

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ИЗГИБАЕМЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ

Берестевич М.Л.

Государственное предприятие «Гордорстрой»

Для проведения исследования по оценке изменения напряженно-деформированного состояния использовалась металлическая пластина, выполненная из стали 10ХСНД с геометрическими размерами в плане $b=100$ мм; $L=420$ мм и толщиной $h=5$ мм. В качестве прилагаемой нагрузки использовался 3-х точечный статический изгиб.

Для контроля напряженно-деформированного состояния использовался метод конечных элементов (МКЭ), выполненный с помощью программного обеспечения и метод магнитной анизотропии, выполненный с помощью сканера механических напряжений «StressVision Expert».

Контроль напряженно-деформированного состояния методом конечных элементов (МКЭ)

При построении конечно-элементарной модели при заданных геометрических параметрах образца создавался 3-х точечный изгиб с помощью программного добавления «SolidWorks Simulation» с функцией статического анализа.

К построенной модели с двух сторон была применена зафиксированная геометрия, являющаяся боковыми точками опоры, а в центральной части образца применена внешняя нагрузка, создающая изгиб и деформацию (рисунок 17).

Расчёт механических напряжений осуществлялся для образца, в котором не учитывается неоднородность остаточных напряжений, вызванная технологическими процессами при изготовлении.

Для последующего контроля напряженно-деформированного состояния построенной модели отмечены координатные точки. На эскизе образца (рисунок 64) отмечена область контроля, которая составляет 200×60 мм. Расстояние между координатами составляет

20 мм по оси X и 15 мм по Y. По оси X – 9 точек, по Y – 5 строчек. Всего 45 точек на каждом шаге нагрузки от 1 мм до 5 мм.

Расчёт НДС построенной конечно-элементарной модели осуществлялся при нагрузке с заданным прогибом в центральной части образца. Прогиб создается с шагом 1 мм, для которого характерна нагрузка в 1326 Н. Максимальный прогиб составляет 5 мм при нагрузке 6630 Н, что соответствует области упругих деформаций 0,8..0,9 ст.

Расчёт механических напряжений, действующих в области проведения контроля НДС, представлен для главной компоненты тензора напряжения и выполняется на поверхности образца со стороны действующих растягивающих напряжений.

Результат расчёта механических напряжений, для образца при статическом изгибе со срезом действующих напряжений вдоль центральной области образца по оси X, представлен в таблице 2.

Параметры контроля НДС с помощью сканера механических напряжений «StressVison Expert»

1. Устройство для статической нагрузки имеет тип вид 4-х точечного изгиба, однако из-за малого расстояния между внутренними точками данный механизм рассмотрен в качестве устройства для 3-х точечного изгиба.

2. Образец (рисунок 25), нагруженный в гибочное устройство, в случае приложенной к его центральной части нагрузки с помощью вращательно-поступательного механизма, начинает упираться с двух краев в верхние боковые опоры и изгибаться.

3. В комплексе с гибочным устройством для измерения фактического прогиба при нагружении образца используется прогибомер.

4. На образец наносится координатная сетка с областью контроля 200x60 мм. Расстояние между узлами сетки соответствует: 20 мм по оси X, 15 мм по Y. По оси X – 9 точек, по Y 5 строчек. Всего 45 точек на каждом шаге нагрузки от 0 мм до 5 мм. Расположение точек совпадает с точками контроля при построении конечно-элементарной модели.

5. Оценка механических напряжений осуществляется на каждом шаге нагрузки. Шаг нагрузки соответствует прогибу образца на 1 мм. Максимальный прогиб, как и при контроле с помощью МКЭ, составляет 5 мм.

6. Образец, для которого осуществляется измерение НДС, имеет неоднородность остаточных напряжений, не учтённую при задании начальных условий для конечно-элементарной модели.

7. Измерение напряжений осуществляется в поверхностном слое с усреднением значений по глубине условно от 0 до 3 мм.

8. Результат измерений представлен в виде картограмм разности главных механических напряжений (РГМН) и численной информацией в каждой точке контроля в у.е., включая статистические параметры.

9. Позиционирование датчика прибора «StressVision» направлено вдоль образца по оси X в направлении действия главного тензора напряжений.

10. Результаты измерений при статическом изгибе по аналогии с расчётами представлены в таблице 14 в виде картограмм РГМН со срезом напряжений вдоль центральной области образца по оси X.

11. Настройки картограмм для таблицы 4: Режим фильтрации, шаг между уровнями 10, ожидаемый минимум 90, ожидаемый максимум 130.

12. Сопоставление теоретических и экспериментальных данных осуществляется по результатам контроля и расчётов механических напряжений в области проведения измерений и в центральной части рассматриваемого образца в точке максимального прогиба.

