



Игорь Таганов, Борис Калинин, Александр Нечаев

Тайное клеймо Люцифера на булате

Современное представление о булате сформировалось на основе изучения индийского и персидского оружия эпохи персидской династии Сефевидов (1502-1722). Расцвет искусства булата в Индии и Персии пришёлся на годы правления шаха Аббаса I (1587-1629) и шаха Сафи (1629-1642). К этому короткому периоду относится более 60 % всех музейных булатных клинков. В это время столицей Персии был Исфахан, и почти 70 % подписанных персидских булатных клинков носят имена столичных мастеров. Ещё одним значительным центром производства булатного оружия был город Шираз, мастера которого оставили свои имена почти на 20 % подписанных булатных клинков, хранящихся в музейных собраниях Ирана.



Рис. 1. Область сварки двух полос булатного клинка

Большинство булатного оружия из северо-западной Индии, в которой уже с XIV столетия формировалась своеобразная индо-персидская культура, изготовлено по персидской технологии, что даёт повод использовать термин «индо-персидский» булат. Прекращение производства индо-персидского булата обычно связывают с походами Надир-шаха (1737-1747), который, подавляя многочисленные восстания, систематически разрушал металлургические и оружейные центры Хорасана и северо-западной Индии.

Короткая эпоха расцвета булата оставила потомкам множество загадок, среди которых особое место занимают странные конструктивные особенности булатных клинков. Историки оружия до сих пор не могут прийти к общему мнению относительно их следующих необычных черт:

1. Булатные боевые клинки очень часто состоят из двух или даже трёх отдельных полос, собранных кузнечной сваркой. Области сварки хорошо различимы, но при этом узор булата переходит с одной полосы на другую, не меняя своей стилистики (Рис. 1)

2. Черен клинка обязательно приваривался кузнечной сваркой или припаивался медью и никогда не выковывался из полосы клинка.

3. На обухах боевых булатных клинков обычно есть странные швы кузнечной сварки, которые иногда заполнены, но часто, наоборот, протравлены, для того чтобы они выделялись и даже иногда отделаны золотом (Рис. 2).

В конце XX века в надежде раскрыть тайны технологии булата особое внимание стало уделяться исследованию особенностей его химического состава. В 1990-е годы в США группой Дж. Верховена был исследован химический состав 10 булатных клинков. Для анализа использовался метод лазерной спектроскопии (строки 12, 13 в табл. 1 и 2). В нашей работе для исследования химического состава булатных клинков применялся сканирующий кристалл-дифракционный вакуумный рентгеновский спектрометр «Спектроскан Макс-GV», производства НПО «Спектрон» (Санкт-Петербург). Этот спектрометр позволяет определять содержание элементов от натрия до урана с пределами обнаружения в сталях для большинства элементов 1-10 ppmw. Для

определения углерода и серы использовался анализатор CS-230 фирмы Leco (США), в котором применяется сжигание металлических опилок или стружки образца в потоке кислорода в индукционной печи с последующим определением концентрации образовавшихся газов (CO_2 и SO_2) путём измерения поглощённой ими инфракрасной радиации.

В нашем исследовании мы использовали следующие образцы булатных клинков: «талъвары» (индекс «Т» в табл. 1, 2) – вид самого распространённого в Индии



