



Об оценке прочностных возможностей металла трубных шпунтовых конструкций

Н.Л. Вернези, А.А. Веремеенко, А.Х. Явруян, Д.С. Вальдман

*Ростовский государственный строительный
университет*

Аннотация: Рассматриваются вопросы методики проведения обследования металлостроительных конструкций разрушающими и неразрушающими способами с целью оценки их прочностных возможностей.

Ключевые слова: обследование, прочность, диагностика, механические характеристики, неразрушающий контроль, трубные шпунтовые конструкции.

Масштабные работы по реконструкции центральной части Ростова-на-Дону связаны с необходимостью возведения многоэтажных зданий в условиях плотной застройки. Котлован обустраивается шпунтовыми ограждениями для обеспечения техники безопасности и закрепления его стен, предотвращения разрушения и оползней. Наиболее широко в качестве ограждающего материала используется трубная сталь. В начале 2014 года при возведении здания по улице Горького, 240 у ООО «Балтстрой Монолит» возникла необходимость оценки прочностных характеристик бывших в употреблении стальных труб, принадлежность которых к той или иной партии определить не представлялось возможным.

Цель обследовательской работы заключалась в определении значений предела текучести, предела прочности и относительного удлинения (СНиП II-23-81 и СП 13-102-2003). При разрушающем контроле должно испытываться не менее 3 образцов каждого элемента, а количество элементов не менее 10% от всех исследуемых.

1. Нами была выбрана комплексная система проведения испытаний, включающая стандартные испытания на растяжение и неразрушающий контроль, существенно увеличивающий представительность выборки и достоверность результатов. Кроме того



выборочно исследовалась ультразвуковым методом толщина стенок труб. При проведении разрушающих испытаний (в соответствии с ГОСТ – 10706 и ГОСТ 1497-84) вырезанные холодным способом 5 образцов испытывались на растяжение разрывной машиной ИР-200 с максимальным усилием разрыва 200 кН. Полученные данные приведены в таблице 1.

Таблица №1

№ образца	Толщина образца h, мм	Значения механических характеристик			Примечание
		σ_T , МПа	σ_B , МПа	δ , %	
1	7,5	267	384	25%	
2	7,3	273	395	24%	
3	7,4	257	386	26%	
4	7,5	267	383	30%	
5	7,4	263	373	-	Разрушение образца в захватах машины

Анализ результатов проведенных разрушающих испытаний на растяжение, представленных в таблице 1, позволил заключить следующее. Минимальные значения механических характеристик наблюдались у металла образцов №3 с $\sigma_T = 257$ МПа, №4 с $\sigma_B = 383$ МПа и №2 с $\delta = 24\%$. Образец №5 имел разрушение в захвате машины и его характеристики не



учитывались. Средние значения по четырем образцам: $\sigma_T = 266$ МПа, $\sigma_B = 387$ МПа и $\delta = 26\%$.

При испытании металла 10 труб неразрушающим способом производилось 5-10 измерений методом ударного внедрения индентора механической части системы «Прочность» [6,7,8,9]. В основе примененной системы лежит безобразцовый метод одновременного определения механических характеристик на локальном участке металла. При этом в видоизмененном известном способе оценки твердости по методу Роквелла статическое вдавливание заменено на ударное с энергией 0,16 Дж; с помощью индукционного датчика, встроенного в пружинное ударное устройство, электронным блоком регистрируется скорость перемещения индентора в процессе его внедрения в материал. Полученная функция скорости от времени дифференцируется по времени для получения функции ускорения от времени и интегрируется по времени для получения функции перемещения индентора в материале по времени в процессе внедрения индентора. Программное обеспечение в соответствии с установленной для всех классов прочности строительных сталей тесной корреляционной связью их механических свойств с экстремальными значениями функций пути, скорости и ускорения: максимальной глубиной, максимальным и минимальным значениями скорости, максимальным ускорением и максимальным замедлением внедрения индентора, позволяет практически мгновенно получать значения твердости, предела текучести, предела прочности, относительного удлинения в любой точке исследуемого металла.

