

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ



Библиотека научных разработок и проектов МГСУ

УДК 624.014
ББК 38.54
О-75

СЕРИЯ ОСНОВАНА В 2008 ГОДУ

Р е ц е н з е н т ы :

доктор технических наук, руководитель ФГУ НУЦ
«Сварка и контроль» при МГТУ им. Баумана **Н.А. Быстрова**;
кандидат технических наук, декан строительного факультета
ФГБОУ ВПО «Пермского национального исследовательского
политехнического университета» **В.А. Голубев**

К о л л е к т и в а в т о р о в :

**К.И. Еремин, А.Н. Шувалов, Г.А. Павлова,
С.А. Матвеюшкин, М.В. Нащекин, Е.Л. Алексеева**

*Монография рекомендована к публикации
научно-техническим советом МГСУ*

**О-75 Особенности эксплуатации металлических конструкций
промышленных зданий** : монография / К.И. Еремин [и др.] ; под
ред. К.И. Еремина ; М-во образования и науки Росс. Федерации,
ФГБОУ ВПО «Моск. гос. стрит. ун-т». – Москва: Издательство
МИСИ – МГСУ, 2012. – 248 с. (Библиотека научных разработок и
проектов МГСУ)

ISBN 978-5-7264-0651-0

Рассмотрены проблемы предотвращения аварий и дальнейшей безаварийной эксплуатации зданий и сооружений. Проведен анализ причин и последствий аварий, мероприятий по эксплуатации конструкций с накопленными повреждениями.

Значительный объем издания занимают результаты исследований фактических нагрузок и свойств материалов строительных металлических конструкций, а также изучения действительной работы конструкций. Даны рекомендации по повышению ресурса строительных конструкций.

Для научных работников вузов, инженерно-технических работников научно-исследовательских институтов, специалистов промышленных предприятий.

**УДК 624.014
ББК 38:54**

ISBN 978-5-7264-0651-0

© ФГБОУ ВПО «МГСУ», 2012

I. Действительная работа и повреждаемость строительных металлических конструкций

1. ПОВРЕЖДАЕМОСТЬ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ПРЕДПРИЯТИЙ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Износ и повреждаемость каркасов промышленных зданий предприятий черной металлургии послереволюционной постройки связаны с их интенсивной эксплуатацией, особенно в военный и послевоенный периоды, отсутствием необходимых средств и времени на ведение ремонтно-восстановительных работ, несовершенствами конструктивных решений и неквалифицированным выполнением усиления. В основном, производимые усиления не учитывают реальные особенности работы конструкций, такие как воздействия циклических нагрузок, низких температур, концентрации напряжений и т.д. Следствием этого являются усталостные и хрупкие повреждения и разрушение элементов и узлов металлических конструкций, создающие предаварийные и аварийные ситуации, ведущие к краткосрочным или длительным остановкам производства.

Кроме того, остановка отдельных цехов и заводов в последнее время дает возможность именно сейчас выполнить полную «ревизию» существующего парка металлоконструкций, разработать предложения по возможному перепрофилированию зданий и наметить необходимые объемы ремонтно-восстановительных работ. В связи с этим, разработка эффективных приемов усиления металлоконструкций, учитывающих реальные условия эксплуатации и особенно циклическое воздействие нагрузок, представляет собой в настоящий период актуальную проблему в сфере строительства.

Конструктивные решения обследованных зданий (порядка 40) можно разделить условно на три группы:

- здания довоенной постройки 1930-х гг.;
- здания послевоенной постройки 1950—60-х гг.;
- здания современной постройки 1980—90-х гг.

Ниже приведена краткая характеристика отдельных цехов из выше-приведенных групп.

Блок сортопрокатных цехов на Магнитогорском металлургическом комбинате построен в несколько этапов в довоенный период и пред-

ставляет собой комплекс цехов с продольными и поперечными пролетами складского назначения.

Характерной особенностью стальных несущих конструкций является применение клепаных соединений конструкций. Шаг колонн средних рядов 13 м, а колонн крайних рядов — 6,5 и 13 м, размеры пролетов (в осях) — 33, 34 м. Характерно то, что на протяжении 500 м отсутствуют температурные швы.

Пролеты цехов оборудованы мостовыми кранами с жестким подвесом груза грузоподъемностью 10—16 т с режимом работы 8 К.

Стеновое ограждение — самонесущее из кирпича.

Пролеты цехов оборудованы поперечными и продольными аэрационными фонарями.

Листопрокатные цехи постройки 1950—60-х гг. имеют 5—8 пролетов и протяженность до 1000 м. Стальные несущие конструкции выполнены сварными, за исключением подкрановых балок. Шаг колонн по средним рядам 12 м (либо кратен 6 м), по крайним рядам 6 м, размеры пролетов 27, 33 м (либо кратны 6 м). Здания листопрокатных цехов расчленяются поперечными температурными швами на температурные блоки в соответствии с нормами проектирования. Пролеты цехов оборудованы продольными светоаэрационными фонарями.

Стеновые панели — железобетонные навесные. В зданиях более ранней постройки — самонесущие кирпичные стены.

Кислородно-конвертерный цех ММК, построенный в начале 1990-х гг., состоит из двух основных, соединенных между собой тамбуром, производственных помещений:

- конвертерного отделения (КО);
- отделения непрерывной разливки стали (ОНРС) с транспортно-отделочным отделением (ТОО).

Краны грузоподъемностью 500+100/20 т и 125/20 т.

Металлоконструкции каркаса ККЦ изготовлены на Челябинском заводе металлоконструкций по чертежам ЦНИИПСК и смонтированы рустом «Уралстальконструкция».

Подкрановые конструкции в пролетах КО и ОНРС решены с совмещением функций подкрановых и подстропильных конструкций в виде подкраново-подстропильных ферм (ППФ) с неразрезным коробчатым нижним поясом.

В конструкциях использованы стали марок 16Г2АФ, 14Г2АФ, 09Г2С и ВСтЗсп5-1.

Здание ОНРС пятипролетное, одноэтажное и состоит из четырех неотапливаемых пролетов, в которых размещаются машины непрерывно-

го литья заготовок и внепечной обработки металла, а также одного отапливаемого пролета, в котором размещается отделение подготовки технологического оборудования.

Большая часть эксплуатируемых промышленных зданий, в том числе и построенных в 1990-х гг. имеют повреждения, которые можно обнаружить различными методами.

Наиболее универсальной методикой для обследования разнообразных промышленных зданий является визуальная методика с применением инструментального контроля.

Блок-схема освидетельствования металлических конструкций приведена на рис. 1.1.

