — 0,42 %, Zn — 0,33 %. Мінерали-носії: халькопїрит, галеніт, сфалерит (рудопрояви Полонське, Піп Іван, Гавришук). В Чивчинських горах [Металогения Украины и Молдавии, 1974] в аналогічних породах виявлені прояви міді зі вмістом Cu — 2,3 %, Zn — 0,5 %, а також благородних металів (прояви Альбін та ін.). У Дуклянсько-Чорногірській зоні складчастих Карпат у сланцях і пісковиках шипотської світи крейди й еоцену (в Скибовій зоні) відомі більше десятка проявів міді з незначним, до 0,5 % вмістом; мінералізація представлена халькопїритом, халькозином і малахітом [Металогения Украины и Молдавии, 1974]. У північно-східній частині Передкарпатського прогину в дрібнозернистих пісках і глинах з вуглефікованими рослинними залишками стебницької світи міоцену вста-

новлені прояви міді з її вмістом до 15,9 % (середнє — 0,68 %), представлені халькозином, що на поверхні окислюється до малахіту й азуриту [Металогенія України й Молдавії, 1974]. Ці прояви, хоч і незначні за вмістом міді й ресурсами, могли бути предметом експлуатації в стародавні часи.

Прояви міді **Українського щита (УЩ)**. В західній частині УЩ відомі декілька проявів міді, пов'язаних основними породами (мідно-нікелевий магматичний тип) — Прутівський і Бондурівський, а також, вірогідно, скарнової природи — Калинівський [Гурський, Єсипчук, Калінін та ін., 2006; Забияка, Злобенко, Костюченко и др., 1975, с. 109—116]. У них вміст міді сягають 1,5 %, мінерали-носії — халькопірит, борніт, елементи-супутники міді — нікель, кобальт, рідше — свинець і цинк. Ресурси міді цих проявів незначні через незначні розміри мідевмісних основних порід.

В останні 20-30 років у межах південно-західної частини УЩ було виявлено більше 700 знахідок самородної міді в корах вивітрювання архейських метамафітів і осадових горизонтах, що їх перекривають [Довгань, Павлюк, 2007, с. 84—90; Павлюк О., Павлюк В., 2009, с. 88—90; Павлюк О., Кислюк, Павлюк В., 2009, с. 124—129]. Вмісти самородної міді подекуди сягають від 100 г/т до 20 кг/т. Мідь представлена дендритами, кристалами, пластинками, дротиками розміром від 0,1—0,3 до 3,5 мм (Жданівський масив, Чемерпільська та Могильнянська ділянки).

На Могилів-Подільській площі Середнього Придністров'я самородна мідь зустрічається разом із золотом і кіновар'ю в алювії річок Немія, Лядова, Дерло та ін. [Павлюк В., Павлюк О., Довгань, 2008, с. 84—95].

Багато знахідок самородної міді виявлено в корах вивітрювання амфіболітів та амфіболових гнейсів у районі міст Сквиря й Попільня. Міденосні кори вивітрювання тут нерідко виходять на поверхню й при перевідкладенні річковими потоками могли утворювати алювіально-делювіальні розсипи. Аналогічні ділянки — Могильнянська, Чемерпільська та Північнокапітанська розташовані в Середньому Побужжі поблизу міст Гайворон і Первомайськ на берегах р. Південний Буг і його лівих притоках. За хімічним складом самородна мідь кори вивітрювання поділяється на 2 головні групи: хімічно-чиста (97—100 % Cu) і цинковиста (5-30 % Zn).

Ще два крупних мідепрояви осадової генези в Придністров'ї розташовані на лівому березі р. Дністер у Тернопільській області. Одне з них — на околицях с. Іванове-Золоте. Тут мідь часто представлена малахітом, що утворює тонкі лінзи. У другому — Устечниківському мідепрояві — спостерігаються шари пісковиків, алевролітів та аргилітів, розташованих упереміж шарами, збагачені органічною речовиною. Зруднення виходить на денну поверхню й могло розроблятися відкритим способом [Klochko, Manichev та ін., 2000, s. 177—178].

Мідепрояви відомі також у Наддністрянщині. За літологічними особливостями ці породи нагадують руди Донбасу. Найбільше міді містять піщані, алевроитові та аргилітові породи.

На території Львівської області, в південно-східній і центральній областях Передкарпатського прогину відома мідна мінералізація осадових

товщ неогену невеликої потужності, що мають вихід на денну поверхню (ділянки Надвірне, Лоевська, Яблонівська, Калуська, Делятинська). Основними мінералами тут є малахіт, халькопірит, ковелін, азурит, халькозин та ін.

Характерною геохімічною особливістю руд Передкарпаття й Наддністрянщини є майже повна відсутність арсену (за невеликим винятком) і малий вміст сурми та олова, що не перевищує тисячної долі відсотка. Та про розробки цих родовищ у давнину відомостей немає.

Таким чином, в Україні є ряд ділянок і площ з проявами міднорудної мінералізації, які могли бути предметом видобутку в епоху бронзи й пізніше. Серед найбільш перспективних доцільно виділити Рафалівську площу самородної міді в базальтах на Волині, район м. Заліщики в Середньому Придністров'ї та окремі прояви Карпат і Закарпаття. Не виключається також використання розсипів самородної міді, утворених у корах вивітрювання архейських мафітів.

Як показують спектральні аналізи виробів і шлаків, металурги давніх епох використовували переважно окислені руди, які за декілька тисячоліть практично могли бути повністю вибрані. При цьому треба мати на увазі, що окислений чохол рудних родовищ не мав великої потужності (від 8 до 25 м), ще й до того окислення сульфідних мінералів нерівномірне по всьому об'єму рудних тіл. Таким чином, використовуючи навіть найпримітивніші інструменти для видобутку окислених мінералів, можна було б на протязі такого великого проміжку часу більшу частину готової до виплавки руди використати в металургійному виробництві. Тож відомостей про копальні, які б розроблялися в давнину на території Правобережної України наразі не маємо, окрім виходів самородної міді на Волині.

Давні розробки самородної міді були знайдені на Волині на околицях села Великий Мідськ у 1927 році польським геологом С. Малковським [Malkowski, 1931, s. 384—402]. Пізніше самородна мідь була знайдена у багатьох місцях Волині: Довге Поле, Гутвин, Берестовець, Олександрія, Гориньград та ін.

Дослідження давнього металу з археологічних пам'яток з території Правобережної України свідчить про те, що у кольоровій металургії частіше застосовувалася руда осадового типу. З чистої міді виплавлявся невелика частина виробів.

Крім мідних рудопроявів на Волині слід додати рудопрояв олова Суцано-Пержанської зони на Волині. Воно є одним з найбільших в Україні й представлене каситеритовою рудою, вміст олова у якій досягає 1 % й вище [Klochko, Manichev та ін., 2000, s. 178].

В археологічних дослідженнях найбільше уваги приділяється розробкам мідних руд, але поліметалеві родовища мають не менше значення. У геології до них відносять, як правило, свинцево-цинкові. Насправді родовища з поліметалевим зрудненням не вичерпуються тільки високим вмістом сульфідів свинцю й цинку. Тут можуть бути сульфідні міді у значних кількостях і домішки олова, арсену, сурми, срібла, золота від 0,1 % й вище.

Особливу увагу викликає мінерал борніт, відомий у мідних рудах Донецького родовища, в якому вміст олова інколи досягає 1 %. При плавленні такої руди вміст олова підвищується на порядок. Таким чином, при переході в метал його концентрація може складати до 10 %. У практиці кольорової металургії це означає, що окислені сульфіди міді з підвищеним вмістом домішок свинцю, цинку, олова та інших металів при виплавці дають металеву бронзу.

Родовища з поліметалами відомі на Донбасі та в Закарпатті. Це — мідисті рудопрояви різної генези, але для них характерні близькі значення віку, що складає 250—300 млн. років. Тому ідентифікувати давній метал, виплавлений з цих руд дуже важко, а на даному етапі майже неможливо через брак інформації про хімічний склад руд, у першу чергу — з копалень Карпатського регіону. Через це основним джерелом інформації про метал Карпатського регіону можуть бути поки що тільки опубліковані спектральні аналізи металевих виробів.

2.2. СЛІДИ МЕТАЛООБРОБКИ НА ОКРЕСЛЕНІЙ ТЕРИТОРІЇ

Прямим свідченням місцевої металообробки можуть слугувати залишки теплотехнічних споруд (горен, плавильень), знахідки на поселеннях шлаків, крапель металу та інших предметів, що можуть вказувати на виплавлення металу з руди, плавлення чи обробку металу. До таких предметів відносяться ливарні форми, сопла, лячки, тиглі та спеціальні посудини із залишками металу на стінках — плавильні чаші. Інколи замість останніх давні майстри застосовували звичайні керамічні товстостінні посудини.

2.2.1. Теплотехнічні споруди

На відміну від лівобережних культур бронзового віку, які мають спеціалізовані поселення, орієнтовані на розробку мідних руд і виробництво крупнотоварних серій виробів з міді та бронзи, на Правобережній Україні таких поселень немає. Важливу інформацію для розуміння організації металообробного процесу в середовищі племен епохи бронзи на території Лісостепової України можна черпати, аналізуючи добре вивчені залишки з поселень Лівобережжя. Найважливішими поселеннями зі слідами металургії є Усове Озеро, що розташоване на околицях с. Ямпіль Червонолиманського району Донецької області [Березанская, 1990], Картамиш [Бровендер, 2005, с. 11—23] та Мосолівка на річці Бітюг [Пряхин, Сагайдак, 1975, с. 176—187].

Сліди металургійного виробництва зустрічаються на ряді звичайних поселень БЗМК — таких як Лиманське Озеро, Іллівка [Татаринів, 1993, с. 49, 50], Капітанове-II [Отрощенко, Пряхин та ін., 1997,

с. 90—103] Донбаського гірничо-видобувного центру Така різниця в насиченні археологічних пам'яток металургійними залишками однозначно пояснюється безпосередньою близькістю поселень БЗМК до Донбаського гірничо-видобувного центру.

У той самий час на Лісостеповому Правобережжі Дніпра подібних залишків обмаль. Сліди плавлення бронзи, тобто залишки металообробних майстерень, на Правобережжі простежені лише на поселенні культури Ноуа — Острівець Гвоздецького району Івано-Франківської області. Тут були відкриті залишки виробничого комплексу, пов'язаного з ливарною справою — шість зруйнованих печей, що стояли двома паралельними рядами, по три в кожному на відстані 1,5—2 м одна від одної, займаючи прямокутну площу розміром у 20 м². Між ними простежено сліди круглих ям від стовпів, що тримали покрівлю [Балагурі, 1964, с. 29], адже момент розплавлення металу краще відстежувати в затінку.

Звідси походить знахідка дископодібного зливка бронзи, що міг утворитися на дні горщика; краплинки міді на уламках тонкостінного посуду, круглих кременевих відбійниках і каменях; декілька грудок шлаку, руди. Ці залишки вогнищ-горен слугували для плавлення металу або переплавлення старих бронзових виробів. Як вважав Е.А. Балагурі, це могло б пояснити відсутність металевого шлаку та залишків міді чи бронзи всередині вогнищ-горен. Після закінчення плавлення ці горна могли розбиратись, щоб мати доступ до посудин, у яких плавили метал [Балагурі, 1964, с. 33—34]. На поселенні ще були відкриті три великі вогнища-горни, обведені глиняними стінками. Вони мали невелике заглиблення й слугували теж для плавлення металу, як вважав Е.А. Балагурі [Балагурі, 1964, с. 33, рис. 3].

Існування способу виплавлення металу в горщиках під вугільними купами чи широким плавильним чашам, куди вставляли сопло, засвідчили дослідники давньої бронзової металургії на Дніпровському Лівобережжі. Так, наприклад, на поселеннях БМЗК Іллічівка, Усове Озеро, Щурове, за даними Т.О. Шаповалова та С.С. Березанської, були знайдені великі горщики з міддю та шлаками, уламки ошлакованих горщиків та каменів, що слугували обкладкою куп. Цей метод С.Й. Татаринов описав так. У земляній ямці встановлювався великий побутовий горщик, наповнений подрібненою мідною рудою й деревним вугіллям. Після того, як вміст горщика підпалювався, все це засипалося купою деревного вугілля і знову підпалювалося. Купа обкладалася каменями знизу і з боків. Камені слугували для регулювання притоку повітря. Хоч не виключається використання сопел і міхів [Татаринов, 1993, с. 54, 55]. У такий спосіб (в широких чашах-тиглях зі вставленим соплом) могло проходити як плавлення [Черных, 1970, с. 153], так і очищення металу [Саврасов, 1966; Мерперт, Пряхин, 1979, с. 23].

Ще одним підтвердженням існування місцевого металообробного виробництва у носіїв культури Ноуа є знахідки на поселенні Магала глиняних ллячок [Смирнова, 1972, с. 15, рис. 2, 8; с. 6, рис. 6, 12], тиглів,

сопел і шлаків, що зустрічалися як у зольниках, так і поза їхніми межами. Хоч залишки горен там не були простежені [Смирнова, 1969, с. 14—50]. Необхідно зазначити, що згадки про сопла в подальших публікаціях Магали не зустрічаються. Також немає інформації про залишки металу чи яку-небудь ошлакованість згаданих тиглів і ложок. Тому безпосередніх доказів способу виплавляння металу з руди, чи плавлення металу на Магалі наразі не маємо.

На поселенні Стецівка-І Д. Павлів відкрив у заповненні круглої вогнищевої ями (глибина — 0,5—1,0 м, діаметр — 1,0 м) скупчення фрагментів посуду, кісток, шматків шлаку. Л.І. Крушельницька припускає, що вони могли походити від бронзолivarної майстерні, подібної до острівських [Крушельницька, 2006, с. 41, рис. 19].

На сьогодні є всі підстави стверджувати, що досі не існує необхідного рівня знань з виділення та інтерпретації металургійних об'єктів на поселеннях. Як результат — нечисленність свідостів існування металообробних майстерень на Дніпровському Лісостеповому Правобережжі. Відповіді на деякі питання такого роду може дати узагальнення досвіду планомірних робіт із вивчення технології архаїчних виробництв методом фізичного моделювання.

Експериментальні роботи з моделювання процесів металообробки, які провадилися під керівництвом к. і. н. С.О. Агапова, пояснили й підтвердили припущення, що архаїчний металообробний горн за своєю суттю не є теплотехнічною спорудою і метал можна плавити без його спорудження. Для цього потрібна лише якась огорожа з декількох каменів, усередину якої поміщається ллячка. Процес виплавки металу відбувається у невеликій за об'ємом ливарній чаші при допомозі декількох жмень деревного вугілля. Зона високої температури, яка локалізується у глибині ллячки, настільки мала, що майстер може працювати без спеціальних захисних засобів. Тому виникають великі сумніви в достовірності фіксації слідів давньої металообробки в процесі сучасних археологічних розкопок. Адже, як продемонстрували експерименти С.О. Агапова, через рік на поверхні землі зовсім нічого не вказує на те, що на цьому місці плавився і заливався у форми, розпліскувався і розливався розплавлений метал. На місці майстерні залишилися лише декілька невиразних заглиблень, що обпили, в яких було важко встановити систему кріплення міхів та заглиблення у землі, куди встановлювалася ллячка. Єдиним надійним засобом для того, щоб визначити функціональну приналежність цього «археологічного» об'єкту, стало промивання невеликої проби ґрунту. У числі мікроскопічних знахідок були виявлені невиразні шматочки шлаку.

Доводиться лише жалкувати, що таку важливу інформацію можна знайти лише в інтернеті [<http://istrek.ru/blog/142.html>].

Тепер звернімося до експериментів з виплавлення міді з руди, проведеними С.О. Григор'євим і І.О. Русановим. За загальноприйнятими уявленнями, на місці давніх металургійних об'єктів (горен) неминуче має залишатися потужний шар прожареного ґрунту. Але досліджені металур-

гійні комплекси таких поселень, як Синташта та Аркаїм на південному Уралі не містили значних скупчень шлаку, сміття, а поди горен не були прожарені більш, ніж на 3 см.

Після проведення ряду експериментальних плавок виявилось, що металургійне виробництво порівняно чисте. Значні шлакові скупчення можуть утворитися лише там, де були спеціалізовані майданчики, а сміття довго не забиралося. Прожарення ж, незважаючи на високі температури, залишаються дуже незначні. Причому колір їх варіюється від чорного до червоного, залежно від складу прожарюваного ґрунту. Чорний прожарений шар при археологічних розкопках часто ідентифікується як вуглистий. Стінки горен зазвичай отримують сіро-коричнєве забарвлення і при руйнуванні не вирізняються з культурного шару. Тому металургійним горном може виявитися будь-яке незначне злегка прожарене заглиблення. Єдиним способом його ідентифікації, як і в металообробному горні, є промивання ґрунту, яке виявляє дрібні супутні залишки: краплі міді, непомітні шматочки руди й шлаку, подрібнені кальциновані кістки. При їх наявності можна з упевненістю відносити досліджувану споруду до розряду металургійних [Григорьев, Русанов, 1995].

Таким чином, на Острівці насправді були простежені залишки металургійного комплексу, до якого входили як металургійні, так і плавильні горна.

2.2.2. Ливарні форми

Порівняно з іншими регіонами, такими як Карпатський та Причорноморський, на Лісостеповому Правобережжі ливарних форм знайдено небагато. На пам'ятках тшинецької та комарівської культур ливарні форми майже невідомі. Єдина ливарна форма, яку пов'язують із тшинецькими та комарівськими пам'ятками, знайдена на поселенні сосницького типу біля с. Зазим'я Бориспільського району Київської області у 1964 році М.Б. Барбоном [Барбон, Березанська, 1970, с. 164—165, рис. 2, 3]. Форма, виготовлена зі сланцю, — чотирибічна й призначалася для виливання чотирьох предметів: кельта й трьох тесел [Березанская, 1972, с. 77, рис. 25, 1—4].

Інші ливарні форми знайдені випадково на території тшинецьких та комарівських племен, а їхня культурна приналежність досі дискутується фахівцями. Серед таких згадаємо ливарні майстерні, що походять з Київської області. До комплексу з Головурова Бориспільського р-ну входять 12 талькових ливарних форм для відливання кельтів, наконечників списів, серпів, кинджалів, бритов [Шарафутдінова, 1973, с. 61—70]. Шість талькових форм для відливання кельтів, тесел, кинджалів, ножів, бритов знайдені поблизу с. Дерев'яне Обухівського р-ну [Tallgren, 1926, s. 148—149, рис. 83]. Неподалік с. Мазепинці Білоцерківського р-ну знайдені дві половинки форм для відливання кельтів і одна половина форми — для кинджалів [Bockarev, Leskov, 1980, s. 10, taf. 2, 20—21]. Із насипу кургану біля с. Іванковичі Васильківського р-ну походить одна половина

кам'яної форми з негативами наконечника списа та невідомого предмета [Tallgren, 1926, рис. 108, 11; Klochko, 1998, s. 60, fig. 7, 7, 8].

Дослідження кам'яних ливарних форм В.Ф. Петрунем з'ясувало, що переважна більшість ливарних форм виготовлялась із порід хлорито-талько-амфіболового ряду. До цієї групи віднесено й скарб ливарних форм із с. Дерев'яне. Такі породи характерні для Українського кристалічного щита (Побужжя, Наддніпрянщина, Приазов'я), хоч на сучасну поверхню вони майже не виходять [Петрунь, 1967, с. 191—193; Черняков, 1967, с. 179; Шарафутдінова, 1985, с. 71].

Пам'ятки культури Ноуа теж небагаті на ливарні форми. З поселення Острівець походять форми, виготовлені зі світло-сірої (світло-жовтої або інколи навіть рожевої) попелово-карбонатної породи. Такі породи широко розвинуті в неогені Прикарпаття України та Молдови [Петрунь, 1967, с. 193]. Уламок кам'яної ливарної форми з пісковика для виливання листоподібного кинджала і тригранних у перерізі браслетів знайдений на поселенні Магала [Смирнова, 1972, с. 21].

У Острівецьких формах виливалися безвушкові кельти, клиноподібне знаряддя та плоский дископодібний предмет. Кожна форма складається з двох половинок. Тут представлено майже всі зразки предметів, репрезентованих за доби пізньої бронзи на території Центральної та Східної Європи [Балагурі, 1964, с. 37, табл. III, 22].

Привертає увагу те, що вироби, які виливалися в знайдених ливарних формах, належать, в основному, до знарядь праці (кельти, тесла, долота, серпи, ножі) та зброї (спис).

Невеликий уламок, кам'яної ливарної (?) форми походить зі Стецівки II. На ньому зберігся лише бічний отвір [Крушельницька, 2006, с. 26, рис. 28, 18].

Із ранніх пам'яток висоцької культури ливарні форми невідомі. Але на середньому етапі знайшлася одна бронзова ливарна форма з с. Почапів для виливання прикраси [Крушельницька, 1976, с. 56, рис. 22, 32].

Таким чином, залишки металообробних майстерень на території Лісостепового Правобережжя простежені тільки на пам'ятці культури Ноуа (Острівець) і висоцької культури (Почапи), тоді як ливарні форми — в ареалі пам'яток тшинецької та комарівської культур, у культурах Ноуа та висоцькій. У переважній більшості ливарні форми були кам'яними й служили для виливання знарядь праці та зброї. Поряд із кам'яними трапляються й бронзові (висоцька культура). Тільки в колекціях із Острівця та Почапів є форми для виливання прикрас — шпильок (Острівець) і підвіски (Почапи).

ТЕХНОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТАЛЕВИХ ВИРОБІВ

3.1. ВИРОБИ З ГОРДІЇВКИ

Значну частину поховального інвентаря з Гордіївського могильника становлять вироби з металу: золоті, бронзові та залізні. На жаль, предмети, що виготовлені з заліза, повністю окислені, тому довелося всю увагу зосередити на бронзових виробах. Загалом технологічному дослідженню піддано 56 предметів. Серед них — 10 ножів, 9 проколок, жезл-«стилет», два наконечника стріл, двоє вудил, дві дзвоникоподібні підвіски, 3 кільця й одна бляха від кінського спорядження, один диск-амулет, 8 браслетів, 11 шпильок, 2 персні, «музичний інструмент» та стрижень невідомого призначення [Гошко, 1998, с. 49—76]. Металографічні характеристики досліджених виробів продемонстровано в додатках 1—4.

Значне пошкодження корозією багатьох виробів стало на перешкоді для більш широкого вивчення металу з Гордіївки. Висока художня цінність виробів зумовила відбір зразків для структурного аналізу, в першу чергу, з поламаних екземплярів.

Технологічне дослідження проведене за методикою, розробленою Н.В. Риндіною [Рындина, 1971, с. 18—46]. Металографічному аналізу передувало детальне візуальне обстеження виробу. Враховуючи значний проміжок часу, що пройшов із першої публікації матеріалів могильника, всі шліфи були переглянуті заново. Відомо, що структура деформованих бронз може мати трохи інший характер при повторних поліруваннях шліфа, що відповідно призводить до невеликої розбіжності у висновках. До речі, подібна відмінність спостерігається й при аналізі хімічного складу предмета, коли результати в різних точках виробу можуть відрізнятися між собою. Цей момент і був відстежений на декотрих шліфах при їхньому повторному перегляді, хоч у цілому на висновках не відбився.

Нижче я не буду зупинятися на детальному описі всіх виробів, а лише на тих, що несуть більш насичену технологічну інформацію.

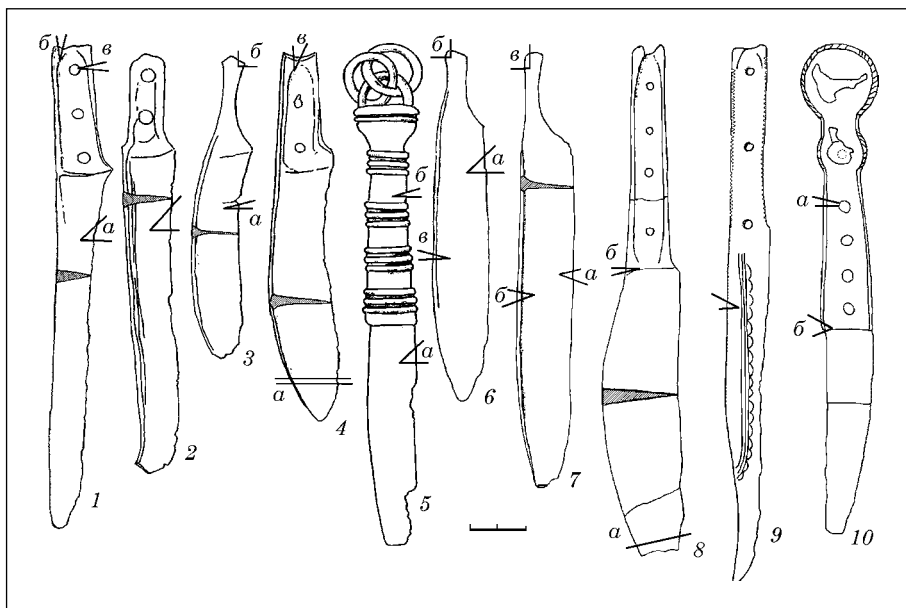


Рис. 1. Ножі з позначеними місцями вирізаних проб: 1 — кург. 7, ан. 22; 2 — кург. 6, ан. 23; 3 — кург. 13, ан. 21; 4 — кург. 18, ан. 26; 5 — кург. 26, ан. 29; 6 — кург. 28, ан. 28; 7 — кург. 19, ан. 25; 8 — кург. 24, ан. 24; 9 — кург. 15, ан. 27; 10 — кург. 38, ан. 60

Отже, перейдемо до викладення результатів технологічного дослідження гордіївського металу.

Із предметів домашнього побуту найкраще представлені ножі (рис. 1). У дев'ятох випадках вони були виготовлені з бронзи, один — біметалевий (курган 38, ан. 60). Одразу треба зазначити, що всі ножі виготовлені з відлитої заготовки, за формою наближеною до готового виробу, з наступним допрацюванням куванням [Гошко, 1992, с. 60—67]. Усі ножі — однолезові. Чотири екземпляри (кург. 18, ан. 26; кург. 19, ан. 25; кург. 28, ан. 28; кург. 13, ан. 21) мають ручку-черенок, розплющений на кінці. В п'яти ножів руків'я складні. В двох випадках (кург. 7, ан. 22; кург. 18, ан. 26) вони відлиті з виїмкою на один бік, у трьох (кург. 6, ан. 23; кург. 24, ан. 24; кург. 15, ан. 27) виїмка є з обох сторін. Кінець одного руків'я (кург. 18, ан. 26, в) злегка відтягнутий куванням. У процесі прошивання використовувалися чи ковадла з отвором, чи пласкі ковадла з підкладним кільцем, діаметр отвору якого був трохи більшим, ніж діаметр пробитих отворів на черенках ножів. Цікаві за технологією виготовлення руків'я двох ножів з кург. 26 (ан. 29) та кург. 38 (ан. 60). Вони виконані методом доливання. Звертає на себе увагу складністю виконання ніж із кургану 26 (ан. 29). Хоч він суцільно бронзовий, та відливався у декілька етапів. На стику клинка й руків'я, дужки з кільцями й наверх руків'я чітко видні місця з'єднання

Рис. 2. Ніж з кург. 31, відлитої за восковою моделлю

цих трьох частин. Вочевидь, спочатку окремо виливалися клинок, ланцюжок із двох кілець і дужка, що потім вставлялися у воскову модель руків'я.

Отвори під заклепки на руків'ї біметалевого ножа прошивалися на пласкому ковадлі за допомогою трубчастого пробійника. Отвори мають рівні краї без слідів відтягнення металу вбік.

За восковими моделями відливалися ножі з курганів 6, 7, 15 (ан. 22, 23, 27) та ніж із кургану 31 (рис. 2), що не проходив металографічного аналізу. На їхніх поверхнях спостерігаються характерні сліди загладжування воску (рис. 3, 3—4). Ніж із кургану 18 (ан. 26), можливо, також відлитої за восковою моделлю, хоча чітких слідів на ньому немає. Клинки цих ножів після виливання піддавалися ковальській доробці.

Тепер детальніше розглянемо послідовність операцій із виготовлення **ножів**.

Ніж черенковий з горбатою спинкою з кургану 13 (ан. 21). Лезо в перерізі — трикутне з обламаним вістрям (рис. 1, 3). Заготовка відливалася у формі з низькою теплопровідністю (глиняна?). Доробка куванням провадилася по холодному металу з відпалюваннями й була спрямована на витягування та зміцнення леза. Ступінь обтис-

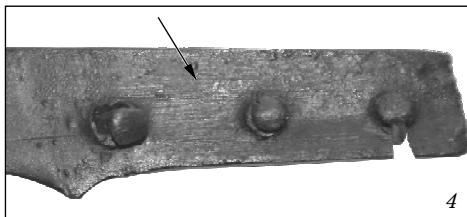
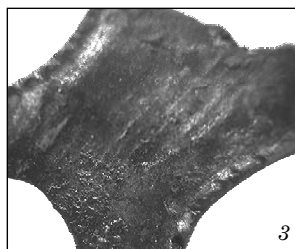
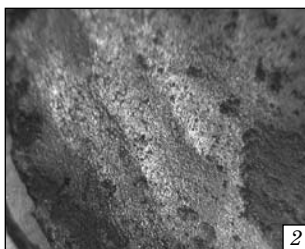
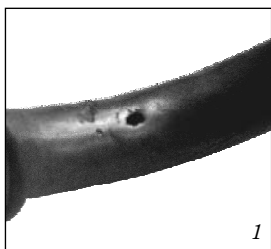
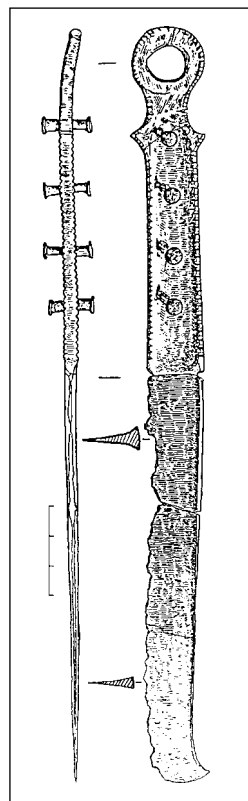


Рис. 3. Макрофотографії: 1 — отвір від штифта на «музичному інструменті»; 2 — сліди загладжування воску зворотньому боці великої бляхи; 3—4 — сліди загладжування воску на руків'ях ножів (кург. 7, 31)

кання металу на лезі досягав 60 % (характер залишкових дендритів). Структура на лезі відбиває завершальний етап холодного кування, після якого відпалювання вже не було (розбитість поліедрів, лінії зсуву на їхньому тлі). Формування черенка провадилося при невисокій температурі (розмір зерна) й завершилося, коли метал уже почав остигати (лінії зсуву).

Ніж із кург. 7 (ан. 22) із прямою спинкою, трикутним у перерізі лезом і трьома бронзовими заклепками на руків'ї (рис. 1, 1). Вилитий за восковою моделлю. Сліди загладжування воску видні на клинку, а особливо чітко лишилися на руків'ї (рис. 3, 4). Виріб був підданий незначній холодній доробці, що була спрямована на зміцнення леза, а на руків'ї пов'язана зі вторинним пробиванням отвору (смуги деформації та смуги плину). Ступінь деформації при доробці коливалася від 20 до 40 %. Лиття провадилося в глиняну форму (крупні дендрити).

Ніж із кург. 6 (ан. 23) із трикутним у перерізі лезом і обламаним вістрям. На руків'ї два отвори для заклепок (рис. 1, 2). Заготовка ножа вилита за восковою моделлю (сліди загладжування воску). На руків'ї ковальська доробка пов'язана з прошиванням отворів. Клинок піддавався формувальному гарячому куванню. Завершальна операція зводилася до зміцнювального проклепування леза. Орнамент на клинок нанесений гравіюванням.

Ніж із кург. 24 (ан. 24) має горбату спинку, широке трикутне в перерізі лезо й чотири отвори для заклепок на руків'ї (рис. 1, 8). Доробці куванням піддавалася тільки клинкова частина (непорушена дендритна структура на руків'ї). Формувальне кування клинка здійснювалося по холодному металу й супроводжувалося проміжковими відпалюваннями. У цьому переконує відсутність тріщин і високий ступінь деформації (60—70 %) у сполученні з підвищеним вмістом олова й свинцю у сплаві (Sn — 15 %, Pb — 0,45 %). На завершення на руків'ї були пробиті отвори для заклепок без нагрівання металу.

Ніж із майже прямою спинкою, коротким прямим черенком і Т-подібним перерізом клинка з кург. 19 (ан. 25). Вістря леза обламане. Заготовка ножа відливалася у формі з низькою теплопровідністю, ймовірно глиняній (рис. 1, 7). Далі заготовка кувалася в гарячому стані зі ступенем обтискання до 40 % (залишкова дендритна ліквідація). Кування було спрямоване на формування спинки ножа й видалення дефектів лиття. Черенок розклепано в холодному стані (форма дендритів, мікротвердість). На завершення весь клинок прокований холодним (смуги ковзання). Особливо ретельній деформації була піддана лезова частина клинка (здрібненість і розбитість поліедрів). Ще слід зазначити, що за результатами спектрального аналізу концентрація олова у сплаві складає 13 %. Але евтектоїд на жодному шліфі не спостерігається. Зникнення евтектоїда могло відбутися лише при високотемпературному відпалюванні. Та, з іншого боку, наявність дендритної ліквідації виключає дане припущення. В такому разі залишається тільки припустити якусь помилку в спектральному аналізі.

Ніж із кург. 18 (ан. 26) має горбату спинку, Т-подібний переріз клинка та два отвори для заклепок на руків'ї. Спинка ножа прикрашена гравійованим «ялинковим» орнаментом (рис. 1, 4). Заготовка ножа відливалася у формі з низькою теплопровідністю (величина дендритів). Доробка куванням була спрямована на усунення ливарних дефектів та зміцнення леза. Обтискання металу на лезі становило 20—40 % і провадилося при невисокій температурі (залишкові дендрити, величина поліедрів). Спинка ножа також піддавалася невеликому холодному проковуванню, а потім на неї у техніці гравіювання був нанесений орнамент (розмитість поліедричної структури, відсутність дендритної ліквації). На завершення руків'я ножа злегка проковане в холодному стані. Заклепка для закріплення накладок на руків'ї була виготовлена з дроту, отриманого холодним куванням із відпалюваннями (характер евтектоїда), з обтисканням металу до 80 % (відсутність дендритної ліквації). Кінці заклепки розклепані без нагрівання.

Ніж із кург. 15 (ан. 27) з горбатою спинкою й трьома отворами для заклепок на руків'ї. Клинок, спинка й руків'я ножа прикрашені гравійованим орнаментом (рис. 1, 9). Вилита заготовка виробу кувалася холодною із проміжковими відпалюваннями, про що свідчить відсутність тріщин у металі при високому вмісті олова (13 %) та свинцю (0,23 %). Ступінь обтискання металу складав 60—80 %, що й викликало зникнення дендритної ліквації. Кування було спрямовано на витягування леза. Використовувалося три види інструментів для гравіювання прямих і коротких ліній.

Ніж (кург. 28, ан. 28) із горбатою спинкою, Т-подібним перерізом клинка і коротким, розклепаним на кінці черенком із кург. 28 (рис. 1, 6). Заготовка ножа була піддана холодному куванню з метою зміцнення лезової частини та черенка. Ковальські роботи провадилися при невисоких температурах (деформована дендритна структура).

Ніж (кург. 26, ан. 29) із горбатою спинкою й долитим руків'ям. Навершя руків'я має форму петлі з надітими на неї двома кільцями. Руків'я прикрашене чотирма поясами вилитих рельєфних валиків. Лезо — з трикутним перерізом, кінець обламаний (рис. 1, 5). Лезова частина ножа була піддана формувальній доробці холодним куванням із проміжковими відпалюваннями при високій температурі й супроводжувалася сильним обтисканням металу (близько 80 %). Про використання високих температур при відпалюванні свідчить характер структури — округлість зерен, хвилеподібність їхніх меж. На високий ступінь деформації вказує сильно витягнутий евтектоїд і відсутність дендритної структури.

Ніж (кург. 38; ан. 60) біметалевий — із залізним лезом і бронзовим руків'ям. Руків'я закінчується пласким наверш'ям у вигляді диска. На руків'ї — п'ять заклепок складної конструкції. Вони складаються з трубочки-втулки, згорнутої з пластини й двох цвяшків з великою опуклою голівкою. Наверш'я й верхня частина руків'я вздовж ребра прикрашені косими насічками. Руків'я ножа отримане методом доливання за восковою моделлю. На макрофотографії видно, що бронза досить щільно облягає заліз-

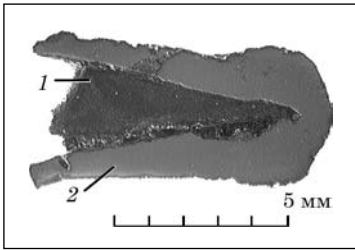


Рис. 4. Мікрофотографія шліфа (ан. 60). 1 — залізний клинок; 2 — бронзове руків'я

ний клинок (рис. 4). Безформний отвір на закінченні руків'я — ливарний брак (явище недоливу). Ливник розташовувався на стику леза з руків'ям, але при заливанні металу майстер, мабуть, форму не підняв. Тому метал застиг раніше, ніж заповнив її

до кінця (рис. 1, 10). Пробивання отворів для заклепок супроводжувалося невеликим нагріванням. У холодному стані був проклепаний стик руків'я із лезом. Ступінь деформації становив ~20 %.

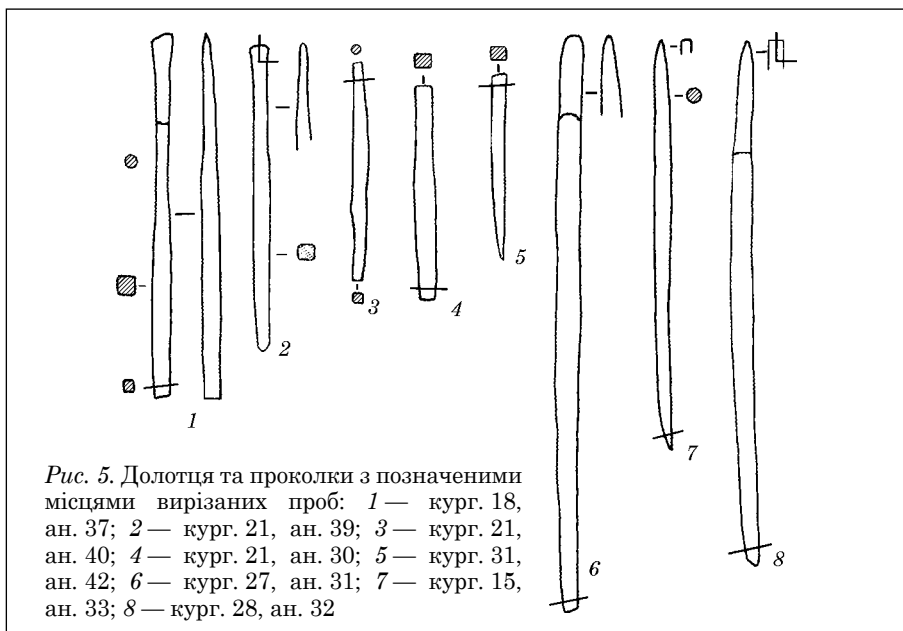
Втулка для заклепки згорнута з прокованої при невисокій температурі смужки бронзи (розмитість структури) й на стику прокована без нагрівання з обтисканням у 40 % (зміна форми зерен).

Прокол досліджено вісім екземплярів (кург. 15, ан. 33; кург. 18, ан. 37; кург. 21, ан. 39, 40; кург. 27, ан. 31; кург. 31, ан. 32; кург. 31, ан. 42; кург. невизначений, ан. 30). Візуальний огляд цієї серії виробів показав значну різноманітність у розмірах. Про форму проколів судити досить складно через їхню часткову фрагментарність (переважно обламані вістря). Але, беручи до уваги відлілі фрагменти, можна припустити, що ці знаряддя були двох типів. До одного з них відносимо проколки з квадратним перерізом у центральній частині, яка з одного боку плавно переходить у вістря, а з іншого — зтоншується й набуває круглого перерізу. Самий кінець — розплющений. Інший тип — більші за розмірами проколки з квадратним перерізом у центральній частині, загострені з одного кінця й сплюснені під руків'я з іншого (рис. 5).

У цілому проколки мають схожу технологічну схему виготовлення, що складалася з одержання пружків-заготовок і їхньої доробки формувальним гарячим куванням. Операції провадилися, в основному, при високій температурі — близько 700 °С. І тільки в двох випадках (ан. 32, 33) кування супроводжувалося нагріванням металу до температур близько 600 °С. Обтискання металу досягало 60—80 %. Особлива увага приділялася зміцненню робочого загостреного кінця. Сліди завершального холодного проковування до 20—40 % наявні у семи випадках із восьми.

Предмети озброєння з бронзи нечисленні, а саме: два наконечника стріл (рис. 6). Відповідно до кінцевої форми, виготовлення наконечників стріл провадилося за двома схемами. Один — з кург. 35 (ан. 67) — втульчастий із трикутною голівкою й двома гострими шипами був відлитий у теплопровідній роз'ємній кам'яній формі та подальшій обробці не піддавався. У другому випадку відлита заготовка наконечника з кург. 34 (ан. 65) прокована при температурі близько 600 °С (дрібнозернистість полідричної структури). Ступінь деформації не перевищував 20—40 %. Підтверджує такий висновок зональне розташування полідрів та форма дендритів.

Предмети кінського спорядження. До цієї категорії виробів віднесено всього сім предметів (рис. 5). Серед них двочастинні вудила з кург. 34



(ан. 63) та бляха з петелькою на зворотньому боці з кург. 34 (ан. 64). Інші пість предметів до кінського спорядження зараховані умовно. Це два кільця, одне з яких має сплащену зовнішню грань з кург. 5 (ан. 52), а друге походить з кург. 34 (ан. 64); одне невелике кілечко з кург. 23 (ан. 58), дві дзвоникоподібні підвіски з кург. 31 (ан. 57) та 38 (ан. 71) та ланцюжок з кург. 37 (ан. 62), який складається із трьох великих кілець та чотирьох менших, вдягнутих по два на крайні великі кільця.

Ланцюжок В.І. Ключко трактує як вудила, посилаючись на знахідку в похованні 5 могильника Вашар у Східній Угорщині [Stegmann-Rajtar, 1992, Abb. 35, 1]. Але далеко не всіма науковцями сприймається таке трактування. Так М. Русу називає ці предмети кільчастими пряжками й виділяє в особливу категорію. Зазвичай вони складаються із двох кілець однакового розміру, на яких висять по декілька підвісок у вигляді секир, пташиних голів та ін. (рис. 6, 1—2). Та трапляються пряжки з трьох кілець (Сын-джорджу де Пэдуре, зі скарбу бронзових виробів із території Трансильванії) [Русу, 1960, с. 169; рис. 1, 21—23]. М. Русу виводить їхнє походження від дископодібних кістяних псаліїв і вважає, що наборні пряжки з'являються разом із власне вудилами (тобто з металевою частиною, яка вкладалася у рот коня). До середнього кільця прикріплювали частину вудил (гризла), а два бокових кільця слугували для прикріплення вудил із допомогою ременів до підборідного реміня вуздечки [Русу, 1960, с. 169, 172—173].

