
Расчет многоциклового усталости рамных узлов

А.К. Аль-Сабаеи

Белгородский государственный технологический университет имени В. Г. Шухова

Аннотация: Одной из основных причин разрушения конструкций является усталость (fatigue), которая обуславливается разрушением при повторяющейся циклической нагрузке.

Вибрационная прочность сварных соединений зависит от высоты катета сварных швов, эквивалентные напряжения по Мизесу и общие перемещения рамных узлов строительных металлоконструкции, испытывающих многоциклового нагружение надежность рамных узлов при их усилении.

Ключевые слова: усиления, рамных узлов, металлические конструкции, многоцикловая усталость, прочность, катет сварного шва.

Введение

Опыт эксплуатации усиленных металлоконструкции показал, что одной из основных причин, приводящих к разрушению узлов, является их многоцикловая усталость, возникающая при повторяющейся циклической нагрузке.

Возникает вопрос о том, что же влияет на величину вибрационной прочности сварных соединений рамных узлов металлоконструкции [1].

Есть два способа решить эту задачу: экспериментальный и расчётный, нами выбран расчётный метод с созданием конечно-элементной модели рамного узла с определёнными граничными условиями.

Методы исследований

Для решения поставленной задачи использовано моделирование, с применением пакета Ansys SOLID186.

Получены результаты в виде:

1. Суммарных перемещений;
2. Эквивалентных напряжений по 4й теории прочности;

3. Количества циклов до разрушения после многоциклового нагружения;
4. Силы реакции в заделке.

Разработана конечно-элементная модель с определёнными граничными условиями.

Созданы 3D-модели элемента Колонна – Балка. Для САД-моделирования использовался пакет Ansys SpaceClaim.

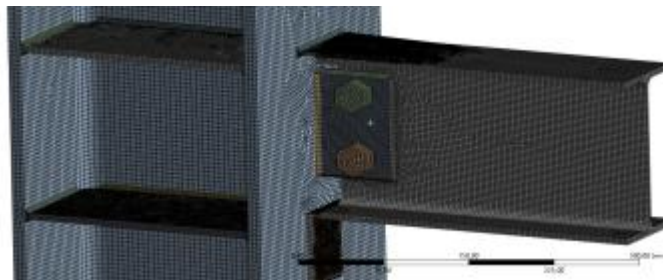


Рис. 1. - Конечно-элементная модель

По геометрическим моделям были созданы конечно-элементные модели, содержащие в себе элементы высокого порядка (срединные узлы). Модели содержат гексаэдральные и тетраэдральные элементы. Размер элемента равен 6 мм.

Были применены следующие величины нагрузок:

Для балок 18x25 - -68646,55 Н.

Направление статической нагрузки и места фиксации отображены на рисунке ниже. На всех балках места граничные условия идентичны, приведем часть из них [2].



Рис. 2. - Граничные условия для балки сечением 18Б1х25К1:

а- усиления с помощью накладки, б- усиления с помощью накладки, уголок и ребро.

Результаты моделирования образцов сечением 18x25

1- усилением с помощью накладки:

а- Размер профиля – 18x25мм, катет сварного шва – 6 мм.

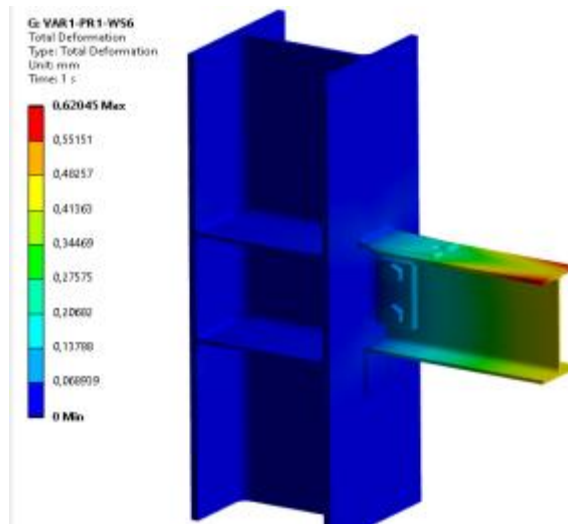


Рис. 3. - Общие перемещения

Общие перемещения балки при статическом нагружении равны 0,62 мм.

