



## Глава 4. МЕТАЛЛУРГИЯ ЖЕЛЕЗА

Природное металлическое железо встречается на поверхности Земли как самородное и как метеоритное.

Самородное железо встречается в виде мелких листочков и чешуек, вкрапленных в базальты, например в альбит  $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_3]$  и анортит  $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_3]$  и др., и всегда содержит заметное количество никеля: аварит – до 2,8% и джозефинит – 50 % и более. Самородное железо ковко и тягуче, но весьма редко для доступного механического передела.

Метеоритное железо называлось «металлом с неба». По подсчетам на территории Древнего Ближнего Востока могло находиться до 1 млн. тонн железных метеоритов.

Наиболее ранние образцы обработанного железа, найденные на территории Древнего Востока, в Египте и Месопотамии, изготовлены из метеоритного железа, что устанавливается содержанием в них порядка 4-10% никеля.

В Ассирии на рубеже III и II тысячелетий до н.э. железо было в 40 раз дороже серебра и в 5-8 раз дороже золота.

### 4.1. Земное (металлургическое) железо

Наиболее ранними изделиями из земного железа, полученного из руды, являются железные клинки из Аладжа-Гуюка (2100г. до н.э.); они были определены по результатам металлографического анализа.

Металлургия железа зародилась в Передней Азии в области культуры хатти (народа хатти). Хетты, прямые наследники хаттов [Хеттское царство XVIII-XII вв. до н.э. в восточной Анатолии], также умели получать из руды железо и, возможно, сталь («хорошее железо» для клинков).

Производство железа в Древней Армении, непосредственно примыкавшей к Хеттскому царству, начинается в XIII-XIV вв. до н.э., а в Западной Грузии – примерно в XII в. до н.э.

В XII в. до н.э., после падения Хеттской империи, железо распространяется среди разрушивших ее народов [«народов моря», населявших побережье Восточного Средиземноморья] и соседних народов.

В Древнем Египте изделия из железа имели или культовое, или ювелирное назначение. Наиболее ранние из них – полностью



окислившиеся к моменту обнаружения бусы изготовлены из метеоритного железа, содержат примерно 7,5% Ni (3500 г. до н.э.); еще несколько небольших амулетов примерно середины II тысячелетия до н.э. также изготовлены из метеоритного железа. В гробнице Тутанхамона, умершего в XIV в. до н.э. найдено несколько миниатюрных изделий из железа, в том числе небольшой кинжал. Широкое распространение железо получило в VII в. до н.э.

В Древней Греции железо распространилось заметно раньше, чем в Древнем Египте. Так, Гомер (XI-X вв. до н.э.) упоминает о железных изделиях и железе как предмете обмена.

Отрывок из Одиссеи. Песнь седьмая. В переводе В.А.Жуковского.

Одиссей входит в дом царя Алкиноя:

*«Было в палатах любезного Зевсу царя Акиноя;  
Медные стены во внутренность шли от порога и были  
Сверху увенчаны светлым карнизом лазоревой стали;  
Вход затворен был дверями, литыми из чистого злата;  
Притолки их из серебра утверждались на медном пороге;  
Также и князь их серебряный был, а кольцо золотое.  
Две – золотая с серебряной – справа и слева стояли,  
Хитрой работы искусного бога Ифеста собаки  
Стражами дому любезного Зевсу царя Алкиноя».*

«Железный век» характеризуется изготовлением целых серий железных и стальных орудий труда в начале I тысячелетия до н.э.

Причины, препятствовавшие наступлению железного века:

1. Внутренние причины – использование бронзы в обрядовых целях.
2. Железные руды менее яркие, а потому менее заметны, чем медные, и плавка железа требовала более высоких температур.
3. Железо, получавшееся в примитивных горнах, было очень мягким и не сразу стало соперничать с бронзой в качестве материала для изготовления орудий труда и оружия.

#### **4.2. Сыродутный процесс получения железа**

Сыродутный процесс – процесс прямого восстановления железа из его окислов, минуя процесс самого расплавления железа. Для возможности процесса восстановления железа из его окислов необходимо обеспечить три условия:

Введение окислов железа в зону нагревания в условиях



восстановления.

Достижение температуры, при которой получается металл, пригодный для механической переработки.

