

Статья / Article

Хайдаков К.С., Суханов Д.А. Химический состав клинков как атрибуционный признак булатных сталей Индо-Персидского региона XVI-XIX веков // Историческое оружиеведение. — 2024. — № 13. — С. 161 — 266.

Khaidakov K.S., Sukhanov D.A. (2024). Himicheskij sostav klinkov kak atribucionnyj priznak bulatnyh stalej Indo-Persidskogo regiona XVI-XIX vekov [Chemical composition of blades as an attributing feature for bulat steels of the Indo-Persian region of the 17th-19th centuries]. *Istoricheskoe oruzhievedenie* [Weapons History Journal], № 13, pp. 161 — 266.

Received: 04 November 2023 / Accepted: 20 November 2023 / Published: 15 February 2024

Copyright © 2024 Authors, The Center of Support and Development of Actual Research in the Field of Historical Weaponry (АНО «Центр поддержки и развития актуальных исследований в области Исторического оружиеведения»). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons CC-BY license ([CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ИСТОРИЧЕСКОЕ ОРУЖИЕВЕДЕНИЕ

№13, 2024

Издание зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций
Свидетельство о регистрации СМИ Эл № ФС77-63760 от 16.11.2015 г.
ISSN: 2713-1491
eLIBRARY ID: 57987
Издатель: АНО «Центр поддержки и развития актуальных исследований в области исторического оружиеведения»
Свидетельство Министерства юстиции Российской Федерации от 22.07.2015 г.
Учетный № 7714056109

Copyright © 2024 авторы, АНО «Центр поддержки и развития актуальных исследований в области исторического оружиеведения».

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Хайдаков К.С., Суханов Д.А.

**Химический состав клинков как атрибуционный признак
булатных сталей Индо-Персидского региона XVI-XIX веков**

Chemical composition of blades as an attributing feature for
bulat steels of the Indo-Persian region of the 17th-19th centuries

Хайдаков Камил Саидович — независимый исследователь в области восточного исторического оружия (Москва, Россия).

Kamil S. Khaidakov — private researcher in the field of oriental historical weapons (Moscow, Russia).

x-k-c@Yandex.ru

Суханов Дмитрий Александрович — кандидат технических наук, директор АСК-МСЦ (металлургия), (Москва, Россия).

Dr. Dmitry A. Sukhanov — the Director of the ASK-MSC Company (metallurgy), (Moscow, Russia).

suhanov7@mail.ru

Аннотация: Статья посвящена одному из важнейших вопросов оружиеведения — историческим булатным клинкам Индо-Персидского региона. На основании анализа и изучения выявленных источников авторы пришли к заключению, что комплексные исследования исторических булатных сталей за последние сто лет имели эпизодический характер из-за недостаточного количества булатных образцов, предоставленных для проведения экспериментов по выявлению закономерностей между составом, структурой и свойствами сталей. Атрибуция булатных клинков в коллекциях К. С. Хайдакова и Д. А. Суханова вызывала особый интерес для исследования с целью выявления их химического состава и возможности их более точной идентификации с использованием полученных данных. Совмещая известные ранее типологические и атрибуционные признаки восточных булатных клинков с изменениями шихты и флюсов тигельной плавки, в исторический

период XVI-XIX вв., была выявлена закономерность в наличии или отсутствии определенного количества постоянных примесей в узорчатых сталях, которые встречаются только в Индо-Персидском регионе до начала XIX века. Отмечено, что по химическому составу не все тигельные стали, имеющие узор на поверхности клинка, при сравнении с лучшими образцами восточного оружия можно считать булатными. Подробно описан и подтвержден на конкретных примерах химический признак атрибуции булатных клинков по количественному содержанию постоянных примесей. Опубликованы новые данные по химическому составу 20 единиц коллекционного булатного оружия XVII-XIX вв., в том числе шамширов с клеймами мастера Асада (Асадуллы) Исфахане. В исследовании представлены различные типы узоров булатных изделий из частных коллекций К. С. Хайдакова и Д. А. Суханова с соответствующим химическим составом. Авторы пришли к выводу, что по химическому составу, макро- и микроструктуре булатные тигельные стали Индо-Персидского региона необходимо выделить в отдельную группу исторических клинковых сталей, изготовленных до периода исчезновения местных технологий и европейского влияния на металлургическое производство Индо-Персидского региона.

Ключевые слова: Индо-Персидская булатная сталь, тигельная плавка, химический состав, шамшир.

Abstract: The article is devoted to historical bulat blades of the Indo-Persian region. Based on a range of sources, the article reveals that comprehensive studies on historical bulat steels have been sporadic over the last hundred years due to an insufficient number of bulat samples suitable for experiments to determine patterns between steel composition, structure and properties. Attention is drawn to the fact that attribution of certain bulat blades from the collection of K.S. Khaidakov and D.A. Sukhanov raised doubts about their production time and their region of origin.

Standard typological attributive features of oriental bulat blades were combined with changes occurred in the Modern Period (the 16th – 19th centuries) with charge and fluxes of crucible process. As a result, a trend was revealed in the presence/absence of a certain number of permanent impurities in patterned steels,

which are found only in the Indo-Persian region before the beginning of the 19th century.

The research result marks out that not all crucible steels which have a distinctive pattern on the blade surface can be considered as bulat by chemical composition. The article describes in detail and confirms on specific examples the chemical sign of attribution by the quantitative content of permanent impurities.

The article presents new data concerning chemical composition of 20 collectible bulat blades of the 17th-19th centuries, including shamshirs by Asad (Asadullah) of Isfahan. It also outlines various types of patterns from the private collections of K.S. Khaidakov and D.A. Sukhanov with the indication of their corresponding chemical composition.

The authors conclude that in terms of chemical composition, macro- and microstructure, Indo-Persian bulat crucible steels form a separate group of historical blade steels, which were produced before the changes in traditional metallurgical production of the Indo-Persian region under the influence of new European technologies.

Keywords: Indo-Persian bulat steel, crucible process, chemical composition, shamshir.

Когда и где появился булат, нам в точности неизвестно, но традиционно родиной тигельных узорчатых сталей считаются Индия и Персия. В разные периоды времени вследствие войн, миграции ремесленников, истощения запасов руды и топлива, потери технологий сырьевые и оружейные производственные центры возникали и исчезали в разных регионах.

Изучаемый нами период определен XVII-XIX веками, потому что в то время из булатной стали изготавливали большое количество оружия и бытовых изделий и есть достаточное количество сохранившихся образцов для проведения исследований. Булатное оружие производили в Индостане, Синде, Персии, Османской Порте, Средней Азии. В этих регионах в течение сотен лет изготавливали оружие как из местной железной руды, так и из привозного

сырья. Существовало большое количество местных названий и терминов, определяющих разновидности оружия, сталей и узоров на поверхности мечей и сабель. Какие термины использовали наши предшественники для определения того или иного сорта булата или узора на клинке, и как те узоры выглядели в действительности, мы можем только предполагать. Узоры на поверхности клинков были известны из записей Аль-Бируни (X век), где при прочтении текста понятно, что сам автор лично изготовление мечей не видел и описывает их со слов других путешественников и исследователей (Бируни 1963). Историю мифологизации восточных клинков мы рассматривать не будем, но отметим, что для своего времени это было неплохое и востребованное оружие.

Названия, вид и классификации булатных (тигельных) и дамасских (сварных) сталей известны из воспоминаний путешественников XIX века (Бутенев 1842; Масальский 1841), фундаментальных научно-исследовательских работ XIX-XX вв. (Breant 1824; Аносов 1841; Беляев 1906; Ленц 1908; Belaiew 1918; Zschokke 1924; Гаев 1956; Panseri 1965; Böhne 1969; Тавадзе и др. 1984а; Амаглобели 1984; Sherby 1985; Peterson 1990; Басов 1991; Гуревич, Герасимов 1996; Verhoeven и др. 1998; Feuerbach 2000) и современных исследовательских работ по узорчатому оружию Древнего Востока (Гуревич 2007; Архангельский 2007; Barnett и др. 2009; Хайдаков 2013). В данной работе будем рассматривать только булатные клинки, полученные тигельным способом, хотя известно и о существовании комбинированных клинков, состоящих из отдельных булатных и сварных дамасских полос.

Следует отметить, что узоры на поверхности клинка - важный атрибуционный признак исторических булатов. Например, булатные клинки XVII века, как правило, имели волнистые и сетчатые узоры невысокой контрастности, а в XVIII веке входят в моду булатные клинки с более ярким и контрастным узором и с искусственно нанесенными коленами (ступенями) (Хайдаков 2016, 149). При этом популярные названия таких булатных узоров, как *табан*, *кара-табан*, *Хорасан*, *кара-Хорасан*, *шам*, *бель константинопольская*, *баяз истамбул*, *бедр* и др., используются в

современной научно-публицистической литературе и историко-искусствоведческих экспертизах без понимания их реального значения. Полностью игнорируется связь между химическим составом и структурой.

Следует заметить, что на данный момент исторических клинков, имеющих провенанс с указанием на тот или иной вид узора с вышеперечисленными названиями, нам пока неизвестно. Кроме названия *кирк-нардубан* (сорта узорчатой стали, распространенного в XVIII веке, относящегося к высшим сортам булата) — термина, используемого для классификации узоров со ступенчатыми, зигзагообразными узорами и элементами, похожими на цветок (роза), которые наносились при ковке кузнецом для демонстрации своего мастерства. Отличие сортов булата *табан*, *хорасан* и *кара-табан* и *кара-хорасан*, вероятно, не в отличии узора на клинке, а в оттенке полосы клинка за счет структуры булата на темный-светлый отблеск. Узор, известный под названием *шам*, вошел в оружейведческую классификацию как булат с прерывисто-полосатым узором, хотя нам достоверно неизвестно, как выглядел настоящий булат или узор типа *шам*. Мы не будем вдаваться в происхождение и этимологию слов и их значение в разное время, но для понимания нашей темы коснемся появления термина «булат» в России.

Первое упоминание о булате появилось в записях Афанасия Никитина «Хождение за три моря» 1466-1472 гг. В дневнике описаны конные и пешие воины хорасанцы со щитами и мечами, «с луками великими с прямыми да стрелами», и только доспехи боевых слонов купец описывает как булатные. Можно предположить, что он услышал местный (гиндусканский) термин, указывающий на материал и работу местных мастеров, изготовивших защиту для индийских слонов.

Другое из ранних упоминаний о булатном клинке мы встречаем в духовной грамоте Ивана и Федора Борисовичей Высоцких, где в числе прочей «рухляди» упоминается «одна сабля булатная гирейская» в 1504-1505 гг.

В сочинении Джильса Флетчера, посланника английской королевы при дворе царя Федора Ивановича в 1588-1589 гг., также упоминается булат, вот что автор пишет про татар: «деньгам предпочитали медь и сталь, особенно

сталь булатную, из которой делают сабли, ножи и другие нужные вещи» (Флетчер 2002, 108). Далее, в статейном списке князя Звенигородского приведены слова Шаха Аббаса (1601 г.): «булат хороший красной выходит в наше государство из Индийского государства» (Железнов 1906, 40).

Из описей Оружейной палаты нам известно, что купцы подносили подарки в виде булатного оружия (Опись... 1885):

№ 6085 — полоса персидская XVII века. Царю Алексею Михайловичу поднесена купцом Шаховым февраля 12 дня 1664 года: «По обуху с каждой стороны сделаны желобки, где катались жемчужинки... с обеих сторон нанесены золотом травы, между которыми с правой стороны мишень с надписью: “Изделие Раджаб-Али Испаганскаго... полоса булат красный кызылбашский...”».

№ 6086-6090 — восемь полос булатных персидских XVII века, поднесенных Алексею Михайловичу, работы сабельного хозяина Раджаб-Али Испаганскаго. В книге «приходные и расходные всяких товаров за 183 год» значится: «...челом ударил Кызылбашский посол Магомед Усеинбек и восемь полос сабельных булатных с наводом золотым, по четыре рубля полоса».

№ 6114 — полоса персидская XVII века. Царевичу Фёдорову Алексеевичу поднесена персидским купцом Магомет-Шамси Магометовым 3 февраля 1675 года. «Булатная. Работы знаменитого сабельного хозяина Раджаб-Али, как видно по клейму, насеченному на пяте, между золотых травок. На хвостовике выбиты два клейма с именем Раджаб-Али. Обух округленный; конец обоюдоострый, на полосе с обеих сторон выбраны два желоба, в которых катались жемчужины. Цена 10 рублей».

Булатные полосы описаны как персидские (кызылбашские, тевризские), турецкие (турские), черкасские и др. Есть указание как на территориальную принадлежность оружия, на его геометрию или на какой манер (дело) выполнена та или иная сабля или сабельная полоса, то есть похожа, например, на турецкую по типологическим признакам. Есть и точно идентифицированные клинки, преподнесённые в виде дорогих подарков послами других государств. При этом описание узоров и их названия мы не находим.

Исторически основными приемами идентификации индо-персидских булатных сталей являлись либо типологический принцип по видам оружия, либо географический принцип по месту производства. Следует учитывать еще тот факт, что до сих пор нет отдельно выделенной подгруппы, учитывающей весь арсенал изделий, отличительным признаком которых является булатная структура. В результате для исследователей и коллекционеров булатного оружия остаются неразработанными основные принципы и подходы к изучению данного материала. Попытки связать весь процесс воедино предпринимались неоднократно как учеными-металловедами и кузнецами-реставраторами, так и смотрителями музеев и археологами-практиками.

В историографии восточного оружиеведения произошло слияние терминологических понятий «индийская сталь» и «персидский (кызылбашский, тевризский) выков» булатного клинка в единый термин «Индо-Персидская сталь». Приготовление и обработка этой стали с незапамятных времен были известны только на Востоке и оставались недоступны европейской науке до середины XIX века.

Индийские и персидские кузнецы на интуитивном уровне поняли еще в давние времена то, до чего европейским кузнецам потребовались столетия. К сожалению, восточные кузнецы не обладали знаниями микроструктурного анализа и не умели химически разложить сталь на составные части. Им так и не удалось подробно описать структурообразование булата. Можно только догадываться о том, как им удавалось добиваться повторяемости результатов при средневековой ремесленной технологии изготовления булатных клинков вплоть до конца XIX века.

Только в 1784 году шведский химик Олаф Бергман сделал величайшее открытие, обнаружив присутствие углерода в сталях. С этого момента стало ясно, что железо, сталь и чугун различаются между собой только содержанием углерода, а все остальные химические элементы используются лишь как вторичные примеси для изменения структуры и свойств.

В 1823 году немецкий минералог Карл Карстен установил, что в сталях углерод находится в связанном состоянии в виде карбидов, а в чугунах — в свободном состоянии в виде графита. Так родилась новая парадигма

железоуглеродистых сплавов для понимания связи между химическим составом, структурой и свойствами.

Первая половина XIX века полна самых упорных попыток западной цивилизации решить задачу массового производства оружейной булатной стали как с узорами, так и без них. Что из себя представляли узоры на оружейных сталях Востока, никто не знал.

В это же время создается западная методология в области улучшения механических свойств с помощью получения однородной структуры. Свой доклад «О соединении железа с углеродом» Карстен прочитал в Королевско-Прусской Академии 17 апреля 1823 года (Karsten 1825). Как известно из его доклада, он ценил булатную сталь только за красоту узора и сомневался в высоком качестве неоднородной узорчатой стали. Он считал, что лучшая сталь может быть только с однородной структурой, то есть та, которая наименее способна принять узорчатую поверхность. Этот доклад на долгие годы определил методологическое направление всей западной металлургии в достижении оптимального комплекса механических свойств большинства сталей и чугунов.

Единственной проблемой, которую никак не могли решить европейцы в начале XIX столетия, оставался секрет легендарной булатной стали Востока. Европейцы безуспешно пытались в течение долгого времени открыть секрет восточного булата, но в конце концов были вынуждены закупать клинки из Персии. Издревле считалось, что наиболее совершенными были изделия из городов Дамаск, Тебриз, Исфахан и Герат.

В 20-х годах XIX столетия английский химик и физик-экспериментатор Майкл Фарадей провел серию опытов по воспроизводству узоров восточного булата путем сплавления железа с металлическими примесями. Опыты Фарадея произвели на металлургов и химиков того времени огромное впечатление, и на протяжении первой половины XIX века в большинстве сочинений о булатах встречаются ссылки именно на его опыты. Однако ему не удалось воспроизвести истинные булатные клинки, а только псевдобулатные узоры на легированных алюминием сталях. Заслуга Майкла Фарадея заключается в том, что он один из первых проделал и описал

множество плавок в поисках восточного рисунка булата, заложив основы процесса легирования сталей и чугунов.

Заслушав доклад об опытах Фарадея, французское Общество Поощрения Национальной Промышленности поручило специальной комиссии перепроверить его опыты. Исследования были предприняты в 1822 году добровольным членом комиссии Жаном Брианом, пробирным инспектором Парижского монетного двора. Повторив опыты по выплавке сталей и проделав огромную работу по формированию узора с помощью кузнечного инвентаря и молота, он пришел к мнению, что булатный рисунок обязан своим происхождением кристаллизации сплава непосредственно в тигле. Более того, слиток должен содержать углерода намного больше, чем обычная европейская сталь. Он выяснил, что послековки узоры на боковой поверхности булата являются только лишь результатом работы молота при вытяжке клинка (Breant 1824).

В «Горном журнале» за 1839 год была опубликована статья Главного Управителя по горным и заводским делам Фабер дю Фора «О приготовлении дамасцированной литой стали», в которой он описал один из методов получения «...литой стали, подобной всеми свойствами восточной Индийской литой стали, называемой Вуцом...» (Фабер дю Фора 1839). В этой статье подробно рассматриваются все этапы технологического процесса тигельной плавки и кузнечнойковки, от приготовления флюсов и шихты до полировки и травления готового булатного клинка с волнистым узором.

Многочисленные примеры качественных восточных булатных клинков, обладающих структурной и химической неоднородностью, вдохновили русского металлурга Павла Петровича Аносова опытным путем доискаться до тайны приготовления настоящих восточных булатов.

П. П. Аносов выработал свое мнение на природу происхождения булатных узоров. В 1841 году вышла его работа «О булатах» (Аносов 1841), в которой он впервые обосновал преимущества неоднородной булатной структуры по сравнению с однородной структурой английской стали. Аносов провел огромную работу по классификации булатов по макроструктуре, впервые используя микроскоп. Он считал булатную сталь пределом

совершенства в упругости, которая в обычной однородной стали не встречается.

Во второй половине XIX века в Европе сложились все предпосылки для массового производства специальных сталей и чугунов. В Англии Генри Бессемер (1856) превратил чугун в качественную сталь благодаря окислению примесей при продувке атмосферным кислородом. Во Франции Пьер-Эмиль Мартен (1864) создал плавильную печь для переработки чугуна и лома черных металлов в качественную сталь нужного химического состава. Впервые английский геолог Генри Сорби (1864) представил микрофотографические снимки различных сортов сталей, протравленных кислотой, что послужило толчком к микроскопическим исследованиям. Российский металлург, горный инженер Александр Степанович Лавров (1866) опубликовал работы по успокоению кипящей стали алюминием в процессе разлива ее в изложницы. В 1868 году русский профессор Дмитрий Константинович Чернов опубликовал обзорный доклад по мотивам статей Лаврова А. С. и Калакуцкого Н. В. о сталях и стальных орудиях, в котором впервые определил температурную точку «b» (точку Чернова). В этой точке сталь претерпевает фазовые превращения. С этого момента началась наука о термической обработке сталей и чугунов. В 1878 году Д. К. Чернов ввел понятие дендритной теории кристаллизации сталей. Он считал сталь неоднородной массой, которая появляется в процессе затвердевания. Французский металловед-металлург Флорис Осмонд (1888) с помощью термоэлектрического пирометра определил критические точки Чернова, что дало толчок к созданию первого вида диаграммы состояния Fe-C. Английский профессор Уильям Робертс-Остен (1897) изобрел новый пирометр, записывающий изменения температуры в печи, с помощью которого впервые построил первую версию температурных диаграмм системы Fe-C.

Методика исследования химического состава, микроструктуры и свойств булатных клинков появилась только в начале XX века. Структуру и химический состав выявляли на образцах из частных коллекций, датируемых

XVI–XIX веками, в разных странах, на разном оборудовании и в разное историческое время. Схожесть выводов позволяет убедиться в достоверности опубликованных экспериментальных данных (Belaiew 1918; Zschokke 1924; Гаев 1956; Panseri 1965; Тавадзе и др. 1984а; Амаглобели 1984; Sherby, Wadsworth 1985; Peterson и др. 1990; Verhoeven и др. 1998; Feuerbach 2000; Barnett и др. 2009; Счастливец и др. 2013; Суханов 2018; Sukhanov 2018; Verhoeven и др. 2018; Ghasem 2018; Суханов 2022; Суханов 2022; Hynninen и др. 2022; Суханов 2023). Однако, как более эффективно применять эти данные на практике к атрибуции восточного булатного оружия, конкретных указаний не было.

В 2009 году была опубликована работа (Калинин и др. 2009) по применению рентгенофлюоресцентного химического анализа при экспертизе Индо-Персидского булатного оружия. В этой работе отмечено, что данный метод уже эффективно использовался при изучении материалов культурного наследия из стекла (Ревенко, Ревенко 2007) и археологических находок эпохи бронзы (Павлова и др. 2002). Более того, авторами отмечено, что при экспертизе и атрибуции булатного оружия узор макроструктуры не может служить единственным и определяющим признаком (Калинин и др. 2009, 137). Ими рекомендовано накопить еще большее количество результатов по химическому составу булатов для выработки более надежных критериев атрибуции. В результате основными критериями для булатов были обозначены содержание углерода более 1 % и содержание примеси фосфора, превышающее в 5–10 раз концентрацию этого элемента в современных сталях. Конкретных временных рамок установлено не было.

Основываясь на результатах вышеупомянутых работ, авторами данной статьи была предпринята попытка систематизировать булатные стали по содержанию постоянных примесей для детального понимания их микроструктуры и эксплуатационных свойств.

Во-первых, общим фактором для большинства исследованных образцов является заэвтектоидное содержание углерода от 1.1% до 2.1% и

повышенное содержание примеси фосфора от 0.06% до 0.26%. Фосфор, при таких концентрациях, выполняет роль главного ликвата, способствуя превращению неравномерной карбидной полосчатости в равномерное чередование карбидных и трооститных слоев. Из анализа химического состава можно сделать вывод, что содержание фосфора в булатах в 2-10 раз превышает допустимую концентрацию для современных сталей.

Во-вторых, содержание примеси серы, для большинства исследуемых булатных сталей, не превышала 0.03%. В частности, такая концентрация допустима при изготовлении современных деталей металлоконструкций и инструментов ответственного назначения.