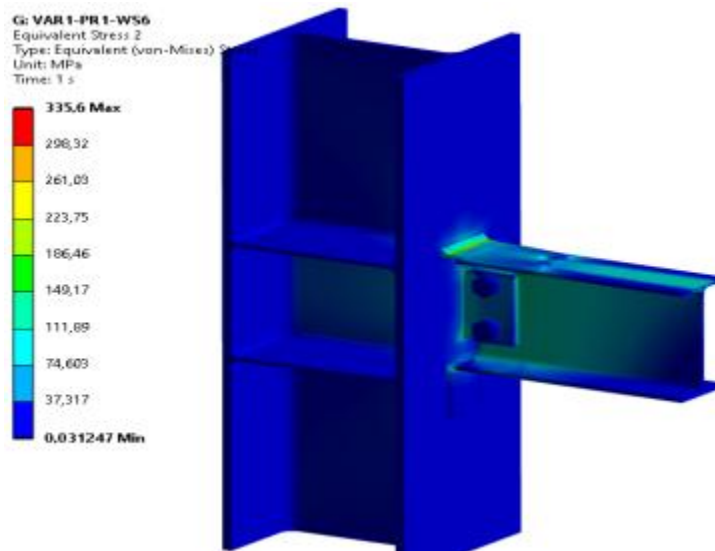


Рис. 4. - Эквивалентные напряжения по Мизесу

Максимальные эквивалентные напряжения балки при статическом нагружении по первому варианту равны 335,6 МПа. Наблюдаются в нижнем уголке усиления.

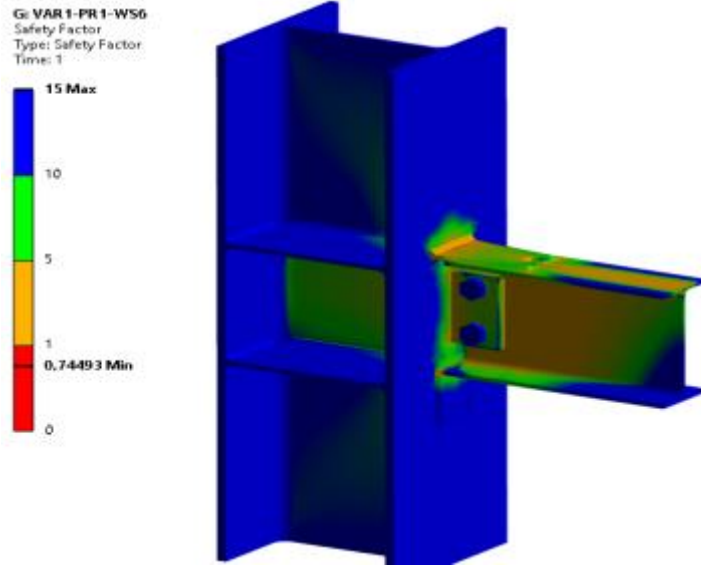


Рис. 5. – Коэффициент запаса прочности

Коэффициент запаса прочности в сварных швах верхней и нижней деталей усиления при заданном пределе текучести материала меньше 1, что означает появление в этих зонах пластических деформаций [3].

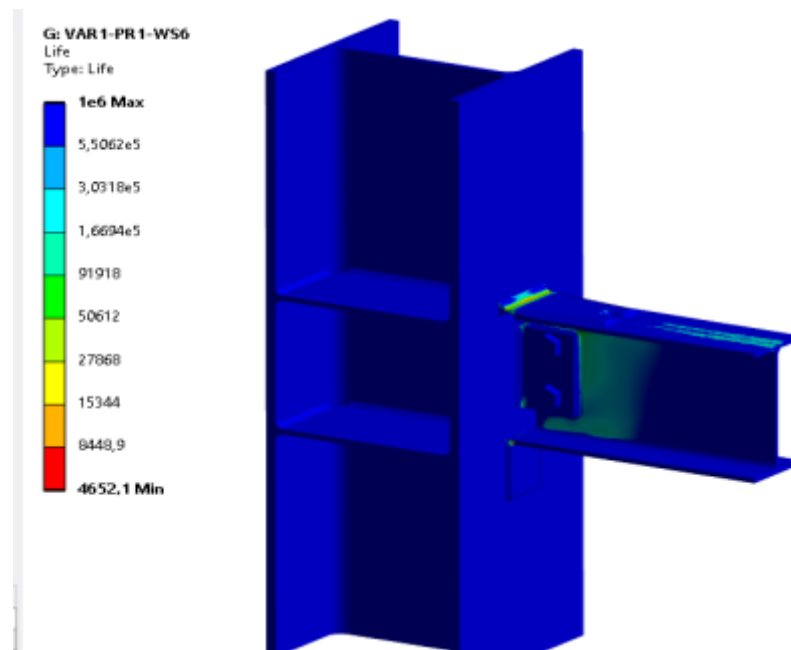


Рис. 6. -Количество циклов до разрушения

Минимальное количество циклов до разрушения при симметричном нагружении балки составляет 4652 циклов. Признаки усталостного разрушения наблюдаются в нижнем и верхнем уголке усиления.

