

К ВОПРОСУ ОБ ИЗОБРЕТЕНИИ АНТИЧНЫХ ТОКАРНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ КАМНЯ, ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Если бы Витрувий не ограничился в своем труде описанием наиболее сложных механизмов, в наших познаниях о токарных устройствах римской, а возможно, и греческой античности не было бы столь глубокой лакуны. К такому заключению нельзя не прийти потому, что древнеримский архитектор и инженер отнес эти устройства к простым механизмам, которые «не стоит рассматривать», поскольку они, по его словам, каждый день имеются под рукой, применяются на каждом шагу и находятся во всеобщем употреблении — наряду с мельницами (с приводом силой животного), кузнечными ручными мехами (две доски с петлей и кожаной «гармошкой»), повозками и одноколками (тачками). Станки и прочее упомянуты в самом конце перечня (X.1.6)¹, откуда следует, что токарные устройства греко-римской античности, даже предназначенные для обработки таких твердых материалов, как камень и металл, были достаточно примитивными.

В качестве доказательства существования подобных устройств было принято ссылаться на Плиния и на замеченные на артефактах следы резца. Попытки реконструкции устройств на основе одних этих, явно недостаточных данных успеха принести не могли, тем более, что выяснилось: в ряде случаев (речь идет в основном о зеркалах греческой античности) следы на изделиях принадлежали не резцу, но были оставлены на выплавляемой модели циркулем (см. исследования В. И. Кадеева). В то же время к настоящему моменту известно достаточно большое количество изделий с несомненными следами токарной обработки (исследования А. Мутца, О. Д. Лордкипанидзе и др.), и это позволяет нам еще раз обратиться к данной проблеме.

Целью настоящей статьи является реконструкция античных камнеобрабатывающих, металлорежущих токарных (и обкатных) устройств на основе изучения археологических данных и своего рода инженерного прочтения письменных источников с учетом современных знаний: теории резания, инструментального дела, металлостроения, литейного дела, измерительной техники, станковедения. Методика проведения исследования предполагает использование определителя деталей машиностроения для классификации датированных изделий по типам («втулка», «вал», «диск»², с отнесением некоторых из них к дополнительному типу «полусфера» — см. Приложение), благодаря чему появляется возможность привязки изделий к различным видам устройств, на которых они могли быть обработаны.

Необходимо отметить, что появление механической обработки камня и холодной обработки металла последовало за точением подсушенной глины, а затем дерева, что свидетельствует, на наш взгляд, о неразрывной

¹ *Витрувий*. Десять книг об архитектуре / Пер. Ф. А. Петровского. Т. I. М., 1936. С. 191.

² Иллюстрированный определитель деталей общемашиностроительного применения. Руководящий технический материал. Классы 40 и 50 Общесоюзного классификатора промышленной и сельскохозяйственной продукции. М., 1976. Детали типа тел вращения — с. 4, 33, 43.

цепи развития обрабатывающей техники. Реконструкции деревообрабатывающих токарных устройств греческой античности — вертикально-токарного круга, центрального токарного устройства VII—VI вв. до н. э. и горизонтально-токарного круга V в. до н. э. (предназначенных для изготовления деревянных предметов посуды, мебельных ножек, блоков и полиспастов соответственно) нами уже была посвящена специальная статья ³.

1. Механическая обработка камня: вышлифовывание печатей и гемм, вытачивание деталей колонн, шлифование литейных форм и предметов посуды

По Плинию, изобретателем токарного станка (tornus — Plin. HN. VII.56) был Феодор Самосский. С необходимостью применения токарного станка, вернее, вертикально-токарного круга и особенно центрального токарного устройства знаменитый мастер VI в. до н. э. несомненно сталкивался в разных областях своей многогранной деятельности. Геродот приписывает ему изготовление двух больших чаш, для создания которых в соответствии с уровнем техники того времени необходимо было выточить деревянный болван (на нем оббивались металлические листы, из которых были склепаны чаши). Геродот (I.54) пишет о том, что царь Лидии Крез отослал в Дельфы две большие чаши, золотую и серебряную, причем вес золотой — восемь с половиной талантов и двенадцать мин (228 кг), а серебряная вмещает шестьсот амфор; по словам дельфийцев, чаши изготовлены Феодором с Самоса. Если предположить, что чаши были одинаковыми по размеру (об этом, на наш взгляд, говорит их симметричное расположение в дельфийском храме), то серебряная чаша должна была иметь массу — с учетом отношения плотностей (кг/м³) обоих металлов — серебра (10 500) и золота (19 320) $228 \times \frac{10500}{19320} = 124$ кг. Поскольку чаши названы большими, то их можно сравнить с раскопанным А. Эвансом котлом из Тилиссоса (о-в Крит) в виде полушара с плоским дном, склепанным из семи листов меди с тремя литыми ручками, диаметр которого был 1,4 м, а масса — 52 кг ⁴. По расчетам, поверхность котла составляла 3 м², а его объем — 720 л. Толщина использованных листов не превышала 2 мм. На котел пошло около 250 заклепок. Так как чаши еще больших размеров, по условиям ограничений, накладывавшихся, возможностями литейной техники VI в. до н. э., также могли быть только клепаными, попробуем определить габариты необходимого Феодору деревянного болвана (в форме тела вращения), а отсюда выявить технические средства для его вытачивания. С этой целью воспользуемся элементарным математическим приемом, позволяющим вычислить реальную емкость упомянутых Геродотом чаш, на первый взгляд представляющуюся не вполне определенной (как известно, амфоры бывали различной емкости). При массе серебряной чаши 124 кг ее поверхность (при несколько увеличенной толщине листа — до 2,5 мм) должна составлять 4,75 м², откуда вычисляется и диаметр, равный 1,8 м, а также объем — 1380 л. Отсюда емкость упомянутых Геродо-

³ Каплан Г. М. К истории изобретения античных деревообрабатывающих токарных устройств // ВДИ. 1985. № 2. С. 108.

⁴ Hood S. The Minoans. The story of Bronze Age Crete. New York — Washington, 1971. P. 227.

том амфор $\frac{1380}{600} = 2,3$ л. Этот весьма ориентировочный расчет, позволяющий установить лишь порядок цифр, показывает, что Геродот имел в виду амфоры не остродонные, а пиршественные, небольшой емкости. «Чашу эту дельфийцы наполняют разбавленным вином в праздник Феофанний», — говорит Геродот (I.51), и емкость чаши уже не представляется фантастической, хотя размеры ее довольно внушительны. Как мог быть отточен составной болван диаметром около двух метров, будет показано дальше.

Перейдем к механической обработке драгоценных камней, также связанной с именем Феодора. Древнегреческий писатель и путешественник Павсаний замечает: «Работой Феодора была и печать на смарагдовом камне, которую так охотно носил Поликрат, тиран острова Самоса, и которой он так исключительно гордился» (VIII.14.8⁵; ср. Herod. III.41). Смарагд — греческое наименование изумруда, прозрачной ярко-зеленой разновидности драгоценного минерала берилла твердостью 7,5—8 по шкале Мооса. «Древние писатели сообщают, — пишет О. Я. Неверов, — что абразивом при резьбе служил „наксосский камень“, разновидность корунда, а также измельченный алмаз, „алмазная пыль“ (твердость 9 и 10. — Г. К.)... На этрусском скарабее IV в. до н. э. изображен резчик, работающий с помощью примитивного смычкового сверла. Мастерам Ройку и Феодору приписывается изобретение станка для резьбы на цветных камнях. Вращение резцов обеспечивалось в нем ножной педалью с приводом. Но, видимо, это было уже второе в древности изобретение, так как эгейские геммы III—II тыс. до н. э. также предполагают быстрое вращение на станке»⁶. Предполагать изобретение в ту эпоху станка, даже с ножным приводом, на наш взгляд, все же невозможно: необходимая для этого ускорительная передача вращения гибкой связью впервые была описана итальянским ученым XVI в. Джеронимо Кардано под названием «канатная» в сочинении, появившемся в 1550 г.: «Геммы расверливаются и нарезаются с необычайным искусством; оно состоит в следующем: на большее деревянное колесо наматывается тонкий канат, и он же наматывается на меньшее колесо... Поэтому меньшее колесо вращается с максимальной стремительностью... вследствие чего ось сверлит и оттачивает геммы»⁷. Хотя и здесь ничего не говорится о кривошипно-шатунном ножном приводе, тот, по всей вероятности, применялся, будучи изобретен в 850 г. для вращения шлифовального круга⁸. На недатированной гемме изображен амур с колчаном за спиной, затачивающий на точилье с кривошипно-шатунной передачей наконечник своей стрелы⁹. Можно, следовательно, допустить изобретение Ройком и Феодором (но скорее последним) настольно-шлифовального устройства, состоявшего из бронзовой стойки с установленным в ней вертикальным абразивным инструментом, быстро вращаемым вручную лучковым приводом.

Феодор был и скульптором, но здесь он пошел дальше своих предшественников, оббивавших деревянные статуи листовой медью: статуи он стал отливать из бронзы, хотя и по частям. С литьем по выплавляемым моде-

⁵ Павсаний. Описание Эллады / Пер. и ввводн. ст. С. П. Кондратьева. Т. II. М., 1940. С. 244.

⁶ Неверов О. Я. Геммы античного мира. М., 1983. С. 10.

⁷ Бек Т. Очерки по истории машиностроения. Т. I. М.—Л., 1933. С. 110. Рис. 171.

⁸ Лилли С. Люди, машины и история. М., 1970. С. 77.

⁹ Neuburger H. Die Technik des Altertüms. Lpz, 1919. S. 54.

лям он был хорошо знаком, отливая бронзовые зеркала и иные поделки. «Феодор», — пишет Плиний, — соорудивший в Самосе Лабиринт, и сам сделал свою собственную статую из бронзы, приобретающую в широких кругах замечательную славу помимо сходства и большой тонкостью работы» (НН. XXXIV.19)¹⁰. По словам Павсания, «первыми, кто стал лить медь и выливать статуи, были Ройк, сын Филея, и Феодор, сын Телекла, родом с Самоса» (VIII.14.8)¹¹.

