

ОПТИМАЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ СТАЛИ СВАРНЫХ ДВУТАВРОВЫХ БАЛОК

А.И. Голоднов, д.т.н., И.Н. Фомина, инж., Л.Н. Филатова, инж.

Общество с ограниченной ответственностью «Украинский институт стальных конструкций им. В.Н. Шимановского»

ул. В. Шимановского, 2/1, г. Киев, Украина

E-mail: golodnow@ukr.net

Методика проектирования сварных двутавровых балок была предложена Н.С. Стрелецким. Методика оперировала понятиями оптимальной и минимальной высоты сечения и не давала однозначного, минимизированного по массе, результата [1].

Понятие оптимальной высоты составного двутаврового сечения балки, зависящей от соотношения параметров стенки h_w/t_w , было предложено В.М. Вахуркиным [2]. Такой подход сохранился в неизменном виде практически до сих пор. Во всех «классических» учебниках по металлическим конструкциям утверждается, что реальная высота сечения составной балки должна быть $h_{\min} \leq h \leq h_{\text{opt}}$. Действительно, решением двумерной задачи при фиксированной прочности стали, является минимум функции площади расчётного сечения в виде производной $dA/dh = 0$. Это и было решением В.М. Вахуркина [2].

Функция массы при фиксированной прочности стали представляет собой плоскую кривую, на которой отыскивается точка минимума. Считается, что каждой величине прочности стали соответствует своя повторяющаяся плоская кривая функции массы, которая имеет свой минимум по В.М. Вахуркину [2]. Это кажется очевидным и признается всеми.

Понятие оптимальной высоты составного расчётного двутаврового сечения получено в двумерном представлении графика изменения функции массы, в котором по вертикали откладывается площадь, а по горизонтали высота сечения.

Очевидно, что основным и наиболее эффективным способом снижения металлоёмкости составных сечений сварных балок является использование стали максимальной прочности при условии удовлетворения деформационным ограничениям (снижение общей деформативности, как известно, может быть достигнуто за счет выгиба или предварительного напряжения). Оптимальной же прочностью стали для составных балок постоянного сечения с заданными параметрами загрузки и деформационными ограничениями является единственное значение расчётного сопротивления, отвечающее глобальному минимуму функции массы. В точке глобального минимума обеспечено удовлетворение трёх предельных состояний: прочности, общей и местной устойчивости, деформативности, осуществляемое одновременно и в верхних пределах.

Выражение для оптимальной прочности стали всегда может быть получено как для отдельных загрузений, так и для их расчётных комбинаций, вне зависимости от применяемого критерия оптимизации расчётного сопротивления.

Таким образом, необходимая оптимизация составных сечений сварных двутавровых балок по прочности является наиболее эффективным резервом снижения металлоёмкости. В то же время, очевидно, что вопрос оптимизации двутавровых сечений сварных балок по прочности стали строгого решения не имеет.

Известно, что уравнение упругой линии для балок с любыми параметрами загрузки, получается интегрированием дифференциального уравнения изгиба и потому всегда дифференцируемо.

При проектировании балок важно уметь получать выражения, с помощью которых определяется оптимальная прочность стали как для отдельных загрузений, так и для их расчётных комбинаций.

Для балок постоянного сечения формула для определения оптимальной прочности стали получается из выражения, которое обеспечивает требуемую площадь расчётного сечения. Сюда подставляется выражение для высоты сечения стенки $h = h_{\min}$, принимаемое для конкретных параметров загрузки, и выражение для максимального изгибающего момента M , действующего в расчётном сечении. Выражения отвечают конкретной схеме загрузки или их расчётным комбинациям. После подстановки берётся производная от функции площади расчётного сечения по прочности и приравнивается к нулю, откуда получают выражения для оптимальной прочности стали для конкретного загрузки или для расчётной комбинации нагрузок, используя принцип наложения.

Таким образом, предлагаемый подход дополняет решение В.М. Вахуркина понятием глобального минимума площади расчётного сечения.

Определив оптимальную прочность и назначив соответствующую марку стали для конструкции, компоуется сечение балки с оптимальными габаритами, получая эффективное сечение сварной балки минимальной массы, отвечающее глобальному минимуму функции массы. Компоновка сечения выполняется с учетом ограничений и зависимостей, приведенных в подразделе 1.5.5 [3].

Были подвергнуты анализу соотношения толщины поясов и стенки сечений сварных балок, проектируемых однозначно с максимальными габаритами. Было установлено, что во всех без исключения случаях соотношения толщины стенки и поясов, которые имели минимальную толщину и гибкость, приближающуюся к заданной (предельной), всегда находятся в пределах свариваемости автоматической сваркой. То обстоятельство, что расчётное сечение образовано листами минимальной толщины, позволяет обходиться без разделки кромок под сварку. Минимальная толщина листов допускает в большинстве случаев

использовать плазменную резку и избежать острожки кромок. Это ускоряет процесс изготовления балок, снижая его трудоёмкость, энергоёмкость и себестоимость. В конечном счёте, это позволяет назначать и привлекательные цены для продукции.

Последующие вычисления с целью подбора сечений выполняются с помощью коэффициента компоновки сечений и ограничений [3, 4]. Применение критерия оптимальной прочности стали позволяет проектировать как обычные, так и предварительно напряженные балки. Влияние остаточных напряжений, обусловленных сваркой поясных швов и собственно предварительным напряжением, может быть учтено с помощью предложений, изложенных в монографии [4].

Таким образом, сформулировано понятие глобального минимума функции массы сварных балок постоянного сечения и показана методика вывода формул, определяющих оптимальную прочность стали для отдельных загружений и их расчётных комбинаций. Эти предложения не противоречат традиционным представлениям, дополняют их в части введения новых понятий и позволяют выполнить оптимизацию параметров сечений.

ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Набоков И. И. Расчёт и особенности конструирования стволос двутавровых балок составного сечения с максимальными габаритами, осуществляемый в окрестности глобального минимума функции массы / И. И. Набоков, Е. П. Лукьяненко // Современ. проблемы стр-ва: Ежегод. науч.-техн. сб. / Донецкий ПромстройНИИпроект. – Донецк: ООО «Лебедь», 2001. – С. 80–86.
2. Вахуркин В. М. Наивыгоднейшая форма двутавровых балок / В. М. Вахуркин // Бюллетень строительной техники. – 1949. – № 21. – С.3–8.
3. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу : ДБН В.2.6-163:2010. – Офіц. вид. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 202 с. – (Конструкції будівель і споруд. Державні будівельні норми України)
4. Голоднов А. И. Регулирование остаточных напряжений в сварных двутавровых колоннах и балках / А. И. Голоднов. – К. : Вид-во «Сталь», 2008. – 150 с.