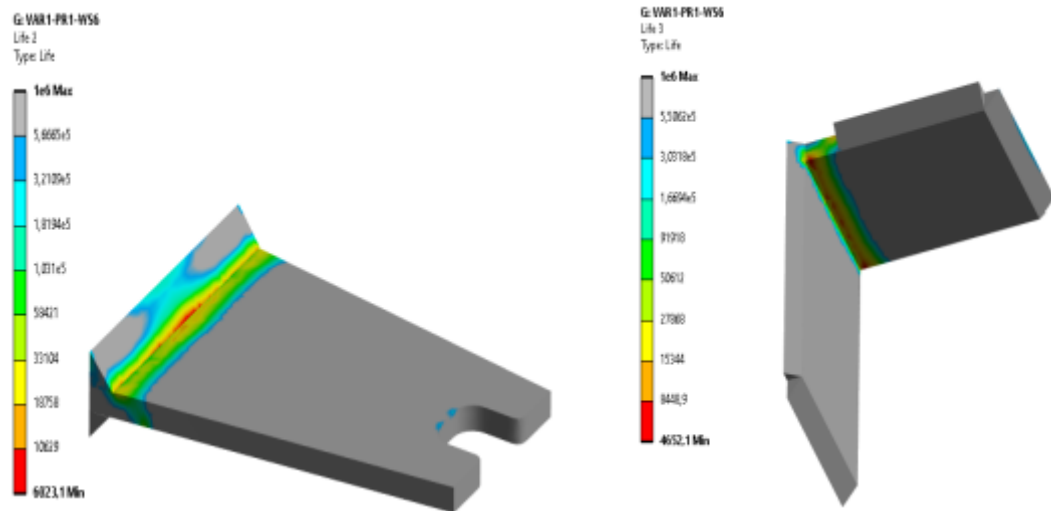


Рис. 7. – Расчетная долговечность в сварных зонах деталей усиления

Таблица № 1

Сила реакции в заделке

Сила реакции, F_x , Н	Сила реакции, F_y , Н	Сила реакции, F_z , Н	Модуль силы реакции, Н
4,137e-005	68647	1,4985e-005	68647

б- Размер профиля – 18x25мм, катет сварного шва – 8 мм.

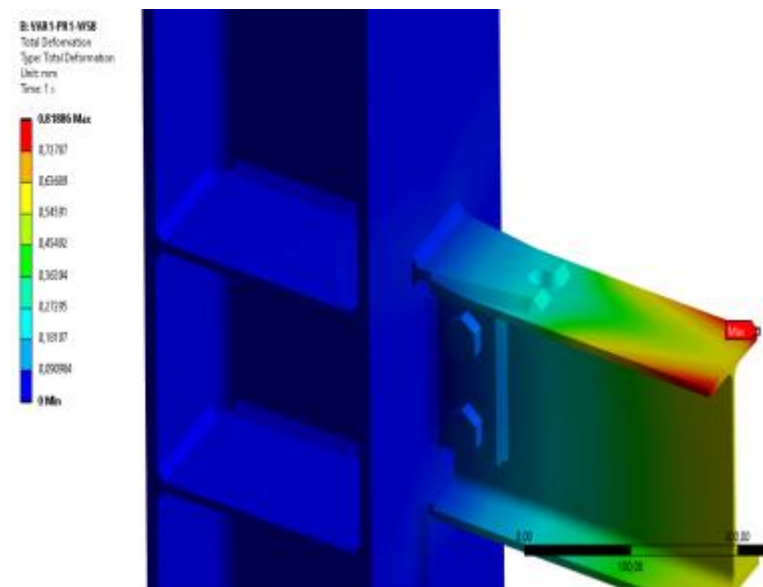


Рис. 8. - Общие перемещения

Общие перемещения балки при статическом нагружении равны 0,82 мм

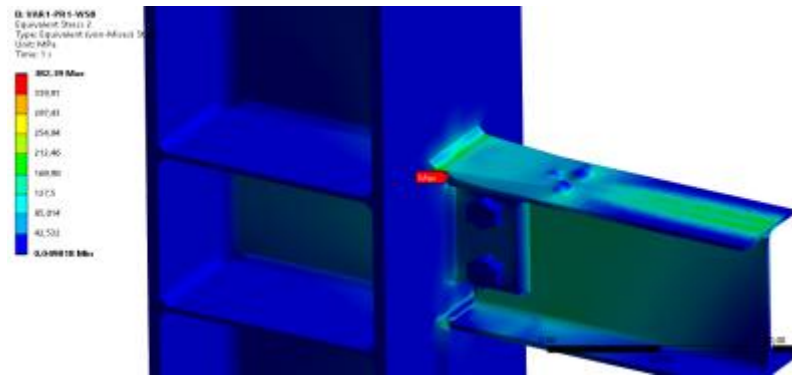


Рис. 9. -Эквивалентные напряжения по Мизесу

Максимальные эквивалентные напряжения балки при статическом нагружении по первому варианту равны 382,39 МПа. Наблюдаются в нижнем уголке усиления.

