

*к.т.н., доц. Иванов А.П.,  
инженер Командиров А.В.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

## **МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В СВАРНЫХ СОСТАВНЫХ ДВУТАВРАХ ПРИ ПРОДОЛЬНОЙ И ПОПЕРЕЧНОЙ РАЗРЕЗКЕ**

*Наведені результати теоретичних досліджень, отримані результати щодо методичних заходів з виявлення та прогнозування дії внутрішніх залишкових напружень у зварних складених двутаврах.*

### **Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.**

В процессе изготовления в профилях и деталях конструкций возникают остаточные напряжения, которые существенно влияют на механический ресурс элемента конструкции.

Очевидно, что наряду с дальнейшим развитием экспериментальных исследований следует интенсивно развивать и методы теоретического анализа распределения остаточных напряжений, поскольку именно такие методы имеют большую общность, что очень важно при проектировании управляемых технологических процессов.

Изучив характер остаточных напряжений, появляется возможность искать наиболее рациональные формы сопряжений конструкций, где эти напряжения использовались бы в запас несущей способности, то есть прийти к конструкциям, более экономичным, по расходу металла но не менее надежным.

**Анализ исследований и публикаций.** Развитию методов определения остаточного состояния, возникающего в элементах металлоконструкций, посвящены многочисленные исследования, проводимые как в странах бывшего СССР, так и за рубежом. О важности решения этой проблемы свидетельствуют регулярно проводимые конференции и симпозиумы различного уровня, посвященные развитию теории остаточных напряжений и их влиянию на работу конструкций [1 – 8 и др.]. В материалах этих конференций дан анализ состояния вопроса, приведены результаты выполненных работ по определению остаточных напряжений, как в стальных конструкциях, так и в других материалах (пластмассах, стекле, дереве и т.п.).

Исследования формирования состояния остаточных напряжений при сварке этого направления начались в довоенный период. Этому способствовало развитие сварки, как наиболее прогрессивного способа соединения элементов металлических конструкций.

В работе [9] исследованы пути определения продольных деформаций в процессе сварки плит и тавровых балок. Проанализированы механизмы трансформации температурных напряжений и деформаций на различных стадиях изучаемого процесса. В результате проведенных исследований показано, что продольная деформация определяется величиной деформации температурной, которая, в свою очередь, является функцией максимальной температуры. Отмечено существенное влияние величины пластической деформации материала на качество сварки и получены достаточно простые феноменологические выражения для практической оценки качества сварочных работ.

Несколько иной подход к расчету остаточных напряжений носит метод "фиктивных температур", предложенный В.С. Игнатевой [10]. Сущность метода заключается в приложении в местах расположения сварных швов температурных полей, вызывающих появление аналогичного остаточного состояния. Простота реализации этого метода в условиях существующих вычислительных комплексов позволяет его эффективно использовать при проведении теоретических исследований сварных двутавровых балок.

Теоретические исследования остаточных напряжений, возникающих в процессе сварки, сопровождались проведением экспериментальных работ, которые позволили оценить точность предлагаемых решений. Интерес представляют способы определения остаточных напряжений, которые можно условно разделить на 2 группы [11, 12 и др.]. Первая основана на измерении перемещений, вызванных разрезкой элементов конструкций с остаточными напряжениями. Вторая группа использует связь между остаточными напряжениями и некоторыми физическими свойствами материалов (магнитная проницаемость, скорость распространения ультразвука, деформация кристаллической решетки и т.п.). Эта группа методов, по сравнению с первой, дает существенную погрешность за счет того, что на указанные физические величины влияют также и другие характеристики материала, такие как прокатка, термообработка, фазовый состав и др. Поэтому для повышения точности измерений применяют различные приемы, снижающие влияние перечисленных факторов. Для измерения этих перемещений применяют доступные тензоизмерители – проволочные и полупроводниковые тензодатчики перемещений, механические деформометры, оптически активные покрытия,

различного рода делительные сетки, наносимые на поверхность деталей.

Экспериментальные исследования двух сварных балок двутаврового профиля из низколегированных сталей описаны в работе [13]. Целью этих исследований являлось установление влияния расстояния между ребрами на несущую способность балок. В ходе испытаний измерялись деформации и перемещения. Предельная нагрузка определялась условием потери устойчивости пластины панели. Потерявшие устойчивость панели ремонтировались и испытания продолжались до потери устойчивости пластины следующей панели. Были сделаны попытки учета влияния сварочных напряжений.

В работе Е.В. Горохова и В.Н. Васылева [14] изложены предложения по бездефектному способу роспуска широкополочных двутавров на тавры. Способ заключается в создании зон пластических деформаций укорочения, компенсирующих кривизну тавра после полного охлаждения. Зона пластических деформаций формируется опережающим подогревом.

В работе [15] предложена схема расчета остаточного состояния, которая выглядит следующим образом. Двутавровая балка условно расчленяется на составляющие ее полосы. Напряжения и деформации определяются как в полосе, сваренной встык (пояса балки), и в полосе с наплавленными валиками на кромки (стенка). Полосы нагреваются той долей тепла, которая отводится при сварке балки в пояса и стенку. Не одновременно выполнения швов пренебрегают.

**Постановка задачи.** Разработать методику выявления распределение остаточных напряжений в сварных составных двутаврах методом продольной и поперечной разрезки.

**Изложение материала и его результаты.** Есть сварной двутавр, в котором существуют остаточные напряжения по форме и количеству.