Рис. 2. Швы кузнечной сварки на обухах булатных клинков

Таблица 1

	Образец	C	P	S	Mn	Si	Ni	Cu
1	T-1	1,55 (3)	1170 (20)	150 (10)	430 (10)	2040 (60)	960 (20)	1930 (90)
2	T-2	1,70 (3)	450 (15)	70 (10)	410 (10)	980 (45)	600 (20)	800 (80)
3	T-3	1,45 (3)	280 (15)	50 (10)	110 (10)	3440 (70)	470 (20)	410 (80)
4	T-4	1,16 (3)	520 (15)	50 (10)	290 (10)	1580 (50)	400 (20)	990 (80)
5	T-5	0,92 (2)	930 (20)	40 (10)	1360 (15)	1570 (50)	290 (20)	700 (80)
6	Ш-1	1,70 (3)	1920 (25)	230 (10)	80 (10)	590 (40)	620 (20)	870 (80)
7	Ш-2	1,25 (3)	1400 (20)	140 (10)	40 (10)	1060 (45)	380 (20)	780 (80)
8	Ш-3	1,61 (3)	1280 (20)	80 (10)	295 (10)	2010 (60)	550 (20)	1530 (80)
9	Ш-4	1,78 (3)	1690 (20)	100 (10)	140 (10)	570 (40)	745 (20)	1110 (80)
10	Диапазон	0,9-1,8	280-1920	40-230	40-1360	570-3440	290-960	410-1930
11	Среднее	1,46 (29)	1070 (570)	100 (60)	350 (400)	1540 (900)	560 (200)	1010 (460)
12	Диапазон (США)	1-1,8	260-1440	10-160	100-500	350-1000	100-900	300-1830
13	Среднее (США)	1,51 (25)	1068 (410)	85 (40)	215 (160)	595 (240)	388 (280)	969 (500)
14	Среднее (общее)	1,49 (26)	1070 (480)	92 (50)	280 (300)	1040 (790)	470 (255)	990 (470)

Таблица 2

	Образец	Cr	Mo	V	Ti	Co	W	Nb
1	T-1	40 (5)	35 (25)	15 (5)	40 (10)	1510 (50)	180 (45)	–
2	T-2	35 (5)	30 (25)	60 (5)	70 (10)	1100 (50)	205 (45)	–
3	T-3	10 (5)	–	–	90 (10)	710 (50)	280 (45)	–
4	T-4	20 (5)	50 (25)	–	–	290 (45)	–	85 (25)
5	T-5	–	50 (25)	–	–	70 (40)	–	85 (25)
6	Ш-1	30 (5)	40 (25)	90 (5)	115 (10)	1050 (50)	160 (45)	–
7	Ш-2	80 (5)	45 (25)	80 (5)	30 (10)	670 (60)	–	–
8	Ш-3	35 (5)	–	60 (5)	360 (10)	1590 (50)	250 (45)	–
9	Ш-4	75 (5)	–	45 (5)	130 (10)	1220 (50)	210 (45)	–
10	Диапазон	0-80	0-80	0-90	0-360	70-1590	0-280	0-85
11	Среднее	40 (25)	42 (8)	58 (26)	120 (112)	910 (520)	214 (44)	–
12	Диапазон (США)	0-100	0-100	10-270	6-40	–	–	10-100
13	Среднее (США)	50	50	96 (75)	15 (10)	–	–	78 (38)
14	Среднее (общее)	74 (34)	78 (30)	82 (63)	58 (87)	910 (520)	214 (44)	79 (34)

В табл. 1,2 содержание углерода в % (масс). Содержание всех остальных элементов в «массовых частях на миллион» (ppm), при этом 100 ppm = 0,01 % (масс). В скобках указана величина стандартного отклонения (в последних цифрах среднего значения) по всем исследованным клинкам, например, обозначение для углерода 1,51 (25) означает $1,51 \pm 0,25$ % масс.

в XVI-XIX веках слегка изогнутого меча с относительно широким клинком; «шамширы» (индекс «Ш» в табл. 1, 2) – столь же популярный в Индии и Персии тип боевого меча, отличающийся от тальвара большей изогнутостью и меньшей шириной клинка.

Химический состав исследованных нами булатных клинков с персидским сетчатым узором представлен в таблицах 1 и 2.

Анализ химического состава наших образцов, как и всех остальных исследованных к настоящему времени булатов, приводит к уже отмечавшемуся в литературе заключению, что булаты содержат значительно больше углерода (0,9-1,8 %), по сравнению с другими, синхронными по эпохе, оружейными сталями (0,5-0,8 %). Новым результатом наших анализов явилось открытие необычно большого содержания фосфора в булатах. На рис. 3 представлены гистограммы содержания фосфора в современных сталях и во всех исследованных к настоящему времени образцах индо-персидского булата.