Я не беруся стверджувати, що трикільчасті «вудила» з Гордіївки є псаліями, та хочу звернути увагу на сильну зношеність металу на кіль-

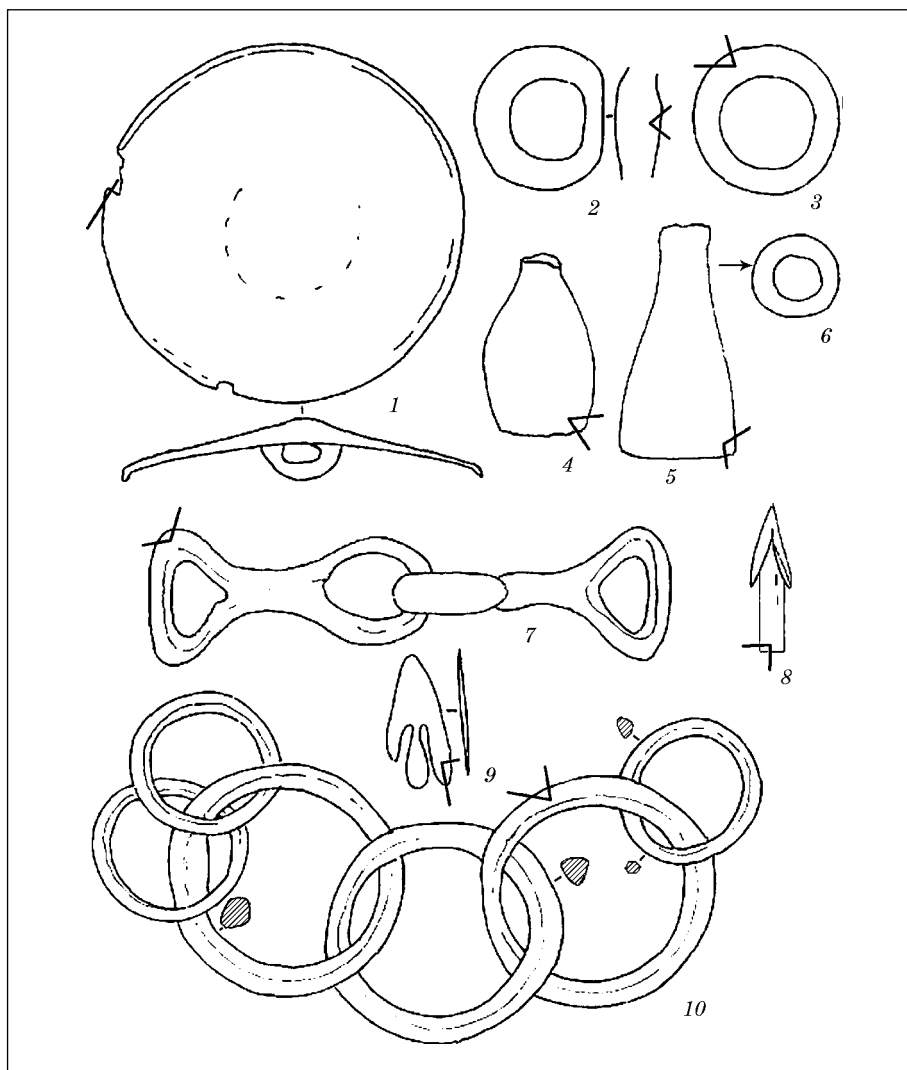


Рис. 6. Предмети озброєння та кінського спорядження з позначеними місцями вирізаних проб: 1 — кург. 34, ан. 66; 2 — кург. 5, ан. 52; 3 — кург. 34, ан. 64; 4 — кург. 38, ан. 71; 5 — кург. 31, ан. 57; 6 — кург. 23, ан. 58; 7 — кург. 34, ан. 63; 8 — кург. 35, ан. 67; 9 — кург. 34, ан. 65; 10 — кург. 37, ан. 62

цях, як великих, так і малих. а це свідчить про великі механічні на-
грузки при їхньому використанні.

Така сама картина відстежується і на двокільчастих вудилах, і на окремих кільцях, одне з яких має сплюснену зовнішню грань з кург. 5

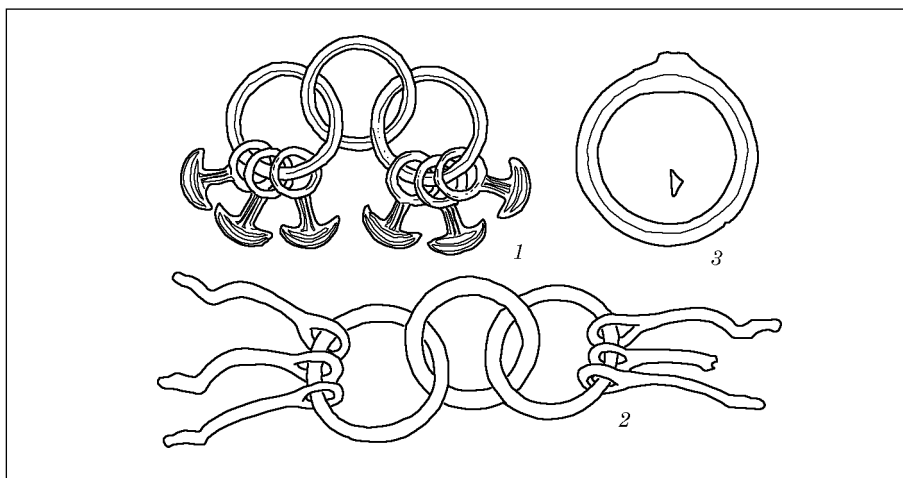


Рис. 7. 1—2 — кільчасті вудила із Трансільванії; 3 — кільце

(ан. 52), а друге походить з кург. 34 (ан. 64). Подібні кільця (рис. 6, 3) звичайна складова скарбів із вуздою [Русу, 1960, с. 173; рис. 1, 27—29].

Звернімося тепер до результатів металографічного аналізу цієї групи виробів. Обидві деталі двочастинних вудил, ймовірно, відливалися одночасно в глиняній формі за восковою моделлю і подальшій ковальській доробці не піддавалися. Метод доливання застосований при виготовленні «трикільчастих вудил». Робота провадилася, можливо, у декілька етапів. Можна припустити наступну послідовність формування виробу: виливання двох крупних ланок, з'єднання їх між собою восковою моделлю центральної ланки. Вочевидь, одночасно майстер міг прилаштувати воскові моделі й маленьких кілець. Уся конструкція заформовувалась у глину. Після висихання глини витоплювався віск і заливався метал. Такий висновок підтверджує й істотне розходження хімічного складу металу спектрально проаналізованих трьох ланок.

Невелике кілечко з кург. 23 (ан. 58) та кільце більшого діаметру з кург. 34 (ан. 64) доробці куванням теж не піддавалися. Вони відлиті в двостулкових глиняних формах. Кільце з кург. 23 має сліди ливарних швів і залишок литника. На відміну від кільця з кург. 34, виріб з кург. 5 було піддано відпалюванню майже до повного розчинення евтектоїда й дендритної ліквідації. Тим самим вилита структура змінилася більш досконалою — поліедричною, при якій підвищується пластичність металу. Мабуть дії майстра були пов'язані з функціональним призначенням виробу.

З кінською вуздечкою, найімовірніше, пов'язані й дзвоникоподібні підвіски. Серед них можна виділити чотири типи: 1) видовжених пропорцій із найбільшим розширенням у нижній частині тулуба; 2) більш приземкуватих пропорцій із найбільшим розширенням у середній час-

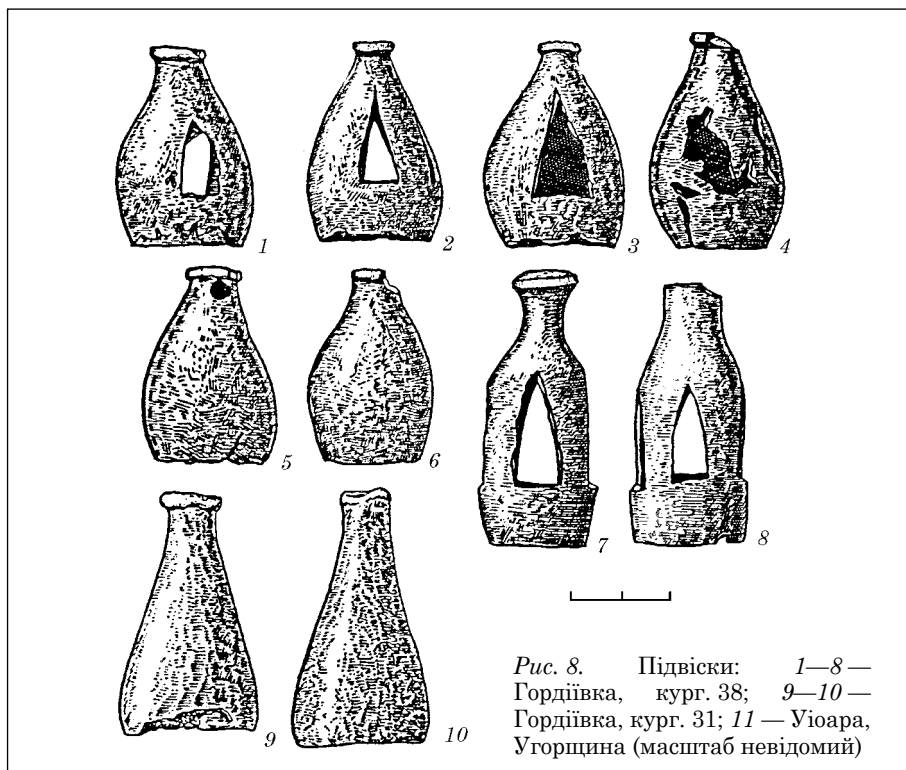


Рис. 8. Підвіски: 1—8 — Гордіївка, кург. 38; 9—10 — Гордіївка, кург. 31; 11 — Уюара, Угорщина (масштаб невідомий)

тині тулуба; 3) приземкуватих пропорцій із найбільшим розширенням у середній частині тулуба та з наскрізними двома чи чотирма трикутними отворами на тулубі; 4) підвіски з виділеною високою шийкою видовженим майже рівним тулубом і чотирма трикутними отворами на ньому (рис. 7, 1—10). Безперечно, підвіски могли слугувати й деталями одягу. Так, наприклад, дзвоникоподібні підвіски, круглі в перерізі зі сплюсненим верхнім кінцем у вигляді валика, що характерні для білозерської культури, знаходять в похованнях біля пояса небіжчика (Василівський мог-к, к. 5 п. 1) [Ванчугов, Субботин, 1989, с. 57; рис. 3, 8—9].

Технологічно проаналізовані лише два вироби: бочкоподібна підвіска з кург. 38 (ан. 71) та підвіска більш видовжених пропорцій з кург. 31 (ан. 57). Вони відливалися в глиняних формах зі вставним стрижнем. Відмінність у виготовленні підвісок полягає в наступному. Підвіска з кург. 31 могла виливатися у двобічній багаторазовій глиняній формі зі вставним сердечником, іншу можна було вилити чи в одноразовій глиняній формі за восковою моделлю, чи в багаторазовій двобічній формі зі вставним стрижнем, який після охолодження литва вибивався [Гершкович, Ключко 1987, с. 106, рис. 46, 108]. Якщо уважно розгляну-

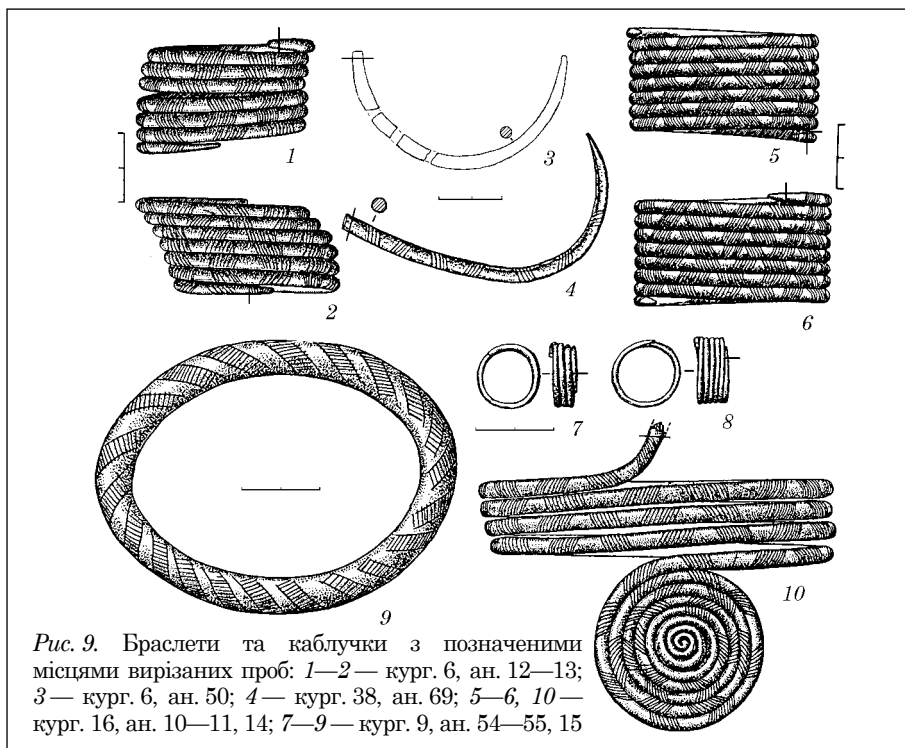


Рис. 9. Браслети та каблучки з позначеними місцями вирізаних проб: 1—2 — кург. 6, ан. 12—13; 3 — кург. 6, ан. 50; 4 — кург. 38, ан. 69; 5—6, 10 — кург. 16, ан. 10—11, 14; 7—9 — кург. 9, ан. 54—55, 15

ти всі підвіски, то помітна їхня асиметричність. До того ж не вдалося знайти хоча б пару, яка має однакові обриси, що могло б вказувати на лиття в багаторазовій ливарній формі. І це є додатковим доказом лиття за восковою моделлю усіх підвісок у формі, що втрачається.

Воскова модель була застосована й для виготовлення ливарної форми бляхи. Про це свідчать сліди модельного припою, здубльовані в металі, що простежуються при основі петлі. Отриманий виливок був підданий невеликій доробці куванням, що було спрямоване на розплющення й загин бортика. Ступінь обтискання металу складає 40—60 % (розташування дендритів первісного вилитого сплаву). Кування виробу здійснювалося у холодному стані з проміжковими відпалюваннями. На температурний режим кування вказує дрібнозернистість кристалів, а також відсутність тріщин червоноламокості, неминучих при гарячій деформації металу з підвищеним вмістом сурми (1,175 %) і свинцю (0,634 %).

У похованнях були знайдені дев'ять **браслетів**, з яких проаналізовано вісім. Із них ковані дротяні багатовиткові — чотири цілих (кург. 6, ан. 12—13; кург. 16, ан. 10—11); фрагменти з кург. 6, ан. 50; один дротяний великого діаметру зі спіральними щитками (кург. 16, ан. 14) і, можливо, уламок щитка від подібного браслета (кург. 38, ан. 69) та вилитий овальний (кург. 9,

ан. 15). Орнамент у техніці гравіювання нанесений на вісьмох виробках, вияток становить лише браслет, що погано зберігся, із кург. 6 (рис. 9). Довжина дроту цілого браслету (кург. 6) сягає 117 см. Ковані екземпляри виготовлені з круглого в перерізі дроту [Гошко, 2000, с. 68—72].

Необхідно наголосити на тому, що для виготовлення браслетів використовувалася високоолов'яниста бронза (Sn — від 11 % до 15 %) з високими концентраціями арсену (0,32—0,43 %), свинцю (0,05—0,17 %) і сурми (0,1—0,29 %), тобто, такий сплав, що вимагає від майстра високої кваліфікації та знання властивостей таких бронз. Кування багатовиткових браслетів провадилося по гарячому металу ~600—700 °С. Цьому, ймовірно, передувало високотемпературне нагрівання металу до 600—700 °С та витримка при такій температурі близько однієї години (неповне гомогенізаційне відпалювання). У результаті такої операції всередині зерен вирівнюється концентрація твердого розчину, зменшується кількість евтектоїда й металу надається більша пластичність. Але з якоїсь причини майстру не вдалося завершити гомогенізаційне відпалювання. Тому що ті зміни вилитої структури, які мають відбуватися під час цієї термічної обробки (ліквідація дендритної ліквідації й розчинення евтектоїда), не завершилися. Тобто, на всіх шліфах наявні залишки евтектоїда. Тому кування металу зі ступенями обтискання в 60—80 % викликало появу тріщин на трьох екземплярах (ан. 11, 12, 69).

Дослідження семи спіральних браслетів (ан. 10, 11, 12, 13, 14, 50, 69) дає підстави стверджувати про усталену послідовність у їхньому виготовленні.

- Виливання заготовки-пружка.
- Проведення неповного гомогенізаційного відпалювання.
- Формувальне кування на фігурному жолобчастому ковадлі з фігурною накладкою, стінки якого запобігали поперечній деформації металу під час кування й надавали круглого перерізу дроту. Загострення куванням кінців дроту для браслетів без щитків. При цьому ступені обтискання металу складали 60—80 %.
- Полірування поверхні дроту перед нанесенням орнаменту.
- Гравіювання орнаменту.

Наступні операції залежали від остаточної форми прикраси. У браслетів зі спіральними щитками формувалися щитки (ан. 14). Круглий переріз дроту по всій довжині свідчить про те, що спіраль на щитках додатково не стискувалася молотком.

Завершення формування браслета закінчувалося навиванням ділянки дроту між щитками на циліндричний бовван. Ті браслети, що не мали щитків, навивалися тільки на циліндр.

Один овальний браслет (ан. 15) виливався за восковою моделлю (характерні сліди загладжування воску на поверхні), а потім був підданий гомогенізації. Поверхня виробу перед нанесенням орнаменту відполірована.

Обидва *кільця-каблучки* з кургану 9 виготовлені майже за однаковою схемою з невеликими відмінностями (рис. 9, 7—8). Одне з них (ан. 54) — у чотири витки, інше — у шість (ан. 55). Дріт для першого кувався при температурі 700 °С (округлі границі поліедрів), для другого — близько

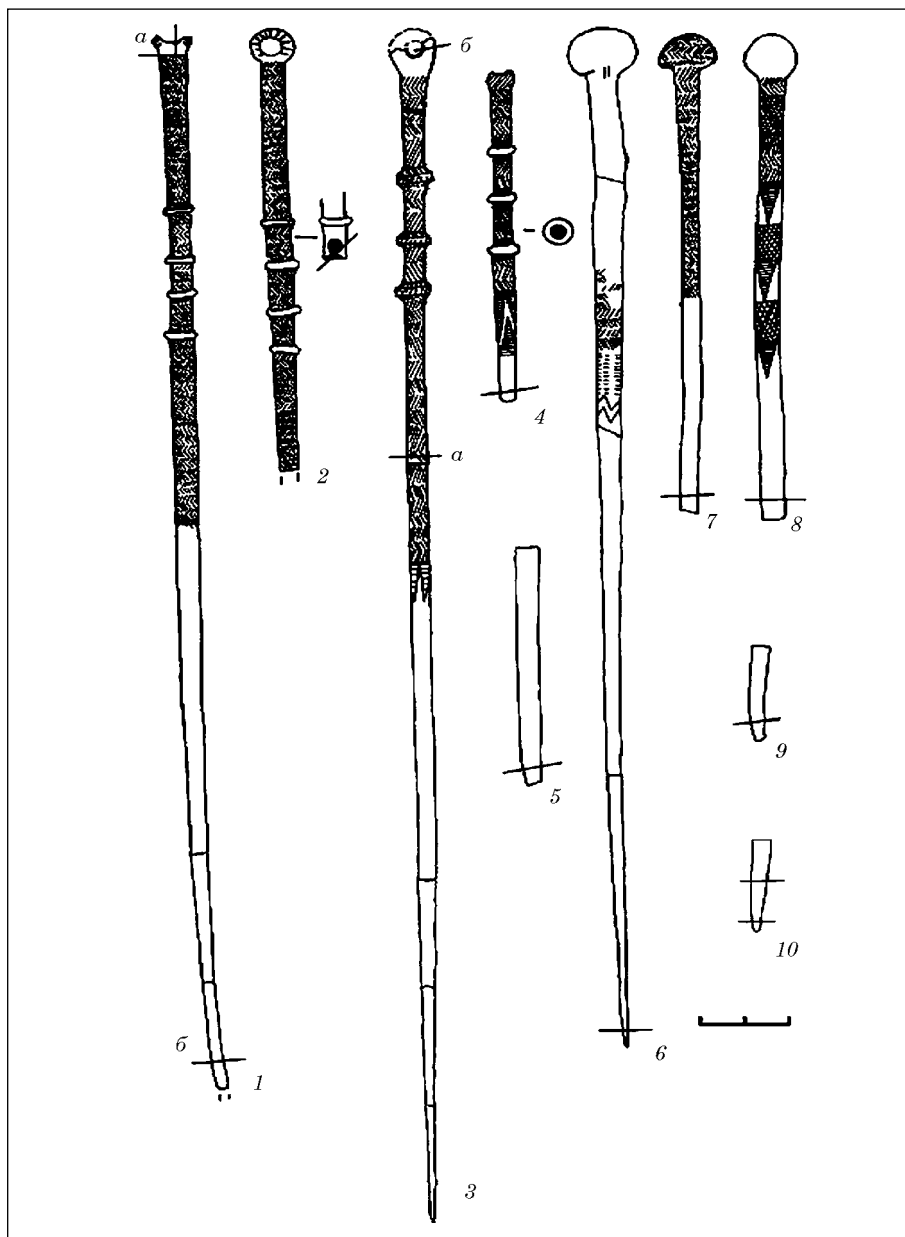


Рис. 10. Шпильки з позначеними місцями вирізаних проб: 1—2 — кург. 27, ан. 47—48; 3 — кург. 16, ан. 19; 4 — кург. 11, ан. 43; 5 — кург. 24, ан. 45; 6 — кург. 24, ан. 18; 7 — кург. 6, ан. 20; 8 — кург. 31, ан. 49; 9 — кург. 26, ан. 46; 10 — кург. 16, ан. 44

600 °С (величина зерна, невелика кількість двійників). Вибір температурного режиму, можливо, обумовлювався хімічним складом металу (ан. 54, Sn — 7,8 %; ан. 55, Sn — 11 %). При невеликому збільшенні на поверхні обох виробів добре помітні довгі рівнобіжні борозенки, чи то від кування на ковадлі з жолобком, чи то від волочильної дошки. Кінець дроту загострений холодним куванням (форма зерен, лінії зсуву). Завершальна операція — навивання дроту на бовван.

Усього в похованнях могильника знайдено одинадцять **шпильок** (рис. 10). Десять з них піддано металографічному дослідженню. Виділяється два типи: 1-й — з кулястою голівкою (3 екз.) та 2-й — з маленькою кільцеподібною голівкою та трьома чи чотирма валиками під нею, так званого гордіївського типу (4 екз.). Дві представлено фрагментами центральної частини (кург. 26, ан. 46; кург. 24, ан. 45) та вістря (кург. 16, ан. 44).

Зі шпильок першого типу досліджено всі три знайдені екземпляри (з кург. 6, 24, 31). Між собою вони трохи відрізняються розмірами та типом орнаментатії. Найбільша з них походить з кург. 24 (ан. 18). Голівка куляста, присадкувата. Стрижень плавно звужується до вістря. Частина орнаменту, що зберігся, являє собою «ялинку», під якою стовпчиками розташовані горизонтальні рисочки. Закінчується орнамент зигзагом із двох паралельних ліній. У місці переходу голівки в стрижень спостерігається залишок ливарного шва.

Друга шпилька — з кург. 6 (ан. 20) — із кулястою присадкуватою голівкою. Голівка й верхня частина стрижня орнаментована «ялинкою». Стрижень помітно звужується близько голівки й далі має горбкувату поверхню більш-менш однакового перерізу. Вістря обламане.

Третя шпилька — з кург. 31 (ан. 49) — із кулястою неорнаментованою голівкою. Орнаментом прикрашена верхня частина стрижня.

Шпильки такого типу могли відливатися у двостулкових формах. Тим паче, що під голівкою екземпляра з кург. 24 є ливарний шов.

Цікавіший за виконанням другий тип шпильок із маленькою кільцеподібною голівкою й трьома чи чотирма валиками в верхній частині стрижня, так званого гордіївського типу. Технологічному дослідженню піддано 4 з 5 шпильок (кург. 11, 16, 27 — 2 екз.). Цю групу шпильок за деякими ознаками можна розділити на пари. Перші дві з кургану 27 (ан. 47, 48) між собою дуже схожі за:

- формою голівки, яка являє собою чітко виділене кільце товщиною ~0,2 см;
- кількістю чітко виділених валиків на стрижні (по 4);
- однаковою відстанню від голівки до першого валика (4,2 см);
- товщиною стрижня (0,5 см).

Проте треба відмітити, що на одному екземплярі (ан. 48) стрижень між валиками трохи стоншений.

Загальну довжину однієї зі шпильок можна відновити (ан. 48), вона становить приблизно 28 см. Беручи до уваги їхню схожість за чотирма ознаками, можна припустити й приблизно однакову довжину. На стрижні під другим зверху валиком спостерігається ливарний брак — раковина (ан. 47).

Два інших екземпляри дрібніші за розмірами й мають по три валики на стрижні, що плавню переходить у голівку (кург. 16, ан. 19, кург. 11, ан. 43). По виїллії частині голівки на шпильці з кург. 16 видно, що її кільце має розмір 0,3—0,4 см і товстіше за інші. Товщина стрижня на обох шпильках — 0,4—0,5 см. Валики на шпильці з кург. 16 ширші за валики на решті шпильок.

Судячи з результатів мікроструктурного дослідження, шпильки виготовлялися за єдиною схемою:

- виливання заготовки з готовим наверхшам;
- доробка куванням та нанесення орнаменту.

Доробка куванням шпильок була спрямована на витягування й загострення робочого кінця. Ковальські операції провадилися при температурі близько 600 °С. При 700 °С кувалася лише одна шпилька (ан. 44). У чотирьох випадках (ан. 43, 18, 19, 47) обтискання металу складало 40—60 %, в інших шести випадках (ан. 44, 45, 46, 47, 20, 49) — 60—80 %. Для зміцнення робочий кінець проковувався в холодному стані зі ступенем обтискання до 20—40 %. Орнамент — гравійований.

На двох екземплярах з курганів 11 (ан. 43) та 27 (ан. 47), які розламалися в місцях розміщення валиків, усередині стрижнів простежені порожнини, заповнені крихкими окислами. Шпилька з кургану 27 у цьому ж місці має ще й ливарний брак у вигляді раковини. Подібний дефект трапляється не тільки на гордіївських шпильках [Blajer, 1999, tabl. 92, 1], тому, припускаю, що такі порожнини утворюються під час заповнення металом довгої й вузької форми.

Велика подібність шпильок з кург. 27 за всіма показниками (розміри, форма) могла б дати право стверджувати те, що відливали їх у роз'ємних формах, але невеликі розбіжності в розташуванні валиків (не досить чітке горизонтальне розміщення на стрижні — ан. 47) та потоншення стрижня між ними (ан. 48) дає впевненість у тому, що для кожної шпильки виготовлялась індивідуальна воскова модель.

У кінці вивчення шпильок згадаємо шпильку з кург. 16, голівка якої формувалася в інакший спосіб, а саме — одночасно зі стрижнем, але не вирізанням, як я вважала раніше [Гошко, 2007, с. 253]. Майстер змоделював її шляхом розплющування воску на кінці стрижня, а отвір зробив розігрітим металевим інструментом чи, навіть, дротом.

Таким чином, шпильки з Годіївки виливалися як у двостулкових роз'ємних формах, так і за восковою індивідуальною моделлю. Вістря витягувалися куванням.

Дрібні металеві вироби (рис. 11) представлені оббивкою дерев'яної чаші з цвяшком із кург. 21 (ан. 56) та стрижнем (можливо, заклепка від ножа) з кург. 35 (ан. 68).

Оббивка дерев'яної чаші — фігурна пластина з заклепками. У верхній частині загнута.

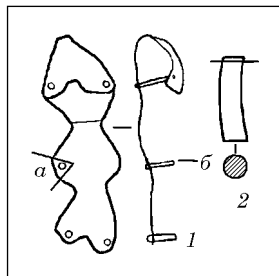


Рис. 11. Дрібні вироби з позначеними місцями вирізаних проб: 1 — кург. 21, ан. 56; 2 — кург. 35, ан. 68

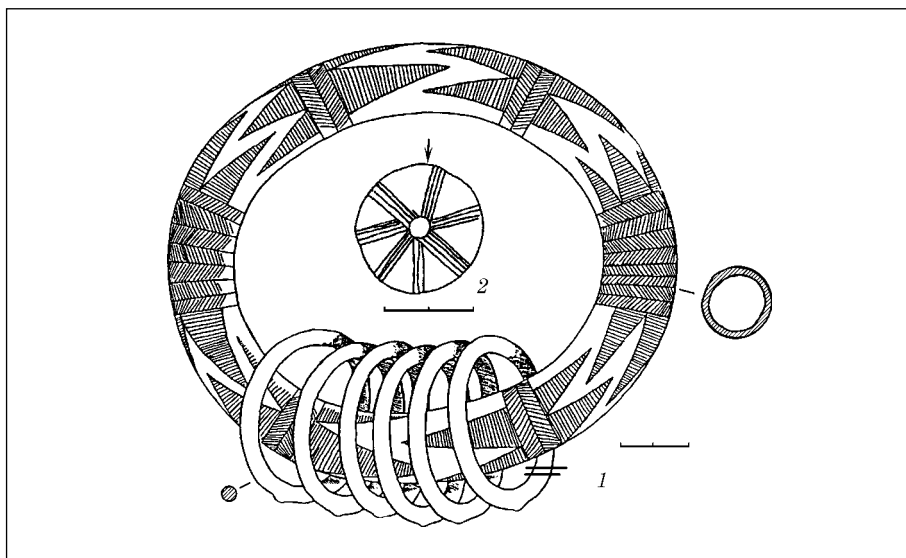


Рис. 12. «Музичний інструмент» і диск із позначеними місцями вирізаних проб:
1 — кург. 28, ан. 16; 2 — кург. 25, ан. 59

Довжина пластины (без загнутого краю) — 5 см; довжина загнутої частини — 1,3 см; ширина — 1,6 см; товщина — 0,01 см. Вилитий виріб був злегка прокований при невисокій температурі (лінії зсуву). Ступінь обтискання не перевищував 20—40 % (зональне розташування дендритної та поліедричної структур).

Цвяшок зроблено з дроту, отриманого куванням при невисоких температурах. Лінії зсуву з'явилися у результаті тертя цвяшка об пластинку під час прикріплення її до чаші.

Стрижень — фрагмент прутка з круглим перерізом, потовщений посередині, кінці розклепані. Ковальська обробка мала формувальний характер і супроводжувалася сильним обтисканням металу близько 60—70 %. Кування провадилося при невисокій температурі.

До категорії **виробів сакрального призначення** відносимо диск із кург. 31 (ан. 59), що відливався у глиняній формі, на що вказують розміри дендритів; два великих порожнистих кільця із сімома кільцями меншого діаметру та два жезли-«стилетів». Ці предмети досліджені, в основному, візуально.

Два загадкові вироби з кург. 28, призначення яких лишається нез'ясованим. Умовно названі «музичними інструментами» через те, що при незначному русі рукою сім кілець меншого діаметру, надітих на товсте кільце, видають мелодійний дзвін (рис. 12, 1). Металографічному аналізу піддане лише одне обламане кільечко (ан. 16). Воно відливалось за восковою моделлю (сліди з'єднання — клеєний модельний шов) у глиняній формі й ковальській доробці не піддавалося. Кількість окису міді свідчить про погано розкислений метал.

Обстеження поверхонь «музичних інструментів» дало досить багато інформації до розуміння технології їхнього виготовлення. На внутрішній поверхні великого кільця помітні чотири невеличкі (0,4—0,5 см) отвори з характерними напливами навколо них (рис. 3, 1). Зрозуміло, що це отвори від штифтів, які утримували стрижень. Отже, вироби відливалися за восковою моделлю у порожнинній ливарній формі. Для отримання такої форми необхідно було виготовити стрижень, щоб відтворити внутрішню поверхню литва. Зазвичай у таких випадках використовується глина. Складність тут полягає в тому, що встановити матеріал стрижня для ливарної форми «музичних інструментів» з цілковитою впевненістю неможливо. Тому раніше я вважала за аналогією із жезлами-«стилетами» (опис див. нижче), що стрижень тут теж може бути дерев'яним. І лише після прискіпливого обстеження обох виробів утвердилася в думці, що матеріалом для виготовлення стрижня слугувала все ж таки глина. Вона так і лишилася всередині кільця.

Щоб стрижень під час виплавки воску не осідав на стінки форми, всередині малого кола в стрижень навхрест були вставлені два штифти, ймовірно, металеві. Далі майстер наніс шар воску (~0,2 см), що точно відповідав конфігурації майбутнього виробу.

Потім модель заформовувалась у глину, висушувалася, віск виплавлявся і форма заливалася металом (рис. 13). Розбивши форму й видаливши штифти, майстер відполірував кільця й наніс орнамент, а потім приступив до доливання семи невеликих кілець за восковими моделями. Місця з'єднань двох кінців воскових стриженьків помітні на виливках. Чи відливалися ці кільця одночасно, чи кожне окремо, подібно вудилам з кург. 37, невідомо, бо на спектральний аналіз пробу взято лише з одного кільця.

Із кургану 16 походять два вироби, які зовнішнім виглядом дуже нагадують шпильки, але масивніші (рис. 14, 1). Навершя — біконічної форми, нижче розташоване перехрестя з чотирьох виступів-протуберанців. Усередині вироби порожнинні більше, ніж на 2/3 довжини. Дві третини площі виробів прикрашені гравійованим «ялинковим» орнамен-

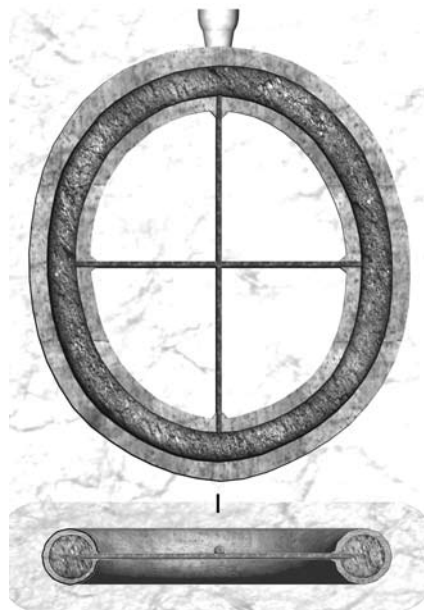


Рис. 13. Реконструкція ливарної форми «музичного інструменту»: 1 — бронза, яка заповнила пустоти витопленої воскової моделі; 2 — глиняний стрижень; 3 — штифти; 4 — глина

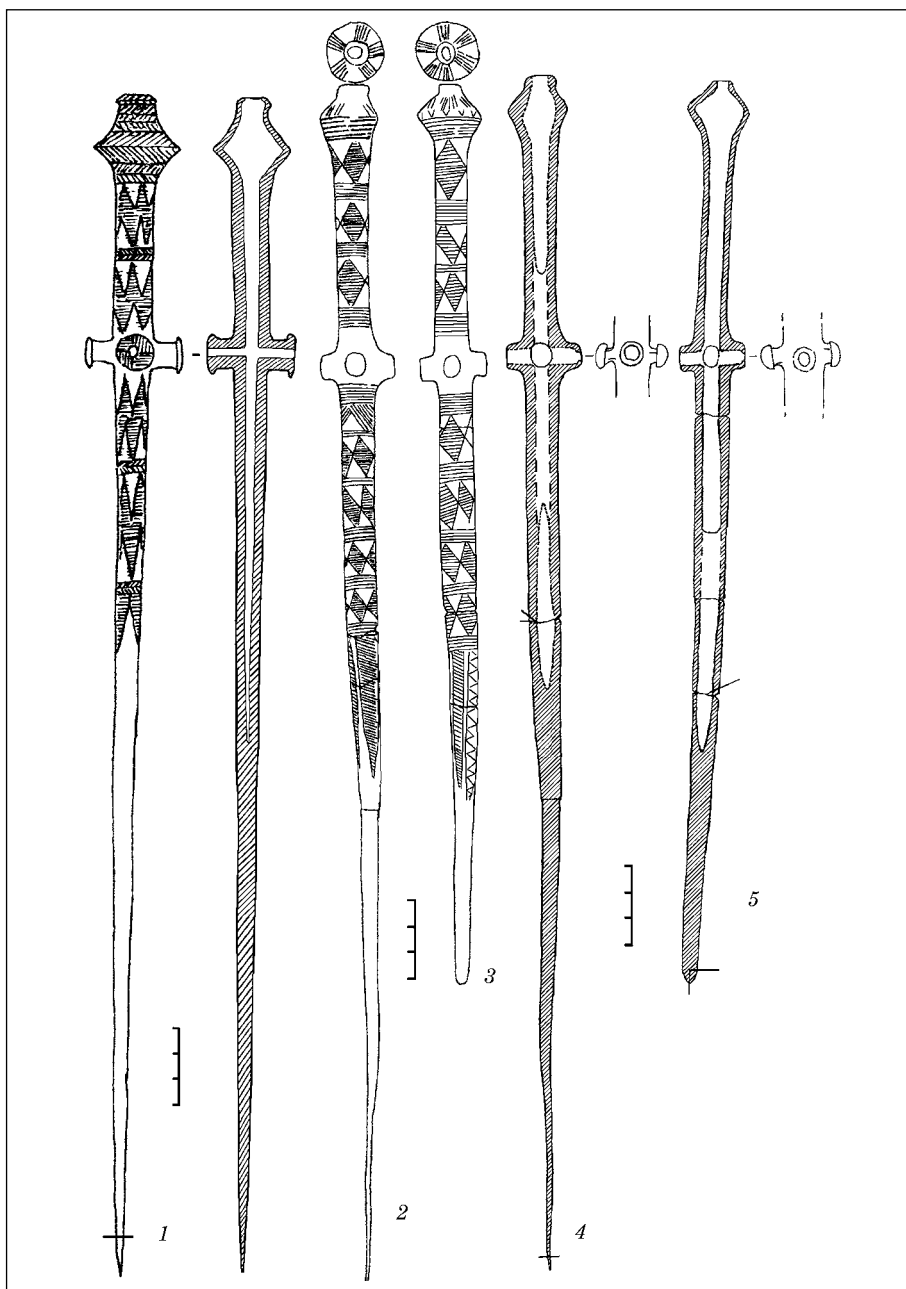


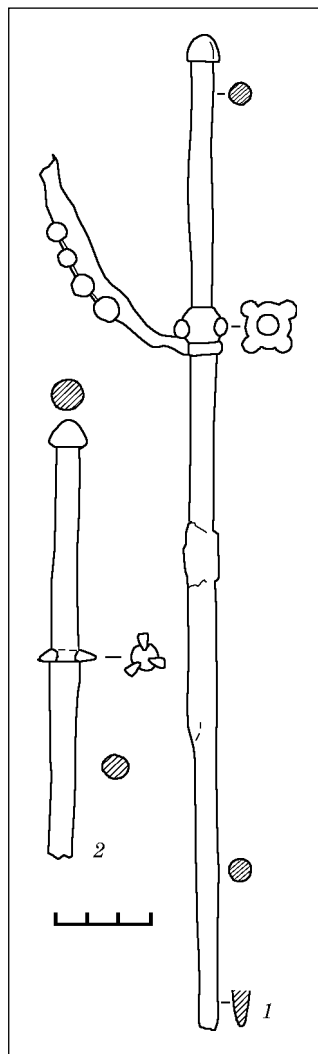
Рис. 14. Жезли-«стилети» з позначеними місцями вирізаних проб: 1 — Гордіївка, кург. 16, ан. 51; 2—5 — НМІУ, ан. 117, 118

Рис. 15. Кинджали-стилети зі Ст. Ахмиловського могильника (анан'їнська культура): 1 — пох. 500; 2 — пох. 576

том і заштрихованими гострокутними зигзагами. На сьогодні науковці схилиються до того, що ці предмети об'єднують в собі владні та сакральні функції [Ключко Л., 2003, с. 28; Гошко, 2005, с. 237; Лисенко, Лисенко С., Якубенко, 2006, с. 48]. На мій погляд, про можливе використання цих виробів як особливої зброї може свідчити сама їхня форма з чітко вираженим руків'ям і перехрестям [Гошко, 2005, с. 235—240].

В інтернеті на сайті «Холодное оружие и вооружение: ножи, мечи (sword), топоры и кинжалы» є цікава стаття «Стилет: мрачное оружие с богатой историей» [<http://bladeist.ru/page-id-265.html>]. Думаю, тут доречно буде навести з неї опис стилета. Це — різновид кинджала з тонким вузьким клинком і прямим перехрестям. Він має дуже вузьке лезо з овальним, круглим та ін. перерізом. Руків'я зазвичай металеве. В середньому довжина сягає 20—25 см. Чим же вирізняється стилет? По-перше, — ідеально збалансованим лезом і руків'ям, причому лезо має бути трохи важчим. По-друге — аеродинамічною формою, яка нагадує стрілу чи дротик. По-третє, на вершні руків'я має розширену форму для зручності. Таким чином, довжина руків'я на наших жезлах-«стилетах» дозволяє людині з широкою долонею тримати їх прямим захватом, а з вузькою — використовувати упор в основі долоні. Така форма руків'я дозволяла провести сильний к'юлий удар, значно зменшуючи травми кисті. Порожнина всередині знижує сумарну вагу виробу майже вдвічі, що полегшує різноманітні рухи.