В-третьих, в 78% исследованных булатных клинков примесь кремния и марганца не превышают $<0.1\%$. В 22% изученных образцов процентное соотношение примеси кремния и марганца соизмеримо с концентрацией раскисленных современных тигельных сталей. Однако известно, что раскислители начали активно использовать только во второй половине XIX века. До этого времени процессом дегазации расплава служил естественный способ кипения при тигельной плавке.

Основываясь на статистических методах усреднения химического состава, в работе (Суханов, Плотникова 2023) были выделены две предполагаемые области датировки старинных булатных клинков, в основе которых заложен принцип присутствия раскислителей кремния и марганца. К более ранней области датировки булатных клинков, например до начала XIX века, следует отнести те, в которых примеси кремния и марганца минимальны, то есть содержат сотые либо тысячные доли процентов. Соответственно, булатную сталь, в составе которой обнаруживается наличие этих примесей более 0.1%, способных повлиять на подавление процесса кипения в тигле, следует считать изготовленной не ранее второй половины XIX века, когда массово начали применять для восстановления железа флюсы на основе ферросилиция и ферромарганца.

Используя неразрушающие методы контроля химического анализа, мы попытались по количеству постоянных примесей обозначить исторический период изготовления старинных клинков. Данный метод несовершенен, но его применение поможет отделить в музейных и частных коллекциях истинные старинные клинки от подделок XIX-XXI века.

Материалы и методы исследования. В качестве предметов исследования авторы статьи использовали 19 единиц исторического восточного оружия и один предмет хозяйственно-бытового назначения (тарелка, выполненная из булатной стали). Из них 15 предметов из коллекции Камила Хайдакова и 5 предметов из коллекции Дмитрия Суханова. Предметы атрибутированы по внешнему комплексу признаков, по форме и геометрии клинка, по морфологии узора и клейм при наличии. Остальные детали атрибуции, такие как эфесы и их детали, ножны, обоймицы, могли быть изготовлены в более позднее время, поэтому здесь нами детально не рассматривались.

Исследовались на соответствие формы узора и химического состава следующие изделия: два шамшира первой половины XVII века, два шамшира второй половины XVII века, четыре шамшира XVIII века, один пульвар с персидским клинком XVIII века, три шамшира первой половины XIX века, один тальвар второй половины XIX века, один кинжал кама с клинком общекавказского типа конца XVIII века, один кард XVIII века, один Ирано-Курдистанский ханджар(бебут) рубежа XVIII-XIX веков, один кинжал каджарской эпохи первой четверти XIX века, один кард рубежа XVIII-XIX веков, один кинжал квадрара рубежа XIX-XX веков, одна тарелка булатная первой половины XIX века. Четыре клинка шамшир имеют клейма Асада (Асадуллы) Исфахане, три шамшира и один кард - ступенчатый вид узора. Клинки имеют разные типы узоров: полосчатые, волнистые, сетчатые и коленчатые в виде ступеней.



Илл. 1. Общий вид оптико-эмиссионного анализатора VELES CM-160.

Булатную коллекцию из 15 предметов Камила Хайдакова исследовали на химический анализ с помощью оптико-эмиссионного анализатора «VELES CM-160» (регистрационный № 88361-23), предназначенного для измерений массовой доли элементов в металлах и сплавах (Илл. 1). Принцип действия анализатора основан на методе эмиссионного спектрального анализа с возбуждением пробы с помощью искры. Для возбуждения эмиссионного спектра используется электрический разряд между стержневым электродом и плоской поверхностью измеряемого образца. Спектральный состав света определяется химическим составом исследуемого булатного образца. Искровой стенд содержит в себе систему продувки аргоном для исключения окисления и загрязнения оптического окна.

Для определения химического состава на плоских клиночных образцах был выбран участок возле острия шамширов от 10 до 15 см, как наиболее подверженный нагрузкам при нанесении удара, и до 5 см у кинжалов и ножей. Выбранные участки для исследования предварительно зачищали от окислов и продуктов вытравливания узора вручную с помощью абразивной бумаги № 240. На некоторых изделиях с высоким содержанием углерода для более

точной оценки полученных данных пробы брались до трех раз. В некоторых случаях в нескольких точках клинка (Илл. 2).



Илл. 2. Вид прожигов на булатных клинках из коллекции К. С. Хайдакова.

Коллекция булатных клинков Дмитрия Суханова на химический состав исследовалась в два этапа. На первом, более раннем этапе, исследования проводились при помощи мобильного оптико-эмиссионного спектрометра Q4 Mobile, предназначенного для экспресс-анализа примесей и легирующих элементов в сплавах на основе железа. Этот метод позволяет проводить измерения на образцах сложной геометрической формы. В частности, исследован Ирано-Курдистанский ханджар (бебут) рубежа XVIII-XIX веков с крестообразным торцевым профилем. На этом этапе замеры проводились у основания булатных клинков возле крестовин для трех сабель и рукоятей для ножа и кинжала. На втором этапе химический состав изучали с помощью стационарного эмиссионного спектрометра «АРГОН-5СФ» (регистрационный № А5-123). Спектрометр предназначен для измерений аналитического сигнала, пропорционального интенсивности спектральных линий химических

элементов в металлах и сплавах. Исследования проводили в ЦЗЛ АО «Алексинстройконструкция». Форма исследуемых булатных клинков была нестандартной для данной методики, в соответствии с ТУ 4434-003-70398719-04 возможны отклонения результатов в зависимости от выбранного участка прожига. Исследования химического состава на сложных крестообразных торцевых профилях этим методом не проводились.

Для градуировки спектрометров использовали комплекты Государственных стандартных образцов сталей и чугунов, в которых содержание химических элементов перекрывали возможные пределы содержания элементов в булатных изделиях.

Контроль микроструктуры, на плоских сабельных образцах из коллекции Д. А. Суханова, проводили с помощью оптического микроскопа серии МЕТАМ РВ-21-2. Данная модель микроскопа была выбрана с учетом того, что на предметный столик, к которому подводится снизу объектив, можно установить образец с габаритами сабельного клинка без разрушения. Произвольно выбранный исследуемый локальный участок вручную был отполирован на алмазных пастах зернистостью 60/40, 40/28, 28/14, 7/5. На войлоке с подачей суспензии, состоящей из проточной воды и оксида хрома (III), исследуемый участок сабельного клинка был доведен до зеркального состояния. Травление осуществлялось 4% спиртовым раствором азотной кислоты (Нитал).

Результаты исследования коллекции К. С. Хайдакова. На первом этапе исследования химическому анализу были подвергнуты десять сабельных клинков типа шамшир, датируемые XVI-XIX веками. Клинки подразделялись по номерам и времени атрибуции.

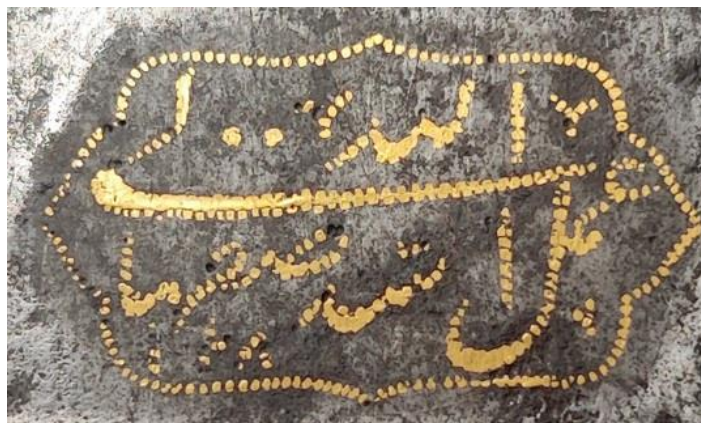
Шамшир № 1. Иран, XVI-XVII вв. (Илл. 3-7). Общая длина 960 мм, длина клинка 820 мм, ширина 31 мм, толщина 5.8 мм, прогиб 65 мм. Клинок выполнен из булата с волнистым и сетчатым рисунком. На хвостовике клинка нанесено три клейма, выбитых кузнечным способом — штампом мастера «Работа Асадуллы Исфакхани». На правой трети клинка нанесено еще два клейма: одно в виде картуша, выполненного всечкой золотом в технике зарнашин, с надписью насталиком на персидском языке «Работа Асада (Асадуллы) Исфакхани», ниже выбито клеймо с надписью «Султан Мухоммад».



Илл. 4. Рисунок булата.



Илл. 5. Клейма на хвостовике



Илл. 6. Картуш на клинке.

Илл. 3. Шамшир № 1. Иран, XVI/XVII век.
Коллекция К. С. Хайдакова.



Илл. 7. Шамшир № 1. Иран, XVI/XVII век. Рукоять.
Коллекция К. С. Хайдакова.

Данный клинок с набором таких клейм пока известен в единственном экземпляре и атрибутирован нами как подлинный клинок Мастера Асада Исфাহани конца XVI - первой четверти XVII века. Рукоять состоит из железной крестовины (булатная?), украшена растительным, цветочным и геометрическим орнаментом, выполненным золотом в стиле кофтгари, роговые накладки из кости моржа изготовлены в более позднее время, крепятся к хвостовику двумя заклепками.

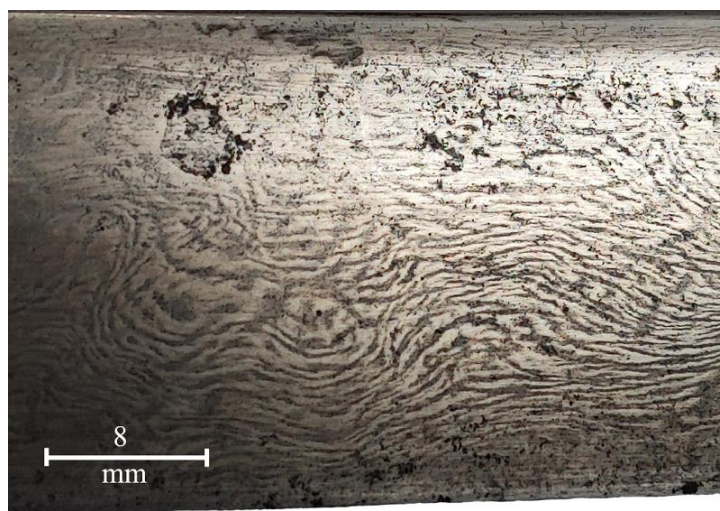
Химический состав третьей трети клинка шамшир № 1 представляет собой высокоуглеродистую заэвтектоидную сталь (1.66% С). В клинке отсутствуют остатки продуктов раскисления. Обнаружено низкое содержание примесей кремния (0.022% Si), марганца (0.048% Mn) и алюминия (<0.001% Al). Постоянная примесь серы находится на уровне современных высококачественных сталей (0.022% S). Выявлено завышенное содержание примеси фосфора (0.076% P), данный показатель в четыре раза превышает пороговое значение для высококачественных углеродистых сталей. Характерным признаком для древней металлургии является наличие в химсоставах тигельных сталей примеси меди (0.127% Cu) в десятых долях процента. Медь при таком содержании влияет на повышение коррозионной стойкости. Остальные легирующие элементы не превышали сотых и тысячных долей процента.

Химический состав, масс. %. Шамшир-№1. Иран, XVI/XVII век.										
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Ti
Сред.	1.662	0.022	0.048	0.076	0.022	0.033	0.029	<0.001	0.127	<0.001
(1)	1.662	0.022	0.048	0.076	0.022	0.033	0.029	<0.001	0.127	<0.001
	V	Al	W	Pb	Sn	Co	Nb	B	As	Fe
Сред.	<0.001	<0.001	<0.001	0.014	<0.001	0.010	0.025	<0.001	<0.001	97.931
(1)	<0.001	<0.001	<0.001	0.014	<0.001	0.010	0.025	<0.001	<0.001	97.931

Шамшир № 2. Иран, XVII в. (Илл. 8-11). Общая длина 935 мм, длина клинка 895 мм, ширина 27 мм, толщина 5 мм, прогиб 90 мм. Клинок булатный, светлого оттенка, с сетчатым и волнистым рисунком. На первой трети правой стороны клинка нанесены четыре картуша золотом в технике зарнашин.



Илл. 8. Шамшир № 2. Иран, XVII век.
Коллекция К. С. Хайдакова).



Илл. 9. Рисунок булата на клинке.



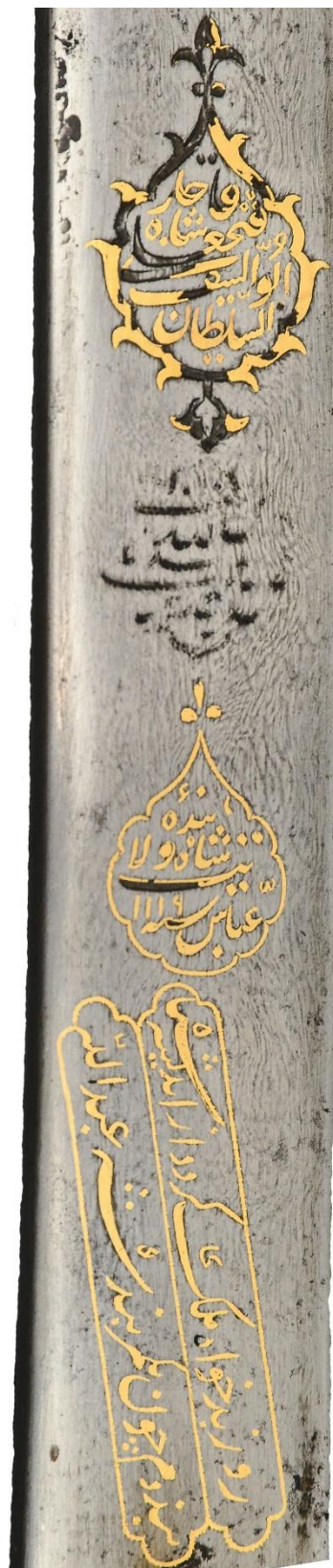
Илл. 10. Рукоять.

В первом полустертом картуше надпись: «Работа Асадуллы Исфахани», во втором - «Аббас-раб Шаха святости» «1119», что соответствует 1707-1708 гг. по грегорианскому календарю. В третьем — «Однажды желающий зла станет мал как песчинка, от страха перед Шахом» и на клейме каджарского периода — «Султан отец меча Фатх Али Шах-Каджар» (годы правления 1797-1834).

Рукоять классического персидского стиля, состоит из булатного перекрестья, украшенного растительным орнаментом золотом в технике кофтгари и прорезным орнаментом в форме картуша, боковые накладки выполнены из моржовой кости, закреплены к хвостовику двумя заклепками, оклад рукояти украшен частично сохранившейся золотой насечкой.

Навершие рукояти булатное, украшено прорезным орнаментом. Данный клинок является великолепной демонстрацией его длительного существования с XVII века до наших дней, три клейма характеризуют эпохи правления шахов Ирана. Первое клеймо мы относим к первой половине XVII века (Аббас I), второе имеет датировку 1707 года, клеймо каджарского периода имеет характерные отличия и относится к последней четверти XVIII - первой трети XIX века.

Илл. 11. Шамшир № 2. Иран, XVII в.
Картуш и надписи.
Коллекция К. С. Хайдакова.



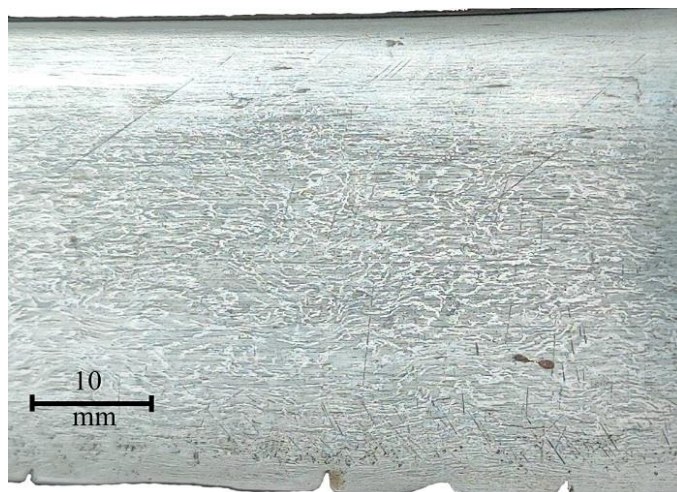
Химический состав третьей трети клинка шамшир № 2 представляет собой высокоуглеродистую заэвтектоидную сталь (1.75% С). В клинке отсутствуют остатки продуктов раскисления. Обнаружено низкое содержание примесей кремния (0.028% Si), марганца (0.053% Mn) и алюминия (<0.001% Al). Обнаружено низкое содержание серы (0.009% S). Выявлено завышенное содержание примеси фосфора (0.078% P), данный показатель в четыре раза превышает пороговое значение для высококачественных углеродистых сталей. Характерным признаком, как и в предыдущем клинке (шамшир № 1), является наличие примеси меди (0.181% Cu) в десятых долях процента. Остальные легирующие элементы не превышали сотых и тысячных долей процента.

Химический состав, масс. %. Шамшир-№2. Иран, XVII век.									
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Ti
Сред. 1.751	0.028	0.053	0.078	0.009	0.034	0.036	<0.001	0.181	<0.001
(1) 1.751	0.028	0.053	0.078	0.009	0.034	0.036	<0.001	0.181	<0.001
V	Al	W	Pb	Sn	Co	Nb	B	As	Fe
Сред. 0.008	<0.001	<0.001	0.013	<0.001	0.012	0.024	<0.001	<0.001	97.772
(1) 0.008	<0.001	<0.001	0.013	<0.001	0.012	0.024	<0.001	<0.001	97.772

Шамшир № 3. Иран, XVII-XVIII в. (Илл. 12-15). Общая длина 920 мм, длина клинка 795 мм, ширина 31.5 мм, толщина 5.7 мм, прогиб 75 мм. Клинок выполнен из булата с мелким сетчатым рисунком).

На левой стороне первой трети клинка выгравировано клеймо в не характерном для иранского региона стиле, предположительный перевод надписи «Абдул Халил Кади», возможно клинок был изготовлен на территории тимуридской империи в более ранний период.

Рукоять выполнена из стального перекрестья (булат?) и двух роговых накладок, предположительно буйвола, закрепленных одной клепкой. Рукоять имеет форму «корабела». Такой тип рукояти был распространен в Иране и Европе.



Илл. 13. Рисунок булата на клинке



Илл. 14. Клеймо на клинке.

Илл. 12. Шамшир № 3. Иран, XVII/XVIII в.
Коллекция К. С. Хайдакова.



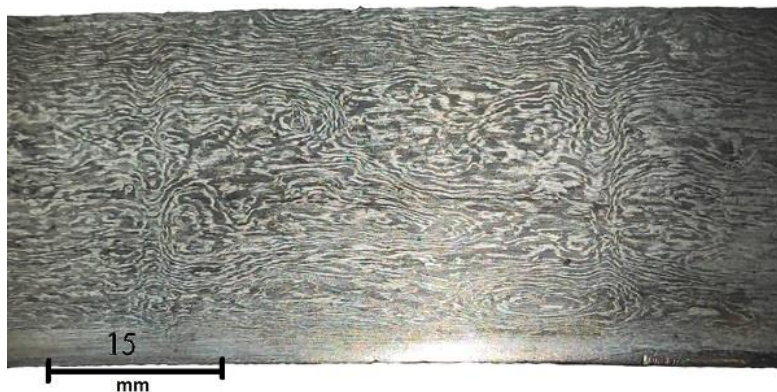
Илл. 15. Шамшир № 3. Иран, XVII/XVIII в. Рукоять. Коллекция К. С. Хайдакова.

Химический состав третьей трети клинка шамшир № 3 представляет собой сверхвысокоуглеродистую заэвтектоидную сталь (1.965% C), приближающуюся к пограничной области сталь-чугун. В клинке отсутствуют остатки продуктов раскисления. Обнаружено низкое содержание примесей кремния (0.035% Si), марганца (0.049% Mn) и алюминия (<0.001% Al). Обнаружено низкое содержание серы (0.010% S). Показатель по примеси фосфора (0.083% P) в четыре раза превышает пороговое значение для высококачественных углеродистых сталей. Как и в предыдущих клинках, обнаружено высокое содержание примеси меди (0.301% Cu). Остальные легирующие элементы не превышали сотых и тысячных долей процента.

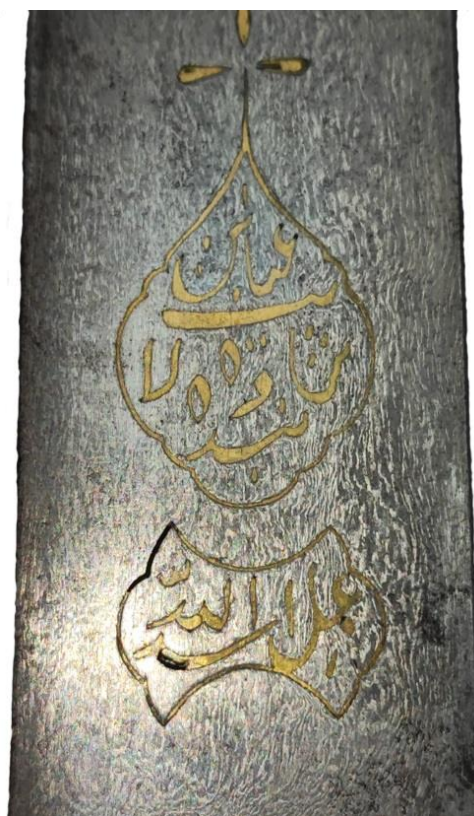
Химический состав, масс. %. Шамшир-№3. Иран, XVII/XVIII век.									
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Ti
Сред. 1.965	0.035	0.049	0.083	0.010	0.034	0.062	<0.001	0.301	<0.001
(1) 1.965	0.035	0.049	0.083	0.010	0.034	0.062	<0.001	0.301	<0.001
V	Al	W	Pb	Sn	Co	Nb	B	As	Fe
Сред. 0.003	<0.001	<0.001	0.013	<0.001	0.019	0.024	<0.001	<0.001	97.400
(1) 0.003	<0.001	<0.001	0.013	<0.001	0.019	0.024	<0.001	<0.001	97.400

Шамшир № 4. Иран, XVIII в. (Илл. 16-19). Общая длина 960 мм, длина клинка 830 мм, ширина 34 мм, толщина 5.7 мм, прогиб 95 мм. Клинок выполнен из булата с коленчатым рисунком. На первой трети правой стороны клинка клейма в виде картушей, инкрустированные золотом в технике зарнашин. В картушах нанесены надписи насталиком на персидском языке «Работа Асадуллы» и «Раб Царя Святости Шах Аббас».

Рукоять выполнена в аравийском стиле XIX века, состоит из серебряного перекрестья, украшенного гравированным орнаментом в виде геометрических фигур и картуша с вставкой из золота с символом звезды и полумесяца. Боковые накладки выполнены из моржовой кости, закреплены тремя гвоздиками с золотыми шляпками и закрыты позолоченным темляком в месте соединения с перекрестьем, навершие рукояти выполнено из золотого четырехлистного колпачка, украшенного гравированным цветочным орнаментом.