Однако главным делом жизни Феодора, этого разностороннего мастера, было, по-видимому, зодчество. В описании путешествия Павсания по Спарте можно прочесть следующее: «С площади ведет и другая улица, вдоль которой у них сооружена (галерея), так называемая „Скиас“ (Тенистая), где они и сейчас собираются на собрания. Говорят, что творцом этой Скиады является Феодор из Самоса...» (III.12.10)¹². Лабиринт и Скиаду невозможно представить без колоннад, как и храм Геры, о котором, перечисляя наиболее крупные сооружения на Самосе, Геродот говорит: «Третье сооружение — храм, самый большой из всех известных нам храмов. Первым строителем его был уроженец острова Ройк, сын Филея» (III.60). «О дорийском храме Юноны на Самосе — Феодор», — записал Витрувий (VII. Вступление. 12)¹³. Поскольку имя Ройка ставится обычно перед именем Феодора, можно заключить, что «вторым», т. е. соавтором «первого», был Феодор. Он же, как нам представляется, ведал и техническим обеспечением строительства. Но храм Юноны (Геры), как заметил О. Шуази, не был дорийским: сохранилась база колонны, тогда как колонны дорийского ордера, например Парфенона, баз не имели. По рисунку Шуази, диаметр баз (и колонн) Самосского храма равнялся двум метрам¹⁴. База представляла собой тело вращения со ступенчатой образующей. «На острове Самос, — пишет Шуази, — эти борозды наподобие насечек топором покрывают всю поверхность базы и этим нарушают монотонность теней»¹⁵. «Установлено, — говорит Б. П. Михайлов, — что базы колонн Герайона обтачивались на токарном круге при помощи металлического резца, что подтверждает сообщение Плиния о том, что Феодор был изобретателем токарного дела»¹⁶. Не случайно, видимо, колонны прямоугольной формы, складывавшиеся из квадратов, уступили место колоннам в виде тел вращения, детали которых и могли подвергаться не ручной, а в значительной степени механизированной обработке на токарном устройстве. Но не располагая сведениями о конструкции устройства, Плиний лишь в самых общих выражениях оценивает его достоинство: «О критском лабиринте сказано довольно. Лемносский схож с ним и заслуживает упоминания лишь благодаря своим ста пятидесяти колоннам, барабаны которых при обработке в мастерской были столь хорошо сбалансированы, что их мог, вращая, обтачивать даже мальчик» (НН. XXXVI.19)¹⁷. Согласно Шуази, стволы колонн составлялись из отдель-

¹⁰ Плиний об искусстве / Пер. Б. В. Варнеке. Одесса, 1918. С. 32.

¹¹ Павсаний. Ук. соч. Т. II. С. 244.

¹² Там же. С. 245.

¹³ Витрувий. Ук. соч. Т. I. С. 133.

¹⁴ Шуази О. История архитектуры / Пер., дополн. и комм. В. Д. Блаватского и др. Т. I. М., 1935. С. 262. Рис. 201, S.

¹⁵ Там же. С. 264.

¹⁶ Михайлов Б. П. Витрувий и Эллада. Основы античной теории архитектуры. М., 1967. С. 103.

¹⁷ Комментаторы текста считают, что здесь идет речь о храме на Самосе (*Plinius Caius Secundus. Natural history. V. 10. Cambr. Mass.—L., 1971. P. 70—71. Cp. Plin. NН. XXXIV. 83*).

ных барабанов в количестве до четырех-пяти, причем их постели (опорные торцы) подвергались обтеске¹⁸. По обломку нижнего барабана колонны храма Геры можно заключить, насколько необходима была токарная обработка: пользуясь архитектурной терминологией, можно сказать, что низ барабана опоясывал валик, над которым находилась скоция (желобок)¹⁹. Общее число подобных и других барабанов более простой формы вместе с базами и капителями было очень велико (около тысячи). При таком огромном объеме работы механизация обработки была остро необходимой. Можно предположить, что для обработки этих деталей Феодор использовал токарное устройство, изобретенное им для вытачивания деревянного болвана.

2. Реконструкция камнеобрабатывающих токарных устройств греческой античности

Попробуем определить конструкцию токарного устройства, предназначенного для обработки на нем крупногабаритных (а следовательно, и тяжелых) сначала деревянных, а затем и каменных деталей. Современный конструктор не преминул бы применить подшипники качения для облегчения вращения барабана массой от 18 до 22 т. У Феодора, как представляется, была единственная возможность решения этой задачи — использовать идею вращения детали на вертикальной оси, т. е. на минимальном радиусе трения. Идея эта была реализована в гончарном круге, описанном Э. В. Сайко: «...на небольшом основании, в которое, очевидно, и вмонтировано острие... вращалась система круга... фрагмент, на котором изображен рассматриваемый нами круг, исследователи относят к 500 г. до н. э., находится он в коллекции Британского музея. На неподвижном острие вращается и круг... изображенный на сосуде, находящемся в Афинском музее»²⁰. Сосуд датируется серединой I тыс. до н. э., т. е. также рубежом VI—V вв. до н. э.

Построенный по аналогичной конструктивной схеме вертикально-токарный круг мог послужить Феодору прототипом камнеобрабатывающего токарного устройства. В просверленное отверстие скального основания забивалась обточенная на центровом токарном устройстве дубовая ось. С помощью полиспастового подъемника (такого же, что и на строительстве храма, — см. изображение полиспаста на коринфской вазе VI в. до н. э.)²¹ на ось нанизывалась предварительно просверленным г л у х и м (несквозным) отверстием начерно вырубленная из камня цилиндрическая заготовка. Плиниевый «мальчик», конечно же, не справился бы с разгоном массивной заготовки, не говоря уже о трудности преодоления силы резания, но потери на трение были здесь минимальны. Заготовку начинали вращать несколько сильных мужчин, вероятнее всего, рабов. Оперев длинный стальной резец на установленный рядом столб, игравший роль подручника, токарь с помощниками, вероятно, поддерживавшими резец, обтачивал боковую поверхность барабана, а в базе ее и прорезал, после чего, возможно, и зашлифовывал камнем. Для контроля формы профилированной поверхности базы должен был использоваться плоский шаб-

¹⁸ Шуази. Ук. соч. С. 233.

¹⁹ Там же. С. 262 сл.

²⁰ Сайко Э. В. К истории гончарного круга и развития форм керамики. Душанбе, 1971. С. 42, 132. Рис. 16.

²¹ Всемирная история. Т. I. М., 1955. С. 654.

лон. Так можно представить изобретенное Феодором простейшее *каменеобрабатывающее вертикально-токарное устройство* и работу на нем (рис. 1).

Правильность реконструкции этого устройства получила неожиданное подтверждение со стороны итальянского ученого и архитектора XV в. Леона Баттисты Альберти, весьма скептически, впрочем, относившегося к техническим достижениям древних строителей. Он писал: «Колонны должны быть совершенно ровные и круглые. Мне известно, что некие Феодор и Телекл, зодчие, в своих мастерских на острове Лемнос сделали веретена (?) и на них так уравнивали подвешенные колонны, что их при отделке мог вращать мальчик. Греческие рассказы!»²². Однако в его труде, изданном в Венеции в 1546 г., «с латинского на народный язык с большим старанием переведенном», вместо веретен — *fusi* — значит *piñi*, т. е. *piroli* — колышки²³.

В V в. до н. э. архитекторы Иктин и Калликрат строили Парфенон, и было сделано дальнейшее усовершенствование технологии токарной обработки камня. «Существует мнение, — пишет Шуази, — что постели барабанов колонн сглаживались путем вращения на слое песка. Действительно, барабаны колонн Парфенона, являющиеся образцом совершенства строительной техники, сохранили следы вращения, но не обнаруживают никаких следов пилы между ними»²⁴. 46 мраморных колонн дорического стиля высотой 10,5 м²⁵, диаметром примерно 1,7 м в основании (1,9 м для угловых колонн) несколько утончаются кверху. Состоят они в среднем из 11 барабанов (в виде усеченного конуса разной высоты, массой по 6—7 т) и капители, так что общее число деталей достигает $46 \times (11 + 1) = 552$. Можно предположить, что было изобретено новое токарное устройство, предназначенное не только для обтачивания, но и для подрезания торцов, как об этом свидетельствуют круговые следы обработки. Конструкцию этого устройства можно представить в виде двух деревянных столбов высотой до 1,5 м, с пазами на их верхних торцах, с использованием пазов в качестве подшипников для оси вращения заготовки (это конструктивное решение позднее было применено при установке водяного колеса). Подъем на небольшую высоту закатанной между столбами заготовки для проделывания сквозь нее дубовой оси мог производиться с помощью рычагов или полиспаста. Заготовку, как и прежде, вращали вручную. К столбам примыкал П-образный (в плане) деревянный подручник для опоры резца, позволявший обточить заготовку по диаметру и подрезать оба торца (рис. 2). Имеются основания полагать, что Калликрат, занимавшийся не только архитектурными, но и техническими вопросами строительства Парфенона, мог быть изобретателем описанного *каменеобрабатывающего горизонтально-токарного устройства*.

В эпоху древнего Рима токарная обработка камня падает. «Если в древней Греции... колонна действительно поддерживала балку... то в римской архитектуре была применена лишь декоративная, внешняя форма в виде псевдоколонны, наполовину или на три четверти выступающей из стены»²⁶. Ясно, что «псевдоколонны» уже не нуждались в токарной обработ-

²² Альберти Леон Баттиста. Десять книг о зодчестве / Пер. Ф. П. Зубова. Т. I. М., 1935. С. 206.

²³ I dieci libri de l'architettura di Leon Battista de gli Alberti Fiorentino. In Venetia MDXLVI. Libro VI. Cap. 13. P. 136.

²⁴ Шуази. Ук. соч. С. 200.

²⁵ Ривкин Б. И. Античное искусство. М., 1972. С. 141.

²⁶ Николаев И. С. Профессия архитектора. М., 1984. С. 84.