Из анализа данных рис. 3 и табл. 1, 2 следует, что содержание фосфора в булатах в 5-10 раз превышает концентрацию этого элемента в современных сталях, имея тенденцию расти с увеличением концентрации углерода, возрастая на величину порядка 75 ppm (0,0075 % масс) при увеличении концентрации углерода на каждые 0,1 % масс (косая пунктирная прямая на Рис. 4).

Когда в 1669 году Х. Брандт открыл в Гамбурге фосфор, то алхимики, поражённые его чрезвычайной ядовитостью и способностью светиться, долгое время называли его «клеимом Люцифера». Сатану, дьявола, низвергнутого Архангелом Михаилом с небес (Откр. 12: 7 – 10), «сына зари», по словам пророка Исайи (Исайя. 14:12), раньше часто именовали, как и утреннюю звезду, Люцифером, намекая на то, что он имеет обыкновение искушать людей под видом ангела света (2 Кор. 11:14).

Но фосфор ядовит не только для живых тварей, этот элемент, наряду с серой, известен как сильнейший «яд» для стали. Сера и фосфор в литом и деформированном

металле снижают пластичность и особенно ударную вязкость при нормальных и низких температурах. Фосфор образует сегрегации, которые объединяются в сетку на границах первичных аустенитных зёрен, приводя к ослаблению межкристаллических связей. Кроме того, являясь примесью внедрения, фосфор заметно искажает кристаллическую решётку твёрдого раствора и повышает неустойчивость аустенитной фазы в дефектах кристаллической решётки, тем самым заметно снижая работу развития трещин.

С увеличением содержания углерода быстро возрастает отрицательное влияние фосфора на пластичность металла. Так, при повышении концентрации фосфора с 0,02 % до 0,1 % в стали с 0,35 % углерода, ударная вязкость металла снижается в 4-6 раз, а такое же увеличение содержания фосфора в стали с 0,8 % углерода снижает ударную вязкость уже в 7-9 раз.

При концентрации свыше 0,05 % (500 ppmw) фосфор значительно ухудшает физико-механические свойства сталей, повышая их хрупкость и значительно снижая ударную вязкость металла. Кроме того, фосфор в сталях образует стаеидит – хрупкую трёхкомпонентную фосфидную эвтектику с низкой температурой

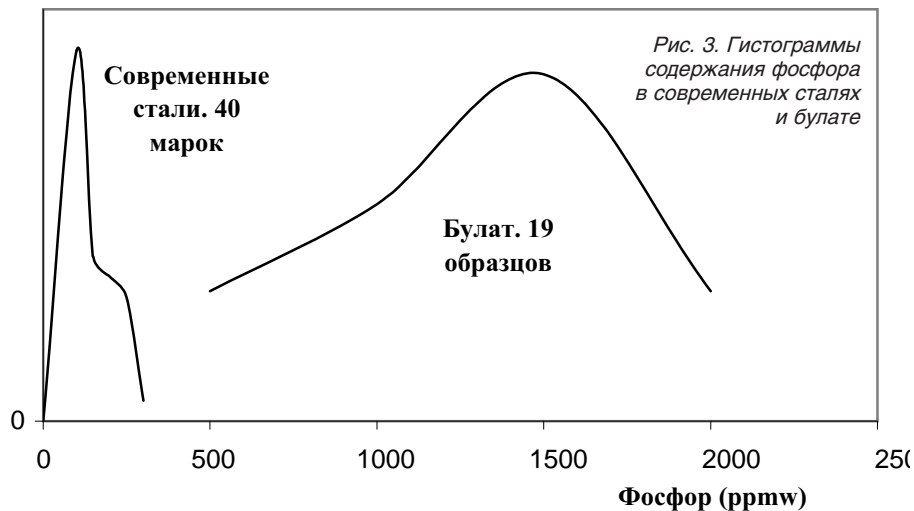
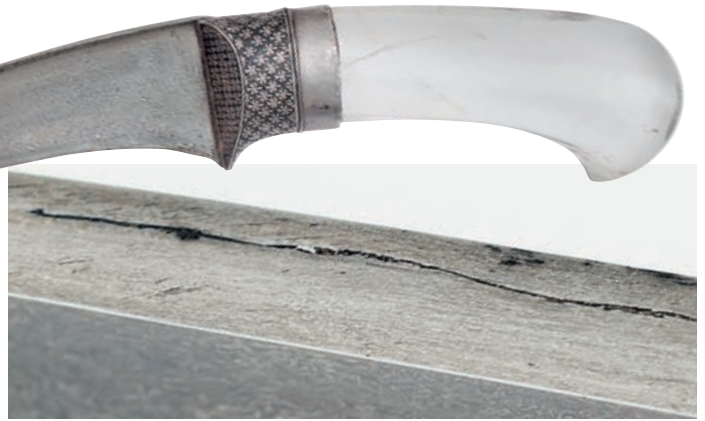