І хоч стилети відомих тепер обрисів з'явилися у XV ст. в Італії, та можна стверджувати, що така зброя була відомою задовго до цього. Як приклад, наведемо шпилькоподібні кинджали-стилети (рис. 15), знайдені в 5 екз. у комплексах Старшого Ахмиловського могильника та 1 екз. у пох. 98 Акозинського могильника Анан'їнської культури. Два з них біметалеві [Халиков, 1977, рис. 66]. Усі шість предметів знайдені в похованнях чоловіків-воїнів, причому в тому самому положенні (біля пояса зліва



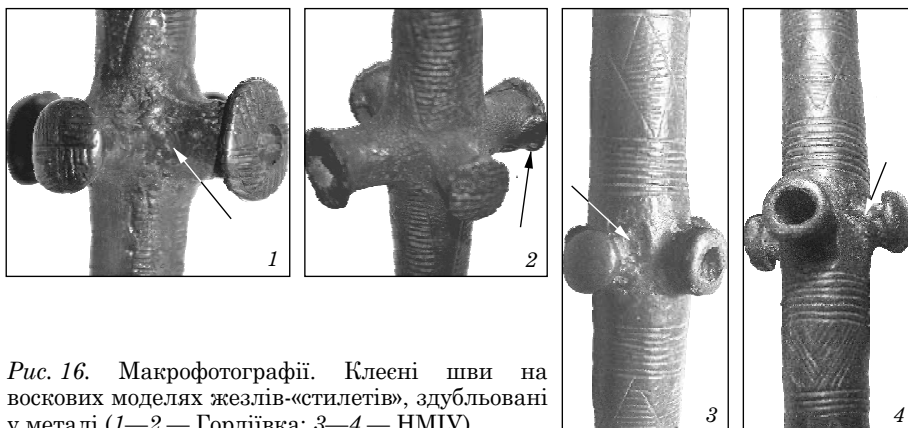


Рис. 16. Макрофотографії. Клеєні шви на воскових моделях жезлів-«стилетів», здубльовані у металі (1—2 — Гордіївка; 3—4 — НМІУ)

чи разом з іншою зброєю в узголів'ї), що й інші типи кинджалів [Халиков, 1977, с. 174—175].

Металографічне дослідження одного з гордіївських жезлів-«стилетів» проведено на поздовжньому перерізі вістря (ан. 51). Мікроструктура — цілком рекристалізована поліедрична. Усередині поліедрів помітні численні лінії зсуву, а евтектоїд $\alpha + \text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$ дуже витягнутий у поздовжньому напрямку. Таким чином відливалася заготовка, у верхній частині ідентична готовому виробу. Ковальська доробка була формувальною й спрямовувалася на витягування вістря.

Спостереження поверхні виробів привело до висновку про виливання обох предметів за індивідуальними восковими моделями. Простежені залишки деревини вглибині одного з виробів свідчать про формування воскової моделі на дерев'яній основі. В першій публікації, описуючи жезли-«стилети», автори не звернули належної уваги на таку важливу, на мій погляд, технологічну деталь, як глибина внутрішньої порожнини. З того часу в усіх роботах вона зображена тільки до протуберанців, хоч насправді в одного сягає глибини 23 см [Goshko, 1999, s. 190], а в іншого — близько 21,5 см.

На протуберанцях у місці переходу їх у щитки спостерігаються здубльовані в металі клеєні шви на восковій моделі (рис. 16, 1—2).

Отже, спочатку за восковою моделлю відливалася заготовка, у верхній частині ідентична готовому виробу. Ковальська доробка спрямовувалася лише на витягування вістря й була формувальною. Ступінь обтискання металу сягав близько 60—90 % (форма й характер розташування включень, відсутність залишкових дендритів). Ковальські операції виконувалися по гарячому металу при температурі 700 °С. Орнамент гравіювався на готовому виробі. Судячи з відбитків, використовувалися два види інструментів з різною шириною робочого краю.

3.2. ЖЕЗЛИ-«СТИЛЕТИ» З ФОНДІВ НМІУ

У фондах Національного музею історії України були віднайдені два вироби (рис. 14, 2—3), аналогічні гордіївським жезлам-«стилєтам» [Гошко, 2005, с. 231—245; Лисенко, Лисенко С., Якубенко, 2006, с. 42—51]. Місце їхньої знахідки невідоме. Один виріб розламаний на 3 фрагменти, інший — на 4. Вироби мають круглий перетин, із біконічним навершям і чотирма протуберанцями-виступами у верхній частині, розташованими навхрест. Обидва всередині мають порожнини. Поверхня прикрашена гравійованим орнаментом.

Описанню жезлів-«стилєтів» уже присвячена не одна праця, тому зупинюся лише на деяких важливих технологічних деталях. Від навершя у глибину на 8 см одного з них конусом сходять порожнина. Порожнина повторює зовнішні контури та в місці ребра навершя різко розширюється. Тут були знайдені залишки перегорілого органічного матеріалу. Нижче на відстані 10,6 см хрестоподібно розташовані чотири протуберанці: два — з наскрізним отвором і два — з грибоподібними голівками. Посередині тулуба виріб має ще одну веретеноподібну порожнину довжиною 7,2 см і діаметром 0,7 см у місці найбільшого розширення. Всі внутрішні поверхні нерівні, горбкуваті, з напливами.

Нижня частина стрижня виробу витягнута куванням з великим ступенем деформації, що помітно навіть неозброєним оком. Вся поверхня виробу крім прокованої частини вкрита орнаментом, що складається з поясів, горизонтально заштрихованих ромбів, розділених горизонтальними смугами та ярусу з паркетної штриховки. Навершя зверху прикрашають п'ять смуг з п'яти ліній кожна, що променями розходяться від валика.

Візуальне вивчення орнаменту дозволило встановити таку послідовність у його нанесенні:

- поверхня розбивалася по довжині на сектори смугами з 3-6 паралельно розташованих ліній;
- гравіювалися ромби;
- наносилася штриховка на ромби.

Саме про таку послідовність свідчать накладання ліній, що утворюють ромби, на паралельні лінії та штриховку ромбів на їхній контур. Для гравіювання застосовані два види штихелів: один — для поперечних ліній із товстішою робочою поверхнею і другий, — тонший, — для прокреслювання ромбів із штриховкою.

Другий виріб — завдовжки 35,4 см. Морфологічно він дуже схожий на описаний вище, проте має деякі несуттєві відмінності, — коротше, нековане на перший погляд вістря та невелику розбіжність в орнаментатії. Виріб має порожнину, глибина якої сягає 26,3 см. На невеликому проміжку вона переривається. Якщо дивитися на зламах, то видно, що порожнина проходить не по центру, а трохи зміщена відносно центральної осі. Внутрішня поверхня нерівна, горбкувата.

Орнамент виконано в стилі, подібному до стилю першого виробу. Тільки найнижчий пояс складається з трьох прямовисних смуг: дві — з навскісною штриховкою, одна — у вигляді зигзагу ¹.

Для кожного виробу окремо була сформована воскова модель на дерев'яній основі (залишки обгорілої деревини всередині, нерівна, горбувата, з затіканнями металу внутрішня поверхня). Для отримання протуберанців із отвором перпендикулярно в центральний стрижень був уставлений коротший і з іншого матеріалу, бо внутрішня поверхня протуберанців гладенька. Кінці його заформовувалися у глину. І, таким чином, вся стрижнева конструкція утримувалася у вертикальному положенні в порожнині після виплавлення воску. Голівки двох інших протуберанців отримані притисканням воску на моделі. На відливках помітні клеєні шви, що були на восковій моделі (грибоподібні протуберанці), сліди прибирання зайвого воску й загладжування поверхні.

Після виплавлення моделі зверху, від наверхня заливався метал. Через те, що стрижень виконує свою функцію у більш важких температурних умовах, коли вся його поверхня омивається розплавленим металом, він перегорів. Свідченням є вже згадана вище нерівна, горбувата внутрішня поверхня відливки, а в деяких місцях порожнина повністю заповнена металом. У другому виробі на зламі спостерігається перекошення стрижня.

Експериментальні роботи А.С. Саврасова підтверджують припущення про використання дерев'яного стрижня. «Спроба застосування стрижня з деревини була зроблена через те, що виникли труднощі при видаленні з литва глиняних стрижнів. Метал до стрижнів не пригорав, бо вони були обмазані крейдяною суспензією, тим не менше вони в литві затискалися. Для видалення стрижнів було необхідно повністю їх роздробити. Стрижень з дерева видалявся легко, але при литті виділяв багато газів, а на втулці липав увесь складний рельєф обвугленої деревини. Все це вело до браку в литві» (переклад мій — Т. Г.) [Саврасов, 1996, с. 150].

Велика кількість Cu_2O та пор на шліфах, що були вирізані з середини тулуба, та відсутність його на вістрях може свідчити або про погано розкислений метал, або про попадання кисню при заливанні в форму, або про використання дерев'яного стрижня (реакція дерева на розплавлений метал: обвуглювання й виділення кисню, що розчинився у металі при його застиганні). До речі, погану збереженість виробів теж можна пояснити наявністю кисню, бо росте чутливість металу до холодноламокості. Часточки Cu_2O розташовуються на межах зерен, що й спричиняє крихкість [Циммерман, Гюнтер, 1982, с. 49].

У обох випадках відливки піддавалися куванню, яке було направлене на витягування й зміцнення вістря, свідченням чому є значне збільшення тут твердості. Цей етап роботи відображають структури на шліфах. Кування обох виробів провадилося при невисокій температурі з досить високим ступенем обтиску (відсутність первинної вилитої структури, евтек-

¹ У моїй статті 2005 р. в орнаментациі допущені помилки. Детальніше орнамент поданий у роботі [Лисенко, Лисенко, Якубенко, 2006].

тоїд витягнутий ланцюжками, але дуже подрібнений). Наявність великої кількості двійників сегментоподібної форми та ліній плину в поліедрах, як у великих, так і в малих, указують на кування, що закінчувалося по застиглому металу. Цілком можливо, що вістря цього виробу набуло такого вигляду після ремонтування зламаного в процесі експлуатації, бо воно в цілому не відповідає загальному вигляду виробу.

Появу ліній зсуву на самому краєчку вістря другого виробу та відсутність їх усередині можна пояснити характером його використання — проколюванням якогось твердого матеріалу.

Орнамент займає 2/3 поверхні виробів. Він був виконаний у техніці гравіювання в одному стилі на обох виробах.

Отже, ми маємо чотири подібні за призначенням предмети. Але за якістю гордіївські жезли-«стилети» все ж таки відрізняються від жезлів-«стилетів» із НМІУ. Струнки обриси, чітке центрування дерев'яного стрижня без сумніву свідчать про високий кваліфікаційний рівень гордіївського майстра-ливарника. Натомість, численний ливарний брак, відстежений на виробах із НМІУ, наводить на думку про малу практику майстра у використанні техніки лиття за порожнинною моделлю в одноразовій глиняній ливарній формі. Якщо ж оцінювати рівень майстерності виконання воскової моделі жезлів-«стилетів» із НМІУ, то їхня зовнішня поверхня зроблена акуратніше (краще оброблені модельні шви).

Отже, підводячи ризик під технологічним дослідженням металевого інвентаря з Гордіївського могильника, можна сказати, що всі вироби виготовлені з вилитих заготовок, які потім допрацьовувалися куванням або всього корпусу виробу (6 екз.), або робочої ділянки (15 екз.). Тринадцять виробів після виливання зовсім не піддавалися ковальській доробці.

Температурні режими — досить різноманітні. Це — холодне кування — 3 екз.; неповне гаряче (400—500 °C) — 3 екз.; гаряче — при температурі 500—600 °C — 18 екз.; кування при передплавильній температурі (700 °C) — 8 екз.; холодне з відпалюваннями (500—600 °C, 700 °C) — 8 екз.; високотемпературне відпалювання, яке поєднується або з напівгарячим куванням при температурі 400—430 °C, або з гарячим (700 °C) — 2 екз.; поєднання гарячого й холодного кування на різних ділянках виробу — 3 екз.

Майстри використовували фігурне кування на ковадлах із жолобками, на конусних і циліндричних оправках, прошивання отворів. Із великою віртуозністю майстри-ливарники володіли технікою лиття за восковими моделями (методом доливання, зі вставними стрижнями, за порожнинною восковою моделлю). Слід також зазначити високий рівень майстерності в оздобленні виробів — використанні такого технічного прийому, як гравіювання.

Було зафіксовано декілька різновидів ливарних форм, які відрізняються одна від одної конструкцією та матеріалом. За конструкцією це — двостулкові: закриті (4 екз.) та зі вставним сердечником (1 екз.), і глиняні одноразові, виконані за восковою моделлю — 16 екз.

Ливарний брак у вигляді недоливу та ковальський — тріщини напруги й червоноламкості — виявлено на 14 виробах.

3.3. ВИРОБИ ТШИНЕЦЬКОЇ ТА КОМАРІВСЬКОЇ КУЛЬТУР

Функціонування Гордіївського могильника припадає на кінець XV — XI ст. до н. е. На різних етапах комплексу могильника синхронізуються з навколишніми культурами. Тому, безумовно, виникла потреба з'ясувати чи пов'язана гордіївська металообробка з місцевим виробництвом; чи є в них спільні риси та які розбіжності.

Територіально дослідження охоплює Правобережну Лісостепову смугу та Полісся, заселені племенами тшинецької та комарівської культур, культури Ноуа, білогрудівської та висоцької культур. На превеликий жаль, у зібраній для аналізу колекції не всі названі культури достатньо представлені металом. Особливо це стосується білогрудівських пам'яток. У моему розпорядженні немає металевих виробів, належність яких до білогрудівської культури не викликала б сумнівів. Загалом, колекція розподіляється наступним чином: тшинецьких та комарівських виробів — 18 екз., культури Ноуа — 32 екз., висоцької — 18 екз.

Перейдемо тепер до характеристики **виробів тшинецької та комарівської культур**. Для технологічного дослідження були відібрані вироби з наступних пам'яток: зі зруйнованого поховання у с. Кормин Рівненського р-ну Рівненської обл. (фонди РКМ) — 1 екз., Войцехівського курганного могильника ² [Лагодовська, 1956, с. 71, рис. 2] — 1 екз., з колективного поховання у кургані біля м. Нетішин Славутського р-ну Хмельницької обл. [Березанська, Гошко, Самолюк, 2004, с. 111—125] — 7 екз. та з курганно-ґрунтового могильника біля с. Малополовецьке Фастівського р-ну Київської обл. [Кравченко, Шишкін та ін., 1993, с. 73; Лисенко, 1998, рис. 3; 17, 6; Лисенко, Лисенко Св., 2001, рис. 6—11; Гошко, 2004, с. 103—110] — 9 екз.

Переважну більшість проаналізованих виробів становлять прикраси — браслети, шпильки та пронизки; зі зброї — 1 наконечник списа (рис. 17).

Браслети представлені дев'ятьма екземплярами: з Кормина (рис. 17, 7), Войцехівки (рис. 17, 8), Нетішина (рис. 17, 1, 4) та Малополовецького-3 (рис. 17, 2, 3). Браслети можна розділити на багатовиткові з сегментоподібним перерізом дроту (4 екз.) та підтрикутним (1 екз.); браслети одновиткові зі спіральними щитками (4 екз.) з круглого в перерізі дроту. Незалежно від типу ці прикраси об'єднує, як правило, один метод виготовлення, а саме — кування вилитої заготовки-пружка на фігурних ковадлах із сегментоподібним (3 екз.) та конусним у перерізі жолобом (1 екз.). Ступінь деформації був високим — 60—80 % та 100 %. Температурний режим кування — доволі різноманітний. Так, наприклад, браслети з Нетішина й Войцехівки кувалися при температурах, нижчих за 600 °С, із Малополовецького-3 — при 600 °С, а екземпляр

² Один із двох браслетів, що зберігаються в Київському археологічному музеї.

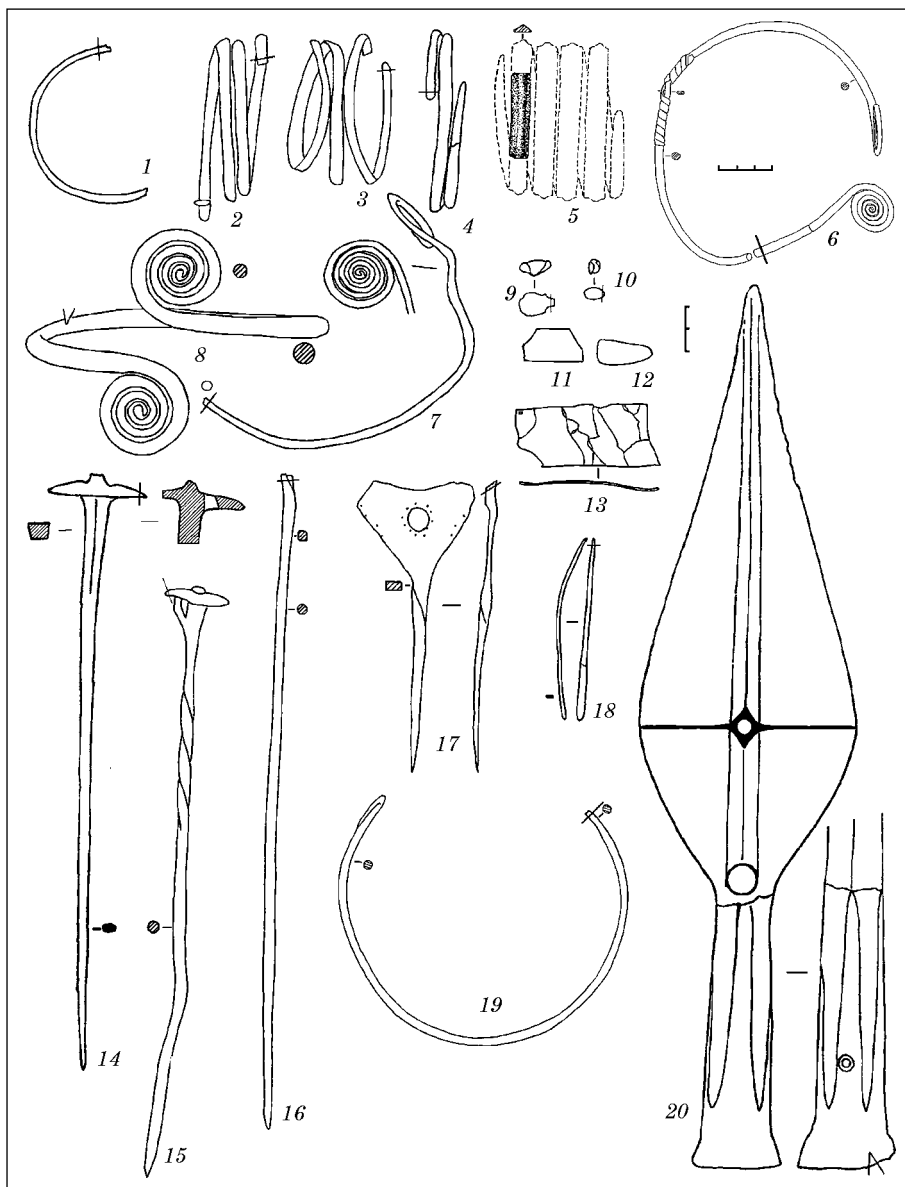


Рис. 17 Досліджені вироби тшинецької та комарівської культур: 1 — Нетішин, ан. 105; 2—3 — Малополовецьке, пох. 1, ан. 72; пох. 1, ан. 73; 4 — Нетішин, ан. 106; 5—6 — Малополовецьке, пох. 63, ан. 100; пох. 68, ан. 101; 7 — Кормин, ан. 79; 8 — Войцехівка, ан. 75; 9—14 — Нетішин, ан. 108; 109; 104; 15—17 — Малополовецьке, пох. 1, ан. 74; пох. 63, ан. 102; пох. 72, ан. 98; 18 — Нетішин, ан. 103; 19 — Малополовецьке, пох. 63, ан. 99; 20 — Нетішин, ан. 107

із Кормина кувався при 700 °С. Зовнішньо ці прикраси також відрізняються як товщиною дроту, так і його якістю. У шести випадках із семи на шліфах наявні ковальські дефекти — тріщини напрути (з Нетішина — обидва браслети), механічні тріщини (з Малополовецького — два браслети).

Тепер звернемося до окремих технологічних деталей виготовлення браслетів. На металографічному шліфі, вирізаному з великого браслета зі спіральними щитками з Малополовецького-3 (пох. 68, ан. 101), наявна невелика кількість дрібного евтектоїду, ледь видовженого в напрямку деформації металу. За звичайних умов затвердіння литва помітна під мікроскопом кількість евтектоїда з'являється при концентраціях олова 6—8 %. Вміст олова в цьому металі становить 1,7 %. У нашому випадку його появу можна пояснити невеликою швидкістю охолодження литва — 2—4° С/хв [Литейные бронзы, 1973, с. 15].

Дуже повільне охолодження заготовки відбулося й на структурі другого браслета (пох. 63, ан. 99) з Малополовецького-3, викуваного з круглого в перерізі дроту. На початку завитка дріт набуває прямокутного перерізу. Так само, як і в попередньому браслеті, метал має низький вміст олова (1,1 %). Отже, й у цьому разі заготовка була дуже повільно охолоджена. Браслет з пох. 63 — єдина дротяна прикраса, виготовлена вільним куванням. Дріт має нерівномірний переріз та характерну форму евтектоїда. Відсутність попередньої вилитої структури, середні розміри зерна та дрібні павутиноподібні тріщинки вказують на кування при температурі близько 600 °С зі ступенем обтиску до 100 %. Кування завершувалося по застиглому металу (лінії зсуву).

Дріт браслета зі спіральними щитками з Войцехівського курганного могильника (ан. 75) рівномірний за товщиною, плавно звужується до кінця на щитках. Прискіпливе вивчення його поверхні навело на думку про застосування майстром ковадел двох видів: одного — з жолобом з рівнобіжними стінками для виготовлення центральної частини дроту, другого — з конусним жолобом для його плавного звуження. На браслеті місце переходу від кування на ковадлі одного виду до іншого досить добре помітне.

До технологічних спостережень хочеться додати цікаву деталь, що її вдалося простежити на багатовитковому стрічковому браслеті з чітко виділеною нервюрою посередині стрічки з Малополовецького [Лисенко, Лисенко Св., 2001, с. 154, рис. 9], хоча металографічний аналіз не провадився. Металева стрічка має хвилясті краї, а нервюра не завжди проходить по її центру. Таким чином, можна стверджувати, що прутко-заготовка був більшого діаметра, ніж треба, й не вміщувався в жолобок на ковадлі. Під час кування метал заповнив жолобок і його залишки були розплескані по рівній поверхні ковадла. При цьому майстру не вдалося проконтролювати довільне розтікання металу по ковадлу, внаслідок чого поздовжня нервюра вийшла зміщеною відносно центральної осі стрічки, а краї стрічки — нерівними.

Шпильки в колекції тшинецьких і комарівських металевих виробів представлені чотирма екземплярами, знайденими в похованнях у Малополовецькому-3 (пох. 1, 63, 72) та Нетішині (1 екз.). Одна з них має пластинчасту голівку, в інших голівки об'ємні.

Шпилька з Малополовецького, пох. 1 (ан. 74), — зі цвяхоподібною голівкою та вушком під нею (рис. 17, 15). Огляд її разом із металографічним дослідженням дає можливість стверджувати, що заготовка виробу була вилита в двостулковій формі, бо на голівці, вушку та на самій голці залишилися ливарні шви. Від вушка донизу по голці добре простежується тріщина «червоноламкості», що пояснюється наявністю в металі великої кількості крихких включень свинцю (1,4—3 %). Метал тріснув, коли його нагріли, щоб перевернути голку в її верхній частині. Шпилька відливалася із квадратним у перерізі стрижнем, а потім, щоб зробити його круглим майстер обпиляв стрижень (паралельні горизонтальні борозенки). Полієдрична структура на голівці утворилася внаслідок нагрівання металу до 600 °C і витримки впродовж невеликого проміжку часу при цій температурі (тобто, внаслідок неповного гомогенізаційного відпалювання). Ця операція була пов'язана з роботами над оформленням голки. Лінії зсуву свідчать про холодне проковування голівки, яке, проте, не викликало значної деформації структури. Ступінь обтиску тут досягав 20 %.

Шпилька з Малополовецького, пох. 72 (ан. 98), — із трикутною пластинчастою голівкою-щитком та перевернутим у верхній частині стрижнем. Угорі стрижень має прямокутний переріз, на голці — круглий. Голівка орнаментована пуансонним орнаментом у вигляді крупної «перлини» в центрі та десятками крапками навколо неї. Вдоль нижніх боків щитка зліва й справа нанесено по 5 крапок (рис. 17, 17).

По всьому полю шліфа рівномірно розсіяні дрібні вкраплення свинцю. Такий вигляд свинець має при швидкому охолодженні. Отже, можна припустити використання теплопровідної форми для відливання заготовки. Вміст свинцю в металі становить 0,17 %, отже, гаряче кування такого сплаву неминуче викликало б розтріскування, тому кувати можна було лише в холодному стані з проміжковими відпалюваннями при температурі, не нижчій за 500 °C, коли проходить пом'якшення сплаву й формується рекристалізована структура.

Кування на голівці мало формувальний характер і було спрямоване на надання їй ромбічної форми. Завершальне кування провадилося по охололому металу, що призвело до появи ліній зсуву. Пуансонний орнамент наносився методом штампування, причому заздалегідь не розмічався, бо спостерігається деяка асиметричність у розташуванні всіх його елементів. Ковальські роботи над стрижнем були спрямовані на перевертання його навколо своєї осі та загострення.

Шпилька з Малополовецького, пох. 63 (ан. 102), від якої зберігся тільки масивний стрижень (у середній частині чотиригранний, перевертаний навколо своєї осі, а нижче округлий), була виготовлена з міді з помітними домішками Ca, Mg, Ti, Ni, Bi, As, Ag (рис. 17, 16). На жаль, неможливість

дослідити структуру на вістрі та відсутність голівки шпильки дуже обмежують можливість реконструкції процесу її виготовлення. Ймовірніше за все, ковальські роботи були направлені на оформлення всього стрижня, а саме — витягування й надання йому квадратного перерізу в центрі (двійники рекристалізації), перекручування, можливо, без додаткового нагрівання (чисельні лінії зсуву в зернах) і загострення вістря.

Цвяхоподібна шпилька з Нетішина (ан. 104) має пласку круглу голівку з двома отворами та зверху трохи зміщений убік виступ, що виглядає як продовження стрижня. Переріз стрижня угорі — квадратний, у середній та нижній частині — круглий (рис. 17, 14). Шпилька відлита в двостулковій ливарній формі (залишки ливарних швів на голівці та верхній частині голки) з прямокутною у розрізі голкою. Ковальські роботи були направлені на витягування й загострення голки, а також на пробивання отворів у голівці. Менший отвір, що знаходиться впритул до стрижня, — овальної форми (д — 0,4 см). Його краї знизу голівки закруглені, а зверху — гострі. Тобто, в цьому випадку застосовано однобічне пробивання отвору суцільним конусним пробійником. Відтяжка металу на краях отвору, що неминуче з'являється при таких операціях, скоріше за все була обточена, на що вказують гострі краї отвору зверху голівки.

Для пробивання більшого отвору застосовано двобічне пробивання, що підтверджується металографічно. Закруглені краї отвору з двох боків, відсутність холодно-деформованої структури, залишкова дендритна ліквіація, форма включень є свідченням того, що ковальські роботи для пробивання отворів у голівці провадилися по нагрітому металу. Кування голки було направлено на її витягування й загострення.

Отже, технологія шпильок залежала від кінцевої форми. Так, наприклад, екземпляри зі цвяхоподібними голівками виливалися у двобічних формах із квадратними в перерізі стрижнями. Окрема увага майстрів була направлена на оформлення країв голівки й пробивання отворів (ан. 104), перекручування (ан. 74, 102) та витягування стрижня (ан. 102, 104).

До категорії *дрібних прикрас* належать чотири пронизки з Нетішина. Їх на малюнку показано в розгорнутому вигляді (рис. 17, 9—12). Вони виготовлені з тонких (0,1 см) мідних пластин довільно взятої форми, закручених у трубочки. Їхні розміри — $2,2 \times 1,2$; 2×2 ; $1,6 \times 1,1$; $0,9 \times 0,6$ см. Пластини потоншуються на краях. Через поганий стан металу визначено хімічний склад тільки однієї з них (ан. 108). Матеріалом для виготовлення цієї пронизки стала металургійна плавлена мідь з великою кількістю домішок Ni, V, Ag, Sb, Sn, P, As. Металографічно вивчено дві пронизки — ан. 108, 109. Розміри зерен у поєднанні з підвищеними показниками мікротвердості металу, безумовно свідчать про гаряче кування заготовки в інтервалах температур 600—800 °C (після експериментального відпалювання зразка № 109 на протязі однієї години початкова твердість значно знизилася — з 95,6 до 52,83 кг/мм²). Закручування у трубочки провадилося в гарячому стані, бо сліди холодної деформації на обох шліфах відсутні.

Фрагмент, що належить виробу невідомого призначення, — трохи ширший і закруглений з одного боку, а з іншого — звужений (ан. 103). Його

довжина — 7,5 см, товщина — 0,1—0,2 см (рис. 17, 18). Нерівна поверхня свідчить про вільне кування. Наявність у металі свинцю (0,2 %) та недостатня кількість домішок, що нейтралізували б його негативний вплив, унеможливило гаряче кування. Невеликі розміри полієдрів у поєднанні з подібним евтектоїдом указують на застосування вільного кування заготовки в холодному стані з подальшим відпалюванням при невисокій температурі. Ступінь обтискування досягав 80 % (відсутність дендритної структури, тріщини напруги на поверхні виробу).

У Нетішині на черепі небіжчика знайдено фрагмент пластини завдовжки 5,1 см та завширшки 2,5—2,7 см, що, ймовірно, була прикріплена до головного убору. Товщина пластини — 0,1 см. В одному з кутів уцілілого фрагменту пробито прямокутний отвір $0,6 \times 0,1$ см (рис. 17, 13). С.С. Березанська вважає її діадемою [Березанська, Гошко, Самолук, 2004, с. 118]. Погана збереженість дозволила вивчити її тільки візуально. За кольором металу вона мідна. Рівна поверхня й однакова товщина пластини вказують на гаряче кування з м'якою накладкою. Невелике потоншення металу на краях утворилося внаслідок обрізування зайвого металу (до речі, так само, як і на пронизках) чи нерівностей, що неминуче виникають на краю пластин при вільному куванні. В кутку торця смужки пробита прямокутна дірочка, по краю якої проходить трохи відтягнутий убік виступаючий кант металу. З цього випливає, що прошивку металу провадили інструментом із прямокутним робочим кінцем на ковадлі з отвором.

Зброя, як уже говорилося вище, представлена лише одним наконечником списа з поховання біля м. Нетішин (ан. 107). При візуальному огляді уздовж ребра на втулці виробу помітні відбитки слідів полірування форми. Наконечник має розширене в нижній частині перо з прямими лезами. Втулка на кінці різко розширюється, утворюючи манжет. Та частина, що проходить уздовж пера, має з обох боків по ребру, що надає їй у цьому місці ромбоподібного перерізу. На втулці є два наскрізні отвори конусної форми з розширенням назовні, один навпроти одного (рис. 17, 20).

Наконечник списа відлито в кам'яній (сліди полірування стулок форми), майстерно вирізаній двостулковій ливарній формі з добре підігнаними стулками (товщина пера наконечника — приблизно 0,15 см) і вставним сердечником довжиною 25 см. На втулці є два отвори від штифтів для утримання сердечника у вертикальному положенні при відливанні наконечника. Метал у форму заливався з боку втулки. З огляду на конусну форму отворів можна припустити, що вони були розширені ззовні. Тоді гвіздки, що закріплювали наконечник на деревку, добре ховалися б у паз і не виступали б над поверхнею втулки. Напливи, що утворюються навколо штифта в процесі лиття, майстер міг зішліфувати, щоб не заважали вкладанню деревка у втулку.

Ще гарячим литво було загартовано в воді (в багатьох зернах спостерігається голчаста фаза). Фазові перетворення такого роду проходять при швидкому охолодженні в процесі загартовування у воді [Циммерман, Гюнтер, 1982, с. 306]. Вважаю, поясненням може бути бажання майстра

зменшити крихкість металу з високим вмістом олова (20,5 %). Це припущення підтверджується дослідженнями І.Г. Равич із вивчення впливу швидкості охолодження на мікротвердість [Равич, 1983, с. 141—142].

Підведемо підсумки технологічному вивченню тшинецького й комарівського металу. Переважна більшість виробів виконана шляхом формувального кування вилитих заготовок. Прийоми обробки заготовок відносяться до різноманітних ковальських операцій, серед яких дуже поширене вільне кування, а саме — витягування, розплющування, згинання, рубання, прошивання отворів однобічне та двобічне. При виробництві прикрас із дроту найчастіше застосовувалося гаряче кування на жолобчастих ковадлах (фігурне) різного профілю із обтисками або без них. У арсеналі технологічних прийомів майстрів цього часу були обточування та закручування.

Вироби орнаментом прикрашалися зрідка. Єдина шпилька орнаментована чеканкою. При цьому використані два види чеканів з різними за шириною робочими кінцями.

Не вдалося відстежити єдині температурні режими для всіх пам'яток.

Із загальної маси якісно вирізняється наконечник списа. Такий тип зброї більше невідомий у пам'ятках як тшинецької, так і комарівської культур [Березанська, Гошко, Самолюк, 2000, с. 118]. Специфічна форма й методи виготовлення дають підстави шукати його походження не в місцевому середовищі.

3.4. ВИРОБИ КУЛЬТУРИ НОУА

Досліджено вісім бронзових виробів культури Ноуа (рис. 18), п'ятеро з яких знайдені на невеликому поселенні Воля-IV, що розташоване на околицях с. Воля Тербовлянського р-ну Тернопільської обл. Частина з них — підйомний матеріал, частина походить з розкопів I і II [Ситник, 1990, с. 46, рис. 98, 1—5]. Матеріал зберігається у фондах Тернопільського краєзнавчого музею. В основному це — уламки прикрас: фрагмент шпильки, дротяний завиток, два фрагменти браслетів та проколка. До культури Ноуа відноситься й безпаспортний уламок ножа-бритви, що виставлений в експозиції музею [Гошко, 2006, с. 77—81]. Із Волинської обл. походять дві шпильки. Одна з них знайдена біля с. Голишів Луцького р-ну [Гошко, 2010, рис. В.4, 8; В.11, 3—4], інша — біля с. Лище Волинської обл. [Гошко, 2010, рис. В.4, 12; В.13, 3—5]. Обидві зберігаються в Луцькому краєзнавчому музеї.

До предметів домашнього вжитку належить уламок ножа-бритви та проколка з обома обламаними кінцями (рис. 18, 1). *Ніж* (ан. 82) вилито в однобічній теплопровідній формі (можливо, кам'яній). Після цього вся поверхня піддана значному проковуванню. На робочий край припадає найбільша деформація, що помітно зменшується на ділянках, віддалених від леза. Не викликає сумніву зміцнювальний характер деформації леза (зменшення твердості в напрямку спинки).

Рис. 18. Вироби культури Ноуа з позначеними місцями вирізаних проб: 1 — ТКМ, ан. 82; 2—7 — Воля-IV, ан. 92—96; 8 — Голишів, ан. 196; 9 — Лище, ан. 201

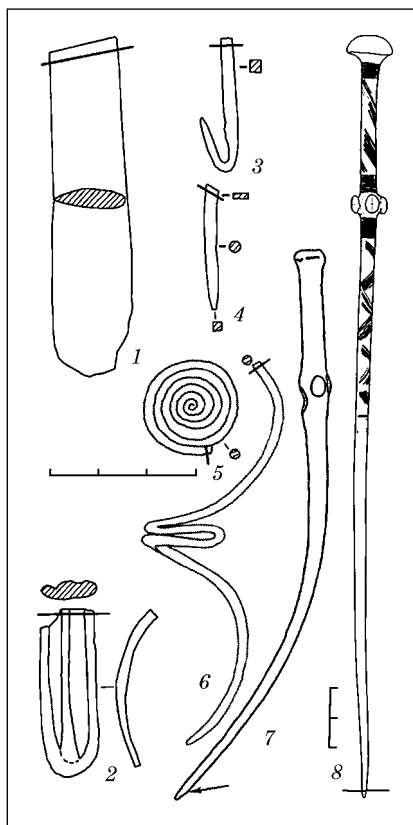
Фрагмент *проколки* — з квадратним перерізом з одного кінця, з круглим — посередині й прямокутним — на протилежному кінці (ан. 94). Довжина — 3 см (рис. 18, 4). Аналогічні вироби, але більші за розмірами, знайдені в похованнях Гордіївки. Виріб сформовано куванням вилитої заготовки при невисоких, нижчих 600°C , температурах (подрібненість евтектоїда). Правильний вибір майстром температурного режиму підтверджує підвищений вміст свинцю. Ступінь обтиску сягав 60 %, бо на шліфі повністю відсутня первинна вилита структура. Дещо розмитий вигляд поліедричної структури та значна кількість ліній зсуву всередині зерен указують на те, що кування завершувалося по застиглому металу.

Всі інші вироби належать до *прикрас*.

Фрагмент пластинчастого браслета з двома поздовжніми каннелюрами на поверхні, закруглений на кінці (ан. 92). Ширина — 1,2 см, товщина — 0,2 см (рис. 18, 2). Браслет був вилитий у двобічний теплопровідній формі (дрібні розміри дендритів). Про двобічну роз'ємну форму свідчить майже овальний переріз виробу з невеликим загостренням на вершині овалу, тобто у місцях стику двох стулок форми. Плавний загин браслета вказує на нагрівання вилитої заготовки перед її згинанням. Те, що нагрівання не відбилося на мікроструктурі, можна пояснити його нетривалістю та температурою, яка не перевищувала 600°C .

Фрагмент виробу (окулярноподібна фібула?) з круглого в перерізі дроту діаметром 0,2 см (ан. 95; рис. 18, 6). Для його виготовлення застосоване гаряче формувальне кування на фігурному ковадлі з накладкою (однакова товщина дроту).

Завиток із дроту круглого в перерізі діаметром 0,2 см (ан. 96; рис. 18, 5). Дріт виготовлено з попередньо вилитої заготовки шляхом гарячого кування (плавна витягнутість евтектоїдної фази) при температурі, вищій



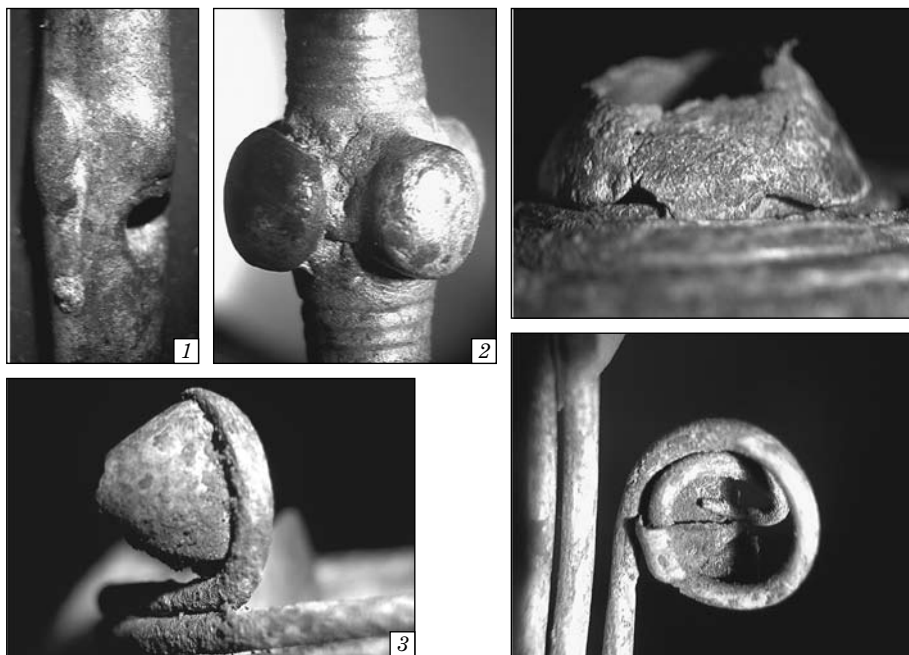


Рис. 19. Макрофотографії. Шпильки (культура Ноуа): 1 — розплавлена крапля воску під шишечкою (Голишів); 2 — клеєний шов на восковій моделі (Лище). Утримувачі волосся (висоцька культура): 3 — ан. 210, конус-щиток, вигляд збоку; 4 — ан. 212, вирізані краї конуса-щитка; 5 — ан. 212, кріплення конуса (зворотній бік)

600 °С (крупні розміри поліедрів та велика кількість двійників у них) зі ступенем обтискання до 80 % (форма евтектоїда).

Фрагмент шпильки чи гачка (ан. 93), з квадратним перерізом, на кінці загострений. Довжиною — 3,8 см, товщиною — 0,3 см (рис. 18, 3). З огляду на хімічний склад металу, де високий вміст свинцю (0,2 %) та вісмуту (0,2 %) підсилює небезпеку розтріскування металу при гарячому куванні, попередньо вилита заготовка кувалася, ймовірно, в холодному стані (форма дендритів) із відпалюванням при невисокій температурі (величина рекристалізованого зерна). Ступінь обтиску був високим. Кування — вільне й направлене на витягування й загострення вістря.

Шпилька довжиною 12 см (ан. 196). Має чотири шишечки-наліпи та отвір, що починається на голівці й виходить нижче шишечки. Посередині довжини отвору — затік. Отвір на голівці сягає глибини 1,2 см, від шишечки вгору — 0,8 см (загальна довжина отвору — 3 см); ширина отвору на голівці — 0,4 см, на виході — 0,2 см. Шпилька від середини до вістря плавно зігнута (рис. 18, 7). Відлита за восковою моделлю. На поверхні верхньої частини видно сліди загладжування воску при формуванні голівки й наклеюванні шишечок (рис. 19, 1). Поздовжній отвір у верхній частині виробу має

ливарний брак — затік. Ковальська доробка виробу, направлена на оформлення й загострення стрижня, провадилася при невисокій температурі (300—400 °С) з деформацією металу 40—60 % [Гошко, 2010, с. 482].

Шпилька довжиною 25,8 см (ан. 201). Голівка — грибоподібна з наскрізним отвором, що починається від голівки (0,6 мм) і виходить під протуберанцями. Діаметр голівки — 1,7 см. Прикрашена прокресленими трикутниками (6 шт.), що розташовані вершинами назовні. Чотири протуберанці розташовані на відстані 5,8 см від голівки. Протуберанці відходять від стрижня на 3 мм. У місці з'єднання протуберанців зі стрижнем чітко відстежується клеєний шов воскової моделі. На торці кожного з них — орнамент у вигляді хреста. Шпилька прикрашена прокресленням орнаментом (наносився на воскову модель, бо лінії — плавні в розрізі, на відміну від гравійованих по металу). Орнамент складається з двох поясів, розділених протуберанцями. Верхній пояс складають 2 групи смуг по 5 ліній, які спіралью огинають стрижень протуберанців. Пояс обмежений двома горизонтальними смугами з 6 ліній (під голівкою) й 7 ліній над протуберанцями. Нижче протуберанців — смуга з 8 ліній. Від неї донизу по спіралі спускаються дві смуги по 4 (?) та по 5 ліній назустріч одна одній. Знизу орнамент обмежений горизонтальною смугою з 4 паралельних ліній. Довжина орнаменту нижче протуберанців — 7 см (рис. 18, 8).