Открытие действия добавок – флюсов, облегчающих отделение примесей в виде шлаков, что обеспечивает получение ковкого металла при невысоких температурах.

Первоначально железную руду использовали гончары Ближнего Востока как красящее вещество, изменявшее цвет глины до серого, керамики – до красного при окислении железа и до темно-серого или черного – при восстановлении железа из окислов.



Таблица 5  
Сыродутный процесс получения железа

Температура, °C	Шихта	Продукт	Свойства
1565	Восстанавливаются $\text{Fe}_2\text{O}_3$		
1540			Производство стекла
1538	Восстанавливаются $\text{Fe}_3\text{O}_4$		
1420	Восстанавливаются $\text{FeO}$		
1350	Твердый чугун, руда ( $\text{FeO}$ ) – пудлингование-процесс удаления углерода из жидкого чугуна	Крица и жидкий шлак	Прокровка кусков крицы и их многократная прокатка
1200	Руда, древесный уголь, флюс	Крица + $\rightarrow$ отделившаяся шлакообразная масса $\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2 \rightarrow$	При ковке получается продукт; используется в стекловарении
960	Руда, древесный уголь, флюс (костная мука, $\text{CaO}$ , $\text{P}_2\text{O}_5$ )	Железная крица (смесь тв. Fe и кашеобразных шлаков) $\rightarrow$	При ковке шлак выдавливается, а железо сваривается
960	Руда и древесный уголь	Губчатое железо $\rightarrow$	Дляковки не пригодно
700	Руда и древесный уголь	Спеченная масса: Fe, $\text{Fe}_3\text{C}$ , $\text{FeO}$ , $\text{MnO}$ , $\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ , $\text{MnO} \cdot \text{SiO}_2 \rightarrow$	При ковке рассыпается

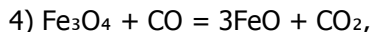
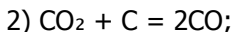
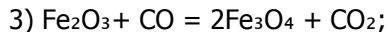
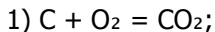
Сыродутный способ производства железа, как и способ получения стекла, является следствием температурного потенциала, достигнутого цивилизацией.

В горнах зажигали древесный уголь, в разгоревшийся огонь бросали руду и производили принудительное дутье из меха, расположенного за горном; вместе с тем пользовались природным ветром. Температура в горнах достигала 1450°C.

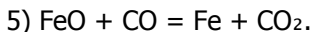
Процесс восстановления начинался при температуре



500-600°C, и протекали следующие химические реакции:



при температуре 900°C осуществлялось выделение частиц Fe:



При температуре 1100-1200°C образовавшаяся на предыдущих этапах FeO принимала участие в шлакообразовании. Частицы железа сплавлялись при температуре 1300-1400°C в железные крицы. Жидкий шлак предохранял их от окисления. Крицы при высокой температуре проковывались, из них выжимался жидкий шлак и они превращались в монолитные куски железа. При необходимости эти куски методом кузнечной сварки соединяли в более крупные заготовки.

В стране басков в конце XVIII в. для получения 100 кг железа требовалось 312кг руды (63,99%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 5,13%  $\text{Mn}_2\text{O}_3$ , 12,2%  $\text{SiO}_2$ ) и 340кг угля, приготовленного из ясеня, клена и липы. С течением времени вместо подовых (земляных) печей стали строить сыродутные горны, рис.38.

В рабочее пространство такого горна слоями загружали древесный уголь и измельченную руду. Из горна через боковое отверстие стекал шлак. После 4-8 часов рабочие при помощи железных стержней извлекали из горна слипшуюся губчатую массу, содержащую железные зерна вместе со шлаковыми включениями, – крицу. Затем крицу разделяли на части, проковывали на наковальне, придавая ей форму, нужную для продажи [4].