Система включает в себя ударную часть и электронную, состоящую из аналого-цифрового преобразователя L-CARD E14-440 и Notebook класса Pentium 4 с разработанным в РГСУ оригинальным программным обеспечением.



На каждом из элементов шлифовальной машиной снимался слой краски и ржавчины до образования пятна чистого металла. Результаты исследований представлены в таблице 2.

Таблица №2

№ ТРУБЫ	Контрольные значения измерений	ТОЛЩИНА СТЕНКИ МЕТАЛЛА ТРУБЫ, h (мм),	НВ	σ_T , МПа	σ_B , МПа	δ , %
1	2	3	4	5	6	7
1		7,2				
	Минимум		120	254	396	25
	Максимум		137	276	416	27
	Среднее		125	260	402	27
2		7,0				
	Минимум		137	276	416	22
	Максимум		152	304	441	25
	Среднее		147	293	432	23
3		7,1				
	Минимум		124	258	400	24
	Максимум		142	285	424	27
	Среднее		131	269	410	26
4		8,0				
	Минимум		119	253	395	21
	Максимум		161	323	459	27
	Среднее		143	291	430	24



1	2	3	4	5	6	7
5		7,1				
	Минимум		125	259	401	23
	Максимум		150	298	436	27
	Среднее		137	276	416	25
6		7,0				
	Минимум		134	272	412	22
	Максимум		155	309	446	25
	Среднее		144	290	428	24
7		8,3				
	Минимум		123	257	399	27
	Максимум		125	260	401	27
	Среднее		124	259	400	27
8		8,3				
	Минимум		135	273	413	23
	Максимум		151	301	438	25
	Среднее		143	287	426	24
9		8,2				
	Минимум		132	268	409	22
	Максимум		156	311	448	26
	Среднее		145	291	430	24
10		8,2				
	Минимум		138	278	418	22
	Максимум		153	305	443	25
	Среднее		144	289	428	24



Минимальные значения механических характеристик наблюдались у металла трубы №7 с $\sigma_T = 259$ МПа, $\sigma_B = 400$ МПа при $\delta = 27\%$.

Все значения предела текучести и предела прочности были обработаны на соответствие трехпараметрическому закону Вейбулла [10] методом моментов для оценки параметров теоретического распределения. У предела текучести параметр формы **B** определился как **3,11**, параметр сдвига $C = 230$ МПа, а у предела прочности соответственно **B = 2,76**, $C = 377$ МПа.

Проектом предусмотрено применение труб $\varnothing 426$ мм ($h = 8$ мм), изготовленных по ГОСТ 10704-91 из стали 20 по ГОСТ 10705-80. В соответствии с требованиями ГОСТ 10705-80 прочностные характеристики металла не должны быть ниже: **225 МПа** для σ_T и **372 МПа** для σ_B .

При этом относительное удлинение δ не должно быть ниже **22%**.

Средняя толщина стенок труб 7,64 мм. Минимальная толщина металла наблюдается у труб №2 и №6 – $h = 7$ мм, т.е. имеет место потеря металла на **12,5%**. Однако эти трубы обнаружили предел прочности соответственно **432 МПа** и **428 МПа**, что превышает требуемое по проекту значение предела прочности соответственно на **16%** и **14%**.

Анализ как выборочных значений прочностных характеристик, полученных при разрушающих и неразрушающих испытаниях, так и результатов оценок теоретических распределений, дает основание полагать, что металл исследованных труб имеет минимальные значения прочностных характеристик, превышающие требуемые, при этом полученные разными способами оценки механических характеристик практически не разнятся. Таким образом, в случаях, когда представляется возможность проводить разрушающие испытания вырезанных из конструкции образцов, для получения наилучшего результата рационально применять комплексное



обследование. В других случаях, как показали проведенные исследования, эффективно и достоверно применение системы «Прочность».

