

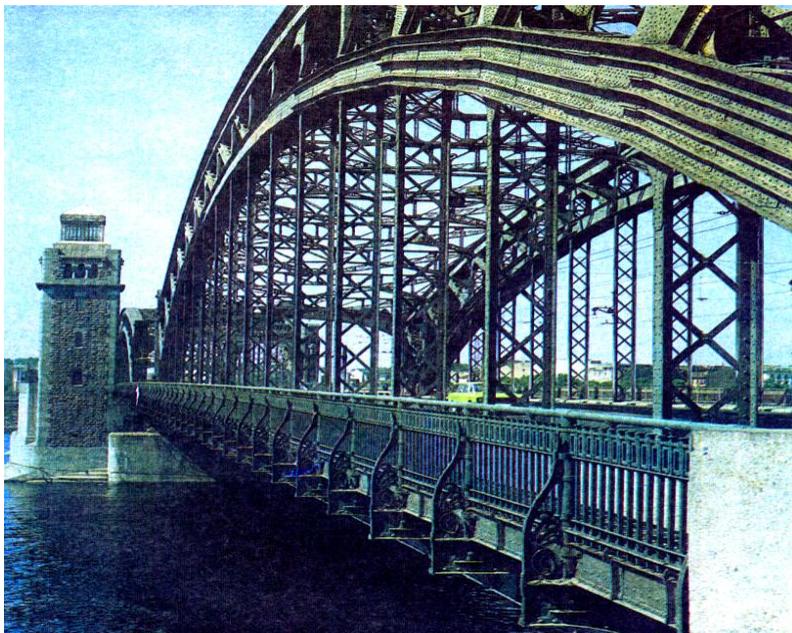
0

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Белгородский государственный технологический университет
им. В. Г. Шухова

В. М. Воронцов, В. И. Мосьпан

***МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИА-
ЛЫ
В АРХИТЕКТУРЕ***

Учебное пособие



Белгород 2009

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова

В. М. Воронцов, В. И. Мосьпан

МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ В АРХИТЕКТУРЕ

Утверждено ученым советом университета в качестве учебного пособия
для студентов специальностей 270301 – Архитектура
и 270302 – Дизайн архитектурной среды

Белгород
2009

УДК 691 (075):72 (075)
ББК 38.3я7:85.11я7
В75

Рецензенты:

заведующий кафедрой дизайна архитектурной среды
Киевского национального университета строительства и
архитектуры, профессор, доктор архитектуры,
чл.-кор. Академии архитектуры Украины *В.А. Тимохин*
доцент кафедры архитектуры и дизайна
БГТУ им. В.Г. Шухова *С.П. Верютин*

Воронцов, В.М.

В75 **Металлические материалы в архитектуре: учебное пособие /**
В.М. Воронцов, В.И. Моспан. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2009.
– 56 с.

В пособии приводится исторический обзор использования металлических материалов в строительстве и архитектуре, излагается общая характеристика строительных металлов и сплавов на их основе, рассматриваются их классификационные признаки, эксплуатационно-технические свойства, способы защиты от коррозии, области применения в современной архитектуре. Отмечается высокая эффективность применения металлов в современном строительстве, их надежность и долговечность, эстетические и экологические качества.

Учебное пособие может быть использовано студентами-архитекторами специальностей 270301 и 270302 при изучении дисциплины «Архитектурное материаловедение».

УДК 691 (075):72 (075)
ББК

38.3я7:85.11я7

© Белгородский государственный
технологический университет
(БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2009

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. Краткий обзор развития металлических конструкций.....	6
2. Общая характеристика основных строительных металлов и сплавов.....	16
2.1. Чугуны.....	17
2.2. Стали.....	18
2.3. Алюминий и сплавы на его основе.....	22
2.4. Медь и сплавы на ее основе.....	24
3. Свойства металлов и сплавов на их основе.....	25
4. Защита металлических конструкций от коррозии и огня.....	28
5. Основное назначение металлов в архитектуре.....	31
5.1. Металлы в наружных ограждениях зданий.....	33
5.2. Металлы в интерьере.....	36
5.3. Металлы в малых архитектурных формах, декоративном и монументальном искусстве.....	39
5.4. Кровельные металлические материалы.....	44
5.5. Новый конструкционный материал – металлобетон.....	46
6. Металлы и сплавы в современной архитектуре.....	46
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	53
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	54

ВВЕДЕНИЕ

Металлы – кристаллические вещества, характеризующиеся высокой тепло- и электропроводностью, пластичностью, способностью хорошо отражать электромагнитные волны, что объясняется особой природой металлической связи. Свойства металлов обусловлены их строением: в их кристаллической решетке есть не связанные с атомами электроны, которые могут свободно перемещаться. Свободные электроны, находящиеся в структуре металлов, являются переносчиками тепла и электрического тока, а способность металлической связи смещаться при механических воздействиях обеспечивает металлам высокую пластичность (ковкость).

В технике металлами называют не только простые вещества, но и многочисленные металлические сплавы – соединения нескольких металлов или металлов с неметаллами. Сплавы обладают большинством металлических свойств, и среди них есть зачастую и такие, которые отсутствуют у простых веществ, образованных теми же элементами. В строительстве и технике обычно применяют не чистые металлы, а их сплавы, что связано с трудностью получения чистых веществ, а также с необходимостью придания металлам требуемых свойств.

Металлы получают из руд, залегающих в земной коре. Отрасль индустрии, занимающаяся извлечением металлов из руд, носит название *металлургии*. Металлы обладают высокой прочностью, пластичностью и свариваемостью. Их можно обрабатывать под давлением (прокатка, ковка, волочение, штамповка). Они имеют хорошие литейные свойства, способны работать при высоких и низких температурах, кроме того, они имеют своеобразный *металлический блеск*, обуславливающий их эстетические свойства. Металлические изделия и конструкции легко соединяются с помощью болтов, заклепок и сварки. Наряду с этим металлы обладают и существенными недостатками: имеют большую плотность, при действии различных газов и влаги корродируют, а при высоких температурах значительно деформируются.

Совокупность физических, химических и механических свойств, распространенность в природе, доступность и рентабельность добычи и промышленного производства обусловили распространение в строительстве сплавов на основе железа – чугуна и стали, алюминиевых сплавов и сплавов меди. Их можно назвать основными строительными металлами.

Сталь и алюминий являются важнейшими конструкционными материалами современной архитектуры и применяются для несущих и ограждающих конструкций промышленных и гражданских зданий и

сооружений, а также как декоративно-отделочный материал. Медь и ее сплавы в качестве конструкционного материала, как правило, не применяются, но опираясь на давние традиции, современная архитектура широко использует эстетические богатства цветовой и фактурной гаммы медных сплавов в архитектурных деталях, осветительной арматуре, в произведениях монументального и декоративного искусства.

Кроме сплавов железа, алюминия и меди в архитектурно-строительной практике используют и другие металлы. Так, ванадий, вольфрам, марганец, молибден, ниобий, цинк, олово и свинец входят в состав конструкционных сплавов железа, алюминия и меди, придавая им специфические свойства. Хром, никель и цинк служат для декоративных и защитных покрытий поверхности металлических изделий. Оксиды большинства металлов являются сырьем для производства пигментов, красок и т. д. Освоение промышленных методов добычи и производства новых металлов и сплавов непрерывно расширяет круг строительных металлоизделий, обогащая арсенал материально-технических средств современной архитектуры.

Металлам принадлежит ведущая роль в современной строительной технике. Такому блестящему успеху они обязаны прежде всего достижениям металлургии, обеспечившей дешевые и многотоннажные способы получения металлов из руд и металловедению, которое позволило перевести металлы в наиболее полезное состояние с точки зрения твердости, прочности и пластичности. Когда речь идет о необходимости резкого снижения массы элементов несущих конструкций или когда легкость и изящность открытой каркасной структуры играют решающую роль в архитектурных решениях здания, преимущества металлов неоспоримы.

Монтаж стального каркаса, как правило, намного быстрее и проще, чем железобетонного. Экономичнее стальные каркасы и в ряде конструкций промышленных объектов, высотных зданий, а также небольших одноэтажных зданий павильонного типа. Эффективны металлические конструкции в мобильных домах и сборно-разборных сооружениях. Во всех растянутых конструкциях металл просто незаменим.

Предлагаемое учебное пособие является попыткой авторов изложить материал как основы фундаментальных проблем использования металлов в строительстве и архитектуре. Композиция пособия и подбор материала соответствуют основной идее – показать роль и значение металлов и сплавов на их основе как интегральной составляющей современного строительства и архитектуры. Серьезное внимание уделено классификационным разновидностям строительных металлов и сплавов, их свойствам и областям применения. Отдельно представлен

раздел о новейших достижениях в использовании металлоизделий в архитектуре. Достаточно подробно рассмотрены вопросы видов коррозии металлов, методы предотвращения коррозионных процессов и способы защиты металлоизделий от действия агрессивных сред и огня. Приводятся данные о новых для стройиндустрии материалах – *металлобетоне, пенометаллах, металлополимерах*. Значительное место занимают экологические и эстетические проблемы использования металлов в строительстве.

Пособие составлено на основе курса лекций по дисциплине «Архитектурное материаловедение». Одна из основных целей данного пособия – расширить горизонты и представления будущих архитекторов и дизайнеров о новых прогрессивных строительных материалах. Авторы рассчитывают, что данное учебное пособие будет полезно при изучении дисциплины «Архитектурное материаловедение» студентами специальностей 270301 и 270302.

1. КРАТКИЙ ОБЗОР РАЗВИТИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

История применения металла в архитектуре, как и вообще в материальной культуре, начиналась с использования его эстетических свойств. Металл – один из наиболее старых искусственных материалов. Самородные металлы – золото и серебро человек стал использовать уже за 6–7 тыс. лет до н. э. В IV тысячелетии до н. э. была известна металлургия меди, олова и свинца, а примерно с III тысячелетия до н. э. появилась бронза. Этот период вошел в историю материальной культуры под названием *бронзового века*.

Добыча и обработка железной руды относится ко II тысячелетию до н. э. Возникнув самостоятельно в ряде мест земного шара, металлургия железа быстро распространилась в Египте, Месопотамии, Индии и к концу названного тысячелетия проникла в Древнюю Грецию, Малую Азию и Закавказье, а в середине I тысячелетия до н. э. – в Китай.

Железо добывалось из бурых железняков, озерных и болотных руд. Руда обжигалась на открытом огне, а позднее в ямах или глиняных печах, куда закладывался древесный уголь и с помощью мехов нагнетался воздух. В результате обжига на дне печи оседала «крица» – комок мягкого пористого железа, которое подвергалось закалке.

Кричное железо, как и получаемое из него путемковки сварочное железо, из-за своей мягкости и трудоемкости производства не могли получить своего применения в строительных конструкциях. Однако

известны очень древние сооружения из железа (колонна в Дели, V в. до н. э.; 13-этажная пагода в Китае, X в. н. э.), на протяжении многих столетий железо в строительстве применялось в виде отдельных деталей типа штырей, скоб и заклепов.

В средние века железо начали использовать в качестве затяжек для восприятия распора колонных сводов. В России такие затяжки впервые были применены в 1158–1161 гг. в Успенском соборе во Владимире. В храме Василия Блаженного в Москве (1555–1560 гг.) к системе затяжек были подвешены потолки. Эту систему подвесных потолков считают одной из первых несущих конструкций в России. В XVI в. уже не является редкостью применение железа для наклонных стропил (Архангельский собор, 1505–1509 гг.) и для каркасов куполов (колокольня Ивана Великого в Москве, 1600 г.).

В конце XII – начале XIII вв. привлек к себе внимание более твердый, чем железо металл – чугун, получаемый при производстве железа и ранее выбрасывающийся как отходы. Из чугуна стали отливать различные изделия, а спустя еще почти 5 веков – строительные конструкции. Но началом его внедрения в архитектурно-строительную практику считается строительство чугунного моста через р. Северн в Англии (1775–1779 гг.), состоявшего из пяти параллельно расположенных чугунных полуциркульных арок пролетом 100 футов (около 31 м). Впервые в металле было выполнено все сооружение. Эстетическая выразительность моста достигалась самой формой решетчатых арок и элементов жесткости конструкций без каких-либо декоративных деталей [1].

Строительство арочных чугунных мостов быстро развивалось и в России. Арки пролетом 20–30 м обычно состояли из коробчатых элементов длиной до 3 м, скрепленных болтами. В 1848–1850 гг. по проекту русского инженера С. В. Кербедза был построен большой арочный мост через Неву, который имел 7 пролетов длиной от 33 до 47 м. В каждом пролете устанавливалось 13 чугунных арок из соединенных болтами двутавровых элементов. Один пролет (21 м) был разводным.

Конструкции из чугуна начинают осваиваться в промышленном строительстве, получившем бурное развитие во второй половине XVIII в. В 1783 г. в здании мануфактуры близ Манчестера были использованы несущие чугунные стойки, а в 1801 г. в Сэлфорде (Англия) сооружено семиэтажное здание хлопчатобумажной фабрики шириной 14 и длиной около 42 м с внутренним каркасом из чугунных стоек и балок. Разработанный инженерами М. Бултоном и Д. Уаттом (изобретателем паровой машины), этот каркас впервые объединил в одну систему металлические стойки с металлическими балками. На протяжении всего

XIX в. в промышленных зданиях широко применялся «сэлдфорский» каркас с наружными кирпичными стенами [2].