## Художественный металл

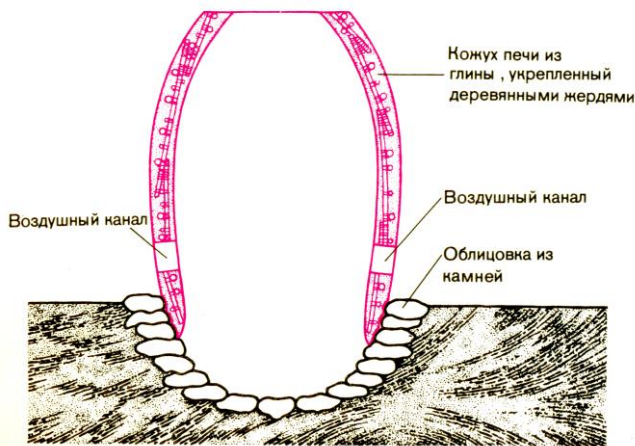


Рис.38. Сыродутный кричный горн представлял собой яму, над которой возвышалась куполообразная шахта с воздушными каналами для дутья. Крицу извлекали через пролом в стенке шахты [4]

На смену сыродутным горнам пришли рудоплавильные печи – домницы, в которых наряду с крицей получали и жидкий чугун. Удаление из чугуна углерода с целью получения ковкого железа получило название «кричного передела». Удаление углерода (выжигание) с помощью каменного угля получило название пудлингование (от английского слова puddle – месить, перемешивать). Сущность пудлингования заключалась в том, что твердый чугун загружался в рабочее пространство печи, в топке сжигался каменный уголь (в отличие от домниц, где процесс «кричного передела» осуществлялся на древесном угле при непосредственном контакте продуктов сжигания древесного угля с восстанавливаемой из руды крицей), и происходил процесс плавки чугуна. Расплавленный чугун взаимодействовал с окислительным шлаком, углерод чугуна вступал в реакцию с закисью железа с образованием  $C + FeO \rightarrow Fe + CO$ ; выделяющийся газ CO производил эффект кипения ванны, сильно перемешивал расплав, который по мере выгорания углерода становился тестообразным, т.е. образовывалась крица. Тестообразную крицу с помощью приваренного железного стержня по частям вынимали из печи и проковывали. На рис.39 показана схема пудлингования.



## Художественный металл

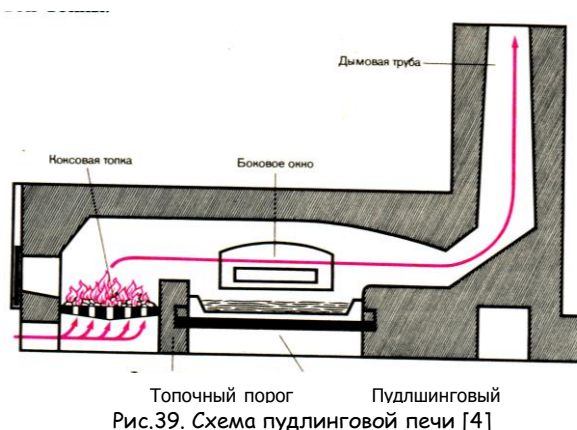


Рис. 39. Схема пудлинговой печи [4]

Сыродутный процесс получения сварочного железа в Европе существовал вплоть до 1850 года, а в Северной Америке – даже до 1890 года [4].

Тем не менее этот метод еще в XX веке использовался на Памире. В рассказе «Плавильщики Ванджа» [56] описывается процесс производства железа и стали кричным методом в Средней Азии в 1926-1927 гг., когда басмачи (по тадж. – душители) вторглись в Таджикистан и Туркмению.

... В малодоступных долинах Памира можно было увидеть своими глазами первобытные «печи-домницы», где простые литейщики передаваемыми из рода в род методами получали чугун в «сыродутных домницах» и затем на небольших наковальнях выковывали молотами простейшие сельскохозяйственные орудия, топоры, ножи, посуду и другие предметы домашнего обихода.

«Итак, я вам расскажу, как у нас, в долине Ванджа, наши мастера-усто (искусные мастера) выделяют железо. Железная руда залегает в хребте над рекой Вандж в нескольких местах, лучшая добывается около селения Те-Харв. Копи находятся высоко в горах, так что путешествие за рудой дело нелегкое, за ней отправляются только опытные и сильные горцы, которые в состоянии пронести на спине тяжелый вьюк (приблизительно 48-50 кг). Чтобы провести нормальную плавку в печи необходимо, чтобы пять человек принесли с вершины в долину по пять вьюков.