Илл. 17. Рисунок булата на клинке.



Илл. 18. Картуш и клеймо на клинке.

Илл. 16. Шамшир № 4. Иран, XVIII в.
Коллекция К. С. Хайдакова.



Илл. 19. Шамшир № 4. Иран, XVIII в. Рукоять. Коллекция К. С. Хайдакова.

Химический состав третьей трети клинка шамшир № 4 представляет собой высокоуглеродистую заэвтектоидную сталь (1.32% С).

В клинке отсутствуют остатки продуктов раскисления. Обнаружено низкое содержание примесей кремния (0.025% Si), марганца (0.033% Mn) и алюминия (<0.001% Al). Обнаружено низкое содержание серы (0.001% S).

Содержание примеси фосфора (0.07% P) более чем в три раза превышает пороговое значение для высококачественных углеродистых сталей.

Примесь меди также показывает десятые доли процента (0.113% Cu). Остальные легирующие элементы не превышают сотых и тысячных долей процента.

Химический состав, масс. %. Шамшир-№4. Иран, XVIII век.									
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Ti
Сред. 1.323	0.025	0.033	0.070	0.001	0.034	0.038	<0.001	0.113	<0.001
(1) 1.323	0.025	0.033	0.070	0.001	0.034	0.038	<0.001	0.113	<0.001
V	Al	W	Pb	Sn	Co	Nb	B	As	Fe
Сред. <0.001	<0.001	<0.001	0.013	<0.001	0.007	0.024	<0.001	<0.001	98.318
(1) <0.001	<0.001	<0.001	0.013	<0.001	0.007	0.024	<0.001	<0.001	98.318

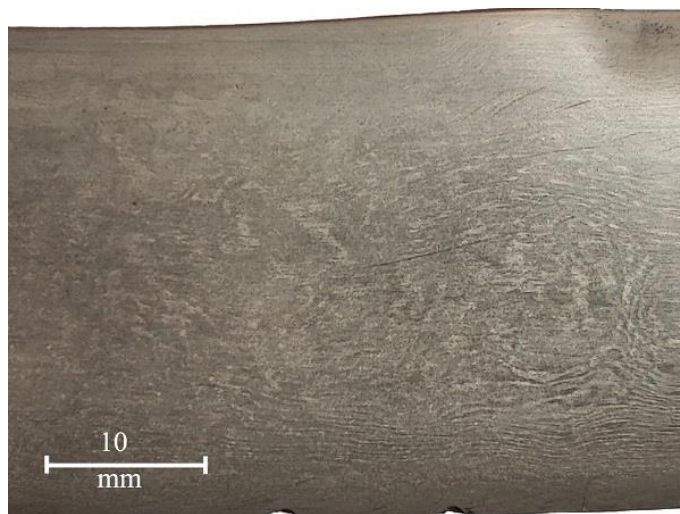
Шамшир № 5. Иран, XVIII в. (Илл. 20-23). Общая длина 910 мм, длина клинка 780 мм, ширина 31 мм, толщина 5.1 мм, прогиб 75 мм.

Клинок имеет небольшое расширение (елмань) и двустороннюю заточку острия, выполнен из булата серого оттенка со слабо контрастным волнистым узором. На правой стороне первой трети клинка нанесено полустертое клеймо в виде картуша с надписью «Раб Царя Святости Аббас».

Рукоять классического персидского стиля состоит из булатного перекрестья, роговых накладок буро-красного оттенка и железного четырехлистного колпачка.



Илл. 20. Шамшир № 5. Иран, XVIII в.
Коллекция К. С. Хайдакова.



Ил. 21. Рисунок булата на клинке.



Илл. 22. Картуш на клинке.



Илл. 23. Шамшир № 5. Иран, XVIII в. Рукоять.
Коллекция К. С. Хайдакова.

Химический состав третьей трети клинка шамшир № 5 представляет собой высокоуглеродистую заэвтектоидную сталь (1.41% С).

В клинке отсутствуют остатки продуктов раскисления. Обнаружено низкое содержание примесей кремния (0.044% Si), марганца (0.061% Mn) и алюминия (<0.001% Al).

Обнаружено низкое содержание серы (0.007% S). Показатель по примеси фосфора (0.065% P) более чем в три раза превышает пороговое значение для высококачественных углеродистых сталей.

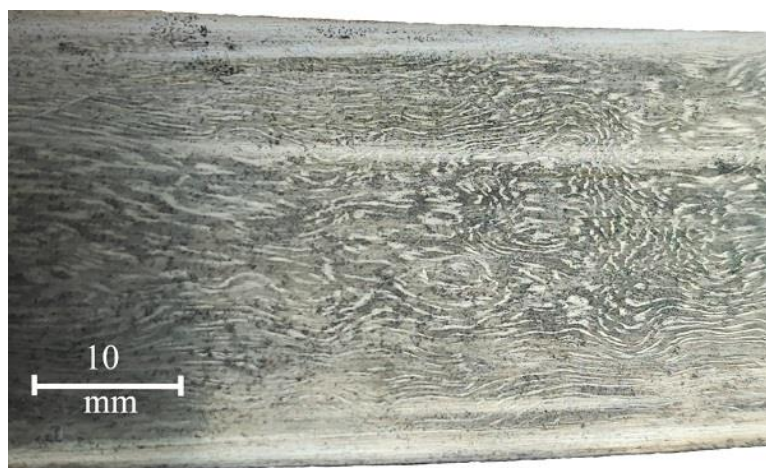
Как и в предыдущих клинках, обнаружено повышенное содержание примеси меди (0.168% Cu). Остальные легирующие элементы не превышают сотых и тысячных долей процента.

Химический состав, масс. %. Шамшир-№5. Иран, XVIII век.									
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Ti
Сред. 1.409	0.044	0.061	0.065	0.007	0.034	0.036	<0.001	0.168	<0.001
(1) 1.409	0.044	0.061	0.065	0.007	0.034	0.036	<0.001	0.168	<0.001
V	Al	W	Pb	Sn	Co	Nb	B	As	Fe
Сред. <0.001	<0.001	<0.001	0.013	<0.001	0.011	0.024	<0.001	<0.001	98.128
(1) <0.001	<0.001	<0.001	0.013	<0.001	0.011	0.024	<0.001	<0.001	98.128

Шамшир № 6. Иран, XVIII в. (Илл. 24-26). Общая длина 880 мм, длина клинка 765 мм, ширина у перекрестья 30 мм, толщина 6 мм, прогиб 105 мм.

Клинок выполнен из булата высокого качества с волнистым и сетчатым рисунком.

Рукоять классического персидского типа состоит из стального перекрестья (булат?), боковых накладок из моржовой кости, закрепленных к хвостовику двумя клепками и обмоткой в виде серебряной проволоки, навершие рукояти выполнено в виде четырехлистного серебряного колпачка.



Илл. 25. Рисунок булата на клинке.



Илл. 26. Рукоять.

Илл. 24. Шамшир № 6. Иран, XVIII в.
Коллекция К. С. Хайдакова.

Химический состав третьей трети клинка шамшир № 6 представляет собой высокоуглеродистую заэвтектоидную сталь (1.58% С). В клинке низкое содержание примесей. Обнаружено кремния (0.076% Si), марганца (0.079% Mn) и алюминия (<0.001% Al). Примесь серы находится на уровне современных высококачественных сталей (0.012% S). Содержание примеси фосфора (0.076% P) в четыре раза превышает пороговое значение для высококачественных углеродистых сталей. Высокое наличие примеси меди (0.35% Cu) близко к показателям для клинка шамшира № 3. Остальные легирующие элементы не превышают сотых и тысячных долей процента.

Химический состав, масс. %. Шамшир-№6. Иран, XVIII век.									
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Ti
Сред. 1.579	0.076	0.079	0.076	0.012	0.041	0.061	<0.001	0.350	<0.001
(1) 1.579	0.076	0.079	0.076	0.012	0.041	0.061	<0.001	0.350	<0.001
V	Al	W	Pb	Sn	Co	Nb	B	As	Fe
Сред. 0.005	<0.001	<0.001	0.013	<0.001	0.020	0.024	<0.001	0.002	97.661
(1) 0.005	<0.001	<0.001	0.013	<0.001	0.020	0.024	<0.001	0.002	97.661

Шамшир № 7. Иран, XVIII в. (Илл. 27-30). Общая длина 990 мм, длина клинка 860 мм, ширина 36.7 мм, толщина 6 мм, прогиб 105 мм. Клинок выполнен из булата с коленчатым рисунком.

На правой стороне первой трети клинка золотом в технике зарнашин нанесены два клейма в виде картушей с надписями. В картушах надписи насталиком на персидском языке «Работа Асада» «Шах Аббас» «168». Можно предположить, что «168» — это 1168 (или 1198) год хиджры, то есть 1754-55 (или 1783-84) по грегорианскому календарю.

Рукоять классического иранского типа, перекрестье железное (булат?), боковые накладные выполнены из кости моржа, закреплены к хвостовику двумя клепками, окончание рукояти выполнено из железа в виде четырехлистного колпачка.



Илл. 28. Рисунок булата на клинке.



Илл. 29. Картуш на клинке.

Илл. 27. Шамшир № 7. Иран, XVIII в.
Коллекция К. С. Хайдакова.



Илл. 30. Шамшир № 7. Иран, XVIII в. Рукоять.
Коллекция К. С. Хайдакова.

Химический состав третьей трети клинка шамшир № 7 представляет собой сверхвысокоуглеродистую заэвтектоидную сталь (1.91% С), приближающуюся к пограничной области между сталью и чугуном. В клинке обнаружена примесь кремния (0.123% Si), высокое содержание алюминия (0.323% Al) и повышенное содержание серы (0.185% S). Сера в девять раз превышает пороговое значение для высококачественных углеродистых сталей. Алюминий мог попасть в сталь либо как раскислитель, который начали применять только во второй половине XIX века, либо с флюсами в виде глинозема как случайная добавка. Примесь марганца (0.041% Mn) на нижнем пределе. Показатель по фосфору (0.082% P) в четыре раза превышает пороговое значение для высококачественных углеродистых сталей. Содержание меди (0.093% Cu) незначительно. Остальные легирующие элементы не превышали сотых и тысячных долей процента.

Химический состав, масс. %. Шамшир-№7. Иран, XVIII век.										
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Ti
Сред.	1.909	0.123	0.041	0.082	0.185	0.035	0.059	<0.001	0.093	0.014
(1)	1.909	0.123	0.041	0.082	0.185	0.035	0.059	<0.001	0.093	0.014
	V	Al	W	Pb	Sn	Co	Nb	B	As	Fe
Сред.	0.004	0.323	<0.001	0.022	<0.001	0.009	0.027	0.010	0.004	97.060
(1)	0.004	0.323	<0.001	0.022	<0.001	0.009	0.027	0.010	0.004	97.060

Шамшир № 8. Иран, XVIII-XIX в. (Илл. 31-34). Общая длина 970 мм, длина клинка 840 мм, ширина 36 мм, толщина 6.1 мм, прогиб 115 мм. Клинок выполнен из булата темного оттенка, с рисунком «колени и роза».

На правой стороне первой трети клинка нанесено клеймо в виде картуша и надписи в картушах-рамках. В медальоне надпись «1260, Султан, Отец меча, Мухаммад-шах Каджар», дата соответствует 1844-1845 годам по григорианскому календарю. Далее перевод надписей: «Этот меч, будучи мерилем пользы и вреда, является (губительной) искрой для врагов Мухаммед-шаха Гази. В руке властительного Государственного пробирщика (этот меч) как капля воды внутри жемчужины» и «Гази-борец за Веру».



Илл. 31. Шамшир № 8. Иран, XVIII/XIX в.
Коллекция К. С. Хайдакова.



Илл. 32. Рисунок булата на клинке.



Илл. 33. Рукоять.

Рукоять классического персидского типа, булатное перекрестье украшено орнаментом, выполненным золотом в технике зарнашин, боковые накладки из моржовой кости закреплены двумя заклепками, навершие рукояти выполнено из булатного четырехлистного колпачка, украшенного золотой инкрустацией в виде растительного орнамента.

Клинок из такого булата не могли изготавливаться иранскими мастерами в XIX веке. И по комплексу признаков, и по химическому составу они относятся к изделиям XVIII века. Клинок могли, вероятно, сохранять в запасниках шаха, и рассматриваемый образец был украшен и подарен уже в позднее время.

Пробирщик — титульная должность чиновников в Каджарском Иране, выступающих казначеями и контролирующими пробирование драгоценных металлов. В эпоху Каджаров эта должность закрепилась за семьей, получившей впоследствии фамильное имя Муаййри («пробирщики»). В эпоху Мухаммад-шаха пробирщиком был Хусайн Али-хан (1798-1857 гг.). Клинок принадлежал ему или его сыну Дуст Али-хану (1821-1873 гг.).

Илл. 34. Шамшир № 8. Иран, XVIII/XIX в.
Картуш и надписи.
Коллекция К. С. Хайдакова).



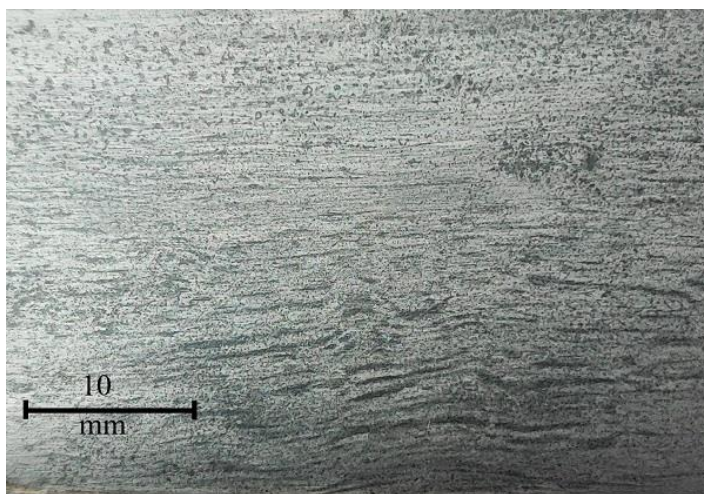
Химический состав третьей трети клинка шамшир № 8 представляет собой высокоуглеродистую заэвтектоидную сталь (1.45% С). В клинке отсутствуют остатки продуктов раскисления. Обнаружено низкое содержание примесей кремния (0.042% Si), марганца (0.037% Mn) и алюминия (<0.001% Al). Содержание серы (0.002% S) минимально. Примесь фосфора (0.079% P) в четыре раза превышает пороговое значение. Остальные легирующие элементы не превышают сотых и тысячных долей процента.

Химический состав, масс. %. Шамшир-№8. Иран, XVIII/XIX век.									
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Ti
Сред. 1.450	0.042	0.037	0.079	0.002	0.033	0.042	<0.001	0.092	<0.001
(1) 1.450	0.042	0.037	0.079	0.002	0.033	0.042	<0.001	0.092	<0.001
V	Al	W	Pb	Sn	Co	Nb	B	As	Fe
Сред. <0.001	<0.001	<0.001	0.014	<0.001	0.009	0.024	<0.001	0.001	98.174
(1) <0.001	<0.001	<0.001	0.014	<0.001	0.009	0.024	<0.001	0.001	98.174

Шамшир № 9. Индо-Персидский регион, XIX в. (Илл. 35-37) Общая длина 820 мм, длина клинка 690 мм, ширина 28.5 мм, толщина 4.5 мм, прогиб 90 мм. Клинок выполнен из булатной стали с линейным и волнистым рисунком.

Рукоять состоит из серебряного перекрестья, украшенного гравированным орнаментом в виде геометрических фигур и сцены дерущихся птиц, роговых накладок темно-коричневого цвета, закрепленных двумя заклепками к хвостовику клинка. Навершие рукояти выполнено в виде серебряного четырёхлистного колпачка.

Данный тип узора в виде прямых прерывающихся линий в оружейоведении принято называть термином «шам», такой тип узора, по ранее сложившемуся мнению, определял низшие сорта булата. Словом «шам» в XVII-XVIII веках могли называть территорию Сирии и части Иордании, возможно, такой термин мог обозначать не узор булата, а регион, из которого могли привозить оружие. Подобный тип узора встречался на булатных клинках Ирана, Османской порты, Аравии.



Илл. 36. Рисунок булата на клинке.



Илл. 37. Рукоять.

Илл. 35. Шамшир № 9.
Индо-Персидский рег., XIX в.
Коллекция К. С. Хайдакова.

Как известно, названия сортов булата по рисунку на поверхности клинка в разных регионах могли отличаться. Не имея реальных данных, идентифицирующих подобные узоры на старых булатах, мы не можем достоверно утверждать, как выглядел настоящий булат типа «шам», но вследствие необходимости классифицировать такой тип узора при его описании в дальнейшем тоже будем придерживаться указанного выше термина. Химический состав третьей трети клинка шамшир № 9 так же, как и предыдущие, представляет собой высокоуглеродистую заэвтектоидную сталь (1.51% С). Однако в нем есть принципиальные отличия.

В клинке обнаруживается примесь марганца более 0.2% Mn, что косвенно свидетельствует о процессе раскисления сталей. Именно во второй половине XIX века его начали активно применять при получении конструкционных сталей в бессемеровском процессе в Европе. Возможно, стальной шихтой для получения булата была использована импортная европейская сталь. Примеси, влияющие на ликвацию углерода более чем в два раза, каждая в отдельности, превышают пороговые значения для высококачественных сталей, например, сера (0.047% S) и фосфор (0.056% P).

Интересным, с нашей точки зрения, является наличие в составе стали мышьяка (0.113% As). Содержание мышьяка до 0.20%, как правило, улучшает коррозионную стойкость в кислых средах, поэтому иногда его используют в качестве заменителя меди для атмосферостойкости. Возможно, наличие мышьяка также связано со смесью реагентов, использованных для выявления узора на поверхности. Остальные легирующие элементы не превышали сотых и тысячных долей процента.

Химический состав, масс. %. Шамшир-№9. Индо-Персидский, XIX век.										
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Ti
Сред.	1.507	0.037	0.209	0.056	0.047	0.033	0.023	<0.001	0.024	<0.001
(1)	1.507	0.037	0.209	0.056	0.047	0.033	0.023	<0.001	0.024	<0.001
	V	Al	W	Pb	Sn	Co	Nb	B	As	Fe
Сред.	<0.001	<0.001	<0.001	0.013	<0.001	0.005	0.024	0.001	0.113	97.906
(1)	<0.001	<0.001	<0.001	0.013	<0.001	0.005	0.024	0.001	0.113	97.906

Шамшир № 10. Аравия, XIX в. (Илл. 38-41). Общая длина 900 мм, длина клинка 780 мм, ширина 33 мм, толщина 5.7 мм, прогиб 85 мм.

Клинок напоминает булатный низкого сорта, с рисунком из прерывистых и слабо волнистых линий. Местами видны обезуглероженные пятна. На клинке гравировкой нанесены два клейма в виде стилизованного изображения льва с надписью «О! Удовлетворяющий нужды».

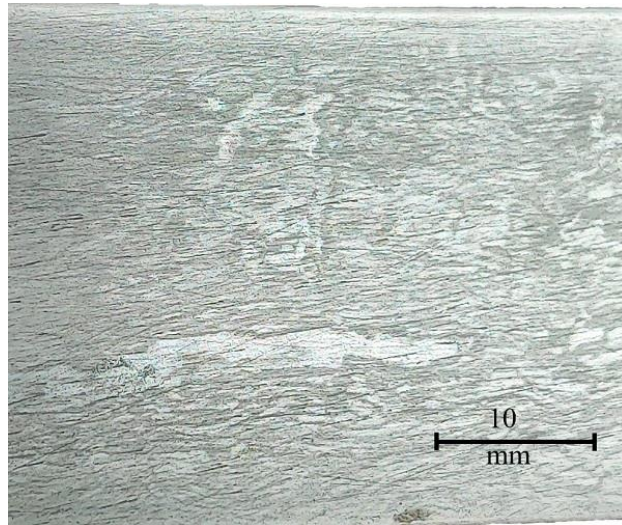
Рукоять клинка состоит из стального перекрестья (булат?). Боковые накладки выполнены из дерева и обложены серебром. Навершие рукояти изготовлено из серебра в виде стилизованной головы лошади или верблюда, в навершие вставлено кольцо для крепления темляка.

Данный клинок по комплексу признаков отнесен нами к XIX веку, в том числе по химическому составу и поддельным клеймам, имитирующим работу иранских мастеров конца XVIII - первой трети XIX века.

Химический состав третьей трети клинка шамшир № 10 представляет собой заэвтектоидную сталь (1.04% С). По наличию постоянных примесей напоминает предыдущий клинок шамшир № 9 с полосчатым узором тип шам. В клинке также обнаруживается примесь марганца более 0.2% Mn, что косвенно свидетельствует о процессе раскисления. Примеси серы (0.033% S) и фосфора (0.053% P) по отдельности имеют пороговые максимальные значения, но если учесть их коллективный вклад в образование полосчатости, то это будет существенное влияние. Однако на форме рисунка это никак не отразилось. Он имеет слабые и неконтрастные очертания.

Все остальные легирующие элементы не превышали сотых и тысячных долей процента. Аналогом современной стали может являться инструментальная сталь У10П, где У – углеродистая, 10 – 1.0% углерода, П – примесь фосфора до 0.06%.

Химический состав, масс. %. Шамшир-№10. Аравия, XIX век.									
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Ti
Сред. 1.037	0.088	0.241	0.053	0.033	0.033	0.013	<0.001	0.019	<0.001
(1) 1.037	0.088	0.241	0.053	0.033	0.033	0.013	<0.001	0.019	<0.001
V	Al	W	Pb	Sn	Co	Nb	B	As	Fe
Сред. <0.001	<0.001	<0.001	0.014	0.004	0.005	0.025	<0.001	0.009	98.425
(1) <0.001	<0.001	<0.001	0.014	0.004	0.005	0.025	<0.001	0.009	98.425



Илл. 39. Рисунок булата на клинке.



Илл. 40. Картуш и клеймо.

Илл. 38. Шамшир-№ 10. Аравия, XIX в.
Коллекция К. С. Хайдакова.



Илл. 41. Шамшир-№ 10. Аравия, XIX в. Рукоять.
Коллекция К. С. Хайдакова.

На втором этапе исследования химическому анализу были подвергнуты булатные изделия в виде трех кинжалов, одного ножа и столового набора, в частности тарелка, изготовленная из булатной стали в эпоху Каджаров.



Кинжал (Кама). Закавказье, XVIII-XIX вв. (Илл. 42 и 43). Общая длина 440 мм, длина клинка 320 мм, ширина у рукояти 34 мм, толщина 3.7 мм.

