

УДК 624.072.002.2

Распределение остаточных напряжений в горячекатаных прокатных профилях

¹Иванов А.П., к.т.н., ²Иванова И.А., аспирант

¹Донбасский государственный технический университет, Украина

²ОАО «УкрНИИпроектстальконструкция им. В.Н. Шимановского», Украина

Анотація. Залишкове напруження істотно впливає на надійність, довговічність і металоємність конструкцій, а також на норму витрати металу на виробництво одиниці продукції. Цей вплив неоднозначний, тому необхідно вирішити питання про розподіл залишкового напруження в перерізах різних профілів будівельних конструкцій при різних технологіях виготовлення.

Необхідність проведення справжніх досліджень виникла у зв'язку з відсутністю в нормативній літературі рекомендацій щодо визначення залишкового напруженого стану прокату та його врахування при розрахунках конструкцій.

Аннотация. Остаточные напряжения существенно влияют на надежность, долговечность и металлоемкость конструкций, а также на норму расхода металла на производство единицы продукции. Это влияние неоднозначно, поэтому необходимо решить вопрос о распределении остаточных напряжений в сечениях различных профилей строительных конструкций при различных технологиях изготовления.

Необходимость проведения настоящих исследований возникла в связи с отсутствием в нормативной литературе рекомендаций по определению остаточного напряженного состояния проката и его учета при расчетах конструкций.

Abstract. Residual stresses substantially affect on reliability, durability and metal consumption of the structures, as well as on the metal consumption norm to produce one output unit. This influence is ambiguous, therefore it is necessary to solve a problem concerning distribution of residual stresses in the sections of various constructional types with the use of different production technologies.

The need to conduct these researches has emerged in connection with an absence of recommendations in normative reference sources concerning determination of rolling stock's residual stress state and its consideration when calculating the structures.

Ключевые слова: остаточные напряжения, правка, изгиб, эпюры распределения остаточных напряжений.

Введение. Постановка проблемы. Напряжения, существующие в конструкциях при отсутствии внешних воздействий, в литературе называют по-разному. Наиболее распространенное в странах СНГ название – остаточные напряжения (ОН), хотя встречаются и другие определения: собственные, внутренние, технологические, сварочные или закалочные. ОН практически всегда возникают при литье, ковке, прокатке, сварке, термообработке и других процессах, а также при жестком соединении разных материалов. В существующих нормативных доку-

ментах отсутствуют методики определения остаточного напряженного состояния (ОНС) и его влияния на прочность и устойчивость конструкций.

Опыт эксплуатации конструкций и результаты многочисленных экспериментов показывает, что остаточные напряжения существенно влияют на надежность и долговечность конструкций и оборудования, их технологичность и металлоемкость, а также на нормы расхода металла при производстве единицы продукции. Чтобы сделать вывод о том, как именно они влияют, необходимо сначала определить форму и величину ОН в различных профилях, которые наиболее часто применяются в строительных конструкциях.

Анализ последних достижений и публикаций. Разработка методов измерения ОН в настоящее время является насущной и актуальной задачей. За последние десятилетия в результате усилий ученых России, Украины, США, Японии, Англии и др. стран положение с измерительными методами и средствами существенно улучшилось, что позволило проводить экспериментальное изучение напряженно-деформированного состояния (НДС) различных конструкций на более высоком уровне. Но многое еще не сделано: для получения общих выводов о влиянии ОН на прочность элементов и конструкций в целом необходимо исследовать ОНС для различных профилей.

В настоящее время существует целый комплекс экспериментальных методов определения ОНС. К ним относятся разрушающие, малоразрушающие, неразрушающие и косвенные.

К разрушающим относятся такие методы исследования, которые подразумевают разрушение (разрезку) конструкции с целью освобождения связей, препятствующих свободному перемещению фрагментов. Это позволяет получить распределение ОН в элементах путем измерения деформаций после разрезки и переводом показаний прибора в напряжения умножением на коэффициент тензочувствительности. При измерениях получаются напряжения обратного знака, равные по абсолютной величине ОН.

Малоразрушающие методы основаны на использовании поверхностного слоя (припуска на механическую обработку) для сравнительного контроля ОН путем выполнения на поверхности отверстий, пропилов, столбиков и контроля деформации в зоне разрушения.

Неразрушающие методы – рентгеновские, акустические (ультразвуковые), голографические, магнитошумовые [1 – 6].

Косвенные методы (иногда их называют сравнительными) составляют значительную группу неразрушающих методов, непосредственно не связанных с такими методами, как рентгеновский и ультразвуковой.