Рис. 3. Гистограммы содержания фосфора в современных сталях и булате



Рис. 4. Зависимость содержания фосфора от концентрации углерода. Квадраты – это результаты наших исследований, ромбы – результаты анализов американских исследователей, кружки – наши исследования состава индо-персидских оружейных сталей XVII века, треугольники это содержание углерода и фосфора в современных сталях





На фото сверху нож пушкабс, который встречается на севере Индии в Раджастане. На обухе клинка хорошо виден шов кузнечной сварки, свидетельствующий о качестве ножа. Такой шов обычно встречается на длинноклинковом оружии

плавления (около 970°C). При содержании фосфора свыше 0,15 % (1500 ppmw) большинство сталей становятся не только хрупкими, но и «красноломкими», рассыпаясь при попытке их ковать. Об этом хорошо знали опытные кузнецы, никогда не соглашавшиеся перековывать старые булатные клинки. Фосфористые стали плохо поддаются ковке и требуют использования специальной технологии, предотвращающей образование и развитие трещин в металле.

Обнаруженное нами аномально высокое содержание фосфора в индо-персидском булате хорошо объясняет

все загадочные конструктивные особенности булатных клинков. Последовательность операций при ковке булатного клинка была следующая (Рис. 5).

1. В Индии и Персии клинки ковали из слитков («вутцев») в форме шайб диаметром 100-150 мм и толщиной 20-30 мм. Мастера совершенно справедливо полагали, что металл наилучшего качества находится в нижней части слитка (двойная штриховка на рис. 5).

2. Поскольку высокофосфористый металл не поддается ковке без трещин и даже риска рассыпаться под ударами молота, то перед выделкой клинка слиток-вутц подвергался длительному высокотемпературному отжигу в слое измельченной железной руды. При этом во внешних слоях металла углерод и фосфор окислялись до летучих соединений, и слиток приобретал пластичную защитную рубашку из почти чистого железа толщиной порядка 3 мм (незаштрихованные области на рис. 5).

3. На этом этапе слиток в защитной рубашке протягивался в относительно толстую пластину, которая сгибалась так, чтобы лучший металл из нижней части слитка оказался на острие и внешней стороне будущего клинка. На этом этапе в клинок часто, но не всегда, вваривалась полоса вязкой низкоуглеродистой стали.

4. Собранная кузнечной сваркой заготовка протягивалась до размеров полосы клинка. На этом этапе окончательно формировался характерный сварочный шов на обухе.

5. На завершающем этапе готовая полоса клинка очищалась от защитной железной рубашки и клинок готовился для работы над узором.

