

Михайленко Т. Г., канд. ист. наук, доц.,
Юго-Западный государственный университет
Логачев К. И., д-р техн. наук, проф.,
Редькин Г. М., д-р техн. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

О НАПРЯЖЁННОМ СОСТОЯНИИ ПРОКАТНЫХ ШИРОКОПОЛОЧНЫХ И СВАРНЫХ ДВУТАВРОВ ДО И ПОСЛЕ ПРИВАРКИ К НИМ РЁБЕР ЖЁСТКОСТИ

mihailenko62@mail.ru

Уровень остаточных напряжений в прокатных широкополочных двутаврах, применяемых в различных строительных конструкциях, весьма велик. Поэтому приварка к ним дополнительных рёбер жёсткости вызывает опасения из-за суммирования значения остаточных напряжений от прокатки и сварки. Расчётом установлено, что при этом в стенке прокатного двутавра может быть превышен предел текучести на сжатие. Для сварных двутавров приварка рёбер жёсткости не опасна, так как уровень напряжений изготовления (сжатия) в стенке невелик.

Ключевые слова: прокатные широкополочные двутавры, сварные двутавры, рёбра жёсткости, остаточные напряжения.

Прокатные широкополочные двутавры достаточно распространены в строительстве. Они могут применяться как балки (в строительстве и мостостроении), в качестве колонн. Из тавров, полученных роспуском широкополочных двутавров, изготавливаются пояса ферм. В практике могут встречаться случаи, когда необходима приварка рёбер жёсткости как к стенке, так и к полкам прокатных широкополочных двутавров. СНиП «Стальные конструкции» [1] не уделяет внимания такому конструктивному решению. Однако в СНиП «Мосты и трубы» в п. 8.143 [2] и п. 4.144. [3] говорится о том, что при применении сложных прокатных профилей (швеллеров, тавров и двутавров, в том числе с параллельными гранями полок) устройство с помощью сварки поперечных стыков и прикреплений к узлам не допускается. В продолжении п.4.144 более ранней редакции СНиП записано то, что в конструкциях мостов допускается применение приварки узловых фасонок и фасонок связей к стенке профилей с осуществлением мероприятий по снижению концентрации напряжений у концов фасонок, а также приварки ребер жесткости — только к стенке двутавров и тавров. Этого продолжения не имеется в актуализированной редакции СНиП «Мосты и трубы». Вообще существует мнение, что при применении прокатных профилей желательно не применять к ним дополнительных технологических операций, в частности сварку, из-за большого уровня остаточных напряжений от прокатки. В сварных двутаврах также очень высок уровень остаточных напряжений. Однако к ним не опасаются приваривать любые рёбра жёсткости — и продольные, и поперечные, о чём говорится, например, в пп. 8.134,8.135,8.136 [2]. Рассмотрим и сравним поля остаточных напряжений в

прокатных двутаврах и в сварных с размерами, аналогичными прокатным [4].

Образование полей остаточных напряжений в прокатных балках обусловлено технологией их изготовления, включающей в себя три основных этапа: прокатка, охлаждение, правка. Разность температур по сечению двутавра после прокатки и в процессе охлаждения является одним из основных факторов, определяющих величину остаточных напряжений и деформаций профиля. Отсюда следует, что задача определения остаточных напряжений в горячекатаных профилях сводится к решению задачи термоупругопластичности для момента времени, соответствующему полному охлаждению двутавра. Решение этой задачи изложено в [5].

Интенсивность охлаждения двутавров после прокатки зависит от их расположения на холодильниках стана. При горизонтальном расположении стенки профиля охлаждаются более интенсивно, чем полки. При вертикальном расположении двутавров на холодильнике прокатного стана происходит взаимный обогрев стенок, и скорость их охлаждения уменьшается, что способствует уменьшению величины остаточных напряжений.

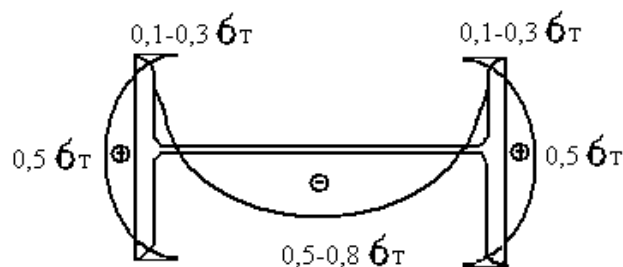


Рис. 1. Вид эпюры остаточных напряжений в прокатном двутавре, охлаждённом с горизонтальной стенкой

Эпюра остаточных напряжений на рис.1 демонстрирует продольные остаточные напряжения. Исследованию поперечных напряжений почти не уделяется внимание [5, 6]., т.к. они на порядок меньше продольных.

