

УДК: 621.22

МЕТОДИКА РАСЧЕТА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА УСТАЛОСТЬ ◆◆◆◆ WELDED CALCULATION PROCEDURE FATIGUE COMPOUNDS

Намазова Гюльнара Иzzатуллаевна
докторант, научный сотрудник,
Азербайджанский государственный
университет нефти и промышленности
Rahimova_mahluqa@mail.ru

Аннотация. Детали машин рассчитываются по методу допускаемых напряжений, элементы строительных конструкций – по методу предельных состояний.

Анализируя эксплуатационную, конструкционную и технологическую нагруженность сварных узлов отдельных оснований, можно заключить, что часть сварных узлов отдельных оснований воспринимают только сжимающие переменные напряжения и определяющим для них могут явиться обычные расчеты на статическую прочность, другие же сварные узлы находятся в условиях асимметричного переменного растяжения изгиба и кручения.

Ключевые слова: детали машин, напряжения, сварных соединений, гидротехнических сооружениях, усталость, коэффициент, прочность.

Namazova Gulnara Izzatullaевна
Doctoral student, researcher,
Azerbaijani state oil and industry university
Rahimova_mahluqa@mail.ru

Annotation. Machine parts are calculated by the method of permissible stresses, elements of building structures – by the method of limit states.

Analyzing the operational, structural and technological loading of the welded units of individual bases, we can conclude that some of the welded units of individual bases are perceived only by compressive alternating stresses and the usual calculations for static strength can be decisive for them, while other welded units are under conditions of asymmetric alternating bending and torsion.

Keywords: machine parts, stresses, welded joints, hydraulic structures, fatigue, coefficient, strength.

Введение

При расчете деталей машин на прочность и определении несущей способности элементов строительных конструкций проверка сварных соединений на усталость выполняется по номинальным напряжениям и сводится к установлению неравенства $N < R$, где N – расчетное воздействие внешних переменных нагрузок; R – расчетная несущая способность сварного соединения по условиям усталости.

Это общее исходное положение не исключает, однако, различий в методиках расчета соединений на усталость. Принятые в отдельных отраслях машиностроения и строительства методики расчета отличаются не только формой, но и подходами к установлению N и R в части использования вероятностных аспектов их оценки, а также учета нестационарности нагружения, влияния асимметрии цикла, остаточной напряженности, стадийности развития усталостных трещин и т.д. Дополнительные отличия связаны с особенностями расчетных методов, установившихся в машиностроении, нефтяной промышленности и при строительстве морских гидротехнических сооружениях. Детали машин рассчитываются по методу допускаемых напряжений, элементы строительных конструкций – по методу предельных состояний.

Для деталей машин типичным является метод расчета, рекомендуемый нормами проектирования и изготовления локомотивных тележек. Расчет производится исходя из условий работы сварных рам тележек без усталостных повреждений в течение всего срока службы локомотива (20–30 лет). Выносливость конструкции оценивается величиной запаса прочности:

$$n = \frac{\sigma_{-1}}{k\sigma_v + \psi\sigma_m} \geq 2,0, \quad (1)$$

где n – запас прочности; σ_{-1} – предел выносливости стандартного образца при симметричном цикле; σ_m – среднее напряжение цикла; σ_v – амплитуда напряжения цикла;

$$n = \frac{\sigma_{-1}}{k\sigma_v + \psi\sigma_m} \geq 2,0 \quad \text{— коэффициент, учитывающий влияние асимметрии цикла;}$$

k – эффективный коэффициент, учитывающий пониженную сопротивляемость детали усталостному разрушению.

Амплитуда σ_v , устанавливается по результатам обработки осциллографических записей действующих в раме переменных напряжений. Расчетная величина σ_v , находится либо путем выборки максимальных размахов, либо в результате статистической обработки осциллограмм по методу размахов. В последнем случае расчетная величина амплитуды принимается равной:

$$\sigma_v = \bar{\sigma}_v + 3S_v, \quad (2)$$

где $\bar{\sigma}_v$ – статистическая средняя величина амплитуда; S_v – среднее квадратичное отклонение амплитуды.

Эффективный коэффициент K рекомендуется устанавливать на основании стендовых испытаний или же путем оценки степени влияния отдельных факторов, ее определяющих:

$$K = \beta_k \frac{k_1 k_2}{\gamma \cdot m} \eta, \quad (3)$$

где β_k – эффективный коэффициент концентрации напряжений; k_1 – коэффициент, учитывающий неоднородность материала; k_2 – коэффициент, учитывающий внутренние напряжения в материале детали; m – коэффициент, учитывающий состояние поверхности детали; γ – коэффициент, учитывающий влияние масштабного фактора; η – эффективный коэффициент, учитывающий влияние возможного отклонения от установленной технологии.