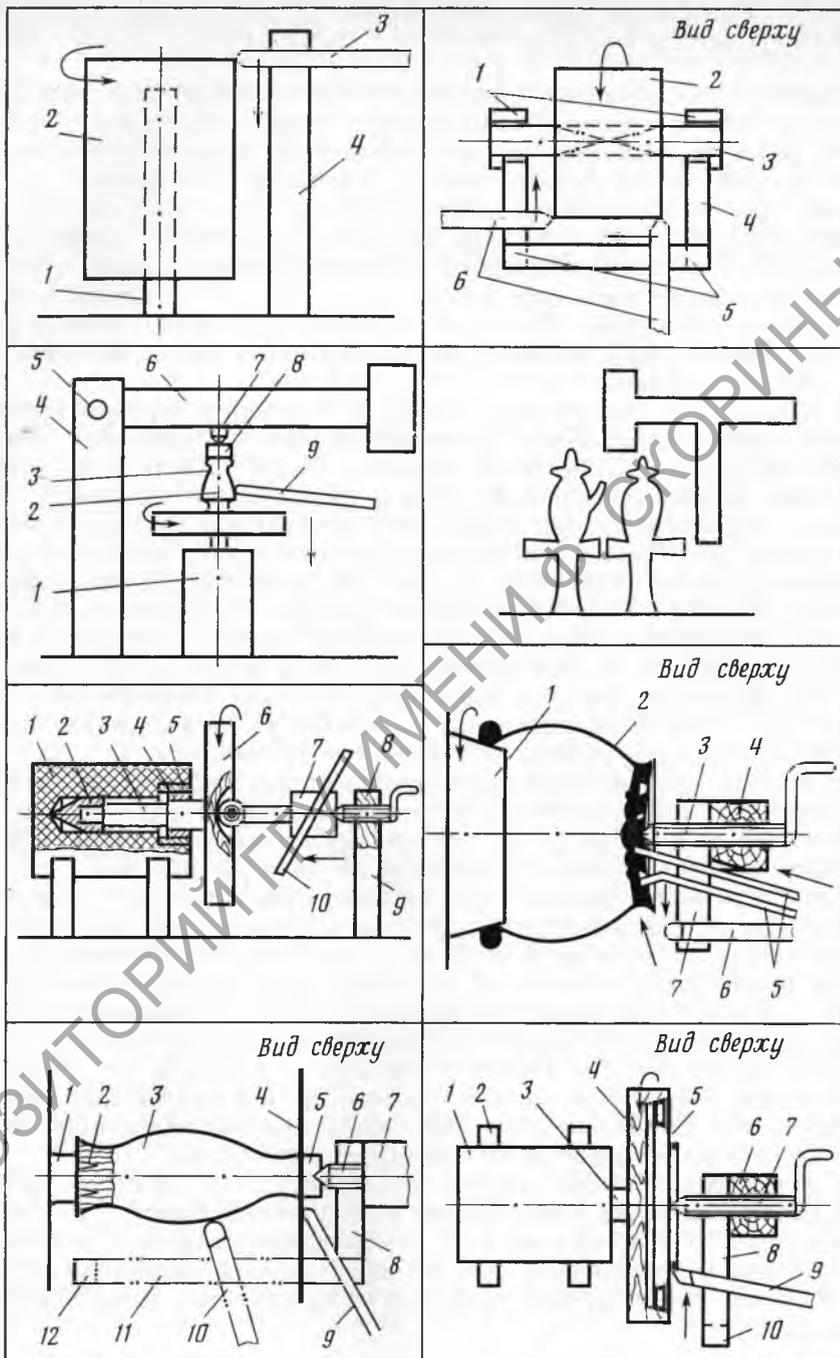


Рис. 1. Камнеобрабатывающее вертикально-токарное устройство Феодора Самосского. VI в. до н. э. (реконструкция автора). 1 — ось вращения заготовки, 2 — заготовка с глухим (несквозным) отверстием, 3 — резец, 4 — подручник

ке, как не нуждались в ней опоры акведуков, сооружавшиеся из квадров (чему способствовало широкое использование рабского труда каменотесов). К шлифованию камня римляне обратились при изготовлении литейных форм, о чем сообщает Витрувий: «Есть еще порядочно каменоломен, так называемых аницианских, в области Тарквиниев, камень которых... обладает бесчисленными достоинствами: ему не может повредить ни морозная погода, ни соприкосновение с огнем... литейщики, заготавливая себе формы для бронзового литья из камня этих каменоломен, извлекают из них немалую пользу при отливке бронзы» (II.7.3—4)²⁷. И у Плиния находим: «Черные кремни наилучшие, хотя в ряде местностей — красные и в некоторых — белые, как, например, в тарквинийских каменоломнях Анциев около Волсинийского озера и вблизи Статоний. Камни из этих двух районов невосприимчивы к огню. Они же используются для изготовления резных деталей архитектурных монументов, поскольку мало подвержены действию времени. Из них же делают формы для отливки бронзы» (XXXVI.49). Как видим, отливку относительно массовых изделий в виде тел вращения, например ковшей, римские литейщики производили в кокиль (франц. coquill, букв. «раковина, скорлупа»), изготовлявшийся из огнеупорного камня — кварцита (твердостью ок. 7). Поставленные перед необходимостью расшлифования камня, литейщики должны были повторно изобрести технологию обработки времен IV династии Старого царства Египта — использовать в качестве внутришлифовального устройства гончарный круг²⁸ с креплением на нем каменной заготовки глиной, обладающей высокой адгезией²⁹. О каменной посуде читаем у Плиния: «На Сифносе находится камень, из которого выдалбливают и вытачивают сосуды для варки полезной пищи и предметы столовой посуды... камень с Сифноса отличается тем, что при нагревании в масле он чернеет и твердеет, хотя по природе является мягчайшим» (XXXVI.44).

²⁷ Витрувий. Ук. соч. С. 49.

²⁸ Семенов С. А. Развитие техники в каменном веке. Л., 1968. С. 78.

²⁹ Энциклопедия полимеров. Т. I. М., 1972. Статья «Адгезия».

Рис. 2. Камнеобрабатывающее горизонтально-токарное устройство Галликрата. V в. до н. э. (реконструкция автора). 1 — стойки, 2 — заготовка со сквозным квадратным отверстием, 3 — ось вращения заготовки, 4 — подручник П-образной формы, 5 — стойки подручника, 6 — резец

Рис. 3. Иберийское обкатное устройство. II тыс. до н. э. (реконструкция автора). 1 — гончарный круг, 2 — обкатная оправка, 3 — заготовка, выбитая из цветного металла, 4 — стойка, 5 — ось, 6 — коромысло с грузом, 7 — острне, 8 — прижим, 9 — давяльник

Рис. 4. Устройство из двух гончарных кругов и шадуфа для расчистки отлитых бронзовых сосудов. Изображение из гробницы Хапу — XIV в. до н. э.

Рис. 5. Токарно-центральной круг. I в. до н. э. (реконструкция автора). 1 — корпус, 2 — задняя цапфа, 3 — ось, 4 — прокладка, 5 — передняя цапфа, 6 — диск, 7 — литая заготовка, 8 — стойка, 9 — заостренный винт с рукояткой, 10 — тангенциальный резец

Рис. 6. Вытачивание на токарно-центровом круге концентрических канавок на опорном торце изделий. 1 — коническая оправка, 2 — литая заготовка, 3 — винт, 4 — стойка, 5 — канавочные резцы, 6 — проходной резец, 7 — поперечный подручник

Рис. 7. Обкатывание на токарно-центровом круге. 1 — диск, 2 — остря, 3 — обкатная оправка, 4 — металлическая дисковая заготовка, 5 — прижим, 6 — винт, 7 — стойка, 8 — поперечный подручник, 9 — давяльник, 10 — съемный продольный подручник, 11 — стамеска, 12 — стойка подручника

Рис. 8. Токарно-лобовой круг. II в. н. э. (реконструкция автора). 1 — корпус, 2 — опоры, 3 — ось, 4 — диск, 5 — литая заготовка, 6 — стойка, 7 — винт, 8 — поперечный подручник, 9 — резец, 10 — стойка подручника

3. Холодная обработка цветных металлов и сплавов:
расточивание цилиндров насосов, обработка клапанов, поршней,
кранов, вытачивание и обкатывание предметов посуды

Описывая различные устройства техники своего времени, Витрувий неоднократно упоминает о токарной обработке деталей, отлитых из бронзы (иногда называемой медью). Приведем его высказывание об одном из изобретений Ктесибия (II—I вв. до н. э.) — водяном органе, в котором были применены поршневые насосы. «На основании... воздвигают справа и слева стойки, сделанные в виде лестниц, и в них вставляют медные цилиндры, подвижные днища которых (т. е. поршни.— *Г. К.*), точнейшим образом выточенные на токарном станке, имеют прикрепленные к их центру железные колена, которые соединяются посредством шарниров с рычагами (т. е. клавишами.— *Г. К.*) и обернуты шкурами» (X.8.1)³⁰. Упоминаются и «клапаны, выточенные на станке» (X.8.4)³¹.

Витрувий пишет и о реализации другого изобретения Ктесибия: «Теперь следует сказать о водоподъемной машине Ктесибия. Ее делают из меди. В ее основании, на небольшом расстоянии друг от друга ставят парные цилиндры» (X.7.1). «У цилиндров же... имеются клапаны, вложенные сверху отверстий, находящихся в их дне» (X.7.2); «...гладко выточенные на токарном станке поршни, смазанные маслом и вставленные в цилиндры, приводятся сверху в движение стержнями и рычагами» (X.7.3)³². Можно предположить, что упомянутые здесь стержни, видимо кованые железные, с ушком, устанавливались в литейной форме перед заливкой расплавленной бронзы и тем самым надежно соединялись с телом отлитого поршня. Витрувий упоминает и о регулировании скорости потока в водяных часах с помощью крана из двух конусов, из которых «один цельный, а другой полый, выточенные так, что один совершенно точно входит в другой» (IX.8.6)³³. Здесь говорится о поворотной пробке и неподвижном корпусе крана, конструкция которого дошла до нашего времени.

Известно высказывание ученика (сына?) Ктесибия, Герона (вероятно, I в. до н. э.) об изготовлении изобретенного им пожарного насоса: «Два металлических цилиндра высверливаются изнутри токарным резцом по величине поршня, подобно тому как высверливают „насосы“ колодезных дел мастера»³⁴. Но при ближайшем рассмотрении выясняется, сколь натянуто это сравнение. Трубы изготавливались из стволов деревьев с помощью инструмента, напомним, вероятно, ложковое сверло, предназначенное для сверления дерева вдоль волокон, в то время как для растачивания отлитых из бронзы цилиндров требовался иной инструмент, а именно расточный нож.