Следующий шаг в развитии металлического каркаса был сделан Д. Бочардусом, который ввел чугунные стойки и балки в наружное ограждение, частично заменив ими кирпичные несущие стены. В 1848 г. Бочардус построил в Нью-Йорке первое трехэтажное здание фабрики с применением полного чугунного каркаса. За период с 1850 по 1880 гг. Бочардус, применяя стандартные чугунные элементы, построил в США большое количество торговых, складских и административных каркасных зданий.

С середины XIX в. чугун наравне с железом и в сочетании с ним применяется и в гражданском строительстве. Массовое применение металлического строительных материалов относится к этому периоду и в связи с развитием металлургии стали.

В Петербурге в 1801–1811 г.г. по проекту архитектора А. Н. Воронихина был сооружен купол Казанского собора диаметром 17,7 м, образованный двумя рядами железных ребер из полосового железа. 120 ребер наружного ряда и 32 внутреннего опираются внизу на общее опорное кольцо. Кверху ряды ребер расходятся и соединяются подкосами. Между ребрами размещены горизонтальные элементы из таких же полос, образующие в плане кольца. Соединения осуществлены на болтах или клиньях.

Русские строители использовали железо, выпускаемое в виде полос, прутков и брусков и использовали для создания жестких и прочных конструкций по типу наслонных стропил и деревянных ферм.

В 1830 г. было выполнено арочное покрытие пролетом 26 м здания франко-русского судостроительного завода в Петербурге. Нижний пояс арок был склепан из нескольких полос, верхний состоял из прямолинейных квадратных брусков, а раскосы из круглого железа. Неоднократно применялись железные арки в комбинации со стропильными ногами.

При восстановлении после пожара 1837 г. Зимнего дворца в Петербурге архитекторы В. П. Стасов, А. И. Брюллов и инженер М. Е. Кларк для покрытия залов дворца применили принципиально новую схему стропильной фермы, соединив затяжки центральной стойки двух перевернутых шпренгверков. Этими фермами нового типа были перекрыты пролеты 15 и 22 м, что для того времени было большим достижением. Впоследствии эта система получила название ферм Полонса [1].

Одновременно с поисками средств увеличения выплавки железа велись поиски способов его обработки. В 1769 г. в Англии появились первые станы для проката тонкого листового, а затем круглого, квад-

ратного и полосового железа. Позднее были созданы станы для проката уголкового, таврового и зетового железа. Позднее в той же Англии наладили производство рельсов, а во Франции – двутавров и швеллеров.

Распространение в строительстве металлов стимулировало появление новых средств эстетической выразительности в архитектуре. Французский архитектор А. Лабруст смело ввел в интерьеры крупных общественных зданий открытые металлоконструкции. В библиотеке Св. Женевьевы в Париже (1843–1850 гг.) он как бы противопоставил наружным тяжелым кирпичным стенам легкий внутренний каркас в виде чугунных колонн и решетчатых арок из ковального железа [3].

Металлические конструкции становятся формообразующим фактором архитектуры, особенно в таких новых типах зданий, как вокзалы и большие универмаги. Характерным примером последних может служить универсальный магазин «Бон-Мари» в Париже, построенный в 1876 г. по проекту архитектора Л. Ш. Буало и инженера Г. Эйфеля. Здесь конструкции из железа, чугуна и частично стали позволили создать сложный функциональный комплекс, состоящий из отдельных ячеек-залов, соединенных системой легких мостиков-переходов.

Таким образом, уже в сооружениях из чугуна и железа определились характерные конструктивные, композиционные и эстетические достоинства металла как нового строительного материала. Однако подлинное утверждение металла в архитектуре связано с развитием стальных конструкций. Открытие промышленных способов получения стали, сохранивших свое значение до настоящих дней: бессемеровского (1855 г.), мартеновского (1865 г.), томасовского (1878 г.) и позднее электрометаллургического (1900 г.) способствовало быстрому распространению в строительстве металлоконструкций. Промышленная сталь, обладая большей прочностью, полностью вытесняет из строительства низкокачественное железо и чугун, который к концу XIX в. применяется, главным образом, лишь в декоративных формах, а кузнечный способ соединения элементов конструкций заменяется клепкой.

Использование такого высокопрочного материала, как сталь, и разработка научного метода расчета конструкций способствовали быстрому увеличению пролетов мостов. В 1868–1874 гг. в США был сооружен арочный мост пролетом 157,5 м. Многопролетный консольно-балочный Фортский мост (Англия) общей протяженностью около 2,5 м, построенный в 1882–1890 гг. имел наибольший пролет 521 м. С увеличением пролетов и уточнением рациональной геометрической

формы повысилась эстетическая выразительность металлических мостов.

Ярким примером сложного инженерного сооружения является стальной шпиль Петропавловского собора в Петербурге (1859 г.), высотой 56,5 м при общей высоте собора со шпилем 121,9 м. Шпиль был запроектирован Д. И. Журавским как ребристая стержневая восьмигранная усеченная пирамида с крестовыми связями в плоскостях граней и рассчитанный не только на вертикальную, но и ветровую нагрузку как консольная балка (рис. 1).

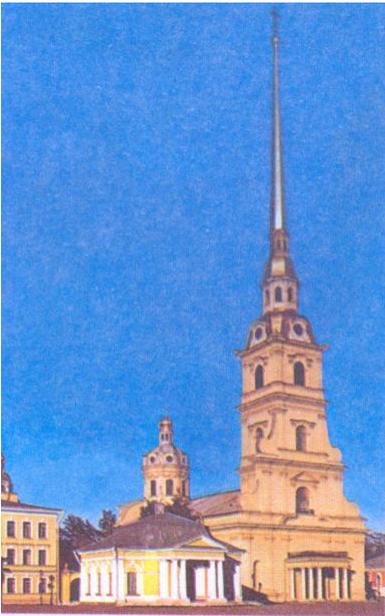


Рис. 1. Петропавловский собор (Санкт-Петербург), 1712–1733 гг. Архитектор Д. Трезини.

зданий начинают использоваться решетчатые стальные рамы и арки. Крупные выставочные павильоны были не просто достижением строительной техники. Они определили коренной переворот в архитектурном освоении металла и общем понимании архитектурной формы. Огромное остекление поверхности, единство внутреннего и внешнего пространства, впечатляющая выразительность открытых металлических конструкций знаменовали собой рождение новой архитектуры, для становления и признания ко которой понадобилось еще полвека.

Крупным шагом в развитии стержневых решетчатых высотных сооружений было строительство в 1889 г. Г. Эйфелем 300-метровой башни для всемирной выставки в Париже. Г. Эйфель использовал для конструкции башни схему шатровой мостовой опоры. Четыре наклонных пилона, соединенных между собой решетками, вздымались ввысь, асимметрично сближаясь к вершине. Рациональность формы башни определила эстетическую выразительность ее силуэта (рис. 2).

Во второй половине XIX в. появляются и новые архитектурные формы, отвечающие новым обще-

ственным потребностям и связанные, в первую очередь, с перекрытием больших пространств. Для покрытия прямоугольных в плане



Рис. 2. Эйфелева башня в Париже, 1889 г. Инженер Г. Эйфель.

Во второй половине XIX в. появляются и новые архитектурные формы, отвечающие новым общественным потребностям и связанные, в первую очередь, с перекрытием больших пространств. Для покрытия прямоугольных в плане зданий начинают использоваться решетчатые стальные рамы и арки. Крупные выставочные павильоны были не просто достижением строительной техники. Они определили коренной переворот в архитектурном освоении металла и общем понимании архитектурной формы. Огромное остекление поверхности, единство внутреннего и внешнего пространства, впечатляющая выразительность открытых металлических конструкций знаменовали собой рождение новой архитектуры, для становления и признания которой понадобилось еще полвека.

В 1896 г. выдающийся русский инженер и ученый, впоследствии почетный академик АН СССР В. Г. Шухов получил привилегию на сетчатую конструкцию башни в виде однополосного гиперboloида вращения. Такая башня, жесткий пространственный каркас которой образован скрепленными между собой прямыми стержнями, связанными по высоте башни кольцами, была построена в том же году на Всероссийской выставке в Нижнем Новгороде. Башни Шухова быстро распространились в строительстве как водонапорные (Николаев, 1907 г.), морские маяки (Херсон, 1911 г.), опоры линий электропередач, наблюдательные вышки на военных кораблях (рис. 3).



Рис. 3. Гиперболоидная водонапорная башня в Нижнем Новгороде, 1896 г. (слева). Инженер. В. Г. Шухов. Малый Станиславский маяк Херсонского порта, 1911 г. (справа). Инженер В. Г. Шухов.

На Нижегородской выставке В. Г. Шуховым впервые в строительной практике были сооружены сетчатый цилиндрический свод из гнутых полос и сетчатое большепролетное покрытие – прообраз и первенец современных висячих конструкций. Круглое здание диаметром 68 м и два смежных с ним прямоугольных здания строительных и инженерных отделов выставки были покрыты натянутой пространствен-

ной сеткой в форме шатра, по которой укладывалась кровля из листового железа.

Здесь же В. Г. Шухов впервые осуществил и стальное мембранное покрытие сферической формы диаметром 25 м. Несколько позднее, в 1898 г. В. Г. Шухов запроектировал и выполнил в натуре покрытие прокатного цеха Выксунского чугуноплавильного завода в виде сетчатого свода двойкой кривизны пролетом 40 м, опиравшегося на трехшарнирные арки. Для покрытия галерей торговых рядов в Москве (ныне здание ГУМа) В. Г. Шухов предложил оригинальную систему арочной фермы с лучевыми затяжками. Постройки и принципиальные идеи В. Г. Шухова намного опередили свое время и в течение десятилетий, вплоть до наших дней, остаются источником новых интересных решений.

Первая мировая война замедлила строительство в большинстве стран мира. Определенный спад в развитии металлоконструкций наблюдался в начале XX века также в связи с освоением нового искусственного материала – железобетона. Однако уже в 1920-е годы начался новый период развития металлоконструкций, характеризующийся становлением современных архитектурных форм.

В европейских странах и США активизируется строительство многоэтажных жилых и конторских зданий со стальным каркасом. В Нью-Йорке и Чикаго появляются районы небоскребов. Металлический каркас обеспечивал не только необходимую прочность высотных зданий, но и максимальную типизацию элементов конструкций, индустриализацию и скоростные темпы строительства. Так, монтаж стального каркаса известного Эмпайр Стейт Билдинг высотой в 102 этажа, занял всего 6 месяцев, а все строительство здания завершено за 19 месяцев.

Создание в СССР мощной металлургической промышленности способствовало развитию строительных металлоконструкций. Основным их потребителем было промышленное строительство. Советскими инженерами и архитекторами уже к 1930-м годам были достигнуты значительные успехи в проектировании и монтаже металлоконструкций машиностроительных предприятий, мартеновских и прокатных цехов, доменных печей и резервуаров. В течение очень короткого времени в СССР сложилась практически новая строительная конструкторская школа, отличная от германской и американской. Характерной особенностью этой школы стала комплектность разработки теории расчета, формообразования, изготовления и монтажа конструкций.

Среди наиболее интересных гражданских сооружений 20-х–30-х годов прошлого века – башня радиостанции в Москве, построенная по проекту и под руководством В. Г. Шухова (1921 г.). Башня в форме

пространственного решетчатого гиперboloида вращения имела высоту 160 м при диаметре основания 42 м и состояла из шести ярусов (рис. 4).

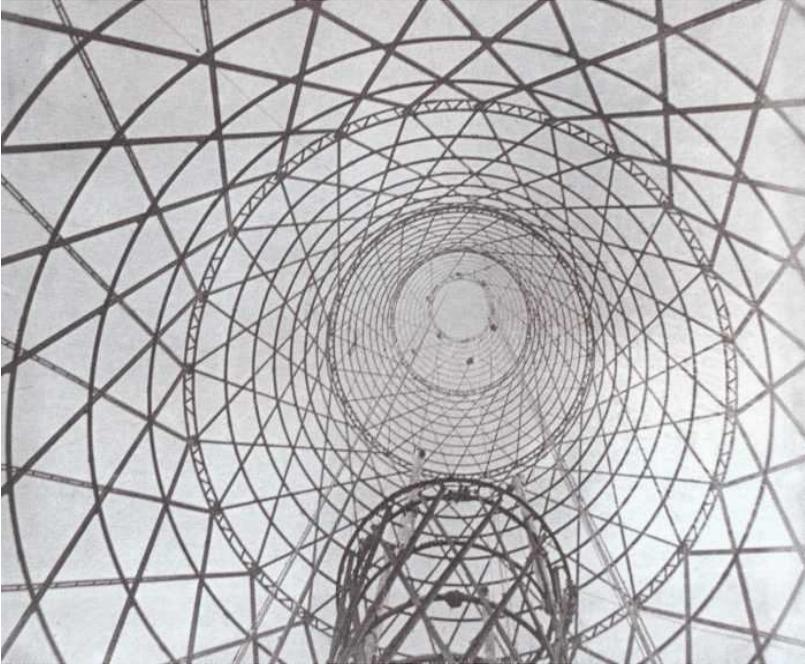


Рис. 4. Радиобашня на Шаболовке. Вид изнутри. (Москва), 1921 г.
Инженер В. Г. Шухов.

