

УДК 69.059

УСИЛЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ◆◆◆◆ STRENGTHENING METAL STRUCTURES DURING RECONSTRUCTION

Канатова Элина Александровна

студентка,
Кубанский государственный технологический университет
kanatovaelina@gmail.com

Медведева Маргарита Николаевна

студентка,
Кубанский государственный технологический университет
margarita-medvedeva@inbox.ru

Смирнова Анастасия Александровна

студентка,
Кубанский государственный технологический университет
smirnova200024@gmail.com

Аннотация. Данная статья посвящена вопросам усиления металлических конструкций при реконструкции. Рассмотрены методы усиления, а также приведены рекомендации применимые в рамках методов усиления металлических конструкций.

Ключевые слова: усиление, металлические конструкции, реконструкция, методы усиления.

Kanatova Elina Alexandrovna

Student,
Kuban State University of Technology
kanatovaelina@gmail.com

Medvedeva Margarita Nikolaevna

Student,
Kuban State University of Technology
margarita-medvedeva@inbox.ru

Smirnova Anastasia Alexandrovna

Student,
Kuban State University of Technology
smirnova200024@gmail.com

Annotation. This article is devoted to the issues of strengthening metal structures during reconstruction. Strengthening methods are considered, and recommendations applicable within the framework of methods for strengthening metal structures are given.

Keywords: reinforcement, metal structures, reconstruction, strengthening methods.

1. Общие положения

Производство работ по усилению строительных конструкций требует затрат и, как правило, неизбежны некоторые ограничения технологического процесса. Поэтому усиление или восстановление проектной несущей способности являются крайними средствами, когда этих целей нельзя достичь ни за счет выявленных резервов несущей способности, ни путем уменьшения постоянных или временных нагрузок. Выбор рационального варианта производится на основании нескольких конкурентоспособных вариантов с учетом технологичности.

Усиление может быть:

- аварийным, производится в экстремальных ситуациях для срочного восстановления несущей способности, при использовании наиболее простых методов, рассчитанных на короткий срок эксплуатации до капитального восстановления;
- временным, которое осуществляется, если необходимо обеспечить в плановом порядке нормальную эксплуатацию до капитального усиления;
- капитальным, применяемым для решения задач при реконструкции зданий и сооружений;
- перспективным, когда на конструкцию в период эксплуатации предполагаются увеличение технологических нагрузок и другие изменения условий эксплуатации.

Способ усиления различают по степени нагруженности на момент усиления:

- под нагрузкой, который является наиболее сложным и ответственным видом усиления, требует детального обследования сохраняемой конструкции, надежной оценки ее напряженного состояния и специальных приемов усиления, позволяющих включить элементы усиления в работу существующей конструкции;
- с частичной разгрузкой – это наиболее распространенный способ, предполагает отсутствие во время усиления временной нагрузки, например снеговой, крановой, технологической и т.п.;

– с полной разгрузкой – это способ с полным снятием временной нагрузки, применяется при аварийно-восстановительных работах либо для конструкций, основной которых является полезная (временная) нагрузка.

При проектировании усиления следует учитывать:

– что наиболее эффективным является косвенное усиление;
– усиление можно выполнять одним или одновременно несколькими способами;

– соединения элементов усиления с существующими конструкциями выполняются на сварке или болтах, в том числе высокопрочных;

– в конструкциях, работающих в условиях низких температур, на циклические или динамические нагрузки, присоединение элементов предпочтительно выполнять на болтах;

– сталь для элементов усиления принимают по СНиП [1] с учетом механических характеристик стали усиливаемой конструкции, но не ниже качества старой;

– при проектировании усиления нужно учитывать монтажную технологичность.