Опираясь на высказывание Плиния, а также на наличие концентрических кругов на греческих бронзовых зеркалах V в. до н. э. и на доньшках римских сосудов из Гильдесгейма, Е. Пернис пришел к выводу, что изобретение Феодора Самосского заключалось в переносе системы токарного станка по дереву, будто бы известного уже в гомеровское время, на станок для обработки металла. Пернис связывает это с появлением «железных» резцов. Он предполагает, что в эллинистическом периоде литая заготовка крепилась на шпинделе иначе, чем в доэллинистическом, причем

³⁰ Витрувий. Ук. соч. С. 200.

³¹ Там же.

³² Там же.

³³ Там же. С. 186.

³⁴ Бек. Ук. соч. С. 22.

способом, усовершенствованным по типу современного крепления (каким именно способом? — уже в начале века, когда писал Пернис, их было несколько. — Г. К.). Понимая, что возвратно-вращательное движение неприменимо при точении металла, Пернис тем не менее не сумел выяснить, каким был привод металлорежущего станка и какую тот имел конструктивную схему³⁵.

Токарный станок по изображению из гробницы Петосириса (эллинистический Египет, III в. до н. э.) Ф. М. Фельдхаус рассматривает в качестве металлорежущего³⁶, хотя против этого говорит и шнуровой привод возвратно-вращательного движения, и вытаскиваемая мебельная ножка. Изготовление ножек, как известно, обычно производилось не из металла, а из дерева. На подобном устройстве мог работать Архимед, писавший в «Псаммите (Исчисление песчинок)»: «...обточив на токарном станке небольшой цилиндр и поставив его отвесно на линейку, я сейчас же после восхода направлял линейку на солнце»³⁷.

Приведем высказывания Р. В. Шмидт: «При обработке литых сосудов, так же как и литых бронзовых зеркал, по-видимому, пользовались токарным станком, следы от применения которого можно наблюдать на доньшках сосудов или на обратной стороне зеркал в виде правильных рельефных концентрических кругов». Шмидт критически относится к свидетельству Плиния, поскольку, по ее словам, оно «крайне лаконично и находится среди перечислений различных мифических и мифологических существ»³⁸. Далее говорится: «Но к чему сводилась работа античного токарного станка? По-видимому, к более правильной формовке сосудов и зеркал, к более тщательной отделке их поверхности, к вырезанию правильных концентрических кругов на дне сосудов, следовательно, в конечном итоге не столько к практическим целям, нужным для производства средств производства, сколько к производству предметов потребления, к художественному производству, и само собой разумеется, что того значения, которое имеет современный станок в металлопромышленности как машина для резания металла и придания ему окончательной формы с точными размерами, в античном обществе он еще не имел»³⁹.

П. Н. Шульц повторяет аргументацию Перниса и Шмидт⁴⁰, Б. А. Куфтин лишь вскользь касается вопросов токарного дела, полагая, что токарный станок для обработки бронзы возник в греко-римское время⁴¹. Г. Марион считает, что окружности на греческих зеркалах IV в. до н. э. были прорезаны на станке. Он предполагает также, что некоторые серебряные сосуды клада Милденхол подвергались токарной обработке⁴².

Статья Ф. Н. Тавадзе и В. Ф. Баркая, посвященная вопросам изготовления емкостей из цветных металлов по способу обкатывания, применявшемуся ремесленниками древней Грузии — Иберии, уделяет внимание только лишь как сопутствовавшей операции. Авторы считают, что серебряный сосуд из Цхинвальского клада I в. н. э. был обкатан из цело-

³⁵ Pernice E. Untersuchungen zur antiken Toreutik // JÖJ. 1904. VII. S. 164.

³⁶ Feldhaus F. M. Die Technik der Antike und des Mittelalters. Lpz, 1931. S. 113.

³⁷ Архимед. Сочинения. М., 1962. С. 359.

³⁸ Шмидт Р. В. Очерки по истории горного дела и металлообрабатывающего производства в античной Греции // ИГАИМК. 1935. Вып. 108. С. 318.

³⁹ Там же. С. 321.

⁴⁰ Шульц П. Н. Техника античного рабовладельческого общества // Очерки истории техники докапиталистических формаций. М.— Л., 1936. С. 164.

⁴¹ Куфтин Б. А. Археологические раскопки в Триалети. Тбилиси, 1941. С. 97 сл.

⁴² Marion H. Metal Working in the Ancient World // AJA. 1949. № 2. P. 101.

го листа⁴³; что же касается серебряной чаши из того же клада, то анализ ее формы с точки зрения выполнения и различная толщина ее корпуса указывают, по их мнению, на то, что первоначальная заготовка была получена литьем в виде круглой плоской отливки с центральным утолщенным кольцом для ножки⁴⁴ (находки сходных бронзовых отливок во Франции, Австрии и Бельгии⁴⁵ подтверждают это заключение). На чаше из Багинети (II в. н. э.), обкатанной из литой серебряной заготовки, имелись круговые канавки («бороздки») шириной 1 мм и глубиной до 0,1 мм. В канавках были заметны следы вибраций резца, что прямо указывает на обработку резанием. Авторы статьи не без основания полагают, что бороздки были выточены на прототипе токарного станка⁴⁶. Спорным является, однако, на наш взгляд, мнение, что серебряный кувшин из Армазисхеви (II в. н. э.) был обкатан из такой же заготовки⁴⁷. Ножка его идентична по форме ножке иберийского серебряного кубка, а это означает, что кувшин, как и кубок, был изготовлен из целого листа (кстати, авторы правильно ссылаются на снятие стружки на донной и горловой частях кувшина). Найденные там же 16 ножек от погребального ложа были сделаны из орехового дерева и затем обтянуты листовым серебром. Они имели на торце центровое углубление, что свидетельствует, как пишут авторы, об их вытачивании на станке⁴⁸. Способ обкатывания ножки был экспериментально проверен Тавадзе и Баркая на современном металло-режущем токарно-винторезном станке. Об использовании токарного станка эти же авторы пишут на основании изучения предметов из клада у с. Бори (II в. н. э.), в котором были найдены художественно-орнаментированные изделия из деревянных сердечников, обкатанных листовым серебром. На одном из них было замечено центровое углубление⁴⁹.

Говоря о металлических изделиях из слоев I—IV вв. Пантикапея, в частности о небольшом бронзовом колокольчике с несколькими правильно врезанными круговыми линиями, И. Д. Марченко также высказывает предположение, что изделие обрабатывалось на токарном станке⁵⁰.

Упомянув об отношениях между Римом и Иберией, касается этого вопроса и О. Д. Лорджипанидзе: «Среди многочисленных импортных изделий, найденных на территории древней Иберии, выделяется очень интересная группа бронзовых сосудов разных форм и назначений (кувшины, палеры, виночерпальный ковш, чернильница)... Особое внимание привлекают два бронзовых кувшина... Сосуды отлиты, а затем окончательно обработаны на станке, о чем свидетельствуют рельефные концентрические кружки разной толщины с наружной стороны на круглом доннышке обоих сосудов; посередине на дне есть маленькая дырочка — для прикрепления сосудов к станку. Подобное устройство дна, как известно, характерно для итальянских бронзовых сосудов»⁵¹ и «...изготовлены они, по всей ве-

⁴³ Тавадзе Ф. Н., Баркая В. Ф. Из истории обработки металлов давлением по археологическим материалам Грузии // СА. 1954. XX. С. 358 сл.

⁴⁴ Там же. С. 369 сл.

⁴⁵ Mutz A. Die Kunst des Metalldrehens bei den Römern. Basel — Stuttgart, 1972. S. 150—152. Bild 429—436.

⁴⁶ Тавадзе, Баркая. Ук. соч. С. 371 сл.

⁴⁷ Там же. С. 374.

⁴⁸ Там же.

⁴⁹ Там же. С. 377 сл.

⁵⁰ Марченко И. Д. Материалы по металлообработке и металлургии Пантикапея // МИА. 1957. № 56. С. 170.

⁵¹ Лорджипанидзе О. Д. Итальянские бронзовые изделия, найденные на территории древней Грузии // СА. 1964. № 1. С. 199 сл.

роятности... не позднее первой четверти I в.»⁵². Сосуды были найдены у с. Ничбиси..

Еще об одном литом кувшине (из с. Бори, вторая половина I в. н. э.) говорится: «...к нему припаяна изготовленная отдельно высокая и ступенчатая круглая ножка. Дно ножки с наружной стороны украшено рельефными концентрическими кругами и имеет посередине маленькую дырочку»⁵³. Лордкипанидзе упоминает и о других обработанных изделиях, например о найденном у с. Бори кувшине I в. н. э. с рельефными концентрическими кругами разной толщины на опорном торце и на венчике⁵⁴. У ковша из Бори первой половины I в. н. э. имеются круги на дне и под ободком⁵⁵. Если патера из Мцхета в виде неглубокой чаши⁵⁶ была отлита вместе с ручкой (патеры этого типа изготавливались с I в. до середины II в. н. э.), то патера из Бори, по словам исследователя, «представляет собой глубокую чашу с отогнутым наружу краем, на массивном кольцевом поддоне, внутри украшенном концентрическими рельефными кругами»⁵⁷. К ней припаявалась каннелированная трубчатая ручка. Этот тип патер был распространен в I—II вв. н. э. Лордкипанидзе является убежденным сторонником существования металлорежущего токарного станка римской эпохи, хотя и не касается вопроса его конструкции.

«В литературе, посвященной обработке металлов в античную эпоху, — пишет В. И. Кадеев, — довольно часто говорится о применении токарного станка в процессе обработки предметов из цветных металлов. В подтверждение обычно приводятся редкие врезные концентрические окружности на бронзовых зеркалах, колокольчиках и некоторых других предметах... В действительности, врезные линии орнамента на зеркалах оказались нанесенными при помощи циркуля на модели, а в дальнейшем воспроизведены в отливке. На это указывают центровые углубления, куда помещалась ножка циркуля, и чрезвычайно тонкие линии орнамента, полученные острием другой ножки циркуля на восковой поверхности модели, а затем и в отливке... В тех случаях, когда центровые отверстия на зеркалах отсутствуют, линии орнамента наносились, вероятно, не циркулем, а острием при вращении модели, с последующим воспроизведением в отливке. Здесь возможно применение токарного станка, но отнюдь не металлорежущего, так как на станке обрабатывалась модель, а не изделие. Очевидно, подобным способом наносились концентрические окружности на колокольчики и другие предметы, которые принято относить к изделиям, обработанным на металлорежущем токарном станке. Итак, на наш взгляд, утверждение о применении при обработке металлов в VI—IV вв. до н. э. токарного станка не имеет достаточных оснований»⁵⁸. С этим выводом нельзя не согласиться. Добавим, что способ использования циркуля удержался и в римскую эпоху. Так, циркулем были врезаны концентрические окружности на шаровой модели, по которой был отлит сосуд с четырьмя центровыми углублениями, расположенными крестообразно в диаметральной плоскости шара⁵⁹.