Косвенные методы обычно дают возможность лишь качественно оценить ОН. Вместе с тем большинство косвенных методов применимы для сравнительных оценок ОН при серийном и массовом производстве путем экспресс-анализа.

Любой из экспериментальных методов измерения ОН имеет вполне определенную область применения, в которой он максимально эффективен. Наиболее универсальными являются механическая тензометрия, рентгеновские и ультразвуковые методы.

Цель работы. Целью работы является определение остаточного напряженного состояния, возникающего в прокатных профилях, после прокатки, остывания и правки.

Основная часть. В качестве экспериментальных образцов были использованы фрагменты проката различного сечения (швеллеры, двутавры), изготовленного на стане 600 ОАО "Алчевский металлургический комбинат" нормальной поставки. Исследования ОНС были выполнены в нескольких фрагментах двутаврового профиля (два двутавра № 12 и два № 20) и в нескольких фрагментах швеллерного профиля (по паре швеллеров № 12у, № 14у, № 18у, № 20у). Для каждого профиля принимались два образца – один до правки, другой после правки. Это было необходимо для выявления влияния правки на форму и величину ОН.

Правка холодного металла производилась механическим путем. После этого возникали следы пластического деформирования в виде линий Людерса–Чернова.



Рис. 1. Следы правки на полках швеллеров № 20у

Распределение ОН определялось экспериментально разрушающим методом.

Для регистрации получаемых при эксперименте деформаций была использована система СИИТ-3, в состав которой входят: блок дистанционного релейного переключения (БДРП), измерительный блок (БИ) и блок печати (БП). Схема подключения показана на рис. 2, где RA_j – активные (тензометрические) датчики, установленные на исследуемой балке, а R_K – компенсационный датчик, установленный вне балки, но на таком же материале, с которого изготовлена балка.

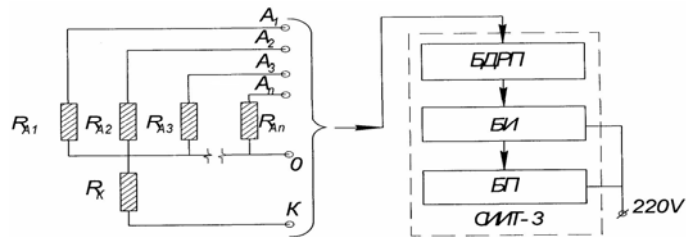


Рис. 2. Схема подключения тензорезисторов

Активные тензодатчики наклеивались на внешней стороне полок и с двух сторон стенки. Причем расположение датчиков было выполнено симметрично относительно плоскости реза, что позволило получить более достоверный результат. Расположение тензодатчиков было одинаковым для каждого вида профиля. На рис. 3 и рис. 4 приведены схемы расположения датчиков, на рис. 5 – общий вид фрагмента швеллера № 18 после разрезки.

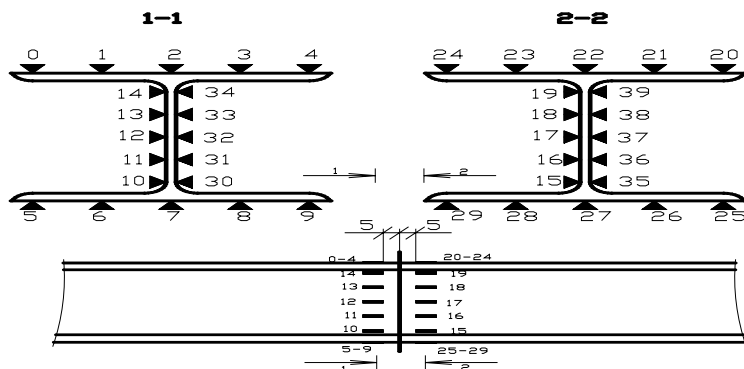


Рис. 3. Расположение датчиков на двутавровых балках

Существенное изменение ОН было зарегистрировано сразу после разрезки. Результаты измерений были получены в делениях прибора. Показания прибора в напряжения были переведены путем умножения на коэффициент тензочувствительности.

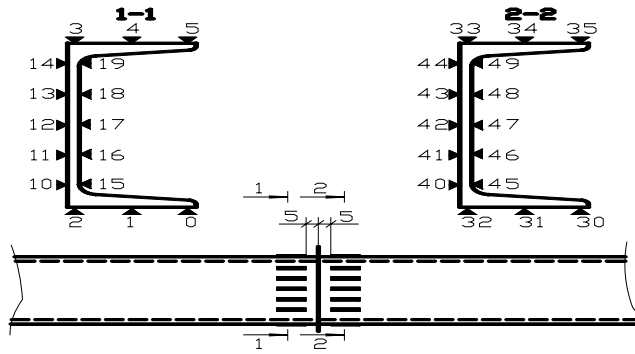


Рис. 4. Расположение датчиков на швеллерах

Полученные результаты измерений были обработаны и по ним построены эпюры напряжений, которые представлены на рис. 6, 7, 8, 9, 10, 11.

