

А.В. Перельмутер



**ОЧЕРКИ
ПО ИСТОРИИ
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ
КОНСТРУКЦИЙ**

Москва - 2012

А.В. Перельмутер

**ОЧЕРКИ ПО ИСТОРИИ
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ**



Издательство АСВ
Москва
2012

А.В. Перельмутер

Очерки по истории металлических конструкций: Научно-популярное издание. – М: Издательство АСВ, 2012. – 192 с.

ISBN 978-5-93093-902-6

В книге собраны отдельные очерки по истории развития металлических конструкций. Она отличается от обычных вступительных глав учебника по курсу стальных конструкций тем, что рассматривает более широкий круг вопросов. Основное внимание уделяется развитию конструкторских идей, а не отдельным примерам удачных конструктивных решений. Последние только иллюстрируют появление той или иной конструкторской идеи. Очень широка и география обзора. А что касается временных рамок, то большое внимание отдано начальным этапам развития стальных конструкций, менее знакомым современному инженерному корпусу.

Книга предназначена для широкого круга лиц интересующихся историей развития стальных конструкций: инженеров, преподавателей, студентов и аспирантов.

ISBN 978-5-93093-902-6

© Издательство АСВ, 2012

© А.В. Перельмутер, 2012

Введение

Уважение к минувшему – вот черта, отличающая образованность от дикости.

А.С. Пушкин

Практически каждый учебник по курсу металлических конструкций предваряет основной текст разделом, посвященным истории развития металлических конструкций (см., например, [2] или [19]). Полезность такого введения в профессию представляется несомненной, ведь изучение даже так называемых устаревших конструкторских идей будит творческую мысль и, безусловно, расширяет профессиональный кругозор.

Но, к сожалению, в отечественных изданиях изложение истории развития конструкторской мысли и строительной практики часто продолжает следовать установленной в свое время традиции, которая предусматривала если не полное замалчивание, то достаточно скудное предоставление фактов, относящихся к зарубежному опыту. Так, например, после беглого описания некоторых построек, относящихся к выполненным в России старым металлическим конструкциям, автор пособия для студентов [15] снисходительно замечает: «Параллельно с развитием металлостроения в России, расширяется его использование и в западных странах».

В предлагаемых очерках автор в меру своих возможностей постарался уклониться от указанной традиции. С использованием доступных через Интернет сведений сделана попытка более объективного взгляда на исторические факты, и не вина автора, что некоторые из них связаны с крушением привычных мифов. При этом часто можно было воспользоваться уже написанными обзорами, сопоставляя их между собой и делая соответствующие выводы.

В книге более пристальное внимание уделяется начальным этапам развития конструктивной формы. Это связано с желанием осветить факты менее знакомые большинству современных инженеров, и, кроме того, с желанием отдать дань уважения и признательности тем первопроходцам, которые создали замечательную профессию проектировщика стальных конструкций.

Инженеры прошлого знали о работе конструкции гораздо меньше, чем это требуется для детального предсказания ее поведения под нагрузкой, но зато они обладали интуитивным чувством распределения напряжений, отнюдь не всегда присущим современным инженерам, у которых нормативные регламентации и компьютерные про-

граммы изгнали интуицию. Поэтому автор посчитал, что описание прошлого опыта может служить еще и стимулом для более глубокого «чувства конструкции», чувства, по нашему мнению, абсолютно необходимого конструктору.

Мы соревнуемся со своими предшественниками, сопоставляем наши конструкции с классическим наследием и радуемся, когда побеждаем в этом заочном состязании. Но наше поведение как минимум неспортивно, поскольку современные возможности анализа существенно выросли. И если бы нас поставить в равные условия, то неизвестно, кто бы оказался победителем.

Задумывалось так, чтобы очерки могли читаться независимо, и поскольку многие их элементы переплетаются, не удастся избежать некоторых повторов. Что касается тематического отбора, то он был продиктован личными интересами и пристрастиями автора. Тематика очерков не претендует на всеобъемлющее представление истории металлических конструкций и, безусловно, является фрагментарной. Для читателей, которые при этом оказываются неудовлетворенными, у автора имеется лишь один, основанный на собственном опыте, совет — проведите самостоятельный поиск, это занятие может быть очень увлекательным.