Рукоять выполнена из слоновой кости, всадного типа, украшена двумя серебряными гвоздиками с гравировкой и чернью, последние элементы могли быть добавлены в более позднее время.

Клинок классического кавказского типа со смещенными долами, булатный, с волнистым и сетчатым рисунком. Предположительным местом производства клинка является Закавказский регион, клинок выполнен кавказским мастером из иранского сырья или изготовлен полностью на территории, граничащей с Ираном, или в Азербайджане.

Клинок по химическому составу булатной стали отнесен нами к последней четверти XVIII века и полностью соответствует группе иранских булатных клинков. Химический состав представляет собой высокоуглеродистую заэвтектоидную сталь (1.44% С).

В клинке отсутствуют остатки продуктов раскисления. Обнаружено низкое содержание примесей кремния (0.033% Si), марганца (0.052% Mn) и алюминия (<0.001% Al).

Содержание серы (0.009% S) минимально. Примесь фосфора (0.075% P) в четыре раза превышает пороговое значение. Обнаружено повышенное содержание примеси меди (0.160% Cu). Остальные легирующие элементы не превышают сотых и тысячных долей процента.

Илл. 42. Кинжал (кама). Закавказье, XVIII-XIX вв.
Коллекция К. С. Хайдакова.



Илл. 43. Кинжал (кама). Закавказье, XVIII-XIX вв. Макроструктура клинка.
Коллекция К. С. Хайдакова.

Химический состав, масс. %. Кинжал (Кама). Закавказье, XVIII/XIX век.									
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Ti
Сред. 1.440	0.033	0.052	0.075	0.009	0.036	0.041	<0.001	0.160	<0.001
(1) 1.440	0.033	0.052	0.075	0.009	0.036	0.041	<0.001	0.160	<0.001
V	Al	W	Pb	Sn	Co	Nb	B	As	Fe
Сред. <0.001	<0.001	<0.001	0.011	0.001	0.014	0.024	<0.001	<0.001	98.103
(1) <0.001	<0.001	<0.001	0.011	0.001	0.014	0.024	<0.001	<0.001	98.103

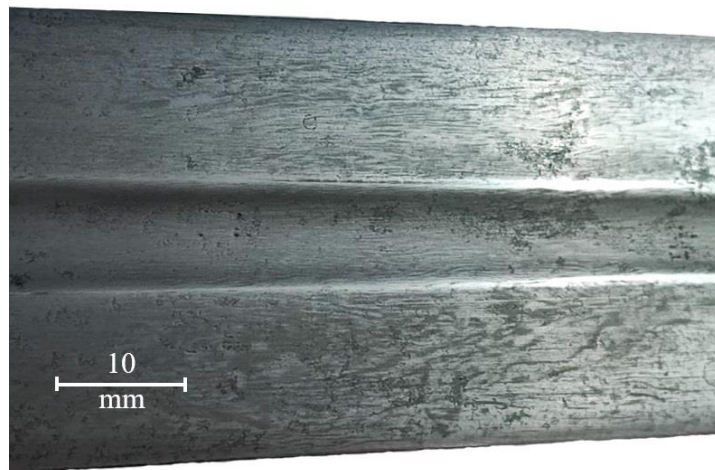
Кинжал. Иран, XIX в. (Илл. 44-45). Общая длина 450 мм, длина клинка 315 мм, ширина у рукояти 41 мм, толщина 3.5 мм. Клинок прямой, обоюдоострый, с центральным долом с обеих сторон, выполнен из булатной стали серого оттенка, со слабо контрастным полосатым и волнистым рисунком. Основание клинка с обеих сторон украшено инкрустацией, выполненной золотом в виде абриса арабской арки. Рукоять кинжала железная, состоит из нескольких частей, соединенных латунным припоем, украшена частично утраченным растительным орнаментом серебром в технике кофтгари.



Химический состав иранского кинжала представляет собой заэвтектоидную сталь (1.185% С). В клинке обнаруживаются примеси кремния (0.14% Si) и марганца (0.113% Mn), что свидетельствует о процессе раскисления стального лома для плавки булата.

Примеси серы (0.017% S) и фосфора (0.046% P) соответствуют современным представлениям. Все остальные легирующие элементы не превышали сотых и тысячных долей процента.

Аналогом современной стали может являться инструментальная сталь У12, обычного качества.



Илл. 45. Макроструктура клинка.

Илл. 44. Кинжал. Иран, XIX в.
Коллекция К. С. Хайдакова.

Химический состав, масс. %. Кинжал. Иран, XIX век.									
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Ti
Сред. 1.185	0.140	0.113	0.046	0.017	0.034	0.012	<0.001	0.019	<0.001
(1) 1.185	0.140	0.113	0.046	0.017	0.034	0.012	<0.001	0.019	<0.001
V	Al	W	Pb	Sn	Co	Nb	B	As	Fe
Сред. <0.001	<0.001	<0.001	0.013	0.005	0.005	0.024	<0.001	0.004	98.382
(1) <0.001	<0.001	<0.001	0.013	0.005	0.005	0.024	<0.001	0.004	98.382

Квадара. Иран, XIX-XX в. (Илл. 46-48). Общая длина 720 мм, длина клинка 560 мм, ширина у рукояти 39 мм, толщина 6.2 мм.

Клинок выполнен из стали, с одним широким и двумя долами меньшего размера с обеих сторон, в долах виден рисунок, похожий на полосатый и волнистый тип узоров на булате. На первой трети клинка с правой стороны имеется клеймо в виде семилепесткового цветка.

Рукоять выполнена из двух накладок рога буйвола, закреплена при помощи трех гвоздиков, под крайние из которых подложены серебряные иранские монеты.

Химический состав клинка Квадара представляет собой среднеуглеродистую доэвтектоидную сталь (0.434% C).

По количеству обнаруженных примесей кремния (0.19% Si) и марганца (0.54% Mn) видно, что сталь была получена с применением раскислителей. По времени производства, предположительно, не позднее второй половины XIX века.

Слабая узорчатость образована феррита-перлитной полосчатостью, на которую сильно повлияло высокое содержание примесей серы (0.095% S) и фосфора (0.066% P).

Остальные легирующие элементы не превышали сотых и тысячных долей процента.



Илл. 46. Квадара. Иран, XIX/XX в.
Коллекция К. С. Хайдакова.



Илл. 47. Макроструктура клинка.



Илл. 48. Рукоять.

Химический состав, масс. %. Квадара. Иран, XIX/XX век.									
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Ti
Сред. 0.434	0.191	0.536	0.066	0.095	0.034	0.023	<0.001	0.039	<0.001
(1) 0.434	0.191	0.536	0.066	0.095	0.034	0.023	<0.001	0.039	<0.001
V	Al	W	Pb	Sn	Co	Nb	B	As	Fe
Сред. <0.001	<0.001	<0.001	0.014	<0.001	0.005	0.024	0.003	0.033	98.502
(1) <0.001	<0.001	<0.001	0.014	<0.001	0.005	0.024	0.003	0.033	98.502

По химическому составу и видимому полосчатому узору в долах данный клинок был нами признан не булатным и отнесен в группу поздних клинков с попыткой получения узора, похожего на булатный. Данный предмет был опубликован в работе (Хайдаков 2016, 101, 102), где был атрибутирован как выполненный из булатной стали. Однако анализ химического состава показал ошибочность данного заключения.

Кард. Иран-Афганистан, XIX в. (Илл. 49-51). Общая длина 240 мм, длина клинка 145 мм, ширина у bolstera 22 мм, толщина обуха 5.4 мм. Рукоять ножа выполнена из трубчатой кости, вероятно, в более позднее время. Тип узора на данном образце определяется нами как ступенчатый, ступени нанесены с обеих сторон в шахматном порядке.

Узор булата до нанесения ступеней кузнечным способом представлял собой полосатую, слабо волнистую структуру. На обухе мы видим слоистую структуру с волнистыми впадинами и подъемами в местах нанесения ступеней кузнецом.

Химический состав ножевого клинка кард представляет собой белый доэвтектический чугуи (3.018% C). В клинке обнаружено высокое содержание алюминия (0.323% Al) и серы (0.131% S). Сера в шесть с половиной раз превышает пороговое значение для высококачественных углеродистых сталей. Примеси марганца (0.057% Mn) и кремния (0.060% Si) на нижнем пределе. Показатель по фосфору (0.082% P) в четыре раза превышает пороговое значение. Содержание меди (0.093% Cu) находится в допустимых значениях. Остальные легирующие элементы не превышали сотых и тысячных долей процента.



Илл. 49. Кард. Иран-Афганистан, XIX в.
Коллекция К. С. Хайдакова.



Илл. 50. Слоистый обух.



Илл. 51. Кард. Иран-Афганистан, XIX в. Коллекция К. С. Хайдакова.

Химический состав, масс. %. Кард. Иран-Афганистан, начало XIX век.										
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Ti
Сред.	3.018	0.060	0.057	0.082	0.131	0.033	0.056	<0.001	0.093	0.011
(1)	3.018	0.060	0.057	0.082	0.131	0.033	0.056	<0.001	0.093	0.011
	V	Al	W	Pb	Sn	Co	Nb	B	As	Fe
Сред.	0.002	0.387	<0.001	0.015	<0.001	0.017	0.026	0.005	0.002	96.008
(1)	0.002	0.387	<0.001	0.015	<0.001	0.017	0.026	0.005	0.002	96.008

Соусник и тарелка булатные. Исфахан, XIX в. (Илл. 52-55). В Иране было развито производство различной посуды из железа и булата: чаш, кувшинов, кальянов, малых архитектурных форм в виде животных и птиц. Часто такие изделия украшались золотой и серебряной инкрустацией, гравировкой и прорезным орнаментом. Узор булатной стали соответствует сетчатому рисунку.

Насколько нам известно, химический анализ подобных образцов, а в нашем случае тарелки, изготовленной из булата и украшенной золотой инкрустацией в технике кофгари, производится впервые. Полученные данные дают нам картину химического состава персидских булатов позднего каджарского периода первой половины XIX века.



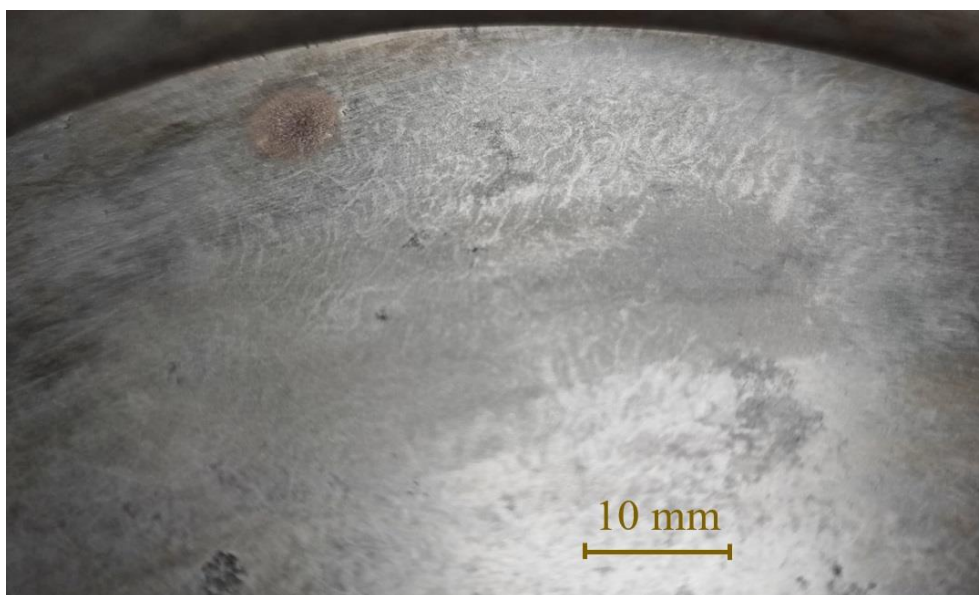
Илл. 52. Соусник и тарелка булатные. Исфахан, XIX век.
Еоллекция К. С. Хайдакова.

Химический состав булатной тарелки представляет собой заэвтектоидную сталь (1.064% С).

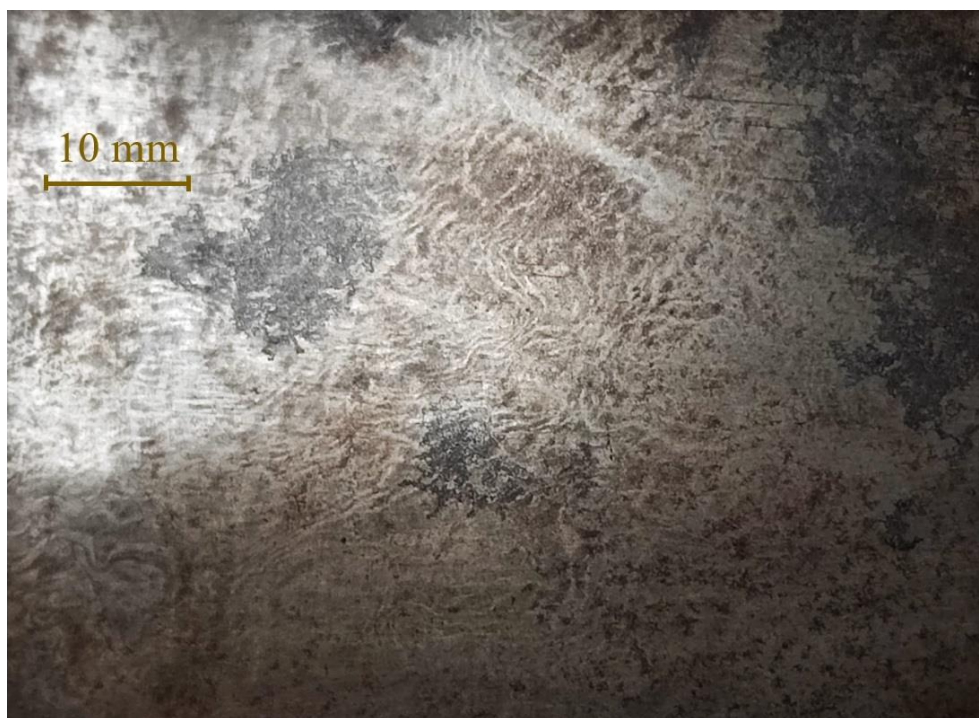
По наличию постоянных примесей тарелка выполнена из раскисленной стали. Примеси серы (0.053% S) и фосфора (0.04% P) по отдельности имеют пороговые максимальные значения, но если учесть их коллективный вклад в образование полосчатости, то это будет существенное влияние. Все остальные легирующие элементы не превышали сотых и тысячных долей процента.



Илл. 53. Тарелка булатная. Исфахан, XIX век.
Коллекция К. С. Хайдакова.



Илл. 54. Макроструктура булатной тарелки. Исфахан, XIX век.
Коллекция К. С. Хайдакова.



Илл. 55. Макроструктура булатной тарелки. Исфахан, XIX век.
Коллекция К. С. Хайдакова.

Химический состав, масс. %. Тарелка булатная. Исфахан. XIX век.										
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Ti
Сред.	1.064	0.121	0.193	0.040	0.053	0.035	0.009	<0.001	0.021	0.002
(1)	1.064	0.121	0.193	0.040	0.053	0.035	0.009	<0.001	0.021	0.002
	V	Al	W	Pb	Sn	Co	Nb	B	As	Fe
Сред.	0.006	0.004	<0.001	0.007	0.001	0.005	0.024	0.001	0.004	98.409
(1)	0.006	0.004	<0.001	0.007	0.001	0.005	0.024	0.001	0.004	98.409

Результаты исследования коллекции Д. А. Суханова. Химический состав клинков из коллекции Дмитрия Суханова был изучен в разное время и на разном оборудовании. Именно этот фактор сравнительного анализа определил наши дальнейшие комплексные исследования. В большинстве своем исторические булатные клинки были подвергнуты неразрушающим методам контроля (за некоторым исключением, где применялись методы оценки механических свойств), основываясь на принципах статистического подобия химического состава и характера полосчатой структуры. Булатные изделия для исследований химического состава подбирались с учетом их принадлежности Индо-Персидскому региону на основании типологии клинков и эфесов.

Шамшир № 11. Иран, XVII-XVIII в. (Илл. 56). Общая длина 890 мм, длина клинка 760 мм, ширина 27 мм, толщина 4.5 мм, прогиб 90 мм. Клинок выполнен из булата с сетчатым и волнистым рисунком, форма сечения клинка линзовидная. Масса клинка с эфесом 0.59 кг.



Илл. 56. Шамшир № 11. Иран, XVII-XVIII. Коллекция Д. А. Суханова.

Рукоять шамшира классической персидской формы, состоит из железного перекрестья (булат?), из роговых накладок (предположительно буйвола), закрепленных одной заклепкой, навершие рукояти выполнено из железного четырехлистного колпачка с колечком для темляка (Илл. 57). Эфес имеет следы реставрации и восстановления утраченных элементов.



Илл. 57. Шамшир № 11. Иран, XVII-XVIII. Рукоять.
Коллекция Д. А. Суханова.

В первой трети клинка шамшир № 11 узорчатая поверхность представляет собой совокупность элементов в виде прядей и спиралей, которые в сочетании с волнистым узором визуалью создают характерный сетчатый стиль (Илл. 58 и 59).



Илл. 58. Шамшир № 11. Иран, XVII-XVIII. Деталь.
Коллекция Д. А. Суханова.



Илл. 59. Шамшир № 11. Иран, XVII-XVIII. Деталь.
Коллекция Д. А. Суханова.

Химический состав первой трети клинка шамшир № 11 определяли с помощью портативного оптико-эмиссионного спектрометра Q4 Mobile. Среднее массовое содержание углерода составило 1.52% С. По современной классификации исследуемый участок является высокоуглеродистой заэвтектонидной сталью. В нем отсутствуют остатки продуктов раскисления. Обнаружено низкое содержание кремния до 0.08% Si, марганца до 0.001% Mn и алюминия до 0.001% Al. Спектральным методом анализа выявлено низкое содержание серы не более 0.007% S и завышенное содержание примеси фосфора около 0.17% P. Данный показатель по фосфору в восемь раз превышает пороговое значение для высококачественных углеродистых сталей.

На других участках клинка наблюдаются изменения формы узора булатной структуры как по толщине линий рисунка, так и по морфологии их расположения. Визуально наблюдается плавный переход от сетчатого к волнистому, от волнистого к струйчатому (полосчатому). Это косвенно свидетельствует о том, что химический состав на этих участках может отличаться от исходного, определенного у основания первой трети клинка.

Вторая треть клинка шамшир № 11 сформирована из элементов волнообразных линий с завитушками в виде водоворотов. В локальных участках волнистые линии прерываются и изгибаются. В некоторых местах наблюдаются только строчки в виде светлых штрихов. Именно эти элементы булатной структуры визуально придают волнистому узору эффект текучести. Рассмотренный участок второй трети булатной макроструктуры представляет собой характерный волнистый узор (Илл. 60).



Илл. 60. Участок второй трети клинка шамшир № 11.

Химический состав на локальном участке второй трети клинка шамшир № 11 исследовали с помощью стационарного эмиссионного спектрометра «АРГОН-5СФ». Данные усреднялись по значениям двух прожигов. Среднее массовое содержание углерода составило – 1.53% С, обнаружено низкое содержание примесей кремния – 0.065% Si, марганца – 0.004% Mn и серы – 0.007% S. Содержание фосфора – 0.166% P близко по значению к данным химанализа первой трети клинка шамшир № 11, выполненного на портативном оптико-эмиссионном анализаторе Q4 Mobile. Да и в целом значения двух методов статистически согласуются. В данном случае можно предположить, что происхождение сетчатого и волнистого булатного узора по химическому составу идентично.

В макроструктуре третьей трети клинка шамшир № 11 наблюдаются элементы булатной структуры типа струйчатость, представляющие собой короткие волнистые черточки в виде штрихов, направленные вдоль клинка (Илл. 61).

<i>третья треть</i>		<i>Персидский шамшир из коллекции Д. Суханова</i>					
	<i>Прожиг (3)</i>	<i>Прожиг (4)</i>	C [%]	P [%]	S [%]	Si [%]	Mn [%]
Σ	1.315	0.122	0.003	0.048	0.007		
(3)	1.331	0.117	0.001	0.048	0.007		
(4)	1.300	0.127	0.006	0.048	0.007		
	V [%]	Ni [%]	Cu [%]	Cr [%]	Mo [%]		
Σ	0.009	0.022	0.073	0.003	0.005		
(3)	0.009	0.022	0.073	0.003	0.005		
(4)	0.009	0.022	0.073	0.004	0.005		

Диаметр отпечатка прожига 8 мм

Илл. 61. Участок третьей трети клинка шамшир № 11.

На этом фрагменте с трудом идентифицируются зачатки элементов булатной структуры в виде прядей и спиралей. Считается, что такой узор относится к низшим сортам булатной стали.

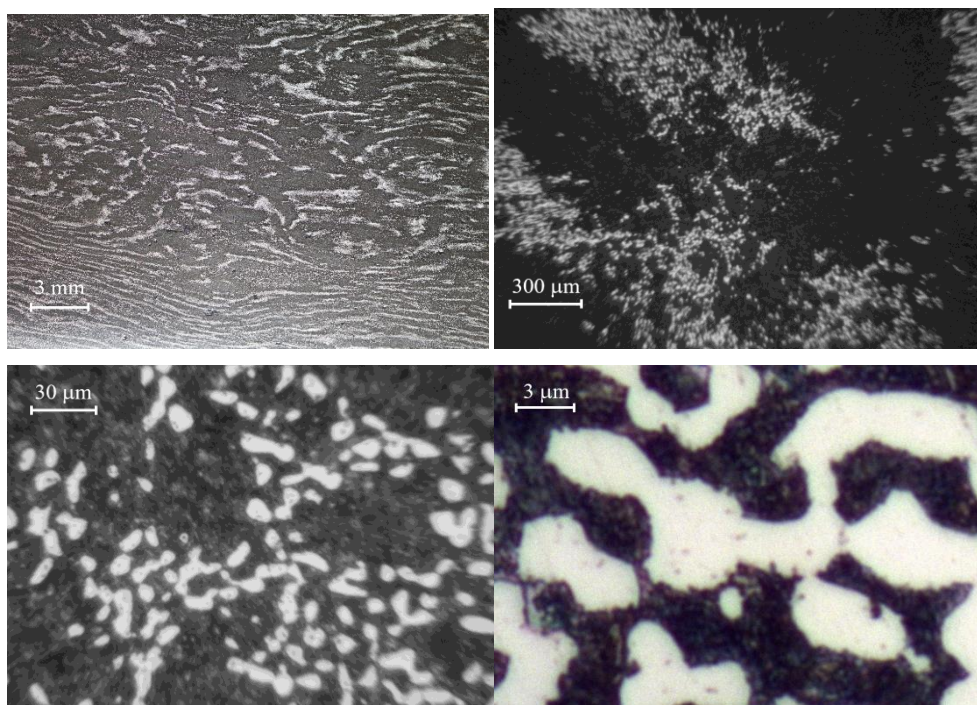
Этот вывод не согласуется с данными по химическому составу локального участка, выбранного в третьей трети клинка шамшир № 11. Во-первых, среднее массовое содержание углерода более 1.3% С, характерно для высокоуглеродистых сталей Индо-Персидского региона. Во-вторых, на этом

участке обнаружены низкие значения по примесям кремния – 0.048% Si, марганца – 0.007% Mn и серы – 0.003% S. Содержание фосфора – 0.122% P достаточно для слоистой сегрегации карбидных фаз в трооститной матрице. Можно смело утверждать, что по химическому составу данный участок незначительно отличается от первой и второй трети клинка шамшир № 11.