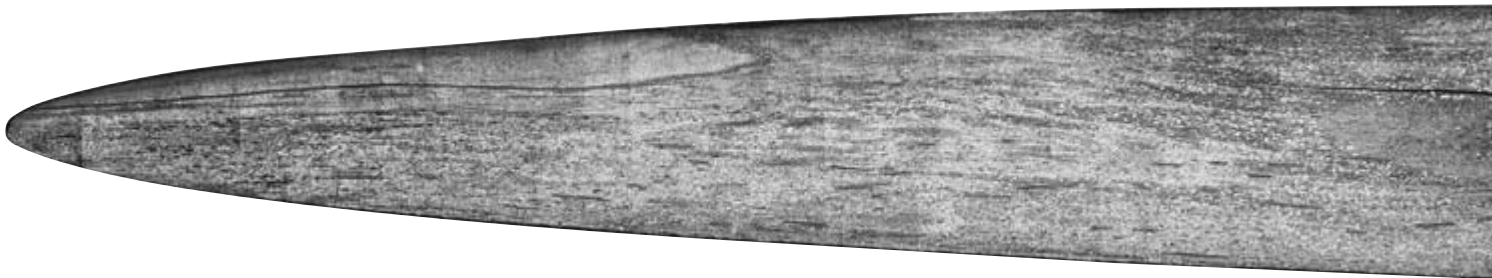


Рис. 6. Разрез индийского булатного тальвара с железным сердечником

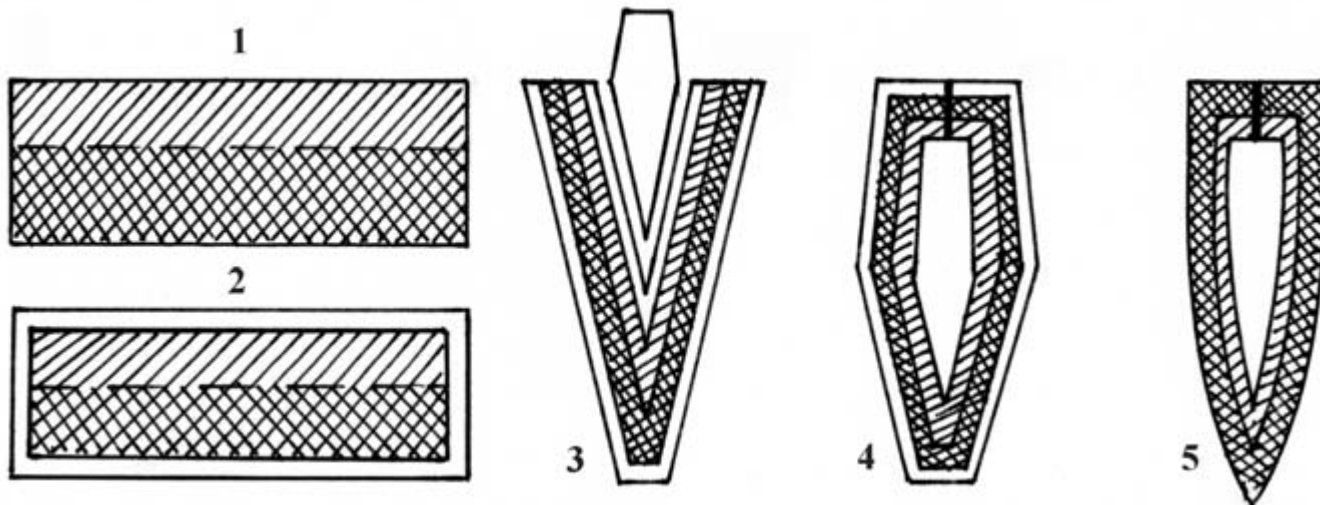


Рис. 5. Последовательность операций при ковке булатного клинка

На рис. 6 показан поперечный разрез клинка индийского булатного тальвара XVII века, собранного по этой технологии с железным сердечником.