В момент обследования производилось:

1) выявление дефектов и повреждений, появившихся на стадии изготовления, транспортирования, хранения, монтажа и эксплуатации металлических конструкций;

2) установление соответствия фактических размеров конструкций проектным;

3) выявление фактических эксплуатационных свойств и соединений, установление их соответствия техническим требованиям;

4) корректировка расчетных схем конструкций.

Обследования, как правило, проводились в условиях действующих предприятий, что затрудняло проведение визуальных наблюдений и инструментального контроля.

Доступ к отдельным конструкциям или узлам затруднен, поэтому при обследовании конструкций в 1990-х гг. применялась видеозаписывающая аппаратура с последующим многократным просмотром при помощи видеомэгнитофона. Данная методика является наиболее эффективной при обследовании не только труднодоступных узлов, но и зон с повышенным выделением вредных веществ (травильные отделения и др.), а также в случаях обследования без остановки производственных процессов.

Иногда отсутствует необходимая исходная техническая документация, акты на скрытые работы и информация о произведенных ранее ремонтных работах, поэтому зачастую результаты обследований являются единственным материалом для проведения работ по ремонту и реконструкции зданий.

Обследования металлических конструкций производились в цехах сталеплавильного и прокатного производства.

На основании полученных материалов выполнена систематизация дефектов и повреждений металлических конструкций.

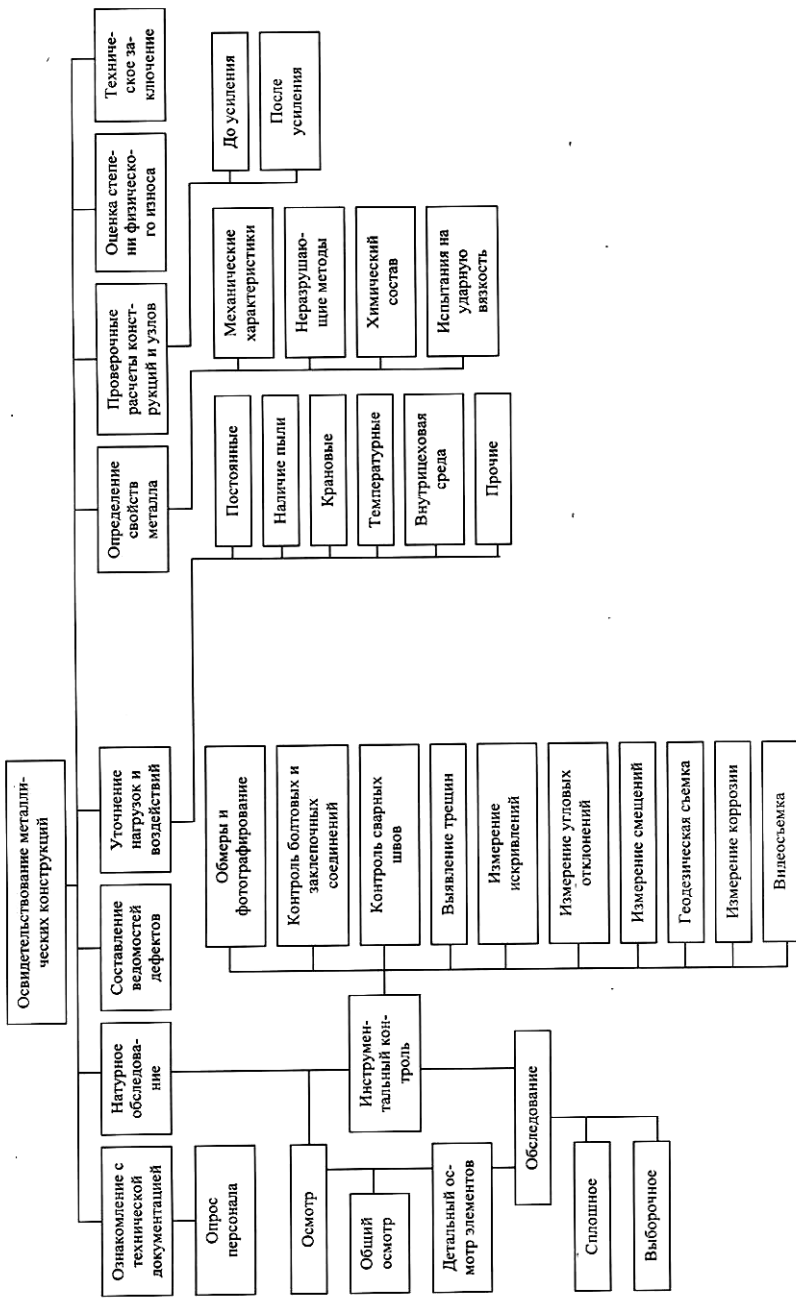


Рис. 1.1. Блок-схема работ, выполняемых при обследовании конструкций

Характерные повреждения *колонн*:

- 1) трещина в сварных швах;
- 2) вырез в стенке колонн;
- 3) искривление подкрановой ветви в плоскости рамы;
- 4) искривление раскоса по всей длине;
- 5) местная погнутость раскоса;
- 6) вырыв в полке подкрановой ветви.

Характерные повреждения *подкрановых балок*:

- 1) трещина в верхнем поясе подкрановой балки;
- 2) трещина в стенке в околошовной зоне верхнего пояса;
- 3) трещина в верхнем пояском шве;
- 4) трещина в шве крепления ребра жесткости;
- 5) трещина под коротким ребром;
- 6) отклонение подкрановой балки от вертикальной плоскости;
- 7) погнутость стенки;
- 8) местная погнутость ребра жесткости;
- 9) местная погнутость верхнего пояса.

Характерные повреждения *тормозных конструкций и узлов крепления подкрановых балок к колоннам*:

- 1) трещина в шве крепления тормозного листа (фасонки тормозной фермы) к верхнему поясу подкрановой балки;
- 2) трещина в тормозном листе (фасонке тормозной фермы);
- 3) трещина в шве крепления планки к колонне;
- 4) трещина в диафрагме узла крепления подкрановой балки к колонне;
- 5) трещина в шве крепления диафрагмы к опорному ребру подкрановой балки;
- 6) погнутость тормозного листа;
- 7) вырез в тормозном листе;
- 8) искривление раскоса тормозной фермы;
- 9) местная погнутость стойки тормозной фермы;
- 10) вырез в раскосе тормозной фермы;
- 11) ослабление болтов крепления планки к колонне.