Усиление конструкций под нагрузкой с использованием сварки возможно в случае, если абсолютное значение напряжений в усиливаемом элементе σ_0 не будет превышать следующих величин:

– для I группы, (согласно нормам) сварных конструкций, работающих в особо тяжелых условиях, $\sigma_0 \leq 0,2 R_{y0}$ – расчетное значение по пределу текучести усиливаемого элемента;

– для элементов сварных конструкций, непосредственно воспринимающих подвижные и динамические нагрузки, но не входящих в I группу (подкрановые балки для кранов с группой режимов работы 1К – 6 К, пролетные строения галерей, балки соответствующих рабочих площадок и т.п.), $\sigma_0 \leq 0,4 R_{y0}$; – для всех остальных сварных конструкций, работающих на статические нагрузки, $\sigma_0 \leq 0,8 R_{y0}$

При проектировании и проведении работ по усилению необходимо соблюдать следующие требования [2]:

1. Элементы усиления необходимо располагать таким образом, чтобы не нарушать центровку элементов в узлах стержневых систем, а также не изменять положение центра тяжести основного элемента.

2. При усилении под нагрузкой не допускается накладывать сварные швы поперек растянутых усиливающих и усиливаемых элементов, катет шва при одном проходе должен быть не более 6 мм.

3. При наплавке дополнительных слоев на существующие швы необходимо ограничивать нагрев усиливаемых элементов, применяя электроды диаметром 3–4 мм, наплавлять швы слоями по 2 мм при сварочном токе 200–220 А участками по 50–70 мм, сварку вести с перерывами на остывание.

4. Сварку сталей производить с учетом температуры окружающего воздуха согласно нормам.

5. Для снижения опасности хрупкого разрушения новые швы рекомендуется располагать возможно дальше от существующих концентраторов напряжений (резкое изменение сечений, вырезы, ребра, фасонки): расстояние между параллельными угловыми швами должно быть не менее 100 мм, такое же расстояние рекомендуется между новыми стыковыми швами и швами крепления ребер, фасонки, накладок, в остальных случаях расстояние между швами – не менее 8–18 мм катетов швов.

6. При усилении балок и ферм в первую очередь выполняют швы, крепящие детали усиления к нижнему поясу, и в последнюю – к верхнему.

7. Присоединение новых элементов сваркой производят в следующей последовательности: установка элемента усиления и крепление с помощью струбцин; приварка на сварных прихватках длиной 10–20 мм через 300–500 мм; окончательная сварка концевых участков ведется к середине.

8. Присоединение элементов усиления на болтах производят с минимальным ослаблением сечения основного элемента, для чего сначала крепят болтами концы деталей усиления, затем выполняют промежуточные соединения, при этом сверление

каждого последующего отверстия выполняют после установки болта в предыдущие. Из всех способов усиления основными являются:

- увеличение площади поперечного сечения;
- изменение конструктивной схемы каркаса, сооружения, конструкции;
- регулирование напряжений (усилий).

2. Методы усиления металлических конструкций

При недостаточной несущей способности отдельных элементов, конструкций или зданий и сооружений производится их усиление, при этом, так же, как и при конструкциях из других материалов, необходимо предусмотреть минимальные потери из-за остановок технологического цикла.

Элементы сварных конструкций, испытывающие растяжение, сжатие или изгиб, могут быть усилены увеличением сечений путем приварки новых дополнительных деталей. Несущая способность элемента при этом возрастает с увеличением его сечения или жесткости. Однако нагрев элемента в процессе сварки может снижать его несущую способность.

В связи с некоторой потерей прочности элементов при сварке, а также перераспределением напряжений как по сечению элемента, так и между элементами усиление под нагрузкой производят при напряжениях, не превышающих $0,8R_y$, где R_y – расчетное сопротивление для стали, из которой изготовлен элемент [3].

Усиление сжатых стоек

Эффективным средством усиления сжатых стальных стержней является применение предварительно напряженных телескопических труб и элементов из других жестких профилей.

Сущность способа заключается в том, что разгружающая предварительно напряженная стойка состоит из двух труб требуемого диаметра, причем внутренняя труба сжата, а наружная растянута [4].

Эффективным способом увеличения жесткости каркасов промышленных зданий является устройство предварительно напряженных тяжей и оттяжек. Однако оттяжки требуют массивных анкерных устройств, увеличения площади застройки, а также они увеличивают сжимающие усилия в колоннах. Более эффективны тяжи, которые крепятся к соседним устойчивым зданиям. Натяжение таких затяжек осуществляют механическим, электротермическим или комбинированным способом, а контроль эффективности усиления – по уменьшению смещений верхних узлов каркаса при горизонтальных нагрузках.