Иногда заготовка на этапах 4 и 5 ковалась не в форме клина, а с прямоугольным сечением. Тогда на завершающем этапе клиновидный профиль и боковые плоскости клинка формировались опиловкой прямоугольной поковки. При этом параллельные слои частиц цементита пересекали боковые плоскости клинка под углом, способствуя образованию более контрастного и выразительного узора. На рис. 7 представлено поперечное сечение булатного клинка персидского шамшира, изготовленного с использованием этого приёма.

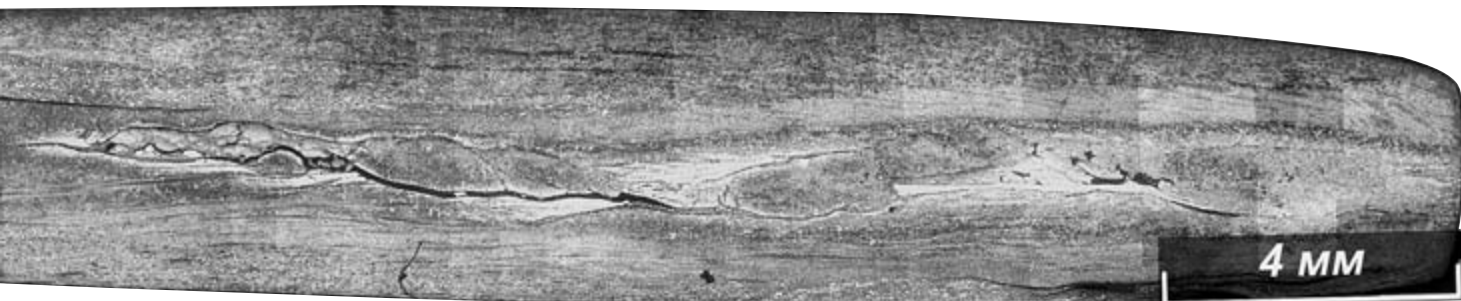
Мастера-оружейники рассматривали сварочный шов на обухе, как выразительное свидетельство успешно завершённого сложного процессаковки булатного клинка, как своего рода сертификат качества. И, конечно, они его не прятали. Более того, известно много булатных клинков среднего качества с поддельными швами на обухах.

Наибольшую нагрузку при рубке испытывает последняя треть клинка у рукояти и основание черена. Поэтому кузнецы, убедившись на опыте, что различные булатные полосы имеют разную прочность (из-за разного содержания фосфора в металле), собирали боевые клинки из двух и более полос, причём подбирали для основания клинка наиболее прочные, и сваривали их с менее прочными, но, обычно, более твёрдыми полосами. Благо, что высокофосфористый булат прекрасно сваривается. Иногда у боевых булатных клинков последняя треть у основания делалась даже не из булата, а из вязкой

низкоуглеродистой стали. Что же касается черена, то для него, из-за больших ударных нагрузок, использовалась, как правило, пластина вязкой низкоуглеродистой стали, которая приваривалась или припаивалась медью к основанию булатного клинка.

Аномально высокое содержание фосфора в булате объясняет не только конструктивные особенности булатных клинков, но также проясняет механизм образования узора булата. Серо-белый узор булата формируется пересечением с поверхностью клинка слоёв металла, обогащённого конгломератом цементита, которые при травлении остаются светлыми. Слоистая макроструктура булата сложена регулярно чередующимися слоями достаточно однородного металла матрицы толщиной 40-120 мкм и слоями металла с перлитной структурой толщиной обычно 25-60 мкм, обогащённого эллиптическими или почти сферическими конгломератами частиц цементита. Таким образом, булат является двухкомпонентным железо-углеродным композитом с регулярной слоистой структурой плотностью 30-50 слоев на мм (подробнее см. И. Н. Таганов и др. «Загадка узоров булата», «КАЛАШНИКОВ» №4/2007).

