

**Романюк С. П.**

Харьковский национальный  
технический университет  
сельского хозяйства  
имени П. Василенко,  
г. Харьков, Украина,  
E-mail: techmat@ukr.net

**ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ  
МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ  
НЕРАЗРУШАЮЩИМ МЕТОДОМ**

УДК 53.082.1

*Выполнены предварительные исследования по оценке состояния металлоконструкций с помощью неразрушающего метода диагностики. Приведены результаты экспериментального анализа напряженного состояния металла поверхностного слоя и сварного шва швеллерных балок. Применение магнитного метода контроля для оценки состояния изделий позволило выявить неоднородность структуры по сечению профиля.*

**Ключевые слова:** *строительные сооружения, металлоконструкции, метод неразрушающего контроля, коэрцитивная сила, напряженное состояние*

**Актуальность проблемы.** В современном мире металлические конструкции являются важной составляющей в машиностроении и металлургии, сельском хозяйстве и строительстве. Благодаря прочностным свойствам стального металлопроката возможно возводить уникальные высокотехнологичные архитектурные строительные сооружения. Наиболее популярны следующие виды металлопроката: арматура, уголок, двутавровая балка, швеллер, стальные полосы, квадрат и листы. Часто используются стальные балки, изготовленные из просечных и перфорированных гнутых профилей швеллерного, корытного, С - образного и др. типов [1]. Надежность и долговечность строительных сооружений непосредственно зависит от качества металла, а именно, от формирования зон с повышенной концентрацией напряжений и дефектов структуры. Поэтому исследование формируемых повреждений элементов строительных металлоконструкций, выявление причин снижения надежности и прочности является актуальным. Для контроля качества металла на протяжении всего срока эксплуатации важным является оценка состояния изделий современными методами неразрушающего контроля.

**Целью работы** является повышение надежности металлоконструкций за счет выявления и оценки неоднородности структуры по уровню напряженного состояния магнитным методом.

**Анализ публикаций по данной проблеме.** Для обеспечения надежности, безопасности и повышения долговечности строительных сооружений необходима своевременная диагностика металлоконструкций в течение всего их жизненного цикла. Целесообразно проводить исследования в процессе возведения здания, по окончанию строительных работ, а также в процессе последующей эксплуатации и технического обслуживания (в случае доступа к ним). Для оценки состояния различных деталей используют разрушающие и неразрушающие методы контроля качества. К основным видам неразрушающего контроля относятся: магнитный, акустический радиоволновой, электрический, тепловой, вихретоковый, оптический, проникающими веществами и радиационный [2]. Для выявления дефектов на крупногабаритных протяженных объектах и литых стальных изделиях используют неразрушающие магнитные методы [3, 4]. При анализе напряженно-деформированного состояния строительных сооружений применяют численные методы анализа (метод конечных элементов) [5, 6]. Универсального способа не существует. Выбор определенного вида и метода неразрушающего контроля качества зависит, в первую очередь, от анализируемых параметров, достоверности и полноты полученных результатов, а также надежности используемого оборудования.

**Методика и результаты исследований.** В данной работе исследования проводили на ответственных элементах строительных конструкций перед их использованием при возведении зданий для повышения надежности и долговечности строения. Анализировали стальную горячекатаную швеллерную балку с шириной полки 10см и высотой профиля 30см. При этом толщина стенки и полки составляла 6,5мм и 11мм соответственно (согласно ГОСТ 8240).

Для выявления неоднородности в структуре строительных металлоконструкций и оценки микроповреждаемости металла профиля использовали прибор КРМ-Ц – К2М (коэрцитиметр цифровой полуавтоматический (рис.1), разработанный и изготовленный фирмой ООО «Специальные Научные Разработки»). С его помощью проводили измерение коэрцитивной силы. Оценивали состояния металла, используя два вида преобразователей, отличающихся размерами и конфигурацией, с разным расстоянием между полюсными наконечниками (рис.1, б, в). В зависимости от размеров преобразователя варьируется глубина измерений. Это позволяет выявить изменения в послойной структуре металла профиля.

Измерения проводились при одинаковой степени прилегания магнитных полюсных наконечников и температуре окружающей среды 20°C.