Повышения жесткости продольных и поперечных рам возможно добиться установкой крестовых диагональных жестких связей, а когда это невозможно, – жестких распорок (ригелей) в сочетании с диагональными раскосами.

Эффективный способ увеличения прочности и жесткости металлических ригелей – подведение под них прокатных или сварных балок с приваркой под нагрузкой в нагретом состоянии. При ограниченных габаритах помещений усиливающую балку устанавливают сверху, вскрывают пол и приваривают ее к верхней полке усиливаемого ригеля в предварительно напряженном состоянии. Усиливающие балки в первом и во втором случаях заводят и жестко закрепляют в узлах рамы.

Повышения несущей способности стропильных балок и ригелей перекрытия возможно добиться устройством сплошного железобетонного настила, жестко связанного с верхним поясом балки. В этом случае жесткость ригеля существенно повышается, и его можно рассматривать как тавровую железобетонную балку с жесткой арматурой.

Наиболее часто требуют усиления сжатые стальные элементы. Традиционным способом их усиления является увеличение сечения приваркой полос, уголков и других элементов без предварительного напряжения. Однако такой способ усиления обладает существенным недостатком: элементы усиления поздно включаются в работу, приварка этих элементов вызывает в сжатых стойках дополнительные деформации, что снижает эффективность усиления. Поэтому традиционные способы усиления применяют, если временная нагрузка на стойки составляет не менее 40 % от постоянной и во время выполнения работ по усилению она отсутствует.

Усиление стальных стоек ненапряженными элементами осуществляют увеличением их сечения и уменьшением их свободной длины, при этом следует стремиться к максимальному увеличению радиусов инерции сечения. При выполнении усиления нагрузка на стойке не должна превышать 60...60 % расчетной.

При небольшой гибкости усиливаемого элемента необходимо уменьшать эксцентриситет от смещения, а при гибкости $\lambda > 80$ – увеличивать его устойчивость.

Присоединение элементов усиления осуществляют в основном сваркой. Сварочный прогиб для элементов, которые усиливаются под нагрузкой, является нагружающим фактором, поэтому сначала усиливаемый элемент приваривают точечной сваркой, а затем накладывают основной шов. При этом предпочтение следует отдавать шпоночным (прерывистым) швам, которые уменьшают деформации элементов, сокращают сроки сварочных работ и уменьшают массу наплавленного металла.

Усиление балок

Усиление металлических балок осуществляют увеличением сечения, при этом необходимо выполнить их разгрузку не менее чем на 60 % или установить временные дополнительные опоры. При проектировании усиления необходимо придерживаться следующих технологических правил: объем сварки должен быть минимальным, сварные швы следует располагать в удобных доступных местах, необходимо избегать потолочной сварки, сначала надо усиливать нижний пояс, а затем верхний, что исключает прогиб балки в момент усиления [6].

Наиболее простой способ усиления – симметричными накладками, однако при этом возникает необходимость в большом объеме потолочной сварки. При большой ширине нижней накладки можно избежать потолочных швов, однако ширина ее не должна превышать 506, в противном случае возникает значительная концентрация напряжений по кромкам балки.

Проверку прочности и устойчивости усиленной балки производят как для цельного сечения, так как критические усилия не зависят от величины напряжении, существовавших до усиления.

Для повышения местной устойчивости локальных участков стенки балки устанавливают на этих участках короткие ребра жесткости, окаймляя их продольными ребрами.

Эффективным способом усиления сплошных балок являются натяжные устройства, которые обеспечивают стабильную величину предварительного напряжения, не зависящую от податливости анкеров и вытяжки затяжек. Такие способы позволяют регулировать усилие предварительного напряжения в нижнем поясе балки. Распорные элементы выполняют в виде секторов с гнездами, образующих с осью разрезные шарниры, расположенные между скошенными торцами распираемых балок, натяжное устройство требуемой массы располагают внутри колонны. Этот способ наиболее эффективен при усилении подкрановых балок, так как требует минимальных трудовых и материальных затрат.