О значительных достижениях советской конструкторской школы свидетельствуют сооружения Всесоюзной сельскохозяйственной выставки в Москве (1939 г.), в особенности павильон механизации, перекрытый сорока металлическими решетчатыми двухшарнирными параболическими арками (рис. 5).

Весомый вклад в развитие металлических каркасов многоэтажных зданий внесли советские архитекторы и инженеры, принимавшие участие в проектировании и строительстве в 50-е годы прошлого века высотных домов в Москве.

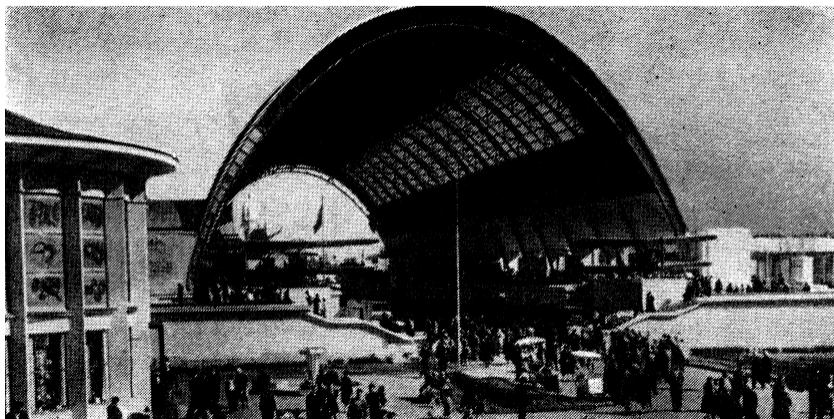


Рис. 5. Всесоюзная сельскохозяйственная выставка в Москве. Павильон механизации, 1939 г. Архитекторы В. С. Андреев, И. Г. Таранов.

В середине XX в. заклпочные соединения металлоконструкций в строительстве начинают вытесняться электросваркой. Подлинной родной электросварки стало молодое Советское государство. Созданный советским академиком Е. О. Патеном метод автоматической сварки под слоем флюса, впервые в широких масштабах внедренный в СССР, распространился во всем мире и стал основным способом соединения металлов в металлоконструкциях.

Наряду со сталью прочно вошел в число строительных материалов алюминий. Алюминиевые сплавы, начавшиеся применяться еще в конце XIX в., в 30-е годы XX в. используются как конструкционный материал в мостах, покрытиях и несущих конструкциях зданий.

После второй мировой войны промышленные сооружения, большепролетные гражданские здания, многоэтажные жилые и административные здания все чаще возводятся с применением металлоконструкций. Многогранное и интенсивное развитие в этот период получают стержневые пространственные конструкции. Особая заслуга в их развитии принадлежит советскому ученому В. З. Власову, разработавшему теорию расчета упругих тонкостенных стержней, французскому инженеру Ле Риколе, исследовавшему закономерности образования конструктивных форм, американским инженерам Б. Фуллеру и К. Ваксманну, создавшим оригинальные конструкции типа решетчатых оболочек и плит, советскому ученому, архитектору и инженеру М. С. Туполеву, работавшему над структурой сетчатых куполов.

В 1958 г. символически выражая огромную роль металла в современной архитектуре, поднялся над Всемирной выставкой в Брюсселе

«Атомимум» – гигантская модель молекулы железа (рис. 6). Сталь и алюминий были основными строительными материалами выставки, а в решении павильонов были использованы почти все известные в настоящее время формы и системы конструкций. Выставка как бы подводила итоги достижениям человечества в области использования металла в архитектуре. В то же время в конструкциях и формах павильона открывались новые горизонты развития архитектуры. Здесь тесно сплелись история металла в архитектуре с его современностью и пролегли реальные мосты из прошлого в будущее.



Рис. 6. «Атомимум» на Всемирной выставке в Брюсселе, 1958 г.
Архитекторы братья Поляк.

2. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Все металлы и металлические сплавы делятся на две большие группы – *черные* (на основе железа) – чугуны и стали и *цветные* (не-

железные) – на основе алюминия и меди. Их следует называть основными металлическими строительными материалами. В строительстве наиболее распространены черные металлы – это сплавы железа с углеродом и другими элементами.

Железо – главный металл современной техники и промышленного производства, составляет свыше 5 % массового состава земной коры, по распространенности металлов в природе уступает только алюминию.

2.1. Чугуны

Первичным продуктом черной металлургии, получаемым непосредственно из руды, является *чугун* – сплав железа с углеродом (содержание углерода более 2,14 %), некоторым количеством марганца (до 2 %), кремния (до 5 %), а иногда и других элементов. Высокое содержание углерода в чугуне определяет его хрупкость и малую ковкость. Добавления в сплав меди, хрома, никеля, алюминия могут придать чугуну специальные свойства: жаростойкость, износостойкость, немагнитность и др. Изделия из чугуна получают в виде отливок. В зависимости от строения и состава чугун бывает *белый, серый, высокопрочный и ковкий*.

Белый чугун имеет высокую твердость и прочность, плохо обрабатывается резаньем, хрупок. Используется в качестве передельного на сталь или ковкий чугун.

В строительстве находят применение серые чугуны. Они используются в конструкциях, работающих на статическую сжимающую нагрузку (колонны, арки, своды, фундаментные плиты, опорные плиты под фермы, балки, канализационные трубы, люки, задвижки); высокопрочные и ковкие чугуны, обладающие повышенной прочностью, пластичностью и вязкостью, используются в конструкциях, подвергающихся динамической и вибрационной нагрузке и износу (полы промышленных зданий, фундаменты тяжелого кузнечно-прессового оборудования, подферменные опоры железнодорожных и автодорожных мостов и т. д.) [4].

Особо следует отметить способность чугуна принимать разнообразные филигранные формы. Русские мастера создали непревзойденные образцы художественного чугунного литья в архитектуре. И в наши дни изделия из художественного чугунного литья широко используются в эстетическом многообразии отделки садов, парков, скверов (ограды, скамейки, фонари, скульптура и т. п.).

Чугун обладает существенными недостатками – высокой плотностью и хрупкостью, что определяет ограниченность его применения в строительстве. По механической прочности он значительно уступает основному конструкционному металлическому материалу – стали.

2.2. Стали

Сталью называется сплав железа с углеродом, содержание которого не превышает 2,14 %, и другими элементами (кремнием, марганцем и др.), которые существенно влияют на свойства стали – прочность, пластичность, коррозионную стойкость и др. К вредным примесям относятся сера и фосфор. Сера делает сталь трещиноватой при высоких температурах, а фосфор – хрупкой при низких температурах (хладноломкой).

По химическому составу различают стали *углеродистые* и *легированные*, а по назначению – *конструкционные*, *инструментальные* и *специальные*.

Наиболее распространены в строительстве конструкционные углеродистые стали. Используются также и легированные, которые обладают повышенной прочностью и коррозионной стойкостью за счет присадок легирующих элементов – никеля, кобальта, хрома, меди, ванадия и др.

Для производства металлических строительных конструкций широко используется углеродистая сталь обыкновенного качества определенной группы (в зависимости от механических свойств), например марок Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, Ст6. По мере увеличения указанных цифр возрастает содержание углерода, а также прочность, твердость, но снижается пластичность материала. Кроме того, учитывая группу стали, добавляют впереди букву А – с гарантированными механическими характеристиками, Б – химическими, В – с теми и другими характеристиками. После цифры, указывающей марку стали, добавляют буквы, связанные со степенью раскисления: СП – спокойные, ПС – полуспокойные, КП – кипящие. Последние более пластичны, но менее долговечны – склонны к старению структуры, хладноломкости, хуже свариваются.

Для современных конструкционных материалов чаще всего используют сталь группы В-ВСт3 СП (ПС) [2].

Весьма перспективны легированные стали. Легирующие элементы придают им особые физико-химические или технологические свойства. Сталь, содержащую не более 5 % каждого из легирующих элементов, принято называть *низколегированной*, при более высоком содер-

жании хотя бы одного из них – *высоколегированной*. В строительстве наиболее распространены низколегированные стали. Основным преимуществом низколегированных сталей по сравнению со сталью марки Ст3 является их большая прочность при сохранении достаточно высокой пластичности и свариваемости, что позволяет повысить допускаемые напряжения и уменьшить расход металла на изготовление конструкций, а также повышенная стойкость к атмосферной коррозии.

Высоколегированные стали являются носителями особых свойств: коррозионной стойкости, жаростойкости, жаропрочности, морозостойкости. Их используют в строительных металлоконструкциях, предназначенных только для специальных целей. Из высоколегированных сталей в строительстве применяют коррозионностойкие (нержавеющие) стали, характеризующиеся высокой стойкостью к атмосферной коррозии в химически активных средах.

Сталь, как и другие материалы, ведет себя как упруго-пластичный материал. Теплопроводность стали, как и всех металлов, очень высока и составляет 70 Вт/(м·К). Температура плавления стали зависит от ее состава и для обычных углеродистых сталей находится в пределах 1300–1500° С. При нагреве в стали происходят полиморфные превращения, приводящие к снижению прочности. Небольшая потеря прочности наблюдается уже при нагреве выше 200° С; после достижения температуры 500–600° С обычные стали становятся мягкими и резко теряют прочность. Поэтому стальные конструкции не огнестойки и их необходимо защищать от действия огня, например, покрытием цементными растворами.

Большое количество стали используется для изготовления строительных стальных конструкций – крупноразмерных элементов зданий и сооружений. Стальные конструкции изготовляют из стального проката, соединяемого сваркой, заклепками и болтами. Стальные конструкции рациональны в эксплуатации, обладают небольшой массой и габаритами по сравнению с каменными и железобетонными конструкциями [5].

В современном строительстве стальные конструкции используются в качестве несущих конструкций, для высотных жилых зданий, промышленных предприятий, а также при строительстве мостов, телевизионных башен и т.п. Чаще всего стальные конструкции воспринимают изгибающие и растягивающие усилия, реже сжимающие. Наиболее рационально применение стальных конструкций для перекрытия больших пролетов в зданиях (цехи, зрительные залы, Дворцы спорта), для каркасов высотных зданий и промышленных цехов с тяжелым крановым хозяйством.

Стальные конструкции обычно выполняют из прокатных элементов различного профиля – трубчатых и гнутых профилей, полосовой и листовой стали. В строительстве чаще всего применяют следующие прокатные и гнутые профили: двутавровые балки, швеллеры, уголки (равнополочные и неравнополочные) и т. п. (рис. 7).

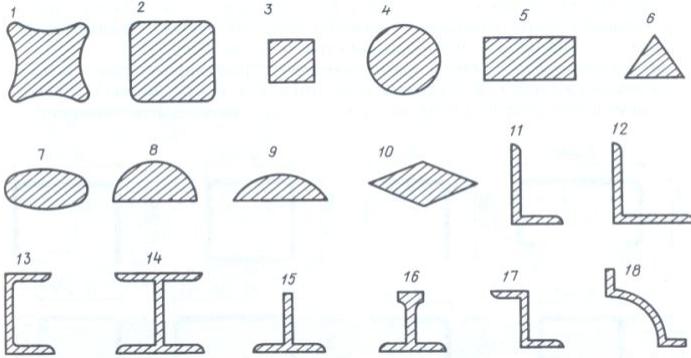


Рис. 7. Виды строительных прокатных профилей:

- 1 – бломс; 2 – квадратный с закругленными углами; 3 – квадратный; 4 – круглый; 5 – полосовой; 6 – треугольный; 7 – овальный; 8 – полукруглый; 9 – сегментовый; 10 – ромбовидный; 11 – уголок неравнополочный; 12 – уголок равнополочный; 13 – швеллер; 14 – двутавр; 15 – тавр; 16 – рельсовый; 17 – зетовый; 18 – колонный

По назначению стальные конструкции подразделяются на колонны, прогоны и фермы.

Колонны бывают сплошными, состоящими из одного или нескольких профилей, или решетчатыми, состоящими из двух или четырех ветвей, соединенных между собой решеткой. Колонна воспринимает сжимающие нагрузки.

Пргоны (балки) изготавливают или из двутавровых балок, или в случае перекрытия больших пролетов сварными из стального листа (высота балки может достичь при этом 2 м).

Фермы – плоские решетчатые конструкции, перекрывающие весь пролет здания (длина ферм от 18 до 36 м и выше). Их изготавливают обычно из уголкового стали с креплением сборочных единиц листовой сталью.

Перспективно применять пространственные металлоконструкции для перекрытий больших пролетов.

Номенклатура стальных материалов включает различные профили и листы, оболочки, мембраны, тросы, канаты, черепицу, декоративно-художественные изделия.

Профили применяют различного сечения (рис. 8). Листовую сталь выпускают толщиной до 6 мм; тонколистовую кровельную и оцинкованную сталь – толщиной 0,4–0,8 мм. Листовая сталь может изготавливаться плоской или с профилями разнообразной формы (закругленной, синусообразной, трапециевидной). Листы с профилем высотой до 20 мм применяют, как правило, для подвесных потолков, устройства стен, заборов. Листы с профилем большей высоты используются в качестве конструктивных элементов, в том числе с профилем до 120 мм – в многоэтажном строительстве (рис. 9).