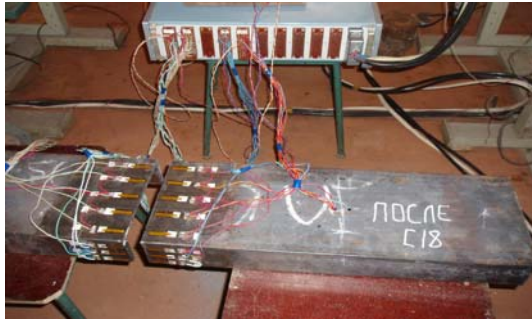


Рис. 5. Общий вид фрагмента из швеллера № 18 после разрезки

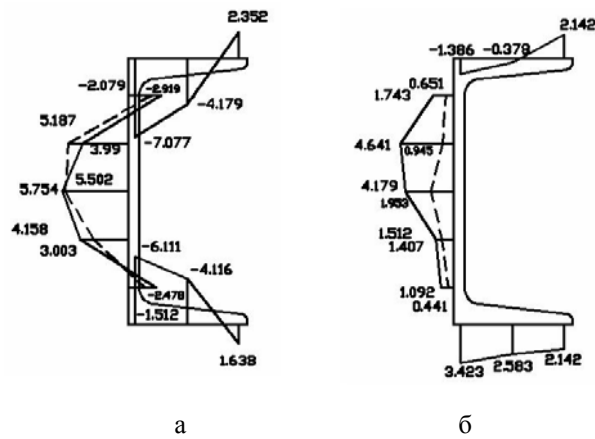


Рис. 6. Эпюры ОН после разрезки фрагментов из швеллеров № 12у:
а – до правки; б – после правки

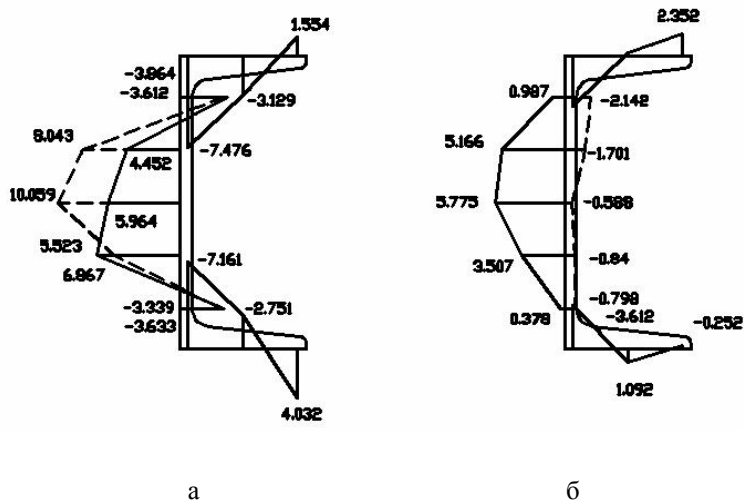


Рис. 7. Епюри ОН после разрезки фрагментов из швеллеров № 14у:
 а – до правки; б – после правки

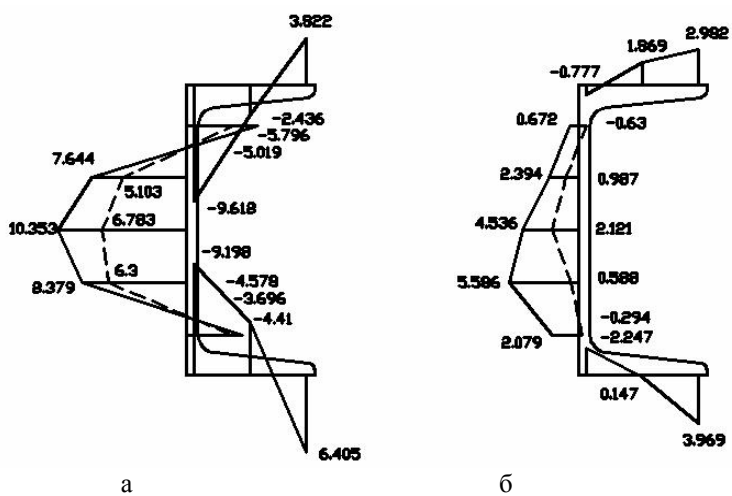


Рис. 8. Епюри ОН после разрезки фрагментов из швеллеров № 18у:
 а – до правки; б – после правки