В целом складывается интересная картина. Узорчатая поверхность в первой трети представляет собой аналог сетчатых структур. Для второй трети характерен волнистый узор из-за визуального эффекта текучести прерывистых светлых карбидных линий в стальной матрице. Струистый участок третьей трети имеет невзрачный полосчатый узор из прерывистых линий. Таким образом, каждая треть клинка шамшир № 11 состоит из разных по макроструктуре узорчатых участков поверхности, которые должны были бы обладать разным составом и свойствами.

Анализ структуры проводили по методике, описанной в «Материалах и методах исследования». На фотографиях узорчатых макро- и микроструктур наблюдаются темные участки предположительно трооститного типа и светлые линии (сплошные либо прерывистые), состоящие из глобулярных карбидов. Размеры видимых глазом темных участков троостита местами достигают от 300 мкм до 3 мм (Илл. 62а и 62б). Разброс по размерности колоссальный, но именно темные участки трооститной матрицы являются той фоновой основой, на которой проявляются светлые узоры карбидной неоднородности.

Светлые участки булатной структуры представляют собой обособленные глобулярные карбиды цементита в стальной матрице (Илл. 62в и 62г). На поверхности клинка, из-за разности угла наклона к гибитусной плоскости карбидного слоя, проекции их на плоскость будут совершенно случайны по виду и размерности. На первый взгляд кажется, что булатная структура не упорядочена. На самом деле полосчатая булатная структура подчиняется жестким правилам проецирования топографического контура на плоскость клинка.



Илл. 62. Структура клинка шамшир № 11.
а, б – макроструктура; в, г – микроструктура.

Шамшир № 12 с эфесом афганского типа. Иран, XVIII в. (Илл. 63-66).
Общая длина 970 мм, длина клинка 820 мм, ширина 35 мм, толщина 6.0 мм,
прогиб 80 мм.



Илл. 63. Шамшир № 12 с эфесом афганского типа. Иран, XVIII век.
Коллекция Д. А. Суханова.

Масса клинка с эфесом 0.91 кг. На первой трети правой стороны клинка
выгравирован картуш с надписью «О! Удовлетворяющий нужды!». Картуш
выполнен в характерном для иранского региона стиле конца XVIII - начала XIX
века, по контуру инкрустирован золотой проволокой.



Илл. 64. Спинка клинка и картуш.



Илл. 65. Картуш.

Рукоять клинка представляет собой полый цельнометаллический эфес, изготовленный из железа.

Отличительной особенностью эфеса является крестовина с загнутыми в сторону клинка концами, стилизованными в виде голов драконов, центральная часть бочковидной формы.

Навершие выполнено в виде закрытой полый чаши с выступом в центре и ажурной петелькой для темляка.

Эфес украшен традиционным прорезным и гравированным орнаментом высокого качества в виде геометрических фигур и линий. В середине гарды находится клепка для фиксации эфеса и массива клинка.



Илл. 66. Шамшир № 12 с эфесом афганского типа. Иран, XVIII в. Рукоять.
Коллекция Д. А. Суханова.

Узорчатая поверхность второй трети клинка представляет собой совокупность элементов булатной структуры в виде широких волнистых линий и замкнутых спиралей, которые визуальюно придают исследованному участку характерный сетчатый стиль (Илл. 67).




Илл. 67. Участок второй трети клинка шамшир № 12. Иран, XVIII век.

На других участках клинка наблюдаются изменения в морфологии узора как по толщине, так и по их расположению. И все же сетчатый характер узора сохраняется по всей длине клинка, с небольшими отклонениями по морфологии и стилистике.

Химический состав клинка шамшир № 12 с эфесом афганского типа выявляли на разных участках с помощью как портативного оптико-эмиссионного спектрометра типа Q4 Mobile, так и стационарного спектрометра АРГОН-5СФ.

Среднее содержание углерода с учетом двух методов исследования составило 1.72% С. Примесь фосфора на разных участках клинка различалась по содержанию, но в среднем на основании двух методик измерения составила 0.11% Р. Обнаружено низкое содержание кремния – 0.076% Si, марганца – 0.032 % Mn, серы – 0.018% S, меди – 0.028% Cu и кобальта – 0.011% Co. Все остальные легирующие элементы не превышали тысячных долей процента (Илл. 68).

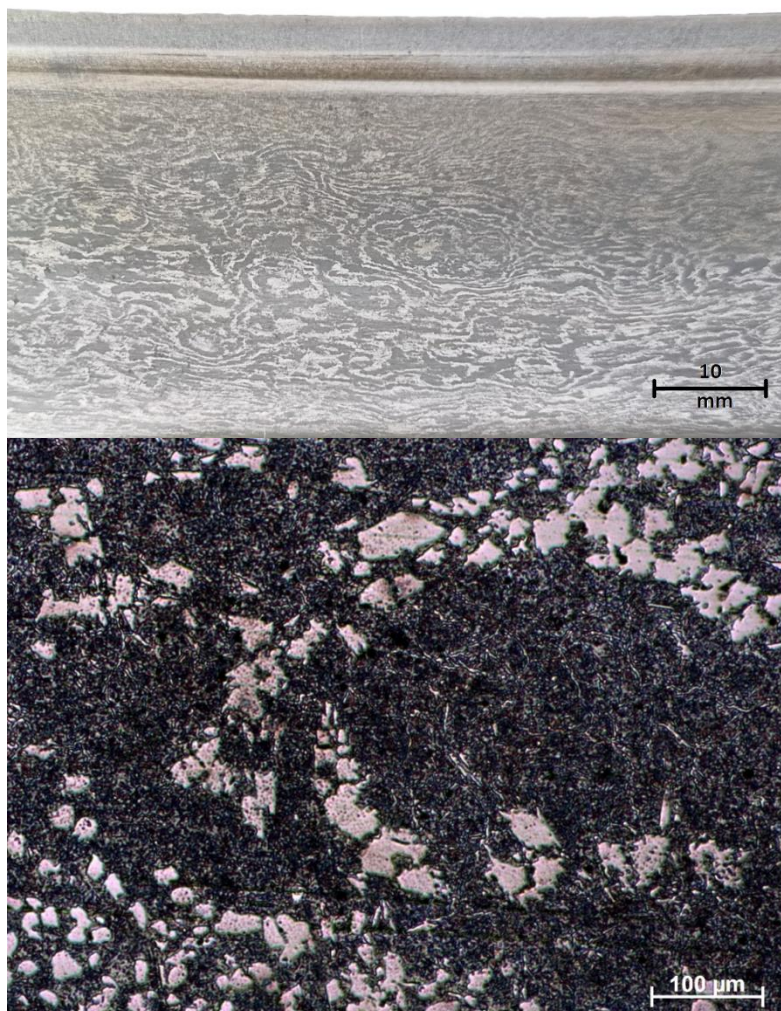


	C [%]	P [%]	S [%]	Si [%]	Mn [%]	Cr [%]	Ni [%]	Cu [%]
Σ	1.720	0.110	0.018	0.076	0.032	0.003	0.002	0.028
(1)	1.730	0.141	0.009	0.060	0.004	0.003	0.002	0.027
(2)	1.710	0.078	0.027	0.091	0.059	0.003	0.002	0.029
	V [%]	Ti [%]	W [%]	Mo [%]	Nb [%]	Al [%]	Co [%]	As [%]
Σ	0.005	0.002	0.009	0.005	0.009	0.005	0.011	0.003
(1)	0.005	0.002	0.004	0.005	0.009	0.005	0.011	0.003
(2)	0.005	0.002	0.014	0.005	0.009	0.005	0.011	0.003

(1) – портативный спектрометр Q4 Mobile; (2) – стационарный спектрометр АРГОН-5СФ

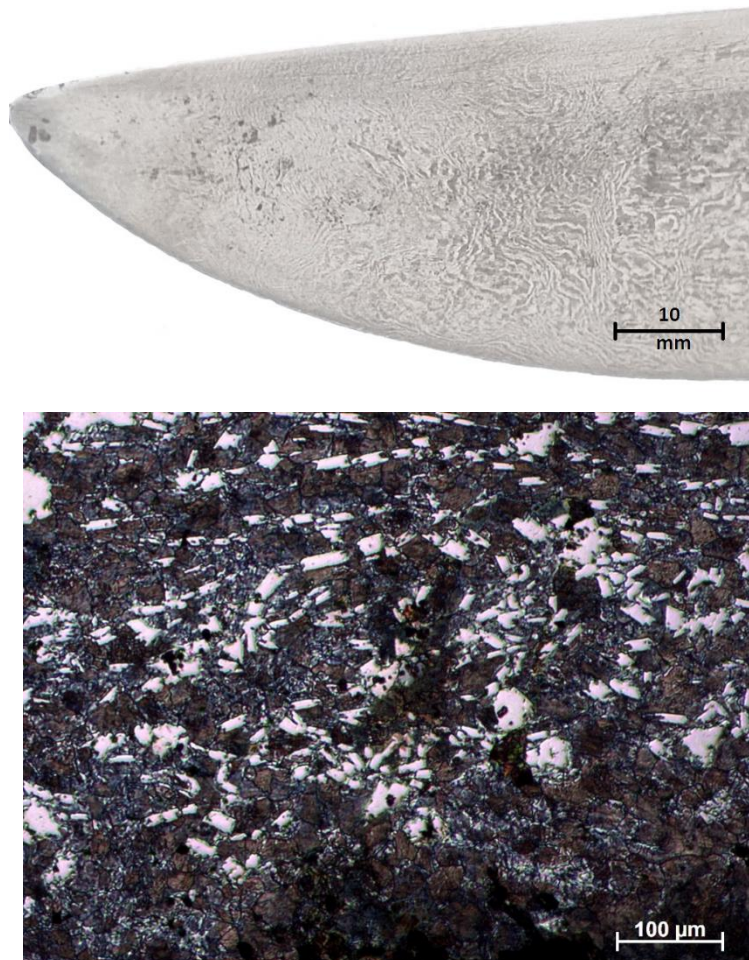
Илл. 68. Участки прожигов и химический состав клинка.

Анализ микроструктуры проводили на более плоских участках поверхности клинка по методике, описанной в «Материалах и методах исследования». Светлые полосы представляют собой конгломераты обособленных карбидов цементита. Выявлено, что вихри карбидных слоев, создающих узор, на поверхности участка второй трети сабельного клинка в разы больше, чем на кончике острия. На фотографиях структур отчетливо видно, что формы булатного узора формировались карбидами, у которых морфология и размеры отличаются друг от друга. На участке второй трети клинка наблюдаются аномально крупные избыточные карбиды размерами от 10 до 40 мкм. Они имеют форму неправильных объемных геометрических фигур округлой формы (Илл. 69).



Илл. 69. Макроструктура второй трети клинка.

На участке третье трети клинка, на острие, наблюдаются более мелкие карбиды избыточного цементита. Форма карбидов имеет вид неправильных продолговатых карбидов. В длину они достигают от 10 мкм до 30 мкм, а в ширину не превышают 5 мкм (Илл. 70).



Илл. 70. Макроструктура третьей трети клинка.

Морфология карбидной фазовой структуры, как известно, зависит не только от термомеханической обработки, но и от количественного содержания примесей на данных конкретных локальных участках. В принципе понятно, почему химический состав этого клинка имеет такой разброс по постоянным примесям.

Тальвар. Индия, XIX в. (Илл. 71 и 72). Общая длина 910 мм, длина клинка 810 мм, ширина 35 мм, толщина 5.0 мм, прогиб 40 мм. Масса клинка с эфесом 1.05 кг. В первой трети клинка расположено рикассо, заточка клинка выполнена «клином» у режущей кромки, что характерно для сабель Индостана. Рукоять цельнометаллическая с прямой крестовиной и защитной дужкой S-образной формы, центральная часть прямая с выраженным расширением в центре, окончание дискообразное. Рукоять украшена серебром, растительным орнаментом в технике кофтгари.



Илл. 71. Тальвар. Индия, XIX в. Коллекция Д. А. Суханова.



Илл. 72. Тальвар. Индия, XIX век. Рукоять. Коллекция Д. А. Суханова.

Химический состав первой трети клинка тальвар определяли с помощью портативного спектрометра типа Q4 Mobile. Содержание углерода – 1.96% C. Примесь кремния находится в десятых долях около 0.26% Si. Обнаружено достаточно низкое содержание марганца до 0.01% Mn и серы до 0.004% S. Содержание фосфора составило около 0.09% P (Илл. 73).

		Индийский тальвар из коллекции Д. Суханова				
		C [%]	P [%]	S [%]	Si [%]	Mn [%]
Σ		2.094	0.110	0.001	0.045	0.006
(1)		2.120	0.113	0.001	0.045	0.006
(2)		2.069	0.107	0.001	0.045	0.006
		V [%]	Ni [%]	Cu [%]	Cr [%]	Mo [%]
		Σ	0.005	0.000	0.003	0.000
(1)		0.005	0.001	0.003	0.000	0.000
(2)		0.005	0.000	0.004	0.000	0.000

Илл. 73. Химический состав. Тальвар. Индия, XIX в.
Коллекция Д. А. Суханова.

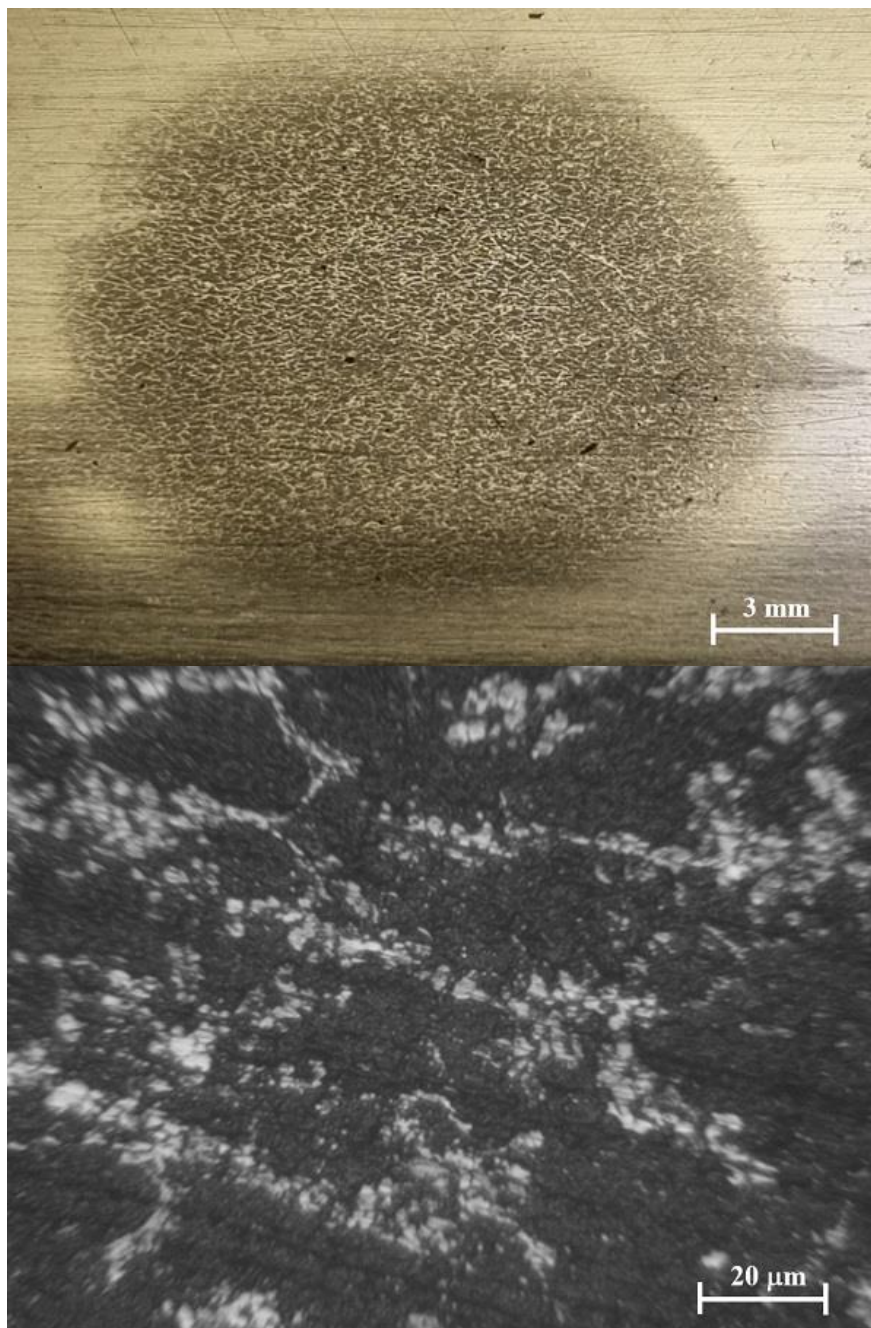
Химический состав в третьей трети клинка тальвар дополнительно исследовали с помощью стационарного эмиссионного спектрометра «АРГОН-5СФ». Данные усреднялись по значениям двух прожигов. Среднее массовое содержание углерода составило – 2.094% C, обнаружено низкое содержание примесей кремния – 0.045% Si, марганца – 0.006% Mn и серы – 0.001% S. Содержание фосфора – 0.11% P близко по значению к данным химанализа, выполненного на портативном оптико-эмиссионном анализаторе Q4 Mobile. Да и в целом значения двух методов статистически согласуются, кроме примеси кремния в основании клинка тальвар. Состав клинка близок к пограничной зоне между сталью и чугунами.

Что характерно для этого клинка? Узор карбидной неоднородности на поверхности не проявляется обычными способами травления в растворах слабых кислот. Предмет вызвал интерес для дальнейшего изучения, так как химия соответствовала высшим сортам булата, а макроструктура нет.

На клинке отчётливо видно, что обособленные карбиды цементита располагаются по границам бывших аустенитных зерен. Мелкая цементитная сетка деформирована в направлении вытяжки клинка. Ее размеры в среднем

не превышают 50 мкм. Известно, что человеческий глаз начинает различать узор только с размеров, превышающих 200 мкм.

В данном конкретном случае очертания узора цементитной сетки различимы только под микроскопом (Илл. 74).



Илл. 74. Макроструктура. Тальвар. Индия, XIX в.
Коллекция Д. А. Суханова.

Основным критерием атрибуции булатов, как нам известно, является узор, но на этом клинке тальвара он полностью отсутствовал. По химическому составу он соответствует клинкам, произведенным тигельным способом до первой половины XIX века, но по структуре узорчатой булатной поверхности этого соответствия, как мы видим, нет.

Ханджар (бебут). Персидский Курдистан, XVIII-XIX вв. (Илл. 75-77).
Общая длина 350 мм, длина клинка 240 мм, ширина 40 мм, прогиб 10 мм).
Масса клинка с эфесом 0.17 кг. Клинок представляет собой изогнутое обоюдоострое лезвие с центральным хребтом.

Кинжалы ханджар (бебут) бытовали на территории Персидского Курдистана, западной окраины Персидского государства.

При визуальном осмотре установлено, что лезвие обоюдоострого кинжального клинка изготовлено из одного слитка-вутца с помощью фасонной кузнечнойковки. Сварочных швов как в продольном, так и в поперечном направлении не обнаружено. К лезвию со стороны основания прикреплён хвостовик с помощью клепочного соединения.



Илл. 75. Ханджар (Бебут). Персидский Курдистан, XVIII-XIX вв.
Коллекция Д. А. Суханова.



Илл. 76. Крепление хвостовика.



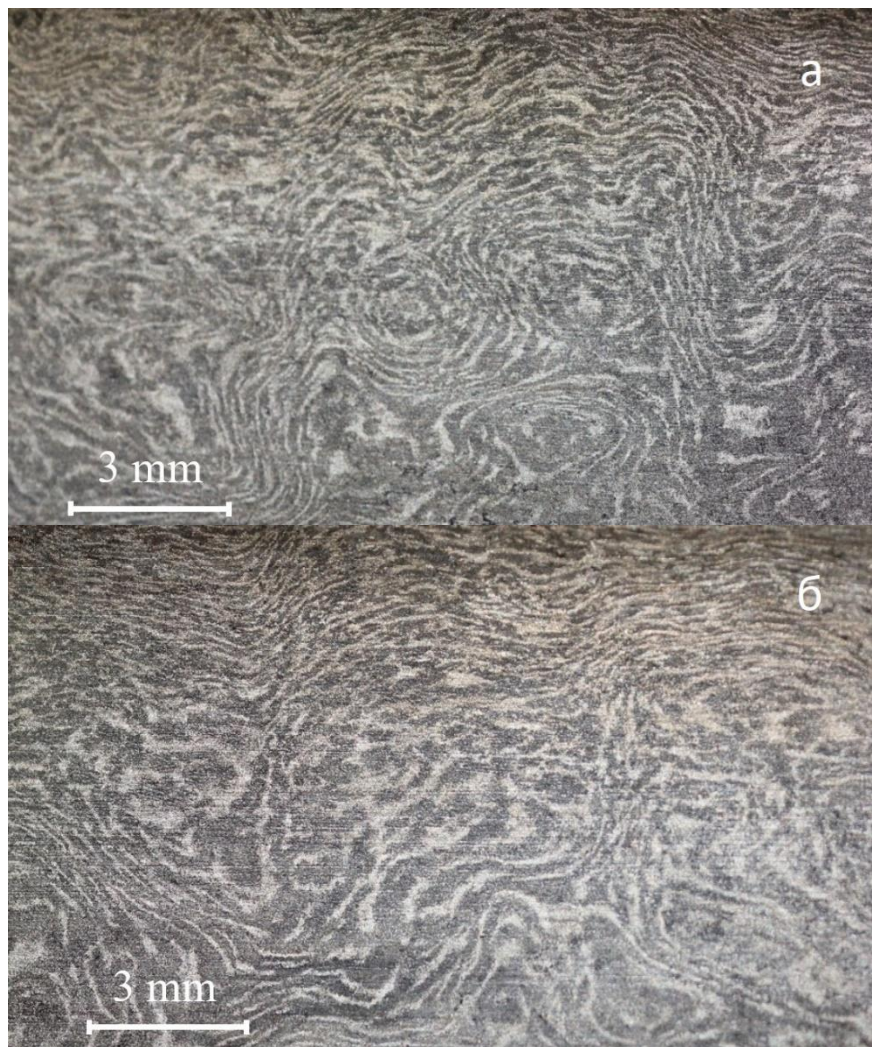
Илл. 77. Ханджар (Бебут). Персидский Курдистан, XVIII-XIX вв.
Рисунок булата на клинке. Коллекция Д. А. Суханова.