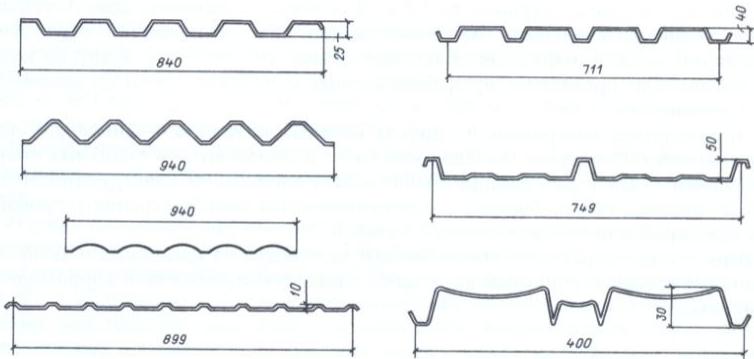


Рис. 8. Виды профилей стальных листов

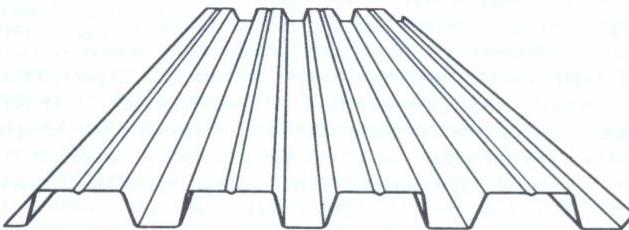


Рис. 9. Алюминиевый лист высокого профиля

Металлочерепица является разновидностью профилированного стального оцинкованного листа с полимерным покрытием. Профиль, получаемый поперечным штампованием, имитирует натуральную черепицу [6].

2.3. Алюминий и сплавы на его основе

Самый распространенный металл на Земле – алюминий. Он составляет около 8,1 % земной коры. Это легкий серебристо-белый металл. Плотность чистого алюминия составляет 2700 кг/м^3 , температура плавления 657°C . Алюминий получают из природных бокситов, главным алюминий содержащим минералом в которых является глинозем – Al_2O_3 . Относительно невысокая плотность и быстрая окисляемость определили преимущественное использование в технике и строительстве алюминийевых сплавов. В составе таких сплавов 90–95 % алюминия, остальные – элементы, повышающие прочность и замедляющие окисляемость сплавов.

Алюминиевые сплавы, используемые в архитектурно-строительной практике, получают с помощью давления (прессование, прокат). Кроме основного металла они содержат магний, марганец, медь, цинк и кремний.

К достоинствам алюминиевых сплавов относятся: малая плотность (в три раза меньшая, чем у стали) и высокие показатели прочности; повышенная по сравнению со сталью стойкость к атмосферной коррозии и в некоторых агрессивных средах; возможность получения профилей необходимой формы (прессованием и холодной гибкой из листового проката); хороший внешний вид; возможность сочетания с многими другими металлами; отсутствие искрообразования при ударе.

Чистый алюминий и некоторые его сплавы обладают высокой коррозионной стойкостью. Прочная и плотная оксидная пленка надежно защищает алюминий от коррозии. Выращивая утолщенную оксидную пленку и вводя в нее различные компоненты, можно получить пленку любого цвета.

К недостаткам алюминиевых сплавов относятся:

- а) малая величина модуля упругости;
- б) высокий коэффициент термического расширения ($23 \cdot 10^{-6}$);
- в) сложность применения сварки.

Более низкое по сравнению со сталью значение модуля продольной упругости ограничивает применение алюминиевых сплавов для строительных конструкций повышенной жесткости. Во всех же других слу-

чаях можно принимать такие конструктивные решения, в которых практически устраняется этот недостаток.

Алюминиевые сплавы наибольшее применение находят в ограждающих конструкциях. Более 70 % всего объема производства конструкций из алюминиевых сплавов расходуется на ограждающие конструкции стен, кровли, переплетов, дверей, подвесных потолков, отделки интерьеров, фасадов и других архитектурных элементов. Технико-экономические сравнения показали целесообразность применения ограждающих конструкций из алюминиевых сплавов [7].

Доля применения алюминиевых сплавов для несущих конструкций пока еще невелика. Весьма целесообразным является применение алюминиевых сплавов для сооружений больших пролетов, в которых напряжения, вызываемые собственной массой, составляют значительную часть суммарных напряжений, возникающих от воздействия всех расчетных нагрузок. Во многих случаях применение конструкций из алюминиевых сплавов при реконструкции существующих мостов позволяет повысить допускаемые на них нагрузки благодаря облегчению проезжей части моста.

Алюминиевые сплавы применяются в строительстве в виде листового и профильного материала. В отличие от стали, в алюминиевых сплавах понижение температуры ведет к повышению механических характеристик и не вызывает хладноломкости.

Стоимость алюминиевых строительных конструкций в 7–8 раз дороже стальных.

Алюминий и его сплавы эффективно применять в несущих и ограждающих конструкциях жилых и общественных зданий. Применение алюминиевых сплавов для этих конструкций уменьшает массу, повышает долговечность, сокращает эксплуатационные расходы и улучшает технические и архитектурные характеристики зданий. Применение алюминиевых сплавов позволяет существенно уменьшить массу строительных металлических конструкций.

Благодаря свойству бактерицидности и стойкости против коррозии алюминий может обеспечить самые высокие гигиенические требования к помещению внутри здания любого назначения. По всем функциональным, моральным и эстетическим требованиям алюминий соответствует, а во многих случаях превосходит существующие традиционные материалы [8].

2.4. Медь и сплавы на ее основе

Чистая медь – мягкий пластичный металл красноватого цвета, плотность 8960 кг/м^3 , отличается высокой теплопроводностью [390 Вт/(м·К)] и электропроводностью. Прочность меди невелика – на растяжение она составляет $180\text{--}240 \text{ МПа}$, температура плавления – 1080°С . Медь и ее сплавы относятся к числу металлов, известных с глубокой древности. Этому способствовало то, что медь встречается в природе в виде самородков, а также достаточно просто выплавляется из медных руд. Она долговечна, проста в обработке, устойчива к погодным явлениям, совместима с другими материалами. Со временем на меди образуется оксидный слой, защищающий ее от коррозии. Она очень красива, недаром ее использовали издавна для украшения извесных и внушительных зданий. Ни один другой металл не улучшает внешний вид здания и не выделяет его среди остальных как медь.

Ныне она находит все большее и большее применение в строительстве. Помимо традиционных архитектурно-отделочных элементов (кровельные покрытия, отделка подоконников, ростверков, устройство сливов и водостоков), медь стала применяться при фасадной облицовке зданий и при прокладке внутридомовых коммуникаций. Особо ценится этот металл в качестве тепло-, газо- и водопроводных труб. Медные трубы не подвержены коррозии. Гигиеническая составляющая воды, находящейся в них, гораздо более высокая, чем в стальных трубах. Медь применяется в основном в виде сплавов – *латуни* и *бронзы*.

Латунь – сплав меди с цинком (содержание последнего $10\text{--}40 \%$), хорошо поддается прокату, штамповке и вытягиванию. Прочность и твердость более высокие, чем у меди. В строительстве латунь используется для декоративных элементов (поручни, накладки и т. п.) и для санитарно-строительных устройств.

Бронза – сплав меди с оловом (содержание последнего до 10%). Иногда в сплав добавляют алюминий и свинец. Прочность бронзы примерно такая же, как и у меди, но твердость значительно выше. Бронзы обладают хорошими литейными свойствами и коррозионно-устойчивы. Применяются для декоративных целей (арматура для дверей и окон и др.), в санитарной технике и для специальных целей, а также в архитектурно-художественном литье.

3. СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ НА ИХ ОСНОВЕ

Широкое использование металлов в строительстве объясняется сочетанием у них высоких физико-механических свойств и технологичностью.

Плотность металлических материалов сравнительно высока (у стальных – около 7860 кг/м^3), что заметно превышает соответствующий показатель большинства других материалов. Пористость, гигроскопичность и водопоглощение у металлов отсутствуют.

Металлы обладают высокой прочностью, причем прочность при изгибе и растяжении у них практически такая же, как и при сжатии. Характерные значения прочности при сжатии, растяжении и изгибе составляют 300–400 МПа, но могут достигать 1000 МПа и более. Прочность стали более чем в 10 раз превышает прочность бетона при сжатии и в 100–200 раз прочности при изгибе и растяжении. Поэтому, несмотря на то, что плотность стали в 3 раза выше плотности бетона, металлические конструкции при той же несущей способности значительно легче и компактнее бетонных. Этому способствует также высокий модуль упругости стали, который в 10 раз выше, чем у бетона и других каменных материалов [9].

Материалы из алюминиевых сплавов при меньшей плотности (около 2800 кг/м^3) могут не уступать характерным прочностным показателям стальных, достигая 670 МПа. Высокая прочность металлических материалов часто позволяет им отличаться меньшими габаритами и массой по сравнению с другими материалами аналогичного назначения.

Наряду с высокой прочностью к положительным свойствам металлических материалов (кроме чугуна) относятся их пластичность – способность выдерживать большие остаточные деформации без разрушения при сохранении прочности. По этой причине металлы незаменимы для многих современных конструкций. При этом следует учитывать, что напряжения в структуре рассматриваемых материалов распределяются неравномерно и концентрируются в местах переходов сечений, возможных дефектов металла и т.п. Вместе с тем металлические профили или листы всегда имеют на поверхности макро- или микродефекты (неровности, шероховатости), которые являются концентраторами напряжений, приводящих к снижению конструктивной прочности металла. В металле, не способном к пластической деформации, состояние неравномерного напряжения сохраняется, а в местах концентрации напряжений могут возникать трещины, которые еще более усилят неравномерность распределения напряжений и ускорят процесс разру-

шения. Поэтому для надежной и безопасной эксплуатации нагруженной конструкции необходимо, чтобы металл, наряду с высокой прочностью, всегда имел известный запас пластичности [10].

Вязкость разрушения металла характеризует его трещиностойкость, которая снижается при коррозии и понижении температуры. Максимальное напряжение, которое может выдержать металл без разрушения за заданное число циклов, называется *пределом выносливости*. Этот показатель заметно снижается при наличии концентраторов напряжения.

Наиболее универсальны с эксплуатационно-технической точки зрения материалы из стали, однако материалы из алюминиевых сплавов имеют ряд преимуществ: значительно более высокая коррозионная стойкость в кислой среде (коррозионный процесс развивается в 500 раз медленнее), более высокая технологичность, антимагнитность, отсутствие искрообразования при обработке, более высокая стойкость при низких отрицательных температурах.

Эстетические характеристики металлических материалов оригинальны и регулируются в широких пределах, причем в ряде случаев цветовая палитра обогащается в процессе эксплуатации. Так, медь и ее сплавы, окисляясь кислородом воздуха, покрываются защитной пленкой – *патиной*, которая с течением времени приобретает множество цветовых оттенков. Сам процесс коррозии металла в начальной стадии можно использовать для получения своеобразного стального оттиска. После окисления и приобретения красно-коричневого цвета металл покрывают прозрачным защитным лаком.

Цвет стали может изменяться после механической (шлифование или полирование) и термической (при температурах 200–300 °С) обработки поверхности, после чего на ней образуется оранжевая или синеватая пленка, которая одновременно защищает металл от коррозии. Известны способы изготовления стали золотистого или розового цвета, электролитические процессы окрашивания нержавеющей стали в оранжевый, красный, голубой, синий и зеленый цвета.

Часто металлы не нуждаются в отделке поверхности с эстетической точки зрения. Черный цвет чугуна, темно-серый стали, золотистый и зеленовато-коричневый бронзы и меди, серебристо-белый алюминия, как правило, отвечают эстетическим требованиям. Важное значение имеет также фактура лицевой поверхности металла, которая может быть рельефной, шероховатой, гладкой, матовой или блестящей.

Таким образом, металлы обладают богатым арсеналом эксплуатационно-технических, экономических и эстетических свойств. Однако с точки зрения строителя металлы имеют и недостатки. Высокая тепло-

проводность требует устройства тепловой изоляции металлических конструкций зданий. Хотя металлы негорючи, но металлические конструкции зданий необходимо защищать от действия огня. Это объясняется тем, что при нагревании прочность металлов резко снижается и конструкции теряют устойчивость и деформируются. Большой ущерб экономике наносит коррозия металлов.

Основными достоинствами металлических конструкций являются:

1. Высокая несущая способность: металлические конструкции могут воспринимать значительные усилия при относительно небольших сечениях вследствие высокой прочности.

2. Надежность: благодаря однородности структуры металлов и их упругим свойствам, металлические конструкции обеспечивают высокую надежность зданий и сооружений.

3. Относительная легкость и транспортабельность по сравнению с конструкциями из железобетона, природного камня и древесины. Высокие механические качества металла позволяют допускать в нем высокие напряжения как в процессе эксплуатации зданий и сооружений, так и при монтаже и транспортировании строительных конструкций. Сечения металлических конструкций по сравнению с сечениями из других материалов получаются более легкими при одних и тех же нагрузках.

4. Сплошность, позволяющая обеспечить водонепроницаемость и газонепроницаемость конструкций.

5. Индустриальность, достигаемая изготовлением конструкций на специализированных заводах и механизированным их монтажом на месте возведения зданий и сооружений.