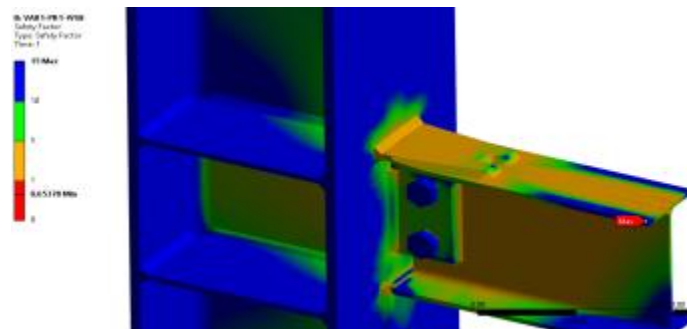


Рис. 10. – Коэффициент запаса прочности

Коэффициент запаса прочности в сварных швах верхней и нижней деталей усиления при заданном пределе текучести материала меньше 1, что означает появление в этих зонах пластических деформаций.

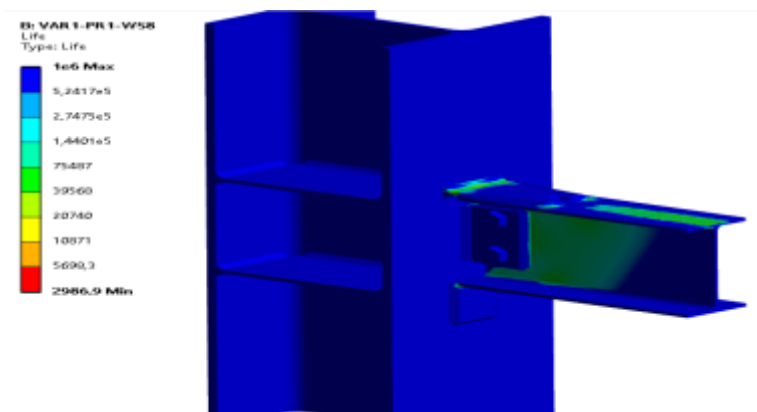


Рис. 11. -Количество циклов до разрушения

Минимальное количество циклов до разрушения при симметричном нагружении балки составляет 2987 циклов. Признаки усталостного разрушения наблюдаются в нижнем и верхнем уголке усиления [4].

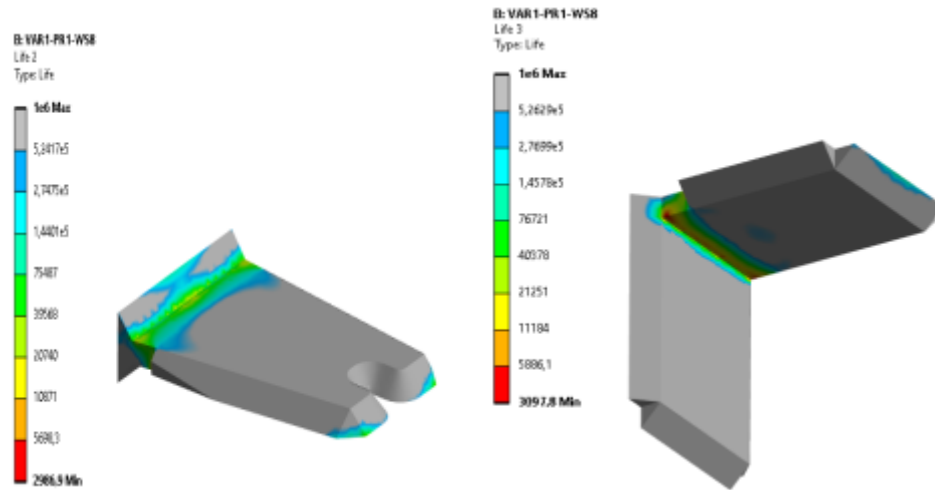


Рис. 12. – Расчетная долговечность в сварных зонах деталей усиления

Таблица № 2

Сила реакции в заделке

Сила реакции, F_x , Н	Сила реакции, F_y , Н	Сила реакции, F_z , Н	Модуль силы реакции, Н
-3,0343e-005	68647	4,3734e-006	68647

2- усиления с помощью накладки, уголок и ребро.

а- Размер профиля – 18x25мм, катет сварного шва – 6 мм.

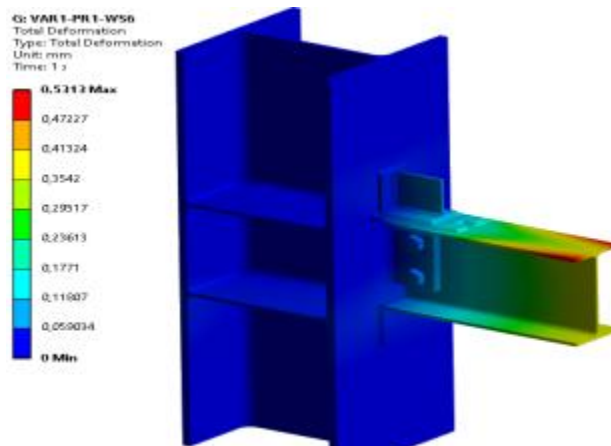


Рис. 13. - Общие перемещения

Общие перемещения балки при статическом нагружении равны 0,53 мм [5,6].

