

**ВЛИЯНИЕ ДЕФЕКТОВ ФОРМИРОВАНИЯ ШВА НА ПРОЧНОСТЬ
СВАРНОГО СТЫКОВОГО ОДНОПРОХОДНОГО ШВА В ЗАВИСИМОСТИ
ОТ УРОВНЯ КАЧЕСТВА ПО ISO 5817**

Трембач Б. А., Трембач И. А.

Показано влияние концентраторов напряжений (дефекты формирования шва) на уровень напряжений в металле шва в зависимости от выбранного уровня качества согласно ISO 5817. Определение напряжений осуществлялось с помощью программного продукта SolidWorks с использованием метода конечных элементов. Показано, что с увеличением толщины металла чувствительность к концентраторам напряжений увеличивается, а величина напряжений растет с понижением уровня качества. Установлено, что наибольшую концентрацию напряжений вызывают такие дефекты как подрезы, вогнутость обратной стороны и протечи.

Показано вплив концентраторів напруження (дефекти формування шва) на рівень напружень в металі шва залежно від вибору рівня якості згідно з ISO 5817. Визначення напружень здійснювалось за допомогою програмного продукту SolidWorks з використанням методу кінцевих елементів. Показано, що зі зростанням товщини металу чутливість до концентраторів напруження збільшується, а величина напружень зростає зі зниженням рівня якості. Встановлено, що найбільшу концентрацію напружень викликають такі дефекти, як підрізи, угнутість зворотної сторони і протікання.

Shows the fatigue-strength (weld imperfections) influence upon the metal stress level depending on the chosen quality level of ISO 5817. The stress definition was realized with a Solid Works software product using the finite element method. Increasing the metal thickness the fatigue-strength sensibility increases either. And reducing the quality level, value of stress grows. It is ascertained that such defects as undercuts, root concavity and sagging provoke the most intensive fatigue-strength.

Трембач Б. А.

инженер-конструктор ОГК ГР и КПО, ПАО «НКМЗ»

Трембач И. А.

инженер-технолог ОГС, ПАО «НКМЗ»

illia.trembach@mail.ru

ПАО «НКМЗ» – ПАО Новокраматорский машиностроительный завод, г. Краматорск.

УДК 621.791.

Трембач Б. А., Трембач И. А.

ВЛИЯНИЕ ДЕФЕКТОВ ФОРМИРОВАНИЯ ШВА НА ПРОЧНОСТЬ СВАРНОГО СТЫКОВОГО ОДНОПРОХОДНОГО ШВА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УРОВНЯ КАЧЕСТВА ПО ISO 5817

Развитие научно-технического прогресса в области производства сварных конструкций экскаваторов, грузоподъемных кранов и другого оборудования требует снижение металлоемкости конструкций с целью уменьшения их энергопотребления в процессе работы. Применение низколегированных или высокопрочных сталей, а также новых методов расчета конструкций с использованием различных программных продуктов, позволяет значительно снизить запасы их прочности с целью снижения веса последних. Снижение запасов прочности приводит к повышению чувствительности металлоконструкций к различному роду концентраторов напряжений, при этом большое значение имеет качество сварных швов.

Качество сварных соединений в значительной мере определяет эксплуатационную надежность и экономичность конструкции. Наличие в сварных соединениях дефектов может привести к снижению прочности и других эксплуатационных характеристик изделия, а при некоторых обстоятельствах вызвать его аварию в процессе изготовления, монтажа или работы [1]. Применение после сварочной обработки металлоконструкций (термическая обработка, вибрационное нагружение и др.) не устраняют отрицательное влияние дефектов формирования шва [2]. Таким образом, необходимо учитывать влияние дефектов на сопротивление усталости сварных соединений в процессе проектирования конструкции.

Целью статьи является рассмотрение влияния различных дефектов формирования шва на снижение прочности стыкового соединения в зависимости от уровня качества в соответствии с ISO 5817.

В стандарте ISO 6520-1 приведена классификация дефектов по геометрическим параметрам в металлических материалах, которые образуются при сварке плавлением [3]. Стандарт ISO 5817 регламентирует три уровня качества D, C и B. При выборе уровня качества сварных соединений в каждом конкретном случае следует учитывать особенности конструкции, вид напряжений, условия эксплуатации и последствия повреждений. Большое значение имеют также и экономические факторы, в которые входят не только стоимость изготовления и контроля качества сварных соединений, но также и стоимость испытания и ремонта [4].