Кроме того, металлические конструкции удобны в эксплуатации, так как могут быть усилены при увеличении нагрузок, наиболее полно используются при осуществлении реконструкции и технического перевооружения, легко поддаются ремонту.

К недостаткам металлических конструкций следует отнести:

1. Подверженность воздействию коррозии, что требует специальных мероприятий по их защите.

2. Малая огнестойкость. При температурах свыше 400°C для стальных и свыше 200°C для алюминиевых конструкций начинается ползучесть металла (существенное развитие пластических деформаций при постоянной нагрузке).

Металлы широко применяют во многих отраслях промышленности, поэтому их использование в строительстве должно быть обосновано экономически.

4. ЗАЩИТА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ОТ КОРРОЗИИ И ОГНЯ

Под *коррозией* понимают процесс разрушения металлов и сплавов вследствие химического или электрохимического взаимодействия с внешней средой, в результате которого металлы окисляются и теряют присущие им свойства. Ежегодно в мире в результате коррозии теряется 10–15% выплавляемых металлов. В наибольшей степени коррозии подвергаются черные металлы.

Как уже отмечалось, коррозионные процессы имеют химическую и электрохимическую природу.

Химическая коррозия – разрушение металлов и сплавов в результате окисления при взаимодействии с сухими газами (кислородом воздуха, сернистым газом и др.) при высоких температурах или с органическими жидкостями – нефтепродуктами.

Электрохимическая коррозия – разрушение металлов и сплавов в воде и водных растворах. Для развития коррозии достаточно, чтобы металл был просто покрыт тончайшим слоем адсорбционной воды, то есть имел влажную поверхность. Из-за неоднородности строения металла при электрохимической коррозии в нем образуются гальванопары (катод-анод), например, между кристаллами металлов, отличающихся один от другого химическим составом. Атомы металла с анода переходят в раствор в виде катионов. Эти катионы, соединяясь с анионами, содержащимися в растворе, образуют на поверхности металла слой ржавчины. В основном металлы разрушаются от электрохимической коррозии.

Для повышения долговечности и сохранения декоративности металлических конструкции необходимо защищать от коррозии. Сущность большинства способов защиты от коррозии – предохранение поверхности металла от проникновения к ней влаги и газов путем создания на металле защитного слоя.

Наиболее простой, но не долговечный метод защиты металлов – нанесение на его поверхность водонепроницаемых неметаллических покрытий (битумных, масляных и эмалевых красок). В последние годы все большее применение находит метод защиты от коррозии покрытием металла тонким слоем полимерных материалов. Среди полимерных покрытий используют полиэфирную эмаль (полиэстер), поливинилхлорид (пластизол), модифицированный полиуретан (пурал), смесь поливинилхлорида и акрила (полидифторионат). Такие покрытия обладают высокой стойкостью к различным агрессивным средам, они имеют разнообразный цвет и фактуру.

Защищать металл от коррозии можно также, покрывая его слоем другого, более коррозионностойкого металла: олова, цинка, хрома, никеля и др. Защитный слой наносят гальваническим (электролитическим осаждением из раствора солей) или термическим (окунанием в расплав металла или распылением расплава) методом.

Применяют и химические способы образования покрытий (плотных оксидных пленок) на металле: фосфатирование (для черных металлов) и анодирование (для алюминиевых сплавов). При этом защитное покрытие должно быть сплошным, непроницаемым для агрессивной среды, иметь высокую прочность сцепления с металлом (адгезию), равномерно распределяться по всей поверхности и придавать изделию более высокую твердость, износостойкость и жаростойкость. Коэффициент теплового расширения защитной пленки должен быть близок к коэффициенту расширения металла. Обычно покрытия совмещают защитные и отделочные функции [4].

Для получения металлов, хорошо противостоящих коррозии, применяют легирование. Так, вводя в сталь хром и никель в количестве 12–20 %, получают нержавеющие стали, стойкие не только к воде, но и к минеральным кислотам. В архитектурно-строительной практике наибольшее распространение получили хромо-никелевые нержавеющие стали.

Наиболее стойки против коррозии чугун и чистый алюминий, наименее – обычные углеродистые стали и некоторые алюминиевые сплавы. Из-за коррозии металлические конструкции с течением времени теряют свою прочность, а ежегодные потери стали в результате коррозии достигают 10 % ее выплавки.

Защита металлической конструкции от коррозии заключается, прежде всего, в выборе металла, который мог бы в наибольшей степени противостоять воздействию агрессии той или иной среды. Наряду с таким выбором и в дополнение к нему осуществляют технологические, конструкционные и антикоррозионные мероприятия. Технологические мероприятия включают в себя механические, физические или химические воздействия на структуру металла и металлическую поверхность. В отдельных случаях осуществляется хромирование или никелирование поверхности стальных изделий. Коррозионная стойкость стали повышается также при термической обработке и путем введения в состав замедлителей коррозии – *ингибиторов*.

Высокая коррозионная стойкость чистого алюминия объясняется тем, что в обычных атмосферных условиях он мгновенно окисляется. Образующаяся при этом тончайшая оксидная пленка препятствует дальнейшему проникновению в металл кислорода. Технологические

меры защиты от коррозии алюминиевых сплавов, которые не обладают способностью создавать естественную защитную пленку, сводятся к образованию такой пленки искусственным путем – *плакированием* или *оксидированием*.

Плакирование осуществляется горячей прокаткой листов из алюминиевых сплавов совместно с тонкими слоями чистого алюминия, расположенными по обеим поверхностям листа. Благодаря нанесенному тонкому алюминиевому слою сердцевина проката становится недоступной для внешних воздействий.

При анодировании и химическом оксидировании алюминиевый сплав защищается искусственной пленкой оксида алюминия. Анодная пленка обладает высокой прочностью и твердостью, превышающей твердость инструментальной стали. Применяя в процессе анодирования соответствующие красители, можно получать элементы и детали различных цветов.

При химическом оксидировании оксидная пленка получается более тонкой и с меньшими защитными свойствами, чем при анодировании. Химическое оксидирование применяется для защиты сплавов, не содержащих медь и не подверженных активному воздействию агрессивной среды.

Стойкость против коррозии увеличивается также полированием и глянцеваанием поверхности металла механическим или электрохимическим способами.

Конструкционные защитные мероприятия сводятся к выбору таких форм отдельных элементов конструкций, сечений, узлов и сопряжений, которые менее подвержены коррозии. Коррозируют, прежде всего, те места конструкций, где возможны скопления пыли и влаги. Наибольшей стойкостью против коррозии обладают элементы трубчатого сечения. Сварные конструкции более стойки против коррозии, чем клепаные. Элементы с вертикальным расположением плоскостей корродируют меньше, чем с горизонтальным расположением [1].

К эксплуатационным антикоррозионным мероприятиям относятся: покраска металлических конструкций, соблюдение температурно-влажностного режима эксплуатации, уход за конструкциями (очистка от пыли и влаги) и их периодический ремонт. Покраска – наиболее распространенный способ защиты металлических конструкций, что обусловлено его относительной простотой и возможностью получения различной цветовой гаммы как декоративной, так и условно-опознаваемой.

Огнезащита стальных конструкций осуществляется их обетонированием, оштукатуриванием, облицовкой огнестойкими материалами. Широко распространен метод экранирования, то есть включения металлических конструкций в ограждающие части зданий, защищающие металл от огня. Так, стальные балки междуэтажных перекрытий могут быть ограждены от воздействия огня огнеупорными плитами пола и подвесного потолка.

Плотные огнестойкие покрытия и экраны в значительной мере снижают композиционную роль металла в интерьере и внешнем облике сооружений. Поэтому с архитектурной точки зрения более логичны огнезащитные изоляционные покрытия в виде окраски или пленки, при которых металлические конструкции сохраняют форму и фактуру металла.

Один из наиболее эффективных, хотя и сложных способов огнезащиты, который находит все большее применение, особенно в высотном строительстве – наполнение полых стальных элементов конструкций водой. При воздействии на такие конструкции высоких температур вода охлаждается за счет циркуляции в большой замкнутой системе или заменяется холодной из сети. Конструкции при этом не теряют своей прочности при продолжительности пожара [6].

5. ОСНОВНОЕ НАЗНАЧЕНИЕ МЕТАЛЛОВ В АРХИТЕКТУРЕ

Металлы находят применение в большепролетных зданиях общественного назначения (спортзалы, выставочные павильоны, театры) и производственных зданиях (заводские корпуса, ангары, авиасборочные цехи и т.п.). Решающую роль в индустриализации строительства сыграло широкое развитие в нашей стране производства сборных железобетонных конструкций. Строительная промышленность превратилась в мощную индустриальную базу, обеспечивающую железобетонными деталями и конструкциями большую часть строящихся объектов.

Массовое применение железобетона позволило значительно сократить потребность металла для строительства. Однако, несмотря на значительный рост производства железобетонных конструкций, увеличение объемов применения заменителей металлов (полимеров, синтетических смол, деревянных клееных, асбестоцементных и других неметаллических конструкций), потребность в металле непрерывно растет.

Эффективность использования металлов в строительстве во многом зависит от долговечности строительных конструкций и их металлоемкости. Металл был и остается одним из главных материалов не только промышленного, но и строительного производства.

Металлы широко применяются при изготовлении различных строительных конструкций, зданий и сооружений. Конструктивная форма зданий и сооружений определяется сочетанием их основных элементов – фундаментов, колонн, балок, ферм, перекрытий и покрытий, связанных в единое целое.

Сталь наряду с бетонами – главнейший конструкционный материал. Широкому использованию в строительстве сталь обязана высоким физико-механическим показателям, технологичности (возможности получения из нее конструкций различными методами) и большими объемами производства.

Конструкции из стали применяются:

- в промышленном строительстве, в особенности для каркасов зданий тяжелого типа (основных цехов металлургических предприятий), для покрытий многопролетных одноэтажных зданий и большепролетных производственных помещений;

- в гражданском строительстве, в качестве каркасов зданий повышенной этажности и большепролетных покрытий выставочных залов, залов заседаний, крытых стадионов и т.п.;

- в строительстве железнодорожных и автомобильных мостов и тепловодов;

- в открытых спортивных и других сооружениях (трамплины, башни и мачты телевидения и радиосвязи, водонапорные башни, радиотелескопы и др.);

- в различных сооружениях специального назначения (нефтяные и буровые вышки, крекинг-установки, емкости-хранилища жидкостей и газов, доменные конструкции, напорные и транспортные трубопроводы);

- в подвижных сооружениях (крановые мосты, башенные краны, краны-перегрузатели, дорожные мосты и т.д.) [1].

Алюминиевые конструкции могут быть применены практически во всех областях строительства наряду со стальными, за исключением тяжело нагруженных каркасов промышленных зданий. Однако более высокая стоимость алюминиевых сплавов и некоторые их особенности (меньшая жесткость, высокий коэффициент линейного расширения, низкая огнестойкость) делают применение алюминиевых конструкций эффективным там, где проявляются их положительные отличительные свойства: сравнительная легкость, простота монтажа, высокая прочность при низких температурах, отсутствие искрообразования при ударе и ферромагнитных свойств. Сюда входят большепролетные покрытия, где собственная масса конструкций составляет значительную часть нагрузки; стеновые ограждения гражданских зданий, которым

предъявляются повышенные эстетические требования; конструкции зданий и сооружений, находящиеся в особых условиях эксплуатации (низкие температуры, агрессивная среда, взрывоопасность, недопустимость магнитных свойств, солнечный перегрев ограждений); складные, сборно-разборные и мобильные сооружения.

В строительстве применяются преимущественно конструкции из обычной углеродистой стали, из низколегированных сталей повышенной прочности и из алюминиевых сплавов.

5.1. Металлы в наружных ограждениях зданий

Для кровельных и стеновых ограждений промышленных зданий листовые металлы (сталь и алюминий) применяются в виде сборных конструкций панельного типа (каркасные и бескаркасные).

Панели каркасного типа представляют собой жесткую решетчатую стальную или алюминиевую раму с обшивкой из профилированной листовой стали или алюминия. Все нагрузки, приходящиеся на такую панель, воспринимаются элементами самого каркаса, жесткость которых обеспечивает и жесткость панели.

Бескаркасные (слоистые) панели состоят из двух листовых металлических обшивок и расположенного между ними слоя утеплителя. В статической работе таких панелей участвуют как металлическая обшивка, так и утеплитель. Жесткость их обеспечивается всем поперечным сечением.

Профильный и листовой металл все шире используется в несущих стеновых ограждениях многоэтажных жилых и административных зданий, выставочных павильонов и других гражданских сооружениях с металлическим или железобетонным несущим каркасом. В зависимости от сочетания таких ограждений с несущими конструкциями их можно условно разделить на 3 группы: стена-заполнение (фахверковая стена), стена-экран (навесная стена) и комбинированные ограждения.

Первые две представляют собой комплексные ограждения, совмещающие функции гидро-, тепло- и звукоизоляции. Они могут выполняться из отдельных панелей, навешиваемых непосредственно на несущую конструкцию здания или целиком заполняющих образованные этими конструкциями ячейки, а могут иметь и собственный каркас, к которому крепятся оконные блоки, обшивка и теплоизоляция. При сплошном остеклении такого каркаса стена-экран превращается в стену-витраж. Стена-экран скрывает несущие конструкции и создает собственную относительную самостоятельную поверхность ограждения.