Усиление ферм

Усиление стальных ферм осуществляют подведением новых конструкций, введением дополнительных элементов решетки, изменением схемы конструкции и увеличением сечений отдельных элементов. Выбор того или иного способа усиления зависит от причин, вызвавших усиление стропильных конструкций.

Подведение новых конструкций осуществляют в том случае, если другие способы усиления не дают требуемого эффекта и, если по условиям производства допустима установка дополнительных промежуточных стоек.

Дополнительные элементы решетки вводятся для уменьшения гибкости стержней в плоскости фермы, для усиления верхнего пояса фермы на местный изгиб, а также для увеличения жесткости и несущей способности фермы в целом. Усиление нижнего пояса осуществляют, как правило, увеличением его сечения. Верхний пояс усиливают шпренгельной решеткой. Дополнительную перекрестную решетку устанавливают для повышения несущей способности и жесткости фермы в целом. В этом случае ферма превращается в статически неопределимую систему и возникает опасность пе-

пераспределения усилий в элементах решетки (растянутые элементы испытывают сжимающие усилия, и наоборот). Поэтому иногда возникает необходимость дополнительного усиления отдельных элементов решетки.

Существенного увеличения несущей способности фермы можно добиться установкой третьего пояса (шпренгельной системы) в пределах высоты фермы или (если допускает высота помещения) путем его закрепления в нижних опорных узлах. Такое усиление не требует дополнительных опор и может выполняться из высокопрочных канатов (пучков), обеспечивая минимальную материалоемкость усиления.

Одним из способов усиления ферм является надстройка висячих (вантовых) систем, к которым подвешивается усиливаемая конструкция. Этот способ особенно эффективен, если ваны можно подвешивать к рядом стоящим более высоким и устойчивым сооружениям.

Усиления ферм можно добиться включением в их работу светоаэрационных фонарей. Наиболее эффективен этот метод при расположении фонарей не по середине пролета, а над колоннами в двух- и многопролетных цехах.

Как уже отмечалось, усиления верхнего пояса ферм можно добиться за счет включения в его работу железобетонных плит покрытия.

Усиление соединений

При недостаточной прочности сварных швов их усиливают увеличением длины.

Наращивание швов следует производить электродами Э42, Э42А или Э46Т диаметром не более 4 мм при силе тока не более 220 А со скоростью, при которой за один проход размер катета не превышает 8 мм. Для элементов из уголков новые швы следует накладывать, начиная со стороны обушка от края фасонки в направлении существующих швов. Сварку последующего шва производят только после охлаждения предыдущего до 100 °С. При усилении швов напряжения в усиливаемом элементе не должны превышать $0,8R_y$, где R_y – расчетное сопротивление стали. Усиление должны производить высококвалифицированные сварщики не ниже 5-го разряда [8].

Усиление заклепочных соединений осуществляют высокопрочными болтами с предварительным напряжением. Болты устанавливают от середины узла к краям с помощью тарировочных ключей для измерения крутящих моментов. Из-за ослабления старых заклепок при установке новых высокопрочных болтов последние должны быть рассчитаны на восприятие полной нагрузки.

Из-за различной жесткости сварных и болтовых соединений усиление последних при помощи сварки не рекомендуется.

Металлические конструкции повсеместно используются в строительстве и хорошо зарекомендовали себя как надежные конструкции. При выявлении некоторых отклонений во время эксплуатации, реконструкция в данном случае будет являться оптимальным энергоэффективным и экономически выгодным решением. Методы, перечисленные выше упрощают процесс реализации усиления металлических конструкций.