В таблице 1 представлены сводные данные посчитанных и экспериментально полученных результатов измерения механических напряжений с поправкой на калибровочный коэффициент.

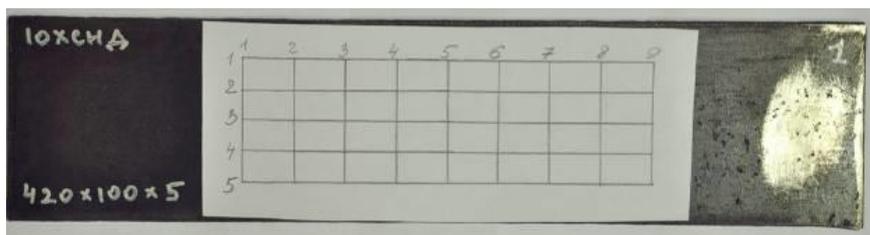


Рис. 1. Фото исследуемого образца с нанесенной координатной сеткой

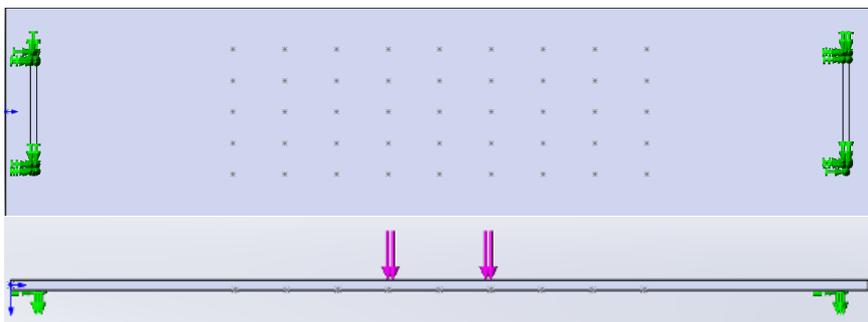


Рис. 2. Конечно-элементарная модель образца с приложенными нагрузками и зафиксированной геометрией

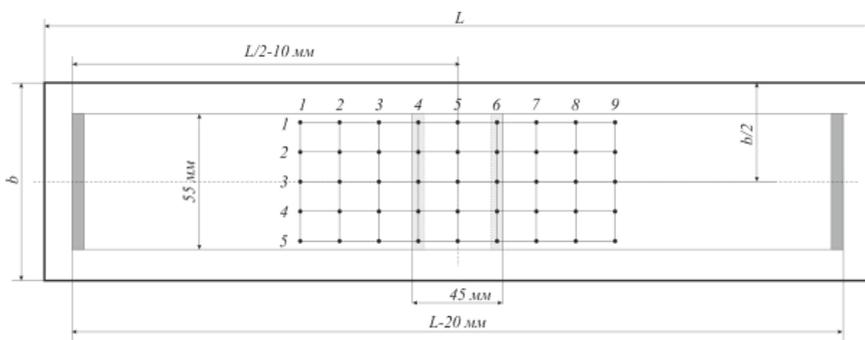


Рис. 3. Эскиз образца



Рис. 4. Устройство для 3-х точечного изгиба с прогибомером и загруженным в устройство образцом

2.4 Сопоставление результатов контроля

Сопоставление результатов контроля приведено в табличном виде в таблице 1. Условные обозначения примененные в таблице:

γ – максимальный прогиб

$\langle \sigma \rangle$ – среднее арифметическое значение механических напряжений по всей области контроля.

$\sigma_{(5;3)}$ – значение механических напряжений в точке с координатой (5;3).

$\Delta\sigma_{(5;3)}$ – приращение механических напряжений за вычетом остаточных напряжений в отсутствие деформаций при прогибе 0 мм ($\sigma_i - \sigma_0$, где i – величина прогиба).

k – калибровочный коэффициент.

Таблица 1. Сопоставление результатов контроля

γ , мм	Нагрузка, Н	МКЭ. $\langle \sigma \rangle$, МПа	РГМН. $\langle \sigma \rangle$, у.е	МКЭ. $\sigma_{(5;3)}$, МПа	РГМН. $\sigma_{(5;3)}$, у.е.	РГМН. $\Delta\sigma_{(5;3)}$, у.е.	k	РГМН. $\Delta\sigma_{(5;3)}$, МПа
0	0	0	62	0	67	0	4,4	0
1	1326	33	69	59	77	10		44
2	2652	66	76	119	94	27		119
3	3978	100	90	179	115	48		211
4	5304	133	101	239	122	55		242
5	6630	166	114	299	136	69		304

Выводы: По результатам оценки механических напряжений при статическом изгибе образца, изготовленного из марки стали 10ХСНД получена высокая корреляция при сопоставлении теоретических и экспериментальных данных в области проведения контроля. В случае оценки механических напряжений в точке максимального прогиба удалось установить калибровочную зависимость и построить линейную аппроксимацию. Однако данный калибровочный коэффициент характерен исключительно для пересчёта у.е. в МПа в условиях статического изгиба, так как извлечение полезного сигнала происходит с усреднением по глубине до 3 мм, где растягивающие напряжения имеют неоднородный характер по глубине.