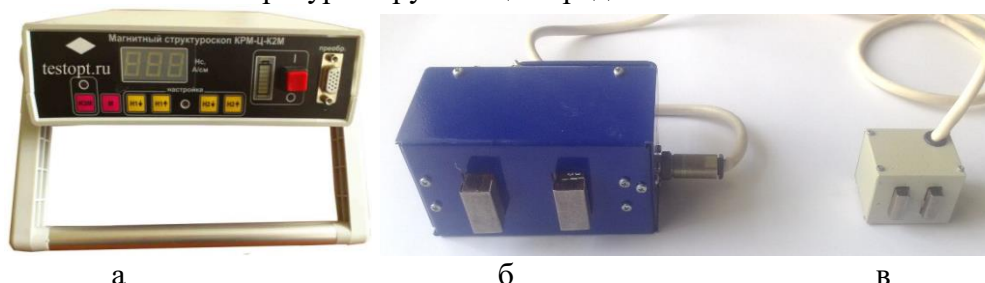


Рис.1 – Магнитный структуроскоп КРМ-Ц –К2М (а) с большим (б) и малым (в) магнитным преобразователем

Зоны швеллерной балки с помощью преобразователя намагничивали до магнитного насыщения, а затем размагничивали и по замеренному току компенсации остаточной индукции в замкнутой цепи определяли коэрцитивную силу.

Среднее значение коэрцитивной силы в продольном и поперечном измерениях рассчитывали по формуле:

$$H_x = \sum H_{xi} / i ,$$

где  $H_x$  – среднее значение коэрцитивной силы, А/см;  $H_{xi}$  – измеренное значение коэрцитивной силы, А/см;  $i$  – количество измерений.

Результаты измерений коэрцитивной силы, полученные большим преобразователем, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Значение коэрцитивной силы, измеренное большим преобразователем

№ измерения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$H_{C\perp}$ , А/см	34,1	34,4	34,6	35	34,9	34,2	34,6	34,5	34,7	34,1
Отклонение от среднего в поперечном измерении, %	1,16	0,58	-0,29	0,58	-1,16	0,58	-0,58	-0,58	-0,87	0,58
$H_{C\parallel}$ , А/см	34,2	34,4	34,7	34,4	35	34,4	34,8	34,8	34,9	34,4
Отклонение от среднего в продольном измерении, %	1,19	0,32	-0,26	-1,42	-1,13	0,90	-0,26	0,03	-0,55	1,19
K	0,997	1,000	0,997	1,017	0,997	0,994	0,994	0,991	0,994	0,991

По полученным значениям коэрцитивной силы в продольном и поперечном измерениях оценивали коэффициент анизотропии структуры металла  $K$ , который рассчитывали по формуле (2)

$$k = \frac{H_{C\perp}}{H_{C\parallel}}$$

где  $H_{C\perp}$  – измеренное значение коэрцитивной силы в поперечном измерении, А/см;  $H_{C\parallel}$  – измеренное значение коэрцитивной силы в продольном измерении, А/см

Из анализа полученных данных следует, что среднее значение коэрцитивной силы составляет 34,51 А/см в поперечном и 34,6 А/см в продольном направлениях.

Исследования показали, что макроструктура металла швеллерной балки однородна. Коэффициент анизотропии свойств отличается не значительно, так как балка получена в результате большого числа переделов (слиток – обжимной стан и несколько типов клетей для получения профиля: черновых, предчистовых и чистовых).

Минимальный разброс данных (не превышает 1,42%) в разных зонах измерений. Это свидетельствует о качественном производстве и равномерной степени обжатия анализируемого профиля.

Анализ состояния поверхностного слоя балки также оценивали с помощью малого преобразователя (табл. 2). Оценку проводили в тех же зонах, что и – большим. При этом значение коэрцитивной силы не зависит от коррозии, шероховатости поверхности и наличия защитного покрытия.