Для ориентировочного выбора коэффициента K и оценки использования сварных соединений допускается определять его величину исходя из приводимых в справочной литературе эффективных коэффициентов концентрации напряжений K_σ , используя при этом следующую зависимость:

$$K = \frac{K_\sigma}{\xi}, \quad (4)$$

где ξ – коэффициент пропорциональности, для основных балок рамы, его принимают равным 0,5–0,6.

Рекомендуемая методика согласуется с общими формой расчетов на усталость деталей машин [1–2]. Вместе с тем очевидно, что для расчета сварных соединений с высокими остаточными напряжениями она требует некоторых уточнений.

Формула (1) для подсчета коэффициента запаса прочности получена исходя из схематизированной диаграммы σ_m , σ_{max} (рис. 1) в предположении постоянства отношения: $K = \frac{K_\sigma}{\xi}$ без учета влияния остаточных напряжений.

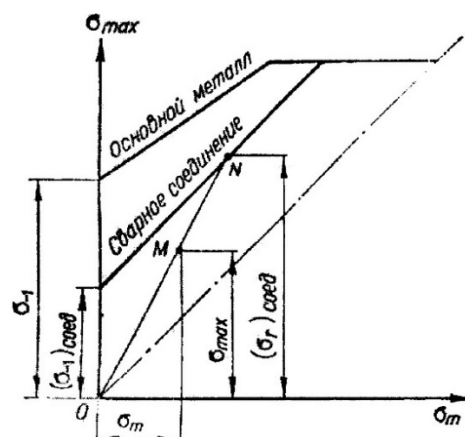


Рисунок 1 – Схема к определению запасов прочности сварного соединения с высокими остаточными напряжениями: штрихами обозначены текущие координаты

Когда в районе сварного соединения действуют значительные остаточные напряжения, более обосновано исходить из того, что величина $(\sigma_a)_{\text{соед}}$ постоянна. В этом случае уравнение линии предельных напряжений сварного соединения принимает вид:

$$K = \frac{K_\sigma}{\xi}, \quad (5)$$

где $(\sigma_a)_{\text{соед}}$ – предел выносливости сварного соединения при асимметричном цикле; σ_m – среднее напряжение цикла; K_σ – эффективный коэффициент концентрации напряжений, штрихами обозначены текущие координаты.

Если заданное напряженное состояние выражается точкой M с координатами $\sigma_m, \sigma_{\text{max}}$ то предельное напряжение сварного соединения при простом нагружении, а также искомый запас прочности n наиболее просто определяется путем совместного решения уравнений для линии предельных напряжений и луча ON . Поскольку уравнение для ON имеет вид:

$$\sigma'_m = \frac{\sigma_{\text{max}}}{\sigma_m} \sigma'_m \quad (6)$$

и для точки N :

$$\sigma'_m = (\sigma'_r)_{\text{соед}} = (\sigma_r)_{\text{соед}}, \quad (7)$$

совместное решение уравнений (4) и (5) дает:

$$(\sigma_r)_{\text{соед}} = \frac{(\sigma_r)_{\text{соед}} \sigma_m}{\sigma_{\text{max}}} + \frac{\sigma_{-1}}{K_\sigma}. \quad (8)$$

Отсюда:

$$(\sigma_r)_{\text{соед}} = \frac{\sigma_{\text{max}} \sigma_{-1}}{K_\sigma (\sigma_{\text{max}} - \sigma_m)} = \frac{\sigma_{-1} \sigma_{\text{max}}}{K_\sigma \sigma_v}. \quad (9)$$

Запас прочности определится:

$$n = \frac{(\sigma_r)_{\text{соед}}}{\sigma_{\text{max}}} = \frac{\sigma_{-1}}{K_\sigma \sigma_v}. \quad (10)$$

Как известно, металлоконструкции морских гидротехнических сооружений находятся в сложном напряженном состоянии в зависимости от разнообразных силовых воздействий, а именно от:

- напряжения в сварных узлах конструкции от собственного веса элементов металлоконструкции;
- напряжения в сварных узлах конструкции от веса расположенного на отдельных основаниях нефтяного оборудования;
- технологические напряжения, возникающие при сборке и монтаже основания;
- технологические напряжения, возникающие при работе машин;
- напряжения, возникающие от ветрового и волнового давления;
- напряжения, возникающие от изменения температуры окружающей среды.

При этом необходимо отметить, что некоторые из указанных усилий как, например, собственные веса отдельных элементов металлоконструкции и расположенных на основаниях машин и механизмов, а также технологические напряжения, возникающие при сборке и монтаже оснований, можно отнести к постоянным напряжениям.