Комбинированные несущие ограждения образуются сочетанием фахверковой стены и навесной стены-экрана. В таких ограждениях навесная стена выполняет только функции облицовки здания, а теплозащита обеспечивается обычными легкими стеновыми материалами (ячеистый бетон, пеностекло и др.), которые укладываются непосредственно на элементы каркаса.

Металлические конструкции светопрозрачных ограждений обеспечивают герметичность остекления, жесткость, легкость и удобство открывания переплетов. Благодаря малым размерам сечений элементов металлические переплеты по сравнению с деревянными и железобетонными обладают наибольшим коэффициентом светопропускания. Улучшая внешний облик зданий, они характеризуются значительным сроком службы и низкими эксплуатационными расходами. Поэтому, несмотря на известные недостатки, в частности, возможность коррозии и относительно высокую стоимость, металлические конструкции заполнения светопроемов получили в последние годы все большее распространение. Следует отметить, что в странах западной Европы деревянные оконные и дверные коробки практически полностью вытеснены стальными и алюминиевыми.

Особую область применения металлов в наружных ограждениях зданий составляют ограждения балконов, лоджий и веранд. Выполняемые из чугуна и кованого железа, они нередко превращаются в подлинное произведение искусства (рис. 10).



Рис. 10. Металлическое ограждение балкона (*слева*) и веранды (*справа*)

В современной массовой архитектуре ограждения балконов и лоджий чаще выполняются из массивных бетонных или легких непрозрачных листовых асбестоцементных листов. Однако в зданиях с металлическим каркасом и несущими стенами несомненное преимущест-

во металлических ограждений балконов и лоджий. Прокатный металл открывает широкие возможности внедрения в массовое строительство легких промышленных ограждений, которые хорошо сочетаются с современными архитектурными формами и вертикальным озеленением зданий.

Наружные стеновые ограждения из металла практически не нуждаются в дополнительной отделке поверхностей. В металлических облицовках, архитектурных деталях и изделиях четкость и точность граней и объемов сочетается с разнообразием фактуры поверхности – от рельефной и матовой до зеркально-гладкой и большими колористическими возможностями.

Со строительным металлом часто ассоциируются черный (чугунный), темно-серый (стальной), золотистый и зеленовато-коричневый (бронзовый, медный), серебристо-белый (алюминиевый) цвета. Однако следует сказать, что практически металлы не имеют цветового ограничения. Хорошо поддающиеся окраске и многим другим видам отделки, металлы принимают любой цвет, сохраняя все характеристики собственной фактуры поверхности, особенно при покрытии лаками, анодировании и химическом оксидировании. Таким образом, колористическая композиция в металле может решаться в соответствии с общим архитектурным замыслом.

Известно, что медь и ее сплавы, окисляясь кислородом воздуха, с течением времени приобретают множество различных дополнительных цветовых оттенков, поэтому медь все чаще используется как облицовочный материал наружных ограждений. В этом плане она выделяется своей первоначальной ярко-оранжевой окраской. Кроме того, поверхность медных панелей обрабатывают таким образом, чтобы придать ей фактурный вид.

Для обогащения цветовой характеристики стальных несущих и ограждающих конструкций может использоваться окисление железа. Как известно, при определенных условиях окисления, железо приобретает окраски от розового до красно-коричневого и бурого цветов. Цвет стали можно изменять и термической обработкой. В результате нагрева шлифованной или полированной стали до 200–300 °С происходит ее колоризация с образованием на поверхности металла оранжевой или синеватой пленки, одновременно повышающей его коррозионную стойкость. Это свойство стали издавна используется в прикладном искусстве [11].

Известны также способы изготовления золотистой и розовой стали, обладающей хорошей свариваемостью и коррозионной стойкостью, с равномерной окраской по всей толщине металла. Американскими и ан-

лийскими учеными разработаны электролитические процессы окрашивания нержавеющей стали в красный, синий, зеленый, голубой и оранжевый цвета. Все это говорит о больших возможностях существующего обогащения колористических характеристик металлов в несущих и ограждающих конструкциях, а также в произведениях декоративно и монументального искусства.

5.2. Металлы в интерьере

Листовой и профильный металл, металлическое литье, штучные изделия из черных и цветных металлов все шире используются в интерьерах промышленных и гражданских зданий. Металлы занимают одно из ведущих мест во внутренних ограждающих конструкциях – перегородках и подвесных потолках.

В промышленных и гражданских зданиях применяются стационарные раздвижные перегородки с каркасом из пресованных алюминиевых профилей с заполнением стеклом, листовым стеклопластиком, древесно-стружечной плитой.

Листовой алюминий стал одним из основных материалов подвесных потолков. В общественных зданиях и производственных помещениях алюминиевые подвесные потолки изолируют интерьер от несущих конструкций и являются средством создания акустического комфорта. Форма поверхности потолка зависит от очертаний конструкций покрытия и общего решения интерьера. На смену плоским потолкам в общественных зданиях все чаще приходят криволинейные поверхности, создающие определенный эстетический и акустический эффект (рис. 11).

В лестницах общественных и жилых зданий массового строительства наряду с железобетонными косуорами применяются стальные швеллерные и двутавровые профили. В качестве косуоров и балок лестничных площадок используются также прямоугольные коробчатые трубы. Ступени могут быть выполнены из листового металла, бетона или древесины. В промышленных зданиях для лестничных ступеней используется рифленая и просечная сталь.

Прочность стали позволяет формировать лестницы с прямолинейными или криволинейными маршами. В интерьерах общественных зданий все чаще входят в моду винтовые металлические лестницы. Легкие конструкции металлических лестниц хорошо вписываются в современные интерьеры и нередко становятся их архитектурной доминантой (рис. 12).

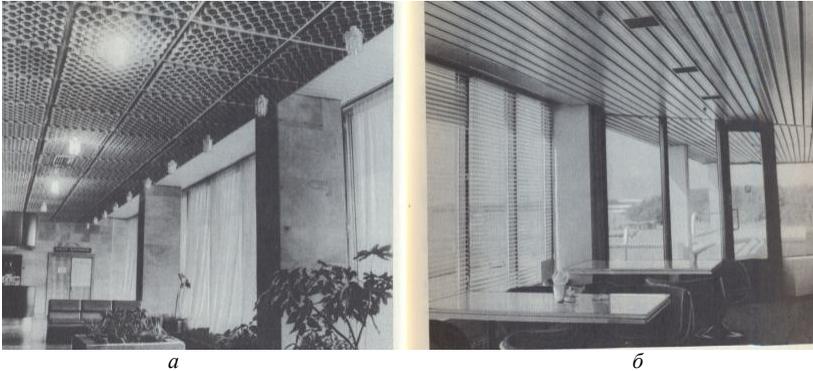


Рис. 11. Аллюминиевые подвесные потолки:
а – в гостиничном комплексе в Измайлово (Москва),
б – в центре парусного спорта в Таллине



Рис. 12. Металлическая парадная
 лестница

Гофрированный и штампованный листовый металл – тонколистовая сталь и алюминевая жель – часто используются в интерьерах общественных зданий для отделки стен. Такая отделка создает красивую и гигиеничную поверхность. Однако следует отметить, что при большой площади отделки металлом зачастую эстетический эффект пропадает, происходит определенная «девальвация» металла. Более эффективно эстетические свойства металла выявляются при его использовании в отделке стен в виде раскладок и мелких деталей. Особой выразительностью

отличаются декоративно-отделочные элементы из анодированного алюминия или цветных металлов теплых тонов – меди, бронзы, латуни.

Традиционной областью применения металлов в интерьере являются ограждения лестничных маршей, отопительные приборы, вентиля-

ционные решетки. Легкие металлические решетки устанавливаются также поверх стекла в дверных и оконных проемах, ограждая стекло от удара и создавая работающий на просвет рисунок. В декоративных решетках применяется полосовой и прутковый металл. В их рисунок нередко вводятся листовые и объемные, иногда литые элементы, что делает всю композицию более насыщенной.

Классическим образцом высокого профессионального уровня применения металла в интерьере стала станция «Маяковская» Московского метрополитена. Профилированные полосы нержавеющей стали, которыми облицованы несущие металлические колонны и арки, являются активным элементом композиции подземного зала (рис. 13).



Рис. 13. Станция метро «Маяковская» Московского метрополитена, 1938 г.
Архитектор А. Н. Душкин.

Металл – незаменимый материал оборудования и оформления выставочных композиций, от витрин и торгово-рекламных стендов до экспозиций национальных павильонов на международных выставках. Образуя легкий и мобильный сборно-разборный каркас экспозиции, металл одновременно служит декоративно-пластическим материалом интерьеров выставочных помещений, что позволяет быстрее и точнее донести до зрителя нужную информацию и усиливает эмоциональное воздействие на него.

Многочисленность форм металлоизделий, применяемых в интерьере, выдвигает на передний план стилевое объединение всех составляющих интерьера. В этой общей композиции цельности металлы хорошо сочетаются с другими отделочными материалами – древесиной, декоративной штукатуркой, стеклом, пластмассами. Только комплексный подход может наиболее полно раскрыть эстетические возможно-

сти металла и сделать его эффективным фактором пространственной и эмоциональной организации интерьера [12].

5.3. Металлы в малых архитектурных формах, декоративном и монументальном искусстве

В формировании архитектурного облика современных городов существенную роль играют декоративные и монументальные пластические композиции, элементы внешнего благоустройства, осветительные и информационные устройства. В архитектуру общественных зданий издавна органично включались произведения декоративного и монументального искусства. С самого начала архитектурного освоения металла он использовался в убранстве зданий, в благоустройстве улиц и площадей, садов и парков, жилых и промышленных районов.

Малые архитектурные формы, организующие интерьер современного города, охватывают большое число самых разнообразных сооружений – от небольших зданий (киоски, павильоны), до предметов уличной мебели (скамьи, урны) и рекламных вывесок; от сооружений утилитарного назначения (фонари освещения) до декоративных пластических композиций. Расположение малых форм на открытом воздухе требует высокой прочности и атмосфероустойчивости. Бетон слишком тяжел для небольших сооружений, древесина быстро амортизируется, поэтому металлу принадлежит одно из ведущих мест в малых архитектурных формах (рис. 14).

В последние годы в небольших сооружениях бытового и рекламного назначения, в парковых сооружениях с успехом используются новейшие системы металлических конструкций – пространственные решетчатые структуры, растянутые тросовые поверхности. Легкие навесы, игровые павильоны, беседки выполненные в таких формах, обладают большой эстетической выразительностью. Испытанные на таких моделях-прото типах новые пространственные формы впоследствии нередко переходят в большую архитектуру.

Особую область благоустройства и садово-парковой архитектуры составляют решетки и ограды. Классическая архитектура богата примерами высокохудожественных металлических оград из чугунного литья, кованого профильного и листового железа. В сокровищницу мирового искусства вошли решетка Летнего сада в Санкт-Петербурге, многочисленные решетки и ограды (кованые и литые), которые не только дополняют и завершают построение ансамблей, но в некоторых случаях сами становятся яркими и неповторимыми компонентами го-



Рис. 14. Металлы в малых архитектурных формах

родского пейзажа, символом художественного облика города (рис. 15).

Для усиления художественной выразительности зданий, сооружений, их комплексов современная архитектура все чаще обращается к декоративному искусству, в котором издавна используются эстетические качества металла.

В современном убранстве зданий применяют панно из металла, выполняемое в виде плоских или объемных (рельефных декоративных композиций). В первом случае на тонкие металлические листы травлением, чеканкой, красками или слабым рельефом наносится рисунок. При этом металл служит только фоном рисунка и несущей основой панно. Такие композиции применяются, как правило, в интерьере. Объемные декоративные композиции создаются соединением обрезков листов и профильного металла. В таких композициях цвет металла, фактура его поверхности, форма и характер соединения элементов служат основными средствами эстетической выразительности и носителями художественного образа. Декоративные панно такого типа находят применение как в интерьере, так и на фасадах зданий.

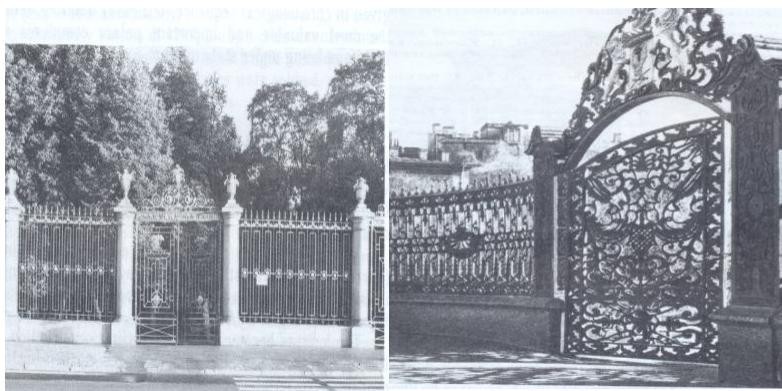


Рис. 15. Ограды Летнего сада (*слева*) и Шереметевского дворца (*справа*), (Санкт-Петербург)

В наружном и внутреннем оформлении зданий все чаще вводятся рельефы из листового металла – алюминия, меди, бронзы и стали, выполняемого методами выколочки и чеканки. Наряду с рельефами, которые вписываются в целый лист металла, используют также и наборные рельефные панно – выкладки из соединенных между собой отдельных элементов, образующих в своем единстве многоплановую композицию. Такие композиции нередко покрывают большие поверхности стен, превращаясь из станковых произведений в разновидность стенового ограждения. Для достижения большого художественного эффекта применяется отжиг нержавеющей стали, придающий ей золотистый или буро-фиолетовый оттенок, гальваническая обработка и травление поверхности металла.