⁵² Там же. С. 205.

⁵³ Там же. С. 206 сл. Рис. 4, 5.

⁵⁴ Там же. С. 205 сл. Рис. 3, 1.

⁵⁵ Там же. С. 218 сл. Рис. 2, 3.

⁵⁶ Там же. С. 213. Рис. 9.

⁵⁷ Там же. Рис. 10.

⁵⁸ Кадеев В. И. О времени появления токарного металлорежущего станка в Херсонесе // Античная история и культура Средиземноморья и Причерноморья. Л., 1968. С. 149 сл.

⁵⁹ Mutz. Op. cit. S. 136. Bild 375—377.

Отметим, что отсутствие центрального углубления еще не свидетельствует против использования циркуля: оно могло быть заделано тем же воском после проведения циркулем врезных окружностей. В работе В. И. Кадева говорится: «Что касается токарных изделий римского времени, то и здесь следует проявить известную осторожность при определении предметов, которые на первый взгляд изготовлены на токарном станке. Очень часто к токарным изделиям относят предметы, на которых отсутствуют следы резца. Это способствовало распространению мнения о широком бытовании токарных металлических изделий в I—II вв. н. э. О токарной обработке цветных металлов в Риме сообщает Витрувий, и такая обработка, по-видимому, действительно существовала. На это указывают и некоторые археологические находки, в частности опубликованный Г. Мэрион кубок, обработанный по всей поверхности. Весьма вероятно и обработка на токарном станке серебряной чаши из Багинети II в. н. э. Следовательно, даже для первых веков нашей эры мы имеем редкие и притом не бесспорные свидетельства о токарной обработке металлов. Среди специально рассмотренных нами вещей римского провинциального и итальянского производства в коллекциях Эрмитажа и Одесского археологического музея обнаружить предметы, изготовленные на токарном станке, не удалось. Между тем эти патеры, ковши, кувшины и чернильницы считались изделиями токарной работы. Как правило, все перечисленные бронзовые сосуды, исключая чернильницу, имели „следы токарной обработки“ только на дне, но все донья оказались вставными. Донья изготавливались отдельно от сосудов, а потом припаивались... Следовательно, изучение всех этих предметов позволяет говорить не о широком применении токарного станка в процессе обработки металлов, а о широком использовании циркуля в процессе изготовления моделей, употреблявшихся при отливке бронзовых изделий»⁶⁰. И еще: «Первые достоверные данные об обработке изделий из цветных металлов на токарном станке относятся в Херсонесе к средневековью... Особенно ярко следы резца в виде частых врезных линий видны на торцовой поверхности крышки от цилиндрической гирьки. Хорошо видны следы резца на торцах и боковых стенках бронзовых разновесок, имеющих вид усеченного конуса... Обычно каждая разновеска-коробочка в верхней части у самого края имела кольцеобразную выточку, на которую надевалась крышка. Изготавливались эти разновески-коробочки литьем с последующей обточкой на токарном станке»⁶¹. Производство разновесок этого типа продолжалось с IX—X до XIV в.

Можно понять стремление серьезного исследователя решать вопрос существования металлорежущего станка римской эпохи на основе твердо установленного критерия, каковым он считает наличие подлинных следов резца. Этот критерий действительно бесспорный, но не следует упускать из виду, что ни в античности, ни в наши дни токарная обработка, в частности, из-за следов резца (значительной шероховатости поверхности) в целом ряде случаев не являлась и не является финишной: следы удаляются шлифованием, а при необходимости и дальнейшим полированием. Поэтому при диагностировании изделий, не имеющих следов резца, следует пользоваться целым комплексом признаков, к которым относятся и форма тела вращения с точностью ее воспроизведения, и особенностями способа установки заготовки на токарном устройстве с сообщением ей вращательного движения, и наличие донных концентрических канавок

⁶⁰ Кадев. Ук. соч. С. 150 сл.

⁶¹ Там же. С. 152 сл.

(мелких широких, глубоких угловых), а также проточек и рельефных кольцевых поясков на других поверхностях изделий, отлитых не по выплавляемым моделям, а преимущественно в кокильных формах.

В 47 музеях Западной Европы А. Мутцем было выявлено 378 изделий, изготовленных в римскую эпоху из цветных металлов и сплавов, 197 из которых были отобраны для публикации. Детальному изучению с помощью современной контрольно-измерительной и металлографической аппаратуры подверглась часть из них, выполненная в виде тел вращения: ковши (названные Мутцем «кастрюлями»), миски, черпаки, кубки, патеры, тарелки, блюда, чаши и тазы, т. е. изделия кухонной, столовой и бытовой посуды. При этом не приведено ни одного изделия с впаиваемым дном, хотя и даны отдельно выпуклое допышко⁶² и патера со вставленным и развальцованным массивным дном, с глубокими угловыми концентрическими канавками снизу⁶³. Исследует А. Мутц также кувшины, бутылки, светильники, плоские зеркала и миниатюрные винтовые тиски. Отбор изделий для каталога производился, по-видимому, с учетом сохранности изделий: достаточно указать, что подлинные кастрюли с коническим дном (судя по всему, сильно деформированные) сюда не попали. Не было уделено особого внимания и точно датированным изделиям, которых оказалось всего около 10%; отсутствуют предметы последних веков римской античности. Нельзя не выразить сожаления, что огромный труд, затраченный на исследование экспонатов музеев Швейцарии и еще семи государств, при подобном подходе был, на наш взгляд, в известной степени девальвирован, хотя в опубликованном виде он все же служит основой для выявления (но не датирования) токарного оборудования, на котором изделия были обработаны. Если произвести обсчет отобранного массива, то выяснится, что изделия из меди и ее сплавов с оловом или цинком (бронзы и латуни) составляют более 80%, из серебра — 15%. На снимках поверхности некоторых изделий ясно видны следы реза⁶⁴, а также следы его вибраций, показанные с семикратным увеличением⁶⁵, чем напрямую доказывается, что изделия подвергались токарной обработке. Что касается концентрических канавок на опорных торцах изделий, то, судя по проведенной Мутцем реконструкции кокильных форм, канавки в них отсутствовали⁶⁶, и, следовательно, они прорезались резцом непосредственно на отлитых изделиях. Чтобы устранить последние сомнения, можно было бы сослаться на форму поднутрения канавок, исключавшую извлечение отливки из кокиля⁶⁷. Заметим, что внешняя форма части изделий позволяет констатировать, что примерно в начале новой эры произошел переход от неразъемных (вытряхных) кокильных форм к разъемным, позволяющим отливать изделия более изысканных художественных конфигураций.

По современному справочнику Мутц определяет величину силы резания цветных металлов и сплавов (серебра, бронзы) и находит, что для серебра сила колеблется в пределах от 51 до 141 кг, для литой меди (данные для бронзы почему-то отсутствуют) — от 69 до 200 кг⁶⁸. Отсюда и заключение, что шпиндель станка должен был изготавливаться из металла. Однако, по словам древнегреческого математика Паппа Александрийского,

⁶² *Mutz*. Op. cit. S. 129. Bild 348.

⁶³ *Ibid.* S. 69. Bild 145.

⁶⁴ *Ibid.* S. 23. Bild 16.

⁶⁵ *Ibid.* S. 29. Bild 31.

⁶⁶ *Ibid.* S. 38. Bild 54—57.

⁶⁷ *Ibid.* S. 55. Bild. 99.

⁶⁸ *Ibid.* S. 36.

ось с колесом (по-видимому, водяной мельницы) и в III в. изготовлялась из дерева ⁶⁹.

Для скорости резания Мутцем принято значение 50 м/мин, не согласующееся с применявшимися римскими токарями резцами не из быстрорежущей, а из углеродистой стали, для которой скорость резания должна быть уменьшена по крайней мере в два-три раза. Поэтому и мощность, исчисляемая как произведение силы на скорость, оказалась равной для обработки указанных обоих металлов в пределах 0,42... 1,6 кВт и 0,7 2,7 кВт соответственно ⁷⁰, достигнув столь высоких расчетных величин. Отсюда гипотезы Мутца об использовании силы водяного потока или животных, о необходимости применения механизма для отъединения станка от источника движения и, наконец, о размещении мастерских не в городах, а в сельских местностях, по берегам рек ⁷¹ (о полноводном Тибре, на котором стоит Рим, Мутц не упоминает). Если водяной привод частично уже использовался римлянами для вращения мельничного жернова, то ни меха литейных горнов, ни кузнечный молот иного источника движения, чем рабы, еще не знали. А поскольку для токарного устройства требовался привод, несравненно менее мощный, не было никаких оснований, на наш взгляд, привязывать его к водяному колесу. Расчеты, основанные на завышенных исходных данных, и привели исследователя к несколько сомнительным выводам.

С помощью высокочувствительного профилометра с разрешающей способностью 0,001 мм Мутц установил, что степень шероховатости обработанной поверхности исследованного изделия ниже, чем у специально выточенного контрольного образца. Отсюда было сделано заключение, что поверхность после обработки резцом подвергалась полированию, произведенному с помощью абразивной пасты (лаппингование) при установке изделия в специальных центрах ⁷². По всей вероятности, полирование осуществлялось с помощью тонко измельченного корунда, причем непосредственно на устройстве. Измерение с помощью микрометра с разрешающей способностью 0,01 мм показало, что изделие диаметром 72,6 мм было обработано с отклонением в 0,05 мм (т. е. с относительно невысокой точностью h8 по ГОСТ 2Н31-2-76). Отклонение от округлости фиксировалось на круглограммах, снятых на Теллерронде, допускавшем отсчет с точностью 0,005 мм. Оно оказалось равным 0,085—0,090 мм ⁷³.