Характерные повреждения *стропильных ферм*:

- 1) трещина в шве крепления раскоса к фасонке;
- 2) трещина в фасонке;
- 3) ослабление крепления болтов в верхнем опорном узле;
- 4) горизонтальное смещение опорного узла фермы относительно оси колонны;
- 5) неплотное опирание опорной фасонки на опорный столик;
- 6) вмятина в уголке нижнего пояса фермы;
- 7) искривление растянутого раскоса;
- 8) искривление стойки.

Характерные повреждения *связей*:

- 1) трещина в шве крепления растяжки к нижнему поясу фермы;
- 2) искривление распорки в плоскости связей;
- 3) местная погнутость связи;
- 4) отсутствие распорки;
- 5) ослабление крепления болтами связи к нижнему поясу фермы.

Гистограммы повреждаемости стальных колонн и конструкций покрытия представлены на рис. 1.2.

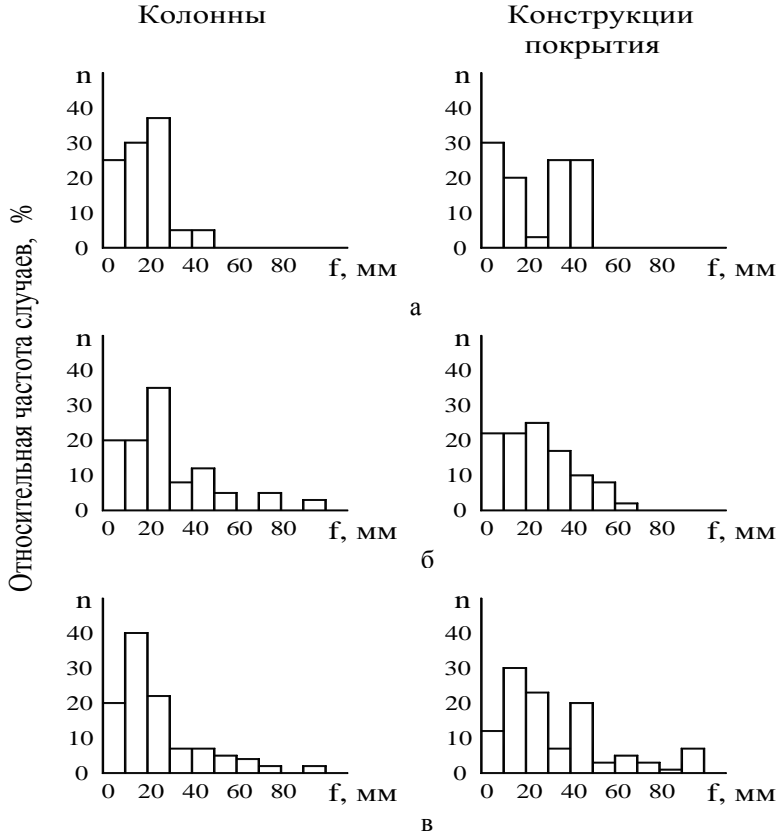


Рис. 1.2. Гистограммы относительной повреждаемости конструкций:
 а — сортопрокатных цехов; б — адыюстажей;
 в — листопрокатных цехов (ММК)

В результате проведенного анализа установлено, что циклическое нагружение подкрановых конструкций с повышенной интенсивностью приводит к появлению повреждений (в том числе трещин).

Как установлено, наиболее повреждаемыми являются конструкции, непосредственно воспринимающие циклические воздействия технологического оборудования.

Статистическое изучение вертикальной нагрузки мостовых кранов выполнено Б.Н. Кошутиним. Экспериментальные исследования проводились способом визуальных наблюдений в 21 пролете 15 цехов металлургического производства и заводов тяжелого машиностроения. Установлено, что подавляющее число случаев появления нагрузки вызывается сквозными проездами кранов с пустой или нагруженной малым грузом тележкой, расположенной в средней трети пролета крана. Подъем краном грузов, вес которых близок к грузоподъемности крана, редок, а наиболее вероятный вес груза не достигает 0,3 номинального в металлургических цехах и 0,1 в машиностроительных с частотой загрузки колонн и подкрановых балок соответственно 3,2—38,3 в час или 0,6—6,7 млн загрузок за 20 лет трехсменной непрерывной работы тяжелого режима.

При исследовании вертикальных нагрузок использовались электроконтактные датчики, установленные на мосту крана для регистрации положений тележки и вдоль пролета цеха для регистрации моста крана по длине пролета, вертикальные и горизонтальные воздействия колес кранов определялись по деформациям концевых балок кранов.

Число превышений среднего уровня вертикальной составляющей нагрузки на колесах для мостовых кранов режима работы 7К — 17—71 в час, а горизонтальной составляющей — 23—66 в час.

Ю.С. Куниным в работе «О нагрузках при расчете жесткости подкрановых балок» была проведена непрерывная регистрация прогибов подкрановых балок в течение длительного времени (от 2,5 до 6 суток в 13 цехах) механическим самопишущим прибором. В данной работе представлен большой объем статистического материала, в том числе, одной из статистических характеристик является среднее число превышений математического ожидания прогиба n %, которое изменяется в пределах от 0,1 до 0,8 //мин, что составляет в перерасчете 6—48 //ч.

В работе «Исследование процессов нагружения стальных подкрановых балок вертикальными крановыми нагрузками в цехах металлургического производства» получен большой статистический материал путем непрерывной регистрации деформаций нижних поясов подкрановых балок тензометрической аппаратурой. Среднее число превышений математического ожидания деформаций n % изменяется от 0,2 до 1,2 //мин, что составляет в перерасчете 12—72 //ч.

1. В результате обобщения материалов обследований стальных несущих и ограждающих конструкций промышленных зданий установ-

лено, что конструкции эксплуатируются с повреждениями, наиболее опасными из которых являются трещины.

2. Причинами появления дефектов в конструкциях являются:

1) отклонения геометрических размеров и низкое качество работ при изготовлении конструкций;

2) искривления и погнутости элементов от механических воздействий при транспортировании и складировании;

3) низкое качество монтажных работ.

3. Причинами появления повреждений (в том числе трещин) в процессе эксплуатации являются:

1) повреждения от механических воздействий;

2) повреждения от воздействий низких и высоких температур;

3) коррозионные повреждения;

4) наличие исходных дефектов сварки;

5) циклический характер нагружения конструкций, вызывающий циклическое упругопластическое деформирование материала в зонах концентрации напряжений;

6) наличие начальных напряжений в металлоконструкциях, например, остаточных сварочных напряжений;

7) повреждение технологического оборудования, например, мостовых кранов;

8) разрушение связей и соседних конструкций.