Шпилька вилита за восковою моделлю (на восковій моделі в місці з'єднання протуберанців зі стрижнем — клеєний шов). Нечіткість і плавність ліній орнаменту вказують на те, що він був нанесений по восковій моделі (рис. 19, 2). Готове литво піддане незначному куванню з метою загострити вістря шпильки. Ступінь обтиску металу становив 20—40 %. Кування провадилося при температурі 500—600 °С, тобто було гарячим. Наостанок вістря виробу було зміцнене холодною проковкою (лінії зсуву) [Гошко, 2010, с. 484—485].

Таким чином, у переважній більшості (5 екз. із 8) виробу культури Ноуа отримані шляхом формувальної ковальської доробки вилитих заготовок. Для виготовлення виробів з дроту застосовувались спеціальні ковадла з накладкою, а, ймовірно, за все, з огляду на товщину й форму перерізу дроту, на той час уже існувало якесь пристосування на кшталт волоочильної дошки. Ці роботи провадилися при температурах, вищих за 600 °С. При цьому ступінь деформації сягав 60—80 %.

Вільному гарячому куванню піддані дві шпильки, ніж-бритва та проколка. Тут температури були нижчими за 600 °С. І, відповідно, ступінь деформації був нижчим — 20—40 % та до 60 %. У техніці лиття виконано браслет (ан. 92), котрий для згинання, можливо, одноразово й нагрівали до невисокої температури, що не відбилося на мікроструктурі.

Вид ливарних форм вдалося простежити в чотирьох випадках. Це — однібічна теплопровідна для ножа-бритви, глиняна (?) двоскладова — для браслета та дві виготовлені за восковою моделлю.

Орнаментована лише одна шпилька, причому орнамент нанесений на воскову модель.

Ще в шістдесяті роки минулого століття російським науковцем Н.В. Риндіною було проведене технологічне вивчення металу з Острівця-кого могильника та поселення, (результати якого, на превеликий жаль, так і не були опубліковані) [Балагурі, 1964, табл. аналізів, с. 275—293]. Фотографії мікроструктур деяких виробів наведені в її монографії «Древнейшее металлообрабатывающее производство Восточной Европы» [Риндина, 1971, табл. 3, 1; 6, 5; 7, 3—4]. Дані з Острівця значно збільшують інформацію про металообробку місцевих племен культури Ноуа. Тому вважаю за необхідне додати їх.

У Острівецькій колекції нараховується дванадцять *шпильок*. Дві з них були вилиті за восковою моделлю й доробці куванням не піддавались. Не виявлено жодних слідів додаткової обробки ще на трьох (одна з них — заготовка). Одна шпилька побувала під дією вогню й у її металі пройшов вторинний температурний процес, тому з'ясувати технологію її виготовлення неможливо. Інші сім екземплярів піддані доробці куванням. Шість — при температурі, не нижчій за 400 °С, а одна — холодним, яке направлене на видалення недоліків лиття. Деформація в шести випадках із семи — невелика. Орнаментована гравіюванням лише одна шпилька.

Браслети у двох випадках із трьох доробці куванням не піддавались.

Шила, голки та стрижні невідомого призначення виготовлялися з вилитих заготовок і проковувалися в гарячому стані, в основному, — на вістрях, при температурах, не нижчих 400 °С. Тільки в однієї голки вістря кувалося без нагрівання металу.

Із двох дротяних *колючок* одне кувалося з нагріванням до 415 °С, інше — невідомо, бо побувало під дією вогню.

Отже, підводячи підсумки дослідженню технології виготовлення бронзових виробів з Острівця, можемо сказати, що в тих випадках, коли це можна було встановити, вони були виготовлені з вилитих заготовок із наступним незначним допрацюванням при температурах, не нижчих за 400 °С. Ступінь деформації був невеликим, бо при цьому спостерігається залишкова вилита первинна структура.

При аналізі технологічних прийомів виготовлення металевих предметів з пам'яток культури Ноуа впадає в вічі використання майстрами різних температурних режимів. Так, наприклад, вироби з Волі-IV, ті, що допрацьовувались куванням, були піддані гарячому куванню (600 °С). Тільки в одному випадку (ан. 96) температурний режим визначений вищим за 600 °С. Острівецький метал піддавався неповному гарячому куванню (400—425 °С). Що ж до ступеня деформації, то заготовки з Волі-IV проковувалися сильніше (до 60—80 %). Температурні показники ковальської обробки волинських шпильок посідають проміжок між показниками кування виробів з Острівця та Волі-IV. На одній зі шпильок вони наближені до острівецьких (300—400 °С), хоча ступінь деформації — більший (40—60 %). Для остаточного оформлення іншої застосоване гаряче кування (500—600 °С) із незначною деформацією у 20—40 %.

І, нарешті, кажучи про рівень технологічних знань майстрів культури Ноуа, можна вказати на використання гарячого та холодного кування при доробці вилитих заготовок (інколи — без урахування хімічного складу металу), виливання виробів за восковою моделлю із вставним стрижнем (шпильки), кам'яних і глиняних роз'ємних та одноразових ливарних форм.

3.5. ВИРОБИ ВИСОЦЬКОЇ КУЛЬТУРИ

Вироби висоцької культури представлені знахідками з ґрунтового могильника Петриків Тернопільського р-ну Тернопільської обл. та шпилькою з поселення Мильне-1 Зборівського р-ну Тернопільської обл. [Пльчиншин, Гошко, 2009, с. 130—135]. Разом — 18 предметів (рис. 20). Вироби з Петрикова походять як із культурного шару [Ситник, 1990, с. 55; Бандрівський, 2002, с. 117, рис. 23, 1, 2, 4, 5], так і з поховань 97, 105, 149. До предметів побуту належать шило та бритва; до прикрас відносимо п'ять браслетів, три шпильки, уламок голки фібули чи шпильки, чотири «утримувачі волосся», підвіску та два фрагменти завитків з дроту [Гошко, 2006, с. 81—85; Бандрівський, Гошко, 2009, с. 119—128].

Бритва (рис. 20, 18) — з обламаним руків'ям і виступом-протуберанцем із грибоподібною голівкою на верхів'ї (ан. 90). Заготовка бритви виливалася у двостулковій ливарній формі (залишки ливарного шва на голівці протуберанця). Формувальному куванню була піддана вся робоча частина, проте особлива увага приділена самому лезу (набагато вища мікротвердість порівняно зі спинкою, форма залишкових дендритів). Ковальські роботи провадилися при невисокій температурі (до 600 °С) із досить високим ступенем деформації. Це — центральноєвропейський тип бритов. На пам'ятках висоцької культури відомі бритва з Гончарівки та бритва без протуберанця на спинці з Лошнева [Крушельницька, 1985, с. 76, рис. 23, 2].

Шило (рис. 20, 13) — чотиригранне в перерізі, трохи загострене на робочому кінці та розплескане на протилежному, довжиною 8,5 см (ан. 91). Порівняння результатів візуальних спостережень з металографічним аналізом дає можливість стверджувати, що шило виготовлене шляхом формувального кування при температурі, нижчій за 600 °С із ступенем обтискування до 60—80 %. Розплесканий кінець мусив покращити насаджування руків'я на саме шило. Ця операція відобразилася на структурі в вигляді волокнистості зерен.

Серед **браслетів** можна виділити наступні типи: 1) вилиті пластинчасті, які ніякій додатковій обробці не піддавалися; 2) вилиті за восковою моделлю з нанесеним гравійованим орнаментом; 3) ковані багатоспіральні.

Пластинчасті браслети (рис. 20, 8—9) виливалися в роз'ємних двостулкових глиняних формах (ан. 84, 88). Характерною ознакою є ливарний шов, що утворюється у місці затікання металу на стику двох стулків, і овальний переріз виробу. Поверхня браслетів полірувалася.

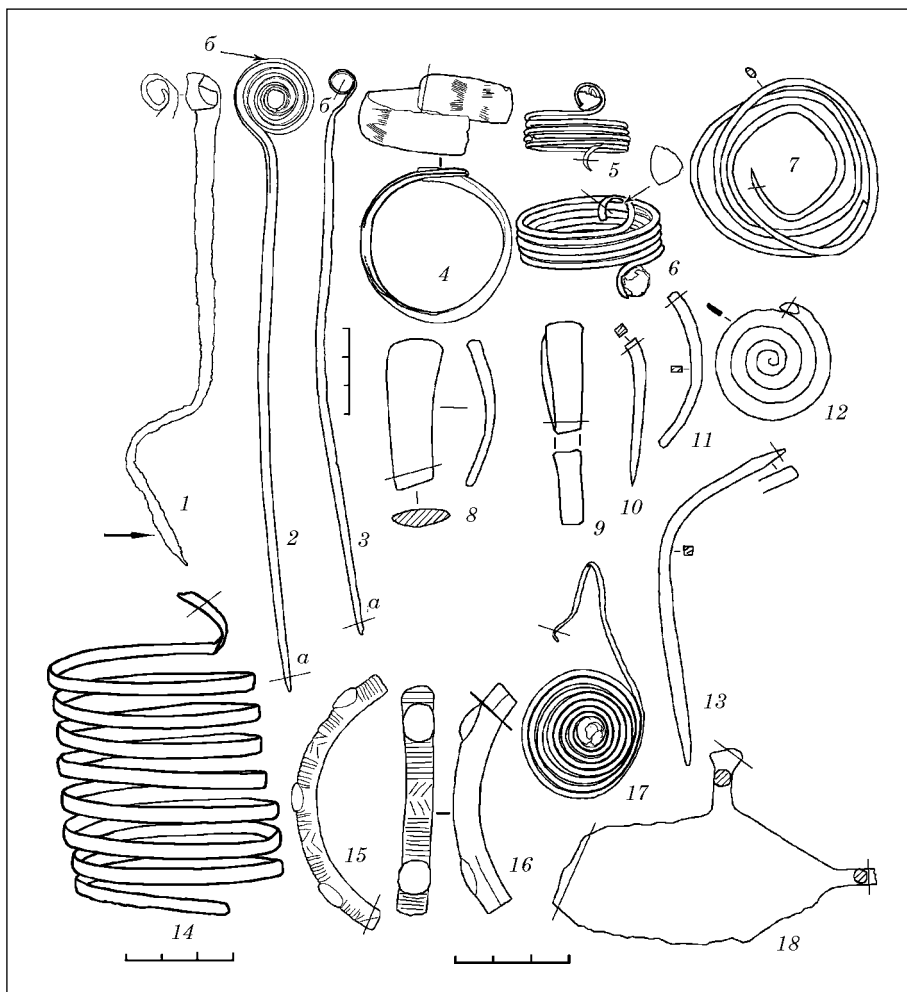


Рис. 20. Досліджені вироби висоцької культури з позначеними місцями вирізаних проб: 1 — Мильне, пох. 1, ан. 171; 2—6, 15—15, 17 — Петриків (ЛІМ), ан. 206—212; 7—13, 16 — Петриків (ТКМ), ан. 86—91

Вилиті за восковою моделлю браслети з круглим перерізом (рис. 20, 15—16) прикрашені овальними щитками, між якими вигравійовано орнамент у вигляді смуг із паралельних рисочок і «ялинки» (ан. 85, 206). Орнамент гравіювався інструментом з розплесканим і трохи округленим робочим кінцем шириною 0,4 см. Цей тип браслетів відомий у могильниках вільховецького типу та висоцької культури [Павлів, 1993, с. 32—34; рис. 2, 6]. Характерною ознакою їх вважаються напаяні овальні щитки. Але проведене технологічне дослідження показало, що вони виливалися

за восковою моделлю. При мікроструктурному аналізі не виявлено жодних ознак паяльних швів. На той час у багатьох культурах Центральної Європи технологія лиття за восковою моделлю використовувалася досить широко й майстрам-ливарникам не складало великих труднощів виготовити такі прикраси.

Браслет кований багатоспіральний у 8 обертів із дроту сегментоподібного перерізу, що на кінцях трохи звужується (пох. 105, ан. 209). Товщина дроту — $0,4 \times 0,1$ см, загальна довжина — 171,5 см. На моє переконання, отримати тонкий дріт сегментоподібного перерізу на фігурному ковалді досить складно, тому вважаю, що тут застосоване волочіння. Воно провадилося при невисокій температурі — до 600°C . Відповідно ступінь деформації сягав 100 %. Ковальські операції закінчилися навиванням готового дроту на циліндричну оправку. Витки навмисне клалися на деякій відстані один від одного (рис. 20, 14).

Зі **шпильок** вивчено два типи: 1) з голівкою, закрученою в спіральний щиток (рис. 20, 2); 2) із голівкою, закрученою петелькою (рис. 20, 1, 3).

Шпилька першого типу — завдовжки 22,2 см, діаметр щитка — 2,9 см (пох. 97, ан. 207). Кування вилитої заготовки провадилося при невисоких (до 600°C) температурах (подрібнений евтектоїд) із різним ступенем обтискування металу. Залишкова вилита структура на зовнішньому витку дроту на голівці свідчить про незначну деформацію на цій ділянці (20 %), яка пов'язана з куванням на фігурному жолобчастому ковалді з накладкою подібного перерізу. Закручування щитка-голівки провадилося з нагріванням металу (округла форма зерен), також невисоким, бо метал згинався не плавно, а складками. Найбільша деформація припала на вістря шпильки (40 %) та на кінець спіралі щитка.

Ймовірно, вилита заготовка мала вигляд стрижня із круглим перерізом, бо дріт від ромбічного перерізу на голівці дуже плавно набуває круглого перерізу на стрижні. Ливарна форма була, ймовірно, глиняною (крупні дендрити).

Шпилька другого типу має довжину 18,3 см (пох. 149, ан. 208). Товщина дроту біля голівки — 0,3 см. Виготовлена вільним формувальним куванням (відсутність первинної вилитої структури). Голівка сформована з розплесканого у верхній частині й закрученого в декілька обертів дроту (пізніше її трохи розкрутили). З цієї причини метал дав дві поперечні тріщини. Кування провадилося при температурах $400\text{—}500^\circ\text{C}$, про що свідчить дрібне зерно та текстура деформації на голівці. Ступінь деформації на голівці сягав 60—80 %, на вістрі — 40—60 %. Підвищення твердості в напрямку вістря вказує на поступове зниження температури кування.

Шпилька другого типу — довжиною 8,2 см (ан. 171). Поверхню має нерівну й горбкувату, яка буває при вільному куванні. Візуальне та мікроструктурне дослідження дають можливість стверджувати, що шпилька була виготовлена вільним неповним холодним куванням при температурі до 300°C зі ступенем обтискування металу до 80 %. Шпилька виготовлена з виплавленої міді зі збільшеним вмістом свинцю (0,02 %). Такий

метал при куванні в гарячому стані міг дати тріщини. Отже, вибраний температурний режим технологічно виправданий.

Один фрагмент шпильки чи голки фібули (ан. 86) із чотирикутним перерізом (рис. 20, 10) піддано незначному куванню зі ступенем обтискування у 20—40 %. Форма залишкових дендритів дає можливість припустити, що ковальські роботи провадилися по холодному металу лише з метою загострення вістря виробу.

Своєрідною прикрасою носіїв висоцької культури були **«утримувачі волосся»**. Серед досліджених виробів виділяються два типи: дротяні (ан. 83, 210; пох. 97, ан. 211) та вилитий (ан. 206). Дротяні утримувачі волосся (рис. 20, 5—7) можуть мати вигляд сувою дроту овального в перерізі, скрученого в чотири витки. Довжина дроту — 31 см, товщина — 0,4 см. На кінцях дріт звужується. Можуть бути з круглого в перерізі дроту на 5 обертів із двома вставленими конусами-щитками на кінцях дроту. Діаметр — 3,6 см, товщина дроту — 0,2 см, довжина дроту ~65 см. Є також екземпляри з сегментоподібною у перерізі пластини $1 \times 0,2$ см і завдовжки 14 см.

Дріт виготовлявся куванням при високих температурах (1 екз.) або при температурі 400—500 °C (2 екз.). Ступені деформації металу складали 80—100 %. На кінцях дроту температура кування помітно знижувалася, що відбилося на мікроструктурі.

Цікавим моментом є технологія виготовлення конусів-щитків. Найбільш імовірним є застосування пуансонної техніки. Тобто, на форму з конічним заглибленням накладався вирізаний кружечок металу з двома вусиками трикутної форми й чеканом конічної форми з округленим кінцем наносилися удари. В результаті цього метал витягувався, заповнюючи форму. Підтвердженням такому припущенню є складка, яка утворилася на краю конуса. Отриманий таким чином конус двома вусиками закріплювався на кінцях дроту, попередньо закрученого в петельку. Надання прикрасі остаточного вигляду завершувалося навиванням дроту зі щитками на кінцях на циліндричну оправку (рис. 19, 1—3).

За подібним алгоритмом створена підвіска зі спірально закрученого дроту в 7,5 витків і гачком для підвищування (ан. 212, рис. 20, 17). У центрі прикріплений конус-щиток за допомогою двох вусиків (рис. 19, 5).

Утримувач волосся з сегментоподібною у перерізі пластини шириною 1 см, товщиною 0,2 см і довжиною 14 см (ан. 206). Діаметр — 3,5 см. Виріб прикрашений гравійованим орнаментом, що складається з 14 груп навскісних ліній. У кожній групі — по дві смуги паралельних ліній, направлених під гострим кутом одна до одної. Наступна група дзеркально повернута до попередньої (рис. 20, 4).

Виріб відлито в однобічній ливарній формі з кришкою, потім зігнуто на круглій оправці. На мікроструктурі закручування не відбилося, хоч виріб має плавні внутрішні обриси. Тому, ймовірно, закручуванню передувало одноразове короткочасне нагрівання.

Два фрагменти від **невизначених прикрас** із прямокутного в перерізі дроту й стрічки (рис. 20, 11). Дріт першого фрагменту (ан. 87) кував-

ся на жолобчастому ковадлі з високим ступенем обтиску (до 60—80 %), бо відсутня первинна вилита структура. Роботи провадилися при невисокій температурі (розміри поліедрів), яка під кінець оформлення виробу значно знизилася, що й викликало появу ліній зсуву в поліедрах.

Завиток від прикраси з пласкої стрічки (ан. 89, рис. 20, 12) шириною 0,3 см кувався з великим ступенем обтиску (відсутня дендритна ліквіація). Беручи до уваги розташування евтектоїда, можна припускати, що завиток отримано навиванням круглого в перерізі дроту на конусний бовван, але не дуже щільно, та стисканням пружини до такого ступеня, що дріт став пласким.

У результаті технологічного дослідження вісімнадцяти бронзових виробів висоцької культури з'ясовано, що значна частина отримана литтям із невеликим допрацюванням, яке складалося з полірування поверхні, нанесення орнаменту та скручування пластини в браслет. Найбільшу частину складають вироби, виготовлені вільним формувальним куванням вилитої заготовки при температурах від 400 до 500 °C із різноманітними ступенями обтискування (20—40; 40—60; 60—80 %). Застосовували й формувальне кування при вищих температурах — до 600 °C, при цьому обтискування сягало 100 %. Найрідше використовувалося напівхолодне кування. Зміцнювальний ефект досягався зниженням температури кування.

В арсеналі майстрів були такі прийоми ковальської металообробки як вільне кування, кування на фігурному ковадлі з накладкою подібного перерізу, витягування, розплющування, рублення, згинання. Орнамент на вироби наносився гравіюванням.

Відсутність ковальського браку при високій деформації металу пояснюємо його сприятливим хімічним складом з невисокими концентраціями складових домішок, які заважали б механічній обробці при неповному гарячому й гарячому куванні. Без сумніву, вироби з довгого дроту кували (чи, вірогідніше, волочили) з проміжковими нагріваннями, інакше метал почав би руйнуватися.

Види ливарних форм установлені в шести випадках. Це — глиняні форми: однобічна з кришкою, двостулкові (3 шт.) та виготовлені за восковою моделлю (2 шт.).

На завершення зауважимо, що метал з Петрикова дуже пористий, що є свідченням його перегріву.

3.6. ПОРІВНЯННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ З ГОРДІВКИ ТА З ІНШИХ КУЛЬТУР

Одним із найпоширеніших способів отримання виробів з бронзи є лиття. Іноді морфологічний аналіз дозволяє виявити, в який спосіб майстер виливав ту чи іншу річ. Але це вдається не завжди, бо завершальна обробка виробу — доробка куванням, шліфуванням чи поліруванням — часто

Т а б л и ц я 1. Ливарні форми доби пізньої бронзи.

Культури, пам'ятки	Різновиди ливарних форм					
	Одно- стулкові	Двостулкові		Одноразові за восковою моделлю		
		Закриті	Зі вставним сердечником	Зі вставним сердечником	Пустотіла	Воскова модель
Тшинецька, комарівська		2	1			
Ноуа	1	1		4		
Висоцька	1	3				2
Передбіло- грудівський час (НМІУ)				2		
Гордіївка-I		2			2	3
Гордіївка-II				2		6
Гордіївка-III		1				1
Гордіївка-IV		1	1			4
В с ь о г о	2	12		26		

знищувала всі сліди лиття. Тому й у даному дослідженні оцінити рівень ливарної техніки та встановити різновиди ливарних форм, що були у використанні майстрів доби пізньої бронзи, вдавалося далеко не завжди. Зафіксовано декілька різновидів ливарних форм, які відрізняються одна від одної конструкцією та матеріалом. За конструкцією це — одностулкові з кришкою, двостулкові (закриті та зі вставним сердечником) і одноразові, виконані за восковою моделлю (табл. 1). Одностулкові ливарні форми зафіксовані на матеріалах культур Ноуа та висоцької (по 1 екз.). Двостулкові закриті форми простежені на матеріалах усіх культур, причому 5 з 12 екз. припадає на Гордіївку. Серед них форми зі вставним сердечником по одній зафіксовані серед тшинецьких, комарівських та гордіївських матеріалів.

Використання одноразових глиняних ливарних форм, виконаних за восковою моделлю, простежено на 26 виробів: передбілогрудівського часу на Середньому Подніпров'ї (2 екз.), культури Ноуа (4 екз.), висоцької культури (2 екз.). Та переважна більшість випадків припадає на Гордіївку (19 екз.). До підрахунку залучені обидва «музичні інструменти» та жезли-«стилети», бо технологія їхнього виготовлення однакова. Найчастіше вживаними були глиняні ливарні форми. Із 39 випадків визначені лише 2 кам'яні, інші 37 були виготовлені з глини ³.

³ Варто наголосити на тому, що наведені дані стосуються лише проаналізованих виробів. Бо відомий цілий комплекс кам'яних ливарних форм культури Ноуа з пос. Острівець і Магала, у яких відливалися знаряддя праці та предмети озброєння [Балагурі, 1964, с. 28—39].

Отримані результати технологічного вивчення металевих виробів з Гордіївського могильника та з пам'яток сусідніх культур згруповані в технологічну таблицю з десятима схемами металообробки, зафіксованими на досліджених матеріалах (табл. 2). Треба одразу зазначити, що куванню завжди передувало відливання заготовки, більшою або меншою мірою наближеної до кінцевого вигляду предмета. Перша схема згруповує відлиті вироби, які не потребували ковальської доробки. Друга схема відображає доробку литва холодним куванням. П'ять наступних схем пов'язані з куванням металу в температурних інтервалах 300, 400—500, 500—700, 700 °С. Восьма характеризується застосуванням холодного кування литва з проміжковими відпалюваннями при температурах 500—600 та 700 °С. До IX схеми зараховано вироби, які після відливання були піддані високотемпературному відпалюванню з подальшим напівгарячим (400—430 °С) чи гарячим куванням (700 °С). Десята схема об'єднує предмети, на яких спостерігається поєднання гарячого та холодного кування заготовки на її різних ділянках.

Тепер докладніше розглянемо технологічні схеми, зафіксовані серед матеріалів доби пізньої бронзи. Як видно з таблиці 3, чотири технологічні

Т а б л и ц я 2. Характеристика технологічних схем.

Схе- ма	Технологічні параметри	Кіль- кість
I	Відливання	26
II	Відливання + холодне кування, деформація 20—40, 60 %	4
III	Відливання + неповне холодне кування, t ~300 °С, деформація до 80 %	1
IV	Відливання + неповне гаряче кування, t 400—500 °С, деформація 20—40, 60—80 %	27
V	Відливання + гаряче кування, t 500—600 °С, деформація 40—60, до 100 %	31
VI	Відливання + гаряче кування, t 600—700 °С, деформація 80—100 %	3
VII	Відливання + кування при передплавильній t 700 °С, деформація 60—80 %	11
VIII	Відливання + холодне кування з відпалюванням, t 500—600, 700 °С, деформація 20—40, 40—60, 60—80, 100 %	14
IX	Відливання + високотемпературне відпалювання + напівгаряче кування при t 400—430 °С; гаряче кування при t 700 °С, деформація 60—80 %	2
X	Відливання + поєднання гарячого і холодного кування на різних ділянках виробу, деформація 20—40, 40—60 %	5
Не встановлено		2
В с ь о г о		126

Таблиця 3. Частотна характеристика технологічних схем.

Пам'ятки	Технологічні параметри										Усього схем
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
Тшинецько-комаровські	1			2	6	2	1	3		2	7
Ноуа	6	1		18	2	1		1			6
Висоцькі	5		1	8	2	1		1			6
Гордіївка	11	3		3	18		8	8	2	3	8
НМІУ					2						1

схеми зустрічаються в усіх культурах — I, IV, V та VIII. Для тшинецьких та комарівських виробів найчастіше вживаною є V технологічна схема (6 екз.). Наступною за кількістю виробів є VIII (3 екз.). Схеми II, III та IX серед тшинецьких і комарівських виробів не зустрічаються. Для культури Ноуа першою за вживаністю стоїть IV схема (18 екз.), а другою — I (6 екз.). III, VII, IX та X схеми серед металу Ноуа не представлені зовсім.

Вироби висоцької культури за технологічними схемами розподіляються наступним чином. Найчастіше зустрічається IV (8 екз.). Схема I представлена п'ятьма екземплярами. Два вироби виготовлено за V схемою. По одному виробу припадають на III, VI та VIII схеми. Не представлені жодним виробом у висоцькому металі схеми II, VII, IX і X.

Серед гордіївського інвентаря найбільш вживаними є V (18 екз.) та I (11 екз.) технологічні схеми. По вісім виробів виготовлено за VII та VIII схемами. За II, IV і X — по 3 вироби.

Отже, найбільша різноманітність застосованих технологічних схем серед усього дослідженого матеріалу припадає на Гордіївку-I—III та тшинецьку й комарівську культури. Проведений аналіз технологічних схем продемонстрував загалом різноманітність їхнього застосування у різних культурах.

На сьогодні існують два варіанти розподілу матеріалів Гордіївського могильника. Два етапи — ранній і пізній — виділяє С.С. Березанська [Березанская, 1999, с. 143—144]. Чотири хронологічні етапи виділено В.І. Ключком [Klochko, 1998, s. 343—351]. Для технологічного спостереження більш інформативним виявився розподіл гордіївського металу на чотири хронологічні етапи. З табл. 4 видно, що на всьому проміжку функціонування могильника основними були три технологічні схеми — I, V, VIII, — але на кожному з етапів частка в кількісному відношенні змінювалася. Так, наприклад, за схемою V виготовлено п'ять виробів із Гордіївки-I, із Гордіївки-II за цією ж схемою виготовлено вже десять, у Гордіївці-III і IV, відповідно, один і два вироби. Безпаспортні жезли-«стилети» з НМІУ за аналогією до подібних виробів з кург. 16 Гордіївського могильника відносимо до часу Гордіївки-II. Перша технологічна схема була популярною

Таблиця 4. Частотна характеристика технологічних схем Гордіївського металу.

Хронологічні етапи	Технологічні параметри										Усього схем
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
Гордіївка-I	3	1			5		3	3	1	1	6
Гордіївка-II	2	1		2	10		4	3	1	2	8
Гордіївка-III	2	1		1	1		1	1			6
Гордіївка-IV	4				2			1			3

на першому (3 екз.) й особливо на четвертому етапі Гордіївки (4 екз.). Восьма схема частіше застосовувалася на перших двох етапах (відповідно по 3 екз.).

Зауважимо, що до задач даної роботи не входила розробка типологічного розділення всього наявного металу доби пізньої бронзи на території Правобережного Лісостепу. Але для узагальнення інформації про вироби, що пройшли технологічний аналіз, створена спрощена типологічна схема, яка згрупує знахідки в межах лише двох структурних одиниць: категорія — тип (табл. 5). Загалом виділено шість категорій, які відрізняються своїми функціями та умовним буквенним індексом: предмети домашнього вжитку (**П**); прикраси великі (**Пв**), прикраси дрібні (**Пд**), деталі кінської вуздечки (**В**), сакральні вироби (**Св**), зброя (**З**), дрібні вироби (**Дв**). Кожна з категорій розділяється на дрібніші одиниці — типи. Так, наприклад, до предметів домашнього вжитку зараховані ножі, шила, проколки й долотця, голки, бритва; до великих прикрас — браслети, шпильки та гривни. До дрібних прикрас віднесені спіральні підвіски, скроневі кільця, утримувачі волосся, пронизки, кільця-каблучки й бляшка. До деталей кінської

Таблиця 5. Вироби, що пройшли технологічний аналіз.

Предмети побуту (П)	Прикраси великі (Пв)	Прикраси дрібні (Пд)	Деталі вузди (В)	Сакральні вироби (Св)	Зброя (З)	Дрібні вироби (Дв)
Ножі	Браслети	Підвіски	Вудила	Жезл-стиллет	Наконечник списа	Накладка на дерев'яну чашу
Проколки	Шпильки	Пронизки	Бляха	«Музичний інструмент»	Наконечники стріл	Гачки
Шила		Каблучки	Кільця	Диск-амулет		Стрижні
Долотця		Скроневі кільця	Дзвоникоподібні підвіски			Заклепки
Голки		Тримачі волосся				
Бритва						

Таблиця 6. Розподілення категорій металевого інвентарю за температурами кування.

Температурні умови обробки	Категорії виробів *						
	П	Пв	Пд	В	Св	З	Дв
Холодне кування	3	2					
Неповне гаряче кування, t 400—500 °С	6	13	5				5
Гаряче кування, t 500—700 °С	8	16	4		2	1	5
Кування при передплавильній t 700 °С	4	15	1		1		
Холодне кування із відпалюваннями t 500—600, 700 °С	3	5		1			3
Відпалювання + напівгаряче кування при t 400—430 °С; гаряче кув. при t 700 °С		2					
Відпалювання + поєднання гарячого й холодного кування на різних ділянках виробу	3	2					

Примітка: * тут і далі скорочення див. на табл. 5.

вузди — вудила, бляха з петелькою, кільця і дзвоникоподібні підвіски. До виробів сакрального призначення зараховані жезли-«стилет», «музичні інструменти» та амулет. Категорія зброї включає наконечник списа та наконечники стріл. У категорію дрібних виробів увійшли накладка на дерев'яну чашу, заклепки, стрижні й гачки.

Щоб проілюструвати розподілення різних категорій металевого інвентаря за варіантами кування з різними температурними умовами, створено табл. 6. Отже, типологічне рознесення інвентаря за температурними умовами обробки показує, що найбільшою різноманітністю характеризуються категорії **П** і **Пв**. Найбільш характерним для категорії **П** є гаряче кування, а для категорії **Пв** — гаряче й неповне гаряче кування. Друге місце посідає кування в режимі передплавильних температур. Таким чином, можна зробити висновок, що предмети побуту та крупні прикраси проходили значну формувальну ковальську доробку напівфабрикатів при температурах 500—700 °С. У виробництві дрібних прикрас майстри теж надавали перевагу цим самим температурним режимам.

Можливо, такий підхід був оправданий функціонально й технологічно. Найбільшу частину серед досліджених виробів складають прикраси, виготовлені з довгого дроту. Високий вміст олова в металі унеможлиблює сильну деформацію. Гаряче кування й кування при передплавильних температурах та з проміжковими високотемпературними відпалюваннями забезпечували пластичність металу й надавали майстрам можливість отримати дріт потрібної довжини. Зовсім рідко зустрічається холодне кування, метою якого було зміцнення робочого краю виробу. Частіше цей ефект досягався зниженням кінцевої температури кування.

Особливої уваги заслуговує проблема хронології технологічних схем. Нерівнозначний матеріал, представлений у зібраній колекції металевих

виробів з території Правобережної Лісостепової України, дуже ускладнює вирішення цієї проблеми на даному етапі. До того ж, із надходженням нових матеріалів картина може мінятися. Тим не менше, з табл. 7 видно, що схеми I, V та VIII побутують на всьому протязі доби пізньої бронзи, хоч кількість виробів з різних пам'яток різних культур, виготовлених за цими схемами, — відмінна.

Звернімося до різновидів ливарних та ковальських прийомів доби пізньої бронзи, що не розкриті в межах технологічних схем. Бронза — це метал в першу чергу ливарників, тому виготовлення кожного виробу починалося з відливання заготовки. При литті застосовувалися ливарні форми трьох різновидів. Домінували одноразові, виготовлені за восковою моделлю (27 екз.). Друге місце посідали двостулкові закриті форми (12 екз.). Одностулкові ливарні форми використовувалися дуже рідко (2 екз.).

За доби пізньої бронзи розквітає техніка лиття за восковою моделлю. З'являється складне лиття в одноразових формах зі вставним стрижнем для отримання порожнини всередині литва, лиття за порожнинною восковою моделлю. Були відомі наступні прийоми формування воскових моделей: заглажування, спаювання окремих деталей розплавленим воском, склеювання деталей моделі.

Така ливарна технологія найяскравіше представлена на гордіївських матеріалах. Вона з'являється вже на першому етапі Гордіївки (лиття за порожнинною восковою моделлю зі вставним глиняним стрижнем), досягає розквіту на II і III етапах (виливання за виплавлюваними восковими моделями зі вставним дерев'яним стрижнем для отримання порожнинного виробу) й доживає в Гордіївці-IV у вигляді техніки доливання окремих деталей за восковою моделлю. Два безпаспортні жезли-«стилети» з НМІУ, які орієнтовно знайдені на Лісостеповому Правобережжі Дніпра, виготовлені за подібною технологією. Вони є наслідуванням Гордіївським жезлам-«стилентам», бо рівень їхнього виконання набагато нижчий.

Таблиця 7. Частотна характеристика технологічних схем у часі.

Хронологічні етапи	Технологічні параметри										Усього схем
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
Тшинецько-комаровська КІС	1			2	6	2	1	3		2	7
Гордіївка-I	3	1			5		3	3	1	1	6
Ноа	6	1		18	2	1		1			6
Гордіївка-II	2	1		2	10		4	3	1	2	8
НМІУ (час Гордіївки-II)					2						1
Гордіївка-III	2			1	1		1	1			6
Висоцька	5		1	6	2	1		3			18
Гордіївка-IV	4				2			1			3

Дещо спрощений технологічний прийом — отримання наскрізного отвору в голівці шпильки — спостерігається на шпильках культури Ноуа з Острівця (пох. 75а) й сіл Лице та Голишів. Та на відміну від жезлів-«стилетів» вставний стрижень для отримання внутрішнього отвору закріплювався обома кінцями в формувальній масі ливарної форми. Цією деталлю ноїчні шпильки з протуберанцями наближаються до шпильок з кулястими голівками й навкісними отворами в них. Подібна шпилька знайдена на Острівецькому поселенні в зольнику 1. Такий спосіб закріплення вставного стрижня видно й на кам'яних ливарних формах з Кардашинки [Bočkarov, Leskov, 1980, taf. 11, 87, a, b] та Ново-Олександрівки [Bočkarov, Leskov, 1980, taf. 9, 73, b].

Вилиті заготовки найчастіше допрацьовувалися куванням. У арсеналі майстрів були різноманітні ковальські прийоми, такі як вільне кування, фігурне кування, витягування, плющення, закручування, пробивання (однобічне й двобічне), згинання, рублення, штампування та наклепування. Найчастіше вони провадилися у правильних температурних режимах, але й доля ковальського браку немала (24 із 126) й припадає, в основному, на крупні прикраси. Операції кування у формі витягування застосовувалися для виготовлення дроту для крупних прикрас, таких як браслети та шпильки. Можливо, на той час уже існував пристрій для волочіння тонкого дроту, круглого чи лінзоподібного в перерізі для виготовлення таких дрібних прикрас як кільця-каблучки, утримувачі волосся. Плющення супроводило оформлення шпильок із пластинчастою голівкою, пронизок, згорнутих із пластин, пластин і бляшок. Закручування застосовувалося при перекручу-

ванні стрижнів у шпильок, руків'я бритви. Пробивання (однобічне й двобічне) застосовувалося для оформлення голівок шпильок, руків'їв ножів, отворів на пластинах. Згинання було потрібне для формування спіральних браслетів та каблучок, щитків на браслетах, голівок шпильок, утримувачів волосся. Рублення — для вирізання з пластики заготовок пронизок. Зміцнення робочого краю наклепуванням зустрічається дуже рідко (6 випадків). Більш характерним було зниження температури в кінці кування.

У нагріванні металу, яке супроводжує кування, і нагріванні проміжковому, яке передує наступному циклу кування, зазвичай виділяють такі різновиди кування: гаряче, неповне гаряче й холодне з відпалю-

Т а б л и ц я 8. Розподілення виробів зі слідами ковальського браку за категоріями й технологічними схемами.

Технологічні схеми	Категорії виробів					
	П	Пв	Пд	В	З	Дв
I	1	4				
II						
III	1	5				
IV	2	7			3	1
V						
VI	2	1				
VII		2				
VIII		1				
IX						
Не визначені		1				

ваннями. На матеріалах доби пізньої бронзи вдалося відстежити ще один різновид — нагрівання заготовки до температур 400, 600—700 °С перед куванням з наступним напівгарячим чи гарячим куванням. Металографічний аналіз не завжди дає можливість чітко виокремити ці варіанти деформації. Із 126 досліджених предметів на 111 вдалося встановити режим обробки металу. Перевагу майстри надавали гарячому куванню при температурі 500—700 °С (36 предм. — 32,4 %). Неповне гаряче кування застосовувалося рідше (29 предм. — 26,1 %).

При технологічному аналізі виробів доби пізньої бронзи з території Лісостепової Правобережної України виявлена досить велика частка браку, як ливарного, так і ковальського (всього 31 випадок — 24,6 %). Види ливарного браку, виявленого на виробах, наступні: залишки ливарного шва (на 5 предм.), усадочна тріщина (1 предм.), розпори (2 предм.), недолив (1 предм.) та високий вміст закису міді в металі (10 предм.). Ковальський брак простежений на 19 виробах. З них 7 виробів мають тріщини «червоноламкості» та 12 виробів мають тріщини напруги, які виникли в результаті сильної деформації металу при неправильно підбраному температурному режимі. Переважна кількість виробів припадає на великі прикраси, виготовлені гарячим куванням (табл. 8).

3.7. ХАРАКТЕРИСТИКА СКЛАДУ МЕТАЛУ

При вивченні кольорового металу завжди актуальне питання його походження, що є своєрідним ключем до вирішення культурних і торгівельних шляхів місцевого населення. У результаті дослідження металевих виробів доби пізньої бронзи з Північного Причорномор'я Є.М. Черних дійшов висновку про імпорتنний характер металу. На зазначеній території науковець виділив дві основні групи на підставі географічного поширення виробів: Карпато-Трансильванську, джерела якої розмістив у межах Карпатського гірничо-металургійного центру, та Правобережну — з рудними джерелами в Балкано-Карпатській гірничо-металургійній області [Черних, 1976, с. 26].

Методика спектро-аналітичного дослідження вимагає проведення аналізів у одній лабораторії. Через об'єктивні причини метал нашої колекції аналізували в декількох. Спектральний аналіз гордіївських виробів виконано в Московській спектральній лабораторії Інституту археології РАН Є.М. Черних (шифр лабораторії: 44769, 44721—4468, 44770—44771) та в Київському Інституті судових експертиз (ан. 62, а—б; 63—69; 71). Метал з інших пам'яток аналізували в Інституті геохімії, мінералогії та рудоутворення НАН України та в Інституті археології НАН України. З огляду на дану ситуацію довелося відмовитися від традиційної методики й скористатися гістограмами розподілу концентрацій основних домішок, розробленими спеціально для такого випадку. Інформація про склад і вміст елементів аналізованого металу розміщується таким чином. По вертикалі вказують-

Гордіївка-I (1500—1300 pp. до н. е.)

%	Sn	Pb	Zn	Bi	Ag	Sb	As	Ni	Co	Al
>1										
0,1										
0,01										
0,001										
0,0001										

Гордіївка-III (1200—1100 pp. до н. е.)

%	Sn	Pb	Zn	Bi	Ag	Sb	As	Ni	Co	Al
>1										
0,1										
0,01										
0,001										
0,0001										

Гордіївка-II (1300—1200 pp. до н. е.)

%	Sn	Pb	Zn	Bi	Ag	Sb	As	Ni	Co	Al
>1										
0,1										
0,01										
0,001										
0,0001										

Гордіївка-IV (1100—1000 pp. до н. е.)

%	Sn	Pb	Zn	Bi	Ag	Sb	As	Ni	Co	Al
>1										
0,1										
0,01										
0,001										
0,0001										

Ноя

%	Sn	Pb	Zn	Bi	Ag	Sb	As	Ni	Co	Al
>1										
0,1										
0,01										
0,001										
0,0001										

Висоцька

%	Sn	Pb	Zn	Bi	Ag	Sb	As	Ni	Co	Al
>1										
0,1										
0,01										
0,001										
0,0001										

Тшинецька, комарівська

%	Sn	Pb	Zn	Bi	Ag	Sb	As	Ni	Co	Al
>1										
0,1										
0,01										
0,001										
0,0001										

Частота, з якою присутній
хімічний елемент
у групі металу

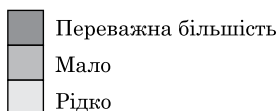


Рис. 22. Кореляційні графіки

ся основні елементи, по горизонталі — їхній вміст у відсотках (>1 %, десяті долі відсотка, соті, тисячні долі відсотка). Повністю заштрихована клітинка означає, що переважна більшість аналізованих зразків у групі металу має даний елемент у зазначеній кількості. Наполовину заштрихована клітинка означає, що даний елемент у такій кількості в групі металу зустрічається рідко. Відповідно, горизонтальна лінія в клітинці означає, що даний елемент у означеній кількості зустрічається в поодиноких зразках (рис. 21).

За невеликим винятком, спектрально проаналізовані всі вироби, які пройшли технологічне дослідження (див. додаток 5: таблиці спектральних аналізів I—VII). Із Гордіївського могильника спектральний аналіз пройшли 56 предметів, з яких було відібрано 61 пробу. Така невідповідність у кількості проб і виробів пояснюється тим, що з деяких предметів бралось по декілька проб («музичний інструмент», ніж із долитим руків'ям, вудила, накладка на дерев'яну чашу з гвіздком). Така методика виправдала себе, показавши відмінність у хімізмі складених виробів. Імовірно, вони були отримані з різних по черзі переплавлених зливків сирцевого металу, що походить з руд різного хімічного складу. На цей момент звертали також увагу й Я. Дамбровський і З. Хенсель [Dąbrowski, Hensel, 2005, s. 16].