В современной архитектуре используются и объемные композиции из металлов в виде отдельно стоящих скульптурных групп. Здесь металл нашел наиболее широкое применение в области монументальной скульптуры. Многие из этих групп, сами игравшие роль архитектурной доминанты, организующей большие пространства улиц и площадей, стали историческим символом городов. Среди них всемирно известный Медный всадник в Петербурге, памятник Минину и Пожарскому на Красной площади в Москве, памятник тысячелетию России в Новгороде, князю Владимиру в Белгороде (рис. 16). Богатые традиции монументальной металлической скульптуры успешно развиваются в современном отечественном и зарубежном искусстве.



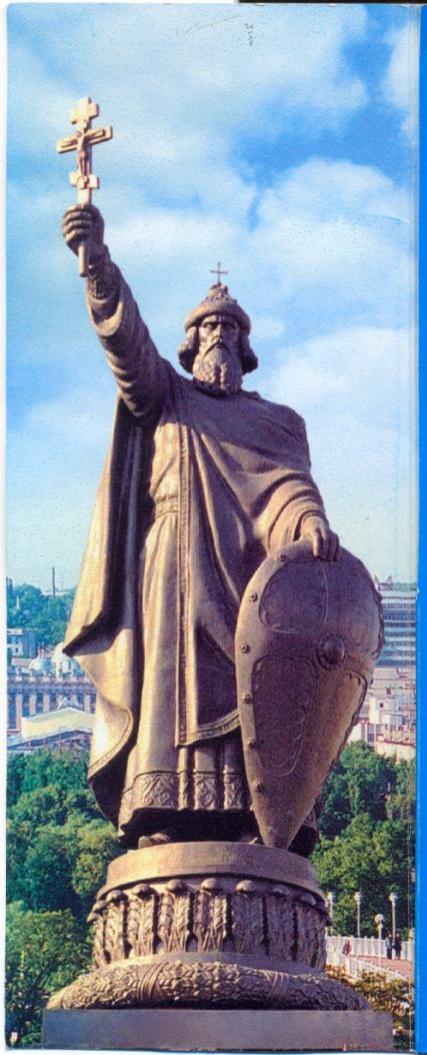
а



б



в



г

Рис. 16. Памятники-символы городов:

а – Петру Великому (Медный всадник) в Санкт-Петербурге, 1782 г. Скульпторы Э. М. Фальконе и М. А. Колло; б – Минину и Пожарскому в Москве, 1819 г.

Скульптор И. М. Мартос; в – Тысячелетию России в Новгороде, 1862 г.

Скульптор М. О. Микешин; г – князю Владимиру в Белгороде, 1998 г. Скульптор В. М. Клыков.



Рис. 17. Обелиск первому искусственному спутнику Земли.
Скульптор А. Файдыш

Современная монументальная скульптура в большинстве своем выполняется из бронзы, цвет которой гармонирует как с окружающей архитектурой, так и с зеленью улиц, площадей, парков. Однако не ослабеваает интерес к монументальному чугунному литью, которое также хорошо вписывается в архитектурное и природное окружение. Литой металл предоставляет художнику неограниченную свободу в трактовке художественной формы [13].

Металл обогатил традиционную палитру монументального искусства неповторимыми в других материалах высотными решениями, максимальной свободой композиции, придал скульптуре необыкновенную динамичность. Ярким наглядным примером сказанного является монумент в честь запуска в СССР первого искусственного спутника Земли, стальной каркас которого облицован листовым титаном.

Благодаря примененному для облицовки металлу, почти стометровое сооружение, динамическая форма которого символизирует стремительный взлет ракеты, зрительно не подавляет своей массой. Вместе с тем, оно действительно монументально величием самой пространственной формы, сверкающей в лучах солнца или прожекторов металлической полированной поверхностью (рис. 17).

5.4. Кровельные металлические материалы

Сегодня, куда не кинешь взгляд, везде можно увидеть металлические кровли. Кровли из листовой черной или оцинкованной стали в нашей стране не редкость. Кровельная сталь имеет известные преимущества перед другими кровельными материалами. В частности, ее можно использовать при покрытии сложных крыш, имеющих разные уклоны, криволинейные очертания, западающие углы, выступы и другие усложненные формы. Срок службы кровли из оцинкованной стали – 30 лет и более, из черной – 20–25 лет, что зависит от качества выполненных работ, систематического ухода за кровлей, ее уклона.

Алюминий используется для изготовления металлочерепицы и устройства фальцевых кровель. Металлочерепица – это тонколистовая металлическая имитация фактуры черепичной кровли. Алюминиевая металлочерепица имеет малую массу (2 кг/м^2), обладает высокой долговечностью, цветостойкостью, практически не подвержена атмосферным воздействиям. После того, как на алюминий стали наносить цветные полимерные покрытия, архитектурные свойства этого материала значительно возросли. По своей пластичности кровельный алюминий даже превосходит оцинкованную сталь.

Выпускаются также алюминиевые кровельные доски «Деревенский кедр» (США). Они имеют цвет и фактуру своего природного собрата, но не подвержены короблению, течи, гниению, образованию поверхностных раковин, растрескиванию и т.д. Эти доски-панели не поглощают большого количества солнечного тепла, кровля охлаждается быстро и чердак дольше хранит прохладу. Такие кровельные доски можно устанавливать поверх других кровельных материалов.



Рис. 18. Кровли, покрытые металлочерепицей

Медный кровельный материал красив и долговечен. Крыша, покрытая медной кровлей, служит сотни лет и изменяет свой внешний вид с возрастом. Вначале она красновато-желтая, блестящая на солнце, но уже в первый год службы медь из красноватой становится коричневой, а затем матово-черной. Состарившись же, она становится голубовато-зеленой, цвета бирюзы. Зеленоватый налет – патина – это естественное защитное покрытие меди, оберегающее данный металл от коррозии и порчи. Под патиной медь практически неуязвима.

Медная кровля хоть и дорога первоначально, но в долгосрочной перспективе становится наиболее экономичной альтернативой. Преимущество покрытия из меди становится очевидным после первой перекраски любого другого металлического покрытия.

В последнее время все большее распространение в мире находят кровли из цинк-титанового сплава. Этот материал представляет собой сплав цинка с титаном, медью и алюминием. Содержание чистого цинка в этом сплаве 99,5 %. Данный вид покрытия в зависимости от условий эксплуатации обеспечивает сохранность кровли от 50 до 100 лет [14].

Благородный матово-серый цвет такого покрытия стал одним из базовых цветов в палитре архитектурного стиля. Помимо респектабельной патины, цинк-титан обладает пластичностью, близкой к меди. В результате спектр применения цинк-титана стал практически неограничен от кровель и вентилируемых фасадов любой сложности и конфигурации до кованых малых архитектурных форм.

Металлические кровли обладают неисчерпаемым ресурсом формообразования (рис. 18).

5.5. Новый конструкционный материал – металлобетон

Металлобетон (метон) представляет собой искусственный строительный конгломерат, полученный на основе металлического связующего и минеральных заполнителей. Этот материал можно себе представить как бетон, в котором роль цемента выполняют металлы, либо как высоконаполненные металлы. В зависимости от используемого металла получают алюминиевые, стальные, чугунные, титановые, медные, свинцовые, оловянные и цинковые метоны. Содержание связующего 15–50 % по объему. Заполнителями служат щебень и песок, различные горные породы; иногда – легкие заполнители: керамзит, аглопорит, туф, пермза.

Металлобетон и изделия из него характеризуются комплексом свойств, выгодно отличающихся от исходных материалов: высокой прочностью, теплостойкостью, стойкостью к истиранию, химической устойчивостью, огнестойкостью. Прочность при сжатии метона может в 1,5 и более раз превышать прочность чистого металла и в 10 раз обычного цементного бетона.

Из металлобетона могут изготавливаться изделия и конструкции любой формы и любого сечения. Но наиболее рационально использовать его для тонкостенных и сильнонагруженных конструкций и строительных элементов, испытывающих температурные, абразивные, ударные и химические воздействия.

Применение изделий и конструкций из метона взамен металлических позволяет сократить в 2–6 раз расход металла на их изготовление с одновременным повышением ряда технических и эксплуатационных свойств. Металлобетоны – это материалы будущего и им уготована роль универсального, долговременного, прочного конструктивного материала широкого спектра применения [15; 16].

6. МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ В СОВРЕМЕННОЙ АРХИТЕКТУРЕ

Роль металла в архитектуре не ограничивается его непосредственным участием в создании архитектурных форм. Металл – один из важнейших конструкционных материалов современности, составляющий основу промышленного производства, в том числе и стройиндустрии. Можно с полным правом утверждать, что металл является фундаментом современной архитектуры, которому она обязана и дерзновенной смелостью инженерных решений, и богатством форм, и грандиозными масштабами строительства.

В широком плане металл в архитектуре – это предприятия, производящие сам металл и металлические конструкции, а также все другие конструкции. Это транспортные средства, строительно-монтажное оборудование, то есть вся та система развитого промышленного производства, на которую опирается развитие современной архитектуры. Металл сыграл и продолжает играть активную роль в развитии неметаллических строительных материалов и конструкций. Металлические крепления деревянных конструкций, армокаменная и армокирпичная кладка, железобетон, армоцемент, металлопласты и многие другие конструкции и материалы, широко применяемые в современной архитектуре, обязаны своим рождением металлу. Вместе с тем металл непрестанно развивался и совершенствовался как самостоятельный конструкционный, отделочный и декоративно-художественный материал.

В архитектурно-строительную практику широко входят высокопрочные стали. Разработаны сверхпрочные композиции легких металлов, такие, как алюминий-литиево-магниево-титановые, бериллиево-литиевые и литиевые сплавы. Наряду с освоением производства новых металлических сплавов большие перспективы открывает изменение их внутренней структуры. В настоящее время все шире применяются металлические композиционные материалы. Металлические композиты представляют собой так называемую матрицу из одного металла, армированную высокопрочными волокнами другого металла. Удельная прочность армированной сталию алюминия в 3 раза превышает удельную прочность современных высокопрочных сталей. Композиционные металлы обладают и многими специальными свойствами, которые отсутствуют у отдельных их компонентов.

К композиционным металлическим материалам относятся и *пенометаллы*, образуемые при разложении в расплавленном металле веществ, выделяющих большое количество газов. Пеноалюминий может быть в 5 раз легче воды, и при вдвое меньшей, чем у литого металла плотности, обладать такой же прочностью. Не горящий, не боящийся влаги, пеноалюминий с успехом заменяет древесину в строительстве. Получены пенометаллы и на основе магния, никеля, меди, чугуна и стали.

Представляют интерес для архитектурной практики *металлополимеры* – новые композиционные материалы, которые, обладая рядом металлических свойств, сохраняют эластичность, легкость и податливость в обработке, свойственные полимерам. Новые материалы создаются и методами порошковой металлургии, позволяющей спекать порошки разных металлов и порошки металла с порошками графита,

карбидов, оксидов, добиваясь высокой прочности как на сжатие, так и изгиб [17].

Огромные масштабы современного строительства выдвигают на одно из первых мест вопросы эффективности затрат материальных и трудовых ресурсов, экономики строительства. Экономика использования металлов в строительстве – многоплановое явление, которое, выражаясь в конечном итоге в снижении стоимости строительства и экономии самого металла, не может быть сведено ни к тому, ни к другому. Архитектурно-строительная практика выдвинула три направления реализации экономии металла в строительных конструкциях:

а) установление рационального применения металлических конструкций, то есть выявление тех сооружений, в которых металл наиболее эффективно проявляет свои специфические свойства;

б) снижение расхода металла в строительных конструкциях путем уменьшения его затрат на восприятие силовых воздействий;

в) повышение долговечности металлических конструкций.

В каждом конкретном случае должна быть последовательно рассмотрена экономическая и эксплуатационно-техническая эффективность использования металлов в сравнении с другими строительными материалами и экономическая эффективность самих металлоконструкций, то есть оптимальность решения поставленной задачи в данном материале.

При определении области рационального применения металлических конструкций и изделий индустриальным конкурентом металла является сборный и реже монолитный железобетон, в отдельных случаях – кирпич и другие строительные материалы. Основными критериями выбора конструкционного материала может считаться обеспечение прочности и надежности конструкций и снижение их общей массы, экономия металла, снижение трудоемкости изготовления и монтажа, сокращение сроков и общей стоимости строительства.