4. В процессе эксплуатации стальных несущих конструкций имеет место накопление повреждений: возрастает количество общих и местных дефектов, например прогибов, имеющиеся трещины увеличиваются в размерах, зарождаются новые трещины.

5. Повреждения стальных несущих конструкций непосредственно зависят от особенностей технологического процесса. Наибольшее количество повреждений наблюдается:

1) в зонах складирования заготовок или готовой продукции и погрузки на транспортные средства;

2) у косых въездов;

3) в зонах производства ремонтных работ мостовых кранов;

4) в местах расположения агрегатов с повышенными динамическими воздействиями (клетки прокатных станов, кузнечно-прессовое оборудование);

5) в районах нагревательных печей и в местах охлаждения нагретого металла, а также у конструкций, эксплуатирующихся при воздействии низких температур климатического диапазона.

6. Наибольшее количество дефектов и повреждений наблюдается у конструкций, непосредственно воспринимающих циклические нагрузки — подкрановые балки, подкраново-подстропильные фермы и пр.

2. АНАЛИЗ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Появление, накопление и развитие дефектов и повреждений каркасов промышленных зданий предприятий черной металлургии связаны с их интенсивной эксплуатацией, несовершенством конструктивных решений, неграмотными приемами усиления, грубыми нарушениями правил технической эксплуатации, нехваткой средств на ремонтно-восстановительные работы и затрудненными условиями проведения последних в условиях непрерывного производства.

Для оценки степени опасности дефектов и повреждений необходимо четкое представление о типах дефектов и изменении их размеров со временем эксплуатации.

Лабораторией надежности и долговечности зданий и сооружений МГТУ обследованы ряд цехов промышленных зданий:

- мартеновский цех № 1 ЗАО СПЗ;
- склад заготовок обжимного цеха ОАО «ММК»;
- листопрокатный цех № 2 ОАО «ММК»;
- отделение подготовки литых слябов (ОПЛС) кислородно-конвертерного цеха (ККЦ) ОАО «ММК»;
- транспортные галереи коксохимического и горно-обогательного производств ОАО «ММК»;
- листопрокатный цех Златоустовского металлургического комбината.

Обобщение результатов натурных обследований стальных конструкций промышленных зданий позволило разработать классификацию характерных дефектов и повреждений, провести анализ степени повреждаемости основных стальных конструкций и частоты появления отдельных видов дефектов по видам конструкций.

Освидетельствования показали, что к числу наиболее часто повреждаемых конструкций, для которых необходима разработка методики оценки влияния несовершенств, следует отнести: колонны каркаса, стропильные конструкции, фонарные фермы и связи, подкрановые конструкции, пролетные строения транспортных галерей.

На рис. 1.3 представлена гистограмма распределения размеров общих погибов в элементах пролетных строений транспортных галерей ОАО «ММК».

Наиболее распространены погибы размерами 10—20 мм. И в случае погиба в плоскости, и из плоскости самый высокий процент обнару-

женных повреждений приходится на 15—20 мм (48 и 38 %). Вероятность появления общих погибов элементов достаточно высока для диапазона 5—30 мм. По мере увеличения стрелы прогиба f , их число значительно уменьшается (30—40 мм — по 5 %).

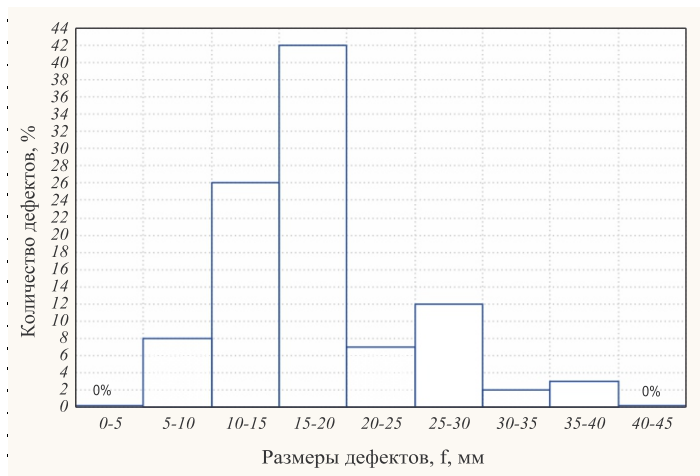


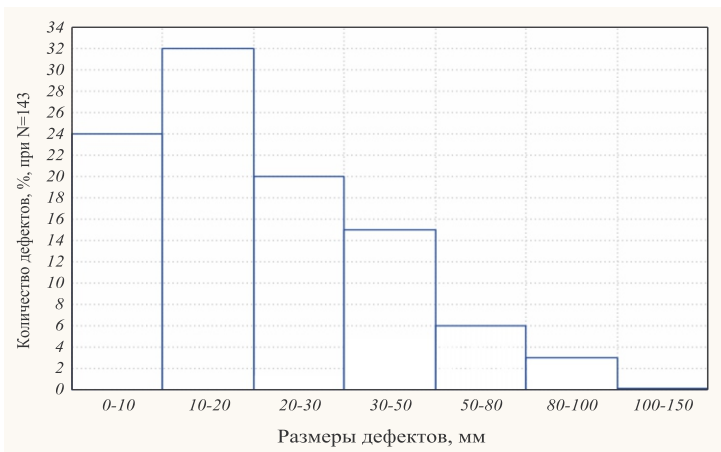
Рис. 1.3. Гистограмма распределения размеров общих погибов элементов пролетных строений транспортных галерей коксохимического и горно-обогатительного производств ОАО «ММК»

В отличие от элементов транспортных галерей элементы основных конструкций каркаса промышленных зданий металлургических комплексов получают гораздо большие повреждения. Размеры повреждений, например погибов, могут достигать 100—150 мм.

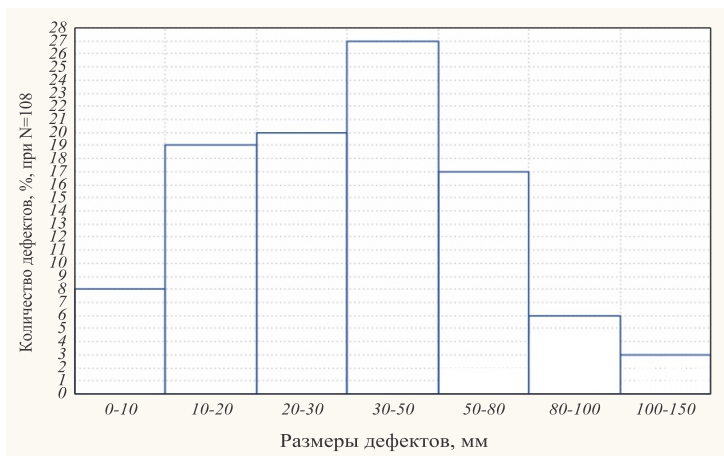
На рис. 1.4 представлены результаты обследований элементов стропильных ферм нескольких цехов ОАО «ММК». Вероятность появления и диапазон размеров для общих и местных погибов имеют некоторые отличия.