В данной работе показано влияние концентраторов напряжений в виде различных дефектов формирования сварного стыкового шва на уровень напряжений в последнем, в зависимости от выбранного уровня качества по ISO 5817 и толщины металла. Вычисление напряжений осуществлялось с помощью программного продукта SolidWorks, основанного на методе конечных элементов. Расчетная модель имеет следующие параметры (рис. 1). В качестве расчетных толщин b моделей приняты следующие значения: 6, 8 и 10 мм. При этом сварные швы нагружались одинаковой статической нагрузкой пропорционально их толщине (табл. 1).

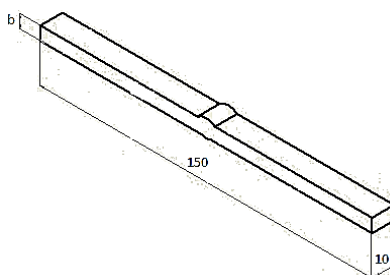


Рис. 1. Габаритные размеры расчетной модели

Таблица 1

Усилия в образцах

Толщина b, мм	6	8	10
Усилия N, Н	10 000	13 350	16 670
Расчетные напряжения $\sigma=N/F$, МПа	167	167	167

В расчетной модели принята сталь марки AISI 1020. Свойства материала приведены в табл. 2.

Таблица 2

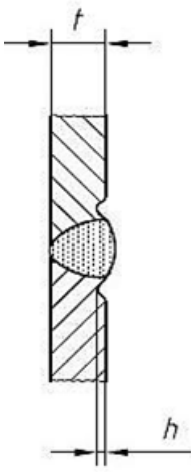
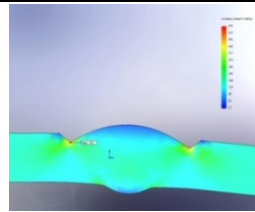
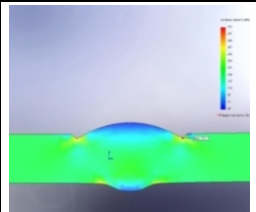
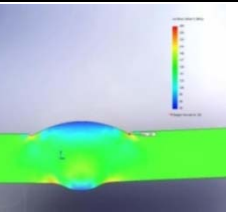
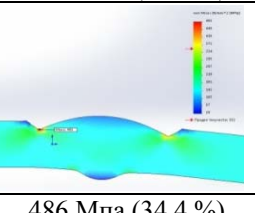
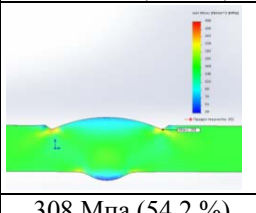
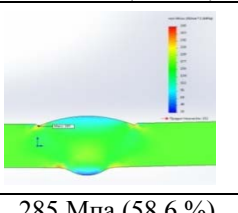
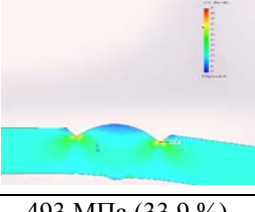
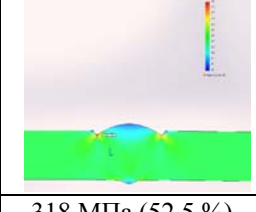
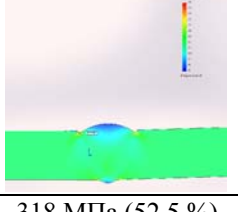
Физические и механические свойства исследуемого материала

Параметры свойств	Значение параметра
Модуль упругости	$2 \cdot 10^5$ МПа
Коэффициент Пуансона	0,29
Модуль сдвига	$7,7 \cdot 10^4$ МПа
Плотность	7 900 кг/м ³
Предел прочности	421 МПа
Предел текучести	352 МПа
Коэффициент термического расширения	$1,5 \cdot 10^{-5}$ 1/К
Теплопроводность	47 Вт/(м·К)
Теплоемкость	420 Дж/(кг·К)