Вид эпюр продольных остаточных напряжений в прокатных двутаврах отечественного сортамента однотипен, а именно: центр стенки сжат, центр полки растянут. В переходной области от стенки к полке существуют напряжения растяжения. Очертания эпюр плавные, в них не наблюдается скачков напряжений. По абсолютным значениям остаточные напряжения в среднем равны $0,5\sigma_t$, но иногда могут приблизиться к пределу текучести и достигать 80% его значения. Данные по остаточным напряжениям в прокатных двутаврах приведены в табл.1.

Таблица 1.

Остаточные напряжения в прокатных двутаврах [6].

Профиль	Остаточные напряжения, МПа			
	В центре стенки «-»		В центре полки «+»	
	расчёт	эксперимент	расчёт	эксперимент
20Б1	-	-100	-	90
30Б1	-190	-223	183	112
60Б1	-239	-300	186	193
70Б1	-192	-187	187	128
100Б1	-221	-196	173	151

Для того, чтобы получить данные по остаточным напряжениям в сварных балках с размерами, аналогичными прокатным, сварные балки были рассчитаны [4] графоаналитическим методом МКМ (металлические конструкции МИСИ), разработанным проф. В.С.Игнатъевой [7].

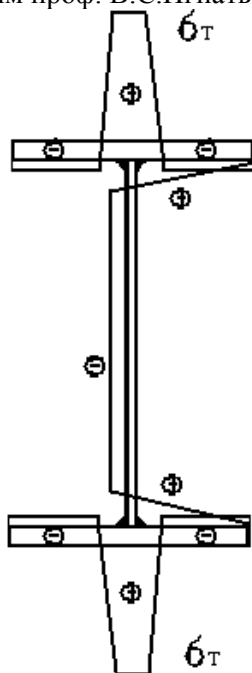


Рис. 2. Вид эпюры остаточных напряжений в сварном двутавре

Распределение остаточных напряжений от сварки по сечению балки очень неравномерно (см. рис.2). В тех местах, где проходит сварной шов и рядом с ним (в центре полки и в месте соединения полки со стенкой) остаточные напряжения от сварки достигают предела текучести (знак напряжений «+» - растяжение), а на концах полок и в стенке сжимающие напряжения меньше предела текучести в 3-6 раз. Вблизи от шва остаточные напряжения меняют свой знак почти скачкообразно. Данные по остаточным напряжениям в сварных двутаврах приведены в табл.1.

Таблица 2.

Остаточные напряжения в сварных двутаврах с размерами, аналогичными прокатным [4].

Профиль	Остаточные напряжения, МПа	
	В центре стенки «-»	В центре полки «+»
198x100x5,2 /7,6 (20Б1)	-116,1	315
298x140x5,8 / 8,5 (30Б1)	-77	315
594x230x10 / 15,4 (60Б1)	-58,8	315
694x260x11,5 /15,5 (70Б1)	-50,4	315
990x320x15,5 /21 (100Б1)	-48,1	315

Если рассматривать такие области профиля, как часть стенки ближе к центру, середина полки, края полок и переходную область от стенки к полке, то видно, что знак остаточных напряжений и в прокатных, и в сварных балках один и тот же, а именно «+» - в центре полки и в переходной области (растяжение), «-» - на краю полки и в середине стенки (сжатие). Если же сравнивать эпюры в целом, то очертания эпюр остаточных напряжений в прокатных балках более плавные. В сварных балках там, где прошёл сварной шов и рядом напряжения достигают предела текучести, в прокатных этого не наблюдается. Зато в прокатных балках сжимающие напряжения в стенке и на концах полок больше по абсолютной величине.

Остаточные напряжения от сварки образуются в металле, нагретом выше изотермы пластичности 600°C. Образование остаточных напряжений происходит в момент остывания шва до 600°C. Таким образом, если приваривать рёбра жёсткости к сварным или прокатным двутаврам, то в месте приварки исходное поле остаточных напряжений снимается, и его можно не учитывать. Однако жёсткость контура конструкции балки способствует образованию дополнительных деформаций и напряжений.