Для местных повреждений (рис. 1.4, а) наиболее часто встречающимися являются погибы в диапазоне 0÷50 мм. Их появление и наибольший процент (10—20 мм — 32 %) обусловлены прежде всего ударными воздействиями и нарушениями правил эксплуатации.

Увеличение погиба (рис. 1.4, б) — наибольшая вероятность приходится на погибы размерами 10—80 мм — можно объяснить прежде всего перепадами температур, вызванными технологическими факторами. При общих погибах элементов ферм в данных цехах самое высокое значение (27 %) у дефектов размерами 30—50 мм.



а



б

Рис. 1.4. Суммарные гистограммы распределения размеров общих погибов в элементах стропильных ферм (маргеновский цех № 1; склад заготовок обжимного цеха; ЛПЦ-2): а — при N = 143; б — при N = 108

Основными причинами, такими как силовые воздействия ударного характера и нарушения правил эксплуатации, можно объяснить появление местных погибов в элементах колонн (рис. 1.5). Основной процент (31 %) приходится на небольшие дефекты (0÷10 мм). Как самые рас-

пространенные повреждения для данных конструкций можно выделить группу до 50 мм. Результаты обработки данных обследования конструкций каркаса здания Златоустовского металлургического комбината (листопрокатный цех), в данном случае элементов колонн, представлены на рис. 1.6.

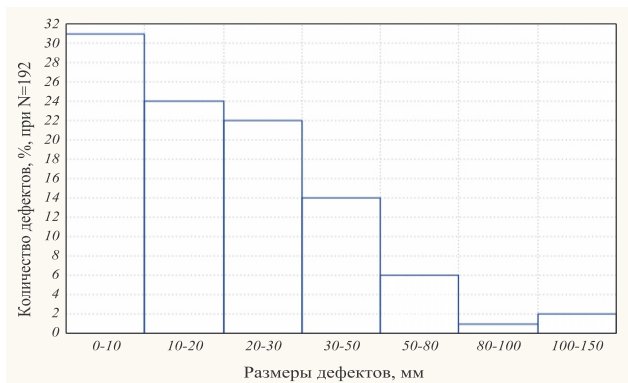


Рис. 1.5. Суммарная гистограмма распределения размеров местных погибов в элементах колонн: (мартеновский цех № 1; склад заготовок обжимного цеха ОАО «ММК»)

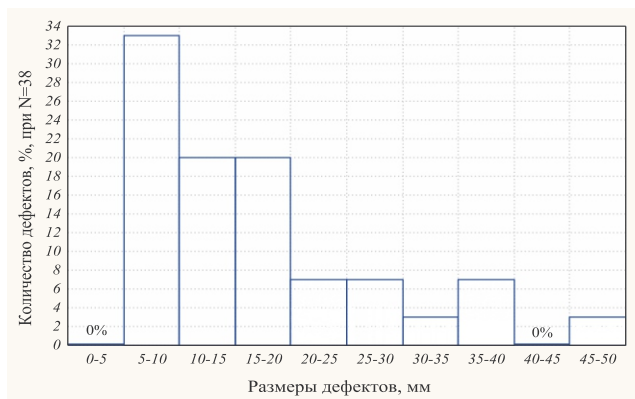
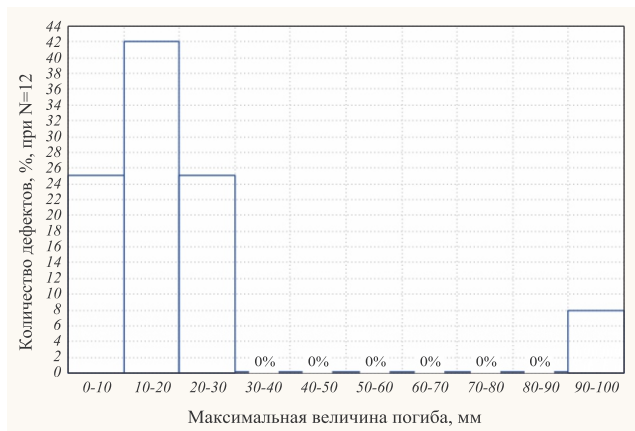


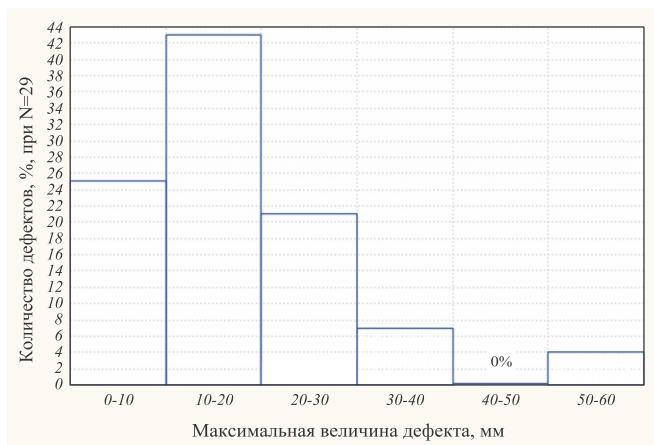
Рис. 1.6. Гистограмма распределения местных погибов элементов колонн. (Златоустовский металлургический комбинат, листопрокатный цех)

Можно предположить, что именно сроком эксплуатации объясняется небольшое количество дефектов в элементах стропильных ферм златоустовского металлургического предприятия (рис. 1.7, а, б). Характер-

ным и для местных, и для общих погибов является распределение основного числа повреждений (92 % и 89 %) в диапазоне 0—30 мм, при этом максимальное значение повреждений (42 % и 43 %) приходится на 10—20 мм.



а



б

Рис. 1.7. Гистограммы плотности распределения местных погибов в элементах стропильных ферм (Златоустовский металлургический комбинат): а — при N = 12; б — при N = 29

Причины, вызывающие общие и местные погибы, практически одинаковы, но на работу конструкций они оказывают различное влияние. Большую опасность представляют собой общие погибы, в особенности более 50 мм, так как могут вызвать потерю устойчивости элемента, но в сравнении с местными погибами появление таких повреждений происходит реже.