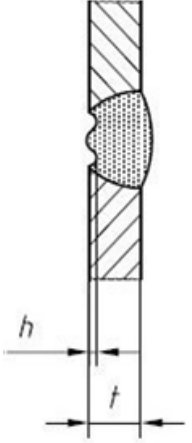
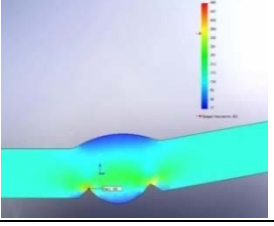
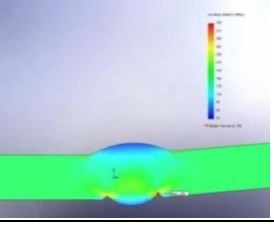
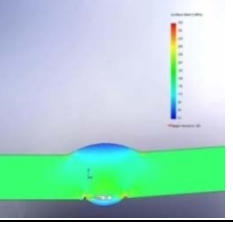
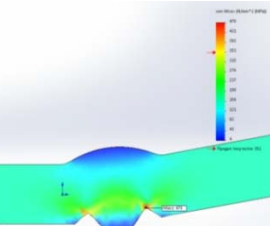
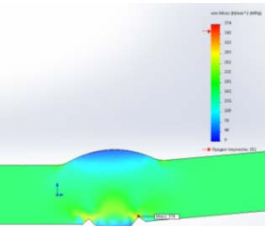
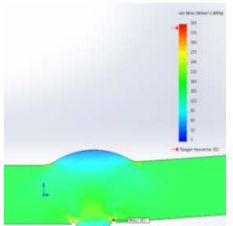
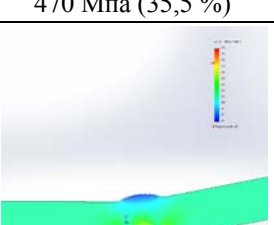
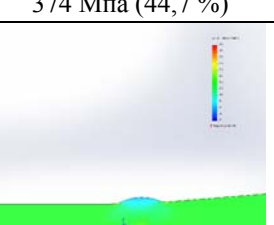
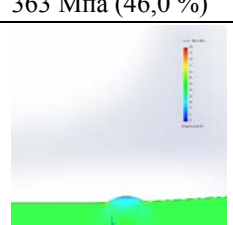
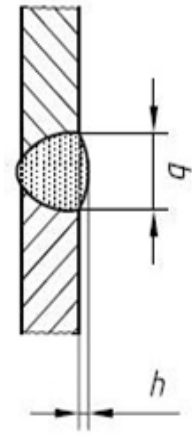
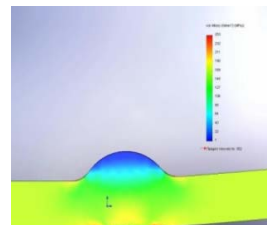
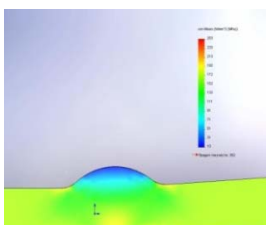
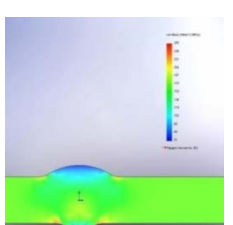
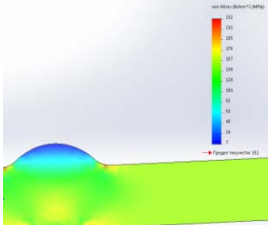
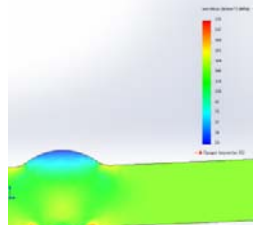
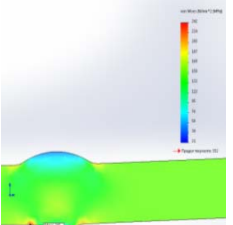
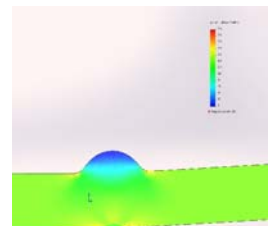
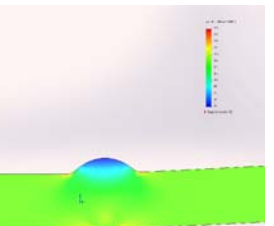
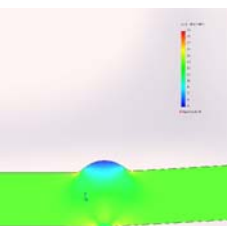
Результаты проведенных расчетов приведены в табл. 3. За эталон приняли расчетные напряжения табл. 1, для каждой толщины.