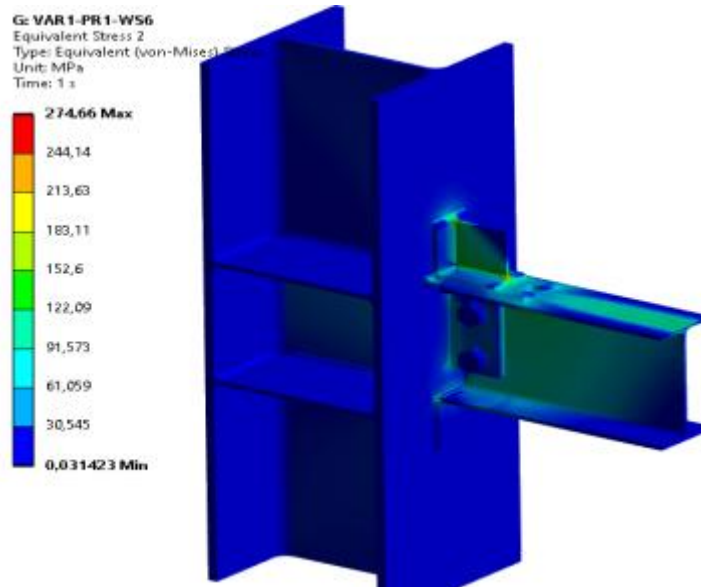


Рис. 14. -Эквивалентные напряжения по Мизесу

Максимальные эквивалентные напряжения балки при статическом нагружении по первому варианту равны 274,66 МПа. Наблюдаются в нижнем уголке усиления.

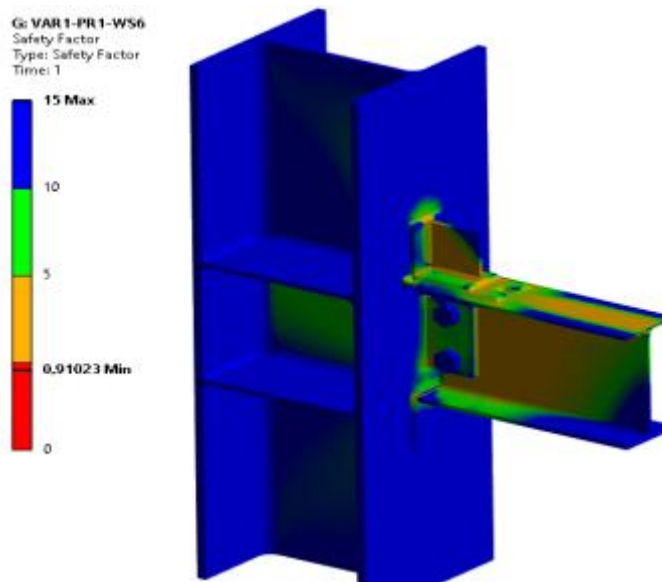


Рис. 15. – Коэффициент запаса прочности

Коэффициент запаса прочности в сварных швах верхней и нижней деталей усиления при заданном пределе текучести материала меньше 1, что означает появление в этих зонах пластических деформаций.

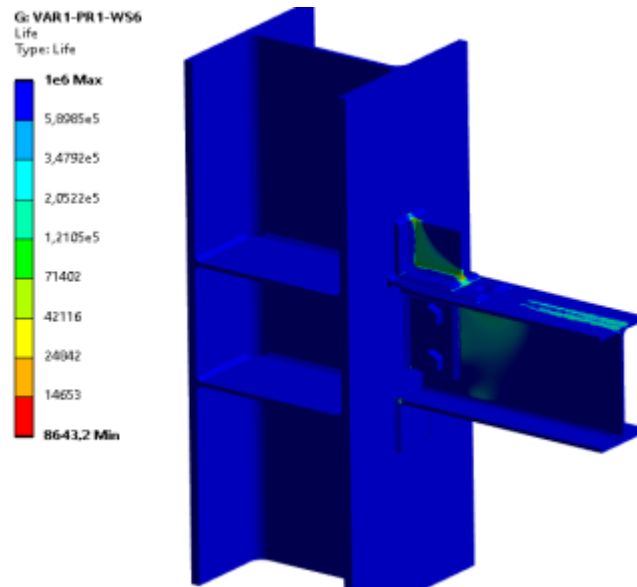


Рис. 16. -Количество циклов до разрушения
 Минимальное количество циклов до разрушения при симметричном нагружении балки составляет 8643 циклов. Признаки усталостного разрушения наблюдаются в верхнем и нижнем уголке усиления.