Как ни парадоксально, но результаты своих исследований Мутц использует не для выявления характерных особенностей металлорежущего токарного устройства римской эпохи, а для доказательства того, что оно якобы было построено по современной конструктивной схеме — со станиной, шпиндельной передней бабкой, суппортом и переустанавливаемой задней бабкой с выдвигной пинолью, что и было выполнено им на макете ⁷⁴. Получается, что конструктивная схема современного металлорежущего токарного станка сложилась до XIV—XV вв., т. е. до начала обработки черных металлов — низкоуглеродистого железа и стали, отличающихся по сравнению с цветными металлами и сплавами худшей обрабатываемостью и увеличенной силой резания, что кажется нам не совсем верным.

⁶⁹ Бек. Ук. соч. С. 35.

⁷⁰ Mutz. Op. cit. S. 36.

⁷¹ Ibid. S. 36—37.

⁷² Ibid. S. 31.

⁷³ Ibid. S. 32—33. Bild 42—44.

⁷⁴ Ibid. S. 39. Bild 58—61.

Хотя, по предположению Мутца, вращение шпинделя производилось от водяного колеса или силой животных, на макете была воспроизведена снабженная двумя рукоятками шкиворемнная передача вращения, оснащенная устройством для натяжения ремня. Показ подобной передачи даже в чисто демонстрационных целях нежелателен, поскольку и у слушателей, и у читателей может создаться впечатление о возможности ее применения в римскую эпоху (попылась, как было показано, в XVI в.). Если бы такая передача с отношением 5 : 1 и была применена на станке, то она в том же соотношении повышала бы (по сравнению с силой резания) усилие на рукоятках ведущего шкива. Поэтому при обработке даже небольшого изделия с диаметром, не превышавшим диаметр ведомого шкива (равный примерно 0,175 м), при принятой Мутцем силе резания 200 кг усилие на каждой рукоятке равнялось бы $\frac{200 \cdot 5}{2} = 500$ кг! Но не потянул бы ремень.

Мутц утверждает, что производилось не только обтачивание изделий, но и их растачивание. Однако если бы пиноль действительно существовала, то, будучи выдвинутой для поджима заготовки задним центром, она существенно стеснила бы для резца рабочее пространство глубокого изделия. Приходится констатировать, что необходимый предшествующий проектированию любого станка этап разработки технологических наладок, показывающих взаимное расположение обрабатываемого изделия, средств его крепления и режущего инструмента, Мутц опустил, видимо, не будучи сведущим в подобного рода профессиональных приемах. Отсюда и соответствующий уровень попытки реконструкции станка. Пример Мутца показывает, что без изучения истории возникновения и развития токарного дела реконструировать отдельно взятое токарное устройство той или иной эпохи, как правило, не представляется возможным.

4. Реконструкция обкатного устройства Иберии. Изобретение прижима

Наиболее ранним примером выполнения операции обкатывания следует считать изделия из Триалети (детали типа «втулка» — см. Приложение) — серебряную чашу и серебряный кубок (дет. 1.1. и 1.2), золотую чашу (горшочек) и золотой кубок (дет. 1.3 и 1.4). Заготовке, вырезанной из листового материала, требуемая форма придавалась путем выколотки, после чего обжатие, проглажка и шлифование производились на оправке, установленной на вращающемся станке (не вполне удачный термин Б. А. Куфтина, использованный также и авторами в применении к стационарному устройству), или, по их собственному выражению, на вращающемся шпинделе⁷⁶. Доказано, однако, что уже в эпоху Среднего царства в Египте (начало II тыс. до н. э.) операция обкатывания производилась с помощью давилника не на шпинделе станка, а на круге⁷⁶. Изобретение же шпинделя датируется XIV—XV вв.⁷⁷

Хотелось бы подчеркнуть, что иберийские ремесленники при креплении на обкатной оправке предварительно выбитого сосуда не пользовались примитивным египетским приспособлением — кованым гвоздем, поскольку пробитое им отверстие пришлось бы потом заглушать тем или иным

⁷⁶ Тавадзе, Баркал. Ук. соч. С. 358 сл.

⁷⁶ Каплан. Ук. соч. С. 112.

⁷⁷ Там же. С. 110. Рис. 1.

способом ⁷⁸. Очевидно, в Иберии было изобретено альтернативное приспособление — прижим с центровым углублением, на которое могли надавливать острием, не препятствующим вращению. Как установили Ф. Н. Тавадзе и В. Ф. Баркая, упомянутый выше золотой кубок с двойными стенками был обкатан с помощью сменных прижимов ⁷⁹ (изобретательный мастер заделал в наружную стенку кубка драгоценные камни). Техническая идея прижима пережила века, в той или иной форме продолжая применяться и в наше время.

Поскольку нажим требовался сильный (чтобы не допустить проворота заготовки) и длительный (до завершения обкатывания), трудно представить, что он мог осуществляться мускульной силой помощника. Скорее можно предположить, что для этой цели было изобретено *обкатное устройство*, в котором кроме гончарного круга было использовано коромысло шадуфа (журавля), но с преобразованием рычага первого рода во второй — с осью на одном конце, острием (центром) на оси вращения прижима и грузом на другом, свободном конце (рис. 3). Применение шадуфа в Новом царстве Египта (середина II тыс. до н. э.), синхронном с иберийским Триалети (правда, для несколько иной цели — уравнивания шлифовального камня при расчистке отлитых сосудов от окисной пленки) (рис. 4), уже исследовалось нами ⁸⁰.

5. Использование деревообрабатывающих токарных устройств греческой античности для металлообработки

Упомянутые Витрувием и Героном медные (бронзовые) цилиндры должны были подвергаться растачиванию, но, конечно, не вручную: так заставляет думать достигнутый ко II—I вв. до н. э. технический уровень обрабатывающих устройств.

Трудно представить, чтобы литой длинный тяжелый цилиндр (деталь типа «втулка») мог в консольном положении надежно крепиться к диску известного горизонтально-токарного круга. Или что вращался инструмент, а цилиндр, закрепленный на каретке, перемещался вместе с нею по направляющим, как это практиковалось начиная с XVI в. при рассверливании литых бронзовых пушек ⁸¹. Остается допустить, что цилиндр устанавливался на диске вертикально-токарного круга и растачивался примерно так же, как некогда пиксида ⁸². Скорее всего он прибывал к диску гвоздями, пропускавшимися сквозь просверленные в его фланце крепежные отверстия. Расточный нож должен был крепиться на оправке с поперечной рукояткой, на которую для осуществления подачи производился нажим вниз с одновременным удерживанием рукоятки от вращения. Вертикально-токарный круг оказался пригодным для точения цветного литья, поскольку вращение диска осуществлялось вручную без реверса, причем с любой желаемой скоростью; диск являлся маховиком, обеспечивавшим равномерность вращения; соотношение диаметров диска и обрабатываемой заготовки давало большой выигрыш в усилиях, необходимом для преодоления силы резания.

Обработка корпуса и пробки бронзового крана могла производиться на горизонтально-токарном круге, причем затруднение с креплением пре-

⁷⁸ Там же. С. 112.

⁷⁹ Тавадзе, Баркая. Ук. соч. С. 367. Рис. 20.

⁸⁰ Каплан. Ук. соч. С. 112 сл.

⁸¹ Бек. Ук. соч. С. 78.

⁸² Каплан. Ук. соч. С. 114. Рис. 2.

одолевалось, вероятно, технологическим приемом, основанным на принципе инверсии (обращения): острия отливались предположительно вместе с корпусом или пробкой, вбивались в деревянный диск устройства, а по окончании обработки срубались зубилом. Так же могли обрабатываться и бронзовые разновески, и крышки к ним, о которых упоминает В. И. Кадеев.

Можно считать установленным, что греческие деревообрабатывающие устройства — круги вертикально-токарный и горизонтально-токарный — были приспособлены римскими ремесленниками для вытачивания деталей из цветных металлов и сплавов. Как следует из описания Витрувия, для обработки же длинных деревянных деталей могло применяться греческое центровое токарное устройство: «Теперь я изложу, каким образом устраивают разного рода орудия, изобретенные для подъема воды. И первым делом скажу о барабане. Он поднимает воду не высоко, но легко вычерпывает большое ее количество. На токарном станке или по циркулю изготавливают ось, окованную по концам железом, ее вставляют в середину сколоченного из досок барабана и укрепляют на стойках, обитых железом под концами оси» (X.4.1)⁸³. (Здесь дано неполное описание водоподъемного устройства с трубой длиной от 4 до 6,5 м и выступающим с обоих ее концов валом с винтовой поверхностью и рукояткой, известного под названием «архимедов винт»).

Как видим, все три вида токарных устройств оказались непригодны для обработки металлических деталей типа «вал» (клапанов, поршней и др.): круги — в связи с отсутствием задней опоры, центровое токарное устройство — из-за невозможности использования для точения металла возвратно-вращательного движения. Возникла необходимость в создании металлорежущего оборудования нового типа.

16. Реконструкция токарно-центрального круга — основного обрабатывающего устройства римской античности;

Логично предположить, что, дополнив горизонтально-токарный круг деревянной стойкой с заостренным бронзовым винтом (отлитым по выплавляемой модели вместе с рукояткой) от центрального токарного устройства, в мастерских, изготавливавших водоподъемные и пожарные насосы, был изобретен *токарно-центральный круг*, сочетавший преимущества обоих типов токарных устройств (рис. 5). По-видимому, внедрение нового токарного устройства произошло не позднее I в. до н. э., на приведенном же рисунке оно изображено в более позднем, несколько усовершенствованном виде. Улучшение, как можно предположить, коснулось деревянной оси диска: сошлемся еще раз на Паппа, писавшего, что на закругленные концы деревянной оси набивались бронзовые втулки (точнее, цапфы), а в отверстия вкладывались медные прокладки⁸⁴. Токарно-центральный круг оказался пригодным и для вытачивания и обкатывания предметов посуды, имевшей широкое распространение, т. е. деталей различных типов и размеров. Наиболее простыми изделиями были литые детали типа «полусфера», отличавшиеся раскрытой формой, облегчавшей расшлифовывание кокильных форм и механическую обработку самих изделий. Отливки могли насаживаться на служившую поводком коническую оправку диска токарно-центрального круга, для чего литейщики, как правило, преду-

⁸³ Витрувий. Ук. соч. С. 198.