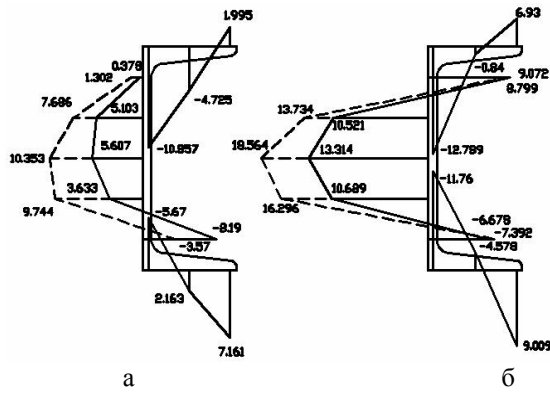


Рис. 9. Епюры ОН после разрезки фрагментов из швеллеров № 20у:
а – до правки; б – после правки

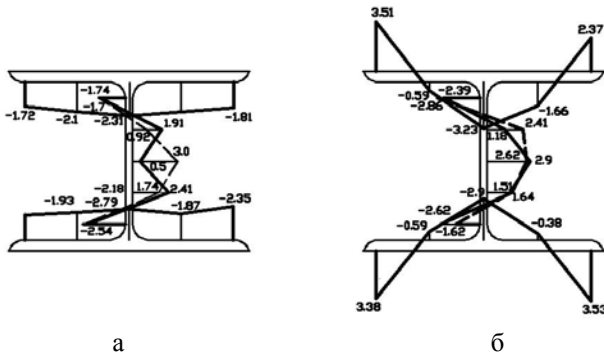


Рис. 10. Эпюры ОН после разрезки фрагментов из двутавров № 20:
а – до правки; б – после правки

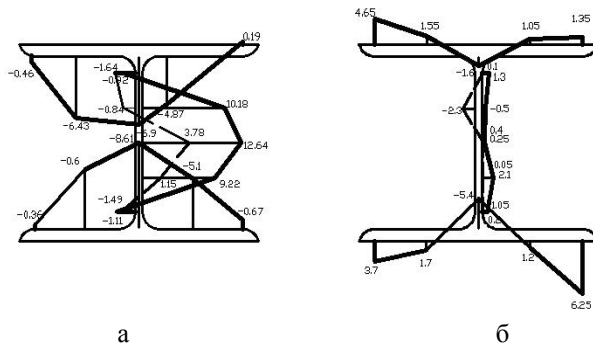


Рис. 11. Эпюры ОН после разрезки фрагментов из двутавров № 12:
а – до правки; б – после правки

Выводы

Механическая правка проката сопровождается пластическим деформированием металла, в результате чего происходит изменение ОНС.

Распределение ОН по сечению до и после правки отличается по величине и по форме. После правки на краях полок швеллеров и двутавров формируются зоны остаточных растягивающих напряжений.

В зависимости от размеров профиля меняется и величина ОН: чем больше профиль, тем больше уровень ОН.

Литература

- [1] Остаточные напряжения в деформируемых твердых телах / Г.Н. Чернышев, А.Л. Попов, В.М. Козинцев, И.И. Пономарев. – М.: Наука, 1996. – 240 с.
- [2] Residual stress determination by single-axis holographic interferometry and hole drilling. Pt.2. Experiments / D. Neison, E. Fuchs, A. Makiro, D. Williams // Exper. Mech. – 1994. – V. 34, № 1. – P. 79–82.
- [3] Hernandez J., Dehaudt P., Vannes A.B. Determination des contraintes residuelles streees par rechargement par plasma a arc transfere. Etude de l'influence d'un post-traitement // Revue de metallurgie. Memoires et etudes scientifiques. – 1987. – V. 84, № 7–8. – P. 387–395.
- [4] Roy G. Orientation of prinsipal stress component // Exper. Mech. – 1994. – V. 18, № 1. – P. 37–40.
- [5] Lin S.-T., Hsieh C.-T., Hu C.-T. Two holographic blindhole methods for measuring residual stress // Exper. Mech. – 1994. – V. 34, № 2. – P. 141–147.
- [6] Остаточные напряжения в профилях и способы их снижения / А.Н. Скороходов, Е.Г. Зудов, А.А. Киричков, Ю.П. Петренко. – М: Металлургия, 1985. – 184 с.

Надійшла до редколегії 15.07.2008 р.