Химический состав клинка ханджар (бебут) определяли с помощью портативного оптико-эмиссионного искрового спектрометра типа Q4 Mobile. Среднее массовое содержание углерода составило 1.64% С. В клинке практически отсутствуют остатки продуктов раскисления кремнием до 0.028% Si, марганцем до 0.016% Mn. Спектральным методом химического анализа обнаружено пониженное содержание серы 0.006% S и высокое содержание примеси фосфора 0.236% P. Примесь фосфора в десять раз превышает пороговое значение для высококачественных углеродистых сталей (Илл. 78).

Курдский ханджар из коллекции Д. Суханова.					
	C [%]	P [%]	S [%]	Si [%]	Mn [%]
Σ	1.664	0.236	0.006	0.028	0.016
(1)	1.652	0.230	0.005	0.029	0.016
(2)	1.676	0.242	0.007	0.027	0.016
	Cr [%]	Ni [%]	Co [%]	Cu [%]	Fe [%]
Σ	0.010	0.030	0.040	0.069	97.89
(1)	0.011	0.034	0.041	0.069	97.90
(2)	0.010	0.025	0.038	0.069	97.88

Илл. 78. Химический состав.

На клинке видна макроструктура в виде волнистых линий как у основания, так и на кончике. Волнистый узор — один из самых распространенных в Индо-Персидском регионе. Он является основой для преобразования в другие, более сложные узоры. По всей рабочей поверхности клинка грунт имеет темно-серый оттенок (перлитная составляющая), рисунок же узора представляет собой светлые линии (цементитная составляющая). Более наглядно формы узорчатой поверхности можно рассмотреть по фотографиям макроструктур, сделанным на локальных участках нижней части второй трети кинжального клинка (Илл. 79а) и верхней части третьей трети кинжального клинка (Илл. 79б).



Илл. 79. Макроструктура.

На фотографиях макроструктур видно, что булатные узоры отличаются друг от друга как по морфологии, так и по размерности. Причем размеры отдельных элементов булатных структур могут отличаться в 2-3 раза. Такое различие по размерности отдельных элементов макроструктуры происходит, вероятно, из-за отличий в дисперсности полосчатых структур на разных участках трети клинка. Морфология булатных узоров по сечению клинка крайне неоднородна. На разных участках трети клинка рисунок узора меняется от сетчатого с элементами естественных колен (Илл. 79а) до волнистого с элементами свилеватости (Илл. 79б). В целом можно предположить, что булатный узор формировался в процессе фасоннойковки клиночной заготовки с более крупным волнистым рисунком, а в срединной части клинка этот волнистый рисунок узора был преобразован в более сложные узоры.

Кард. Иран, XVIII в. (Илл. 80-83). Общая длина 236 мм, длина клинка 140 мм, ширина у bolstera 20 мм, толщина 3 мм. Масса клинка с эфесом 0.09 кг. На первой трети клинка сделана прорезь размером 40 мм, внутри которой расположены 15 стальных шариков диаметром 2 мм. Bolster выполнен из булатной стали, инкрустированной по краям золотом. Osteологический материал рукояти представляет собой две половинки моржовой кости. Стальная рукоять клинка украшена золотой инкрустацией всечкой.



Илл. 80. Кард. Иран, XVIII в. Коллекция Д. А. Суханова



Илл. 81. Рукоять.



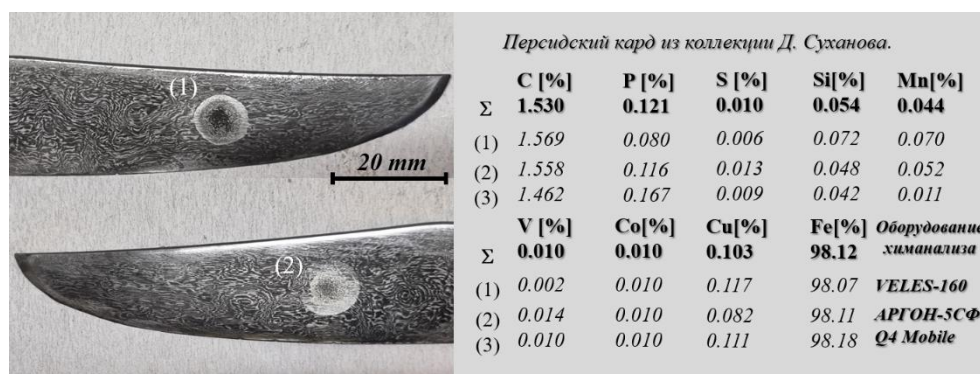
Илл. 82. Кард. Иран, XVIII век. Рисунок булата на клинке.
Коллекция Д. А. Суханова.



Илл. 83. Кард. Иран, XVIII век. Рисунок булата на больстере.
Коллекция Д. А. Суханова.

Химический анализ проводили с помощью оптико-эмиссионных спектрометров типа портативного Q4 Mobile, стационарных АРГОН-5СФ и VELES-160. На каждом устройстве прожиг осуществлялся по одному разу. Исследования проводили с целью выяснения статистического совпадения результатов.

По данным химического анализа выявлено, что булатный нож кард в среднем содержит: 1.53% С, 0.054% Si, 0.044% Mn, 0.01% S, 0.121% P, 0.01% V, 0.01% Co, 0.103% Cu. Остальные химические элементы не превышали тысячных долей процента. Специальных химических элементов в ножевом клинке не было обнаружено, что лишний раз подтверждает теорию о чистоте старинного булата по примесям, кроме повышенного содержания фосфора. Примесь фосфора в 6 раз превышала допустимые значения (Илл. 84).



Илл. 84. Химический состав и прожиги.

Химический состав ножевого булатного клинка полностью соответствует нашим представлениям о времени его производства — датировка по химии предполагает возраст не старше конца XVIII века.

Историография исследований химического состава булатных сталей. Впервые химический состав персидского сабельного клинка с сетчатым узором из своей коллекции определил Н. Т. Беляев (Belaiew 1918): С=1.49%, Si=0.005%, Mn=0.08%, S=0.05%, P=0.1%. По примесям кремния, марганца и серы, составляющим сотые и тысячные доли процента, клинок считается высокочистым. По содержанию углерода видно, что клинок выполнен из высокоуглеродистой стали с повышенным содержанием примеси

фосфора. Содержание фосфора завышено не менее чем в 5 раз относительно допустимых значений.

Одним из первых, кто провел комплексные исследования химического состава нескольких булатных сабельных и кинжальных клинков из частной коллекции Г. Мозера, был австрийский металлург Б. Шокке (Zschokke 1924):

1) кинжал № 3 (C=1.677%, Si=0.015%, Mn=0.056%, S=0.007%, P=0.086%);

2) кинжал № 5 (C=1.575%, Si=0.011%, Mn=0.03, S=0.018%, P=0.104%);

3) сабля № 7 (C=1.874%, Si=0.049%, Mn=0.005%, S=0.013%, P=0.127%);

4) сабля № 8 (C=0.596%, Si=0.119%, Mn=0.159%, S=0.032%, P=0.252%);

5) сабля № 9 (C=1.342%, Si=0.062%, Mn=0.019%, S=0.008%, P=0.108%);

6) сабля № 10 (C=1.726%, Si=0.052%, Mn=0.028%, S=0.020%, P=0.172%).

Повышенное содержание углерода он объясняет тем, что избыточный цементит придает большую выразительность узору, а также влияет на повышение твердости, не требующей закалки при высоких скоростях охлаждения. Никаких специальных элементов найдено не было, кроме повышенного содержания фосфора. Б. Шокке был один из первых, кто указывал на то, что благоприятным условием для получения классического коленчатого узора следует считать наличие в химическом составе булатов повышенного содержания фосфора, хоть он и ухудшает конструктивные свойства.

Группа американских исследователей в конце XX века взялась перепроверить данные, опубликованные в работе Б. Шокке. Используя более современное оборудование, они точнее определили химический состав и изучили микроструктуру булатных сабельных клинков № 7, 9 и 10 из коллекции Г. Мозера.

Химический состав и микроструктура старинных булатных клинков представлены в работе Дж. Верховена с соавторами (Verhoeven и др. 1998):

1) клинок № 7 (C=1.71%, Si=0.035%, Mn=0.015%, S=0.009%, P=0.101%, Ni=0.06%, Cu=0.175%, V=0.014%);

2) клинок № 9 (C=1.41%, Si=0.05%, Mn=0.01%, S=0.006%, P=0.098%, Ni=0.04%, Cu=0.09%, V=0.005%);

3) клинок № 10 (C=1.79%, Si=0.05%, Mn=0.03%, S=0.016%, P=0.133%, Ni=0.07%, Cu=0.183%, V=0.027%).

Сравнивая данные по химическому анализу, можно заметить серьезные различия по содержанию углерода в образце № 7: по Б. Шокке (C=1.874%) и по Дж. Верховену (C=1.71%). По образцам № 9 и 10 содержание углерода немного увеличивается по своим значениям и только в образце № 7 снижется. Объяснение может быть только одно - неоднородность распределения примесей по сечению сабельного клинка. Смена участка прожига (или забора материала) может дать другие значения.

Булатный сабельный клинок генерал-фельдмаршала Б. П. Шереметьева (1652-1719 гг.), из собрания Государственного Эрмитажа, был исследован профессором И. С. Гаевым (Гаев 1956). Химический состав булатной стали: C=1.97%, Si=0.06%, S=0.014%, P=0.136%, следы Mn. Никаких легирующих примесей в булатной стали не обнаружено. Объемная доля избыточных карбидов составляла около 18%. В современной металлургии сталь с таким содержанием углерода (1.97%) и фосфора (0.136%) считается хрупкой, технологически трудно обрабатываемой, хладноломкой. Однако еще в конце XVII - начале XVIII века из такой стали восточные кузнецы-оружейники могли изготовить сабельный клинок, испытывающий знакопеременные ударные нагрузки.

Итальянский профессор Карло Панцери (Panseri 1965) исследовал структуру и химический состав двух восточных сабельных клинков. В его исследовании под № 1 представлена турецкая сабля килич, датируемая XVI-XVII вв., с массивным широким клинком сильной кривизны, изгиб начинается с конца второй трети клинка. Верхняя треть клинка усилена елманью, заточенной с двух сторон. По данным автора, узор булатной структуры типичен для Кара-Хорасан, фон травимости черный со струистым светлым узором как у текущей воды. По химическому составу клинок соответствовал

высокоуглеродистой стали с повышенным содержанием фосфора без следов раскисления: C=1.62%, Si=0.027%, Mn=следы; S=0.007%, P=0.087%. Под № 2 представлена клиночная полоса, представляющая собой персидскую саблю шамшир, с узким клинком сильной кривизны без елмани и рикассо. Волнистый узор булатной структуры, по данным автора, соответствовал Кум-Хинди. По химическому составу клиночная сталь отличается от предыдущей содержанием постоянных примесей: C=1.42%, Si=0.11%, Mn=0.13%, S=0.038%, P=0.035%. Примеси кремния и марганца, превышающие 0.1%, свидетельствуют о возможном процессе раскисления тигельного расплава либо использовании импортного европейского железа. Содержание ликватов, серы и фосфора допустимо как в современных легированных сталях. Хотя в данном конкретном случае их коллективное влияние на образование карбидной полосчатости будет огромно.

В диссертационной работе Б. Г. Амаглобели (Амаглобели 1984) представлены данные по химическому составу постоянных примесей сабельных клинков из Музея истории Азербайджана и экспонатов из частных коллекций. Химический состав экспонатов из Государственного музея Грузии не был представлен в работе автора в полном объёме, так как содержание углерода в стали, рассчитанное по методу Розиваля, даёт не совсем точные данные, а выводы носят в большей степени оценочный характер. Химический состав сабельных экспонатов из Музея истории Азербайджана:

1) инвентарный № 316 (C=1.45%, Si=0.238%, Mn=0.115%, S=0.017%, P=0.219%);

2) инвентарный № 1531 (C=1.41%, Si=0.119%, Mn=0.171%, S=0.012%, P=0.199%);

3) инвентарный № 1454 (C=1.51%, Si=0.309%, Mn=0.205%, S=0.008%, P=0.209%);

4) инвентарный № 301 (C=1.24%, Si=0.381%, Mn=0.215%, S=0.017%, P=0.131%);

5) неопределенно № 13... (C=1.47%, Si=0.219%, Mn=0.221%, S=0.012%, P=0.147%).

Химический состав булатных экспонатов из частных коллекций:

- 1) сабля шамшир (C=1.46%, Si=0.109%, Mn=0.105%, S=0.005%, P=0.211%);
- 2) сабля шамшир (C=1.37%, Si=0.105%, Mn=0.027%, S=0.006%, P=0.105%);
- 3) неопределенно (C=1.38%, Si=0.390%, Mn=0.018%, S=0.017%, P=0.113%);
- 4) неопределенно (C=1.50%, Si=0.149%, Mn=0.012%, S=0.012%, P=0.015%);
- 5) неопределенно (C=1.21%, Si=0.219%, Mn=0.016%, S=0.009%, P=0.041%);
- 6) кавказский нож (C=1.17%, Si=0.238%, Mn=0.017%, S=0.022%, P=0.039%);
- 7) аджарский кинжал (C=1.41%, Si=0.109%, Mn=0.124%, S=0.007%, P=0.057%);
- 8) аджарский кинжал (C=1.59%, Si=0.115%, Mn=0.151%, S=0.012%, P=0.127%).

Все предметы из Музея истории Азербайджана являются клинками из высокоуглеродистой стали с очень высоким уровнем содержания фосфора. Более того, в них обнаружены продукты раскисления расплава. Можно заключить, что они изготовлены не ранее второй половины XIX века, когда массово в шихте тигельной плавки начали применять сталь английской, шведской или русской выделки. Это относится также и к сабельному клинку и двум аджарским кинжалам из частных коллекций.

Пять экспонатов из частной коллекции грузинских коллекционеров были изготовлены, вероятно, в другой период, когда начали добавлять в тигельную плавку чугуна из доменных печей. На это указывает повышенное содержание примеси кремния, который в значительной мере присутствует именно в чугунах, полученных доменным способом с применением каменного угля. Это соответствует европейскому методу выплавки чугуна не ранее середины XIX века. Именно тогда Ост-Индская компания появилась на Ближнем Востоке со своим насаждением технологического прогресса.

Найденный при раскопках сабельный клинок из Центральной Азии, исследованный Анной Фейербах (Feuerbach 2000), имел следующий химический состав: C=1.24%, Si=0.08%, Mn <0.01%, S=0.011%, P=0.143%, Ni <0.01%, Cu=0.1%, V=0.012%, Nb=0.06%. В статье отмечалось, что клинок имел булатную структуру, но какую не уточнялось. По химическому составу он соответствует высокоуглеродистой стали с повышенным содержанием примеси фосфора, без использования раскислителей при тигельной плавке.

Американский ученый Дж. Верховен упоминает в своих исследованиях химический состав старинных ножей типа кард при сравнении с современными клинками, изготовленными по булатным технологиям его коллегой А.Н. Пендрей (Verhoeven и др. 1998; Verhoeven и др. 2018):

1) C=1.65%, Si=0.006%, Mn=0.02%, S=0.012%, P=0.227%, Ni=0.02%, Cu=0.07%;

2) C=1.64%, Si=0.046%, Mn=0.02%, S=0.008%, P=0.162%, Ni=0.018%, Cu=0.078%;

3) C=1.49%, Si=0.05%, Mn=0.01%, S=0.009%, P=0.144%, Ni=0.02%, Cu=0.09%, V=0.006%;

4) C=1.51%, Si=0.047%, Mn=0.01%, S=0.005%, P=0.095%, Ni=0.01%, Cu=0.033%, V=0.004%.

Эти высокоуглеродистые клинки ножей с повышенным содержанием примеси фосфора являются типичными представителями Индо-Персидской булатной стали, с характерными булатными узорами. Такая булатная сталь содержит низкие показатели легирующих примесей в сотых и тысячных долях процента, которыми можно пренебречь при учете их влияния на структуру и механические свойства.

Структура и химический состав булатного клинка типа шамшир, содержащего углерода на нижнем пределе около 1.0%, представлены в работе (Peterson и др. 1990). Химический состав был определен на двух разных участках клинка: (А) C=1.01%, Si=0.1%, Mn=0.05%, S=0.013%, P=0.025%, Ni=0.01%, Cu=0.04%, Cr <0.01% и (В) C=1.04%, Si=0.12%, Mn=0.06%, S=0.016%, P=0.042%, Ni=0.01%, Cu=0.05%, Cr <0.01%. Восточный шамшир является наглядным примером того, как с объемной долей избыточных

карбидов не более 5% и отсутствием лигатуры можно получить узорчатую булатную структуру. По приведенным данным видно, что на участке, где содержание примеси фосфора меньше в процентном соотношении, обнаруживается меньше избыточного. Даже незначительное отклонение его количества от нормы приводит к резкому увеличению ликвации углерода в тигельной стали. Наглядно такой процесс можно наблюдать по светлым полосам травимости реактивом Стэда. В этих зонах, обогащенных примесями, формируется карбидная полосчатость.

В исследовательском технологическом центре «Аусфер» (г. Магнитогорск) совместно с Институтом физики металлов Уральского отделения РАН (г. Екатеринбург) были проведены исследования состава и структуры холодного оружия из частных коллекций, имеющих внешние признаки булатной стали (Счастливец и др. 2013). По мнению авторов, исследования были необходимы для того, чтобы убедиться на конкретном примере, не содержала ли булатная сталь каких-либо загадочных компонентов в своем составе. Булатная структура двух сабельных клинков представляла собой карбида-трооститную полосчатость.

Для исследований ими были выбраны персидская сабля с клинком типа шамшир, твердостью 43HRC и химическим составом: C=1.44%, Si=0.065%, Mn=0.01%, S=0.006%, P=0.135%, Ni=0.04%, Cu=0.07%, V=0.008%, а также индийская сабля с клинком типа тальвар, твердостью 44HRC и химическим составом: C=1.76%, Si=0.035%, Mn=0.01%, S=0.009%, P=0.13%, Ni=0.04%, Cu=0.09%, V=0.015%. Авторы делают вывод о том, что старинное оружие было изготовлено из чистых высокоуглеродистых сталей с повышенным содержанием фосфора. По их мнению, наблюдаемый на клинках узор образован кристаллами цементита в стальной матрице. Такой цементит является избыточной фазой в этих заэвтектоидных булатных сталях.

Химический состав девяти сабельных клинков, исследованных И. Н. Тагановым и Б. Д. Калининым, представлены в работе (Калинин, Таганов 2009):

1) Т-1: C=1.55%, Si=0.204%, Mn=0.043%, S=0.015%, P=0.117%, Ni=0.096%, Cu=0.193%;

2) Т-2: C=1.7%, Si=0.098%, Mn=0.041%, S=0.007%, P=0.045%, Ni=0.06%, Cu=0.08%;

3) Т-3: C=1.45%, Si=0.344%, Mn=0.011%, S=0.005%, P=0.028%, Ni=0.047%, Cu=0.041%;

4) Т-4: C=1.16%, Si=0.158%, Mn=0.028%, S=0.005%, P=0.052%, Ni=0.04%, Cu=0.099%;

5) Т-5: C=0.92%, Si=0.157%, Mn=0.136%, S=0.004%, P=0.093%, Ni=0.029%, Cu=0.07%;

6) Ш-1: C=1.7%, Si=0.059%, Mn=0.008%, S=0.023%, P=0.192%, Ni=0.062%, Cu=0.087%;

7) Ш-2: C=1.25%, Si=0.106%, Mn=0.004%, S=0.014%, P=0.14%, Ni=0.038%, Cu=0.078%;

8) Ш-3: C=1.61%, Si=0.201%, Mn=0.029%, S=0.008%, P=0.128%, Ni=0.055%, Cu=0.153%;

9) Ш-4: C=1.78%, Si=0.057%, Mn=0.014%, S=0.01%, P=0.169%, Ni=0.074%, Cu=0.111%.

И. Н. Таганов и Б. Д. Калинин обратили пристальное внимание на необычно большое содержание фосфора в булатах, по сравнению с современными сталями. Исходя из анализа данных по химическому составу, они пришли к выводу, что содержание фосфора в булатах в 5-10 раз превышает концентрацию этого элемента в современных инструментальных и конструкционных углеродистых сталях, имея тенденцию возрастать на величину порядка 0.0075% при увеличении концентрации углерода на каждые 0.1%.

В работах (Суханов 2018; Sukhanov 2018) был показан химический состав и структура фрагмента кончика булатного ножа типа кард. Размер анализируемого образца составлял 15x15x30 мм. Исследования выполнены на оборудовании ЦКП «Структура, механические и физические свойства материалов» Новосибирского государственного технического университета. Среднестатистический химический состав определяли по двум прожигам на оптико-эмиссионном спектрометре типа ARL 3460: C=1.48%, Si=0.08%, Mn=0.005%, S=0.01%, P=0.19%, Al=0.004%, Co=0.015%, V=0.011%. При

анализе химического состава булатной стали особое внимание уделялось обнаружению следов легирующих элементов, которые могли бы положительно влиять на механические свойства. Обнаружено было всего два элемента, которые находились в сотых долях процента: 0.011% ванадия и 0.015% кобальта. Все остальные легирующие элементы не превышали даже тысячных долей процента.

Химический состав булатного сабельного клинка типа шамшир эпохи династии Сефевидов, представленный в работе (Ghasem 2018), содержал: C=1.42%, Si=0.13%, Mn=0.26%, S=0.08%, P=0.14%. Для этого клинка характерно высокое содержание примесей кремния и марганца, соизмеримых с остатками от продуктов раскисления. Скорее всего, данный клинок изготовлен во второй половине XIX века.

Можно предположить, что все эти булатные стали были получены при идентичных условиях тигельной плавки. Однако хочется отметить, что в этих клинках есть существенная разница в количественном присутствии постоянных примесей.

В нашем понимании разница достаточно существенна. Десятые доли процента кремния и марганца могут попасть в состав булатных сталей только при использовании специальных флюсов, закладываемых в тигель совместно с металлической шихтой в нужных пропорциях. Но об этом нужны специальные знания, основанные на процессе раскисления расплава, то есть подавления процесса кипения металла. Поэтому, вероятно, сабельные булатные клинки, в которых кремния и марганца десятые доли процента, являются изделиями, датируемыми более поздним периодом, но в любом случае не ранее второй половины XIX века, когда массово начали применять раскислители при тигельной плавке в виде стекла, кварцевого песка и перекиси марганца.