Для такого поиска можно рекомендовать следующие веб-сайты:

<http://en.structurae.de/>

<http://skyscraperpage.com/diagrams/>

<http://www.twirpx.com/files/pgs/metallic/>

<http://www.construction-history.com/>

Рукопись этой книги внимательно прочли и сделали ряд полезных замечаний и предложений профессор Вадим Николаевич Гордеев, Альберт Иванович Лантух-Лященко и Сергей Федорович Пичугин. Автор глубоко признателен этим друзьям и коллегам за их неоценимую помощь.

Очерк первый. МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

Говорить о металлических конструкциях и не рассматривать материал, из которого они создаются, по-видимому, нельзя. Для металлических конструкций существует определенное отличие от конструкций из других материалов — там материальная основа относится к тому, что называют «строительным материалом», в то время как металл вряд ли можно назвать таким образом.

Металлы сопровождают практически всю историю развития цивилизации, а история строительных конструкций из металла гораздо короче. Поэтому, говоря о материале для металлических конструкций, приходится рассматривать развитие металлургической промышленности как самостоятельный и определяющий процесс.

В этих очерках мы не будем говорить о конструкциях из алюминиевых сплавов, речь будет идти о конструкциях из трех видов сплавов железа и углерода — о чугуне, сварочном железе и литом железе (стали).

Развитие сталеплавильного производства

Прямое получение железа из руды

В глубокой древности железо получали путем его восстановления из руды в примитивных горнах. Поскольку в этом процессе использовалось «сырое» дутье (неподогретый воздух), способ получил название «сыродутный».

Сущность сыродутного способа получения железа заключается в следующем: в горн (рис. 1.1) загружают древесный уголь и железную руду, уголь разжигают и начинают подавать дутье; по мере сгорания и «оседания» угля руда опускается, подвергаясь непрерывному контакту с восстановительными газами и раскаленным углем и постепенно при этом восстанавливаясь.

В результате процесса получали раскисленный ком («крицу») восстановленного железа (с прожилками шлака), который вытас-

кивали из горна и обрабатывали молотами, уплотняя крицу и выдавливая из нее шлак.

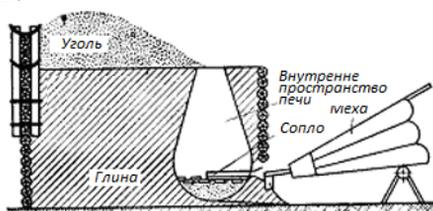


Рис. 1.1 – Вертикальный разрез сыродутной печи

Получение кричного (сварочного) железа из чугуна

По мере усовершенствования сыродутного процесса горны строили все большей вместимости, более высокими, подачу дутья интенсифицировали; это привело к повышению температуры в горне и к более продолжительному пребыванию шихтовых материалов в зоне высоких температур.

Усиление воздушных средств, благодаря применению водяного привода, привело к развитию в печи более высокой температуры, чем прежде. В результате в ряде случаев происходило заметное науглероживание железа, и продуктом процесса оказывалось не низкоуглеродистое железо, а высокоуглеродистое, т. е. чугун. Чугун не обладает пластическими свойствами (не куется, не сгибается и т. п.); часто его считали нежелательным продуктом и выбрасывали. Однако было замечено, что при загрузке в горн чугуна вместо железной руды или в случае продолжения операции из оставленной в горне высокоуглеродистой крицы также получается низкоуглеродистая железная крица. Такой двухстадийный процесс (вначале выплавка чугуна, а потом получение из чугуна низкоуглеродистого металла) как более производительный привел к возникновению более совершенного способа производства железа, получившего название *кричный процесс*. Дата появления кричного процесса, так же как и сыродутного, неизвестна, но уже в XII-XIII вв. кричный способ был распространен.

Таким образом, сущность кричного способа переработки чугуна в железо и сталь заключается в расплавлении чугуна в горне на древесном угле и окислении углерода, кремния, марганца и других примесей чугуна кислородом дутья и действием шлаков, богатых оксидами железа.