На склоне горы, среди темных, угрюмых скал, было несколько узких, как норы, входов, пробитых, как говорили старики, тысячу лет назад. Шахта имела много разветвлений, мы углубились в темную, как ночь шахту, опускающуюся постепенно вниз. Зажгли светильные ветки – чираги (сухая ветка чинара или тута,



## Художественный металл

обмазанная тестом из кунжутного масла и обмазанная для прочности мукой). Двое должны были выламывать руду, а остальные выносить ее наружу и сменять усталых забойщиков. Работа забойщиков была очень тяжелая: они долго и сильно долбили в одно и то же место, пока откалывался кусок руды. Снесенную со склона руду на выючных лошадях доставляли в кишлак.

Возле дома был сарай. Там в течение всего лета складывали дрова и уголь. Соседи, участвующие в плавке, приносили свои запасы дров и угля.

К одной из наружных стенок этого сарая была сделана пристройка в виде высокой бутылки. Стенки были сложены из камней, скрепленных глиной. Эта каменная «бутылка» и была той домницей, в которой должно было плавиться железо<sup>1</sup>. Она не маленькая: если высокий человек поднимет руку, то едва достанет до жерла (салохи) этой домницы. Стенка, соединяющая домницу с сараем, имела узкую щель, или дверцу (дарик). Через эту дверцу вся домница наполнялась доверху дровами, короткими поленьями арчи и узловатыми стволами кустарника ангет. Дрова поджигались через дверцу, которую закладывали маленькими плоскими камнями, скрепленными глиной. Наиболее квалифицированный литейщик руководит процессом плавки и указывает каждому, что ему делать. Двух наиболее опытных работников оставляет работать у основания печи, а двух молодых отправляет вверх к горловине домницы. Когда прогорели дрова и обратились в раскаленные угли, руководитель пробил внизу тонкой стенки небольшое отверстие и вставил глиняную трубку – билюль. Через эту трубку с помощью двух козых мехов (шерстью наружу) один из оставшихся у основания рабочих раздувал уголь в домнице. Работать мехами предстояло несколько дней, непрерывно усиливая жар настолько, чтобы руда расплавилась и потекла яркой, сверкающей, как солнце, струей. Работающие у жерла домницы работники должны были следить через горловину за процессами, протекающими в домнице. После того как дрова сгорели и угля опустелись, всыпалась в горловину домницы большая и тяжелая корзина угля и миска руды, расколотой на мелкие величиной с абрикос кусочки. Как только уголь прогорал и опускался, операция засыпки новой порции угля и руды повторялась. После часа работы происходила смена рабочих у основания и горловины домницы. Через глиняную трубку работавший мехами определяет,

---

<sup>1</sup> Ориентировочные размеры домницы: высота доходила до 2,3-2,5 м, а внутренний диаметр составлял, по всей видимости, не более 0,4 м.





## Художественный металл

сколько железа расплавилось и как высоко оно наполнило дно домницы. Для этого он пропускает внутрь трубки деревянную палочку: если она горит медленно – железа еще нет, но когда палочка вспыхивает ярким пламенем, – значит, она касается расплавленного железа. Тогда отверстие трубки закладывается камешком, замазывается глиной и еще снаружи заваливается землей. Над этим местом на три-четыре пальца выше стенки дарика пробивается новое отверстие и вставляется новая трубка. Снова начинают работать мехи, вдувая воздух и раскаляя уголья домницы. И так беспрерывно, чтобы узнать, как высоко поднялось расплавленное железо, надо было все выше пробивать новое отверстие в стенке дарика, вставлять новые трубки, а нижнее отверстие заделывать и заваливать землей: земляной бугор поднимался все выше, придерживая стенку дарика, чтобы она не проломилась под тяжестью железа. Длительность процесса плавки продолжалась более четырех суток. После прекращения дутья и засыпки угля и руды домница и расплавленный металл остывали двое-трие суток; после этого выламывалась тонкая стенка дарика, и все железо круглым столбом, болванкой, вываливалось внутрь сарая. Там железо разбивалось молотами на мелкие куски, которые подвергались проковке на наковальне кузнецом, и изготовлялись необходимые изделия. В сердцевине получалось более твердое железо (сталь), которое шло на изготовление топоров, ножей, холодного (белого) оружия, а по краям болванки получалось более мягкое сварочное железо».