Фосфор имеет столь же высокий коэффициент ликвации (0,87), что и углерод, и при кристаллизации его содержание в междендритном металле оказывается заметно выше, чем на осях дендритов. Если учесть, что концентрация углерода из-за ликвации в междендритном металле также больше среднего, то слиток высокоуглеродистого и высокофосфористого булата рождается со значительной химической неоднородностью.



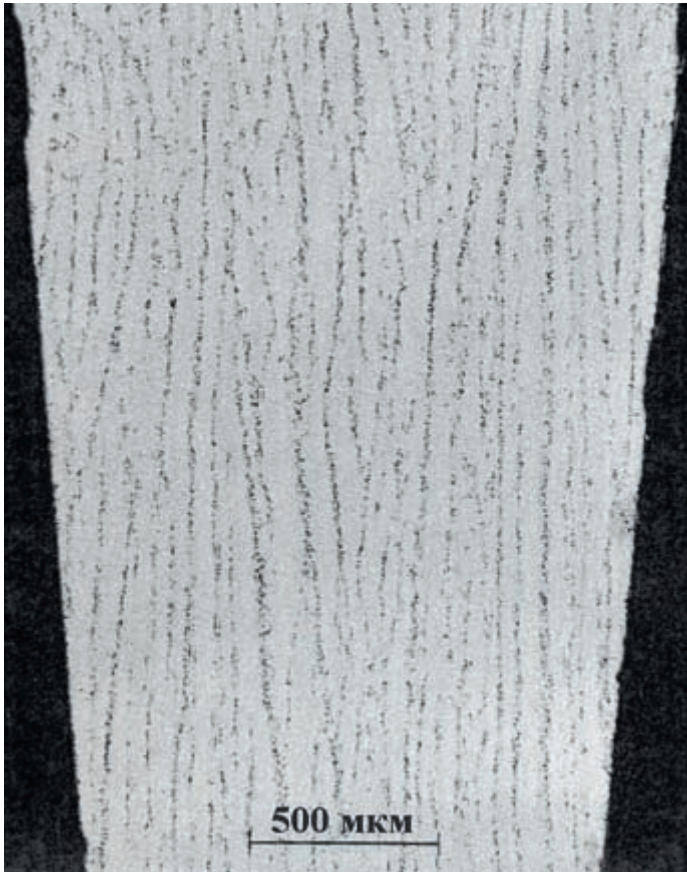


Рис. 7. Параллельные слои цементита (темные строчки) пересекают боковые поверхности клинка под углом, формируя узор булата

Высокая концентрация углерода в булате интенсифицирует процессы сегрегации фосфора на границах аустенитных зерен, а при содержании фосфора свыше 0,1 % на границах зёрен могут формироваться даже участки плёнки фосфидной эвтектики. Сетки сегрегаций фосфора на границах зерен служат областями преимущественной кристаллизации вторичного цементита. При ковочном термоциклировании булат расслаивается на лепестки деформированных аустенитных зёрен, на высокофосфористых границах которых концентрируется цементит, формируя слоистую структуру, определяющую характерный узор булата.

На рис. 8 приведена макроструктура персидского булатного клинка (1,1 % углерода и 0,07 % фосфора). Для выявления областей повышенной концентрации фосфора (светлые полосы) образец обработан реактивом



Рис. 8. Макроструктура булата со слоями металла, обогащённого фосфором

Стэда. Рисунок вполне подтверждает описанный выше механизм образования узора булата при чередовании богатых фосфором пограничных перлитных матриц с высокой концентрацией конгломератов сфероидизированного цементита (светлые включения в тёмных пограничных областях на рис 8).

Для образования типичных узоров булата за счёт описанного механизма концентрации цементита в приграничных областях сегрегации фосфора, необходима крупнозернистая структура металла с характерным размером зерна порядка 400-500 мкм. Такая крупнозернистая структура металла и образуется при высокотемпературных отжигах, сопровождающих, во-первых, медленное остывание с печью слитков-вутцев и, во-вторых, при длительном окислительном отжиге для создания на слитке пластичной защитной рубашки перед выделкой клинка. 