Спроба застосування математичної обробки спектральних аналізів металевих виробів з Правобережної України привела до виділення десяти хімічних груп, які визначають, в основному, подібність літолого-мінералогічних ознак рудних порід осадової генези [Гошко, Манічев, Приймаченко, Бондаренко, 2010, рис. 2]. Було встановлено, що досить важливе значення має наявність домішок цинку, оскільки він характеризує належність металу до рудників з різною генезою. В одних зразках цинк взагалі відсутній, в інших його вміст можна віднести до підвищеного (соті частки відсотка). У Гордіївському металі цинк спостерігається у кількості від десятих часток відсотка до десятитисячних у 50 % проб (рис. 21).

Якщо розглядати кожний етап Гордіївки окремо, то вимальовується наступна картина. Метал Гордіївки-I і II між собою дуже схожий за концентраціями таких елементів як свинець, вісмут, срібло, сурма, арсен, нікель і кобальт. На третьому етапі вміст вісмуту, срібла та кобальту зменшується. Гордіївка-IV значно відрізняється від перших трьох підвищеними домішками срібла та арсену й особливо — сурми, вміст якої досягає цілих відсотків у дев'яти з десяти проб (рис. 21).

Проведене порівняння металу з Гордіївського могильника (Гор.-I, Гор.-II) з металом Угорщини й Польщі, а також із дослідженими Є.М. Черних колекціями зі скарбів Одеської області (Новотроянівський) та Молдови (Лозівський) демонструє досить близьку подібність між ними. Особливо вона помітна при порівнянні гордіївського металу з металом Новотроянівського скарбу (рис. 21; 22). Є.М. Черних метал такого складу зарахував до хімічної групи КТ, рудні джерела якої розташовані в межах мідних родовищ Карпатського ГМЦ [Черних, 1976, с. 38, 40].

Порівняльний аналіз спектрального складу гордіївських бронз із металом тишинецької та комарівської культур, культур Ноуа й висоцької показує, що між ними фіксуються однаковою мірою як подібність, так і відмінність.

На даний момент за результатами спектрального аналізу серед тишинецького й комарівського металу можна виділити дві умовні групи, до однієї з яких відносяться матеріали з могильника Малополовецьке-3, до дру-

Лозівський скарб [Черных, 1976]

%	Sn	Pb	Zn	Bi	Ag	Sb	As	Fe	Ni	Co
>1										
0,1										
0,01										
0,001										
0,0001										

Новотроянівський скарб [Черных, 1976]

%	Sn	Pb	Zn	Bi	Ag	Sb	As	Fe	Ni	Co
>1										
0,1										
0,01										
0,001										
0,0001										

Польща, хімічні групи Od, Oe
[Dąbrowski, Hensel, 2005]

%	Sn	Pb	Zn	Bi	Ag	Sb	As	Fe	Ni	Co
>1										
0,1										
0,01										
0,001										
0,0001										

Тшинецько-комарівська, друга група

%	Sn	Pb	Zn	Bi	Ag	Sb	As	Fe	Ni	Co
>1										
0,1										
0,01										
0,001										
0,0001										

Тшинецько-комарівська,
(Малополовецьке-3) друга група

%	Sn	Pb	Zn	Bi	Ag	Sb	As	Fe	Ni	Co
>1										
0,1										
0,01										
0,001										
0,0001										

Донбас [Татаринов, 1993]

%	Sn	Pb	Zn	Bi	Ag	Sb	As	Fe	Ni	Co
>1										
0,1										
0,01										
0,001										
0,0001										

Рис. 22. Кореляційні графіки. Умовні позначення див. на рис. 21

гої — решта матеріалів (рис. 22). Малополовецькі бронзи мають подібність як до бронз із донбаських родовищ, які розроблялись племенами БМЗК, так і до другої групи. Тож можна припустити тут змішаний характер сировини.

За спектральним складом метал другої групи (вироби походять із пам'яток у Житомирській, Хмельницькій та Рівненській областях) найбільше схожий до металу Гордіївки-II. Ймовірно, тут відіграло роль географічне розташування пам'яток, бо найближчі рудні джерела знаходяться в межах Карпатського регіону в широкому його значенні (Передкарпаття й Закарпаття, Румунія, Чехія, Словаччина, Польща й Угорщина).

Спостерігається також значна близькість металу другої групи до груп металу Od та Oe, виділених на території сучасної Польщі Я. Дамбровським і З. Хенселем (рис. 22). Вони вважають вироби цих груп імпортом з теренів сучасної Словаччини й Трансильванії, на яких була поширена культура Отомань [Dąbrowski, Hensel, 2005, s. 8—9].

Необхідно пам'ятати, що жодна з вищезгаданих рудних провінцій не характеризується тільки одним визначеним генетичним типом руд. У кожній з них існує велика розмаїтість міднорудної сировини за її літологічним (петрографічним) складом, що відбивається на хімічному складі металу. З цієї причини спектральний склад бронз, навіть у межах однієї культури, може бути дуже мінливим. Як наочний приклад, наведемо метал культури Ноуа (рис. 23, *а—б*). Так, група металевих бронз із поселення Воля-IV помітно відрізняється від колекції з Острівця [Черных, 1976, с. 274—275] повною відсутністю арсену. В той же час у виробах з Острівця вміст арсену підвищений, зате цинк майже цілком відсутній.

Разом з тим у бронзі з Острівця відзначається помітна подібність за складом металів-домішок із бронзою виробів зі скарбів культурного горизонту Ноуа-Сабатинівка: Лозівського й Валя Русулуй — з Молдови, Новотроянівського й Бецилівського — зі скарбів із Одеської обл. [Черних, 1976, с. 262—267].

Про метал висоцької культури щось однозначне сказати важко. Навіть на одній пам'ятці метал має відмінний склад. Метал з культурного шару та з поховання з могильника Петриків значно відрізняється. Особливо показовим тут є відсутність арсену в складі бронзи (аналогічно Волі-IV) з культурного шару (рис. 23, *в—г*). Порівняно з Гордіївкою-I—II й Острівцем тут вміст металів-домішок підвищений. Найбільш наближеним за вмістом до петриківського металу вважаємо метал з Гордіївки-IV [Бандрівський, Гошко, 2010, с. 119—128]. Ймовірно, тут даються взнаки хронологічні показники.

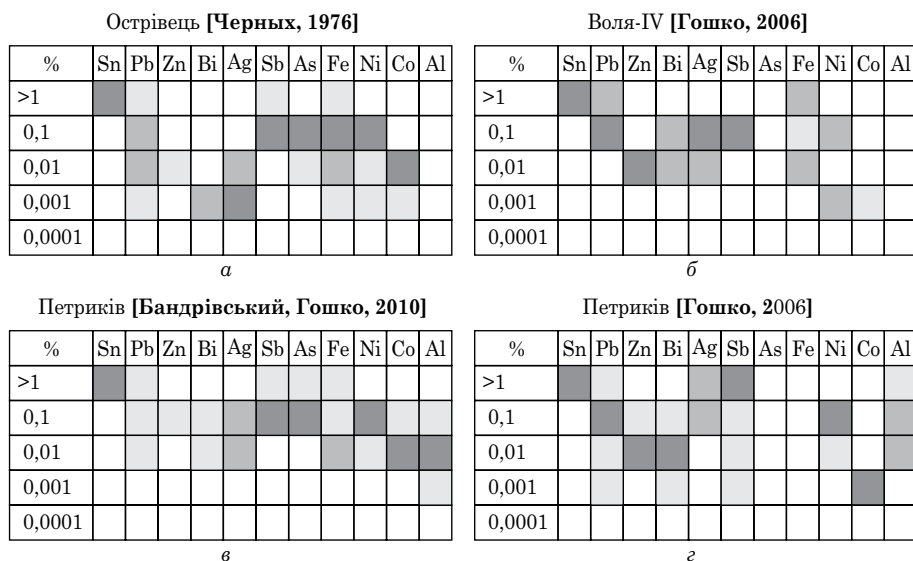


Рис. 23. Кореляційні графіки: *а, б* — культура Ноуа; *в, г* — висоцька культура. Умовні позначення див. на рис. 21

Отже, проведене технологічне та спектро-аналітичне дослідження бронзових виробів з пам'яток доби пізньої бронзи Лісостепової Правобережної України показало, що витoki металообробної майстерності гордіївських майстрів беруть початок не серед місцевих культур. Поява вишукано орнаментованих та складних за технологією виробів, часто унікальних за формою не тільки на території Лісостепової Правобережної України, але й Центральної Європи, свідчить про те, що тут працювало не одне покоління досвідчених майстрів. Уже не можна з'ясувати, чи поява шпильок «гордіївського» типу, «музичних інструментів» та жезлів-«стилетів» була витвором фантазії майстра чи замовника. Але однозначно вказує на багатство й можливості власників цих предметів.

Технологічну однорідність бронзових виробів з Гордіївського могильника доповнює ще й однорідність хімічного складу металу. А це є ще одним свідченням на користь місцевого виробництва з металу, імпортованого з, імовірно, Трансильванських родовищ.

Проведене технологічне дослідження бронзових виробів з Гордіївського могильника дає можливість не тільки встановити технологічні особливості виробництва предметів, але й провести порівняльний аналіз технологічних знань у населення культур доби пізньої бронзи Лісостепового Правобережжя Дніпра. В основу дослідження покладено метод оптичної металографії та спектро-аналітичний метод. Загалом в роботі використано 124 вироби, з яких 56 походять з поховань Гордіївки, 18 — із пам'яток тишинецької та комарівської культур, 32 — з культури Ноуа та 19 — з висоцької культури.

Результатом стало створення таблиці з десятима схемами металообробки, зафіксованих на досліджених матеріалах. Проведений аналіз технологічних схем продемонстрував загалом різноманітність їхнього застосування у різних культурах.

Найбільшу частину серед досліджених виробів складають прикраси, виготовлені з довгого дроту. Гаряче кування, кування при передплавильних температурах та з проміжковими високотемпературними відпалюваннями забезпечували пластичність металу з високим вмістом олова й давало можливість викувувати дріт потрібної довжини. Зовсім рідко зустрічається холодне кування, метою якого було зміцнення робочого краю виробу. Частіше цей ефект досягався зниженням кінцевої температури кування.

Значну частину складають вироби, вилиті за восковою моделлю. З'являється складне лиття в одноразових формах зі вставним стрижнем для отримання порожнини всередині литва, лиття за порожнинною восковою моделлю. Така ливарна технологія найяскравіше представлена на гордіївських матеріалах. Вона з'являється в Гордіївці-I (порожнинна воскова модель), досягає розквіту на II і III етапах і доживає в Гордіївці-IV у вигляді техніки доливання окремих деталей за восковою моделлю.

Відлиті заготовки найчастіше допрацьовувалися куванням. В арсеналі майстрів були різноманітні ковальські прийоми, такі як вільне кування, фігурне кування, витягування, плющення, закручування, пробивання (однобічне й двобічне), згинання, рублення, штампування та наклепування. Частіше за все вони провадилися у правильних температурних режимах. Значна доля ковальського браку припадає на крупні прикраси. Зміцнення робочого краю наклепуванням зустрічається дуже рідко.

За своїм складом гордіївський метал поступово змінюється в часі. Для відстеження цього моменту дуже вдалим виявився розподіл могильника на чотири етапи.

Проведене порівняння складу металу з поховань Гордіївки-I і II показало, що він за концентраціями багатьох елементів дуже схожий. Це — свинець, вісмут, срібло, сурма, арсен, нікель і кобальт. Таким чином, метал Гордіївки-I і II можна об'єднати в одну хімічну групу.

На третьому етапі Гордіївки метал уже помітно відрізняється від перших двох зниженими концентраціями вісмуту, срібла та кобальту.

Ще більша різниця у хімічному складі спостерігається у Гордіївці-IV. Тут підвищені домішки срібла та арсену, а особливо — сурми, вміст якої досягає цілих відсотків у дев'ятох з десяти проб.

Відомо, що метал завдяки локалізації родовищ проходив далекі пересування від місць його первинної виплавки до споживачів. Тому проблема походження металу є ключовою до вирішення питань поширення, синхронізації, виділення ареалів споріднених культур та ін. Ось чому навіть незначні спостереження дають науковцям підстави для розробки згаданих питань. Порівняння складу металу з Гордіївки-I і Гордіївки-II та металу доби пізньої бронзи з теренів Угорщини й Польщі, скарбів Новотроянівського й Лозівського показало досить близьку подібність між ними. Особливо з металом Новотроянівського скарбу. Подібний метал Є.М. Черних виділив у хімічну групу КТ, рудні джерела якої розташовані в межах мідних родовищ Карпатського ГМЦ [Черных, 1976, с. 38, 40]. Отже, можна припускати походження металу з одного великого родовища. Такий висновок можна робити лише при умові наявності повного хімічного складу всіх виробів, а не вибраних елементів.

На даний момент тшинецький та комарівський метал можна розділити на дві умовні групи, до однієї з яких відносяться матеріали з могильника Малополовецьке-3, до другої — решта тшинецьких та комарівських бронз. Малополовецькі бронзи мають подібність як до бронз із донбаських родовищ, які розроблялись племенами БМЗК, так і до другої групи. Тож припускаю тут змішаний характер сировини.

Спектральний склад металу другої групи найбільш наближений до Гордіївки-II. Ймовірно, тут відіграло роль географічне розташування пам'яток. Це — вироби з поховань із Житомирської, Хмельницької та Рівненської обл., тобто найближчі рудні джерела знаходяться в межах Карпатського регіону в широкому його значенні (Передкарпаття й Закарпаття, Румунія, Чехія, Словаччина, Польща й Угорщина). Значна близькість

спостерігається і з металом груп Od та Oe, що виділені Я. Дамбровським і З. Хенселем на теренах сучасної Польщі. Вони вважають вироби цих груп імпортом з території Словаччини й Трансильванії, на якій була поширена культура Отомань.

Хімічний склад бронз, навіть у межах однієї культури, може бути дуже мінливим з тієї причини, що жодна рудна провінція не складається з єдиного генетичного типу руд. У кожній з них існує велика розмаїтість мінеральної сировини за петрографічним складом, що закономірно відбивається на хімічному складі металу. Прикладом тому є метал культури Ноуа, що розкладається на дві групи за вмістом арсену. В металі з поселення Воля-IV він повністю відсутній. Зате в острівцьких бронзах вміст арсену підвищений, проте майже цілком відсутній цинк. Водночас у бронзах Острівця спостерігається подібність за складом металів-домішок із бронзою виробів зі скарбів культурного горизонту Ноуа-Сабатинівка: Лозівського й Валя Русулуй, Новотроянівського й Бецилівського.

Метал висоцької культури з могильника Петриків розподілений на дві групи. В одній з них повністю відсутній арсен, як і в металі з пам'ятки культури Ноуа — Воля-IV. Зате вміст металів-домішок підвищений порівняно з металом як Волі-IV, так і іншої пам'ятки культури Ноуа — Острівця. Найбільш наближеним за складом до петриківського металу вважаю метал Гордіївки-IV.

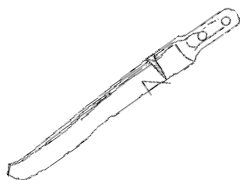
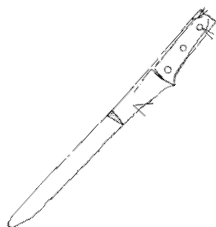
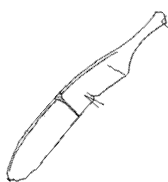
На моє велике переконання, для більш чіткого розуміння ситуації, що склалася з висоцьким металом, необхідна спільна праця з дослідниками висоцької культури та детальний спектральний аналіз бронз, хоча б із Петрикова.

Отже, проведене технологічне та спектро-аналітичне дослідження бронзових виробів із пам'яток доби пізньої бронзи Лісостепової Правобережної України продемонструвало, що витоки металообробної майстерності гордіївських майстрів треба шукати не серед місцевих культур. Порівняльний аналіз металу — ножів, кінської упряжі з карпатськими та східно- й центрально-європейськими матеріалами показав виражену індивідуальність багатьох виробів. На наявність єдиного рудного джерела, без сумніву, вказує досить однорідний хімічний склад предметів. А проведене технологічне дослідження підтверджує однорідність технологічну.

Без сумніву, гордіївські майстри-ливарники були знайомі з балканською і карпато-дунайською металообробкою. Не лиття за відбитками з готових виробів, не бездумне копіювання іноземних взірців, але творчий підхід до створення воскової моделі сприяв появі нових форм, які відповідали побутовим та естетичним потребам замовників.

МЕТАЛОГРАФІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДОСЛІДЖЕНИХ ВИРОБІВ ІЗ ГОРДІЙКИ.

Описання структури



Аналіз 21 (курган 13). Шліфи виготовлені: на поперечному перерізі лека (*a* і *б* — на черенку. Мікроструктура вдалині від лека — великі розгалужені дендрити й поруч з ними зонально розташовані поліедри з двійниками (0,015—0,025 мм). Ближче до лека залишкові дендрити втрачають чіткість обрисів, витягуються в поздовжньому напрямку й місцями зовсім зникають. Поліедри з наближенням до лека теж набувають розмитих обрисів. На тлі деяких помітні численні лінії зсуву. Мікротвердість — 267 кг/мм² (рис. 24, 1).

Мікроструктура на шліфі *б* — рекристалізована на тлі залишкових дендритів. Зерна — середніх розмірів — 0,4 мм із великою кількістю двійників і ліній зсуву. Мікротвердість металу — 173 кг/мм² (рис. 24, 2).

Аналіз 22 (курган 7). Шліфи виготовлені: *a* — на поперечному перерізі лека; *б* — на поздовжньому перерізі закінчення руків'я; *в* — на поперечному перерізі руків'я, біля отвору під заклепку. На всіх шліфах помітні окремі подрібнені включення евтектоїда $\alpha + \text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$ і крупні пори від глобулів свинцю, що викришилися. Мікроструктура — великі розгалужені дендрити. Місцями помітні смуги деформації й смуги плинину: на шліфі *a* — поблизу лека, на шліфі *б* — поблизу отвору в руків'ї. Мікротвердість на шліфі *a* підвищується до лека від 128,5 кг/мм² до 170 кг/мм²; *б* — 85,6 кг/мм², *в* — 102,7 кг/мм² (рис. 24, 3—4).

Аналіз 23 (курган 6). Шліф виготовлений на поперечному перерізі лезової частини. Дуже дрібний евтектоїд місцями витягнутий уздовж шліфа. Мікроструктура рекристалізована на тлі сильно витягнутих у поздовжньому напрямку дендритів. У середині зерен — лінії зсуву. Розміри зерен з двійниками — 0,01—0,02 мм. Мікротвердість металу — 176,5 кг/мм² (рис. 24, 5).

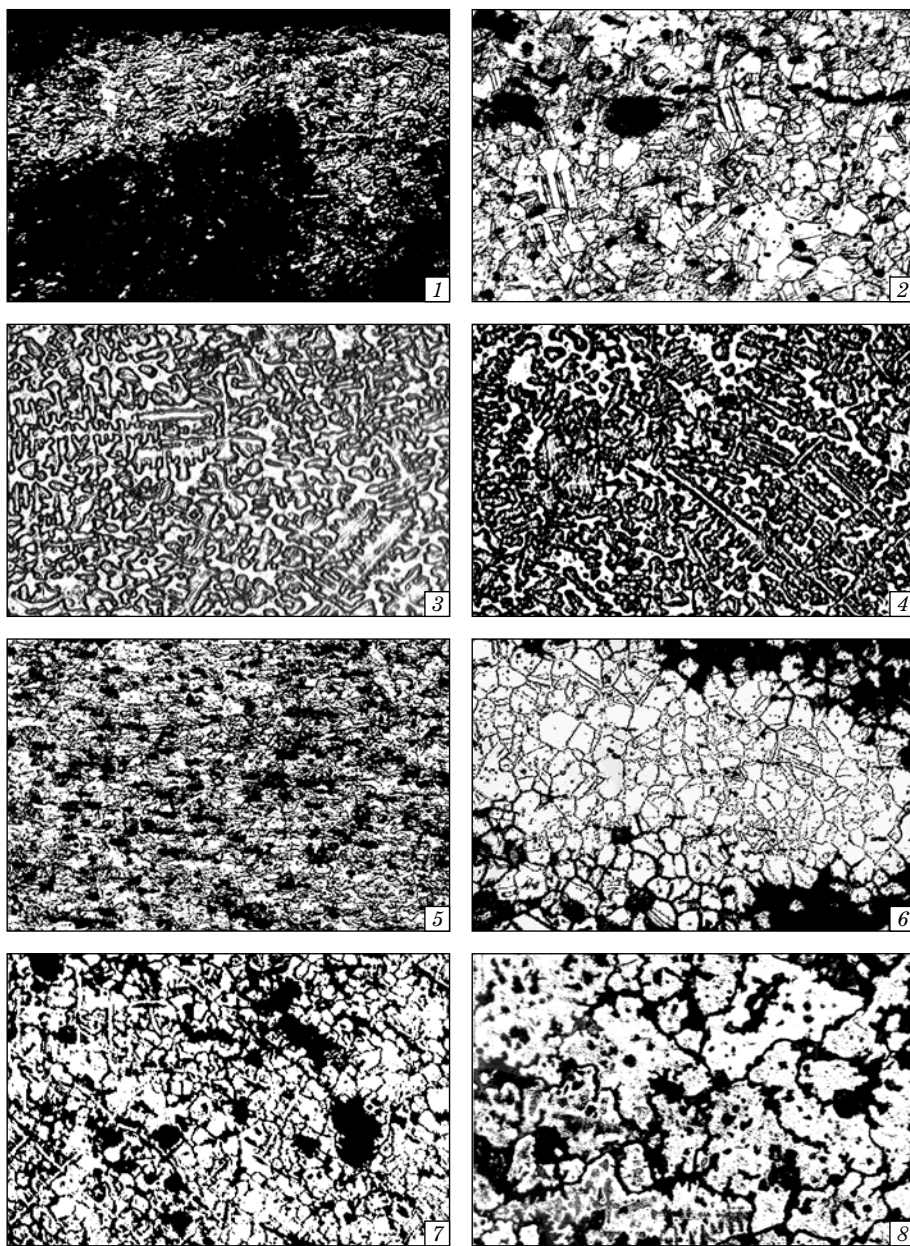


Рис. 24. Мікроструктури: 1 — ан. 21, а, зб. 160; 2 — ан. 21, б, зб. 160; 3 — ан. 22, а, зб. 80; 4 — ан. 22, б, зб. 80; 5 — ан. 23, зб. 120; 6 — ан. 24, а (лезо), зб. 107; 7 — ан. 24, а (спинка), зб. 80; 8 — ан. 24, б, зб. 70

Аналіз 24 (курган 24). Шліф *a* виготовлений на поперечному перерізі клинка. Мікроструктура рекристалізована. Вдалині від леза помітні злегка витягнуті залишкові дендрити. Розміри зерен і двійників 0,035—0,045 мм. Мікротвердість — 135,2 кг/мм² (рис. 24, 6—7).

Шліф *б* — в місці переходу клинка в руків'я. Мікроструктура крупнодендритна без слідів деформації. Мікротвердість — 117,9 кг/мм² (рис. 24, 8).

Аналіз 25 (курган 19). Шліф *a* зроблено на поперечному перерізі лезової частини. Мікроструктура крупнодендритна. Дендрити витягнуті в напрямку деформації металу. На їхньому тлі зерна з двійниками 0,01—0,045 мм. Мікротвердість металу — 87,1 кг/мм² (рис. 25, 1).

Шліф *б* — на поперечному перерізі спинки. Мікроструктура рекристалізована на тлі подрібнених дендритів. Розміри зерен із двійниками — 0,045—0,09 мм. У тій частині шліфа, що відповідає спинці ножа, вони дрібніші — 0,035—0,045 мм. Мікротвердість металу 116,5 кг/мм² (рис. 25, 2).

Шліф *в* — на поздовжньому перерізі черешка. Мікроструктура вилита деформована волокниста. Мікротвердість металу 217,3 кг/мм² (рис. 25, 3).

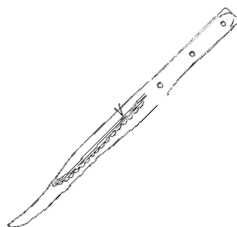
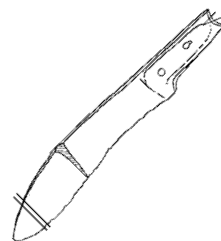
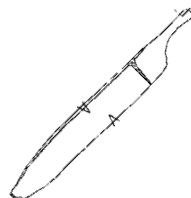
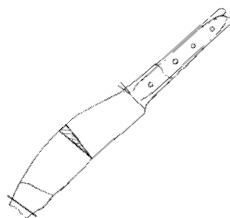
Аналіз 26 (курган 18). Шліф *a* — зроблено на поперечному перерізі клинка. Мікроструктура рекристалізована дрібнозерниста з численними двійниками та лініями зсуву на тлі залишкових дендритів. Розміри зерна — 0,025—0,035 мм. Ближче до центру залишкових дендритів більше, а поліедри стають крупнішими. Лінії зсуву відсутні. Розміри зерна 0,12—0,15 мм. На спинці зерна дрібнішають до 0,015—0,065 мм. На самому краєчку шліфа зерна мають розбитий вигляд. Мікротвердість на спинці клинка — 118,8 кг/мм², на лезі — 184,5 кг/мм² (рис. 25, 4).

Шліф *б* — на поздовжньому перерізі заклепки. Мікроструктура повністю рекристалізована з двійниками та численними лініями зсуву. Евтектоїд подрібнений, витягнутий ланцюжками. Вздовж шліфа — тріщини. На краях структура розбита холодним куванням. Розміри зерна — 0,025—0,045 мм. Мікротвердість — 199,5 кг/мм² (рис. 25, 5).

Шліф *в* — на поздовжньому перерізі руків'я. Мікроструктура крупнодендритна з лініями зсуву. Мікротвердість — 144,45 кг/мм² (рис. 25, 6).

Аналіз 27 (курган 15). Шліф виготовлено на поперечному перерізі лезової частини. Мікроструктура рекристалізована. Розміри зерен з двійниками — 0,025—0,035 мм. Мікротвердість металу — 194 кг/мм² (рис. 25, 7).

Аналіз 28 (курган 28). Шліф *a* виготовлено на поперечному перерізі лезової частини. Мікроструктура дендритна, місцями набуває злегка волокнистого вигляду. Мікротвердість — 100,5 кг/мм² (рис. 25, 8).



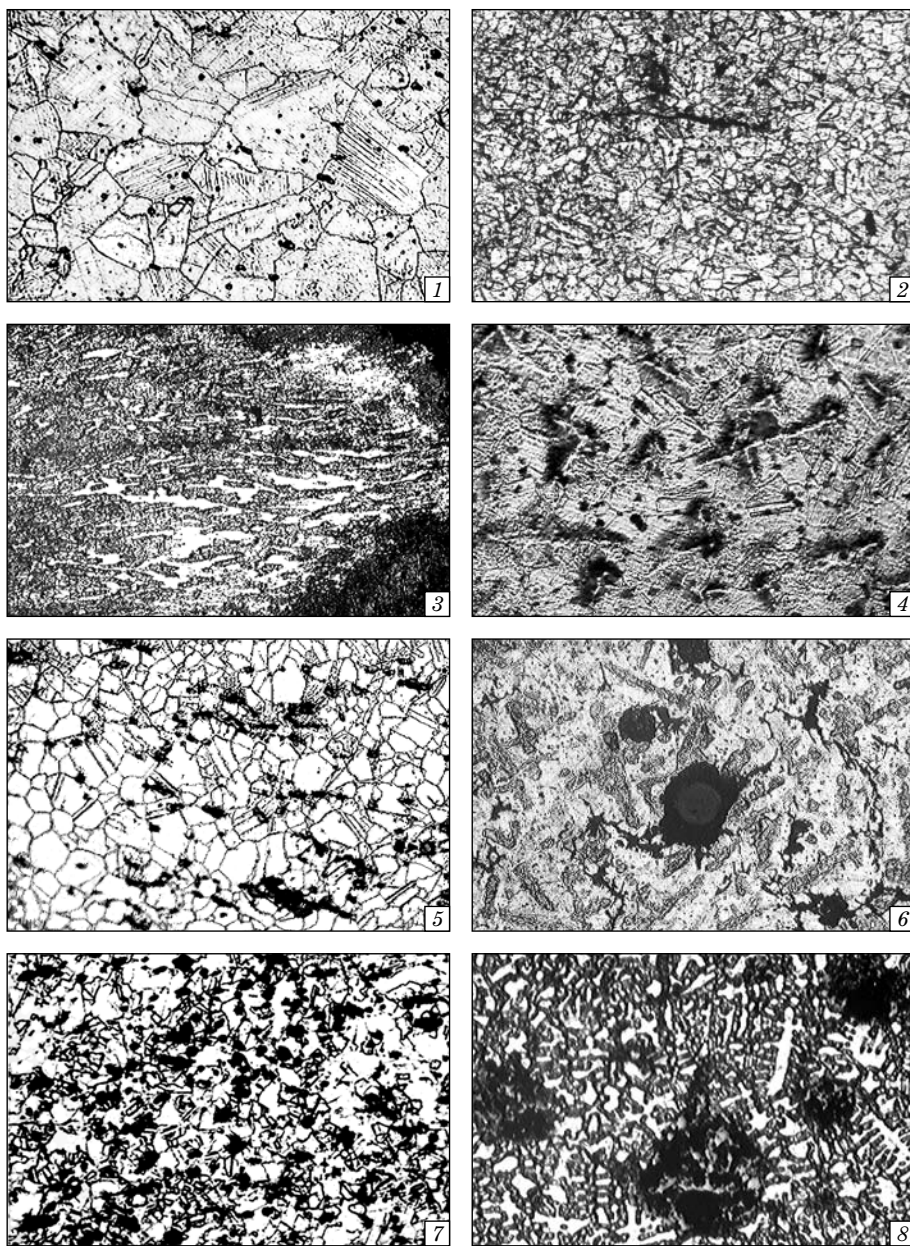


Рис. 25. Мікроструктури: 1 — ан. 25, а, зб. 246; 2 — ан. 25, б, зб. 70; 3 — ан. 25, в, зб. 107; 4 — ан. 26, а, зб. 246; 5 — ан. 26, б, зб. 246; 6 — ан. 26, в, зб. 80; 7 — ан. 27, зб. 120; 8 — ан. 28, а, зб. 80

Шліф *б* — на поздовжньому перерізі черешка. Мікроструктура дендритна. Порівняно зі шліфом *а* більше деформована (рис. 26, 1). Мікротвердість — 185,8 кг/мм². Шліф *в* — на поперечному перерізі спинки. Мікроструктура дендритна без слідів кування (рис. 26, 2). Мікротвердість — 85,6 кг/мм².

Аналіз 29 (курган 28). Шліф *а* виготовлено на поперечному перерізі лезової частини. Мікроструктура рекристалізована. Місцями помітна хвилеподібність меж великих зерен, а також збирання більш дрібних поліедрів навколо великих. Поблизу леза видні численні лінії зсуву. (рис. 26, 3). Розміри зерен 0,09—0,3 мм. Мікротвердість — від спинки до леза 105—236 кг/мм².

Шліф *б* — на поперечному перерізі руків'я. Мікроструктура рекристалізована, без яких-небудь слідів додаткової обробки (рис. 26, 4). Мікротвердість — 105,7 кг/мм².

Аналіз 60 (курган 38). Шліф *а* зроблено на поперечному перерізі руків'я біля отвору для заклепки. Великі ливарні пори й зонально розташований евтектоїд. Мікроструктура крупнодендритна зі смугами ковзання. Біля отвору на тлі розбитих дендритів помітні дрібні зерна розмірами 0,025 мм. Лінії зсуву в місці нанесення орнаменту (рис. 26, 5).

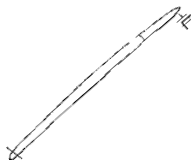
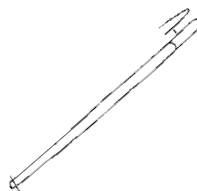
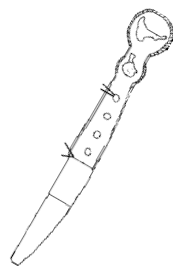
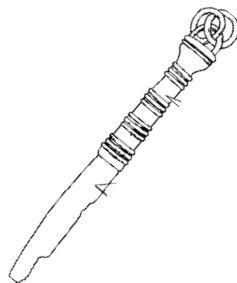
Шліф *б* — на стику руків'я й клинка. Великі ливарні пори й зонально розташований евтектоїд. Мікроструктура вилита. Кристали хвилеподібно врастають усередину заліза. Кількість ліній зсуву зростає до центра руків'я (рис. 26, 6).

Шліф *в* — на поздовжньому перерізі втулки заклепки. Мікроструктура рекристалізована. Розміри зерна — 0,045 мм. Уздовж крайової зони — сильно деформована структура (рис. 26, 7).

Аналіз 30 (курган 21). Шліф зроблено на поздовжньому перерізі. Мікроструктура цілком рекристалізована, крупнозерниста з одиничними лініями зсуву. Поперек шліфа — корозійна тріщина. Розміри зерен 0,12—0,15 мм. Мікротвердість металу — 105 кг/мм² (рис. 26, 8).

Аналіз 31 (курган 37). Шліф зроблено на поздовжньому перерізі. Мікроструктура цілком рекристалізована різнозерниста з великою кількістю ліній зсуву. Розміри зерен від 0,015—0,025 мм до 0,065—0,09 мм. Евтектоїд дуже здрібнений і витягнутий уздовж шліфа. Через увесь шліф проходить одна велика та кілька волосоподібних тріщин. Мікротвердість металу — 162,3 кг/мм² (рис. 27, 1).

Аналіз 32 (курган 28). Шліф зроблено на поздовжньому перерізі сплющеного кінця. Мікроструктура цілком рекристалізована дрібнозерниста. Розміри зерен і двійників 0,025—0,035 мм. Евтектоїд $\alpha + \text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$ витягнутий в поздовжньому напрямку. Мікротвердість — 135 кг/мм² (рис. 27, 2).



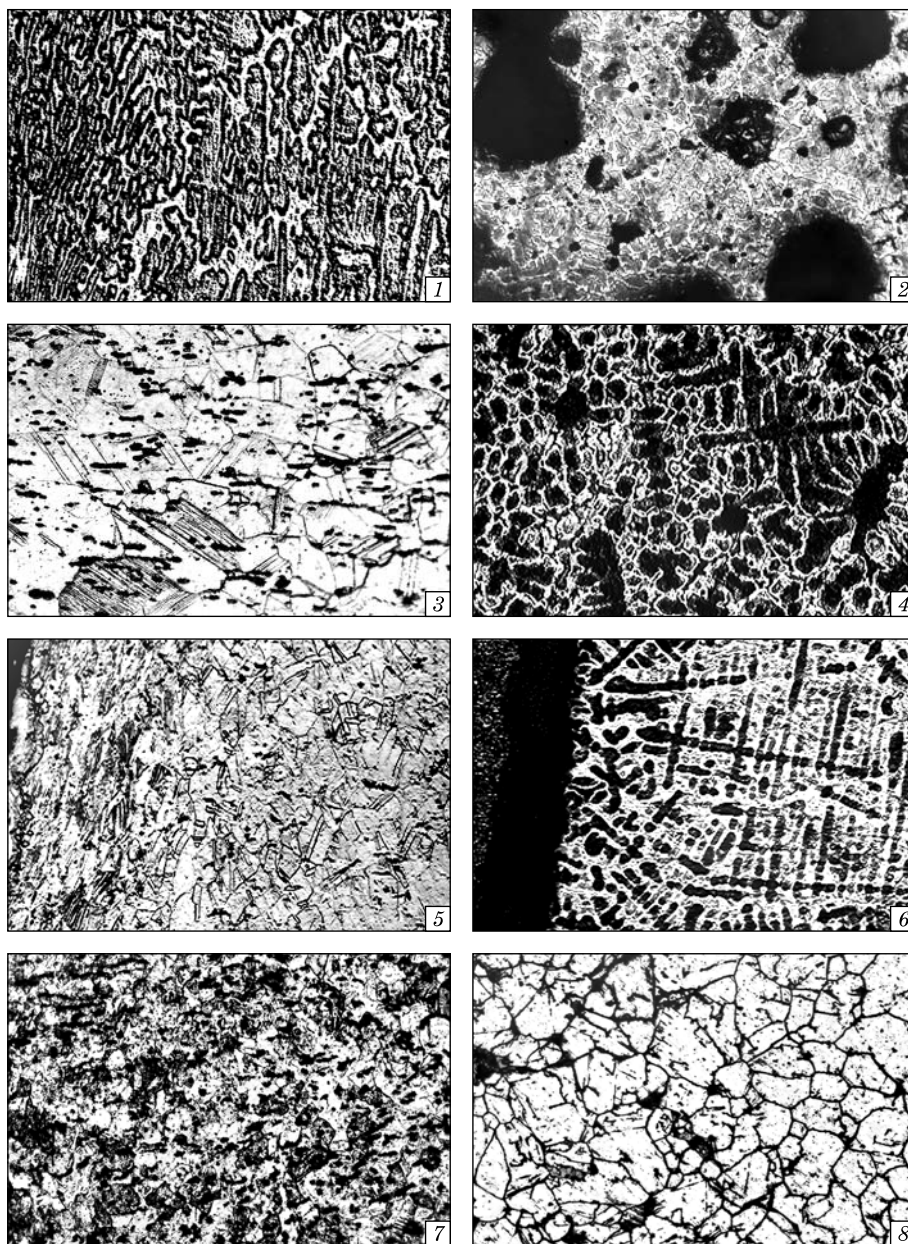


Рис. 26. Мікроструктури: 1 — ан. 28, б, зб. 107; 2 — ан. 28, в, зб. 70; 3 — ан. 29, а, зб. 80; 4 — ан. 29, б, зб. 80; 5 — ан. 60, а, зб. 80; 6 — ан. 60, б, зб. 80; 7 — ан. 60, в, зб. 70; 8 — ан. 30, зб. 70

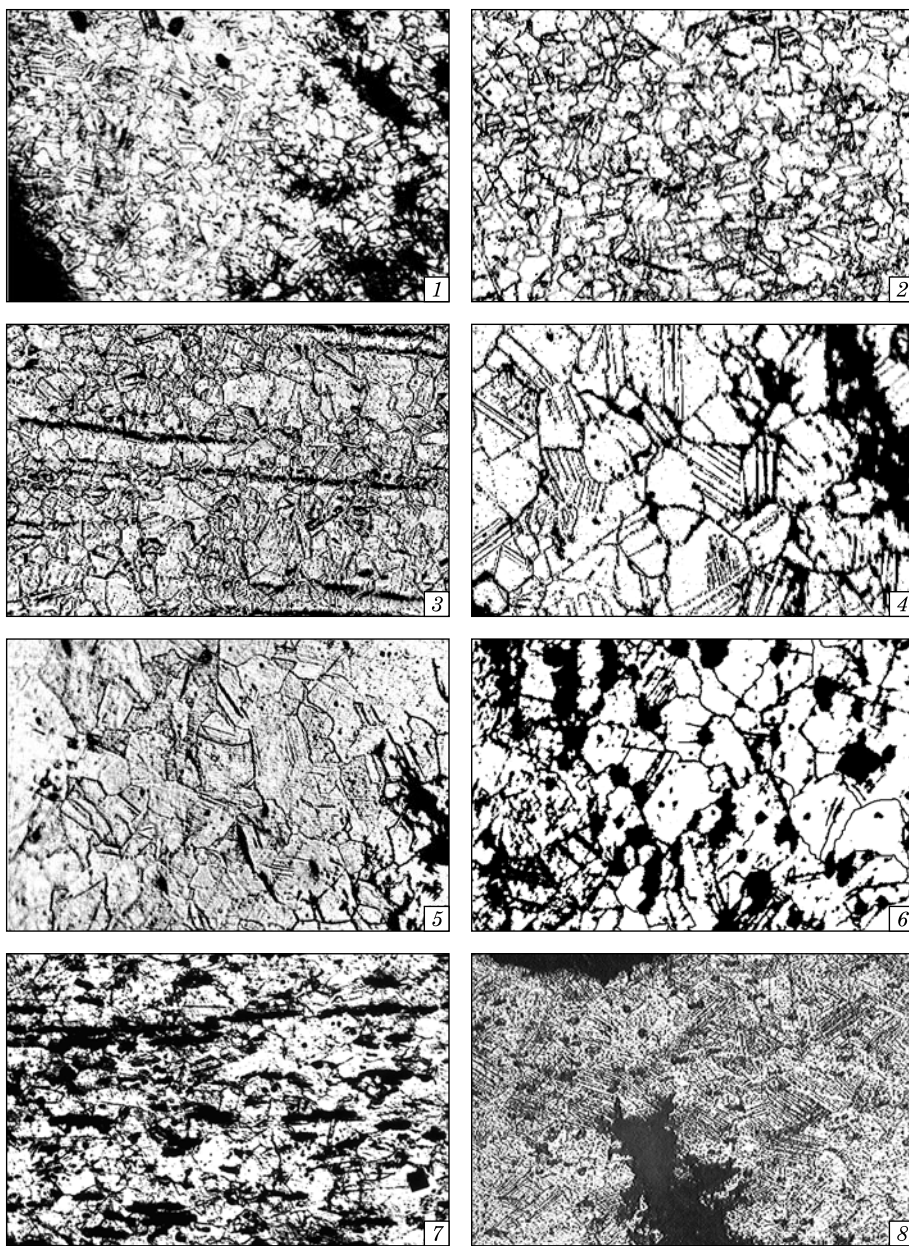
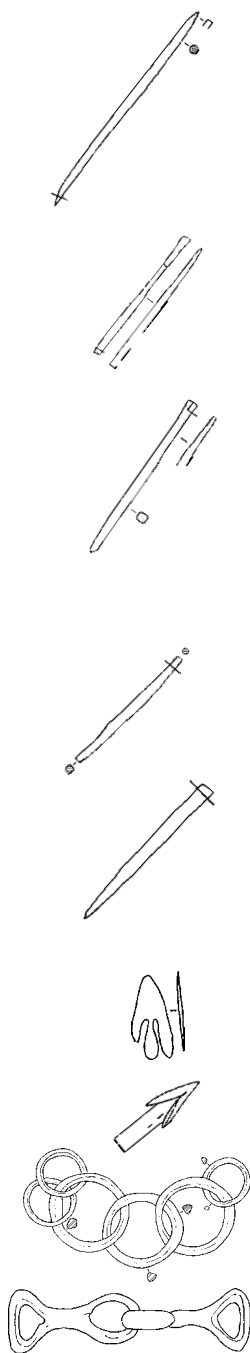


Рис. 27. Мікроструктури: 1 — ан. 31, зб. 70; 2 — ан. 32; зб. 246; 3 — ан. 33, зб. 107; 4 — ан. 34, зб. 107; 5 — ан. 37, зб. 80; 6 — ан. 39, а, зб. 160; 7 — ан. 39, б, зб. 160; 8 — ан. 40, зб. 107



Аналіз 33 (курган 15). Шліф зроблено на поздовжньому перерізі вістря. Мікроструктура рекристалізована на тлі залишкових дендритів, витягнутих у поздовжньому напрямку. Евтектоїд сильно витягнутий. Розміри зерен з двійниками 0,045—0,065 мм. На вістрі — 0,025—0,035 мм. Місцями поліедри мають уламковий вигляд. Велика кількість ліній зсуву. Мікротвердість металу — 181 кг/мм² (рис. 27, 3).