Таблица 2

**Значение коэрцитивной силы, измеренное малым преобразователем**

№ измерения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$H_{C\perp}$ , А/см	3,5	2,9	2,2	2,1	2,0	3,6	4,1	3,9	3,6	2,7
Отклонение от среднего в поперечном изм., %	7,77	12,62	7,77	-11,65	-1,94	7,77	7,77	-6,80	-6,80	-16,50
$H_{C\parallel}$ , А/см	1,9	1,8	1,9	2,3	2,1	1,9	1,9	2,2	2,2	2,4
Отклонение от среднего в продольном изм., %	-14,38	5,23	28,10	31,37	34,64	-17,65	-33,99	-27,45	-17,65	11,76
$K$	1,842	1,611	1,158	0,913	0,952	1,895	2,158	1,773	1,636	1,125

Проведенными исследованиями установлено, что среднее значение коэрцитивной силы в поперечном направлении, измеренное малым преобразователем, составляет 3,06 А/см, при этом в продольном - достигает 2,06 А/см с максимальным разбросом данных равным 34,64% и 12,62% соответственно. Коэффициент анизотропии структуры металла достигает 2,16. Полученные данные свидетельствуют о том, что структура поверхностного слоя металла существенно отличается в разных направлениях.

Из сопоставительного анализа данных табл.1 и табл.2 следует, что в поверхностном слое уровень коэрцитивной силы ниже в 11,3 раз в поперечном и 16,8 чем в продольном направлении основного металла.

Это характеризует о существенной структурной неоднородности по сечению швеллерной балки.

Для получения перекрытия необходимой длины производится сваривание нескольких балок. Эти зоны особенно важно контролировать в процессе возведения строительных сооружений. Результаты оценки состояния сварных швов (измерения проведены малым преобразователем) представлены в табл.3.

Таблица 3

<b>Значение коэрцитивной силы сварного шва, измеренное малым преобразователем</b>					
№ измерения	1	2	3	4	5
$H_{C\perp}$ , А/см	3,4	4,3	3,7	4,5	4,3
Отклонение от среднего в поперечном изм., %	-1,01	26,77	19,19	-23,74	-21,21
$H_{C\parallel}$ , А/см	4,0	2,9	3,2	4,9	4,8
Отклонение от среднего в продольном изм., %	15,84	-6,44	8,42	-11,39	-6,44
К	0,850	1,483	1,156	0,918	0,896

Экспериментально установлено, что средний уровень коэрцитивной силы в поверхностном слое сварного шва составляет 3,96-4,04 А/см с разбросом показаний до 15,8%. При этом возрастает и коэффициент анизотропии. Это характеризует развитие неоднородной структуры металла поверхностного слоя шва.

Для оценки неоднородности структуры более глубоких слоев шва (по уровню напряженного состояния магнитным методом) использовали большой преобразователь.

Таблица 4

<b>Значение коэрцитивной силы сварного шва, измеренное большим преобразователем</b>					
№ измерения	1	2	3	4	5
$H_{C\perp}$ , А/см	34,6	4,4	4,7	34,6	34,7
Отклонение от среднего в поперечном изм., %	-51,01	77,17	75,42	-50,57	-51,01
$H_{C\parallel}$ , А/см	34,4	5,2	5,6	34,3	34,4
Отклонение от среднего в продольном изм., %	-53,10	80,53	79,20	-53,10	-53,54
К	1,006	0,846	0,839	1,009	1,009

Из анализа полученных данных табл.4. следует, что изменение данного показателя в сварном шве может достигать 80,5%.

Применение магнитного неразрушающего метода контроля позволило выявить неоднородности структуры по сечению швеллерной балки. Существенное снижение уровня коэрцитивной силы может свидетельствовать о развитии микроповреждаемости металла, наличии дефектных зон и областей с плохой свариваемостью.

Такой способ может служить эффективной выбраковочной нормой при оценке качества изделия. Однако, одного магнитного метода для текущего контроля недостаточно, так как в прокате и производстве профилей могут происходить структурные изменения, для выявления которых необходимо использование комплексного метода исследований.

Это сложная многоплановая работа, которая требует установления браковочной нормы для конкретной марки стали, степени обжата с формированием однородной или неоднородной структуры относительно средней линии проката профиля по сечению, степени обезуглероживания поверхности, ликвации компонентов.

Поэтому дальнейшие комплексные исследования будут направлены на оценку механических свойств материала такого профиля, элементного состава и распределения химических компонентов, структуры и морфологии поверхности.

Это позволит перейти к надежной оценке металлоконструкции неразрушающим методом.