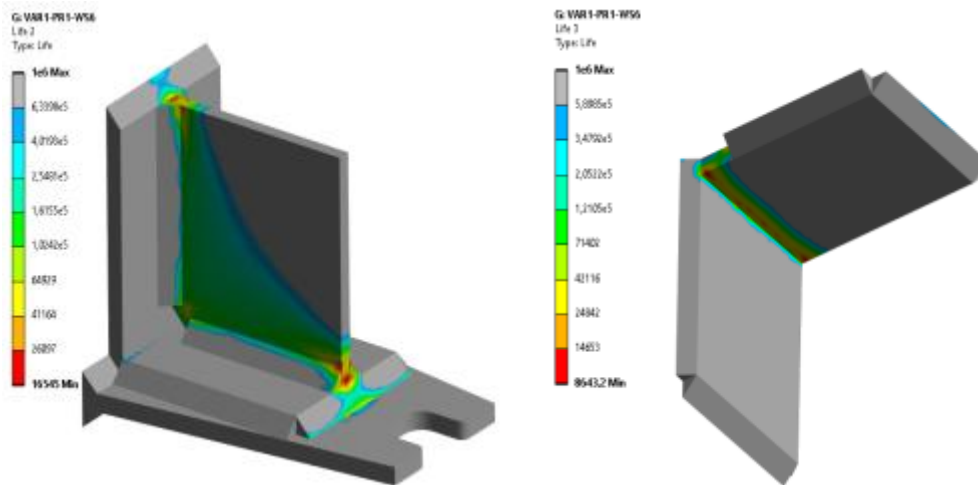


Рис. 17. – Расчетная долговечность в сварных зонах деталей усиления

Таблица № 3

Сила реакции в заделке

Сила реакции, Fx, Н	Сила реакции, Fy, Н	Сила реакции, Fz, Н	Модуль силы реакции, Н
-1,3091e-005	68647	2,7725e-005	68647

б- Размер профиля – 18x25мм, катет сварного шва – 8 мм.

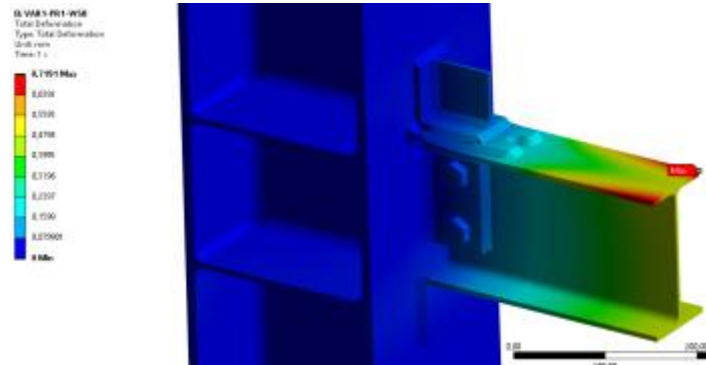


Рис. 18. - Общие перемещения

Общие перемещения балки при статическом нагружении равны 0,72 мм.

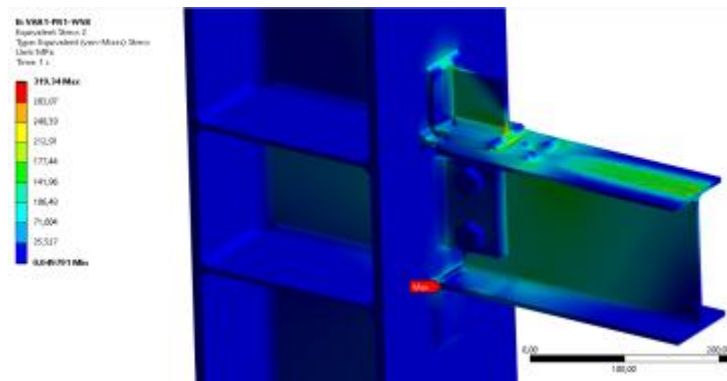


Рис. 19. -Эквивалентные напряжения по Мизесу

Максимальные эквивалентные напряжения балки при статическом нагружении по первому варианту равны 319,34 МПа. Наблюдаются в нижнем уголке усиления.

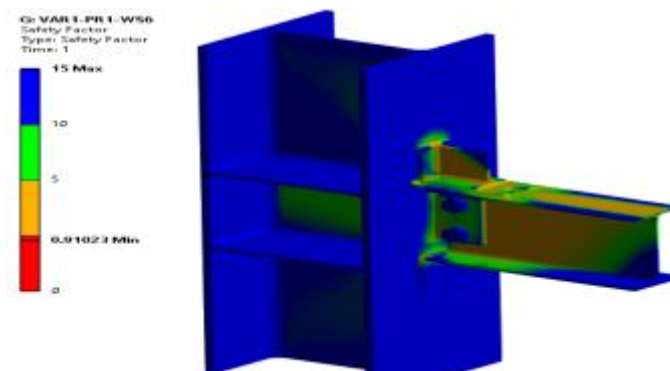


Рис. 20. – Коэффициент запаса прочности

Коэффициент запаса прочности в сварных швах верхней и нижней деталей усиления при заданном пределе текучести материала меньше 1, что означает появление в этих зонах пластических деформаций.