На рис. 1.8 представлены результаты сравнения частоты появления этих двух видов дефектов. И хотя в случае мартеновского цеха ОАО «ММК» разница в количестве местных и общих погибов невелика, распределение их размеров отличается друг от друга.

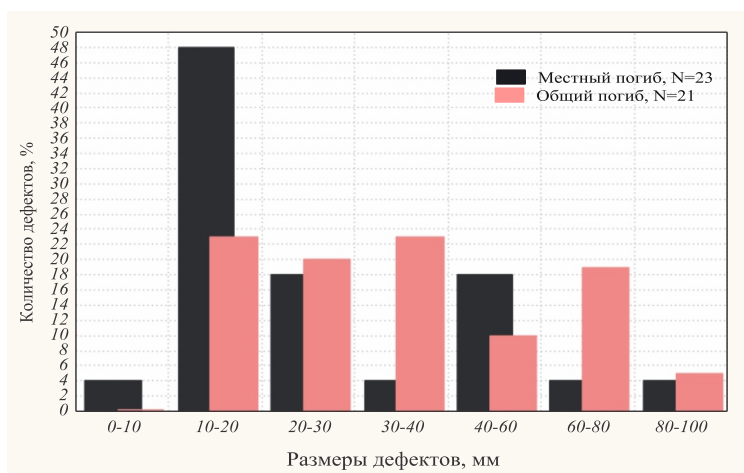
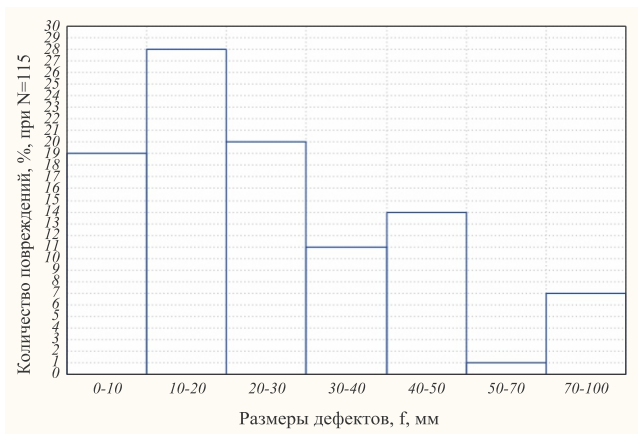


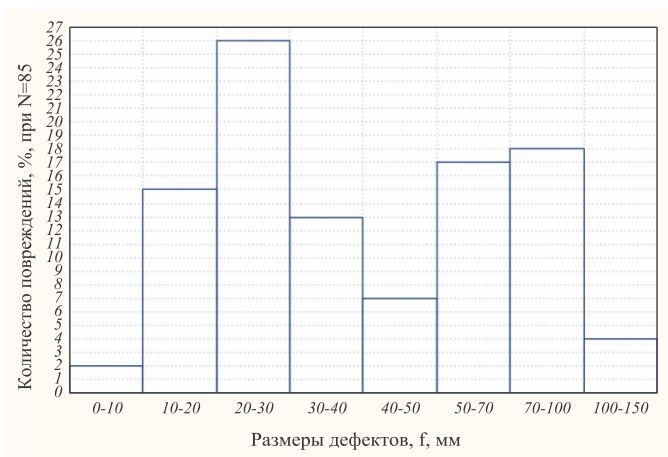
Рис. 1.8. Гистограмма распределения размеров дефектов; местный и общий погибы элементов ферм (мартеновский цех № 1 ЗАО СПЗ)

Наиболее часто встречаются местные погибы размерами от 10 до 20 мм (48 %). Вероятность появления повреждений других размеров значительно меньше. Гистограмма распределения общих погибов имеет более спокойный и фиксирует ровный характер, характеризуется отсутствием резких скачков и фиксирует примерно одинаковые значения для всех повреждений размерами от 10 до 80 мм.

Для вертикальных связей, как и для конструкций колонн и покрытия, также характерны общие и местные погибы. Причины их возникновения те же, что и для колонн и ферм покрытия: длительный срок эксплуатации, нарушения правил эксплуатации и механические повреждения в зонах складирования и погрузки продукции. На рис. 1.9, а, б представлены сводные гистограммы по данным повреждаемости элементов связей в зданиях цехов ММК.



а



б

Рис. 1.9. Гистограммы распределения размеров общих погибов в элементах вертикальных связей (мартеновский цех № 1; склад заготовок обжимного цеха; склад готовой продукции ОАО «ММК»):
а — при N = 15; б — при N = 85

Величина погибов связей колеблется от 0 до 150 мм, но наибольшее количество местных повреждений — это погибы небольших размеров, до 30 мм. Для общих погибов наиболее распространенными являются размеры от 10 до 30 мм, кроме этого, 35 % обнаруженных погибов приходится на 50—100 мм.

Количество повреждений, начальных и накопившихся в процессе эксплуатации, достаточно велико. Общие и местные погибы наиболее часто встречаются, но кроме них существуют другие виды повреждений, препятствующие нормальной эксплуатации и способные привести к аварийным ситуациям.

На рис. 1.10—1.12 приведены диаграммы результатов обобщения материалов натурных обследований стальных конструкций мартеновского цеха № 1 ОАО «ММК».

На рис. 1.10 представлены результаты проведенного анализа степени повреждаемости элементов колонн и частоты появления отдельных видов повреждений. Видно, что 50 % от общего числа повреждений составляют местные погибы, также большой процент (35 %) составляют нарушения целостности металла — вырезы, отверстия, разрывы и трещины. В отдельных случаях разрезы достигают 40 мм, отверстия в диаметре составляют 20—30 мм. Ослабленные вырезами, отверстиями и разрезами элементы не способны в полной мере воспринимать действительную нагрузку. Причинами возникновения данных дефектов являются прежде всего нарушения правил эксплуатации и ведения ремонтных работ. Коробление элементов (4 %) вызвано температурными технологическими воздействиями.

Конструкции ферм данного цеха имеют такие же повреждения, как и колонны, но в общей сумме количество погибов составляет 84 % (см. рис. 1.11).

На рис. 1.12 представлена диаграмма, показывающая основные виды повреждений конструкций вертикальных связей по колоннам и их процентное соотношение.

Отношение в процессе эксплуатации к связям как к второстепенным элементам приводит к удалению и вырезке элементов — 7 %, появлению многочисленных недопустимых дефектов в узлах крепления, таких как некачественная сварка, повреждения фасонки, отсутствие креплений вообще — 16 %, довольно распространено полное отсутствие элементов — 17 %. Подобные грубые нарушения приводят к изменению расчетной схемы сооружений, снижению пространственной жесткости, перераспределению усилий и способствуют преждевременному выходу конструкций из строя.