По мере выгорания примесей чугуна (в частности, углерода) повышается температура его плавления. Температура в горне достаточна для расплавления чугуна, но недостаточна для поддержания в

жидком виде образующегося низкоуглеродистого сплава. В результате по мере выгорания примесей металл становится все более тугоплавким и все более вязким. Наступает момент, когда на дне горна образуется зернистая тестообразная железистая масса, которую собирают в один общий ком (крицу), достают из горна и обжимают под молотом, чтобы удалить из металла шлак и получить возможно более плотный и однородный кусок железа.

В связи с тем, что горючие материалы, применяющиеся в кричном производстве, находятся в непосредственном контакте с металлом, они должны быть чистыми от золы и вредных примесей. Таким требованиям лучше всего удовлетворяет древесный уголь.

В 15 в. происходит ряд открытий и завоеваний новых земель, начинается упадок феодализма, и появляются у европейских государств колониальные владения. Все это увеличивает потребность в металле и вызывает более быстрый рост металлургии, но главным образом лишь в количественном отношении. В ряде стран Центральной Европы к 16 веку значительно сократились лесные площади (что вызвало даже специальные законодательные акты, ограничивающие выжиг угля). Главными поставщиками черных металлов на европейском рынке до конца 16 века становятся страны, обладающие мощными лесными массивами: Швеция, Норвегия, Россия и Австрия. Узким местом явилось и несовершенство способа переделки чугуна в железо.

Низкая производительность и дороговизна кричного передела, способствовала поиску более производительного способа получения железа, причем такого, при котором можно было заменить чистый древесный уголь другим, более дешевым и менее дефицитным топливом. В 1784г. англичанин Генри Корт (Henry Cort) предложил получать сталь окислительным плавлением чугуна на поду отражательной печи — способ, позволяющий сжигать в топке печи любое горючее (топка была отделена от ванны металла).

Генри Корт использовал отражательную пламенную печь, изобретенную Ровенсоном (John Rowinson) в начале XVII века, но технически эта печь была далеко несовершенна. Генри Корт усовершенствовал печь, для чего в поде отражательной печи была сделана впадина, в которой собирался расплавленный металл. Во впадине образовывалась лужа (puddle) из расплавленного металла, и этот процесс получил название *пудлингования*. Этот металл энергично перемешивался железными ломиками в виде весел, причем углерод выгорал за счет окислительных газов атмосферы печи, и на дне впадины собирался большой ком сварочного железа, который вынимал-

ся из печи и подвергался проковке. Чистота горючего уже не играет такой роли, как при кричном переделе, так как непосредственный контакт горючего с металлом отсутствует (рис. 1.2).

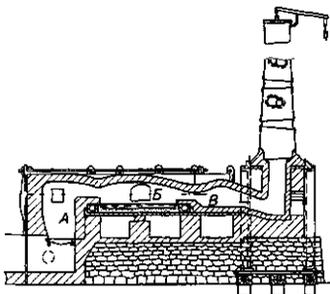


Рис. 1.2. Схема пудлинговой печи: А — топка; Б — рабочее пространство; В — камера предварительного подогрева чугуна отходящими газами

С 1830 г. по предложению англичанина Дж. Галла (Joseph Hall) подины пудлинговых печей стали делать из материалов, богатых оксидами железа: богатой железной руды, окалина (подины первых печей делали из песка). Операция пудлингования сводится к следующему: после необходимого по окончании предыдущей операции исправления пода на него загружают предварительно подогретый чугун. Расплавление чугуна сопровождается окислением его примесей. За периодом расплавления следует так называемое «вымешивание»: температуру на короткий промежуток времени несколько снижают (чтобы добиться более полного контакта металла со шлаком) и рабочие-пудлингеры перемешивают металл и шлак клюкой (или ломом). Источниками образующегося шлака являются: подина, специально добавляемая окалина, железная руда, а также железо и примеси чугуна, окисляемые в атмосфере печи.

К недостаткам пудлингового процесса относятся: высокий расход топлива, низкая производительность, низкий выход годного, невозможность получения литой стали. Несмотря на большие инженерные усилия с целью повышения производительности и уменьшения трудоемкости пудлингового процесса, этот процесс не выдержал конкуренции с появившимся конвертерным, а затем мартеновским производством.