Литература

1. СП 16.13330.2017 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*. – Введ. 28.08.2017. – М. : Минстрой России, 2017. – 93 с.
2. Пособие по проектированию стальных конструкций (к СНиП II-23-81*) / ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР. – М. : ОАО «ЦПП», 2008.
3. Пособие по проектированию усиления стальных конструкций (к СНиП II-23-81*) / Госстрой СССР. – М., 1989. – 20 с.
4. Ребров И.С. Усиление стержневых металлических конструкций. Проектирование и расчет. – Л. : Стройиздат, 1988. – 288 с.
5. Sorokina E. Evaluation of the survivability of metallic elements in local damage given the beyond design basis effects / E. Sorokina, A. Leonova // In the collection: MATEC Web of Conferences. – 2018. – С. 02008.
6. Бельский М.Р. Усиление металлических конструкций под нагрузкой. – К. : Будивельник, 1975.
7. Леонова А.Н. Особенности усиления металлических конструкций композитными материалами при воздействии агрессивной среды / А.Н. Леонова, О.Д. Софьяников, И.А. Скрипкина // Вестник МГСУ. – 2020. – Т. 15. – № 4. – С. 496–509.

8. Колесников В.Д. Методы усиления металлических конструкций уменьшением расчетной длины сжатых элементов // Молодой ученый. – 2020. – № 21(311). – С. 503–510.
9. Assessment of the level of ultra-high temperature effects on structural elements / E.N. Karpanina, A.N. Leonova, O.V. Sirotnina, D.A. Gura // Acta Technica CSAV (Ceskoslovensk Akademie Ved). – 2018. – Vol. 63. – № 6. – P. 915–920.
10. Леонова А.Н. Понятие «реконструкция» и основные проблемы, возникающие при реконструкции зданий и сооружений / А.Н. Леонова, А.В. Ястремский, В.С. Коробов // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2021. – № 4. – С. 113–115.
11. Analytical aspects of special purpose metal structures design / E.N. Karpanina, A.N. Leonova, O.V. Sirotnina, D.A. Gura // Revista Publicando. – 2018. – Vol. 5. – № 14-2. – P. 735–743.
12. Леонова А.Н. Поведение легких стальных тонкостенных конструкций при повышенных температурах / А.Н. Леонова, А.А. Федоров, И.А. Миронова // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2021. – № 4. – С. 116–118.

References

1. SP 16.13330.2017 Steel structures. Updated edition of SNIIP II-23–81*. – Enter. 08/28/2017. – М. : Ministry of Construction of Russia, 2017. – 93 p.
2. Manual on the design of steel structures (to SNIIP II-23–81*) / TsNIISK im. Kucherenko State Construction Committee of the USSR. – М. : JSC «TsPP», 2008.
3. A manual for the design of strengthening steel structures (to SNIIP II-23-81*) / Gosstroy of the USSR. – М., 1989. – 20 p.
4. Rebrov I.S. Strengthening rod metal structures. Design and calculation. – L. : Stroyizdat, 1988. – 288 p.
6. Belsky M.R. Strengthening metal structures under load. – К., Budivelnik, 1975.
7. Leonova A.N. Features of strengthening metal structures with composite materials when exposed to an aggressive environment / A.N. Leonova, O.D. Sofyanikov, I.A. Skripkina // Bulletin of MGSU. – 2020. – Vol. 15. – № 4. – P. 496–509.
8. Kolesnikov V.D. Methods of strengthening metal structures by reducing the design length of compressed elements / V.D. Kolesnikov // Young scientist. – 2020. – № 21(311). – P. 503–510.
9. Assessment of the level of ultra-high temperature effects on structural elements / E.N. Karpanina, A.N. Leonova, O.V. Sirotnina, D.A. Gura // Acta Technica CSAV (Ceskoslovensk Akademie Ved). – 2018. – Vol. 63. – № 6. – P. 915–920.
10. Leonova A.N. The concept of «reconstruction» and the main problems that arise during the reconstruction of buildings and structures / A.N. Leonova, A.V. Yastremsky, V.S. Korobov // Science. Technique. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2021. – № 4. – P. 113–115.
12. Leonova A.N. Behavior of light steel thin-walled structures at elevated temperatures / A.N. Leonova, A.A. Fedorov, I.A. Mironova // Science. Technique. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2021. – № 4. – P. 116–118.