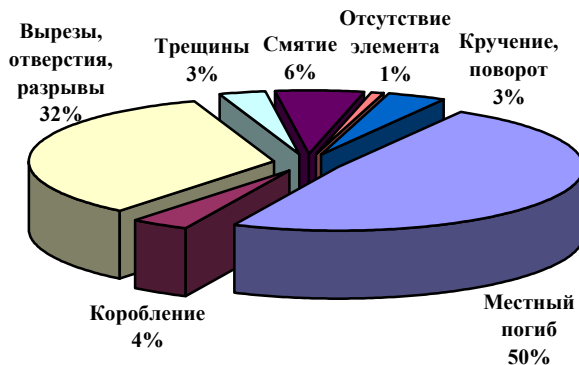


Рис. 1.10. Диаграмма распределения дефектов в элементах колонн мартеновского цеха № 1 ЗАО «СПЗ»

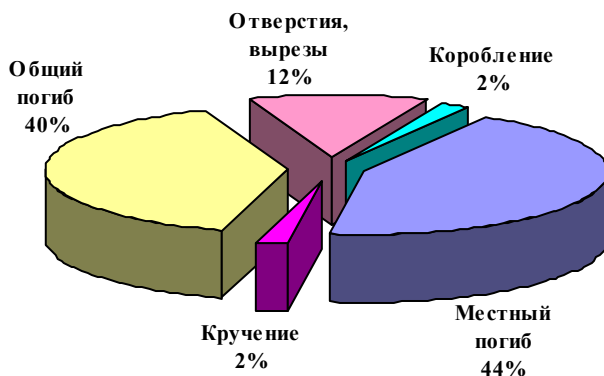


Рис. 1.11. Диаграмма распределения дефектов в элементах ферм мартеновского цеха № 1 ЗАО «СПЗ»

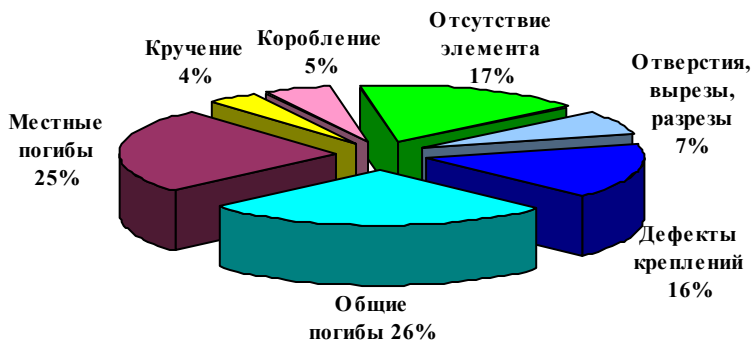


Рис. 1.12. Диаграмма распределения дефектов в конструктивных связях мартеновского цеха № 1 ЗАО «СПЗ»

Кручение и коробление, по сравнению с другими дефектами, встречаются реже. Но эти дефекты вызывают ослабление сечения, а иногда приводят к полной неспособности воспринимать нагрузку.

Освидетельствования стальных каркасов зданий черной металлургии показывают, что наиболее повреждаемыми в процессе эксплуатации являются подкрановые балки. На рис. 1.13 приведен график роста количества трещин в подкрановых балках и связях в зависимости от времени эксплуатации. Количество трещин в подкрановых балках отделения подготовки литых слябов (ОПЛС) кислородно-конвертерного цеха (ККЦ) ОАО «ММК» за три года интенсивной эксплуатации увеличилось почти в четыре раза и на момент обследования в 1999 г. превосходит в пять раз число трещин в элементах колонн и связей.

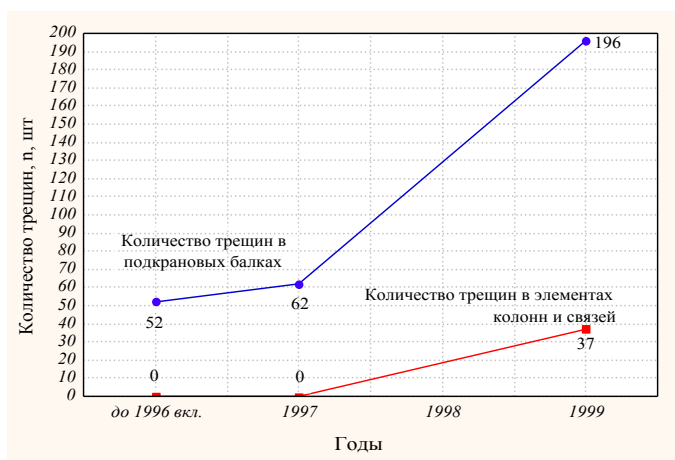


Рис. 1.13. График изменения количества трещин в подкрановых балках и в элементах колонн и связей по период с 1996 по 1999 гг. (ОПЛС ККЦ ОАО «ММК»)

Как показывают результаты обследований, уже в первые 4÷6 лет эксплуатации в подкрановых конструкциях появляются повреждения. Наиболее распространенными повреждениями являются расстройство креплений подкрановых и тормозных балок к колоннам, расстройство соединений тормозных и подкрановых балок между собой, появление усталостных трещин в сварных швах и околошовном металле, отрыв ребер жесткости, вертикальных связей и др.

Анализ статистических данных о дефектах и повреждениях подкрановых конструкций ОПЛС ККЦ позволил разделить их на две основные группы: дефекты опорных узлов и дефекты подкрановых балок.

В процентном отношении, по результатам обследования опорных узлов подкрановых конструкций ОПЛС ККЦ, распределение дефектов и повреждений выглядит так:

- разрушение болтов — 15 %;
- ослабление болтов — 24 %;
- трещины в нижнем поясе подкрановых балок — 13 %;
- трещины в сварных швах упорных планок — 14 %;
- зазоры между упорными и центрирующими планками — 41 %.

Одним из наиболее распространенных дефектов подкрановых балок являются трещины в сварных швах и по основному металлу.

На рис. 1.14 представлена диаграмма процентного распределения трещин по пяти зонам, из которой видно, что основная часть трещин в подкрановых балках — это трещины по основному металлу и сварным швам нижнего пояса 53 %, в месте изменения сечения поясов.