Экономическая эффективность металлических конструкций определяется экономией металла и снижением стоимости конструкций. Уменьшение расхода металла, снижение общей массы конструкций может быть достигнуто:

– выбором оптимальных конструкций, обеспечивающих высокую концентрацию металла и совмещающих в отдельных элементах нескольких функций;

– внедрением большепролетных пространственных конструкций, стержневых и тросовых систем с работой металла на растяжение;

– заменой, при возможности, прокатных профилей гнутыми, тонкостенными, применением в элементах конструкций рациональных про-

филей, обладающих наибольшей жесткостью при наименьшей площади сечения, в том числе тонкостенных труб;

- широким применением термически упрочненных углеродистых, высокопрочных и низколегированных сталей;

- применением комплексных конструкций из сталей повышенной прочности в более напряженных элементах и из обычной углеродистой в менее напряженных; биметаллических, например, из стали и алюминия; из железобетона в сжатых элементах конструкций и стали в растянутых; сталебетонных, деревометаллических, металлопластовых и др.;

- совершенствованием методов расчета конструкций, выбором оптимальных расчетных схем, отражающих действительную работу металлов в конструкции;

- применением различных методов воздействия на работу конструкции, таких как предварительное напряжение и др.;

- целесообразным решением узлов конструкций, уменьшающим массу металла и упрощающим работы по соединению элементов.

Общим направлением снижения стоимости металлических конструкций была и остается экономия металла. Однако снижение стоимости металла не всегда пропорционально уменьшению его массы, так как эффективные марки и профили металла менее массивны в конструкциях, но нередко значительно дороже.

Будущее металла в архитектуре – это пространственные формы, которые в настоящее время трудно предугадать. Но будущее рождается в сегодняшних разработках, творческих поисках, которые поднимают на новый, еще более высокий уровень архитектурного формообразования металл – один из самых замечательных среди освоенных человечеством материалов.

Металлические конструкции все чаще применяются при проектировании гражданских и промышленных зданий. Этот процесс во многом связан с выходом на новый, более крупный масштаб проектирования объектов.

Существует стереотип, что современная архитектура, особенно когда речь идет об общественных зданиях, представляет собой сочетание стекла и металла. Соответственно, исходя из этого стереотипа, металлические конструкции можно считать самыми передовыми строительными материалами.

Символом торжества металлических конструкций и инженерно-архитектурного новаторства стала в свое время 300-метровая Эйфелева башня в Париже. Применение металлических конструкций позволило архитектурным объектам выйти на совершенно новый габаритный

уровень, поскольку увеличились не только их высотные, но и пролетные параметры. Кроме того, благодаря использованию металлических конструкций еще более важное место в архитектуре заняли инженерные сооружения, и в то же время существенно возросло их художественное многообразие.

Достоинствами металлических конструкций являются удобство и быстрота возведения, возможность монтажа крупными блоками, прочность, долговечность, простота и серийность изготовления, эксплуатационная надежность, экономичность, а следовательно, более низкая стоимость. Кроме того, металлические конструкции характеризуются меньшей, чем у железобетонных конструкций массой, что позволяет широко использовать их при строительстве общественных зданий, крупных залных помещений и стадионов. С применением металлических конструкций перекрываются гораздо большие пролеты, повышается уровень безопасности, ввиду особых свойств металла.

Металлические конструкции – один из самых распространенных видов покрытий зданий общественного (театры, стадионы, многофункциональные комплексы, концертные залы) и производственного назначения (ангары, авиасборочные цехи, лаборатории). При этом, если в крупноразмерном производственном здании применение именно металла во многом определяется технологией, спецификой производственных процессов, то в общественном здании эти конструкции в равной степени функциональны и эстетичны.

С эстетическими проблемами связаны поиски новых архитектурных форм. Результатом этих поисков стало создание стержневых систем нового типа – так называемых структур, которые характеризуются повышенной жесткостью. Структурные конструкции относятся к широкому классу пространственных шарнирно-стержневых металлических конструкций, из которых наиболее распространены решетчатые оболочки и структурные плиты. Структурная система не имеет традиционных для металлических конструкций прогонов и связей.

По характеру использования в современной архитектуре и дизайне металлические конструкции можно разделить на две основные категории: конструктивные элементы зданий и сооружений и малые скульптурные и архитектурные формы (дизайн городской среды). Если расширить эту классификацию, то необходимо упомянуть и о малых интерьерных металлических архитектурных формах, размещение которых во внутреннем пространстве зданий обусловлено, прежде всего, их эстетическими качествами. Немаловажное значение имеет и экономичность – рациональное применение современных достижений позволяет снизить металлоемкость строительных конструкций примерно

на 10–20 % и одновременно повысить производительность труда более чем в 2 раза.

В современных объектах, построенных с применением металлических большепролетных конструкций и пространственных систем, все больше внимания уделяется формообразованию. В результате увеличения габаритов зданий увеличивается площадь поверхности фасадов (вертикальных, наклонных, криволинейных и т.д.). Современные архитекторы все реже прибегают к традиционным приемам членения и декорирования фасадов, оставляя последнее слово за самой формой, природой материала, пластичностью основных элементов в композиции [18].

Так, металлические конструкции в каркасе и металлическая облицовка фасадов позволяют подчеркнуть деконструктивистскую композиционную экспрессию здания Музея искусств в Денвере (США) (рис.19).

Как уже отмечалось, эстетические свойства металлических конструкций дают возможность использовать их не только для строительства в традиционном понимании, но и в качестве элементов ландшафтной архитектуры, а также дизайна городской среды. Примером могут служить, так называемые «Облачные ворота» в Парке Тысячелетия в Чикаго работы А. Капура, которые являются отражением минималистических тенденций в искусстве, одна из центральных тем которого – чистота и символическое содержание формы. Зеркальная 110-тонная «Капля» из нержавеющей стали отражает окружающее пространство и визуально растворяется в нем (рис. 20).

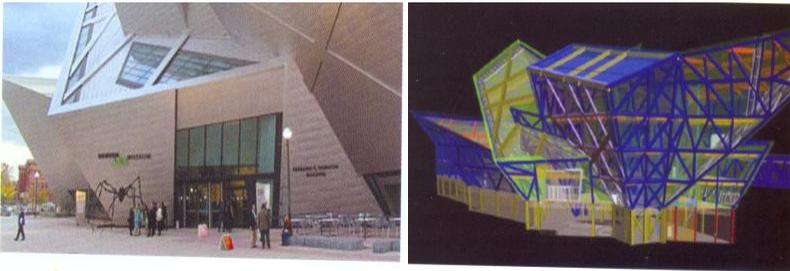


Рис. 19. Музей искусств в Денвере (США). Общий вид здания (слева) и его металлический каркас (справа). Архитектор Д. Либескинд



Рис. 20. Скульптура «Облачные ворота». Скульптор А. Капур

Тема металла в архитектуре по истине неисчерпаема. Ведь без металла современного массового строительства нет и, очевидно, быть уже не может. Построенные когда-то «без единого гвоздя» здания – скорее дань истории или специально создаваемые произведения архитектурного искусства, чем строительное явление, отражающее дух нового времени. Из металла наши современники изготавливают каркасы зданий, возводят мосты, устраивают инженерную инфраструктуру, строят башни телевизионных антенн, подъемные краны, создают вертикальный лифтовой транспорт зданий и многое другое. По сути, с широким внедрением металла, речь пошла об открытии совершенно новой области в истории развития архитектуры.

Архитектура XXI века выходит на новый технологический и масштабный уровень. Возрастает необходимость в покрытии больших пространств (от общественных и промышленных сооружений до площадей и минигородов). Все совершеннее становятся структурные системы, предоставляющие все большую свободу в отношении формообразования. Технические и художественные начала архитектурного проектирования сближаются.

Самым пластичным материалом, который способен органично вписаться в любой пейзаж, безусловно, является металл. Малые архитек-

турные формы из металла – это лучшее украшение парка, сада или территории, прилегающей к дому.

В наши дни все больше объектов стали строить на основе стальных металлоконструкций. Они имеют небольшую массу и небольшие габариты в сравнении с конструкциями из других материалов, еще они легки, технологичны, имеют достаточную коррозионную стойкость и высокие декоративные показатели.

Металлы, благодаря высоким экономическим, технологическим качествам и удобству в эксплуатации, являются одними из самых перспективных и востребованных материалов в современном строительстве и архитектуре.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Металл давно и широко используется в строительстве. Он позволяет создавать шедевры зодчества и существенно снижать массу сооружений. Строительная отрасль сегодня становится одним из основных потребителей высококачественного металла. Это вызвано многими причинами, в том числе начавшимися крупномасштабными инвестициями в рамках национальных проектов, требующих высоких объемов строительства.

Металл выступает специфическим способом в качестве архитектурного освоения пространства. Возможность видоизменения металла посредством разнообразия его визуальных и физических качеств безгранична, что отражается в многовековой традиции его применения во всех областях изобразительного искусства. Объединяя в себе большое количество преимуществ в распространенных в строительстве конструктивных материалах, металл хорошо поддается архитектурной организации. Он режется так же легко как древесина, но в отличие от нее может принимать любую заданную форму. Металлические конструкции являются сборными и не только не уступают, но и во многом превосходят в индустриальности сборный железобетон. В мировой практике металлические конструкции получили самое широкое распространение в строительстве и архитектуре, а объем их применения сегодня составляет более 50 % общих объемов в промышленном строительстве.

Сооружения, выполненные в металле, стали символами многих городов мира: разводные мосты в Санкт-Петербурге и мосты в Будапеште, Эйфелева башня в Париже, вокзал во Львове. В сегодняшней архитектуре существует масса объектов, образ которых просто не мыслится в других материалах. В нашей стране металл в архитектурно-

строительной практике наиболее активно используется в последние 10–15 лет. В советское время его применение в строительстве ограничивалось. Высокая стоимость металла сдерживает его распространение и сейчас.

Выбор металла определен его эстетическими качествами, долговечностью, легкостью в обработке, что стимулирует поиск новых форм и очертаний. Он великолепно сочетается со стеклом и бетоном и виртуозное раскрытие его непревзойденных качеств еще впереди.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Мардер, А.П.* Металл в архитектуре / А.П. Мардер. – М.: Стройиздат, 1980. – 232 с.
2. *Байер, В.Е.* Архитектурное материаловедение / В.Е. Байер. – М.: Архитектура С, 2006. – 264 с.
3. *Соколов, В.Л.* Повышение эффективности использования металла в строительстве / Соколов В.Л. – М.: Стройиздат, 1986. – 311 с.
4. *Шейкин, А.Е.* Строительные материалы: учебник для вузов / А.Е. Шейкин. – М.: Стройиздат, 1978. – 432 с.
5. *Цыганова, Л.Р.* Взаимосвязь архитектуры и строительных материалов: учеб. пособие / Л.Р. Цыганова, Е.Б. Артемова. – Волгоград, 2001. – 168 с.
6. *Материаловедение в строительстве: учеб. пособие для студентов вузов / И.А. Рыбьев, Е.П. Казеннова, Л.Г. Кузнецова и др.; под ред. И.А. Рыбьева* – М.: ИЦ «Академия», 2006. – 528 с.
7. *Танкаян В.Г.* Новые материалы в архитектуре Севера / В.Г. Танкаян. – Л.: Стройиздат, Ленингр. отдел-е, 1981. – 128 с.
8. *Артемова, И.Н.* Алюминий в строительстве / И.Н. Артемова. – Л.: Стройиздат, Ленингр. отдел-е, 1985. – 288 с.
9. *Попов, К.Н.* Строительные материалы и изделия: учебник для вузов / К.Н. Попов, М.Б. Каддо. – М.: Высшая школа, 2005. – 438 с.
10. *Горчаков, Г.И.* Строительные материалы: учебник для вузов / Г.И. Горчаков, Ю.М. Баженов. – М.: Стройиздат, 1986. – 688 с.
11. *Кудишин, Ю.И.* Металлические конструкции: учебник / Ю.И. Кудишин. – М.: ИЦ «Академия», 2007. – 688 с.
12. *Строительные материалы для эксплуатации в экстремальных условиях: учеб. пособие / А.М. Гридчин, Ю.М. Баженов, В.С. Лесовик и др.* – М.: Изд-во АСВ; Белгород: Изд-воБГТУ, 2008. – 595 с.
13. *Рыбьев, И.А.* Строительное материаловедение: учеб. пособие / И.А. Рыбьев. – М.: Высшая школа, 2002. – 701 с.

14. *Байер, В.Е.* Материаловедение для архитекторов, реставраторов, дизайнеров: учеб. пособие / В.Е. Байер. – М.: «Астрель», 2004. – 250 с.

15. *Соломатов, В.И.* Метон – новый конструкционный материал / В.И. Соломатов, Ю.В. Потапов // Строительные материалы. – 1978. – № 3. – С. 11.

16. *Потапов, Ю.В.* Бетоны на металлических связующих: монография / Ю.В. Потапов, Л.Р. Манлян, Ю.М. Борисов. – Ростов н/Д: Рост. гос. строит. Ун-т, 2007. – 122 с.

17. *Родионов, Б.Н.* Тенденции развития рынка металлов для строительства / Б.Н. Родионов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2007. - № 7. – С. 18–20.

18. *Копий, А.* Архитектурно-художественные возможности металлоконструкций / А. Копий, С.А. Тимофеева // Архитектура, строительство, дизайн. – 2008. – № 1. – С. 64–67.

Учебное издание

Воронцов Виктор Михайлович
Мосьпан Виктор Иванович

Металлические материалы в архитектуре

Учебное пособие

Подписано в печать 24.06.09. Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 3,3. Уч.-изд. л. 3,5.
Тираж 70 экз. Заказ Цена

Отпечатано в Белгородском государственном технологическом университете
им. В. Г. Шухова
308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46