Литература

1. D.M. Belen'kii, A.N. Beskopyl'nyi, N.L. Vernezi, L.G. Chamraev. Determination of the strength of butt-welded joints // Welding International. 1997.- №11. pp. 643-645.
2. D.M. Belen'kii, N.L. Vernezi, A.V. Cherpakov. Changes in the mechanical properties of butt-welded joints in elastoplastic deformation//Welding International. 2004. - №18 pp.213-215.
3. Вернези Н.Л. Метод оценки прочности металла неразрушающим способом с использованием априорной информации // Инженерный вестник Дона, 2013, № 3. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1898
4. Вернези Н.Л., Веремеенко А.А. Диагностика прочности металлических конструкций. // Изв. Ростовского государственного строительного университета. 2012. №17. С. 1-3.
5. Касьянов В.Е., Котесов А.А., Котесова А.А. Аналитическое определение параметров закона Вейбулла для генеральной совокупности конечного объема по выборочным данным прочности стали // Инженерный вестник Дона, 2012, №2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2012/804
6. Томсен Э., Янг Ч, Кобаяши Ш. Механика пластических деформаций при обработке металлов. М.: Машиностроение, 1968. 504 с.
7. Горицкий В.М. Диагностика металлов. М.: Metallurgizdat, 2004. 408с.
8. Общетехнический справочник под ред. Малова А.Н., М.: Машиностроение, 1971. 464 с.
9. Кнорозов Б.В., Усова Л.Ф., Третьяков А.В., Арутюнова И.А., Шабашов С.П., Ефремов В.К. Технология металлов. М.: Машиностроение, 1974. 648 с.



10. Касьянов В.Е., Шулькин Л.П., Котесова А.А., Котова С.В. Алгоритм определения параметров прочности, нагруженности и ресурса с помощью аналитического перехода от выборочных данных к данным совокупности // Инженерный вестник Дона, 2012, № 4 (часть 2). URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1236

References

1. D.M. Belen'kii, A.N. Beskopyl'nyi, N.L. Vernezi, L.G. Chamraev. Determination of the strength of butt-welded joints. *Welding International*. 1997. №11. pp. 643-645.
2. D.M. Belen'kii, N.L. Vernezi, A.V. Cherpakov. Changes in the mechanical properties of butt-welded joints in elastoplastic deformation. *Welding International*. 2004. №18 pp.213-215.
3. Vernezi N.L. *Inženernyj vestnik Dona (Rus)*, 2013, № 3. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1898
4. Vernezi N.L., Veremeenko A.A. *Izv. Rostovskogo gosudarstvennogo stroitel'nogo universiteta*. 2012. №17. pp. 1-3.
5. Kas'yanov V.E., Kotesov A.A., Kotesova A.A. *Inženernyj vestnik Dona (Rus)*, 2012, №2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2012/804
6. Tomsen E., Yang Ch, Kobayashi Sh. *Mekhanika plasticheskikh deformatsiy pri obrabotke metallov* [The mechanics of plastic deformation in the processing of metals]. M.: Mashinostroenie, 1968. 504 p.
7. Goritskiy V.M. *Diagnostika metallov* [Diagnosis of metals]. M.: Metallurgizdat, 2004. 408 p.
8. *Obshchetekhnicheskij spravochnik pod red. Malova A.N.* [General Technical Handbook, edited by A. N. Malov], M.: Mashinostroenie, 1971. 464 p.



9. Knorozov B.V., Usova L.F., Tret'yakov A.V., Arutyunova I.A., Shabashov S.P., Efremov V.K. Tekhnologiya metallov. [Metal technology]. M.: Mashinostroenie, 1974. 648 p.

10. Kas'yanov V.E., Shchul'kin L.P., Kotesova A.A., Kotova S.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2012, № 4 (chast' 2). URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1236