Сабельные булатные клинки, в которых кремния и марганца сотые доли процента, вероятно, более ранней датировки XVII-XVIII вв. В те времена в качестве флюсов применяли известняковые либо доломитовые смеси, а процессом дегазации расплава служил естественный процесс кипения при тигельной плавке.

Ещё ранее наши предшественники указывали: «С XVII столетия начался упадок стального производства в Индии, и в настоящее время оно там совсем заглохло (вследствие наводнения английскими фабрикантами). Индийская сталь теперяшняго изготовления уже не пользуется такой славой среди азиатских кузнецов...» (Железнов 1906, 2). Можно предположить, что к середине XIX века на Востоке существенную роль в некоторых отраслях торговли и экономики Индии и Ирана играла Ост-Индская компания. Помимо запрета экспорта товаров, включая традиционный тигельный металл, более качественный и дешёвый материал (английская и шведская сталь) и изделия из стали начали поступать в регион. Так, официально запатентованные и появившиеся в 1856 г. бессемеровская и в 1865 г. мартеновская стали (Birnie 2006, 6) сильно изменили ситуацию в регионе. Возросли и поставки импортной стали в Индию (Valpy 1860, 74-75). В ряде промышленных производств в Европе упор был сделан на производство чугунного литья для изготовления пушек. Новые технологии доменного производства региональным властям стран Востока не передавались, за исключением, возможно, Афганистана конца XIX — начала XX века, где с помощью англичан был организован ряд оружейных производств, таких как «Машин-Хана» в мастерских Кабула. Более того, опасность бунтов и восстаний местного населения приводила к запрету владения оружием и, как следствие, естественному снижению его производства. Местные кустарные оружейные мастерские, как правило, были семейными, они не выдерживали конкуренции с мануфактурным производством и запретительными мерами. Постепенно лучшие образцы восточного клинкового оружия из булатной и дамасской стали уступили своё место европейским клинкам из бессемеровской стали¹, более

¹ Бессемеровский процесс производства стали — метод передела жидкого чугуна в сталь путём продувки сквозь него сжатого воздуха, обычного атмосферного или обогащённого кислородом. Процесс был предложен в Англии Генри Бессемером в 1856 году. В том же году была решена проблема краснотомкости бессемеровской стали. Удалось выяснить, что она была вызвана присутствием не серы, а кислорода. Металлурги середины XIX в. знали, как бороться с краснотомкостью — для этого в металл в каком-либо виде добавляли марганец. К счастью, марганец, успешно связывавший в металле серу, точно также связывал и её химический аналог — кислород. Именно «раскисление» металла марганцем вдохнуло новую жизнь в

высокопроизводительной и требующей меньших трудозатрат. Несколько позднее в Индии и Иране стало модным производство подделок и продажа старого оружия для оформления интерьера кабинетов европейцев.

Ценой технологического прогресса стала потеря старинных технологий изготовления булатных сталей, вначале в производстве слитков и заготовок, а позднее и в самой технологииковки и термической обработке клинков. Возможно, что в XIX веке ещё могли сохраняться очаги кустарного производства булатных сталей из старых слитков и новых сортов чугуна, но в исторических источниках таких данных нами не найдено.

Обсуждение экспериментальных исследований. Анализируя экспериментальные данные по химическому составу, было установлено, что булатные клинки можно выделить в четыре основные группы, отличающиеся по содержанию постоянных примесей. В данном случае постоянные примеси являются характерными атрибуционными признаками, наличие которых свидетельствует о разном временном периоде производства булатных сталей либо о региональном происхождении используемой шихты и флюсов при тигельной плавке слитков-вутцев.

В I группу нами отнесены булатные клинки с минимальным содержанием примесей серы, кремния и марганца. Их содержание не превышает сотых долей процента. Примесь фосфора находится в диапазоне от 0.065% до 0.236%. По углероду все стали заэвтектоидные, содержащие от 1.32% до 2.1%. Такие клинки датируются XVI–XVIII веками.

Во II группу нами отнесены булатные клинки, содержавшие десятые доли процента по примесям кремния и марганца. Примеси серы и фосфора, хотя и имеют завышенные показатели, но не превышают пороговых значений менее 0.06%. По углероду эти стали также заэвтектоидные, но среднее содержание углерода (1.2%) допустимо для современных нелегированных углеродистых инструментальных сталей не ответственного назначения. Такие клинки датируются нами первой половиной XIX века.

бессемеровский процесс, который без этого вряд ли получил бы широкое распространение.

В целом химический состав булатных сталей, разделенных по группам, хорошо согласуется с данными, указанными нами в подразделе «Историография исследований химического состава булатных сталей». Анализируя эти данные, мы также обратили внимание на то, что большинство клинков, исследованных на химический состав за столетний период, имеют характерные признаки I и II группы.

Более того, прослеживается еще одна III группа сталей, для которой характерно повышенное содержание примесей кремния и марганца, более 0.2% каждого в отдельности. Содержание примесей серы и фосфора идентично I группе. Вероятно, для изготовления булатных клинков уже использовалась бессемеровская сталь, содержащая определенную долю раскислителей, которые активно начали использовать во второй половине XIX века. При высоком содержании примеси фосфора (0.11-0.21%) марганец будет сегрегироваться в местах скопления углерода, образуя легированный гексагональный карбид ограненной морфологии. Такой карбид будет отрицательно влиять на весь комплекс механических свойств. Именно на таких булатных клинках, в работах (Амаглобели 1984; Тавадзе и др. 1984b; Таганов 2009), показаны низкие механические свойства при статических и динамических испытаниях.

В IV группу нами отнесены два сверх высокоуглеродистых клинка, содержащих повышенные показатели по примесям серы, фосфора и алюминия. Клинки уникальны по своему химическому составу. За весь столетний период химических исследований булатных сталей клинки с таким составом больше не встречаются. Можно предположить, что такая сталь была прерогативой единичных мастерских, привязанных к местности, где добывали, например, белую глину, которую могли добавлять в качестве флюсов для предохранения расплавленной стали от окисления и снижения температуры плавления. Такие клинки, даже при наличии примеси алюминия, могут быть датированы концом XVIII - началом XIX века по ряду традиционных атрибуционных признаков.

Далее более подробно опишем влияние постоянных примесей на характер формирования дендритной неоднородности сталей, которая в свою очередь формирует характерный булатный узор.

Основной примесью, которая определяет разницу между железом, сталью и чугунами является углерод (С). Коэффициент ликвации $(1-K) = 0.64$ выше среднего. Это обстоятельство говорит о том, что при затвердевании слитков-вутцев будет всегда проявляться карбидная или фазовая неоднородность. Чем больше углерода в сплаве, тем крупнее участки дендритной ликвации. Углерод — важнейшая примесь в сталях и чугунах, влияющая на полиморфизм железа, с помощью которого осуществляются операции термической обработки. Например, высокотемпературный отжиг применяют для достижения минимальной твердости, а процесс закалки применяют для достижения максимальной твердости.

Самые большое влияние на показатели роста дендритной неоднородности оказывают примеси, встречающиеся в железных рудах повсеместно, такие как сера (S), фосфор (P), кислород (O) и кремний (Si), постоянные спутники металлургических процессов при производстве сталей и чугунов с древнейших времен. В большинстве железных руд в природе присутствуют химические соединения из составных частей этих элементов.

Например, в древности в качестве сырья для получения железной крицы в сыродутных домницах применяли болотные руды, содержащие до 60% окиси железа (Fe_2O_3). Влажность болотной руды достигала более 70%. Руда загрязнена примесями песка и гниющими органическими веществами, содержащими фосфорную кислоту до 8%. Из-за присутствия большого количества загрязнителей и примеси фосфора болотные руды считаются низкокачественными и непригодными для современной металлургической промышленности. Восстановление железа из болотных руд начинается при температуре 400 °С, а при температуре 800 °С уже получается губчатое железо (крица).

В современной металлургии применяют обогащенные железные руды. Богатая руда содержит свыше 55% окиси железа (Fe_2O_3), не более 10% диоксида кремния (Si_2O), серы (S) и фосфора (P) не более 0.15%. Обогащение

ИСТОРИЧЕСКОЕ ОРУЖИЕВЕДЕНИЕ

железистых кварцитов происходит за длительное время геологического формирования рудных отложений при выветривании силикатов и выщелачивании кварца.

I группа Индо-Персидских булатных сталей, XVI-XVIII вв., %									
№	C	P	S	Si	Mn	Al	Cu	Cr	Ni
1	1.323	0.070	0.001	0.025	0.033	0.001	0.113	0.034	0.038
2	1.409	0.065	0.007	0.044	0.061	0.001	0.168	0.034	0.036
3	1.440	0.075	0.009	0.033	0.052	0.001	0.160	0.036	0.041
4	1.450	0.079	0.002	0.042	0.037	0.001	0.092	0.033	0.042
5	1.579	0.076	0.012	0.076	0.079	0.001	0.350	0.041	0.061
6	1.662	0.076	0.022	0.022	0.048	0.001	0.127	0.033	0.029
7	1.751	0.078	0.009	0.028	0.053	0.001	0.181	0.034	0.036
8	1.965	0.083	0.010	0.035	0.049	0.001	0.301	0.034	0.062
9	1.315	0.117	0.001	0.048	0.007	0.005	0.073	0.003	0.022
10	1.440	0.135	0.006	0.065	0.010	-	0.070	-	0.040
11	1.482	0.193	0.010	0.088	0.005	0.003	0.083	0.001	0.029
12	1.490	0.144	0.009	0.050	0.010	-	0.090	-	0.020
13	1.530	0.121	0.010	0.054	0.044	0.005	0.103	0.003	0.019
14	1.530	0.166	0.001	0.048	0.007	0.005	0.073	0.003	0.022
15	1.640	0.162	0.008	0.046	0.020	-	0.078	-	0.018
16	1.664	0.236	0.006	0.028	0.016	0.005	0.069	0.010	0.030
17	1.720	0.110	0.018	0.076	0.032	0.005	0.028	0.003	0.002
18	1.700	0.192	0.023	0.059	0.008	-	0.087	0.003	0.062
19	1.760	0.130	0.009	0.035	0.010	-	0.090	-	0.040
20	1.780	0.169	0.010	0.057	0.014	-	0.111	0.007	0.074
II группа Индо-Персидских булатных сталей, первая половина XIX века, %									
№	C	P	S	Si	Mn	Al	Cu	Cr	Ni
1	1.037	0.053	0.033	0.088	0.241	0.001	0.019	0.033	0.013
2	1.040	0.042	0.016	0.120	0.060	-	0.050	0.010	0.010
3	1.064	0.040	0.053	0.121	0.193	0.004	0.021	0.035	0.009
4	1.160	0.052	0.050	0.158	0.029	-	0.099	0.002	0.040
5	1.185	0.046	0.017	0.140	0.113	0.001	0.019	0.034	0.012
6	1.507	0.056	0.047	0.037	0.209	0.001	0.024	0.033	0.023
III группа, булатные клинки из Музея истории Азербайджана, XIX век, %									
№	C	P	S	Si	Mn	Al	Cu	Cr	Ni
1	1.45	0.219	0.017	0.115	0.238	-	-	-	-

2	1.41	0.199	0.012	0.171	0.119	-	-	-	-
3	1.51	0.209	0.008	0.205	0.309	-	-	-	-
4	1.24	0.131	0.017	0.215	0.381	-	-	-	-
5	1.47	0.147	0.012	0.221	0.219	-	-	-	-
IV группа Индо-Персидских булатных сталей, XVIII-XIX вв., %									
№	C	P	S	Si	Mn	Al	Cu	Cr	Ni
1	1.909	0.082	0.185	0.123	0.041	0.323	0.093	0.035	0.059
2	3.018	0.082	0.131	0.060	0.057	0.387	0.093	0.033	0.056

По влиянию на дендритную ликвацию сталей постоянные примеси подразделяются на два класса. В первый класс входят примеси, соединения которых различимы под микроскопом, такие как сера (S) и кислород (O). К второму классу относятся примеси, которые не различимы под микроскопом, например, фосфор (P) и кремний (Si). Разделение на классы основано на том, что примеси серы и кислорода практически нерастворимы в твердом растворе железа, образуя неметаллические включения в виде сульфидов (FeS) и закиси железа (FeO), а примеси фосфора и кремния способны растворяться в твердом растворе железа в достаточных количествах, не образуя при этом отдельных фазовых включений.

Сера — вредная примесь, коэффициент ликвации $(1-K) = 0.98$ максимальный. Содержание в сталях более 0.05% ухудшает технологические и механические свойства последних при повышенных температурах (красноломкость). Причиной нежелательного присутствия в сталях примеси серы является образование легкоплавкой эвтектики (FeS+Fe), имеющей низкую температуру плавления 988 °С. При межосевых температурах обработки давлением более 1000 °С эта эвтектика образует жидкие участки в ликвационных зонах, нарушая связь между зёрнами, в результате чего образуются надрывы и трещины.

Сульфиды практически нерастворимы в твердом железе и выделяются в межосных участках либо в виде эвтектики, либо, чаще, в виде отдельных неметаллических включений различной морфологии. Такие неметаллические включения оказывают огромное влияние на дендритную ликвацию. В горячедеформированном состоянии неметаллические частицы имеют

строчечное расположение, ориентированное параллельно оси деформации, что приводит к появлению дефекта в виде полосчатой структуры.

Кислород — вредная примесь, коэффициент ликвации $(1-K) = 0.98$ максимальный. В железных рудах присутствует в виде окиси железа Fe_2O_3 (30 at. % O), закиси-окиси железа Fe_3O_4 (28 at. % O) и закиси железа FeO (23 at. % O). Из этих трех оксидов только закись железа способна растворяться в феррите (железе) в незначительных объемах, увеличивая его хрупкость. В свободном состоянии все оксиды железа присутствуют в сталях в виде отдельных включений, располагающихся по границам зерен в виде стекловидных игл, играющих роль микронадрезов. Наличие кислорода в сталях резко уменьшает предел прочности, снижает пластичность и ударную вязкость. При содержании кислорода более 0.08% появляется склонность к хладноломкости и красноломкости, усиливается рост зерен при нагреве, ухудшается способность к обработке резанием и ковке, понижается магнитная проницаемость и увеличивается электрическое сопротивление.

Очевидно, чем больше будет содержаться неметаллических включений, тем больше они будут снижать качество материала. Поэтому в высококачественных сортах сталей рекомендовано иметь не более 0.02–0.03% серы и кислорода, каждого в отдельности.

Фосфор считается вредной примесью, коэффициент ликвации $(1-K) = 0.94$ максимальный. Фосфор вызывает сильную дендритную ликвацию и способствует образованию в процессе горячей деформации полосчатой структуры. Примесь фосфора способна растворяться в феррите до 1.2%, не образуя при этом отдельных фазовых включений. Поэтому фосфоритных включений в микроструктуре не обнаруживается. Присутствие примеси фосфора под микроскопом можно косвенно определить путем специального травления реактивом Стэда (reagent Stead's etching) (1 г хлористой меди, 4 г хлористого магния, 1 мл соляной кислоты, 20 мл дистиллированной воды, 100 мл этилового спирта). Этот реактив способен выявлять неоднородную структуру, указывая на присутствие фосфора в межосных объемах дендритов. Атомы фосфора, распределяясь в решетке железа вблизи ликвационных зон, значительно упрочняют ферритную основу. В результате даже при

незначительном содержании фосфора сталь становится хладноломкой, то есть хрупкой при низких температурах. Обогащенные фосфором межосные участки дендритов иногда способны превышать предел растворимости в железе. При концентрации фосфора в ликвационных зонах больше 1.2% по границам зерен образуется фосфид железа (Fe_3P) с температурой плавления 1100°C . При гомогенизационном отжиге сталей возможно оплавление зерен по их границам, что однозначно приводит к неисправимому браку.

Кремний — постоянная примесь, коэффициент ликвации $(1-K) = 0.5$ средний. Присутствует в виде силикатов в руде. В чистом виде кремний в меньшей степени проявляет склонность к дендритной ликвации, но способствует устойчивости ферритной основы сталей. Растворяясь в феррите, повышает предел текучести и снижает способность сталей к холодной пластической деформации. Кремний способен растворяться в феррите до 14%, однако содержание этого элемента в большинстве углеродистых сталей, кроме специальных, не доходит до указанного предела насыщения твердого раствора. При содержании кремния выше 0.40% в углеродистой стали общего назначения происходит существенное снижение пластичности. Кремний не образует специальных карбидов и, как правило, применяется в качестве эффективного раскислителя при выплавке сталей. Продукты раскисления в виде оксида кремния (SiO_2) оказывают огромное влияние на полосчатость в деформированной структуре сталей.

Постоянной примесью при производстве сталей с 1857 года является марганец, коэффициент ликвации $(1-K) = 0.05$ низкий. Марганец присутствует в сталях в количестве от 0.3% и более. Применяют для удаления из стали кислорода и серы. В чистом виде он имеет меньшую тенденцию к дендритной ликвации, чем любой другой легирующий элемент. Марганец благоприятно влияет на ковкость и свариваемость сталей, снижает риск красноломкости в процессе горячей деформации сталей.

Неметаллические включения, оставшиеся после раскисления в виде оксида марганца (MnO) либо сульфида марганца (MnS) способствуют образованию полосчатой структуры в деформированной стали. Марганец, при содержании более 2.0%, не образует своего карбида, неограниченно

растворяясь в железе, способствует легированию цементита $(\text{Fe},\text{Mn})_3\text{C}$. В присутствии примеси фосфора марганец способен сегрегироваться по границам зерен, что приводит к отпусковой хрупкости. Поэтому марганец является нежелательной примесью в подлинных восточных булатных клинках, в которых для усиления дендритной ликвации применялась примесь фосфора.

В качестве сильнейшего раскислителя при производстве современных высококачественных сталей применяют алюминий (Al), коэффициент ликвации $(1-K) = 0.01$ низкий. Впервые использован в качестве раскислителя в 1868 году русским металлургом А. С. Лавровым. В процессе раскисления образуется устойчивый оксид алюминия Al_2O_3 (глинозем) с температурой плавления 2050°C . Этот оксид остается твердым даже при температуре литья сталей, поэтому раскисление алюминием не применяют в одиночку, если требуется высокая степень очистки стали от кислорода. Алюминий обычно применяют совместно с марганцем и кремнием, чтобы оксид алюминия имел шанс соединиться с жидким шлаком ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2/\text{MnO}$).

Присадка алюминием позволяет полностью успокоить сталь и избежать возникновения пористости слитков вследствие выделения пузырьков окиси углерода (CO). Образование мелких включений глинозема влияет на протекание процесса кристаллизации, в частности на наследственность размера зерна. Обычно размер зерна регулируют, изменяя расход алюминия: чем больше введено алюминия, тем мельче зерно. В древности раскисления алюминием не применялось, так как для этого процесса необходимо вводить алюминий промышленной очистки, а введение в расплав глинозёма только ухудшит свойства сталей.

При датировке булатных сталей важно учитывать тот факт, что большинство легирующих элементов могут попасть в структуру стали только при специальном введении, легировании расплава. Легирование начали применять в конце XIX - начале XX века. В большинстве случаев вводимые примеси для изготовления специальных сталей оказывают наименьшее воздействие на дендритную ликвацию. Например, хром (Cr), коэффициент ликвации $(1-K) = 0.15$ низкий, является карбидообразующим элементом, легирует цементитную основу. Легирование хромом в пределах 10...30%

используется как добавка для получения жаростойких нержавеющей сталей, штамповых сталей ледебуритного класса и износостойких белых чугунов. Никель (Ni), коэффициент ликвации $(1-K) = 0.05$ низкий. Никель не образует в сталях карбидов, способствует образованию и сохранению остаточного аустенита, используется как основа жаропрочных сталей и чугунов. Ванадий (V), коэффициент ликвации $(1-K) = 0.11$ низкий. В количестве от 0.01% до 10% способствуют отбеливанию сталей и чугунов, образуя дисперсные карбиды ванадия (VC).

По мнению американского исследователя подлинных булатных сталей Джона Верховена на макроструктуру или на неоднородность сталей могут влиять низкие уровни значений карбидообразующих элементов. Наиболее эффективными являются ванадий V и молибден Mo. Карбидообразующие элементы усиливают ликвацию углерода, что является неоспоримым фактом, но трудно поверить в их исключительность. В работе Верховена нет исчерпывающих объяснений по степени их влияния на дендритную ликвацию. По его субъективному мнению, содержание ванадия достаточно в пределах 0.04–0.004% V. Однако опыт показывает, что в большинстве современных сталей примесь ванадия присутствует в этих количествах довольно часто. Сотые и тысячные доли процента настолько ничтожны, что в большинстве случаев ими можно пренебречь. В таких мизерных количествах даже наиболее сильные ликваты, такие как сера и фосфор, не оказывают определяющего влияния на дендритную химическую неоднородность. Однако совместная ликвация различных примесей, содержащихся в сталях, способна усугублять дендритную химическую неоднородность при тигельном производстве булатных сталей.

В итоге, наличие примесей и легирующих элементов в процентном соотношении дают исчерпывающую информацию о времени производства булатных сталей в Индо-Персидском регионе. Считаем, что данный метод неразрушающего контроля химического состава в связке с узорчатой булатной структурой дополнительно позволят нам более точно определять временной период изготовления имеющихся в частных коллекциях экспонатов не только

холодного оружия, но и доспехов, посуды и предметов роскоши, изготовленных из булатных сталей.

Создание карты булатных структур на базе химического состава, макро- и микроструктуры булатов на основе достаточного количества статистически достоверного материала позволит ввести в оружиеведение дополнительный атрибуционный признак.

Библиография

- Амаглобели Б.Г. Гетерогенная структура булатной стали и возможность ее получения // Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук. — Тбилиси, 1984. — 117 с.
- Аносов П.П. О булатах // Горный журнал, 1841. ч.1. кн. 2. — С. 157—319.
- Архангельский Л.Б. Испытания режущей способности исторических булатов // Клинок – традиции и современность. — 2017. — №33. — С. 38—42.
- Архангельский Л.Б. Секреты булата. — М.: Metallurg, 2007. — 164 с.
- Басов В.И. Булат: линия жизни. // Metallurg. — 1991. — №7. — С. 16—23.
- Беляев Н.Т. О булатах. — СПб.: Типо-Литография С.-Петербургской Тюрьмы, 1906. — 52 с.
- Бируни Абу Райхан. Собрание сведений для познания драгоценностей (минералогия). — Ленинград: Изд-во Академии наук СССР, 1963. — 520 с.
- Бобров Л.А., Хайдаков К.С. «Тимуридская» сабля из Самарканда // Вестник НГУ. Серия: История, филология. — 2019. — Т.18б. — №5: Археология и этнография. — С. 125—145.
- Бутенев. Замечания о ковке булата в Бухарии // Горный журнал, 1842. ч.4. кн.11. — С. 163—168.
- Гаев И.С. Булат и современные железоуглеродистые сплавы // Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallorv. — 1956. — №9. — С. 17—24.