Одним из существенных недостатков и кричного, и пудлингового процессов является невозможность получения плотной литой отливки из стали, так как и в кричных горнах, и в пудлинговых печах температура оказывалась недостаточной для расплавления металла. Получаемые крицы представляли собой комья сварившихся между

собой зерен металла. Окончательная сварка зерен проходила при последующих нагревах и обработке металла давлением. Поэтому продукты кричного и пудлингового процессов в технической литературе часто объединяют одним термином — «сварочное железо».

Получение жидкой (литой) стали

Наиболее древним из всех существующих способов получения стали в жидком, расплавленном виде, т. е. так называемой литой стали, является тигельный процесс. Точная дата появления этого способа теряется в глубокой древности. Считают, что секрет технологии тигельной плавки был утерян в средние века. В Западной Европе этот способ возродили в конце первой половины XVIII в. В 1740 году англичанину Б. Гентсману (Benjamin Huntsman) удалось осуществить процесс переплава кусков сварочного железа в изготовленных им тиглях и получить литую сталь. Добавляя в шихту разное количество чугуна, графита или мягкого железа, он регулировал твердость выплавляемой стали. Основная идея Б. Гентсмана — расплавить металл и заставить все шлаковые частицы всплыть, а затем этот шлак удалить. Сталелитейная фабрика Гентсмана (близ Шеффилда) строго хранила секреты производства, и англичане долго славились как лучшие производители изделий из стали: ножей, хирургических инструментов и т. п.

Выплавка стали в тиглях производилась следующим образом: в тигли (емкостью обычно 25–35 кг) загружали металлическую шихту, по составу близкую к стали, которую планировали получить. Шихтовые материалы должны содержать минимальное количество вредных примесей, так как сера и фосфор при тигельном процессе практически не удаляются. Закрытые крышками тигли помещают в горны или пламенные регенеративные печи (передача тепла металлу осуществляется, таким образом, через стенки тигля). После расплавления шихты идут реакции окисления углерода, марганца, кремния (за счет имеющихся в шихтовых материалах оксидов железа), а также процессы шлакообразования.

Шлаки тигельного процесса имеют кислый характер, и основными их составляющими являются силикаты железа и марганца. Шлак образуется за счет продуктов реакций окисления, всплывающих в форме неметаллических включений, случайно попавших в тигель вместе с шихтой загрязнений, а также за счет материала тигля. В результате развития процессов восстановления концентрация оксидов железа в тигельных шлаках очень низкая. Тигельная сталь отличается исключительно высокими механическими свойствами, как в продольном, так и в поперечном направлении прокатки иликовки.

Отсутствие окислительной атмосферы и раскисляющее действие материала тигля, а также сравнительно невысокие температуры процесса, т. е. работа без перегрева металла, — все эти особенности обеспечивают получение плотной стали с ничтожным количеством неметаллических включений и низким содержанием газов.

Массовое производство литого металла

Все перечисленные выше способы производства стали малопродуктивны. Бурное развитие промышленности и железнодорожного транспорта в середине XIX в. сдерживалось отсутствием высокопроизводительных и дешевых способов производства стали. Ответом на эти требования жизни явились разработка и широкое распространение двух новых способов производства: конвертерного и мартеновского.

Простой и дешевый способ получения литой стали в больших количествах путем продувки жидкого чугуна воздухом был предложен в 1855 г. английским механиком Генри Бессемером. (Sir Henry Bessemer). Продувку чугуна вели в специальном агрегате — конвертере с кислой футеровкой. Способ получил название конвертерного (бессемеровского).

Г. Бессемеру удалось предложить простую и удобную форму агрегата. За прошедшие полтора столетия сам процесс плавки существенно изменился, но конструкция агрегата осталась в принципе без изменения.