Напряжения же, возникающие от специфических особенностей эксплуатационного оборудования, сил, инерции, ветрового и волнового давления, а также от изменения температуры окружающей среды, можно отнести к напряжениям, переменным во времени.

Анализируя эксплуатационную, конструкционную и технологическую нагруженность сварных узлов отдельных оснований, можно заключить, что часть сварных узлов

отдельных оснований воспринимают только сжимающие переменные напряжения и определяющим для них могут явиться обычные расчеты на статическую прочность, другие же сварные узлы находятся в условиях асимметричного переменного растяжения изгиба и кручения.

Как известно, аналитическое выражение предела выносливости при асимметричных циклах нагружения имеет вид [3–6]:

$$\sigma_{\max} = \sigma_{-1} + (1 - \psi)\sigma_m, \quad (11)$$

где ψ – коэффициент чувствительности к асимметрии цикла; σ_m , σ_{\max} – максимальное и среднее напряжения цикла.

Коэффициент ψ определяется по формуле:

$$\psi = 2\sigma_{-1} - \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_0}, \quad (12)$$

где σ_0 – предел выносливости при пульсирующем цикле напряжения; σ_{-1} – предел выносливости при симметричном цикле нагружения.

Амплитуда асимметричного цикла нагружения:

$$\sigma_a = \sigma_{\max} - \sigma_m = \sigma_{-1} - \psi\sigma_m. \quad (13)$$

Вводя коэффициент корреляции $\beta_{\text{Корр}}$, учитывающий влияние коррозии и относя его к переменной составляющей цикла, то есть к амплитуде переменных напряжений, можно записать:

$$\sigma_r = \sigma_{\max} = \frac{\beta_{\text{Корр}}}{\sigma_a} + \sigma_m = (\sigma_{-1} - \psi\sigma_{\max})\beta_{\text{Корр}} + \sigma_m. \quad (14)$$

При наличии в сварных узлах растягивающих напряжений σ_{\max} из соотношения:

$$\text{tg}\beta = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_m} = 2 \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}} = \frac{2}{1 + R} \quad (15)$$

и с учетом:

$$\sigma_m = 1 + \frac{R}{2\sigma_r}, \quad (16)$$

выражение для определения предела выносливости примет вид:

$$\sigma_r = \frac{2\beta_{\text{Корр}}\sigma_{-1}}{\psi\beta_{\text{Корр}}(1 - R) - (1 - R)}, \quad (17)$$

где R – коэффициент асимметрии цикла.

Введя коэффициент безопасности S , величину допускаемого напряжения можно определить по формуле:

$$[\sigma_r] = \frac{2\beta_{\text{Корр}}\sigma_{-1}}{[\psi\beta_{\text{Корр}}(1 + R) + (1 - R)] \cdot S}.$$

Литература

1. Кәримов З.Н. Маşın hissәləri və yükqaldırıcı nәqlәdici maşınlar. – Bakı : «Maarif», 1985. – S. 416.
2. Вишняков Я.Д., Пискарев В.Д. Управление остаточными напряжениями в металлах и сплавах. – М. : Металлургия, 1989. – 254 с.
3. Винокуров В.А., Григорьянц А.Г. Теория сварочных деформаций и напряжений. – М. : Машиностроение, 1984. – 284 с.

4. Партон В.З., Перлин П.И. Методы математической теории упругости. – М. : Наука. 1981. – 688 с.
5. Кудрявцев И.В., Наумченков Н.Е. Усталость сварных конструкций. – М. : Машиностроение, 1976. – 270 с.
6. Николаев Г.А., Куркин С.А., Винокуров В.А. Расчет, проектирование и изготовление сварных конструкций. – М. : Машиностроение, 1971. – 316 с.

References

1. Kərimov Z.H. Maşın hissələri və yükqaldırıcı nəqliəici maşınlar. – Bakı : «Maarif», 1985. – S. 416.
2. Vishnyakov Ya.D., Piskarev V.D. Management of residual stresses in metals and alloys. – M. : Metallurgy, 1989. – 254 p.
3. Vinokurov V.A., Grigoryants A.G. Theory of the welding deformations and stresses. – M. : Ma-engineering, 1984. – 284 p.
4. Parton V.Z., Perlin P.I. Methods of Mathematical Theory of Elasticity. – M. : Science, 1981. – 688 p.
5. Kudriavtsev I.V., Naumchenkov N.E. Fatigue of Welded Structures. – M. : Mechanical Engineering, 1976. – 270 p.
6. Nikolaev G.A., Kurkin S.A., Vinokurov V.A. Calculation, design and manufacture of welded structures. – M. : Mashinostroenie, 1971. – 316 p.