**Выводы.** Для повышения надежности и долговечности строительных сооружений в процессе их возведения проведены предварительные исследования по оценке состояния металлоконструкций.

Для определения уровня напряженного состояния швеллерных балок в различных зонах предложен магнитный метод диагностики. В поверхностном слое и в сечении металла балки с толщиной стенки 6,5мм выявлена существенная структурная неоднородность, возникающая в результате воздействия многих факторов. В сварном шве разброс показаний уровня коэрцитивной силы достигает 80,5%. Выявленная анизотропия свойств металла строительной конструкции явилась основой дальнейших комплексных исследований.

### Литература:

1. Тришевский О.И. Просечные гнутые профили и перспективы их применения / О.И. Тришевский, С.А. Гапанович // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. – Харьков, 2016. – №4. – С.62-70.
2. ГОСТ 18353. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов [Текст]. – Введ. с 01.07.80. – М: ИПК Издательство стандартов, 2005.
3. Патент RU 2118816, G01N27/83, Способ магнитного контроля / Шелихов Г. С. и др.; заявитель и патентообладатель Шелихов Г. С. -№96121702/28. заявл. 06.11.1996.; опубл. 10.09.1998.
4. Метод контролю якості металовиробів, заснований на вимірі коерцитивної сили / Т.С. Скобло, О.Ю Клочко, С.О. Бурцев, О.І. Листопад, Г.Я. Безлюдько, Р.М. Трищ // 36. наукових праць: Якість технологій та освіти: УПА, вип.1. - Харків. - 2011. – С.9-15.
5. Скорук Л.Н. Использование вычислительного комплекса SCAD Office при реконструкции зданий и сооружений // CADmaster. №6. 2011. – С.102-104.
6. Маляренко А.А., Семенов А.А., Сафиуллин М.Н., Порываев И.А. Анализ напряженно-деформированного состояния моделей узлов металлических конструкций в среде SCAD // Строительная механика и расчет сооружений. 2013. №3. С. 47-56.

### Summary

**Romaniuk S.P.** Evaluation of building metal structures state by nondestructive method

*Preliminary studies were carried out to evaluate the state of metal structures using a nondestructive diagnostic method. Results of the experimental analysis of the stressed state of metal of the surface layer and the welded seam of channel beams are presented. Use of magnetic inspection method to evaluate the state of products allow to find out the structure heterogeneity on the profile section.*

**Keywords:** building structures, metal structures, method of nondestructive control, coercive force, stressed state

### References

1. Trishevskiy O.I. Prosechnyie gnutyye profili i perspektivy ih primeneniya / O.I. Trishevskiy, S.A. Gapanovich // TehnIchniy servIs agropromisloвого, lIsovogo ta transportnogo kompleksIv. – Harkov, 2016. – №4. – S.62-70.
2. GOST 18353. Kontrol nerazrushayuschiy. Klassifikatsiya vidov i metodov [Tekst]. – Vved. s 01.07.80. – M: IPK Izdatelstvo standartov, 2005.
3. Patent RU 2118816, G01N27/83, Sposob magnitnogo kontrolya / Shelihov G. S. i dr.; zayavitel i patentoobladelatel Shelihov G. S. -№96121702/28. zayavl. 06.11.1996.; opubl. 10.09.1998.

4. Metod kontroliu yakosti metalovyrobiv, zasnovanyi na vymiri koertsytyvnoi syly / T.S. Skoblo, O.Iu Klochko, S.O. Burtsev, O.I. Lystopad, H.Ia. Bezliudko, R.M. Trishch // Zb. naukovykh prats: Yakist tekhnolohii ta osvity: UIPA, vyp.1. - Kharkiv. - 2011. – S.9-15.
5. Skoruk L.N. Ispolzovanie vyichislitel'nogo kompleksa SCAD Office pri rekonstruktsii zdaniy i sooruzheniy // CADmaster. №6. 2011. – S.102-104.
6. Malyarenko A.A., Semenov A.A., Safiullin M.N., Poryivaev I.A. Analiz napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya modeley uzlov metallicheskih konstruktsiy v srede SCAD // Stroitel'naya mehanika i raschet sooruzheniy. 2013. №3. S. 47-56.