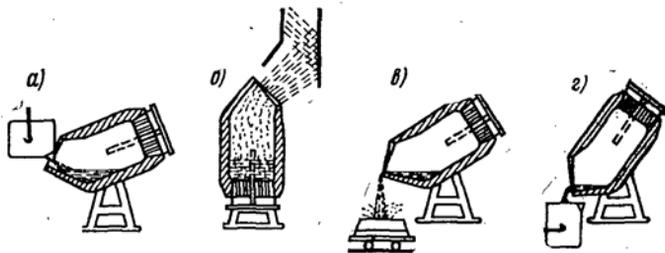


Рис 1.3. Работа конвертера: *a* — наполнение, *б* — продувка, *в* — выпуск шлака, *г* — выпуск стали

В 1878–1879гг. англичанином Томасом (Sidney Gilchrist Thomas) был разработан вариант конвертерного процесса, при котором футеровку конвертера выполняли из доломита — материала, обладающего основными свойствами. Этот процесс получил название *тома-совского* или «основного конвертерного», или «основного бессемеровского». В томасовском конвертере можно было наводить основной шлак.

В бессемеровском и томасовском процессах продувку жидкого чугуна в конвертере осуществляли воздухом. Выделяемого при этом тепла экзотермических реакций хватало только на нагрев залитого в конвертер металла (температура заливаемого в конвертер чугуна 1200–1300 °С; температура получаемой стали должна быть около 1600 °С). Возможностей переplava в конвертерах с воздушным дутьем шихты, в состав которой входил бы металлический лом, не было.

В 1865 г. во Франции Пьер-Эмиль Мартен (Pierre-Émile Martin) успешно осуществил выплавку стали из чугуна и железного лома в *регенеративных пламенных печах*. Получение в пламенных печах высокой температуры, достаточной для расплавления твердой шихты и получения стали, стало возможным благодаря подаче в печь подогретых газа и воздуха. Принцип использования тепла отходящих газов для подогрева топлива и воздуха в регенераторах промышленных печей впервые был реализован в 1856г. братьями Сименсами (Carl Wilhelm Siemens, Ernst Werner Siemens), инженерами немецкого происхождения. Поэтому в ряде стран (прежде всего в Германии, а до революции 1917г. — и в России) процесс называли «сименс-мартеновс-ким».

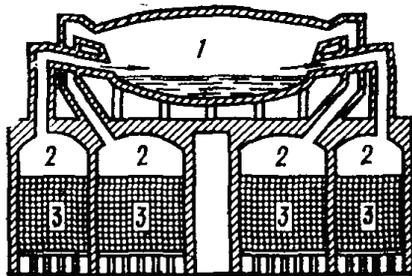


Рис. 1.4. Мартеновская печь: 1 — ванна, 2 — горячий воздух, 3 — регенераторы

Конвертерный и мартеновский способы явились базой, обеспечившей бурный рост индустриальной мощи промышленно развитых стран: менее чем за 100 лет мировое производство стали выросло более чем в тысячу раз (с 330 тыс. т в 1868г. до 346 млн. т в 1960г.).

Доменное производство

Печи, в которых можно было получить как железо, так и чугун, стали называть *блауофенами* (в России — *домницами*). Главным недостатком конструкции старых горнов была необходимость выламывать стенку печи для извлечения крицы, с последующим ремон-

том. Увеличение объемов производства сделало этот недостаток критичным, и его побороли, устроив в стенке печи «передний горн». Такая конструкция позволяла доставать крицу без разрушения кладки.

В боковой стене печи делалось отверстие с огнеупорным кирпичным барьером. Отверстие засыпалось шлаком и закрывалось крышкой. В барьере имелся канал для выпуска расплавленного чугуна и шлака (т. к. чугун тяжелее, то сперва вытекал он, а потом шлак). Крица, как мы знаем, не расплавлялась. Поэтому никуда и не вытекала.

Чугун выпускали 2-3 раза в сутки, пробивая забитое шлаком отверстие при помощи лома. Когда приходило время вынимать крицу, открывали крышку, разбивая кувалдой спекшийся шлак. И вот она — можно доставать.

Дальнейшее совершенствование металлургических агрегатов привело к появлению доменной печи (рис. 1.5). Главное отличие доменной печи состоит в том, что при любых параметрах процесса на выходе получается только чугун. В старых горнах при любых условиях плавки получалась только железная крица, а в блауофенах получали как крицу, так и чугун.