Рис. 1.14. Диаграмма зонального распределения трещин в металле и сварных швах подкрановых балок (ОПЛС ККЦ ОАО «ММК»)

Обследования конструкций, проводимые в отделении подготовки литых слябов ККЦ в течение трех лет (с 1996 по 1999 гг.), дали возможность получить данные о темпе роста количества трещин в подкрановых балках в условиях агрессивного характера эксплуатации. По полученным данным была построена гистограмма роста количества трещин, представленная на рис. 1.15. Как видно из этой гистограммы, количество трещин в обследованных подкрановых балках ТОЛ ОПЛС возросло приблизительно в 4 раза. Наибольший рост количества трещин, в среднем в 5÷6 раз, произошел в диапазоне размеров от 0 до 80 мм.

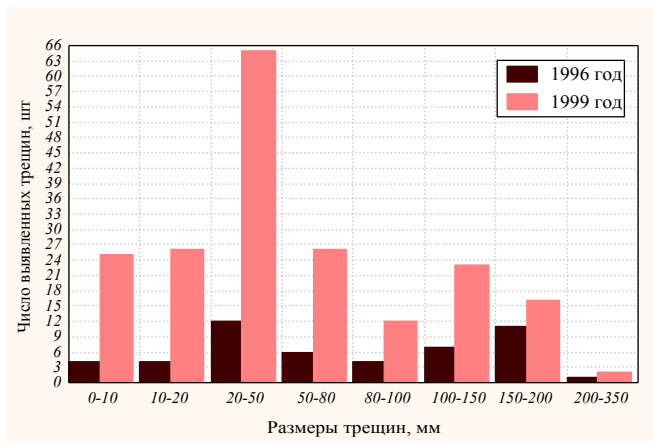


Рис. 1.15. Сравнительная гистограмма роста количества трещин в подкрановых балках (ОПЛС ККЦ ОАО «ММК»)

ВЫВОДЫ

Опасно не только увеличение количества трещин, но и увеличение размеров трещин с течением времени. Воздействие высоких эксплуатационных температур, циклических крановых нагрузок в ряде случаев привело к увеличению размеров трещин в подкрановых балках ОПЛС от 50 до 150 мм.

Приведенный анализ повреждаемости металлических конструкций позволяет выявить наиболее слабые и повреждаемые элементы и узлы конструкций, дать достаточно полную оценку надежности работы и сконцентрировать внимание на разработке мероприятий по предотвращению повреждений несущих металлических конструкций зданий и сооружений металлургических комплексов.

3. АНАЛИЗ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ И РЕЖИМОВ НАГРУЖЕНИЯ ТРАНСПОРТЕРНЫХ ГАЛЕРЕЙ КОКСОХИМИЧЕСКОГО И ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВ ОАО «ММК»

Сварные конструкции транспортерных галерей воспринимают эксплуатационные статические и циклические нагрузки, работают в условиях агрессивных сред, испытывают температурные воздействия и должны отличаться высокой надежностью в течение всего срока эксплуатации.

О Г Л А В Л Е Н И Е

I. ДЕЙСТВИТЕЛЬНАЯ РАБОТА И ПОВРЕЖДАЕМОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ	3
1. Повреждаемость металлических конструкций предприятий черной металлургии.....	3
2. Анализ повреждаемости металлических конструкций зданий и сооружений металлургических комплексов.....	11
3. Анализ повреждаемости и режимов нагружения транспортных галерей коксохимического и горно-обогатительного производств ОАО «ММК».....	22
4. Результаты обследований и испытаний несущих конструкций кранов-перегрузателей	32
5. Влияние температурных воздействий на элементы стальных каркасов промышленных зданий.....	36
6. Влияние технологических температур на подкрановые конструкции.....	39
7. Анализ повреждаемости опорных колец и корпусов конвертеров на примере ОАО «ММК».....	43
8. Исследование повреждаемости элементов каркасов промышленных зданий в процессе эксплуатации	55
9. Анализ повреждаемости подкрановых балок предприятий металлургической, горно-металлургической и теплоэнергетической промышленности	67
II. ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАТЕРИАЛА В УЗЛАХ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ	91
1. Особенности упругопластического деформирования зон концентрации напряжений фланцевых узлов из гнutosварного профиля.....	91
2. Влияние конструктивных параметров на концентрацию напряжений во фланцевых узлах из прямоугольного гнutosварного профиля	97
3. Циклические испытания фланцевых соединений сварных ферм из гнutosварных профилей	103
4. Изучение напряженно-деформированного состояния циклически нагруженных металлоконструкций тензометрическим методом	109
5. Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния металлических конструкций угольного крана-перегрузателя.....	122
6. Изучение напряженно-деформированного состояния подкраново-подстропильных ферм ККЦ ММК	131
7. Кинетика напряженно-деформированного состояния металлоконструкций ККЦ АО ММК	138
8. Изучение напряженно-деформированного состояния подкрановых конструкций	144

III. ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СТАЛЕЙ И ЗОН СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ	150
1. Методические особенности длительных низкотемпературных (до $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$) испытаний материалов	150
2. Исследование хладноломкости строительных сталей 09Г2С и ВСтЗсп	155
3. Ударная вязкость различных зон холодногнутого профиля	161
4. Изучение механических характеристик сталей по толщине	163
5. Влияние анизотропии проката на циклическую и статическую трещиностойкость сталей 09Г2С и ВСтЗсп	166
6. Статическая и циклическая трещиностойкость сталей в z-направлении	169
7. Изучение кинетики поверхностных трещин, развивающихся перпендикулярно сварному шву	171
8. Изучение кинетики формы поверхностных трещин, развивающихся в неоднородном поле растягивающих сварочных напряжений	174
9. Сопротивление разрушению низколегированной стали 09Г2С при повышенных температурах	181
IV. ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ АВАРИЙ ЗДАНИЙ И ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА СТРОИТЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ	191
1. Аварии зданий и сооружений; их причины	191
2. Предотвращение аварий экологически опасных объектов	193
3. Обеспечение безопасной работы зданий и сооружений	196
4. Экспериментальные исследования хладостойкости моделей и фрагментов сварных конструкций	202
5. Циклическая трещиностойкость элементов сварных металлоконструкций в условиях низких температур	207
6. Оценка остаточного ресурса строительных металлоконструкций по результатам натурных испытаний	214
7. Оценка скорости роста усталостных трещин при наличии остаточных сварочных напряжений	221
8. Оценка остаточного ресурса ездовых балок кранов-перегрузателей	225
9. Варианты усиления ездовых балок кранов-перегрузателей металлургических комплексов	229
10. Повышение ресурса пролетных строений транспортерных галерей	232
Библиографический список	238