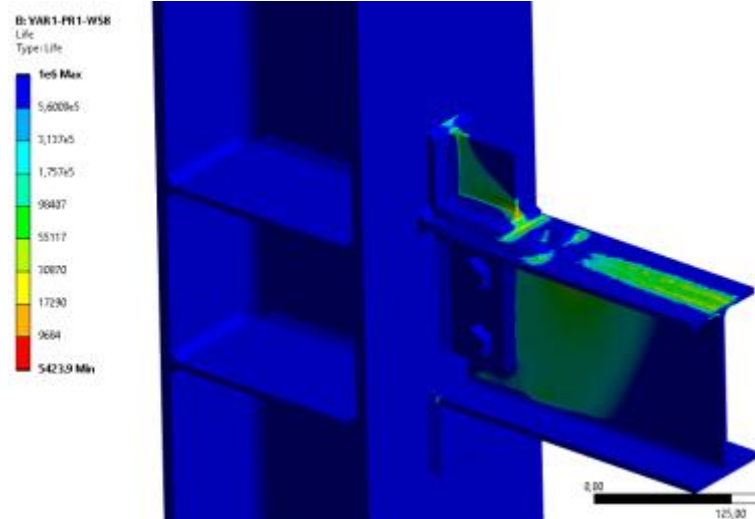


Рис. 21. -Количество циклов до разрушения

Минимальное количество циклов до разрушения при симметричном нагружении балки составляет 5424 циклов. Признаки усталостного разрушения наблюдаются в верхнем и нижнем уголке усиления.

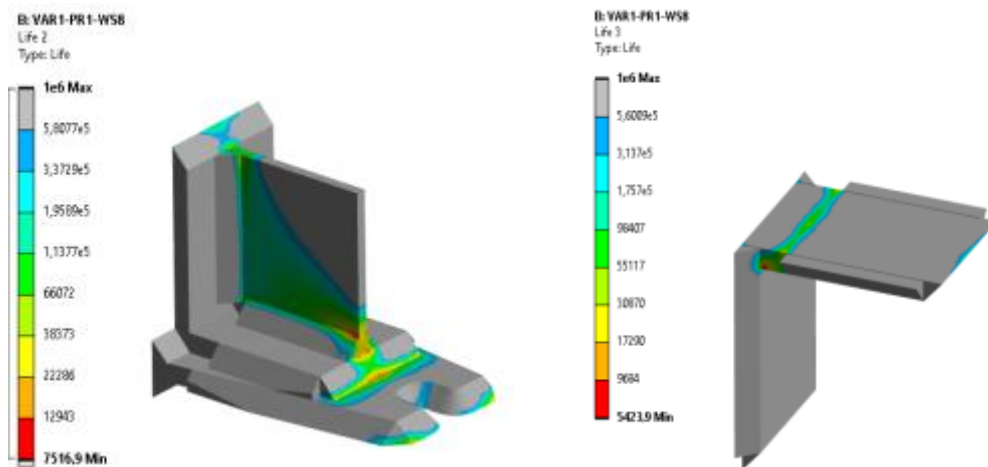


Рис. 22. – Расчетная долговечность в сварных зонах деталей усиления

Таблица № 4

Сила реакции в заделке

Сила реакции, F_x , Н	Сила реакции, F_y , Н	Сила реакции, F_z , Н	Модуль силы реакции, Н
2,8821e-005	68647	3,4502e-005	68647

Обсуждение

На основании анализа полученных результатов, можно прийти к следующему выводу: модели образцов с малыми катетами сварных швов выдержали большее количество циклов до разрушения, что позволяет предположить значительное влияние на вибрационную прочность рамных узлов от остаточных сварочных напряжений [7,8].

Аналогичное заключение можно сделать и по анализу величин общих перемещений, эквивалентных напряжений по Мизесу и количеству циклов до разрушения [9,10].

Таблица № 5

Общий анализ результатов моделирования

Вариант сечения	Нагрузк, Н	Катет шва, мм	Количество циклов до разрушения	Общие перемещения, мм	Эквивалентные напряжения по Мизесу, МПа
Усиления с помощью накладки					
18Б1х	68646,55	6	4652	0,62	335,6
25 К1		8	2987	0,82	382,39
Усиления с помощью накладки, уголок и ребро					
18Б1х	68646,55	6	8643	0,53	274,66
25 К1		8	5424	0,72	319,34

Заключение

На основании анализа результатов моделирования выявлено, что надёжность (вибрационная прочность сварных соединений) связана с высотой катета сварных швов, что указывает на влияние остаточных сварочных напряжений на надёжность работы сварных соединений при повторно статических нагружениях.