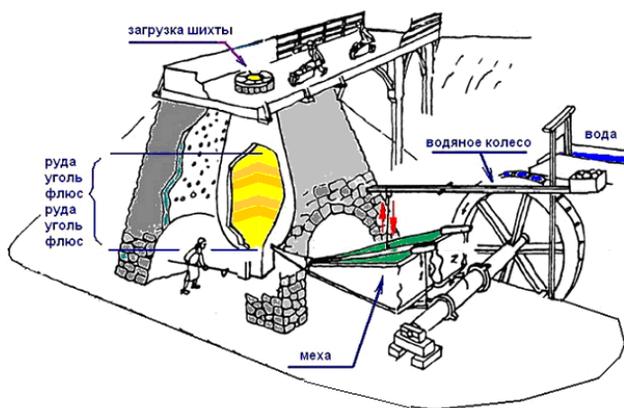


Рис. 1.5. Доменная печь XVI века

Развитие и усовершенствование доменных печей шло, прежде всего, по линии увеличения количества фурм, что, при достаточной мощности воздуходувок, значительно повысило производительность печи. Далее идет усовершенствование конструкции печи применением более тонких и легких стен, введением охлаждения, спуск шлака отдельно от чугуна. Увеличивается постепенно и объем пе-

чей. В 1829 впервые было применено нагретое дутье на шотландском заводе Кальдер. В 1856 Каупером (Edward Alfred Cowper) был сконструирован аппарат, получивший его имя и дошедший до наших дней. Аппарат с насадкой из огнеупорного кирпича, то обогреваемой продуктами горения доменного газа, то нагревающей воздух. Применение горячего дутья позволило значительно интенсифицировать доменный процесс, увеличить производительность печи и уменьшить расход топлива.

В дальнейшем и до наших дней технология доменного процесса остается в сущности неизменной, и развитие доменного дела идет за счет конструктивного улучшения и укрупнения агрегатов и механизации их обслуживания.

Чугунное литье

Англия начала свой подъем над европейскими странами в период правления Генриха VIII, правившего с 1509 по 1547 гг. В виду надвигавшегося военного конфликта с Испанией король принял военную программу, которая оказалась чрезвычайно важной для развития техники и, прежде всего, металлургии и судостроения. Одной из важнейших «военных программ» Генриха VIII было развитие артиллерии, а одной из составных частей этой программы – повышение качества и удешевление производства артиллерийских орудий. В 1541 г. перед королевскими литейщиками была поставлена конкретная задача: разработка технологии отливки пушечных стволов из чугуна. Кстати, спустя немногим более 300 лет аналогичная задача, но уже в отношении стального литья, была поставлена французским императором Наполеоном III перед выдающимся изобретателем Генри Бессемером. В 50-е гг. XIX в. это привело к революции в сталеплавильном производстве, в 40-е гг. XVI в. была совершена революция чугунного литья.

Руководителем программы стал мастер-литейщик Питер Боуде (Peter Baude), приглашённый Генрихом VIII из Франции. В результате напряжённых двухлетних экспериментов в королевской литейной мастерской в городе Бакстеде графства Суссекс удалось получить чугунное орудие, полностью удовлетворяющее требованиям артиллерийской техники. Разработанная технология оказалась настолько успешной, что в 1546 г. только в королевском арсенале в Тауэре находилось уже 351 чугунное орудие. Артиллерия Генриха VIII поражала его современников.

Следующим массовым изделием, которое изготовлялось с помощью чугунного литья, появилось лишь в XVIII веке, это были железнодорожные рельсы.

Прокатка

Молот, неизбежно применявшийся для уплотнения кричного металла — сначала ручной, потом приводной от водяного колеса, — долгое время был единственным орудием горячей обработки металла; под молотом проковывались и листы. Проволочно-протяжный стан появился в Аугсбурге в 1351, а к 15 веку относится появление прокатки листов мягких металлов между валками.

Считается, что первый прокатный стан (с деревянными валками) был сконструирован еще Леонардо да Винчи. Первые прокатные станы для производства полосового железа были изготовлены лишь в XVIII веке, когда в Англии появились станы для проката тонкого листового (1769), затем круглого, квадратного и полосового железа. Они приводились во вращение от водяных колес. Паровой привод для прокатного стана был впервые применен в 1784 в Англии.