Некоторые пояснение к технологическому процессу получения (или, как говорится в рассказе, плавке) железа:

1. В рассказе изложен классический кричный процесс производства сварочного железа.

2. Жидкое железо (сталь) в таких домницах получить нельзя; фразу в рассказе, что «руда расплавилась и потекла яркой, сверкающей, как солнце, струей» следует понимать, что в жидком состоянии мог быть только шлак.

3. Подтверждением, что в домнице была крица, а не расплавленное железо, служит, во-первых, устойчивость тонкого дарика (стенки), который в случае наличия жидкого железа был бы неминуемо раздавлен гидростатическим давлением жидкого расплава; и, во-вторых, вывалившийся столб раскаленного железа, успешно разбивается молотами на полу сарая. Расплавленное и затвердевшее железо в раскаленном состоянии можно только подвергнуть пластической деформации, но никак не разрушению.



И тем загадочнее и удивительнее является происхождение Делийского столба, рис. 40. Делийский (кутубский) столб – древний монумент, высящийся на окраине индийской столицы. Высота его составляет чуть более 7 метров, диаметр у основания 40 сантиметров, у вершины 30 сантиметров. Легенды приписывают столбу мистические свойства исполнять любые желания, для этого надо только на минуту прижаться к нему спиной. Феномен же этого сооружения заключается в том, что оно было изготовлено из чистого железа 1600 лет назад и при этом ничуть не пострадало от коррозии. Палеоуфологи считают Делийский столб специальным знаком, оставленным инопланетянами, посетившими когда-то Землю. Химики же считают, что отсутствие коррозии вовсе не инопланетных рук дело, а следствие особых климатических условий в районе Дели, когда на металле образуется тонкая пленка не дающая прорасти ржавчине внутрь. Но истинная природа и происхождение Делийского столба окончательно пока не установлены.

На протяжении многих столетий железо изготовлялось в Европе сперва в горнах, а затем в шахтных печах. Пламя в этих печах поддерживалось с помощью воздуходувных мехов, которые приводились в действие людьми, животными или водной энергией.

#### **4.3 Доменный процесс производства чугуна**

В начале XV века во Франции благодаря введению доменных печей стало возможным добывать железо в больших количествах. Воздуходувные мехи приводились в действие, как правило, водяными колесами. Выплавленный металл разливали по литейным формам, напоминающим свинью с поросятами – в Англии их прозвали «pig iron» («свинское железо»), в России – чушками [32,33].



## Художественный металл



а)

б)

Рис.40. Делийский столб: а - общий вид, б - фрагмент верхней части столба

Заводы, выплавлявшие железо и чугун, могли существовать лишь в таких местах, где большие лесные массивы (для добычи древесного угля) соседствовали с рекой (для получения водной энергии), рис.41.

Второй раз железный век наступил в 1709 году в Англии, когда Абрахам Дерби открыл способ выплавки чугуна с помощью кокса.

В XIX веке инженеры взяли на себя функции архитекторов, создавая все более смелые проекты фабрик и торговых зданий, доков и железнодорожных вокзалов. Они ввели в обиход новый, основанный на идее металлоконструкций архитектурный стиль. Стальные мосты перекинулись через широкие бухты – ранее подобные задачи считались технически невыполнимыми. Стальные своды небывалых прежде размеров перекрывали перроны железнодорожных вокзалов.