Аналіз 37 (курган 18). Шліф зроблено перпендикулярно зрізу на квадратній частині знаряддя. Збереженість металу погана. Можна припускати, що структура цілком рекристалізована. Розміри зерен і двійників ~0,065 мм. Численні лінії зсуву. Евтектоїд є наявним у невеликій кількості. Мікротвердість ~130,3 кг/мм² (рис. 27, 5).

Аналіз 39 (курган 21). Шліф *a* зроблено на сплащеному кінці (перпендикулярно зрізу). Мікроструктура рекристалізована на тлі залишкових дендритів. Численні лінії зсуву. Місцями зерна мають уламковий характер та хвилясті границі. Розміри зерен з двійниками 0,045—0,06 мм. Мікротвердість 197,7 кг/мм² (рис. 27, 6).

Шліф *б* — на протилежному загостреному кінці. Мікроструктура аналогічна шліфу *a*. Розміри зерен з двійниками 0,035—0,045 мм. Мікротвердість 248,2 кг/мм² (рис. 27, 7).

Аналіз 40 (курган 21). Шліф виготовлено ближче до круглого в розрізі кінця знаряддя перпендикулярно зрізу. Мікроструктура цілком рекристалізована. Розміри зерен із двійниками 0,025—0,035 мм. Велика кількість ліній зсуву. Мікротвердість металу — 222 кг/мм² (рис. 27, 8).

Аналіз 42 (курган 31). Шліф зроблено на поздовжньому перерізі. Мікроструктура рекристалізована з вираженою різнозернистістю. Зерна й двійники — величиною 0,035—0,12 мм. Їхні межі злегка хвиляподібні. Евтектоїд у вигляді крапкових включень, витягнутих ланцюжками вздовж зразка. Присутні лінії зсуву. Мікротвердість металу — 154 кг/мм² (рис. 28, 1).

Аналіз 65 (курган 34). Шліф — на поздовжньому перерізі шипа. Мікроструктура дрібнозерниста на тлі подрібнених дендритів. Розміри зерна 0,015—0,025 мм. По всьому полю шліфа — дрібні поздовжні тріщини. Мікротвердість металу — 172 кг/мм² (рис. 28, 2).

Аналіз 67 (курган 35). Шліф — на поперечному перерізі втулки. Мікроструктура вилита з дрібними дендритами. Мікротвердість — 135 кг/мм² (рис. 28, 3).

Аналіз 62 (курган 37). Шліф виготовлений на поперечному перерізі одного з кілець. Мікроструктура вилита дендритна не порушена куванням (рис. 28, 4).

Аналіз 63 (курган 34). Шліф — на поперечному перерізі однієї частини. Мікроструктура вилита з великими дендритами. Мікротвердість металу — 135 кг/мм² (рис. 28, 5).

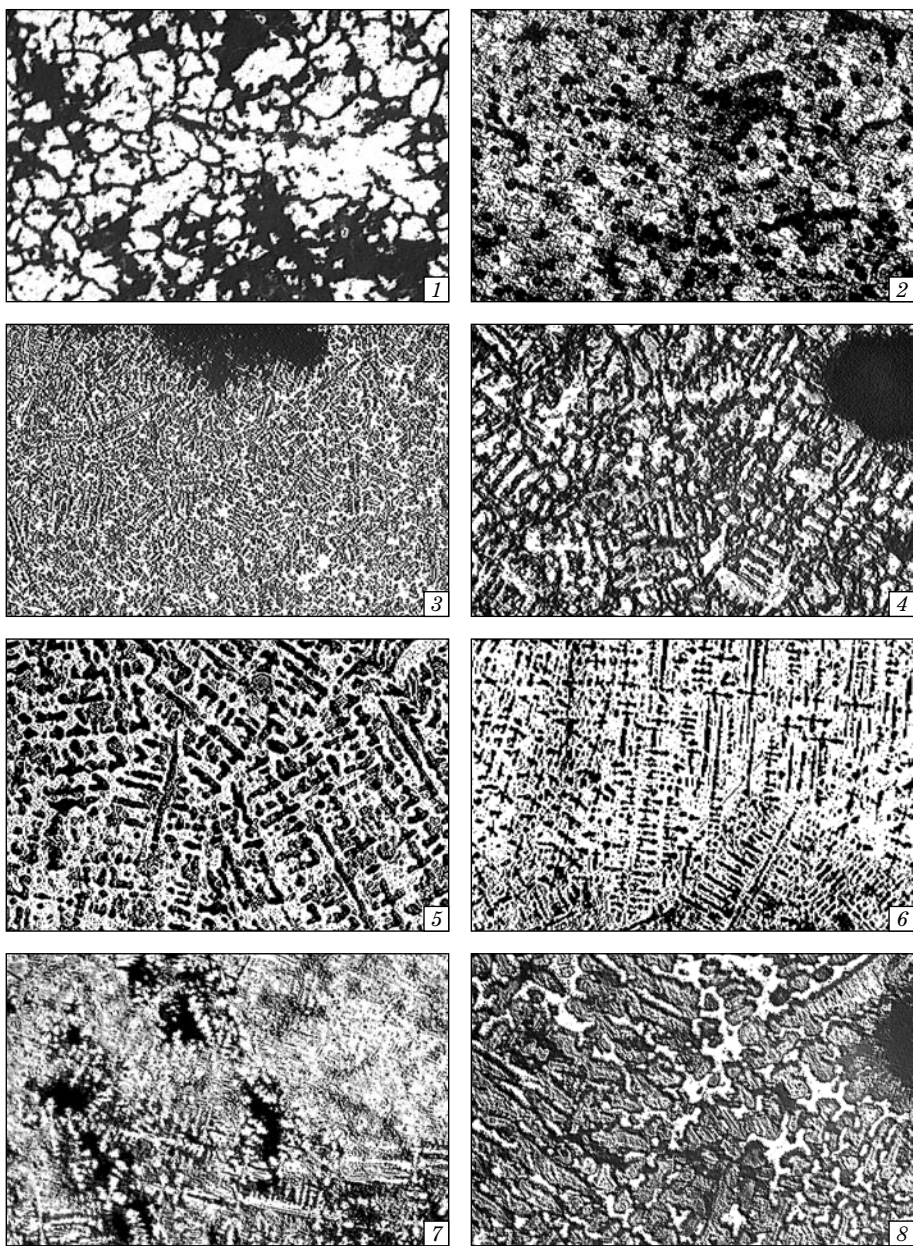
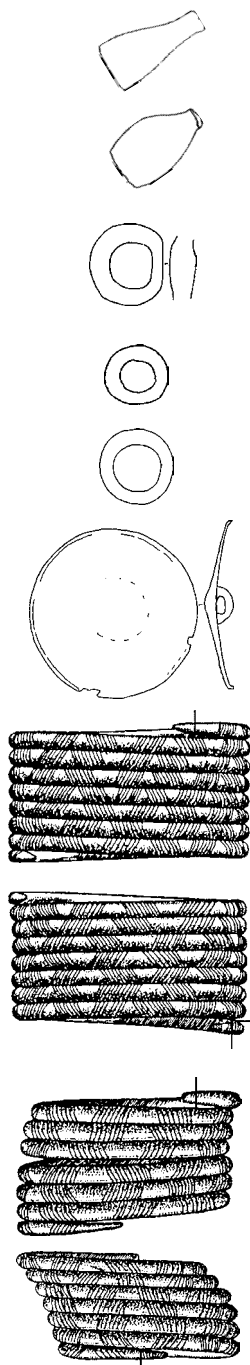


Рис. 28. Мікроструктури: 1 — ан. 42, зб. 80; 2 — ан. 65, зб. 107; 3 — ан. 67, зб. 80; 4 — ан. 62, зб. 80; 5 — ан. 63, зб. 80; 6 — ан. 57, зб. 80; 7 — 58, зб. 80; 8 — 64, зб. 80



Аналіз 57 (курган 31). Шліф — на поздовжньому перерізі. Мікроструктура вилита дендритна. Мікротвердість металу — $212,8 \text{ кг/мм}^2$ (рис. 28, 6).

Аналіз 71 (курган 38). Шліф виготовлений на поздовжньому перерізі нижньої частини виробу. Мікроструктура вилита крупнодендритна. Мікротвердість металу — 174 кг/мм^2 (рис. 29, 2).

Аналіз 52 (курган 5). Шліф зроблений на поперечному перерізі предмета. Зразок сильно зіпсований корозією. Мікроструктура рекристалізована на тлі залишкових дендритів. Розміри зерен $\sim 0,09 \text{ мм}$. Мікротвердість металу — $105,3 \text{ кг/мм}^2$.

Аналіз 58 (курган 23). Шліф виготовлений на предметі шляхом полірування поверхні. Мікроструктура вилита грубозерниста без слідів доробки куванням. Мікротвердість металу — 211 кг/мм^2 (рис. 28, 7).

Аналіз 64 (курган 34). Шліф — на поперечному перерізі предмета. Мікроструктура вилита з крупними дендритами. Мікротвердість металу — $86,4 \text{ кг/мм}^2$ (рис. 28, 8).

Аналіз 66 (курган 34). Шліф виготовлений поперечному зрізі края бляхи. Мікроструктура — дрібнозерниста на тлі розмитих деформувальним впливом дендритів, які витягнуті перпендикулярно куванню. Розміри зерен $0,015\text{—}0,025 \text{ мм}$. Мікротвердість металу — 173 кг/мм^2 (рис. 29, 1).

Аналіз 10 (курган 16). Виготовлено два шліфи: *a* — на поперечному і *б* — на поздовжньому перерізах дроту. Металографічне дослідження виявило цілком рекристалізовану різнозернисту структуру з великою кількістю двійників у великих і малих зернах. Розміри зерна — $0,09\text{—}0,1 \text{ мм}$. Мікротвердість металу — 114 кг/мм^2 (*a*), 116 кг/мм^2 (*б*) (рис. 29, 3—4).

Аналіз 11 (курган 16). Шліф зроблено на поздовжньому перерізі дроту. До травління помітні тріщини по діагоналі та поперек шліфа. Металографічне дослідження виявило цілком рекристалізовану різнозернисту структуру з розміром зерна — $0,09\text{—}0,065 \text{ мм}$, із великою кількістю двійників і ліній зсуву. В центрі шліфа зустрічаються великі зерна діаметром до $0,12 \text{ мм}$. Мікротвердість — 155 кг/мм^2 (рис. 29, 5).

Аналіз 12 (курган 6). Виготовлено два шліфи на загостреному кінці дроту — на поперечному (*a*) і поздовжньому перерізах (*б*). У центрі шліфа *a* знаходиться велика тріщина. Евтекоїд наявний у невеликій кількості і, відповідно шліфу, має круглу (*a*) чи плавно витягнуту (*б*) форму. Структура цілком рекристалізована. Зерна із двійниками розмірами $0,035 \text{ мм}$. У деяких присутні лінії зсуву. Мікротвердість — 140 кг/мм^2 (рис. 29, 6—7).

Аналіз 13 (курган 6). Шліф виготовлений на поздовжньому перерізі дроту. Мікроструктура поліед-

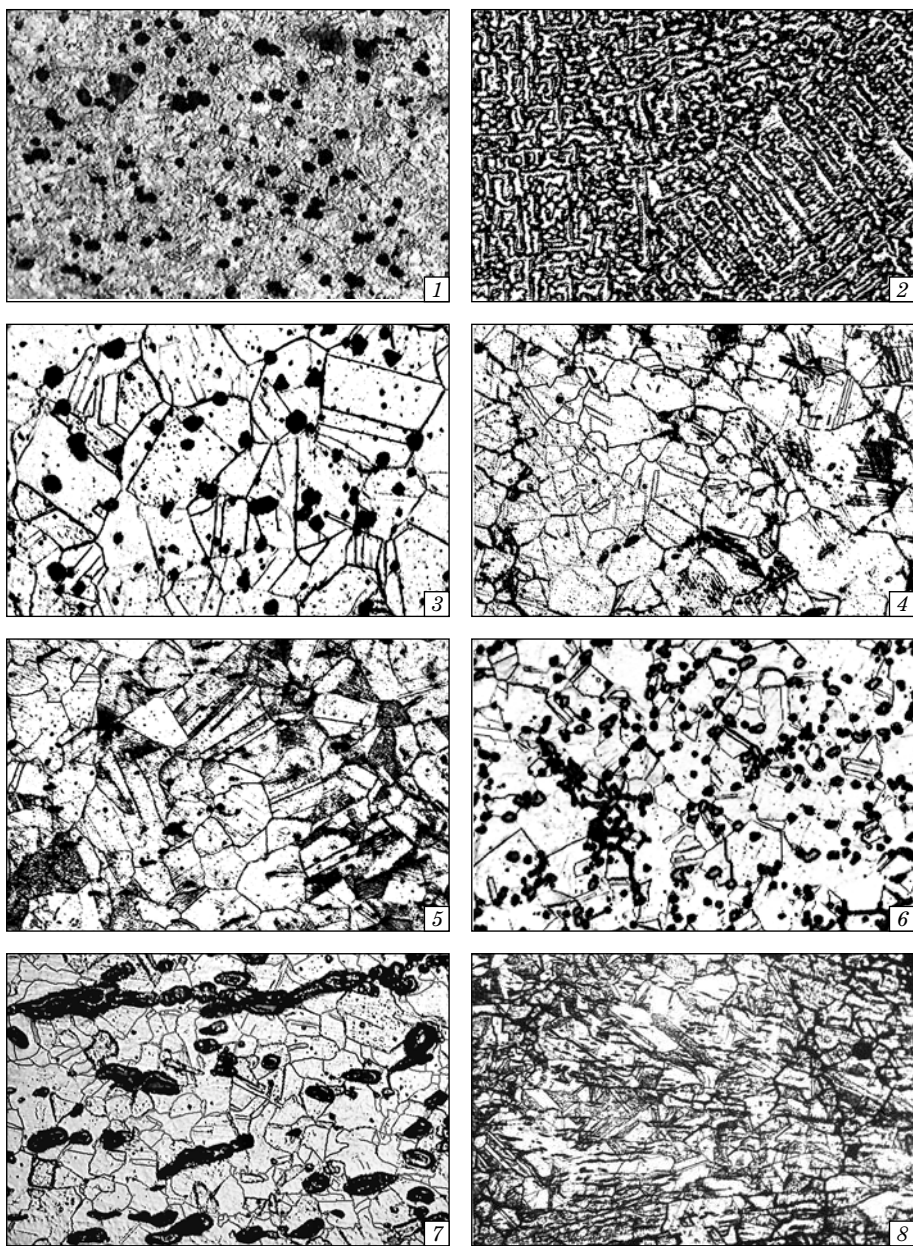
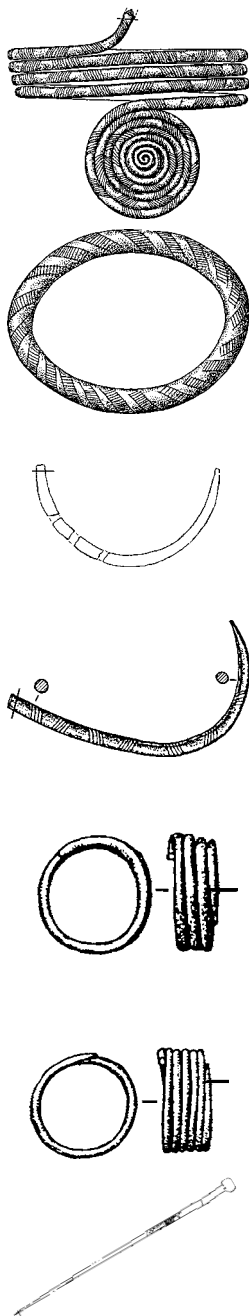


Рис. 29. Мікроструктури: 1 — ан. 66, зб. 107; 2 — ан. 71; зб. 80; 3 — ан. 10, а, зб. 107; 4 — ан. 10, б, зб. 80; 5 — ан. 11, зб. 120; 6 — ан. 12, а, зб. 107; 7 — ан. 12, б, зб. 107; 8 — ан. 13, зб. 70



рична з невеликою кількістю двійників. Розміри кристалів — 0,035—0,045 мм. Мікротвердість — 96,1 кг/мм² (рис. 29, 8).

Аналіз 14 (курган 16). Шліф виготовлений на поперечному перерізі дроту. У центрі видно залишки усадочної раковини й усадочна тріщина.

Після травління відкрилася цілком рекристалізована структура, що складається з дрібних зерен із двійниками (0,025 мм). До краю шліфа зерно стає дрібнішим. Мікротвердість металу — 193 кг/мм² (рис. 30, 1).

Аналіз 15 (курган 9). Шліф виготовлений на поперечному перерізі. По всьому полю шліфа видно усадочну пористість. Металографічне дослідження відкрило цілком гомогенізовану структуру з великим зерном (0,09 мм). Мікротвердість металу — 112,2 кг/мм². З тієї сторони шліфа, де нанесено орнамент, спостерігаються деяка подрібненість поліедричної структури й лінії зсуву. Мікротвердість зростає до 128 кг/мм² (рис. 30, 2).

Аналіз 50 (курган 6, поховання 1). Шліф виготовлено на поздовжньому перерізі загостреного кінця дроту. До травління було помітно плавно витягнутий евтектоїд. Мікроструктура має рекристалізований вигляд і складається з поліедрів і двійників середньої величини (Д — 0,045 мм), вкритих лініями зсуву. Мікротвердість металу — 230 кг/мм² (рис. 30, 3).

Аналіз 69 (курган 38). Шліф виготовлено на поздовжньому перерізі дроту. Металографічне дослідження виявило рекристалізовану різнозернисту з великою кількістю двійників структуру. Розміри поліедрів — 0,065—0,09 мм. У поліедрах наявні багато ліній зсуву. Мікротвердість металу — 141 кг/мм² (рис. 30, 4).

Аналіз 54 (курган 9). Шліф зроблено на поздовжньому перерізі дроту. Металографічне дослідження виявило цілком рекристалізовану структуру зі значною кількістю двійників. Розміри поліедрів з двійниками — 0,035—0,45 мм. Евтектоїд сильно витягнутий у подовжньому напрямку. Великі поліедри мають злегка округлені межі. На загостреному кінці дроту спостерігаються лінії зсуву всередині зерен. На вістрі виробу зерна витягнуті паралельно деформації металу. Мікротвердість металу — 193 кг/мм² (рис. 30, 5).

Аналіз 55 (курган 9). Шліф виконано на поздовжньому перерізі дроту. Мікроскопічне дослідження виявило рекристалізовану структуру з невеликою кількістю двійників і ліній зсуву всередині зерен. Розміри поліедрів — 0,025—0,03 мм. Мікротвердість металу — 151 кг/мм² (рис. 30, 6).

Аналіз 18 (курган 24). Шліф зроблено на поздовжньому перерізі шпильки. Метал — у дуже поганому стані. Евтектоїд $\alpha + \text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$ витягнутий уздовж шліфа. Розміри поліедрів не перевищує 0,025—0,035 мм. На шліфі вияв-

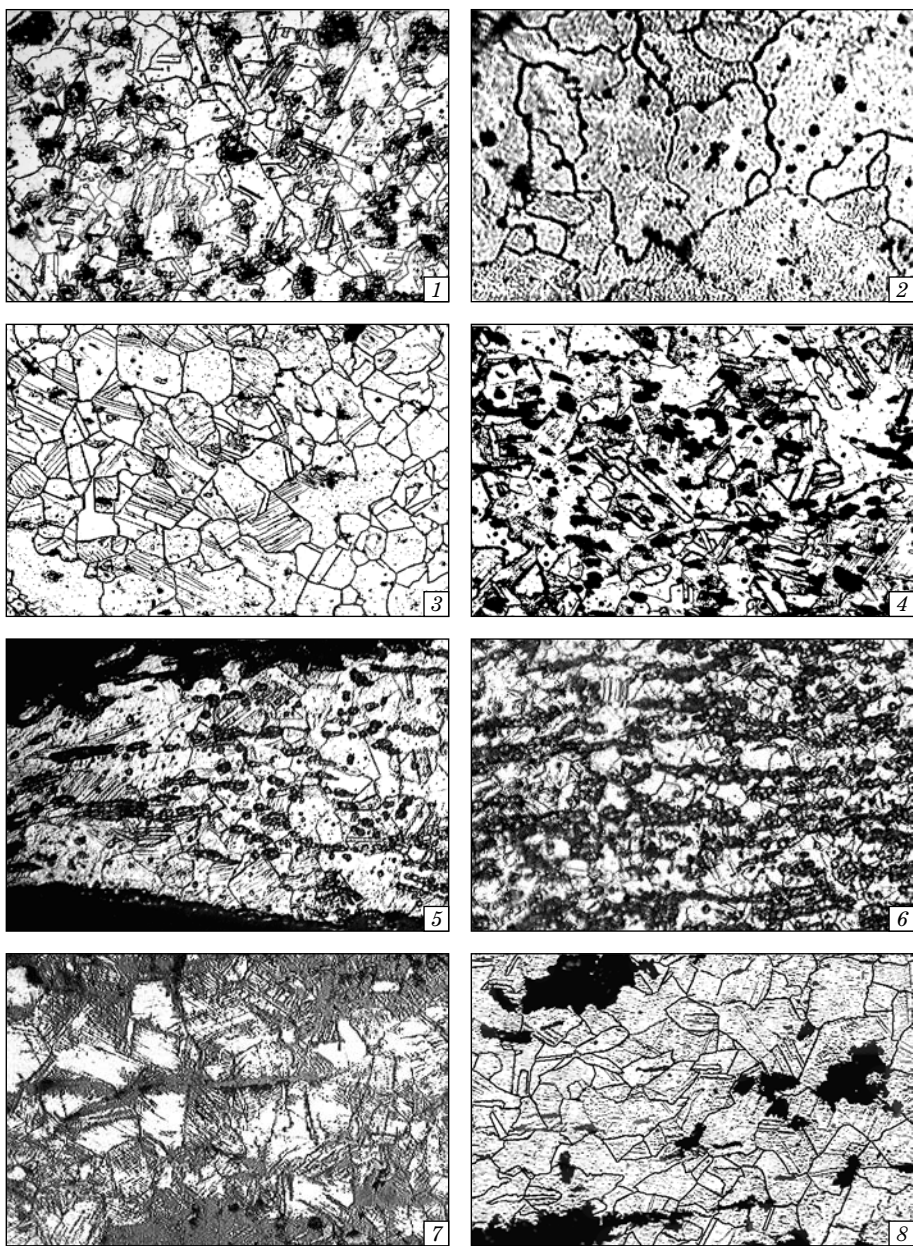


Рис. 30. Мікроструктури: 1 — ан. 14, зб. 107; 2 — ан. 15, зб. 107; 3 — ан. 50, зб. 107; 4 — ан. 69, зб. 120; 5 — ан. 54, зб. 107; 6 — ан. 55, зб. 107; 7 — ан. 18, зб. 107; 8 — ан. 19, а, зб. 107

лені тріщини, що залягають у поздовжньому й поперечному напрямках (рис. 30, 7).

Аналіз 19 (курган 16). Виготовлено два шліфи: на поздовжньому перерізі вістря (а) і на поперечному перерізі петельки (б). Металографічне дослідження виявило цілком рекристалізовану різнозернисту структуру на обох шліфах. Шліф б має здрібнену куванням структуру. По всій його довжині проходить тріщина. Розміри поліедрів і двійників — 0,025—0,035 мм. Подекуди на поліедрах помітні лінії зсуву. Розміри поліедрів на шліфі а 0,065—0,20 мм. Мікротвердість металу — 178,2 кг/мм² (а); 95,6 кг/мм² (б) (рис. 30, 8; 31, 1).

Аналіз 20 (курган 6). Шліф зроблено на поздовжньому перерізі виробу. Метал — поганої збереженості. У середині шліфа — велика корозійна виразка. Металографічне дослідження виявило повністю рекристалізовану дрібнозернисту структуру. Розміри поліедрів і двійників — 0,015—0,025 мм. Мікротвердість — 189,3 кг/мм² (рис. 31, 2).

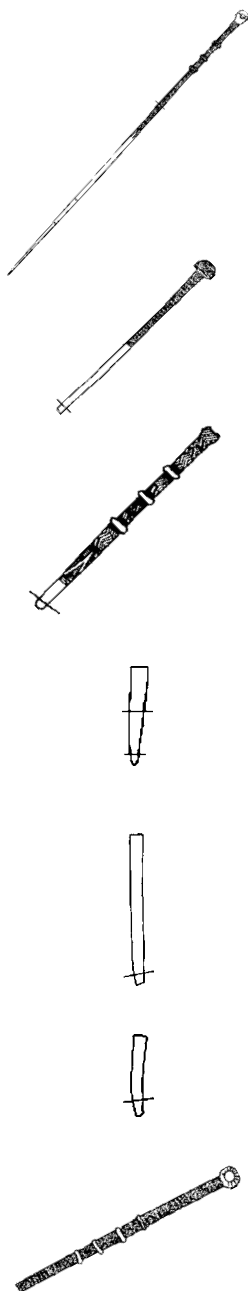
Аналіз 43 (курган 11). Шліф зроблено на поздовжньому перерізі шпильки. Мікроскопічне дослідження виявило рекристалізовану структуру на тлі залишкових дендритів. У місцях нанесення орнаменту спостерігаються окремі лінії зсуву. Розміри поліедрів і двійників — 0,025—0,035 мм. Мікротвердість — 193,3 кг/мм² (рис. 31, 3).

Аналіз 44 (курган 16). Шліф зроблено на поздовжньому перерізі вістря. Мікроскопічне дослідження виявило рекристалізовану структуру з лініями зсуву всередині зерен. Розміри поліедрів і двійників — 0,025—0,035 мм. Евтектоїд здрібнений і сильно витягнутий. На шліфі виявлені тріщини «червоноламкості», розташовані в поздовжньому напрямку. Мікротвердість металу — 144,3 кг/мм² (рис. 31, 4).

Аналіз 45 (курган 24). Шліф зроблено на поздовжньому перерізі. Мікроскопічне дослідження виявило волокнисту дендритну структуру з дрібними поліедрами в міждендритних проміжках, розміри яких — 0,015—0,025 мм. Уздовж шліфа межами поліедрів проходить тріщина «червоноламкості». Показник мікротвердості — 133,6 кг/мм² (рис. 31, 5).

Аналіз 46 (курган 26). Шліф виготовлений на продольному перерізі. Металографічне дослідження виявило повністю рекристалізовану структуру. Розміри зерен і двійників не перевищує 0,015—0,025 мм. Спостерігається незначна кількість ліній зсуву всередині зерен. Мікротвердість металу 233,3 кг/мм² (рис. 31, 6).

Аналіз 47 (курган 27). Шліф зроблено на поздовжньому перерізі, в місці нанесення орнаменту. Металографічне дослідження виявило рекристалізовану поліедричну структуру на тлі залишкових дендритів. У деяких поліедрах



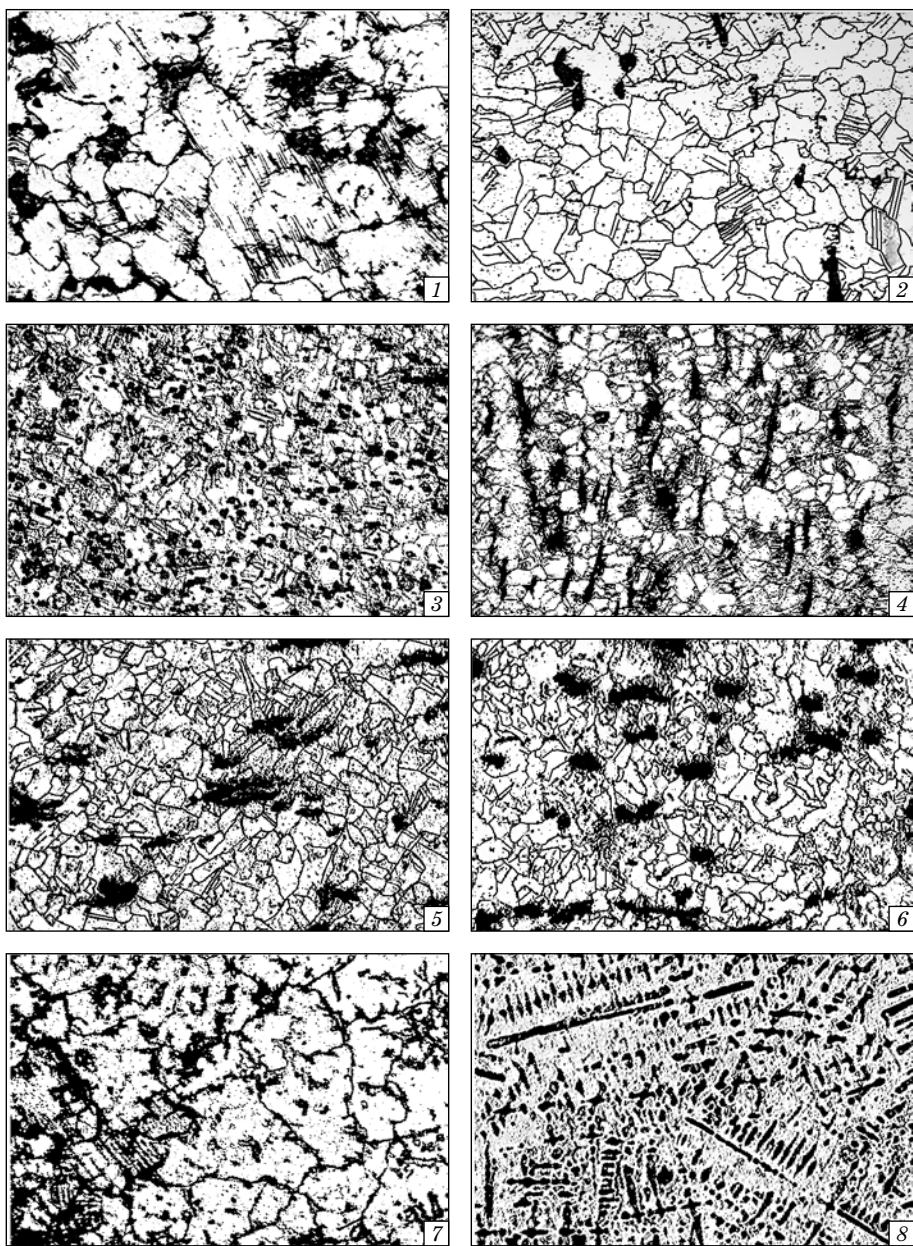


Рис. 31. Мікроструктури: 1 — ан. 19, зб. 80; 2 — ан. 20; зб. 246; 3 — ан. 43, зб. 80; 4 — ан. 44, зб. 107; 5 — ан. 45, зб. 107; 6 — ан. 46, зб. 107; 7 — ан. 47, зб. 80; 8 — ан. 48, а, зб. 80

спостерігаються лінії зсуву. Розміри поліедрів — 0,012 мм. На межах дендритів у місцях знаходження евтектоїда видно свинець у вигляді крупних глобулів. У поздовжньому напрямку проходить тріщина. Мікротвердість металу — 145,7 кг/мм² (рис. 31, 7).

Аналіз 48 (курган 27). Виготовлено два шліфи: на поперечному перерізі голівки (а) й на поздовжньому перерізі вістря (б). Металографічне дослідження виявило на шліфі а вилиту структуру з невеликою кількістю ліній зсуву. Мікротвердість металу — 102,2 кг/мм² (рис. 31, 8).

Шліф б має цілком рекристалізовану структуру. Розміри поліедрів із двійниками — 0,015—0,025 мм. Евтектоїда — небагато й він витягнутий у поздовжньому напрямку. Поперек шліфа залягає тріщина. Мікротвердість металу — 141 кг/мм² (рис. 32, 1).

Аналіз 49 (курган 31). Шліф виготовлено на поздовжньому перерізі. Металографічне дослідження виявило цілком рекристалізовану крупнозернисту структуру. Розміри поліедрів — 0,09—0,12 мм. У середині поліедрів помітні нечисленні лінії зсуву. На шліфі виявлена велика кількість дрібних включень свинцю. Мікротвердість металу — 153,2 кг/мм² (рис. 32, 2).

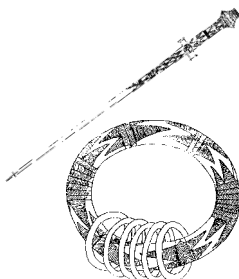
Аналіз 56 (курган 21). Виготовлено два шліфи: а на цвяхку, б на поперечному перерізі пластини. Шліф а має рекристалізовану дрібнозернисту структуру з невеликою кількістю двійників на тлі залишкових дендритів. У великих поліедрах іноді зустрічаються лінії зсуву. Мікротвердість — 153,3 кг/мм². Розміри зерна — 0,015—0,025 мм (рис. 32, 3).

На шліфі б — цілком рекристалізована структура. Евтектоїд $\alpha + \text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$ здрібнений і плавно витягнутий уздовж шліфа. На поліедри накладаються численні лінії зсуву. Мікротвердість металу — 197,4 кг/мм². Розміри зерна — 0,010—0,035 мм (рис. 32, 4).

Аналіз 68 (курган 35). Шліф був виготовлений на поздовжньому перерізі предмета. Металографічне дослідження виявило рекристалізовану структуру на тлі сильно здрібнених дендритів, злегка витягнутих у поздовжньому напрямку. Розміри поліедрів і двійників не перевищує 0,015—0,025 мм. На шліфі виявлені тріщини червоноламкості, що залягають у поздовжньому напрямку. Мікротвердість металу — 138 кг/мм² (рис. 32, 5).

Аналіз 51 (курган 16). Шліф виготовлено на поздовжньому перерізі. Мікроструктура рекристалізована. Розміри зерен із двійниками 0,025—0,035 мм. Численні лінії зсуву. Евтектоїд дуже витягнутий у поздовжньому напрямку. Мікротвердість металу — 170,5 кг/мм² (рис. 32, 7).

Аналіз 16 (курган 28). Шліф зроблено на поперечному перерізі одного з малих кілець. До травління спостерігається велика кількість окису міді. Мікроструктура вилита. Дендрити розташовані в напрямку найбільш



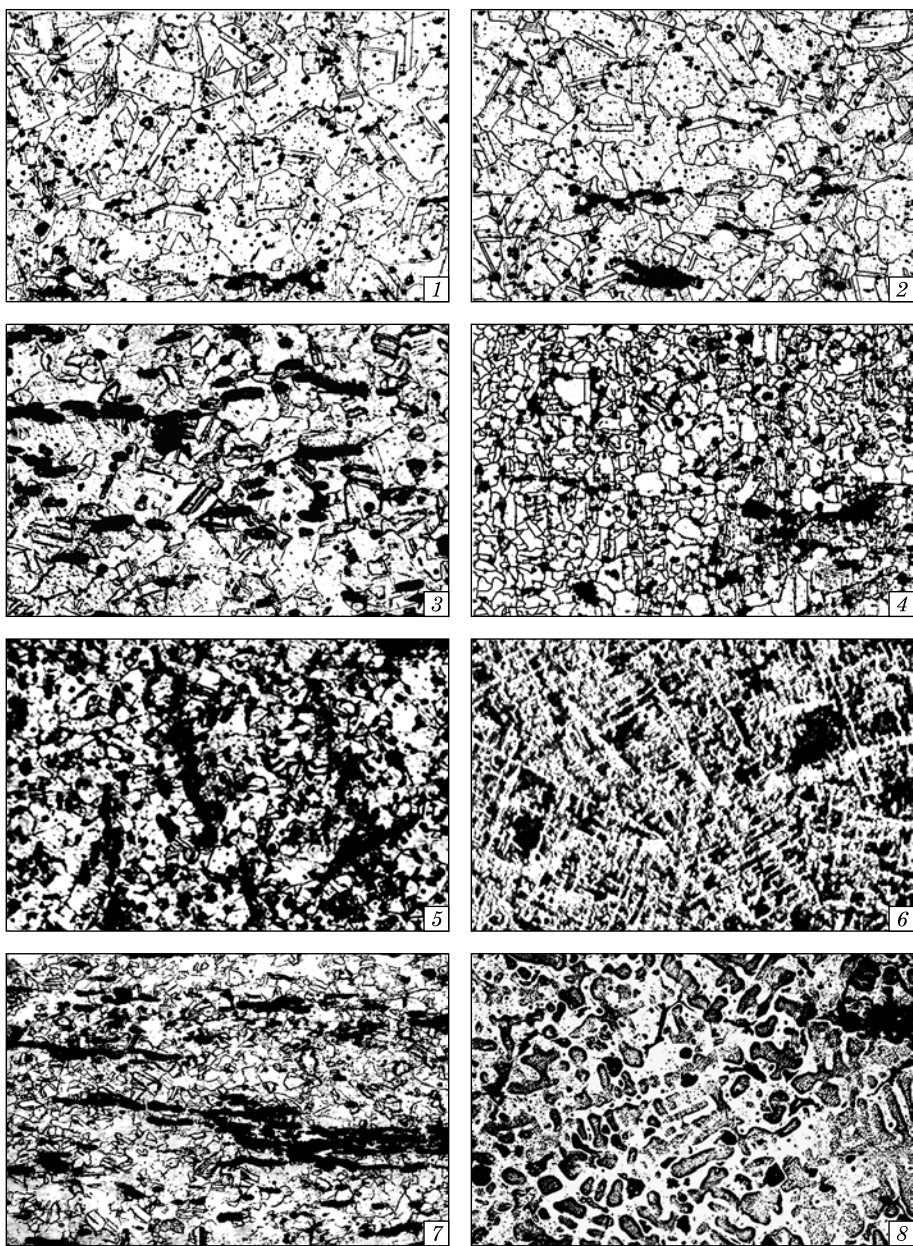
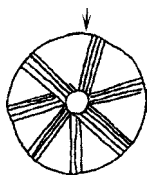


Рис. 32. Мікроструктури: 1 — ан. 48, б, зб. 70; 2 — ан. 49; зб. 70; 3 — ан. 56, а, зб. 120; 4 — ан. 56, б, зб. 120; 5 — ан. 68, зб. 200; 6 — ан. 16, зб. 107; 7 — ан. 51, зб. 70; 8 — ан. 117, зб. 70

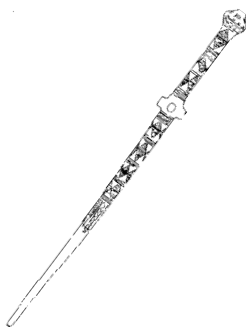


інтенсивного тепловідводу. Мікротвердість — 127 кг/мм² (рис. 32, 6).

Аналіз 59 (курган 31). Шліф зроблено на предметі. Метал дуже зіпсований корозією. Після травління відкрилася крупнодендритна структура. Мікротвердість металу — 173 кг/мм².

Аналіз 117 (НМІУ, б/п). Шліф 117 — на поперечному перерізі виробу. Все поле шліфа вкрите великими й дрібними круглими порами та, крупними фрагментами закиси міді Cu_2O , що розташовані ближче до краю шліфа. Мікроструктура дендритна з дрібними рекристалізованими зернами по краях шліфа. Мікротвердість — 128,0 кг/мм². Розміри полієдрів — 0,025 мм (рис. 32, 8.). 117а — на поздовжньому перерізі вістря. Помітні тріщинки. Евтектоїд витягнутий ланцюжками вздовж зразка в напрямі деформації металу. Мікроструктура рекристалізована полієдрична з великою кількістю двійників і смугами деформації у зернах. Величина зерна — 0,12—0,09 мм. Мікротвердість — 204,4 кг/мм².

Аналіз 118 (НМІУ, б/п). Виготовлено два шліфи: на на поперечному перерізі тулуба — 118, і поздовжньому перерізі вістря (118а). Шліф 118 — помітні крупні й дрібні пори, здебільшого округлої форми. Присутня велика кількість крупних і дрібних фрагментів Cu_2O . Мікроструктура вилита дендритна. Мікротвердість металу — 95,4 кг/мм². Шліф 118а — евтектоїд, трохи витягнутий у поздовжньому напрямку, і тріщини вздовж шліфа. Мікроструктура дуже подрібнена полієдрична з двійниками. На самому вістрі — численні лінії зсуву. Мікротвердість — 161,4 кг/мм². Величина зерна — 0,035—0,04 мм (рис. 33, 1—2).



МЕТАЛОГРАФІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДОСЛІДЖЕНИХ ВИРОБІВ ІЗ ПАМ'ЯТОК ТШИНЕЦЬКОЇ ТА КОМАРІВСЬКОЇ КУЛЬТУР. Описання структури

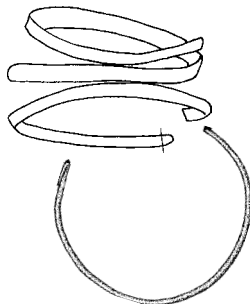
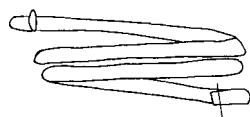
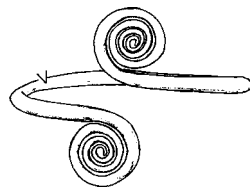
Аналіз 75 (Войцехівка). Шліф зроблено на поперечному перерізі дроту (а). Евтектоїд у вигляді дрібних крапочок, які розсіяні рясно по всій поверхні зразка. Ближче до поверхні спостерігається тріщина. Мікроструктура поліедрична на стадії збиральної рекристалізації. Всередині зерен — значна кількість двійників деформації. Величина поліедрів 0,035—0,045 мм. Мікротвердість — 109,2 кг/мм². Другий шліф (б) зроблений на підполірованій поверхні завитка на щитку. Дуже подрібнений евтектоїд $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$ витягнутий у напрямку деформації. Мікроструктура поліедрична дрібнозерниста зі значною кількістю двійників усередині зерен. Величина поліедрів — 0,035—0,035 мм. Мікротвердість — 116,8 кг/мм² (рис. 33, 6).

Аналіз 72 (Малополовецьке-3, поховання 1). Шліф зроблено на пласкому боці зразка. Евтектоїд $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$ тріхи видовжений у напрямку деформації металу.

Мікроструктура рекристалізована дрібнозерниста з великою кількістю двійників у зернах. Подекуди простежуються дрібні уламки дендритів первинної вилитої структури. Величина зерна — 0,015—0,025 мм. Мікротвердість металу — 171,2 кг/мм² (рис. 33, 3).

Аналіз 73 (Малополовецьке-3, поховання 1). Шліф зроблено на поздовжньому перерізі дроту. Мікроструктура поліедрична із ледь простежуваною текстурою деформації. Евтектоїд плавними ланцюжками витягнутий у напрямку деформації металу. На кінці дроту в деяких поліедрах простежуються лінії зсуву. Розміри зерна — 0,035—0,45 мм. Мікротвердість металу — 152 кг/мм² (рис. 33, 4).