С развитием железнодорожного транспорта значительно увеличилась потребность в прокатной продукции. Первые рельсы были чугунными, однако в начале XIX века в Англии перешли на производство железных рельсов. В 1828 году появился первый прокатный стан для прокатки рельсов из пудлингового железа, а с 1825 года начали прокатывать рельсы из бессемеровской стали. Рельсы были главным продуктом прокатного производства.

Изобретение проката железа значительно облегчило применение его в конструкциях. Однако профили проката давали малоэкономичные сечения стержней, вызывавшие излишние затраты металла. Особенно невыгодно было применение круглого, квадратного или полосового железа в сжатых стержнях ферм. А между тем бурное развитие машиностроения, судостроения, а затем железнодорожного транспорта предъявляли металлургической промышленности новые требования на увеличение выплавки железа, повышение его качества и увеличение ассортимента проката. В связи с этим производились дальнейшие исследования в области изыскания более рационального распределения металла по сечению, что привело к созданию станов для проката углового, таврового и зетового железа (Англия — 1819-1820), рельсов (Англия — 1832) и, наконец, двутавров и швеллеров (Франция — 1849).

Помимо рельсов для развития флота требовалась броня. Первый броневой прокатный стан был сконструирован в 1859 году русским механиком В.С. Пятовым. Все эти станы были довольно примитивными: валки станов приводились во вращение от водяного колеса, а позднее — паровой машины. Перемещение горячего металла к стану и от него осуществлялось вручную. Труд прокатчика был самым тяжелым на заводе.

Оглавление

Введение	3
Очерк первый. МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ	5
Развитие сталеплавильного производства	5
Применение железа и его сплавов в строительстве	15
Способы соединения элементов.....	18
Очерк второй. КОНСТРУКТИВНАЯ ФОРМА НОМЕР ОДИН	26
Эмпирики	27
Исследователи	32
Усовершенствования.....	36
Дальнейшие шаги	37
Очерк третий. КОЕ-ЧТО О МОСТАХ...	40
Первые чугунные мосты	40
Первые висячие мосты.....	43
Мосты из сварочного железа	45
История мостовой фермы	49
Прыжки в длину – погоня за рекордами	54
Первый цельносварной мост	53
Уроки аварий	68
Очерк четвертый. ... И О КОНСТРУКЦИЯХ ЗДАНИЙ	76
Конструктивная форма номер два	76
Большие пролеты.....	81
Становление схемы производственного здания	86
Какими были первые небоскребы.....	97
Легкие металлоконструкции	104
Очерк пятый. РАЗВИТИЕ АНТЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ	110

Использование аэродинамических свойств трубчатых элементов	110
Использование рей для подкрепления оттяжек	113
Объединение мачт в единую систему.....	115
Сети для антенно-мачтовых систем сверхдлинноволновых радиостанций	118
Обеспечение требуемой жесткости	119
Несимметричная компоновка башни	120
Монтаж способом подрачивания	121
Борьба с вибрациями	123
Еще немного о высотных сооружениях	124
Очерк шестой. КОНСТРУКЦИИ ЕМКОСТЕЙ	131
Баки для воды	131
Резервуары для нефти и нефтепродуктов	136
Газгольдеры	143
Очерк седьмой. САМЫЕ-САМЫЕ	149
Хрустальный дворец	149
Эйфелева башня.....	153
Гиперболоид инженера Шухова	159
Эмпайр Стейт Билдинг	163
Мост Золотые ворота	166
Олимпийский стадион в Мюнхене	170
Купол Фуллера.....	173
Портретная галерея	178
Источники информации	184

Научно-популярное издание

Анатолий Викторович Перельмутер

ОЧЕРКИ ПО ИСТОРИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

Редактор: *В.В. Космин*
Компьютерная верстка: *Д.А. Матвеев*

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98. Подписано к печати 20.08.12.
Формат 60х90/16. Гарнитура Таймс.
Печать офсетная. Бумага офсетная.
Усл. 12 п. л. Заказ № . Тираж 500 экз.

ООО «Издательство АСВ», 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26,
отдел реализации к. 511,
тел., факс: (499)183-56-83;
e-mail: iasv@mgsu.ru, <http://www.iasv.ru/>