Количество циклов до разрушения, общие перемещения и эквивалентные напряжения по Мизесу подтверждают данное предположение.

При выборе способов усиления строительных металлоконструкций необходимо использовать для изгибаемых элементов методы, уменьшающие пролет конструкции, а для сжатых – уменьшающие их расчётную длину; способы усиления, ведущие к перераспределению напряжений в элементах строительных металлоконструкций за счет изменения расчётных схем здания; снижение расчетных нагрузок и т.п.

Резюмируя вышеизложенное, можно заметить, что при усилении строительных металлоконструкций методом наращивания сечений, необходимо стремиться к снижению уровня остаточных сварочных напряжений, за счет уменьшения массы наплавленного металла сварных швов.

Литература

1. Форрест П., Усталость металлов. Москва: Машиностроение, 1968 — 354 с.
2. Берендеев Н.Н., Сопротивление усталости. Основы. Учебно-методическое. Н. Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2010 – 65 с.
3. Абсиметов В.Э., Дефекты монтажа, методы устранения надёжность и долговечность строительных конструкций: монография / Белгород: Изд-во БГТУ, 2021. - 222с.
4. Касьянов В.Е., Котесов А.А., Котесова А.А. Аналитическое определение параметров закона Вейбулла для генеральной совокупности конечного объема по выборочным данным прочности стали // Инженерный вестник Дона, 2012, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2012/804.
5. Касьянов В.Е., Щулькин Л.П., Котесова А.А., Котова С.В. / Алгоритм определения параметров прочности, нагруженности и ресурса с помощью аналитического перехода от выборочных данных к данным совокупности//

Инженерный вестник Дона, 2012, №4. часть 2.
URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1236.

6. Belen'kii D.M., Beskopyl'nyi A.N., Vernezi N.L., Chamraev L.G. Determination of the strength of butt welded joints // Welding International. 1997.- №11. p.643-645.

7. Belen'kii D.M., Vernezi N.L., Cherpakov A.V. Changes in the mechanical properties of butt welded joints in elastoplastic deformation//Welding International. 2004.- №18. p.213-215.

8. Горев В.В. Математическое моделирование при расчетах и исследованиях строительных конструкций: Учебное пособие / Высшая школа, 2002. — 206с.

9. Безлюдько Г.А., Мужичкий В.Ф., Попов Б.Е. Магнитный контроль (по коэрцитивной силе) напряженно-деформированного состояния и остаточного ресурса стальных металлоконструкций // Заводская лаборатория. — 1999. - №9. - С.53-57.

10. Погодин Д.А., Уткин В.С. Определение несущей способности металлических конструкций многократным нагружением одной ступенью в контексте мер возможностей // Строительные конструкции - 2000. 4.2. Металлические конструкции. Сб. материалов науч. - практ. конференции молодых ученых / МГСУ. - М., 2000. - С.71-75.

References

1. Forrest P., Uсталost` metallo. Moskva [Metal fatigue. Moscow: Mechanical engineering]: Mashinostroenie, 1968. 354 p.

2. Berendeev N.N., Soprotivlenie ustalosti [Fatigue resistance].Osnovy`. Uchebno-metodicheskoe. N. Novgorod: Nizhegorodskij gosuniversitet, 2010. 65p

3. Absimetov V.E`, Defekty` montazha, metody` ustraneniya nadyozhnost` i dolgovechnost` stroitel`ny`x konstrukcij [Installation defects, methods of

elimination reliability and durability of building structures]: Monografiya Belgorod: BGTU, 2021.222p.

4. Kas`yanov V.E., Kotesov A.A., Kotesova A.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2012, №2. URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2012/804.

5. Kas`yanov V.E., Shhul`kin L.P., Kotesova A.A., Kotova S.V.«Inzhenernyj vestnik Dona, 2012, №4. chast`2. URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/ n4p2y 2012/1236.

6. Belen`kii D.M., Beskopyl`nyi A.N., Vernezi N.L., Chamraev L.G. Determination of the strength of butt welded joints Welding International. 1997. №11. p.643-645.

7. Belen`kii D.M., Vernezi N.L., Cherpakov A.V. Welding International. 2004. №18. pp.213-215.

8. Gorev V.V. Matematicheskoe modelirovanie pri raschetax i issledovaniyax stroitel`ny`x konstrukcij [Mathematical modeling in calculations and studies of building structures]: Uchebnoe posobie. Vy`sshaya shkola, 2002. 206p.

9. Bezlyud`ko G.A., Muzhiczkiy V.F., Popov B.E. Zavodskaya laboratoriya. 1999.№9, pp.53-57.

10. Pogodin D.A., Utkin V.S. Stroitel`ny`e konstrukcii 2000. 4.2. Metallicheskie konstrukcii. MGSU. M., 2000. pp.71-75.

Дата поступления: 7.12.2023

Дата публикации: 3.02.2024