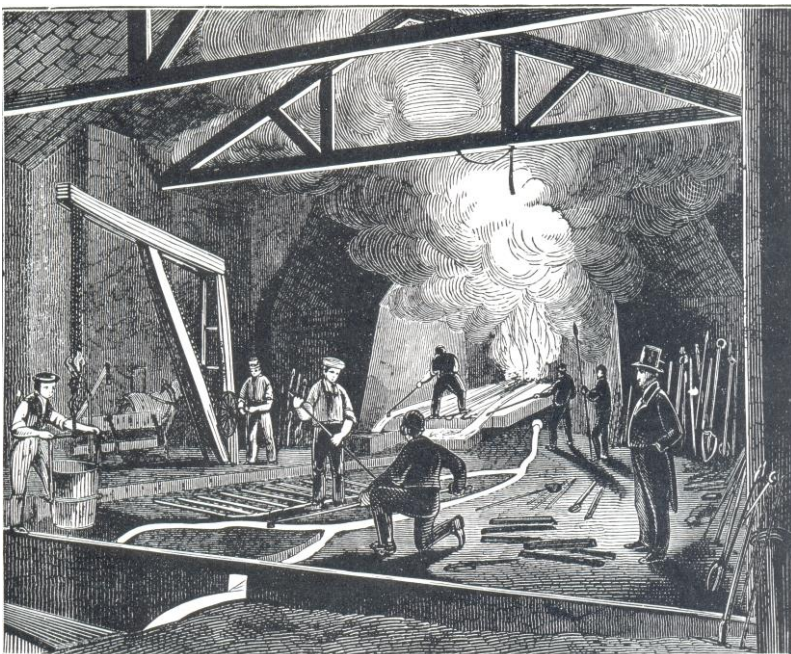


Рис.41. Чугуноплавильные заводы в Баттерли

В 1851 году для Всемирной выставки в Лондоне из заранее заготовленных металлических конструкций и стекла было возведено самое большое для того времени здание в мире – «Хрустальный дворец», рис.42. Это гигантское здание из чугуна и стекла длиной 554м и высотой 42м (что равносильно 16-этажному зданию) было построено из 2300 чугунных балок общим весом 3500т, из них на стальные элементы приходилось всего 550т.



## Художественный металл



Рис.42. Фрагмент «Хрустального дворца» (Кристалл-палас).  
Архитектор Джозеф Пэкстон, 1851 год

На рис.43 показан чугунный мост, построенный в Англии Абрахамом Дерби и его инженерами; все детали моста отливались по отдельности и монтировались на месте, причем не болтами, а, как в столярном деле, клиньями и шипами. Мост был торжественно открыт в 1781г., длина пролета моста 30,6 м, а его вес – 384 т.

В Санкт-Петербурге также были построены первые чугунные мосты: «Народный», «Красный», «Синий», «Поцелуев».

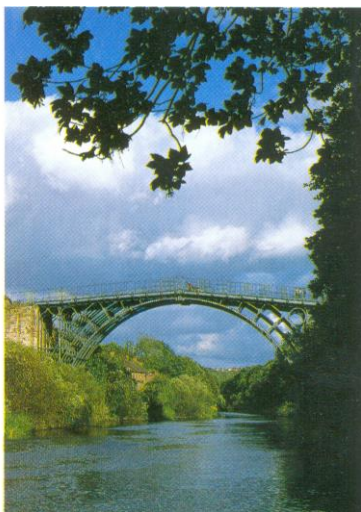
Катастрофическое наводнение 1824 года разрушило и повредило очень много деревянных мостов. Поэтому во второй половине 1820-х годов и в 1830-х годах в русской столице построили несколько чугунных мостов. По проектам П. Базена, Е. Адама и Г. Третера – педагогов Петербургского института путей сообщения – был создан ансамбль в верхнем течении Мойки между Инженерным (Михайловским) замком и Дворцовой площадью.

На этих мостах установлены очень красивые металлические решетки и фонари, поражающие почти ювелирной тщательностью исполнения. Арки чугунных мостов украшены разнообразными декоративными накладками и кронштейнами, также отлитыми из чугуна (рис.44).

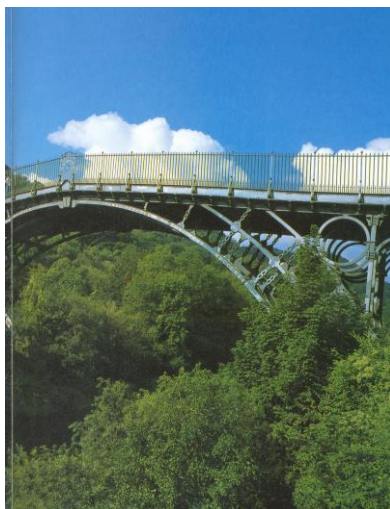




## Художественный металл



а



б

Рис.43. Чугунный мост через реку Северн (а) и его фрагмент (б)



Рис.44. Один из первых чугунных мостов - «Ттоцелуев». Санкт-Петербург

Замечательным архитектурным монументом из чугуна является «Памятник русским гренадерам, павшим в боях под Плевной». Форма памятника в виде часовни была разборной, отдельные отливки подгонялись и скреплялись болтами, рис.45.