⁸⁴ Бек. Ук. соч. С. 35.

смаatrивали внутренний бурт, например, на бронзовой чаше с небольшими концентрическими окружностями с внутренней стороны дна (дет. 2.3). Поджим мог производиться за отсутствием центрального углубления через прижим на острие стоечного винта. Обработка производилась удерживаемым в руках тангенциальным стальным резцом, накладываемым на верхнюю часть литой поверхности, как это и по сей день практикуется в кустарном металлопроизводстве. Тем и объясняется тот феномен, что стенки, описываемые криволинейными образующими, при обтачивании не прорывались, хотя толщина их не превышала двух миллиметров. Результатом такого способа обработки явилась разностепенность изделий, поскольку толщина стенки в каждый данный момент непосредственно зависела от усилия нажима на резец, которое, естественно, не могло быть стабильным. Так, разностепенность упомянутой чаши достигала 0,3 мм. По-видимому, этот тип изделий предшествует более устойчивым чашам, снабженным подставкой (дет. 2.4), аналогичным по форме бронзовой чаше из Геркуланума (дет. 2.2). В последнем случае поджим производился через центровое гнездо, причем обрабатывалась и опорная часть. Так же осуществлялась обработка бронзовых чаш с прилитой ручкой I в. н. э., известных под названием патер (дет. 2.5). В I—II вв. н. э. появляется новый тип бронзовых патер — с припаянной, отлитой по выплавляемой модели бронзовой ручкой. Нидерландская патера (дет. 2.8) сохраняет традиционную форму чаши с внутренним буртом, патеры же иберийские (дет. 2.6; 2.7) характерны буртом наружным, таким же, как и у серебряного блюда из Лувра (дет. 2.10). Подобные изделия могли впредссываться своим буртом в коническую выточку диска токарно-центрального круга и поджиматься стоечным винтом.

Внутренняя и наружная поверхности изделия раскрытой формы очищались от окисной пленки абразивом, вручную или, скорее, на гончарном круге с креплением глиной. Концентрические окружности на доньях изделий (внутри них), как правило, получались в литье (дет. 2.4 и др.), для чего эти окружности вытачивались на торце литейного стержня, подсушенного после формовки на гончарном круге. Но если вторичная обработка подсушенного глиняного сосуда, как указывает Э. В. Сайко, производившаяся на гончарном круге⁸⁵, выполнялась по сути дела с произвольными размерами, то токарная обработка литейного стержня преследовала цель получения его и по конфигурации, и по размерам, корреспондировавшимися с размерами кокильной формы — для достижения заданной толщины стенок и дна отливки. Это означает, что обработка стержня должна была вестись с насаживанием его на острия диска токарно-центрального круга с применением измерительных инструментов — кронциркуля и масштабной линейки.

Наряду с изделиями простых раскрытых форм — чашами, патерами, полусферическими блюдами — можно отметить и изготовление изделий форм более сложных, открытых и закрытых — деталей типа «втулка». К ним относятся литые изделия — бронзовые ковши второй половины I в. до н. э. и последующих веков (дет. 3.1, 3.3, 3.10), бронзовые кувшины (дет. 3.2, 3.4) и кувшин латуный (дет. 3.6), бронзовый колокольчик (дет. 3.9), серебряная чаша с воротником (дет. 3.12). Все эти изделия могли устанавливаться так же, как детали типа «полусфера», — на конической оправке диска токарно-центрального круга с поджимом стоечным винтом. Для этого на опорном торце изделий предусматривалось центровое

⁸⁵ Сайко. Ук. соч. С. 79.

гнездо, а на колокольчике (дет. 3.9) оно имелось на ушке. Судя по значительной разностенности, они также обтачивались с помощью тангенциального резца. Так, разностенность одного из изделий — ковша (дет. 3.3) колебалась в пределах от 0,3 до 1 мм.

Возникает вопрос, как при такой разностенности возможно было получение пусть невысокой (0,05 на диаметре 72, 6 мм), но все же точности, не согласующейся с принятым способом обработки. Здесь, однако, нет никакого противоречия. Дело в том, что указанная точность была измерена А. Мутцем на невысоком пояске, обточенном не тангенциальным, а чистовым лопаточным резцом, опиравшимся на подручник, т. е. при работе не с продольной, а с поперечной подачей. И если предположить, что для получения минимального биения оси диска токарно-центрального круга (см. рис. 5) обтачивание бронзовой цапфы производилось после насаживания ее на ось, что надетый на ось диск был сбалансирован обтачиванием и зазор между цапфой и вложенной в отверстие опоры медной прокладкой был невелик, то при соблюдении этих условий можно было свести к минимуму явление рысканья оси вращения системы в пространстве, поскольку массивный диск постоянно прижимал бы цапфу к нижней части обоймы. В целом на поставленный вопрос о достижимой точности токарно-центрального круга следует ответить положительно.

Многие изделия украшались канавками, прорезавшимися канавочным резцом с опорой его на продольный подручник. Между канавками одного из кувшинов (дет. 2.2) была нанесена гравировка. Для протачивания концентрических канавок в опорных торцах изделий к стойке токарно-центрального круга прибавался небольшой поперечный подручник. К такому выводу приводит анализ конфигурации торцовой поверхности изделий, причем становится очевидным, что последняя сначала протачивалась по сфере проходным резцом, а затем канавочными резцами в ней прорезались и расширялись канавки (рис. 6).

На некоторых изделиях, например на ковше (дет. 3.10), центровые углубления находятся как на опорном торце, так и на дне. Это означает, что ковш сначала устанавливался на конической оправке с поджимом в центровое углубление стоечным винтом и обтачивался тангенциальным резцом. Для прорезания же внутренней канавки у бурта изделие устанавливалось в конической выточке диска и прижималось стоечным винтом во внутреннее центровое углубление. Опорой резца служил поперечный подручник.

В некоторых случаях производилось растачивание изделия, когда его наружная поверхность украшалась выгуклыми изображениями, как это имело место, например, у литого серебрового кубка (дет. 3.7). Последний мог устанавливаться в глубокой конической выточке диска и обрабатываться резцом также с использованием поперечного подручника.

Говоря об обкатывании изделий, необходимо указать, что, как показала практика выполнения этой операции, для нее применимо любое токарное устройство (в специально обкатных стенках необходимости не было и нет). Таким устройством и явился токарно-центральный круг, приспособленный для обкатывания не позднее начала новой эры. Детали типа «полусфера» — чаши (дет. 2.1, 2.9) I и II вв. до н. э. обкатывались по выточке на диске круга деревянной обкатной оправке с поджимом литой заготовки (через прижим) острием стоечного винта. Для обкатывания деталей типа «втулка», например узкогорлого сосуда I в. н. э. (дет. 3.5), также сначала производилось вытачивание деревянной оправки, затем устанавливалась тонколистовая дисковая заготовка, поджимаемая (че-

рез прижим) стоечным винтом (рис. 7). По окончании обкатывания оправка выжигалась. Оба вида заготовок используются и далее, во II и последующих веках н. э., если судить по изделиям как из листового материала — по медному горшку (дет. 3.11) и латунному тазу (дет. 3.14), так и из литой заготовки — по серебряному кубку (дет. 3.8) и латунной чаше (дет. 3.13).

Интересен пример использования токарно-центрального круга во II в. н. э. — сначала для вытачивания деревянной ножки (деталь типа «вал»), затем, после выполнения на ней художественной резьбы, для обкатывания ее листовым серебром (дет. 4.1). По существу это было повторением способа, осуществленного в I в. н. э. при обкатывании цхинвальского сосуда (дет. 3.5), но без выжигания оправки. Пример позволяет предположить, что изготовление деревянных деталей типа «вал», например осей повозок, мебельных ножек и т. д., было переведено в Риме на токарно-центральный круг, обеспечивающий двукратное сокращение машинного времени при переходе от использования возвратно-вращательного движения к чисто вращательному, исключавшему холостые хода. Поводком деревянной заготовки могли служить острия, забитые в центральной части диска.

7. Реконструкция токарно-лобового круга

Создание на базе токарно-центрального круга еще одного устройства — токарно-лобового круга — диктовалось необходимостью обработки более или менее плоских тонкостенных изделий большого диаметра (от 0,436 до 0,610 м) — серебряных тарелок и блюд II в. н. э. (т. е. деталей типа «диск»). Судя по следам обработки, обтачивание изделий производилось с тыльной стороны, вытачивание же опорной подставки, а иногда и протачивание кольцевых канавок и полирование — с видовой стороны.

Круглые изделия могли впрессовываться в коническую выточку диска и поджиматься острием стоечного винта либо в центровое углубление (как это делалось при установке некоторых деталей типа «полусфера» и «втулка») — в тарелке (дет. 5.1), блюдах (дет. 5.4—5.6), либо через прижим — при установке восьмигранного блюда (дет. 5.7) в соответствующем вырезе диска. Токарно-лобовой круг должен был отличаться увеличенной длиной поперечного подручника (примерно до 0,4—0,5 м, считая от оси вращения диска — рис. 8).

Обкатывание изделий относительно небольшого диаметра, например, латунной тарелки (дет. 5.2) могло производиться на токарно-центровом круге.

Итак, исследованиями установлена возможность обработки изделий из разных материалов и различных типоразмеров на ряде реконструированных токарных устройств, чем подтверждается принципиальная обоснованность разработанной методики выполнения этой работы. Выяснено, что греческая античность располагала тремя моделями токарных устройств по дереву, двумя — по камню и одной (шлифовальной) — по драгоценным камням; римская античность — двумя моделями для токарной обработки и обкатывания цветных металлов и сплавов. Если к этому «типажу» античных обрабатывающих устройств присоединить и иберийское обкатное устройство, то общее число реконструированных моделей достигнет девяти. Нам представляется, что таким образом удалось выявить подлинное значение токарного дела в качестве одного из важных компонентов технической культуры античности. Для этого достаточно перечислить все то, что изготовлялось на токарных устройствах: в Греции —

блоки полиспастов для подъема — опускания парусной реи (продолжавшие вытачиваться во всем мире из дерева до XIX в.), барабаны колонн храмов и Лабиринтов (Самосского храма Геря, Парфенона и др., Лабиринтов на Самосе и Лемносе), оси винтовых водоподъемников; в Риме — каменные кокильные формы, песчано-глинистые литейные стержни, бронзовые поршневые насосы для водяных органов, водоподъемные и пожарные насосы, краны гидравлических часов, деревянные оси двуколок, оси водяных мельниц; наконец, ответственные детали самих токарных устройств, имевших широкое распространение (оси, диски).