Аналіз 99 (Малополовецьке-3, поховання 63). Шліф зроблено на поздовжньому перерізі дроту. Мала кількість евтектоїда видовжена в напрямку деформації металу. Помітні чисельні павутиноподібні тріщинки.



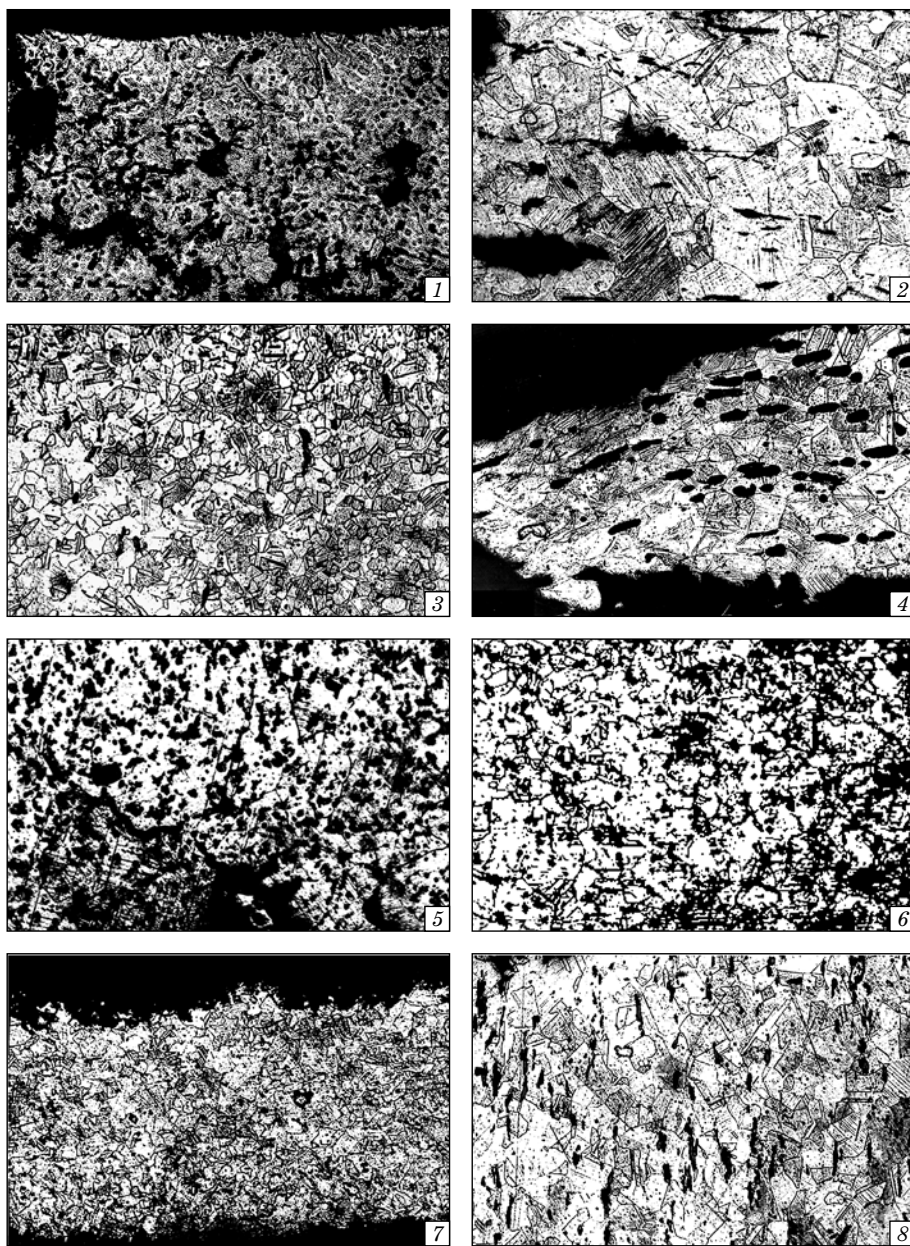


Рис. 33. Мікроструктури: 1 — ан. 118, зб. 70; 2 — ан. 118, зб. 120; 3 — ан. 72, зб. 120; 4 — ан. 73, зб. 200; 5 — ан. 74, зб. 160; 6 — ан. 75; зб. 120; 7 — ан. 98, зб. 120; 8 — ан. 99; зб. 120

Мікроструктура рекристалізована з великою кількістю двійників та лініями зсуву у великих зернах. Величина зерна — 0,09—0,12 мм. Мікротвердість металу — 188,6 кг/мм² (рис. 33, 8).

Аналіз 100 (Малополовецьке-3, поховання 63). Шліф зроблено на поздовжньому перерізі виробу. Невелика кількість евтектоїда $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$, трохи видовженого в напрямку деформації металу. Тонкі тріщинки так само розташовані в напрямку деформації. Мікроструктура рекристалізована з великою кількістю двійників та лініями зсуву всередині зерен. Величина зерна — 0,035 мм. Мікротвердість металу — 164,4 кг/мм² (рис. 34, 1).

Аналіз 101 (Малополовецьке-3, поховання 68). Шліф зроблено на поздовжньому перерізі дроту. Невелика кількість дрібного евтектоїда, ледь помітно видовженого в напрямку деформації металу. Мікроструктура рекристалізована з різнозабарвленими зернами та великою кількістю двійників всередині. Величина зерна — 0,045—0,065 мм. Мікротвердість металу — 116,8 кг/мм² (рис. 34, 2).

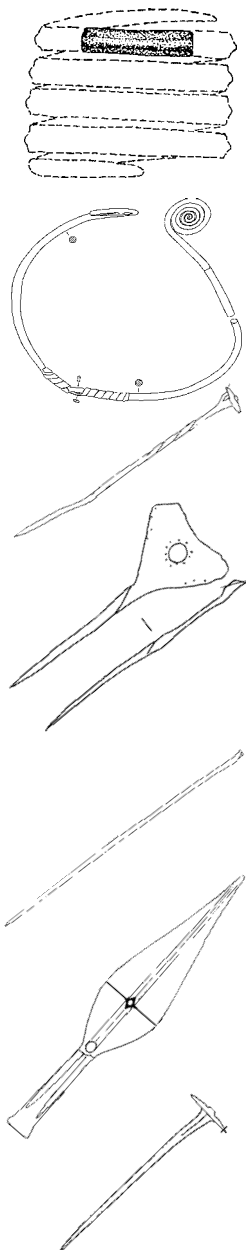
Аналіз 74 (Малополовецьке-3, поховання 1). Зразок вирізано з голівки виробу. Вся поверхня шліфа вкрита дрібними вкрапленнями свинцю. Металографічне дослідження виявило крупнозернисту структуру на тлі залишкової дендритної ліквації. У багатьох поліедрах присутні чисельні лінії зсуву. Розміри зерна — 0,065—0,09 мм. Мікротвердість — 158 кг/мм² (рис. 33, 5).

Аналіз 98 (Малополовецьке-3, поховання 72). Шліф зроблено на поздовжньому перерізі зразка, вирізаного на голівці виробу. Металографічне дослідження виявило рекристалізовану дрібнозернисту структуру з великою кількістю двійників у зернах. Подекуди зустрічаються лінії зсуву. Величина зерна — 0,025—0,045 мм. Мікротвердість металу — 208 кг/мм² (рис. 33, 7).

Аналіз 102 (Малополовецьке-3, поховання 63). Шліф зроблено на поперечному перерізі зразка, вирізаного з верхньої частини виробу. Мікроструктура рекристалізована дрібнозерниста з великою кількістю двійників у зернах. На тлі поліедрів помітні чисельні лінії зсуву. Величина зерна — 0,045—0,065 мм. Мікротвердість металу — 162,4 кг/мм² (рис. 34, 3).

Аналіз 107 (Нетішин). Зразок для металографічного аналізу був вирізаний із втулки. Евтектоїдна фаза розташована по границях зерен. Мікроструктура дрібна поліедрична. Розміри зерна — 0,25—0,015 м. У багатьох зернах спостерігається голчаста фаза. Мікротвердість металу — 221,75 кг/мм² (рис. 35, 1).

Аналіз 104 (Нетішин). Зразок вирізано на шляпці біля великого отвору. Мікроструктура крупнозерниста з двійниками на тлі залишкової дендритної ліквації. Мікротвердість металу — 149,1 кг/мм². Величина зерна — 0,065—0,09 мм (рис. 34, 4).



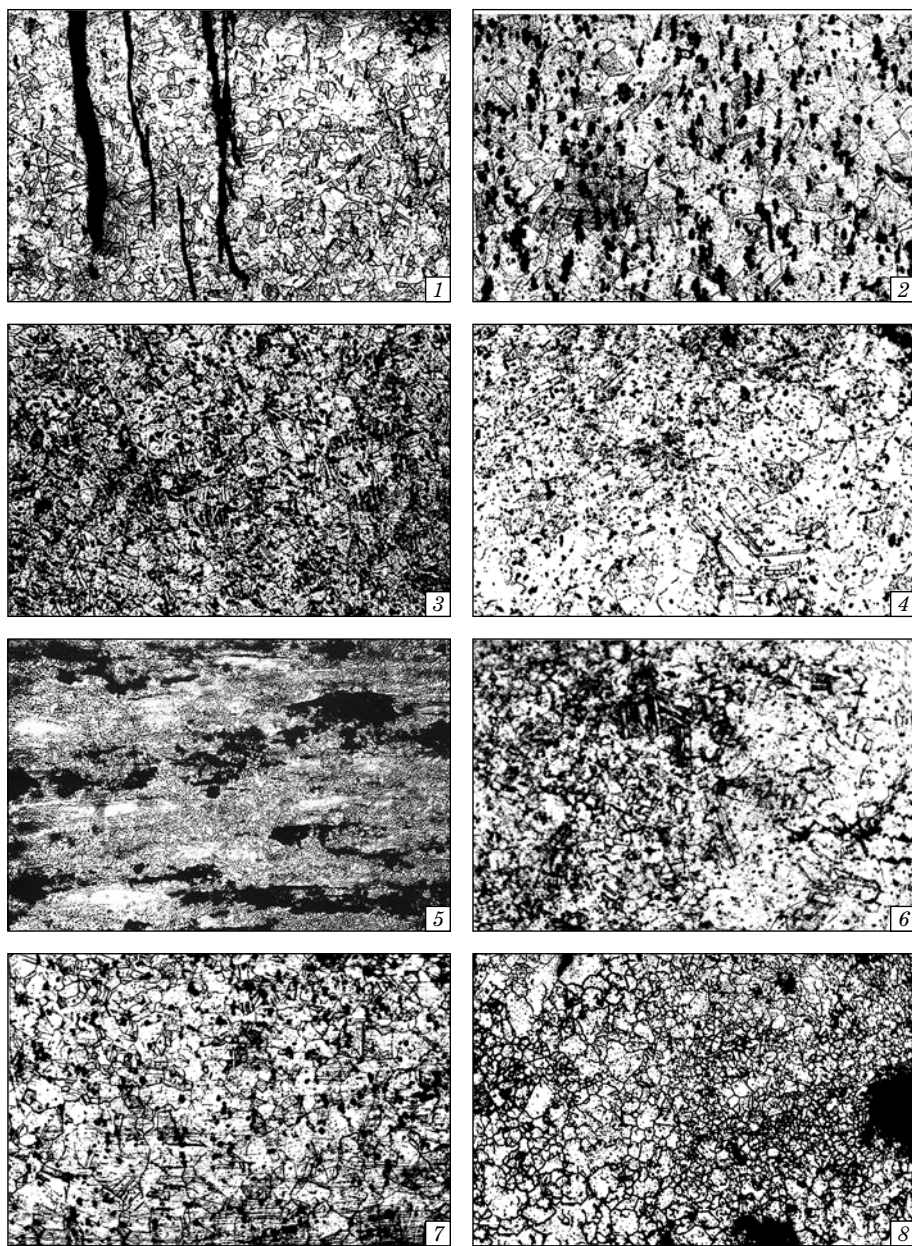


Рис. 34. Мікроструктури: 1 — ан. 100, зб. 120; 2 — ан. 101, зб. 120; 3 — ан. 102, зб. 120; 4 — ан. 104, зб. 120; 5 — ан. 105, зб. 70; 6 — ан. 105, зб. 120; 7 — ан. 106, зб. 120; 8 — ан. 103, зб. 200

Аналіз 105 (Нетішин). Шліф зроблено на поздовжньому перерізі дроту. Мікроструктура рекристалізована дрібнозерниста в вигляді текстурних смуг деформації. Відстань між смугами деформації — 0,05 мм. Розміри зерна — 0,01—0,02 мм. Мікротвердість металу — 174,5 кг/мм² (рис. 34, 5—6).

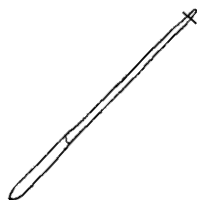
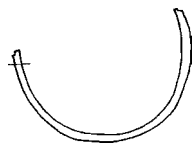
Аналіз 106 (Нетішин). Шліф зроблено на поздовжньому перерізі дроту. Евтектоїд, витягнутий невиразними ланцюжками в напрямку деформації металу.

Мікроструктура рекристалізована дрібнозерниста в вигляді текстурних смуг деформації. Розміри зерна — 0,045 мм. Мікротвердість металу — 226,1 кг/мм² (рис. 34, 7).

Аналіз 108 (Нетішин). Шліф зроблено на поперечному зрізі пластини. Мікроструктура дрібнозерниста з двійниками всередині зерен. Мікротвердість металу — 92,9 кг/мм². Розміри зерна — 0,045 мм (рис. 35, 2).

Аналіз 109 (Нетішин). Шліф зроблено на поперечному зрізі пластини. Мікроструктура дрібнозерниста з двійниками всередині зерен. Мікротвердість металу — 95,6 кг/мм², розміри зерна 0,065—0,09 мм (рис. 35, 3).

Аналіз 103 (Нетішин). Шліф зроблено на поздовжньому перерізі вужчого кінця. Евтектоїда $\alpha + \text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$ незначна кількість, він ледве витягнутий. Металографічне дослідження виявило рекристалізовану структуру з двійниками всередині зерен. Величина поліедрів — 0,035 мм. Мікротвердість металу — 175,8 кг/мм² (рис. 34, 8).



МЕТАЛОГРАФІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДОСЛІДЖЕНИХ ВИРОБІВ ІЗ ПАМ'ЯТОК КУЛЬТУРИ НОУА. Описання структури



Аналіз 82 (ТКМ). Шліф зроблено на поперечному повному перерізі виробу. До травління помітні численні дрібні та крупні газові пори. Присутня значна кількість вкраплень Cu_2O . Мікроструктура дрібнодендритна. В міждендритних проміжках простежуються дрібні рекристалізовані зерна. З одного боку зразка їх більше й при великому збільшенні можна побачити незначну кількість двійників усередині поліедрів. Дендритна структура з цього боку стає менш чіткою. Мікротвердість металу на лезі — 129 кг/мм^2 ; у центрі — $82,7 \text{ кг/мм}^2$; на спинці — $115,3 \text{ кг/мм}^2$. Величина зерна на лезі — $0,010 \text{ мм}$, у центрі — $0,025 \text{ мм}$, на спинці — $0,015\text{--}0,025 \text{ мм}$ (рис. 35, 4).



Аналіз 92 (Воля-IV). Шліф зроблено на поперечному перерізі виробу. Мікроструктура вилита дрібнодендритна. Слідів ковальської дробки не спостерігається. Мікротвердість металу — $132,4 \text{ кг/мм}^2$ (рис. 35, 7).



Аналіз 93 (Воля-IV). Шліф зроблено на поздовжньому перерізі вістря. Шліф полірувався й піддавався травлінню хлорною міддю та хромпіком декілька разів. У результаті маємо два види мікроструктур. Одна з них — поліедрична без залишків вилитої структури. Розміри зерна складають $0,035\text{--}0,045 \text{ мм}$. Мікротвердість металу — $133,5 \text{ кг/мм}^2$ (рис. 35, 8). Друга — дуже витягнуті куванням дендрити на тлі рекристалізованих поліедричних зерен із великою кількістю двійників усередині.



Аналіз 94 (Воля-IV). Шліф зроблено на поздовжньому перерізі. До травління видно евтектоїдну фазу, що витягнута вздовж зразка. Мікроструктура поліедрична середньої величини з великою кількістю двійників та ліній зсуву всередині зерен. Структура має нечіткий характер. Величина зерна — $0,065 \text{ мм}$. Мікротвердість металу — $174,8 \text{ кг/мм}^2$ (рис. 35, 5).

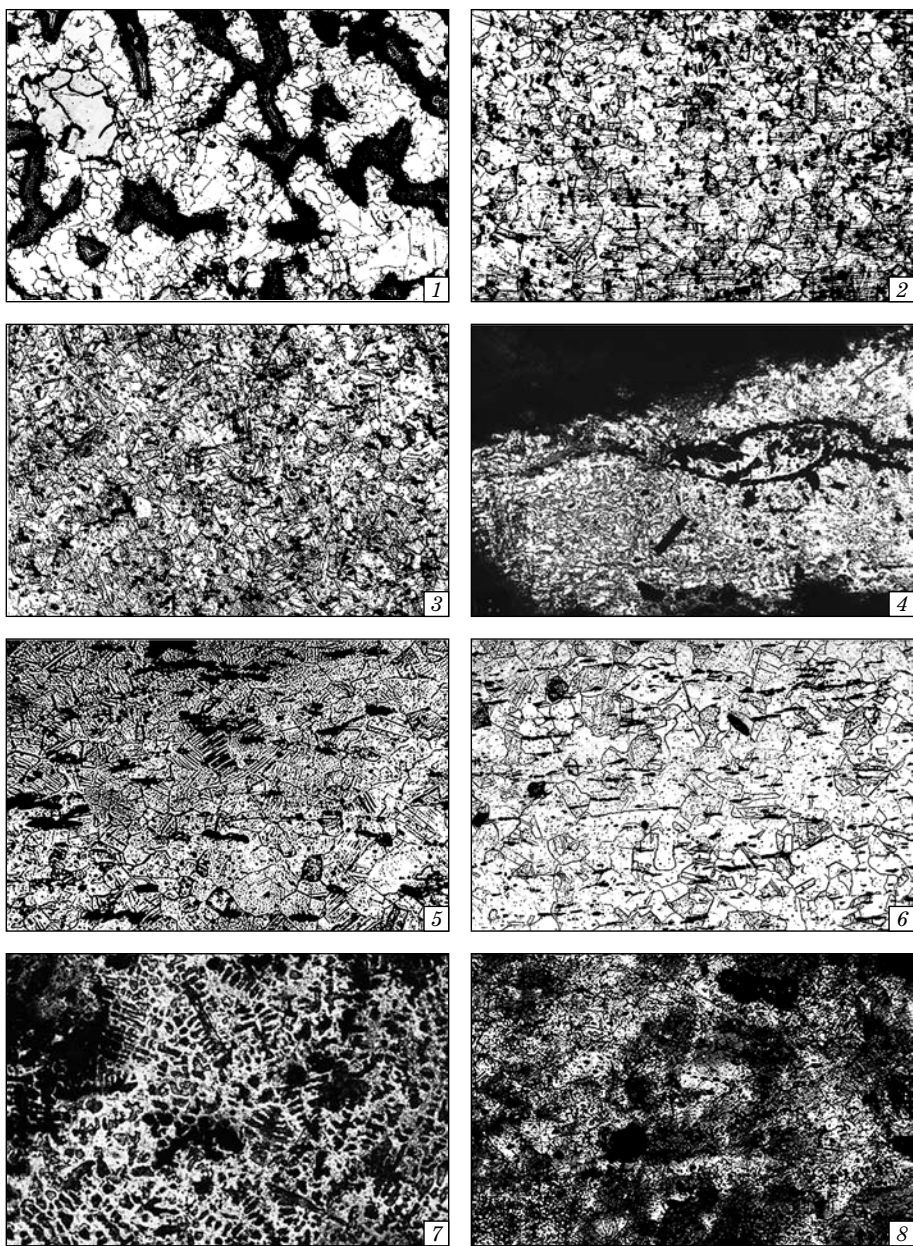


Рис. 35. Мікроструктури: 1 — ан. 107, зб. 200; 2 — ан. 108, зб. 200; 3 — ан. 109, зб. 120; 4 — ан. 82, зб. 70; 5 — ан. 94, зб. 200; 6 — ан. 95, зб. 120; 7 — ан. 92, зб. 120; 8 — ан. 93, зб. 200

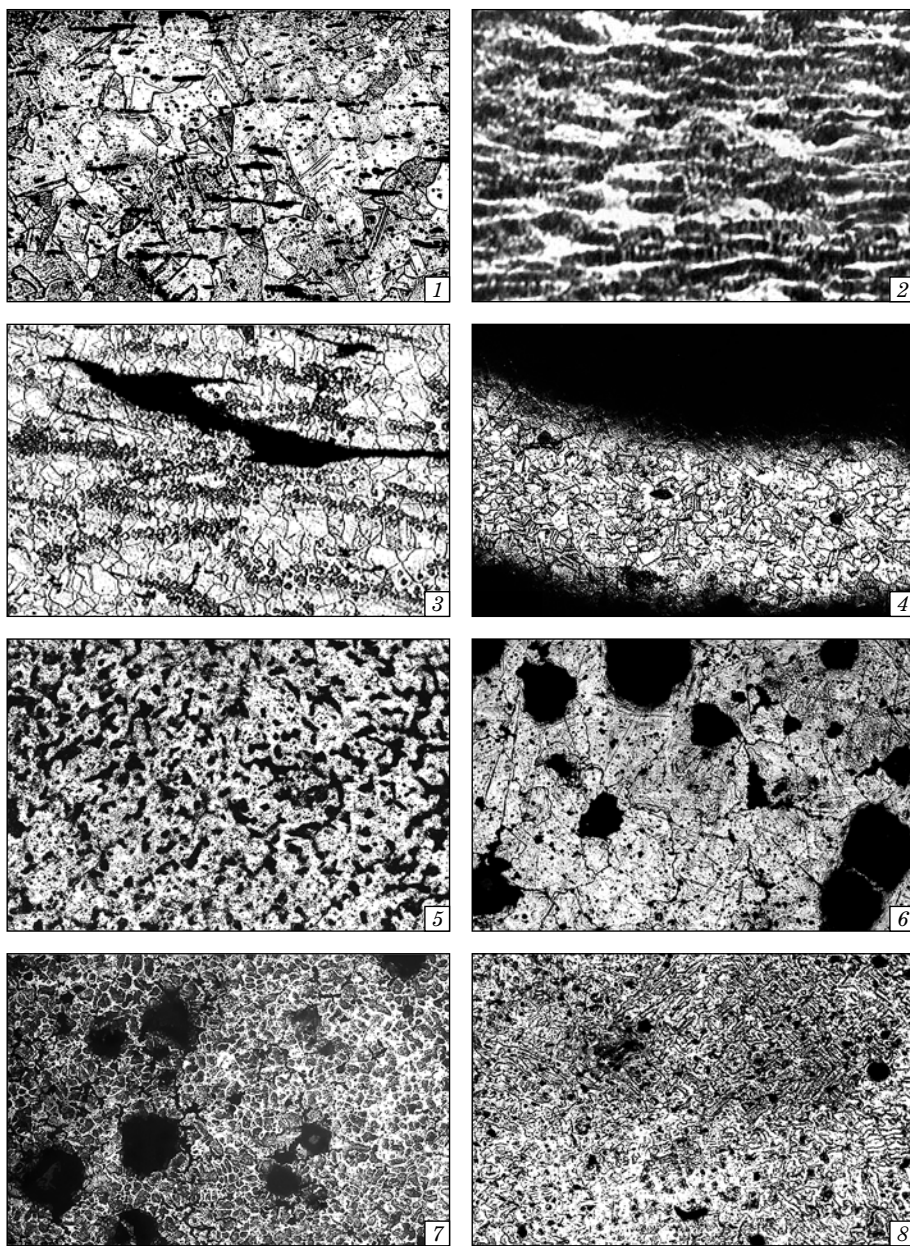


Рис. 36. Мікроструктури: 1 — ан. 96, зб. 200; 2 — ан. 196, зб. 80; 3 — ан. 201, зб. 80; 4 — ан. 90, зб. 120; 5 — ан. 90, а, зб. 70; 6 — ан. 90, б, зб. 120; 7 — ан. 84, зб. 70; 8 — ан. 88, зб. 120

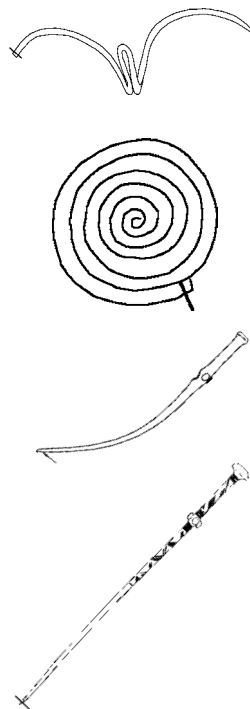
Аналіз 95 (Воля-IV). Шліф зроблено на поздовжньому перерізі дроту. Мікроструктура поліедрична на стадії збиральної рекристалізації, зі значною кількістю двійників у зернах. Величина зерна — 0,045—0,065 мм. Мікротвердість металу — 107,4 кг/мм² (рис. 35, 6).

Аналіз 96 (Воля-IV). Шліф зроблено на поздовжньому перерізі дроту. Евтектоїд, витягнутий ланцюжками вздовж зразка.

Мікроструктура поліедрична крупнозерниста зі значною кількістю двійників усередині зерен. Величина зерна — 0,065—0,09 мм. Мікротвердість металу — 116,4 кг/мм² (рис. 36, 1).

Аналіз 196 (ЛКМ). Шліф зроблено на вістрі виробу без вирізання зразка. Спостерігається плавно видовжений евтектоїд, а після травління проявилися витягнуті куванням дендрити первинної вилитої структури. Мікротвердість металу 126 кг/мм² (рис. 36, 2).

Аналіз 201 (ЛКМ). Шліф зроблений на поздовжньому перерізі вістря. Від самого вістря вглибину шліфа проходить тріщина. Мікроструктура рекристалізована на тлі деформованої вилитої дендритної структури. Всередині зерен ближче до вістря видно невелику кількість двійників і лінії зсуву. Величина зерна 0,035 мм. Мікротвердість металу збільшується в напрямку вістря від 138,4 до 181,8 кг/мм² (рис. 36, 3).

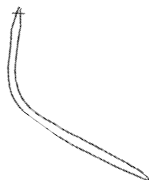


МЕТАЛОГРАФІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДОСЛІДЖЕНИХ ВИРОБІВ ВИСОЦЬКОЇ КУЛЬТУРИ (Петриків). Описання структури

Аналіз 90. Шліфи зроблені на поперечному перерізі леза (ан. 90), на руків'ї (ан. 90, а) та на шпильці виступа (ан. 90, б). Ан. 90 — дрібна пористість по всьому полю шліфа. Мікроструктура — залишкові дендрити, подрібненіші у центрі й витягнуті на лезі, на які накладається рекристалізована структура з двійниками у зернах. Подекуди видно лінії зсуву. Величина поліедрів — 0,045—0,065 мм. Мікротвердість усередині й на спинці — 127,5 кг/мм², на лезі підвищується до 170,3 кг/мм².



Ан. 90, а — дрібна пористість та мікротріщини. Мікроструктура рекристалізована дрібнозерниста зі значною кількістю двійників усередині на тлі залишкових дендритів. Мікротвердість — 10,8 кг/мм². Величина зерна — 0,035—0,025 мм. Ан. 90, б — Мікроструктура поліедрична на тлі залишкової дендритної структури. Крупні поліедри із хвилястими межами. З одного боку шліфа зерна подрібнені. В цьому місці є невелика кількість ліній зсуву. Розміри поліедрів — 0,35—0,12 мм. Мікротвердість металу — 101,7 кг/мм²; у місці подрібненості зерен твердість збільшується до 193,2 кг/мм² (рис. 36, 4—6).



Аналіз 91. Шліф зроблений на поздовжньому перерізі руків'я. Мікроструктура рекристалізована поліедрична з вузькими двійниками всередині зерен. Часто видно як крупні зерна оточені дрібними, що свідчить про стадію збиральної рекристалізації. З одного боку шліфа зерна мають волокнистий вигляд. Мікротвердість металу у центрі шліфа — 114,3; з боків 180,8 кг/мм².



Аналіз 84. Шліф зроблено на поперечному перерізі виробу. Присутні численні крупні круглі газові пори, що рівномірно розсіяні по всьому полі шліфа. Мікроструктура вилита крупнодендритна без слідів вто-

ринної обробки. Мікротвердість металу — 112 кг/мм² (рис. 36, 7).

Аналіз 88. Шліф зроблено на поперечному перерізі. По всьому полю шліфа розсіяно багато дрібних і крупних газових пор круглої форми. Голуба евтектоїдна фаза покриває сіткою всю площину шліфа.

Після травління відкрилась вилита дендритна структура. Мікротвердість металу — 100,6 кг/мм² (рис. 36, 8).

Аналіз 85. Шліф зроблено на поперечному перерізі виробу. Присутні численні газові форми, невелика кількість Cu_2O та невелика кількість евтектоїдної фази, розташованої між гілками дендритів. Мікроструктура вилита дендритна без жодних слідів ковальської дробки. Мікротвердість металу — 110 кг/мм² (рис. 37, 1).

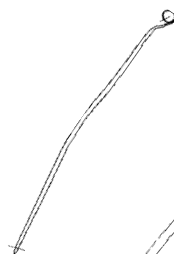
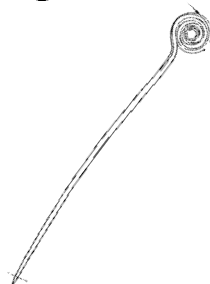
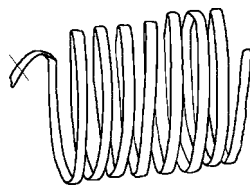
Аналіз 205. Шліф зроблений на поперечному перерізі. Спостерігаються численні ливарні пори, розташовані біля поверхні. Мікроструктура вилита дендритна, не порушена куванням. Твердість металу 127,3 кг/мм² (рис. 37, 2).

Аналіз 209. Шліф зроблений на поздовжньому перерізі дроту. До травління видно подрібнений та злегка витягнутий евтектоїд. Мікроструктура дрібна поліедрична з невеликою кількістю двійників у зернах. Величина зерна 0,025—0,035 мм. Твердість металу 143 кг/мм² (рис. 37, 3).

Аналіз 207. Виготовлено два шліфи: *а* — на поздовжньому перерізі вістря та *б* — на голівці шляхом полірування без вирізання зразка. *а* — невелика кількість подрібненого евтектоїду. Мікроструктура поліедрична з невеликою кількістю двійників у зернах на тлі видовжених куванням залишкових дендритів. Величина зерна 0,025—0,035 мм. Твердість металу 182,2 кг/мм². *б* — подрібнені вкраплення евтектоїду. Мікроструктура рекристалізована на тлі залишкових видовжених куванням дендритів. Зерна частково мають округлі границі. Величина зерна з двійниками — 0,035 мм (рис. 37, 4—7).

Аналіз 208. Зроблені два шліфи: на поздовжньому перерізі вістря (*а*) та на поздовжньому перерізі голівки (*б*). До травління на обох шліфах у невеликій кількості спостерігається подрібнений і трохи видовжений евтектоїд. На шліфі *б* видно широку поперечну тріщину. Мікроструктура рекристалізована зі значною кількістю двійників у зернах. Величина зерна 0,025—0,035 мм. Твердість металу на шліфі *а* збільшується у напрямку вістря від 151,3 до 193,8 кг/мм², на голівці (*б*) — 117,5 кг/мм² (рис. 37, 8; 38, 1).

Аналіз 171. Шліф зроблено шляхом полірування поверхні ділянки поблизу вістря. Мікроструктура деформована волокниста. Мікротвердість металу — 139,2 кг/ммІ (рис. 38, 2).



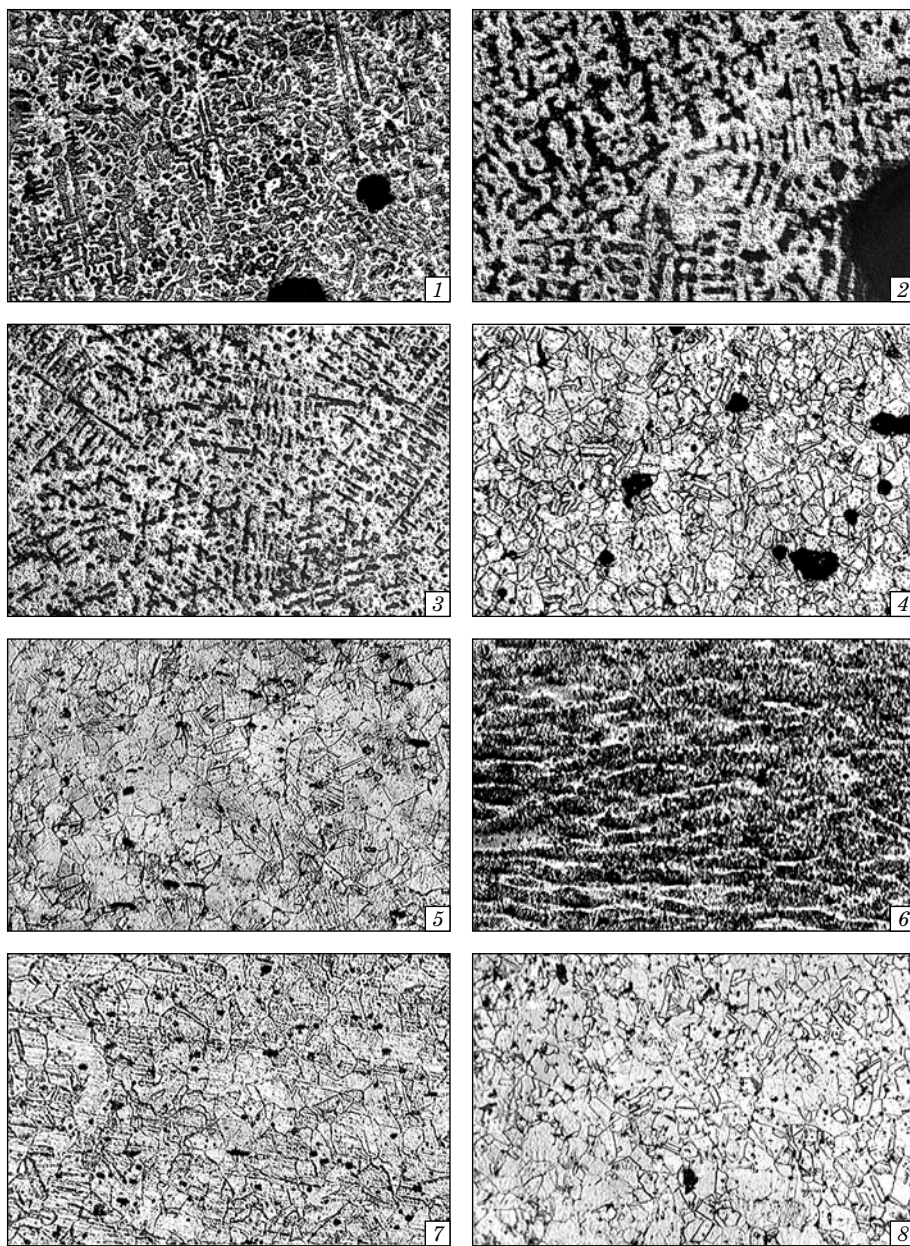


Рис. 37. Мікроструктури: 1 — ан. 85, зб. 70; 2 — ан. 205, зб. 80; 3 — ан. 206, зб. 80; 4 — ан. 209, зб. 246; 5 — ан. 207, а, зб. 246; 6 — ан. 207, б, зб. 80; 7 — ан. 207, б, зб. 246; 8 — ан. 208, а, зб. 107

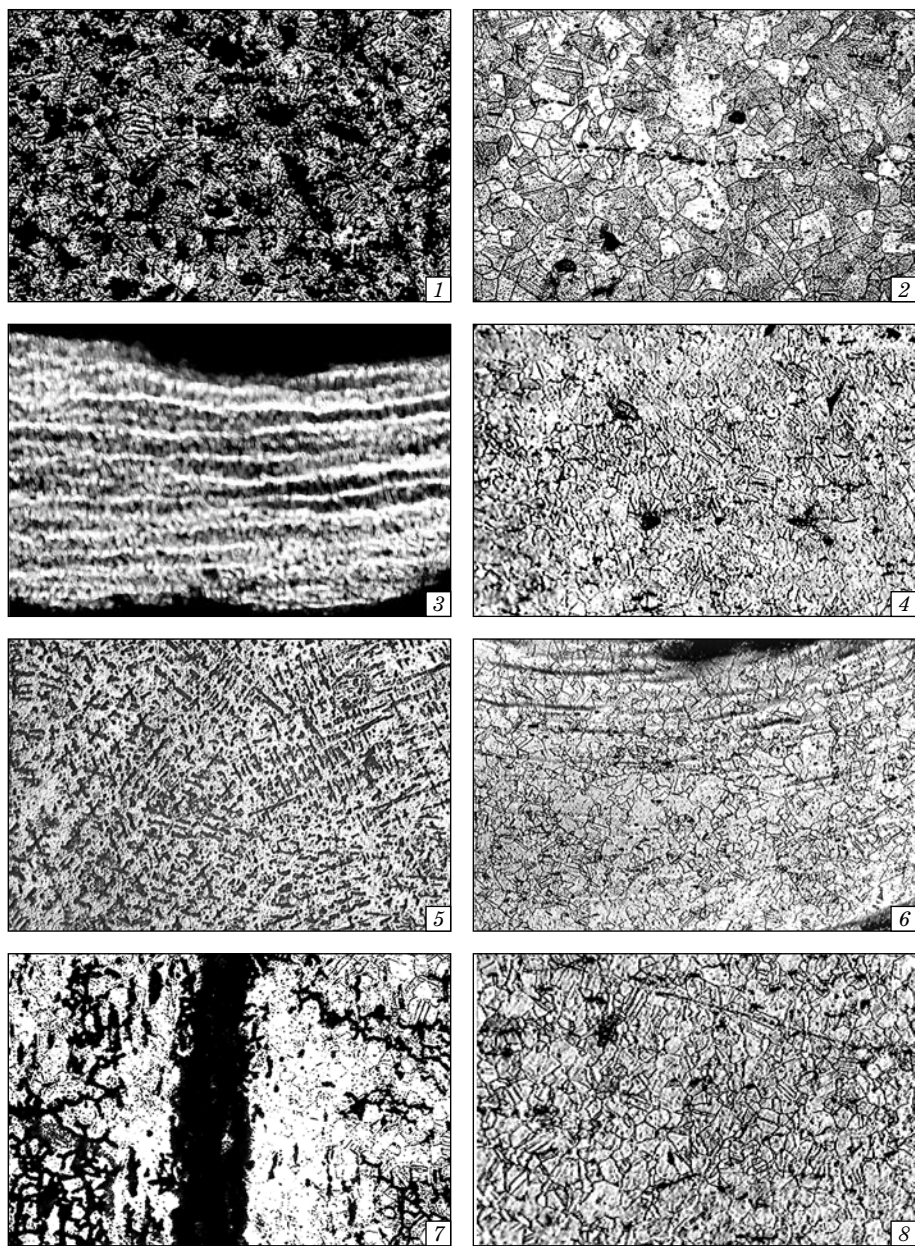
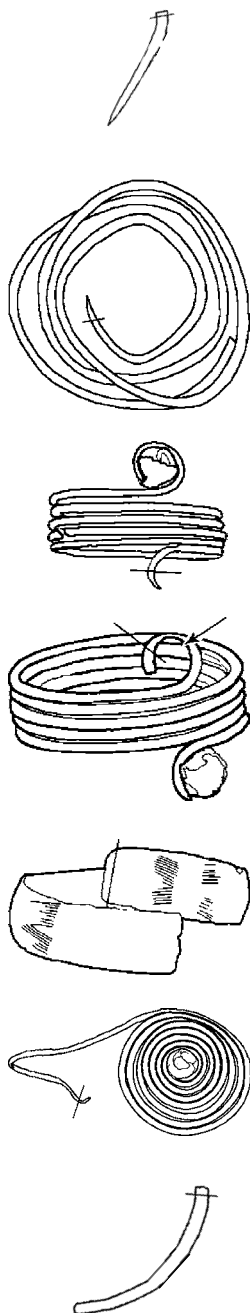


Рис. 38. Мікроструктури: 1 — ан. 208, зб. 107; 2 — ан. 171, зб. 107; 3 — ан. 86, зб. 120; 4 — ан. 83, зб. 70; 5 — ан. 210, зб. 80; 6 — ан. 210, зб. 107; 7 — ан. 206, зб. 80; 8 — ан. 211, зб. 107;



Аналіз 86. Шліф зроблено на поздовжньому перерізі. Присутні декілька газових пор круглої форми й невелика кількість евтектоїда, розташованого на межах зерен. Мікроструктура — дрібні зерна на стадії збиральної рекристалізації з двійниками на тлі залишкової дендритної структури. Залишки дендритів розташовані хаотично. Величина зерна — 0,025—0,035 мм (рис. 38, 3).

Аналіз 83. Шліф зроблено на поздовжньому перерізі дроту. Евтектоїд подрібнений і витягнутий вздовж зразка у напрямку деформації.

Мікроструктура поліедрична на стадії збиральної рекристалізації з великою кількістю двійників усередині зерен. Розміри поліедрів зменшуються від центра зразка до краю. Величина зерен — 0,045 мм на краю; 0,065—0,09 мм — у центрі. Мікротвердість металу — 129,6 кг/мм² (рис. 38, 4).

Аналіз 210. Шліф зроблений на поздовжньому перерізі кінця дроту. До травління спостерігається незначна кількість подрібненого й злегка видовженого евтектоїду. Мікроструктура дрібнозерниста з двійниками рекристалізації всередині зерен на тлі текстури деформації. Величина зерна 0,035 мм. Твердість металу 166,8 кг/мм² (рис. 38, 5—6).

Аналіз 211. Шліф зроблений на поздовжньому перерізі кінця дроту. Спостерігається зовсім мала кількість подрібненого евтектоїду. Після травління відкрилася дрібнозерниста структура з двійниками рекристалізації всередині зерен на тлі текстури деформації. Величина зерна 0,025—0,035 мм. Твердість металу поступово збільшується до кінця дроту від 141 до 181,3 кг/мм² (рис. 38, 8).

Аналіз 206. Шліф зроблений на поперечному перерізі виробу. Спостерігаються дрібні ливарні пори й сліди від свинцю, що викришився при поліруванні, значна кількість евтектоїду в непорушеному стані та досить крупні глобули Cu_2O . Мікроструктура вилита дрібнотендритна, не порушена куванням. Твердість металу 135,1 кг/мм² (рис. 38, 7).