Учесть влияние жёсткости полков на стенку и наоборот, жёсткости стенки на полку можно упрощённым способом [8]. Так как ширина развития области пластических деформаций невелика, то решением данной задачи можно получить напряжения в стенке почти по всему отсеку балки между рёбрами жёсткости. Для этого достаточно знать тепловую нагрузку и геометрические размеры балки. Сокращение размеров отсека балки, ограниченного рёбрами, происходит в соответствии с изменением температуры.

Величину укорочения стенки ε_w , считая её свободной от закреплений, можно определить [9] как

$$\varepsilon_w = \alpha_T \int_{-\infty}^{+\infty} T(y) dy = \alpha_T \frac{Q}{c \cdot \gamma}, \quad (1)$$

где α_T – температурный коэффициент линейного расширения, $T(y)$ – температура нагрева стенки балки, Q – тепловая нагрузка, $c \cdot \gamma$ – удельная объёмная теплоёмкость.

Наличие зоны пластических деформаций, развившихся в момент времени, соответствующий 600°C на оси шва в том месте, где приваривается ребро, увеличивает деформацию (укорочение) примерно на 20%. Тогда укорочение стенки ε_w можно определить как

$$\varepsilon_w = 1,2 \cdot \alpha_T \int_{-\infty}^{+\infty} T(y) dy = 1,2 \cdot \alpha_T \frac{Q}{c \cdot \gamma} \quad (2)$$

Найдём силу N_w , обжимающую стенку

$$N_w = E \cdot \varepsilon_w \cdot A_w \quad (3)$$

где E – модуль упругости, A_w – площадь стенки в пределах шва в месте приварки ребра жёсткости.

Деформации полков от силы N_w

$$\varepsilon_f = \frac{N_w}{2 \cdot A_f \cdot E}, \quad (4)$$

где A_f – площадь полки.

Деформации стенки с учётом разгрузки её полками определяются как

$$\varepsilon_{w1} = \varepsilon_w - \varepsilon_f \quad (5)$$

Напряжения в стенке, возникшие из-за того, что её держала полка

$$\sigma_w = \varepsilon_{w1} \cdot E = (\varepsilon_w - \varepsilon_f) \cdot E \quad (6)$$

Дополнительные напряжения, возникающие в балке из-за жёсткости контура, не слишком велики. Так, для профиля 60Б1 напряжения сжатия стенки равны 47 МПа. Для расчёта были применены следующие исходные данные: предел текучести 315 МПа, длина отсека 80 см, приварка рёбер осуществляется в следующем режиме сварки: сила тока 480 А, напряжение 34 В, скорость процесса 31 м/час. Если суммировать остаточные напряжения в стенке прокатного двутавра из-за приварки к ней ребра жёсткости с

уже имеющимися напряжениями изготовления, то может быть превышен предел текучести на сжатие. Это может вызвать негативные последствия при работе балок из прокатных широкополочных двутавров. В их сжатой области возможно образование трещин. Для сварных двутавров приварка рёбер жёсткости не опасна, так как уровень напряжений изготовления (сжатия) в стенке невелик.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 16.13330.2011 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II -23-81* / Минрегион России. М., 2011. 173 с.
2. СП 35.13330.2011 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84 / Минрегион России. М., 2011. 347 с.
3. СНиП 2.05.03-84 (с изм. 1 1991) Мосты и трубы / Госстрой России. М. 2004. – 213 с.
4. Михайленко Т.Г. Сравнение остаточных напряжений в прокатных балках и в сварных с размерами, аналогичными прокатным. Деп. в ВИНТИ. №2660 В 2001 от 25.12.2001. – 12 с.
5. Поздеев А.А., Няшин Ю.И., Трусов П.В. Остаточные напряжения. Теория и приложения. М. Наука, 1982. – 110 с.
6. Скороходов А.Н., Зудов е.Г., Киричков А.А., Петренко Ю.П. Остаточные напряжения в профилях и способы их снижения. М. Металлургия, 1985. -184 с.
7. Игнатъева В.С., Парлашкевич В.С., Смирнов В.Г. Инженерная методика расчёта остаточных деформаций сварных двутавровых балок и колонн. Сб. трудов Московского инженерно – строительного института. М. 1975. – С.129 – 137.
8. Михайленко Т.Г. Определение напряжений в стенке балки при приварке к ней рёбер с учётом жёсткости полков. Тезисы докладов юбилейной конференции учёных Курского политехнического института. Курск. 1994. – С.155 – 156.
9. Игнатъева В.С., Вершинин В.П., Барышев В.М. Влияние остаточных сварочных напряжений на местную устойчивость стенки балки. Сб. трудов Московского инженерно – строительного института. М. 1985. – С.91-103.