В соответствии с принципами механики сплошной среды можно отбросить часть тела и приложить к поверхности сечения заменить связи отсеченной части тела на действующие в теле напряжения. Тогда часть тела, которая осталась, окажется в прежних условиях, поскольку величина усилий, которые были на поверхности, не изменилась.

При разрезании балки нами проводится действительное перерезание поверхности, которое образует сечение полностью освободившееся от напряжения. Тогда можно считать, что в перерезанном сечении прикладывается внешнее напряжение, равные по величине, но противоположные по знаку тем (остаточным) напряжениям, которые существовали на этой поверхности до разрезания. В этом заключается суть основного принципа определения остаточных напряжений в механических методах, в нашем случае – разрезании.

При срезе некоторых частей тела в части, которая осталась, возникают деформации (и перемещение). В соответствии с основным принципом эти деформации происходят от приложения по поверхностям среза обратных остаточных напряжений.

Суть заключается в следующем: за определенной совокупностью значений перемещений (или деформаций) определить напряжения, которые их вызывали.

После получения совокупных перемещений, методом математического моделирования, мы получаем довольно точную картину (в условиях линейности задачи) существующих внутренних остаточных напряжений, как поперечных, так и продольных.

**Выводы и направление дальнейших исследований.** Предложенная методика определения остаточных напряжений в сварных широкополочных двутаврах методом продольной и поперечной разрезки опытных образцов с измерением тензодатчиками совокупных перемещений достаточно точно отражает качественное и количественное распределение остаточных напряжений, как в полках двутавра, так и в стенке по продольным и поперечным направлениям.

В связи со ступенчатостью производимых резов, допускается погрешность в отрезках изополей напряжений на локальных участках между контрольными точками, однако для линейной постановки исследований, данная погрешность существенно не искажает общего внутреннего напряженного состояния испытуемого образца.

В дальнейшем требуется провести аналогичные исследования методом постановки нелинейности задачи для уточнения локального распределения внутренних остаточных напряжений в зависимости от приложения термической нагрузки свариваемых элементов согласно удалению от точек приложения термонагрузок.

*Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований, получены результаты по методическим способам определения и прогнозирования действия внутренних остаточных напряжений в сварных составных двутаврах.*

*The results of theoretical and experimental researches are resulted, results are got on methodical methods of determinations and prognostications of action of internal remaining tensions in welding component two-tauries beam.*

### **Библиографический список.**

1. *Остаточные напряжения в металлах и металлических конструкциях: Сб. статей / Под ред. В.Р. Осгуда. – М.: Изд-во иностр. литературы, 1957. – 395 с.2.*

*Всесоюзная научно-техническая конференция «Остаточные напряжения и несущая способность деталей машин»: Тез. докладов, Харьков, 7-10 сентября 1969 года. – Харьков: Б.и., 1969. – 105 с.*

3. *Остаточные напряжения и прочность сварных соединений и конструкций. – М.: Машиностроение (МВТУ), 1969. – 243 с.*

4. *Труды Всесоюзного симпозиума по остаточным напряжениям и методам регулирования. – Щербинка: НИИМАШ, 1982. - 412 с.*

5. *Труды II Всесоюзного симпозиума «Остаточные технологические напряжения». – Щербинка: НИИМАШ, 1985. – 390 с.*

6. *Международная конференция «Сварные конструкции»: Тез. докл. / АН УССР. ИЭС им. Е.О.Патона, Киев, 24-28 сентября 1990 года / Ред. кол.: Лобанов Л.М. (отв. ред.) и др. – Киев: ИЭС им. Е.О. Патона, 1990. – 295 с.*

7. *Автоматическая сварка. – 2000. - № 9-10. – 250 с.*

8. *Махненко В.И. Развитие теории сварочных напряжений и деформаций // Труды Всесоюзного симпозиума по остаточным напряжениям и методам регулирования. – Щербинка: НИИМАШ, 1982. – С. 271-294.*

9. . *Priytkin I.A., Romero M. de J. De formaciones longitudinales de soldadura cuando se sueldan planchas y perfiles // Construction Mag.-1987.-V. 12, N3. - P. 48-54.*

10. *Игнатьева В.С. Метод "фиктивных" температур как основа исследований в области напряженно-деформированного состояния сварных соединений: Сб. трудов / МИСИ. - М., 1979. – Вып. 152 - С.71-88.*

11. *Луи Х., Массоне Ч. Влияние остаточных напряжений на явления неустойчивости металлоконструкций // XIII Конгресс Международного института сварки (13-19 июня 1960 года в г. Льеже). – М.: Гос. Из-во машиностр. лит-ры, 1962. – С.223-232.*

12. *Хвортова М.Ю. Влияние начального напряженного состояния на несущую способность стальных двутавровых стержней: Дис... канд. техн. наук: 05.23.01. – Днепропетровск, 1999. – 170 с.*

13. *Estuar F.R., Tall L. Experimental investigation of welded built-up columns//Welding journal.- 1963. – V. 42, N 4. - P. 164-176.*

14. *Горохов Е.В., Васылев В.Н. Снижение деформаций при роспуске широкополочных двутавров на тавры // Сварочное производство. - 1985. - N 3. - С. 28.*

15. *Исследования распределения остаточных сварочных напряжений в сварной двутавровой балке / В.С. Игнатьева, В.Э. Абсиметов, В.С. Парлашкевич, И.Б. Гримберг // Конструкции и технологии строительного производства. – Караганда: Б.и., 1979. – С. 116-122.*

*Рекомендовано к печати д.т.н., проф. Луценко В.А.*