Аналіз 212. Мікроструктура з численними двійниками рекристалізації всередині зерен на тлі текстури деформації та дуже подрібнений евтектоїд у невеликій кількості. Величина зерна 0,045 мм. Твердість металу поступово збільшується до кінця дроту від 131,8 до 193 кг/мм² (рис. 39, 1).

Аналіз 87. Шліф зроблено на поздовжньому перерізі дроту. Евтектоїд подрібнений. Вздовж шліфа пролягає велика тріщина. Від якої під кутом 90° відходять дві менші. Мікроструктура дрібна, на стадії збиральної рекристалізації з невеликою кількістю двійників у зернах. Залишки дендритної ліквідації не спостерігають-

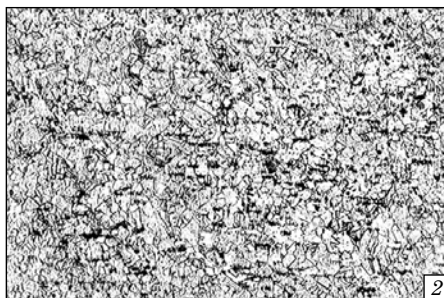
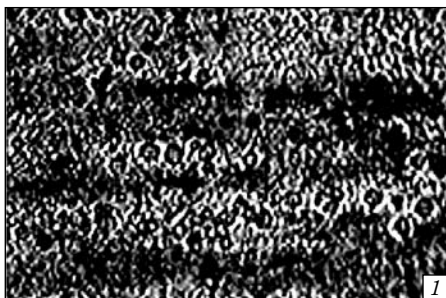


Рис. 39. Мікроструктури: 1 — ан. 212, зб. 80; 2 — ан. 87, зб. 70; 3 — ан. 89, зб. 120

ся. У поліедрах помітні лінії зсуву. Величина зерна — 0,035—0,045 мм. Мікротвердість металу — 136,4 кг/мм² (рис. 39, 2).

Аналіз 89. Шліф зроблено на поздовжньому перерізі дроту з плаского боку. По всьому полю шліфа розсіяні дрібні пори й подрібнений, трохи видовжений евтектоїд, що розташований неначе по колу. Мікроструктура дрібнозерниста поліедрична з великою кількістю двійників у зернах. Величина зерна — 0,025—0,035 мм. Мікротвердість металу — 130 кг/мм² (рис. 39, 3).



Додаток 5

ТАБЛИЦІ СПЕКТРАЛЬНИХ АНАЛІЗІВ

Т а б л и ц я I. Гордіївка; перша група курганів (1500—1300 рр. до н. е.).

Аналіз, №	Sn	Pb	Zn	Bi	Ag	Sb	As	Fe	Ni	Co	Au
12	13	0,081	—	0,0014	0,02	0,1	0,36	0,013	0,11	0,014	0,0005
13	7,1	0,05	—	0,0014	0,017	0,1	0,32	0,0014	0,034	~0,0069	—
16	10	0,059	0,002	0,0017	0,045	0,1	0,39	0,0095	0,11	0,017	0,0014
16a	12	0,05	—	0,0014	0,055	0,046	0,024	0,0033	0,11	0,027	0,0001
16б	15	0,059	—	0,0022	0,055	0,092	0,32	0,05	0,45	0,042	0,0005
16в	15	0,081	—	0,0007	0,009	0,1	0,36	0,032	0,41	0,028	0,0021
18	13	0,35	~0,0054	0,0077	0,0066	0,24	0,43	0,0033	0,038	~0,0069	0,0012
20	11	0,17	~0,0081	0,0029	0,045	0,32	0,39	0,024	0,41	0,027	0,0021
23	8,5	0,059	—	0,0014	0,037	0,092	0,58	0,1	0,056	0,053	0,0006
24	15	0,45	—	0,021	0,086	0,12	0,43	0,062	0,083	0,066	0,0008
28	7,1	0,11	—	0,0037	0,13	0,38	0,36	0,0047	0,28	0,022	0,0024
29a	15	0,26	~0,0045	0,012	0,045	0,032	0,36	0,26	0,41	0,053	0,0012
29b	10	0,15	0,13	0,021	0,086	0,18	0,32	0,0067	0,056	0,048	0,0006
31	13	0,23	0,26	0,019	0,11	0,092	0,19	0,0033	0,11	0,014	0,0006
32	7,8	0,081	0,0054	0,0022	0,11	0,38	0,36	0,0005	0,45	0,012	0,003
45	18	0,23	—	0,0077	0,086	0,29	0,48	0,0067	0,41	0,083	0,0014
46	21	0,45	—	0,021	0,055	0,51	0,63	0,04	0,45	0,059	0,0014
47	21	0,35	~0,0054	0,023	0,13	0,15	0,9	0,0014	0,14	0,022	0,015
48	8,5	0,35	0,01	0,017	0,045	0,12	0,52	0,013	0,12	0,014	0,0087
50	11	0,15	0,25	0,0037	0,045	0,15	0,43	0,0047	0,16	0,024	0,0011
58	~10	1,3	~0,079	~0,54	~0,045	~0,83	~0,52	0,024	0,45	~0,017	0,0006

Таблиці спектральних аналізів

Таблиця II. Гордіївка; друга група курганів (1300—1200 рр. до н. е.).

Аналіз, №	Sn	Pb	Zn	Bi	Ag	Sb	As	Fe	Ni	Co	Au
10	15	0,13	—	0,0042	0,086	0,29	0,43	0,0006	0,33	0,019	0,0033
11	11	0,81	—	0,0014	0,02	0,12	0,39	0,0007	0,14	0,0077	0,0004
14	15	0,15	—	~0,0009	0,045	0,2	0,39	0,0006	0,22	0,042	0,0017
15	13	0,17	—	0,0025	0,045	0,26	0,39	0,04	0,45	0,027	0,0011
19	13	0,11	—	0,0033	0,045	0,24	0,36	0,0005	0,12	0,022	0,0024
21	5,4	0,2	~0,0015	0,0069	0,045	0,2	0,36	0,0018	0,12	0,017	0,0019
22	13	0,2	—	0,0077	0,055	0,65	0,52	0,0008	0,62	0,017	0,012
25	13	0,81	—	0,0042	0,055	0,29	0,36	0,062	0,41	0,012	0,0087
26	15	0,3	—	0,0097	0,13	0,26	0,36	0,0047	0,45	0,014	0,019
27	13	0,23	~0,0031	0,0097	0,11	0,15	0,36	0,1	0,19	0,53	0,0011
33	5,4	0,059	~0,0031	0,0029	0,086	0,38	0,32	0,26	0,49	0,0097	0,0097
39	16	0,26	~0,0081	0,017	0,13	0,68	0,39	0,032	0,16	0,022	0,0051
43	10	~0,11	—	0,023	0,13	0,68	1,8	0,0007	0,53	0,042	0,0012
44	~7,1	0,23	—	0,0097	~0,0047	~0,11	~0,32	0,0008	0,011	~0,0054	0,0011
51	11	0,17	~0,0015	0,0077	~0,055	~0,24	~0,39	0,0014	~0,16	~0,038	0,0021
52	12	0,64	—	0,035	0,17	0,91	0,69	0,0008	0,49	0,022	0,0024
54	7,8	0,55	—	0,023	0,037	0,24	0,39	0,0033	0,49	0,017	0,0007
55	11	1,7	~0,0015	0,031	0,069	0,68	1,5	0,4	0,53	0,042	0,003

Таблиця III. Гордіївка; третя група курганів (1200—1100 рр. до н. е.).

Аналіз, №	Sn	Pb	Zn	Bi	Ag	Sb	As	Fe	Ni	Co	Au
42	7,1	0,05	0,0031	0,0022	0,86	0,32	0,52	0,0018	0,41	0,027	0,0024
49	15	0,55	0,0023	0,019	0,055	0,15	0,48	0,0047	0,12	0,012	0,0087
57	25	0,45	—	0,023	0,11	0,1	0,32	0,018	0,49	0,042	0,0006
71	5,546	0,450	—	—	—	0,247	0,435	0,585	0,19	—	—

Примітки: аналізи проведено в спектральній лабораторії РАН Є.М. Черних; ан. 71 — у спектральній лабораторії Київського Інституту судових експертиз.

Таблиця IV. Гордіївка; четверта група курганів (1100—1000 рр. до н. е.).

Аналіз, №	Sn	Pb	Zn	Bi	Ag	Sb	As	Fe	Ni	Co
62	0,468	0,421	—	—	0,220	1,782	0,219	0,395	—	—
62a	5,610	0,737	—	—	0,007	0,427	0,203		—	—
62b	—	—	—	0,039	0,932	2,177	0,396		0,007	—
63a	>>1	0,06	0,3	0,015	0,5	>1	>1		0,6	0,015
63b	5,522	0,1	0,2	0,05	≥1	1,044	>1	0,579	0,55	0,006

Закінчення табл. IV.

Аналіз, №	Sn	Pb	Zn	Bi	Ag	Sb	As	Fe	Ni	Co
64	4,672	0,612	—	—	0,539	1,148	0,083		0,336	
65	1,321	0,226	0,409	—	0,334	1,137	0,308	0,121	0,131	
66	5,351	0,634	0,372	—	0,685	1,175	0,142	0,705	—	
67	12,612	3,437	—	—	0,534	2,739	0,236	0,259	0,005	
68	3,23	0,856	0,564	—	0,04	0,568	0,138	2,450	0,138	

П р и м і т к и: аналізи проведені в спектральній лабораторії Київського Інституту судових експертиз.

Т а б л и ц я V. Спектральні аналізи виробів тшинецької та комарівської культур.

Аналіз, №	Sn	Pb	Zn	Bi	Ag	Sb	As	Fe	Ni	Co
72	11	0,6	—	—	—	0,2	0,8	—	—	—
73	9,6	0,4	—	—	—	0,5	0,5	—	—	—
74	5,7	3	3,3	—	—	—	1	—	—	—
75	14	0,6	0,03	0,02	0,06	0,5	0,07	—	0,08	0,06
98	2,8	0,004	0,01	0,004	0,1	0,008	0,05	—	0,03	—
99	1,1	0,0008	—	—	0,02	0,03	0,04	—	0,4	—
100	4,2	0,0020	0,01	—	0,03	0,01	0,04	—	0,1	—
101	1,7	0,0030	0,03	0,001	0,03	0,02	0,04	—	0,3	0,002
101a	0,3	0,0030	0,02	0,002	0,02	0,02	0,04	—	0,5	0,004
102	1	0,0030	0,02	0,006	0,1	0,07	0,03	—	0,1	—
103	1	0,0030	0,01	0,002	0,03	0,03	0,05	—	0,1	—
104	4,7	0,01	—	0,0003	0,002	0,1	0,2	—	0,02	0,003
103a	7,3	0,2	—	0,002	0,02	0,6	1	—	0,2	0,006
105	9	0,01	—	0,002	0,01	0,6	1	—	—	0,01
106	9,1	0,02	—	0,0003	0,005	0,15	0,5	—	0,03	0,005
107	20,5	0,15	—	0,04	0,003	0,04	1,	—	0,5	0,006
108	0,5	0,006	—	0,0004	0,03	0,02	0,1	—	0,015	0,004
122		0,015	—	—	0,004	0,03	0,4	—	0,32	0,01
123	11	0,08	—	0,001	0,03	0,3	1	—	0,17	0,011
124	3,8	0,25	0,07	0,005	0,035	0,63	0,8	—	0,45	0,03
240	3,5	0,035	—	—	0,015	0,3	0,2	—	0,130	0,003
4519	0,3	0,25	—	0,001	0,02	0,4	0,6	—	0,3	—
4522	10	0,1	—	0,0008	0,004	0,7	0,5	—	0,35	—

П р и м і т к и: аналізи 72—103 (Малополовецьке-3), 75 (Войцехівка), 80 (Сморд-ва), 104—108 (Нетішин) проведено в спектральній лабораторії ІГМР НАН України; аналізи 4519, 4522 (Войцехівка), 2460 (Дитиничі), 122—123 (Гуляй-Город), 124 (Каневський повіт) проведено в спектральній лабораторії РАН Є.М. Черних [Березанская, 1972, с. 90—91].

Таблиці спектральних аналізів

Т а б л и ц я VI. Спектральні аналізи виробів культури Ноуа.

Аналіз, №	Sn	Pb	Zn	Bi	Ag	Sb	As	Fe	Ni	Co
196	5,389	0,02	—	—	0,13	0,354	0,465	0,268	—	—
201	4,073	0,066	—	сліди	сліди	0,315	0,103	0,07	0,401	0,019
82	4,024	0,2	—	0,1	0,957	3,279	—	—	0,444	0,001
92	3	0,1	0,03	0,01	0,1	0,1	—	—	0,02	0,0010
93	2,95	0,2	0,03	0,2	0,066	0,701	—	—	0,576	—
94	3	1	0,03	1	1	1	—	—	0,005	—
95	3,481	0,3	0,02	0,06	0,03	0,432	—	—	0,43	0,002
96	3	0,2	0,02	0,06	—	—	—	—	0,1	0,001
241	4	0,004	—	—	0,0003	0,16	0,08	—	0,08	0,003
246	6	0,08	—	0,0009	0,008	0,17	0,3	—	0,45	0,02
247	7,5	0,2	—	0,008	0,02	0,19	0,33	—	0,05	0,017
248	4,3	0,015	—	—	0,0008	0,3	0,7	—	0,9	0,035
252	9,5	0,04	—	0,0008	0,003	0,35	0,2	—	0,13	0,02
254	7,5	0,05	—	—	0,005	0,19	0,35	—	0,55	0,018
255	4,7	0,04	—	—	0,035	0,9	0,35	—	0,22	0,018
256	4,3	0,15	0,023	0,0017	0,008	0,4	0,7	—	0,23	0,14
258	6,5	0,35	—	0,003	0,004	0,13	0,17	—	0,55	0,01
259	9	0,045	—	0,0004	0,005	0,9	0,4	—	0,23	0,008
260	4,7	0,13	—	0,0025	0,016	0,18	0,35	—	0,25	0,01
261	8	0,1	—	0,0008	0,004	0,65	0,24	—	0,2	0,012
262	10	0,018	—	—	0,008	0,8	0,75	—	0,22	0,016
264	9,5	0,07	—	0,0006	0,004	0,8	0,38	—	0,2	0,14
277	0,18	0,25	0,03	0,002	0,02	—	0,07	—	0,0015	0,01
2005	10	0,13	0,04	0,0007	0,008	0,23	0,7	—	0,7	0,05
2006	15	0,7	—	0,009	0,05	0,15	0,08	—	0,8	0,01
2007	10	0,04	—	0,0007	0,005	0,1	0,15	—	0,6	0,01
2008	8	0,03	—	0,001	0,04	1	0,3	—	0,3	0,012
2010	11	1	—	0,007	0,04	0,2	0,2	0,005	0,8	0,015
2011a	9	0,15	—	0,0035	0,015	0,2	0,2	—	0,4	0,015
2012	9	0,055	—	—	0,008	0,45	0,16	—	0,5	0,02
2014	10	0,35	—	—	0,0025	0,4	0,4	—	0,4	0,015
2015	3,5	0,004	—	—	0,0035	1,9	0,35	—	0,4	0,018
2016	7	0,1	—	—0	0,002	0,14	0,22	—	0,6	0,04
2017	5	0,04	—	0,0007	0,005	0,3	0,3	—	0,6	0,04
2018	9	0,045	—	—	0,006	0,23	0,35	—	0,6	0,025

П р и м і т к и: аналізи з Острівця (241—2018) проведено в спектральній лабораторії РАН Є.М. Черних [Черных, 1976]; аналізи 82—96 — в спектральній лабораторії ІГМР НАН України; аналізи 196, 201 — в лабораторії ІА НАН України.

Додаток 5

Т а б л и ц я VII. Спектральні аналізи виробів Висоцької культури.

Аналіз, №	Sn	Pb	Zn	Bi	Ag	Sb	As	Fe	Ni	Co
84	3	0,1	0,04	0,006	1	0,06	—	—	0,1	0,002
85	4,558	1	0,07	0,06	0,455	1,244	—	—	0,348	0,003
86	2,97	0,07	0,04	0,06	0,698	2,695	—	—	0,445	0,001
87	10,612	0,1	0,07	0,06	—	0,005	—	—	—	0,001
88	3	0,1	0,04	0,08	1	1	—	—	0,08	0,001
89	3	0,003	0,08	0,003	1	0,5	—	—	0,01	0,004
90	6,632	0,1	—	0,08	1	0,91	—	—	0,492	0,004
91	1,611	0,1	0,1	0,08	0,593	1,88	—	—	0,566	0,003
171	0,1	0,02	—	0,002	0,006	0,1	0,15	0,06	0,03	—
205	0,6	0,2	—	0,025	0,3	1,35	0,2	0,05	0,3	0,03
206	8,579	1?	—	0,45	0,3	0,08	2,76	0,1	0,03	0,1
207	5,09	—	—	—	0,152	0,834	0	0,038	0,522	сліди
208	1,216	—	—	—	0,135	1,498	0,298	—	0,522	0,031
209	5,316	—	—	0,012	0,107	0,539	0,254	—	0,219	0,082
210	6,941	0,037	—	—	0,98	0,829	0,169	—	0,353	0,026
211	5,951	—	0,102	—	0,134	0,655	0,106	0,011	0,339	0,024
212	4,6	—	0,194	—	0,099	0,796	—	—	0,164	0,02

П р и м і т к и: аналізи 84—91 проведено в спектральній лабораторії ІГМР НАН України; 171—212 — у лабораторії ІА НАН України.

Resume

Technological and spectral research of 124 wares of late bronze age, which were found on territory of Forest-steppe Right-bank of Dnipro, is conducted. Among them 56 copies take place from burial mounds of Gordiivka, 18 — from the monuments of tshinecka and komarivska cultures, 32 — are from culture Noua and 19 — from the monuments of vysocka culture. Research is based on the method of optical metallography and spectral-analytical method.

Greater part of wares is made by decorations from a long wire. Hot forging, forging before melting temperatures and intermediate high temperature annealing, did a metal with high maintenance of tin more plastic. It enabled to get the wire of required long. A hobbing is quite rarely met. It was used for work-hardening of working edge of good. But more frequent this effect arrived at a drop in a forging temperature.

Considerable part is made by wares, poured off on a wax model. Masters used casting in non-permanent castings forms with the inserted bar, that to get a cavity into founding. They skilfully owned technology of casting on a hollow wax model. Most brightly such technology is presented among Gordiivka wares. The cast purveyances were often finished off by forging. Masters used such blacksmith's receptions: free and figured forging, drawing out, flattening, rollup, strike-through — one-sided and bilateral, bending, chopping, stamping and peening. A temperature for forging was picked up more often correct.

Ten charts are distinguished metal-workingness that used master The analysis of these charts demonstrates a variety in their use in different cultures.

Research of composition of metal from Gordiivka-I and II showed that it is alike and he can be united in one chemical group. On the third stage the metal of Gordiivka notably differs from two previous stages. And a yet greater difference is observed on the last, fourth stage of existence of Gordiivka burial ground.

It is well known that a problem of origin of metal is key to the decision of questions of distribution, synchronization, selection of natural habitats of

distribution of cultures. That is why even insignificant supervisions facilitate researchers the prosecution of these questions.

Comparison of composition of metal from Gordiivka-I—II with the metal of treasures of Novotroyanovskiy and Lozovskiy, which attribute to horizon of Noua-Sabatinivka, and also with the metal of late bronze from territories of Hungary and Poland showed that they are near enough. Such metal E.N. Chernyh was selected in a KT chemical group. Its ore sources were situated in copper deposits of Carpathians mountain-metallurgical center.

The investigational metal of tshinecka and komariivska cultures is separate on two groups. To the first materials behave from a burial ground Malopopolovetske-3, which have likeness both with a metal from the deposits of Donbas and with the metal of the second group. It is possible the mixed raw material. Spectral composition of the second group in which a metal entered from all other monuments is most close to Gordiivka-II. Possibly, here the near geographical liking of monuments played a role to the ore sources of Carpathians region. Composition of bronzes of this group is near to the groups of metal — Od and Oe — from Poland, which, possibly, was imported from territory of distribution of culture of Otoman. Composition of hardware of culture.

Composition of hardware of Noua culture on maintenance arsenic separate on two groups. In one an arsenic absents fully (Volya-IV), and in the second his maintenance is enhanceable (Ostrivec). At the same time metal from Ostrivec on maintenance admixtures similar to the bronze from treasures of cultural horizon of Noua-Sabatinivka: Lozivskiy, Novotroyanivskiy and Betsilivskiy.

Two chemical groups are also selected in the metal of vysocka culture. On composition consider a metal most near from Gordiivka-IV.

Conducted technological and spectral-analytical research of wares from the coloured metal from the monuments of late bronze of Forest-steppe Right-bank Ukraine showed that sources for Gordiivka's metal-workingness it is necessary to search not among local cultures. No doubt, that Gordiivka's foundry masters-hands were acquainted with Balkan and Carpathians-Danubes metal-workingness. The active use of wax model in casting promoted for creation of own, with the brightly expressed individuality, wares.

Insignificant differences in composition a metal on the different stages of existence of Gordiivka burial ground are constrained, probably, with property of deposits and reflect the changes of composition of ores as far as their making.

Список

використаних джерел

- Атлас литейных пороков*: В 2 т. — М., 1958. — Т. 2.
- Балагурі Е.А.* Історія племен пізньобронзової доби Середнього Подніпров'я (культура ноа). НФ ІАНАНУ, фонд 12, № 524. Дис...канд. істор. наук. — К., 1964. — 293 с.
- Балагурі Е.А.* Ливарні матриці з поселення пізньої бронзи біля с. Острівець, Івано-Франківської області // МДАВП. — К.: Наук. думка, 1964. — Вип. 5. — С. 28—39.
- Бандрівський М.* Моги́льник в Петрикові біля Тернополя в контексті поховального обряду висоцької культури. — Львів: Друксервіс, 2002. — 282 с.
- Бандрівський М.* Висоцька культура і її східні зв'язки // На пошану Софії Станіславівни Березанської. — К.: Шлях, 2005. — С. 241—252.
- Бандрівський М.С., Гошко Т.Ю.* Метал з ґрунтового моги́льника Висоцької культури біля с. Петриків на Західному Поділлі (Тернопільське плато) // Взаємозв'язки культур епох бронзи і раннього заліза на території Центральної та Східної Європи: Зб. наук. праць на пошану Лариси Іванівни Крушенльницької. — Київ; Львів. — 2009. — С. 119—128.
- Барбон М.Б., Березанська С.С.* Поселення сосницького типу біля с. Зазим'є на Київщині // Археологія. — 1970. — Т. XXIII. — С. 162—165.
- Бартельс Н.А.* Металлография и термическая обработка металлов. — М.; Л.: Гос. издат. — 1930. — 315 с.
- Березанская С.С.* Средний период бронзового века в Северной Украине. — К., 1972. — 266 с.
- Березанская С.С.* Усово Озеро поселение срубной культуры на Северском Донце. — К.: Наук. думка. — 1990. — 150 с.
- Березанская С.С.* Моги́льник эпохи бронзы Гордеевка на Южном Буге // РА. — 1999. — № 4. — С. 131—148.
- Березанська С.С., Гошко Т.Ю., Самолюк В.О.* Колективне поховання тшинецької культури на р. Горинь // Археологія. — 2004. — № 1. — С. 111—125.
- Ванчугов В.П., Субботин Л.В.* Васильевский курганный моги́льник белозерской культуры на левобережье Нижнего Подунавья // Археологические памятники степей Поднестровья и Подунавья. — К.: Наук. думка, 1989. — С. 54—65.
- Галибин В.А.* Изделия из цветного и благородного металла памятников эпохи ранней и средней бронзы Северного Кавказа // Древние культуры Прикубанья. — Л.: Наука, 1991. — С. 59—69.

- Гершкович Я.П., Ключко В.И. Связи племен Нижнего Поднепровья в эпоху поздней бронзы (по материалам Завадовской литейной мастерской) // Межплеменные связи на территории Украины. — К.: Наук. думка, 1987. — С. 110—114.
- Гошко Т.Ю. Технологія виготовлення бронзових ножів з гордіївського могильника // Стародавнє виробництво на території України. — К.: Наук. думка, 1992. — С. 60—67.
- Гошко Т.Ю. Технология изготовления бронзовых изделий из Гордиевки // *Bere-sanskaja S.S., Kločhko V.I. Das Gräberfeld von Hordeevka* // *AE. — Göttingen. — 1998. — Band 5. — С. 49—76.*
- Гошко Т.Ю. Про технологію виготовлення браслетів з Гордіївського могильника // *Археологія. — 2000. — № 4. — С. 68—72.*
- Гошко Т.Ю. Металообробка на Київщині за доби пізньої бронзи // *Археологія. — 2004. — № 2. — С. 103—110.*
- Гошко Т.Ю. Два бронзові вироби з фондів Київського Державного Музею Історії // На пошану Софії Станіславівни Березанської. — К.: Шлях, 2005. — С. 231—245.
- Гошко Т.Ю. Метал доби пізньої бронзи з Тернопільського краєзнавчого музею // *Археологія. — 2006. — № 2. — С. 77—85.*
- Гошко Т.Ю. Гордіївські шпильки // Матеріали та дослідження з археології Східної України (від неоліту до кimmerійців). — 2007. — № 7. — С. 248—253.
- Гошко Т.Ю. Технологічне дослідження виробів з кольорового металу з Луцького краєзнавчого музею // Маркус І., Охріменко Г. *Озброєння та знаряддя праці населення Західної Волині IV—II тис. до Р. Х.* — Луцьк: Вид-во Волинської обл. друк. — 2010. — С. 463—490.
- Гошко Т.Ю., Манічев В.Й., Приймаченко В.М., Бондаренко І.М. Дослідження кольорового металу доби пізньої бронзи з території Правобережної Лісостепової України // *Взаємозв'язки культур епох бронзи і раннього заліза на території Центральної та Східної Європи.* — Київ; Львів, 2010. — С. 119-128.
- Гошко Т.Ю., Трачук О.В. Дослідження металургійного процесу виплавлення міді методом моделювання // *Експериментальна археологія: завдання, методи, моделювання.* — К.: Вид-во Ліра-К, 2011. — С. 93-103.
- Грабянская Н.Н., Грабынский В.В., Левинштейн М.Л. и др. Терригенно-красноцветная формация нижней перми Донецкого бассейна // *Прогноз месторождения полезных ископаемых в осадочных формациях Украины.* — Киев: Наук. думка. — 1974. — С. 85-94.
- Григорьев С.А., Русанов И.А. Экспериментальная реконструкция древнего металлургического производства // *Аркаим: Исследования. Поиски. Открытия.* — Челябинск: Творч. об-ние «Каменный пояс», 1995. — 224 с.
- Гурський Д.С., Сципчук К.Ю., Калінін В.І. та ін. Металічні і неметалічні корисні копалини України. Том 1 Металічні корисні копалини. — Київ; Львів, Вид-во «Центр Європи». — 2006. — 785 с.
- Гутов Л.А., Никитин М.К. Справочник по художественной обработке металлов. — СПб: Политехника. — 1995. — 436 с.
- Довгань Р.М., Павлюк О.В. Прояви самородної міді в осадовому чохлаї і корах вивітрювання кристалічного фундаменту Хмільницької площі (Бердичівське підняття) // *Записки Українського мінералогічного товариства.* — 2007. — Т. 4. — С. 84—90.
- Забияка Л.И., Злобенко И.Ф., Костюченко В.С. Новое проявление меди в Винницкой области // *Геол. журн.* — 1975. — № 6. — С. 109—116.
- Ільчишин В.В., Гошко Т.Ю. Могильник Висоцької культури біля с. Мильне на Тернопільщині // *Археологічні дослідження Львівського університету.* — 2009. — Вип. II. — С. 130—135.

- Клочко В.І. «Лобойківська металургія» (до проблеми східного кордону Східнотшинецької культури) // *Trzciniec — system kulturowy czy interkulturowy proces?* — Poznań: Wyd. Poznańskie. — 1998. — S. 217—237.
- Клочко В.І., Манічев В.І. Дравня металургія: методи, досягнення і перспективи досліджень // *Сучасні проблеми археології*. — К., 2002. — С. 91—92.
- Клочко В.І. Торгівельний шлях Буг—Бог // *Na pograniczu światów*. Wydawnictwo Poznańskie. — Poznań, 2008. — С. 239—249.
- Клочко В.І. Новые аспекты связей Северного Причерноморья с Восточным Средиземноморьем в позднем бронзовом веке // *Мир Ольвии. Материалы юбилейных чтений, посвященных 90-летию со дня рождения Л.М. Славина*. — Киев, 1996. — С. 129—131.
- Клочко Л.С. Реконструкція давнього вбрання за археологічними матеріалами // *Пам'ятки України*. — 2003. — № 4. — С. 23—29.
- Компанець Г.С., Ковальчук М.С. Літологія і міденосність відкладів дністровської серії нижнього девону Львівського палеозойського прогину // *Наукові праці Інституту фундаментальних досліджень*. — К.: Знання, 1999. — С. 83-95.
- Кравченко Н.М., Шишкін Р.Г., Готун І.А., Максимов В.В., Лисенко С.Д. Розкопки біля села Малополовецьке // *АДУ*. — 1993. — С. 72—73.
- Крушельницька Л.І. Чорноліська культура Середнього Придністров'я (за матеріалами непоротівської групи пам'яток). — Львів: «Місіонер», 1998. — 223 с.
- Крушельницька Л.І. Культура Ноа на землях України. — Львів: Львів. наук. бібл. ім. Стефаніка, 2006. — 174 с.
- Лагодовська О.Ф., Захарук Ю.М. Нові дослідження Войцехівського могильника // *АП*. — К., 1956. — Т. VI. — С. 69—74.
- Литейные бронзы. — Л.: Машиностроение. — 1973. — 197 с.
- Лисенко С.Д. Результаты исследования могильника Малополовецкое-3 на Киевщине в 1993—1997 годах // *«Trzciniec» — system kulturowy czy interkulturowy process*. — Poznań, 1998. — С. 95—117.
- Лисенко С.Д., Лисенко С.С. Исследования на могильнике Малополовецкое-3 в 2000 г. // *АВУ*. — 1999—2000 рр. — К., 2001. — С. 147—159.
- Лисенко С.Д. Абсолютная хронология восточного массива тшинецкого культурного круга // *Проблемы эпохи бронзы великой степи*. — Луганск: Глобус, 2005. — С. 37—60.
- Лисенко С.Д., Лисенко С.С., Якубенко О.О. Шпильки-жезли із зібрання Національного музею історії України // *Музейні читання. Матеріали наукової конференції «Ювелірне мистецтво — погляд крізь віки» (5—6 грудня 2005 р.)*. — К., 2006. — С. 42—51.
- Мерперт Н.Я., Пряхин А.Д. Срубная культурно-историческая общность эпохи бронзы Восточной Европы и лесостепь // *Археология Восточно-Европейской Лесостепи*. — Воронеж: Изд. Воронеж. Ун-та, 1979. — С. 7—24.
- Металогения Украины и Молдавии / Отв. ред. Я.Н. Белевцев. — К. Наук. думка, 1974. — С. 510.
- Минасян Р.С. Литые бронзовых котлов у народов степной Евразии (VII в. до н. э. — V в. до н. э.) // *АСГЭ*. — Л., 1986. — Вып. 27. — С. 61—78.
- Моделирование процессов металлообработки / Как это было. Блог им. MAXIM. Интернет ресурс <http://istrek.ru/blog/142.html>.
- Никольченко Ю.М. Работы Ровенского краеведческого музея // *АО*. — М., 1974. — С. 332—333.
- Отрощенко В.В., Пряхин А.Д., Беседин В.И., Бровендер Ю.М., Саврасов А.С. Украинско-российская экспедиция по изучению памятников эпохи бронзы Донецкого бассейна // *Археология Восточноевропейской Лесостепи (пятьдесят по-*

- левых сезонов археологов Воронежского Университета). — Воронеж: Тип. ВГУ, 1997. — Вып. 10. — С. 90—103.
- Отроценко В.В.* Культури фінальної бронзи // Археологія України. Курс лекцій. — К.: Либідь, 2005. — С. 195—202.
- Павлів Д.* Про один тип браслетів ранньогальштатського часу України // *Studia archaeologica*. — Львів, 1993. — № 1. — С. 32—34.
- Павлюк О.В., Павлюк В.М.* Самородна мідь Сквирської площі Брусилівської шовної зони // Геохімія та рудопроявлення. — К., 2009. — № 27. — С. 88—90.
- Павлюк О.В., Кислюк В.В., Павлюк В.М.* Самородна мідь Могильнянської ділянки (Середнє Побужжя) // Доповіді НАН України. — К., 2009. — Т. 4. — С. 124—129.
- Павлюк В.М., Павлюк О.В., Довгань Р.М.* Золотоносність Могилів-Подільської площі (Середнє Придністров'я) // Зап. Укр. мінерал. тов-ства. — К., 2008. — Т. 5. — С. 84—95.
- Петрунь В.Ф.* Петрография и некоторые проблемы материала каменных литейных форм эпохи поздней бронзы из Северного Причерноморья // Памятники эпохи бронзы Юга Европейской части СССР. — К.: Наук. думка, 1967. — С. 185—194.
- Приходько В.Л., Мельничук В.Г., Матеюк В.В.* Перспективність нижньовендської трапової формації Волинського рудного району на промислові концентрації самородної міді // Мінеральні ресурси України. — 2010. — № 1. — С. 4—11.
- Равич И.Г., Седов А.В., Шемаханская М.С.* Применение моделирования к изучению древних бронз Южного Таджикистана // Естественные науки и археология в изучении древних производств. — М., 1982. — С. 19—31.
- Равич И.Г.* Эталоны микроструктур оловянной бронзы // Художественное наследие. — М.: Искусство, 1983. — № 8 (38). — С. 136—143.
- Равич И.Г., Рындина Н.В.* Исследование свойств и микроструктуры сплавов медь-мышьяк в связи с их использованием в древности // Художественное наследие. — М.: Искусство, 1984. — № 9 (39). — С. 114—123.
- Равич И.Г., Рындина Н.В.* Методика металлографического изучения древних кованых изделий из меди // Естественнонаучные методы в археологии. — М.: Наука, 1989. — С. 91—100.
- Рожнецкий И.А., Колесниченко А.Г., Иванов В.Т.* Практические и лабораторные работы по литейному производству. — К.: Вища школа, 1973. — 83 с.
- Русу М.* «Докиммерийские» детали конской сбруи из Трансильвании // *Dacia*. — 1960. — IV. — С. 161—180.
- Рыбаков Б.А.* Ремесло Древней Руси. — М.: АН ССР, 1948. — 792 с.
- Рындина Н.В.* Древнейшее металлообрабатывающее производство Восточной Европы. — М.: Изд-во Моск. ун-та. — 1971. — 143 с.
- Рындина Н.В.* Древнейшее металлообрабатывающее производство Юго-Восточной Европы. — М.: Эдиториал УРСС, 1998. — 288 с.
- Саврасов А.С.* Экспериментальное изучение технологии металлообрабатывающего производства // Пряхин А.Д. Мосоловское поселение металлургов-литейщиков эпохи поздней бронзы. — Воронеж: Воронеж. ун-т, 1966. — Кн. 2. — С. 135—158.
- Ситник О.С.* Звіт про дослідження поселень пізньобронзового-ранньозалізного віку в околицях с. Воля Тербовлянського району Тернопільської області в 1990 р // НА ІА НАНУ. — 1990/127.
- Смирнова Г.И.* Поселение Магала — памятник древнефракийской культуре в Прикарпатье (втор. пол. XIII — сер. VII в. до н. э.) // МИА. — М.: Наука, 1969. — № 150. — С. 7—60.

- Смирнова Г.И. Новые исследования поселения Магала // АСГЭ. — Л.: Аврора, 1972. — Вып. 14. — С. 12—31.
- Стиллет: мрачное оружие с богатой историей // Холодное оружие и вооружение: ножи, мечи (sword), топоры и кинжалы. Интернет ресурс <http://bladeist.ru/page-id-265.html>.
- Татаринов С.И. Древний металл Восточной Украины. — Артемовск: Гортипогр. Донец. облупр. по печати, 1993. — 54 с.
- Халиков Ф.Х. Волго-Камье в начале эпохи раннего железа VIII—VI вв. до н. э. — М. Наука, 1977. — 262 с.
- Циммерман Р., Гюнтер К., Металлургия и материаловедение // Справочник. — М.: Металлургия, 1982. — 510 с.
- Черных Е.Н. История древнейшей металлургии Восточной Европы. — М.: Наука, 1966. — 144 с.
- Черных Е.Н. Древняя металлообработка на Юго-Западе СССР. — М.: Наука, 1976. — 302 с.
- Черняков И.Т. Из истории бронзолитейного производства в Северном Причерноморье (о так наз. «Коблевском» или «Тилигульском» кладе) // МАСП. — Одесса, 1967. — Т. II (35). — С. 23—37.
- Шарафутдінова І.М. Бронзоливарна майстерня з с. Головурів на Київщині // Археологія. — 1973. — № 12. — С. 61—70.
- Berezanskaja S.S., Kločko V.I. Das Gräberfeld von Hordeevka // AE. — Göttingen, 1998. — Band 5. — 87 s.
- Blajer W. Skarby ze starszej i środkowej epoki brązu na ziemiach polskich. — Kraków: Wyd. naukowe DWN; PAN, 1999. — 475 s.
- Bočkarov V.S., Leskov A.M. Jung- und spätbronzezeitliche Gußformen im nördlichen Schwarzmeergebiet // PBF. — 1980. — Ab. XIX. — Band. 1. — 97 s.
- Dąbrowski J., Hensel Z. Metallurgie in der älteren Bronzezeit in Polen // PZ. — Berlin; New York, 2005. — B. 80. — H. 1. — S. 5—20.
- Goshko T.Y. Technological characteristics of Bronze items from the Gordiyivka Burial Ground on the Southern Bug river // Vschodoslovensky Pravek. Special Issue. — Košice, 1999. — S. 187—191.
- Kločko V.I. Die Süd- und Westbeziehungen die Ukraine rechts des Dniepr in 2 und frühen 1 Jahrtausend v. Chr // Das Karpatenbecken und die osteuropäische Steppe. — Radhen / Westf., 1998. — S. 343—351.
- Kločko V.I., Manichev V.I., Kvasnitsa V.N., Kozak S.A., Demchenko L.V., Sokhat-skiy M.P. Issues concerning Tripolye metallurgy and the virgin copper of Volhynia // BPS. — 2000. — Vol. 9. — S. 168—186.
- Kločko V., Manichev V., Kompanec C., Kovalchuk M. Wychodnie rud miedzi na ternie Ukrainy zchodniej jako baza surowcowa metalurgii kolorowej w okresie funkcjonowania kultury trypolskiej // Folia Praehistorica Posnaniensia. — Poznan.: Poznańska Drukarnia naukowa, 2003. — X/XI. — S. 47—77.
- Stegmann-Rajtár S. Spätbronze und früheisenzeitliche Fundgruppen des mittleren Donaugebiets // Bericht der Römisch-Germanischen Kommission. — 1992. — № 73. — S. 29—180.
- Tallgren A.M. La Pontide prescythique apres l'introduction des metaux // ESA. — 1926. — II. — 246 s.

Умовні скорочення

ABY	— Археологічні відкриття в Україні
ADY	— Археологічні дослідження в Україні. Київ
AO	— Археологические открытия. Москва
AP	— Археологічні пам'ятки. Київ
АСГЭ	— Археологический сборник Государственного Эрмитажа. Ленинград
БМЗК	— Бережнівсько-маївська зрубна культура
ГМЦ	— гірничо-металургійний центр
КТ	— Карпато-Трансильванська хімічна група
МАСП	— Материалы по археологии Северного Причерноморья
МДАВП	— Матеріали і дослідження з археології Прикарпаття і Волині
МИА СССР	— Материалы и исследования по археологии СССР
МП-3	— Малополовецьке-3
НА ІА НАНУ	— Інститут археології Національної Академії наук України
НМІУ	— Національний музей історії України
НФ ІАНАНУ	— Наукові фонди Інституту археології Національної Академії наук України
РА	— Российская археология. Москва
РКМ	— Рівненський краєзнавчий музей
ТКМ	— Тернопільський краєзнавчий музей
AE	— Archäologie in Eurasien
BPS	— Baltic-Pontic Studies. Poznań
Dacia	— Dacia. Recherches et decouvertes archéologiques en Roumanie. Bucureşti
ESA	— Eurasia Septentrionalis Antiqua. Helsinki
PBF	— Prähistorische Bronzefunde. München; Stuttgart
PZ	— Praenistorische Zeitschrift

Зміст

Вступ	3
Розділ 1	
МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИРОБІВ	
З МІДІ—БРОНЗИ	7
Розділ 2	
ДЖЕРЕЛА ВИВЧЕННЯ	
МЕТАЛООБРОБНОГО ВИРОБНИЦТВА	15
2.1. Родовища та рудопрояви	15
2.2. Сліди металообробки на окресленій території	19
2.2.1. Теплотехнічні споруди	19
2.2.2. Ливарні форми	22
Розділ 3	
ТЕХНОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ	
МЕТАЛЕВИХ ВИРОБІВ	25
3.1. Вироби з Гордіївки	25
3.2. Жезли-«стилетів» з фондів НМІУ	45
3.3. Вироби тшинецької та комарівської культур	48
3.4. Вироби культури Ноуа	54
3.5. Вироби висоцької культури	59
3.6. Порівняння технологій виготовлення виробів із Гордіївки та з інших культур	63
3.7. Характеристика складу металу	71
Висновки	77
Додаток 1. Металографічні характеристики досліджених виробів із Гордіївки. Описання структури	81
Додаток 2. Металографічні характеристики досліджених виробів із пам'яток тшинецької та комарівської культур. Описання структури	99
Додаток 3. Металографічні характеристики досліджених виробів із пам'яток культури Ноуа. Описання структури	104
Додаток 4. Металографічні характеристики досліджених виробів висоцької культури (Петриків). Описання структури	108
Додаток 5. Таблиці спектральних аналізів	114
Резюме	119
Список використаних джерел	121
Умовні скорочення	126

Наукове видання
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ АРХЕОЛОГІЇ

ГОШКО Тетяна Юріївна

**МЕТАЛООБРОБКА
У НАСЕЛЕННЯ
ПРАВОБЕРЕЖНОЇ
ЛІСОСТЕПОВОЇ УКРАЇНИ
ЗА ДОБИ ПІЗНЬОЇ БРОНЗИ**

Українською мовою

Літературний редактор	<i>М.А. Сніжинський</i>
Рисунки	<i>Т.Ю. Гошко, П.М. Корнієнка</i>
Комп'ютерна верстка	<i>С.А. Горбаненко</i>

Підписано до друку 25.07.2011. Формат 70 × 100/16.
Папір офсетний. Друк офсетний. Ум. друк. арк. 10,4.
Обл.-вид. арк. 9,6. Тираж 300 екз.

Тираж віддруковано ТОВ «Майдан»,
61002, Харків, вул. Чернишевська, 59. Тел.: (057) 700-37-30

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців
і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 1002 від 31.07.2002 р.