- Гуревич Ю.Г. Классификация булата по макро- и микроструктуре // *Металловедение и термическая обработка металлов*. — 2007. — №2. — С. 3—7.
- Гуревич Ю.Г., Герасимов В.Ю. Булат в прошлом, настоящем и будущем // *Металлург*. — 1996. — №4. — С. 43—44.
- Железнов В.Ф. Исторические сведения о булате в России // *Беляев Н.Т. О булатах (с приложением Исторических сведений о булате в России В.Ф. Железнова и Описания коллекции восточного оружия Д.К. Чернова)*. — СПб., 1906.
- Калинин Б.Д., Таганов И.Н. Применение рентгенофлуоресцентного анализа при экспертизе и атрибуции Индо-Персидского булатного оружия XVII века // *Аналитика и контроль*. — 2009. — Т.13. — №3. — С. 135—140.
- Карстен К. О соединении железа с углеродом (пер. Поручика Собалевского). *Горный журнал*, 1825. №4. С. 25—59.
- Ленц Э. Императорский эрмитаж. Указатель отделений Средних Веков и Эпохи Возрождения // *Собрание оружия*, 1908. Ч. 1.
- Масальский. Изготовление булата по способу, употребляемому Персиянами // *Горный журнал*. 1841. кн.11. — С. 233—248.
- Опись Московской Оружейной Палаты. ч. 4. кн. 3. — Москва, 1885.
- Орленко С., Новоселов В., Курмановский В. К вопросу о булатном оружии русской работы XVII века (по материалам бывшего архива Оружейной палаты) // *Историческое оружиеведение*. — 2019. — №7. — С. 6—88.
- Павлова Л.А., Павлов С.М., Горюнова О.И. Рентгеноспектральный электронно-зондовый анализ металлических изделий эпохи бронзы // *Аналитика и контроль*. — 2002. — Т. 6. — №4. — С. 360—365.
- Ревенко А.Г., Ревенко В.А. Применение рентгенофлуоресцентного анализа для исследования материалов культурного наследия // *Методы и объекты химического анализа*. — 2007. — Т.2. — №1. — С. 4—29.

- Суханов Д.А. Восточный фосфористый булат // Путь науки. — 2018. — №1 (47). — С. 29—38.
- Суханов Д.А. Особенности морфологии карбидной полосчатости высоко углеродистых сталей с булатной структурой // Metallurg. — 2023. — №1. — С. 103—111.
- Суханов Д.А. Особенности поведения Персидской булатной стали XVIII века и современной дамасской стали при циклическом нагружении // Metallurg. — 2022. — №6. — С. 94—102.
- Суханов Д.А. Особенности элементов топографического контура узорчатых макроструктур в Персидской булатной стали XVIII века // Metallurg. — 2022. — №2. — С. 93—102.
- Суханов Д.А. Структурные и фрактографические особенности изломов булатного ножевого клинка XVIII века при ударном изгибе // Metallurg. — 2022. — №4. — С. 99—107.
- Суханов Д.А., Плотникова Н.В. Механические свойства Персидской булатной стали XVIII века в сравнении с современными инструментальными сталями // Metallurg. — 2019. — №11. — С. 50—60.
- Суханов Д.А., Плотникова Н.В. Особенности формирования булатной структуры персидского сабельного клинка шамшир XVII века // Metallurg. — 2023. — №10. — С. 122—132.
- Счастливец В.М., Урцев В.Н., Шмаков А.В., Дегтярев В.Н., Наконечный А.Я., Мокшин Е.Д., Яковлева И.Л. Структура булата // Физика металлов и металлостроения. — 2013. — №7(114). — С. 650—657.
- Тавадзе Ф.Н., Амаглобели Б.Г., Инанишвили Г.В. К вопросу исследования булатной стали // Сообщения АН Грузинской ССР. — 1984. — №3 (115). — С. 589—592.
- Тавадзе Ф.Н., Амаглобели Б.Г., Инанишвили Г.В. Механические свойства булатной стали // Сообщения АН Грузинской ССР. — 1984. — №3 (113). — С. 589-592.

- Таганов И.Н. Закат легенд о булате // Калашников. Оружие, Боеприпасы, Снаряжение. — 2009. — №11. — С. 92—97.
- Токарева Т.Ю., Хайдаков К.С. К вопросу об атрибуции сабель Кузьмы Минина и Дмитрия Пожарского из собрания Оружейной Палаты Московского Кремля // Война и оружие: Труды Восьмой Международной научно-практической конференции. — СПб.: ВИМАИВиВС. — 2017. — С. 291—313.
- Туманова К.В., Бажин В.Ю., Дубовиков О.А., Сундуров А.В., Поваров В.Г. Исследование грузинского булатного оружия XIX века из коллекции горного музея горного университета // Черные металлы. — 2020. — №2. — С. 73—78.
- Фабер дю Фора. О приготовлении дамасцированной литой стали (пер. Поручика Перетца) // Горный журнал. 1839. кн.6. ч.2. — С. 426—443.
- Флетчер Дж. О государстве Русском. Перевод с англ. Князя М.А. Оболенского. — Москва, 2002.
- Хайдаков К.С. Некоторые вопросы коллекционирования, подлинности, реставрации и подделки исторического оружия // Сб. науч. статей Первой международной конференции: Империя и Кавказ. Исследования. Коллекции. Реставрация. — СПб.: «Фортпост». — 2022. — С. 156—166.
- Хайдаков К.С. Персидские сабли. Некоторые вопросы атрибуции. — М.: Фронт книга, 2016. — 160 с.
- Хайдаков К.С. Шамширы. Старые сабли и тайны древних мастеров. — М.: «Барс», 2013. — 215 с.
- Barnett M. R., Sullivan A., Balasubramaniam R. Electron Backscattering Diffraction Analysis of an Ancient Wootz steel Blade from Central India. *Materials Characterization*, 2009. #60. P. 252—260.
- Belaiew N.T. Damascus steel. *Journal Iron Steel Inst.*, 1918. №97. P. 417 – 439.
- Birnie A. *An Economic History of Europe, 1760-1930*, London, 2006.

- Böhne Cl. Vom Damaststahl zum Scharsachstahl. Archiv für das Eisenhüttenwesen. 1969. № 8. S. 661 – 665.
- Breant M. Description of a Process for Making Damasked Steel. Annals of Philosophy, 1824. 8. P. 267-271
- Feuerbach A.M. Damascus Steel and Crucible Steel in Central Asia. American Society of Arms Collectors Bulletin, 2000. 82. P. 33-42
- Ghasem D. An Archaeometallurgical Investigation of a Steel Sword from the Safavid Dynasty. The Minerals, Metals & Materials Society (JOM), 2018. 70. P. 243-247.
- Hynninen N., Verhoeven J.D., Dauksch W.E. A New Method for Making Crucible Damascus steel Blades. The Minerals, Metals & Materials Society (JOM), 2022. 74. P. 2484-2491.
- Panseri Cl. Damascus steel in Legend and in Reality. Gladius. 1965. №4. P. 5–66.
- Peterson D.T., Baker H.H., Verhoeven J. D. Damascus steel, Characterization of One Damascus steel Sword. Materials Characterization. 1990. №24. P. 355-374.
- Sherby O. D., Wadsworth J. Damascus steel. Scientific American. 1985. 252 (2). P.112-120.
- Sukhanov D.A. Influence of Phosphorus Impurity on the Structure and Nature of the Destruction of the genuine Damascus steel. International Journal of Engineering Technologies and Management Research. 2018. №5 (4). C. 26-37.
- Sukhanov D.A., Plotnikova N.V. Influence of the Distribution of excess carbides on the Properties of genuine Damascus steel. Materials Sciences and Applications. 2019. №10. P. 118 - 136.
- Valpy R. On the Recent and Rapid Progress of the British Trade with India. Journal of the Royal Statistical Society of London. London.1860
- Verhoeven J.D., Pendray A.N., Dauksch W.E. The Key Role of Impurities in Ancient Damascus steel Blades. Journal of Metallurgy, 1998, 50, P. 58 - 64.

Verhoeven J.D., Pendray A.N., Dauksch W.E., Wagstaff S.R. Damascus steel Revisited. *The Minerals, Metals & Materials Society (JOM)*, 2018. 70. P. 1331-1336.

Zschokke B. Du Damasse et des Lamés de Damast. *Rev.de Metallurgie*. 1924. №21. P. 635–669.

References

Amaglobeli B.G. (1984). Geterogennaja struktura bulatnoj stali i vozmozhnost' ee polucheniya. Diss. na soiskanie uchenoj stepeni kand. tehn. nauk [Heterogeneous structure of damask steel and the possibility of its production. Dissertation for the research of the scientific degree of Ph.D. tech. Sci.]. Tbilisi. 117 p.

Anosov P.P. (1841). O bulatah [About damask steel. *Gornyj zhurnal* [Mining Journal], part.1, book 2, pp. 157-319.

Arhangel'skij L.B. (2007). *Sekrety bulata* [Secrets of damask steel]. M., Metallurg. 164 p.

Arhangel'skij L.B. (2017). Ispytaniya rezhushhej sposobnosti istoricheskikh bulatov [Testing the cutting ability of historical damask steel]. *Klinok – tradicii i sovremennost'* [Blade - traditions and modernity], №33, pp. 38–42.

Barnett M. R., Sullivan A., Balasubramaniam R. (2009). Electron Backscattering Diffraction Analysis of an Ancient Wootz steel Blade from Central India. *Materials Characterization*, 60, pp. 252-260.

Basov V.I. (1991). Bulat: linija zhizni [Bulat: line of life]. *Metallurg* [Metallurgist], №7, pp. 16-23.

Belaiew N.T. (1918). Damascene steel. *Journal Iron Steel Inst*, №97, pp. 417 – 439.

Beljaev N.T. (1906). *O bulatah* [About damask steel]. St. Petersburg, Typo-Lithography of the St. Petersburg Prison Publ. 52 p.

Birnie A. (2006). *An Economic History of Europe, 1760-1930*. London.

- Biruni Abu Rayhan (1963). *Sobranie svedenij dlja poznanija dragocennostej (mineralogija)* [Collection of information for knowledge of jewelry (mineralogy)]. Leningrad: Publishing House of the USSR Academy of Sciences. 520 p.
- Bobrov L.A., Hajdakov K.S. (2019). «Timuridskaja» sablja iz Samarkanda [“Timurid” saber from Samarkand]. *Vestnik NGU. Serija: Istorija, filologija* [Bulletin of NSU. Series: History, philology.], vol.18b, No. 5: Archeology and ethnography, pp. 125 – 145.
- Böhne Cl. (1969). Vom Damaststahl zum Scharsachstahl. *Archiv fur das Eisenhiuttenwesen*, № 8, pp. 661 – 665.
- Breant M. (1824). Description of a Process for Making Damasked Steel. *Annals of Philosophy*, 8, pp. 267-271.
- Butenev (1842). Zamechanija o kovke bulata v Buharii [Notes on the forging of damask steel in Bukharia]. *Gornyj zhurnal* [Mining Journal], Part 4, book 11, pp. 163-168.
- Faber dju Fora (1839). O prigotovlenii damascirovannoj litoj stali (per. Poruchika Peretca) [On the preparation of damask cast steel (translated by Lieutenant Peretz)]. *Gornyj zhurnal* [Mining Journal], book 6, part 2, pp. 426-443.
- Feuerbach A.M. (2000). Damascus Steel and Crucible Steel in Central Asia. *American Society of Arms Collectors Bulletin*, 82, pp. 33-42.
- Fletcher Dzh. (2002). *O gosudarstve Russkom. Perevod s angl. Knjazja M.A. Obolenskogo* [About the Russian State. Translation from English Prince M.A. Obolensky]. Moscow.
- Gaev I.S. (1956). Bulat i sovremennye zhelezouglerodistyje splavy [Bulat and modern iron-carbon alloys]. *Metallovedenie i termicheskaja obrabotka metallov* [Metallurgy and heat treatment of metals], №9, pp. 17-24.
- Ghasem D. (2018). An Archaeometallurgical Investigation of a Steel Sword from the Safavid Dynasty. *The Minerals, Metals & Materials Society (JOM)*, 70, pp. 243-247.

- Gurevich Ju.G. (2007). Klassifikacija bulata po makro- i mikrostrukture [Classification of damask steel by macro- and microstructure]. *Metallovedenie i termicheskaja obrabotka metallov* [Classification of damask steel by macro- and microstructure // Metal science and heat treatment of metals], №2, pp. 3-7.
- Gurevich Ju.G., Gerasimov V.Ju. (1996). Bulat v proshlom, nastojashhem i budushhem [Damask steel in the past, present and future]. *Metallurg* [Metallurg], №4, pp. 43 – 44.
- Hajdakov K.S. (2013). *Shamshiry. Starye sabli i tajny drevnih masterov* [Shamshirs. Old sabers and secrets of ancient masters]. M., «Bars» Publ. 215 p.
- Hajdakov K.S. (2016). *Persidskie sabli. Nekotorye voprosy atribucii* [Persian sabers. Some attribution issues]. M., Front kniga Publ. 160 p.
- Hajdakov K.S. (2022). Nekotorye voprosy kollekcionirovanija, podlinnosti, restavracii i poddelki istoricheskogo oruzhija [Some issues of collecting, authenticity, restoration and counterfeiting of historical weapons]. *Sb. nauch. statej Pervoj mezhdunarodnoj konferencii: Imperija i Kavkaz. Issledovanija. Kollekcii. Restavracija* [Sat. scientific articles of the First International Conference: Empire and the Caucasus. Research. Collections. Restoration], pp. 156-166. SPb., «Fortpost» Publ.
- Hynninen N., Verhoeven J.D., Dauksch W.E. (2022). A New Method for Making Crucible Damascus steel Blades. *The Minerals, Metals & Materials Society (JOM)*, 74, pp. 2484-2491.
- Kalinin B.D., Taganov I.N. (2009). Primenenie rentgenofluorescentnogo analiza pri jekspertize i atribucii Indo-Persidskogo bulatnogo oruzhija XVII veka [Application of X-ray fluorescence analysis in the examination and attribution of Indo-Persian damask steel weapons of the 17th century]. *Analitika i kontrol'* [Analytics and control], v.13, №3, pp. 135 – 140.
- Karsten Cl. (1825). O soedinenii zheleza s uglerodom (per. Poruchika Sobalevskogo) [On the combination of iron with carbon (translated by Lieutenant Sobalevsky)]. *Gornyj zhurnal* [Mining magazine], №4, pp. 25-59.

- Lenc Je. (1908). Imperatorskij jermitez. Ukazatel' otdelenij Srednih Vekov i Jepohi Vozrozhdenija [The Imperial Hermitage. Index of departments of the Middle Ages and the Renaissance]. *Sobranie oruzhija* [Collection of weapons], part 1.
- Masal'skij (1841). Izgotovlenie bulata po sposobu, upotrebljaemomu Persijanami [Making damask steel according to the method used by the Persians]. *Gornyj zhurnal* [Mining journal], book 11, pp. 233 – 248.
- Opis' Moskovskoj Oruzhejnoj Palaty [Inventory of the Moscow Armoury Chamber], part 4, book. 3. Moscow, 1885.
- Orlenko S., Novosyolov V., Kurmanovsky V. (2019). K voprosu o bulatnom oruzhii russkoj raboty XVII v. (po materialam byvshego arhiva Oruzhejnoj palaty) [Revisiting the Russian Weapons from Crucible Steel in the 17th Century (a case study of the former archive of the Armoury Chamber)]. *Istoricheskoe oruzhievedenie* [Weapons History Journal], № 7, pp. 6 — 88.
- Panseri Cl. Damascus steel in Legend and in Reality. *Gladius*. 1965. №4. P. 5–66.
- Pavlova L.A., Pavlov S.M., Gorjunova O.I. (2002). Rentgenospektral'nyj jelektronno-zondovyj analiz metallicheskih izdelij jepohi bronzy [X-ray spectral electron probe analysis of metal products of the Bronze Age]. *Analitika i kontrol'* [Analytics and control], vol. 6, №4, pp. 360 – 365.
- Peterson D.T., Baker H.H., Verhoeven J. D. (1990). Damascus steel, Characterization of One Damascus steel Sword. *Materials Characterization*, №24, pp. 355-374.
- Revenko A.G., Revenko V.A. (2007). Primenenie rentgenofluorescentnogo analiza dlja issledovanija materialov kul'turnogo nasledija [Application of X-ray fluorescence analysis for the study of cultural heritage materials]. *Metody i ob'ekty himicheskogo analiza* [Methods and objects of chemical analysis], vol.2, №1, pp. 4 – 29.
- Schastlivcev V.M., Urcev V.N., Shmakov A.V., Degtjarev V.N., Nakonechnyj A.Ja., Mokshin E.D., Jakovleva I.L. (2013). Struktura bulata [Structure of damask

- steel]. *Fizika metallov i metallovedeniya* [Physics of metals and metallurgy], №7(114), pp. 650-657.
- Sherby O. D., Wadsworth J. (1985). Damascus steel. *Scientific American*, 252 (2), pp.112-120.
- Suhanov D.A. (2003). Osobennosti morfologii karbidnoj poloschatosti vysoko uglerodistykh stalej s bulatnoj strukturoj [Features of the morphology of carbide banding of high-carbon steels with a damask structure]. *Metallurg* [Metallurg], №1, pp. 103 – 111.
- Suhanov D.A. (2018). Vostochnyj fosforistyj bulat [Eastern phosphorous damask steel]. *Put' nauki* [The Path of Science], №1 (47), pp. 29 - 38.
- Suhanov D.A. (2022). Osobennosti jelementov topograficheskogo kontura uzorchatyh makrostruktur v Persidskoj bulatnoj stali XVIII [Features of the elements of the topographic contour of patterned macrostructures in Persian damask steel of the 18th century]. *Metallurg* [Metallurg], №2, pp. 93 – 102.
- Suhanov D.A. (2022). Osobennosti povedeniya Persidskoj bulatnoj stali XVIII veka i sovremennoj damasskoj stali pri ciklicheskom nagruzhenii [Features of the behavior of Persian damask steel of the 18th century and modern Damascus steel under cyclic loading]. *Metallurg* [Metallurg], №6, pp. 94–102.
- Suhanov D.A. (2022). Strukturnye i fraktograficheskie osobennosti izlomov bulatnogo nozhevogo klinka XVIII veka pri udarnom izgibe [Structural and fractographic features of fractures of a damask knife blade of the 18th century during impact bending]. *Metallurg* [Metallurg], №4, pp. 99–107.
- Suhanov D.A., Plotnikova N.V. (2019). Mehanicheskie svojstva Persidskoj bulatnoj stali XVIII veka v sravnenii s sovremennymi instrumental'nymi staljami [Mechanical properties of Persian damask steel of the 18th century in comparison with modern tool steels]. *Metallurg* [Metallurg], №11, pp. 50-60.
- Suhanov D.A., Plotnikova N.V. (2023). Osobennosti formirovaniya bulatnoj struktury persidskogo sabel'nogo klinka shamshir XVII veka [Features of the formation of the damask structure of the Persian saber blade shamshir of the 17th century]. *Metallurg* [Metallurg], №10, pp. 122 – 132.

- Sukhanov D.A. (2018). Influence of Phosphorus Impurity on the Structure and Nature of the Destruction of the genuine Damascus steel. *International Journal of Engineering Technologies and Management Research*, №5 (4), pp. 26-37.
- Sukhanov D.A., Plotnikova N.V. (2019). Influence of the Distribution of excess carbides on the Properties of genuine Damascus steel. *Materials Sciences and Applications*, №10, pp. 118 - 136.
- Taganov I.N. (2009). Zakat legend o bulate [Decline of legends about damask steel]. *Kalashnikov. Oruzhie, Boepripasy, Snarjazhenie* [Kalashnikov. Weapons, Ammunition, Equipment], №11, pp. 92-97.
- Tavadze F.N., Amaglobeli B.G., Inanishvili G.V. (1984a). K voprosu issledovanija bulatnoj stali [On the issue of research of damask steel]. *Soobshhenija AN Gruzinskoj SSR* [Communications of the Academy of Sciences of the Georgian SSR], №3 (115), pp. 589-592.
- Tavadze F.N., Amaglobeli B.G., Inanishvili G.V. (1984b). Mehanicheskie svojstva bulatnoj stali [Mechanical properties of damask steel]. *Soobshhenija AN Gruzinskoj SSR* [Communications of the Academy of Sciences of the Georgian SSR], №3 (113), pp. 589-592.
- Tokareva T.Ju., Hajdakov K.S. (2017). K voprosu ob atribucii sabel' Kuz'my Minina i Dmitrija Pozharskogo iz sobranija Oruzhejnoj Palaty Moskovskogo Kremlja [On the issue of attribution of the sabers of Kuzma Minin and Dmitry Pozharsky from the collection of the Armory Chamber of the Moscow Kremlin]. *Vojna i oruzhie: Trudy Vos'moj Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii* [War and weapons: Proceedings of the Eighth International Scientific and Practical Conference], pp. 291 – 313. SPb., VIMAIViVS.
- Tumanova K.V., Bazhin V.Ju., Dubovikov O.A., Sundurov A.V., Povarov V.G. (2020). Issledovanie gruzinskogo bulatnogo oruzhija XIX veka iz kollekcii gornogo muzeja gornogo universiteta [Study of Georgian damask steel

- weapons of the 19th century from the collection of the Mining Museum of the Mining University]. *Chernye metally* [Ferrous metals], №2, pp. 73–78.
- Valpy R. (1860). On the Recent and Rapid Progress of the British Trade with India. *Journal of the Royal Statistical Society of London*. London.
- Verhoeven J.D., Pendray A.N., Dauksch W.E. (1998). The Key Role of Impurities in Ancient Damascus steel Blades. *Journal of Metallurgy*, 50, pp. 58 - 64.
- Verhoeven J.D., Pendray A.N., Dauksch W.E., Wagstaff S.R. (2018). Damascus steel Revisited. *The Minerals, Metals & Materials Society (JOM)*, 70, pp. 1331-1336.
- Zheleznov V.F. (1906). Istoricheskie svedeniya o bulate v Rossii [Historical information about Bulat in Russia]. *Beljaev N.T. O bulatah (s prilozheniem Istoricheskikh svedenij o bulate v Rossii V.F. Zheleznova i Opisanija kollekcii vostochnogo oruzhija D.K. Chernova)* [About bulat (with the attachment of Historical information about Bulat in Russia, V.F. Zheleznov and Descriptions of the Oriental Weapon Collection by D.K. Chernov)]. SPb.
- Zschokke B. (1924). Du Damasse et des Lamés de Damast. *Rev.de Metallurgie*, №21, pp. 635–669.