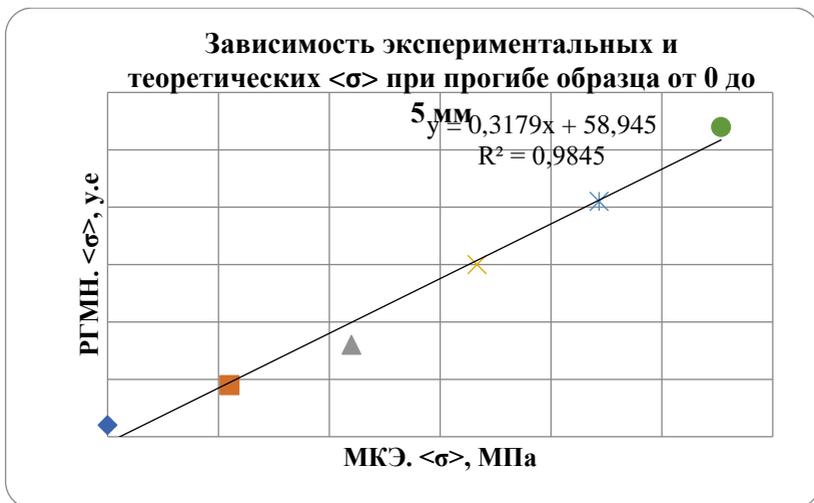


Рис. 5. График зависимости экспериментальных и теоретических напряжений при прогибе образца до 5 мм

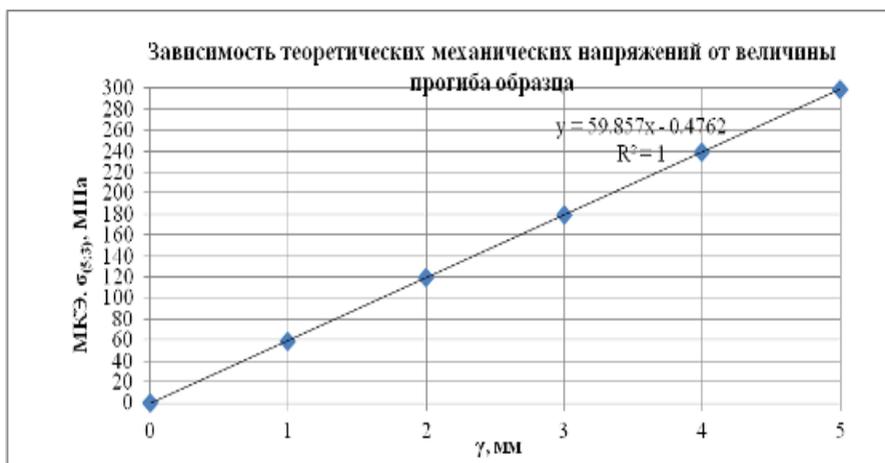


Рис. 6. График зависимости напряжений от величины прогиба образца

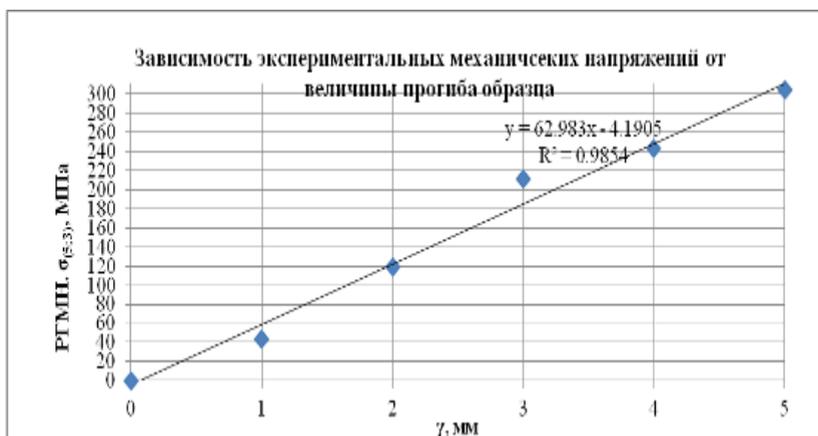


Рис. 7. График зависимости напряжений от величины прогиба образца с учетом калибровочного коэффициента