Теперь уже нельзя утверждать, как это делалось ранее, что токарные устройства применялись в античности только при изготовлении предметов потребления, например мебели, посуды: они использовались и в производстве средств производства. Последнее разумеется в той мере, в какой это ограничивалось техническими возможностями античной эпохи.

Г. М. Каплан

L'INVENTION DES TOURS ANTIQUES POUR LE TRAVAIL
DE LA PIERRE, DES MÉTAUX NON-FERREUX ET
DES ALLIAGES

G. M. Kaplan

L'article a pour objet la reconstruction des tours antiques au moyen de l'étude des données archéologiques et d'une espèce d'interprétation technologique des sources écrites compte tenu de nos connaissances actuelles: de la théorie du découpage, de la science des instruments, de la science des métaux, de la technique de fonderie, des appareils de mesure, de la théorie des machines - outils. La méthode utilisée consiste à déterminer la destination de tel ou tel élément et à classer les artefacts datés (du genre «moyeu», «arbre», «disque», «semi-sphère») à l'aide d'un catalogue des pièces utilisées dans les constructions mécaniques. Sont reconstruits pour l'antiquité grecque deux mécanismes à tour pour le travail de la pierre et un troisième, un tour de table pour égriser, destiné à la fabrication de gemmes. Est également établie l'utilisation de deux des trois mécanismes destinés au travail du bois dans l'antiquité grecque pour le façonnage de métaux à l'époque romaine. Sont également reconstruits deux mécanismes à tours pour le découpage des métaux datant de l'antiquité romaine. Autre fait établi dans l'article: les tours étaient utilisés dans l'antiquité non seulement pour fabriquer des objets de consommation, mais aussi pour produire des moyens de production, y compris les mécanismes à tours eux-mêmes.

Датированные типовые детали
 Принятые сокращения: Т. — Б. — Тавадзе и Баркая, М. — Муцц, Л. — Лордкипанидзе. Линейные размеры в долях метра, в соответствии с Международной системой единиц СИ (см., например, Политехнический словарь. М., 1977. С. 595)

№ п.п.	Наименование детали	Диаметр на длину, м	Датировка	Место происхождения или хранения	Литература	Способ изготовления и материал
1	2	3	4	5	6	7

Изделия из иберийских курганов Триалети

1.	Детали типа «втулка»					
1.1	Чаша гладкая	$\varnothing 0,070 \times 0,025$	XV в. до н. э.	Гос. музей Грузии им. О. Н. Джанашия	Т. — Б. С. 358. Рис. 1	Обкатывание емкости, выбитой из серебряного листа
1.2	Кубок с ритуальными сценами	$\varnothing 0,093 \times 0,108$	»	»	Т. — Б. С. 359. Рис. 2	»
1.3	Чаша (горшочек)	—	»	»	Т. — Б. С. 360. Рис. 4	Обкатывание емкости, выбитой из золотого листа
1.4	Кубок с двойными стенками и выпаянным дном	$\varnothing 0,080 \times 0,075$	»	»	Т. — Б. С. 362. Рис. 9	»

Изделия римской античности

2.	Детали типа «полусфера»					
2.1	Чаша	$\varnothing 215$	I в. н. э.	Цхинвали (ГрузССР)	Т. — Б. С. 369. Рис. 21	Обкатывание из литой серебряной заготовки
2.2	Чаша	$\varnothing 0,350 \times 0,120$	»	Museo. Depot Herculaneum (Геркуланум, Италия)	M. S. 104. Bild 270—271	Бронзовое литье, снятие стружки
2.3	Чаша	$\varnothing 0,260 \times 0,075$	Не позднее I в. н. э.	Badische Landesmuseum (Карлсруэ, ФРГ)	M. S. 105. Bild 269	»

1	2	3	4
2.4	Чаша	$\varnothing 0,392 \times 0,130$	»
2.5	Патера с приплатой ручкой	$\varnothing 0,153 \times 0,042$	I в. н. э.
2.6	Патера с припаянной ручкой	$\varnothing 0,190 \times 0,040$	Сер. I в. н. э. — нач. II в. н. э.
2.7	»	—	II в. н. э.
2.8	»	$\varnothing 0,196 \times 0,036$	»
2.9	Чаша с овальными углублениями	$\varnothing 0,180 \times 0,095$	»
2.10	Блюдо с выпуклыми изображениями	$\varnothing 0,350 \times 0,030$	»
3.	Детали типа «штулка»		
3.1	Ковш	$\varnothing 0,142 \times 0,094$	2-я пол. I в. до н. э.
3.2	Кувшин с гравировкой	—	1-я четв. I в. н. э.
3.3	Ковш	$\varnothing 0,243 \times 0,160$	I в. н. э.
3.4	Кувшин с удлиненным горлом, клювообразным сливом и высокой ручкой	—	»
3.5	Узкогорлый сосуд	$\varnothing 0,110 \times 0,230$	»
3.6	Большой кувшин с венчиком	$\varnothing 0,230 \times 0,346$	I — II вв. н. э.
3.7	Кубок с выпуклыми изображениями	$\varnothing 0,104 \times 0,071$	II в. н. э.

П Р И Л О Ж Е Н И Е (продолжение)

5	6	7
Museumverein für das Fürstentum, Lüneburg (Люнебург, ФРГ)	M. S. 90 f. Bild 218—221	»
Museo, Depot Pompeii (Помпеи, Италия)	M. S. 74 f. Bild 168—170	»
Из Мцхета (ГрузССР)	Л. С. 216. Рис. 12	»
Клдеети (ГрузССР)	Л. С. 215. Рис. 11	»
Rijksmuseum G. M. Kam (Ниймеген, Нидерланды)	M. S. 66 f. Bild 133—136	»
Багинети (ГрузССР)	Т. — Б. С. 371. Рис. 23	Обкатывание из литой серебряной заготовки, снятие стружки
Louvre (Париж, Франция)	M. S. 78. Bild 181—183	Серебряное литье, снятие стружки
Antikensammlung (Вена, Австрия)	M. S. 72 f. Bild 154—157	Бронзовое литье, снятие стружки
Ничбиси (ГрузССР)	Л. С. 201. Рис. 1	»
Antikensammlung	M. S. 56 f. Bild 100—103	»
С. Бори (ГрузССР)	Л. С. 208. Рис. 5	»
Цхинвали (ГрузССР)	Т. — Б. С. 369. Рис. 22.	Обкатывание серебряного листа
Sammlung Nassauischer Altertümer (Висбаден, ФРГ)	M. S. 122. Bild 326—328	Латунное (?) литье, снятие стружки
Antikensammlung	M. S. 116 f. Bild 306—308	Серебряное литье, снятие стружки

1	2	3	4
3.8	Тонкостенный кубок	$\emptyset 0,090 \times 0,068$	»
3.9	Колокольчик	$\emptyset 0,104 \times 0,205$	»
3.10	Ковш	$\emptyset 0,100 \times 0,058$	»
3.11	Горшок	$\emptyset 0,155 \times 0,170$	II — III вв. н. э.
3.12	Чаша с воротником	$\emptyset 0,230 \times 0,095$	II — III вв. н. э.
3.13	Чаша с двойной стенкой и воротником	$\emptyset 0,200 \times 0,088$	»
3.14	Таз	$\emptyset 0,360 \times 0,115$	»
4.	Детали типа «вал»		
4.1	Ножка погребального ложа	$\emptyset 0,144 \times 0,350$	II в. н. э.
5.	Детали типа «диск»		
5.1	Тарелка с рельефом	$\emptyset 0,104 \times 0,008$	»
5.2	Тарелка с гравированным орнаментом	$\emptyset 0,234 \times 0,037$	»
5.3	Блюдо	$\emptyset 0,470 \times 0,029$	III в. н. э.
5.4	Большое блюдо	$\emptyset 0,610 \times 0,020$	»
5.5	Большое плоское блюдо	$\emptyset 0,436 \times 0,012$	»
5.6	Блюдо «города Меер»	$\emptyset 0,568 \times 0,042$	III — IV вв. н. э.
5.7	Восьмигранное «блюдо Ахиллеа»	$\emptyset 0,490/530 \times 0,039$	»

П Р И Л О Ж Е Н И Е (о к о н ч а н и е)

5	6	7
Römermuseum (Аугст, Швейцария)	M. S. 120 f. Bild 321, 322	Обкатывание литой серебряной заготовки, снятие стружки
Vorarlbergische Landesmuseum (Брегенц, Австрия)	M. S. 153 f. Bild 454—457	Бронзовое литье, снятие стружки
Ferdinandeam (Инсбрук, Австрия)	M. S. 70 f. Bild 150—153	»
Museum Carnuntinum (Бад Дейч-Альтенбург, Австрия)	M. S. 147 Bild 417	Обкатывание медного листа, снятие стружки
Louvre	M. S. 108 f. Bild 278—282	Серебряное литье, снятие стружки
Schweizerisches Landesmuseum (Цюрих, Швейцария)	M. S. 169 f. Bild 493—497	Обкатывание из литой латунной заготовки, снятие стружки
Rijksmuseum G. M. Kam	M. S. 148 f. Bild 426—428	Обкатывание из листовой латуни
Армазисхеви (ГрузССР)	Т. — Б. С. 375. Рис. 30	Обкатывание серебряного листа с предварительным обтачиванием дерева
Antikensammlung	M. S. 86 f. Bild 202—204	Серебряное литье, снятие стружки
Schweizerisches Landesmuseum	M. S. 86 f. Bild 205—207	Обкатывание латунного листа
Römermuseum	M. S. 88 f. Bild 216, 217	Серебряное литье, снятие стружки
»	M. S. 88 f. Bild 210—211	»
Louvre	M. S. 80 f. Bild 184—186	»
Römermuseum	M. S. 88 f. Bild 212, 213	»
»	M. S. 88 f. Bild 214, 215	»