## Художественный металл



Рис.45. Памятник-часовня гренадерам—героям Плевны. Архитектор и скульптор В. И. Шервуд, инженер-полковник А. И. Ляшкин. Чугун. Москва, 1887 год

История часовни-памятника. Памятник сооружён в 1887 по инициативе Русского археологического общества и офицеров и солдат Гренадерского корпуса, расквартированного в Москве, и собравших на его постройку 49 тыс. рублей. Чугунная восьмигранная часовня завершена шатром с православным крестом, опирающим мусульманский полумесяц. Её боковые грани украшены 4 горельефами: русский крестьянин, благословляющий сына-гренадера перед походом; янычар, вырывающий ребёнка из рук матери-болгарки; гренадер, берущий в плен турецкого солдата; русский воин, срывающий цепи с женщины, олицетворяющей Болгарию. На гранях шатра надписи: «Гренадеры своим товарищам, павшим в славном бою под Плевной 28 ноября 1877 г.», «В память войны с Турцией 1877—78 годов» и перечень основных сражений — «Плевна, Карс, Аладжа, Хаджи-Вали». Перед памятником — чугунные тумбы с надписями «В пользу увечных гренадер и их семейств» (на них стояли кружки для пожертвований). В интерьере часовни, отделанном полихромными изразцами, помещались живописные образа Александра Невского, Иоанна Воина, Николая Чудотворца, Кирилла и Мефодия, бронзовые плиты



## Художественный металл

с именами погибших гренадеров — 18 офицеров и 542 солдат. Торжественное открытие памятника 28 ноября 1887, в день 10-летия взятия Плевны, было отмечено парадом частей Гренадерского корпуса, принятого генерал-фельдмаршалом великим князем Николаем Николаевичем Старшим; городскому голове Н.А. Алексею был вручен акт о передаче памятника-часовни Москве. После 1917 большая часть внутреннего убранства была утрачена. В 1990 возобновлена традиция отмечать 3 ноября (день освобождения Болгарии от турецкого владычества) панихидой у стен часовни.

Художественные особенности. Чугунный восьмигранный шатёр-часовню на низком постаменте венчает православный крест. Отлитые из чугуна детали собирались и монтировались с идеальной точностью — на поверхности не видно ни единого шва. В 1886 году Владимир Осипович создал проект оформления площадки вокруг памятника. Братья Бромлей по рисункам Шервуда сделали отливку деталей ограды: 14 чугунных колонн с венками и 12 чугунных гирлянд. Последний заказ — бронзовые части памятника — доставили с фабрики Постникова осенью 1886 года. 27 июля 1887 года состоялась торжественная закладка памятника. Памятник в Нескучном саду разобрали и перевезли в Лубянский сквер. Значительный уклон сквера заставил скульптора устроить высокую площадку под основание, чтобы памятник просматривался со всех сторон. Поскольку монумент много весил, нужен был прочный фундамент. Шервуд сделал блестящий инженерный расчет. Время это подтвердило — памятник так и не дал осадки.

На мощном основании собрали каркас и смонтировали восьмигранник. Массивный восьмигранный шатер покоится на низком каменном цоколе с тремя ступенями. На боковых гранях нижнего яруса памятника расположены четыре горельефа.

В основании горельефов укрепили позолоченные изображения перевитых лентами лавровых венков, в верхней части всех арок и карниза смонтировали лавровую гирлянду. Горельефные изображения и кресты сразу же приобрели более торжественный вид.

«Чугунная малая призма с четырех сторон ограничивалась кокошниками, — пишет в своей книге В.В. Аникин, — которые словно в рамки укрепили четыре небольших золоченых барельефа. Карнизы кокошников украсила в виде полосы декоративная отделка из четырех треугольников. Важной частью памятника явился конус, поддерживающий кокошники разных размеров: 16 по окружности меньшей величины и 8 — большей величины, рас-





### Художественный металл

положенных над рядом из 16 кокошников. За последним рядом кокошников собрали пирамидку со штампованными украшениями и верхним шаблоном.

Рассмотрим более подробно, что представляет собой чугун, какова его история и какова роль в художественном производстве.