Таблица 3

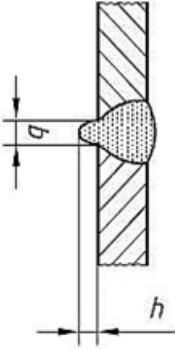
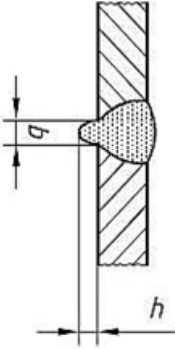
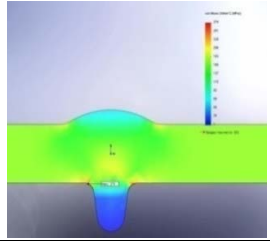
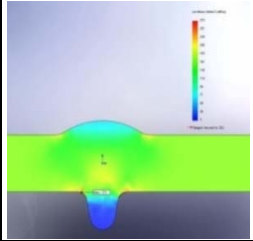
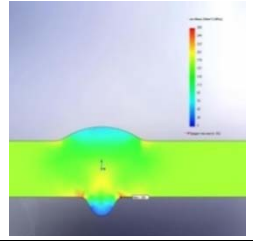
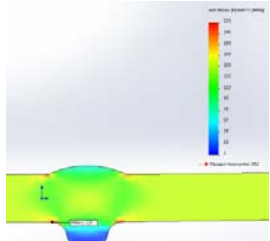
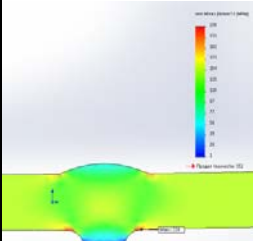
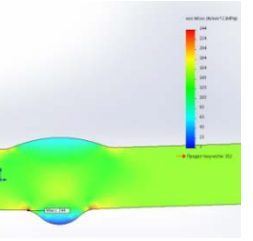
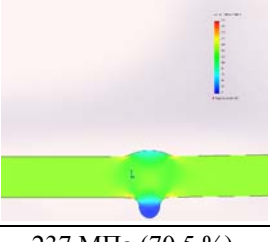
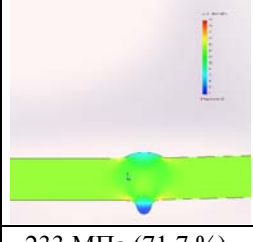
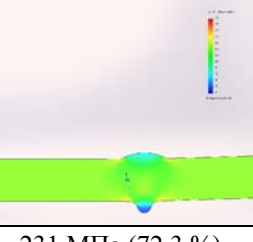
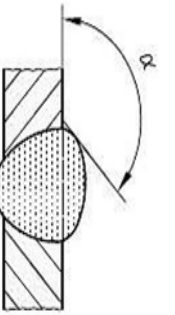
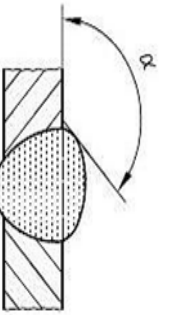
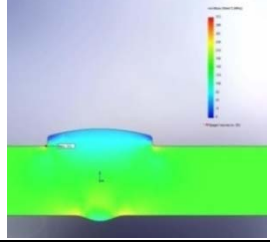
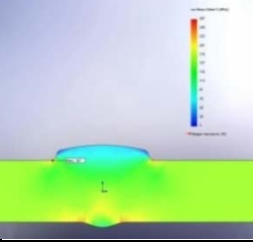
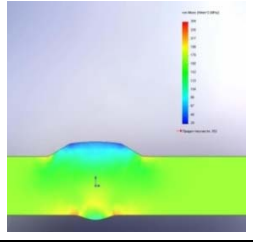
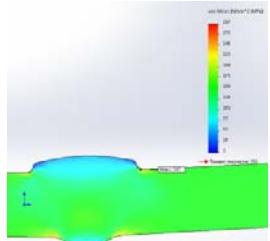
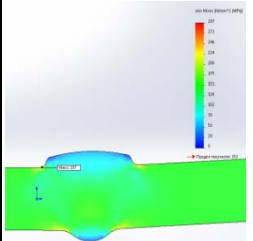
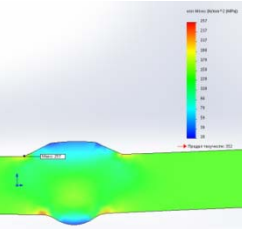
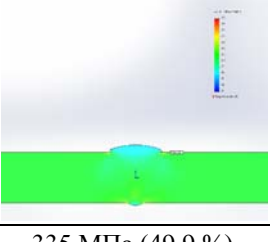
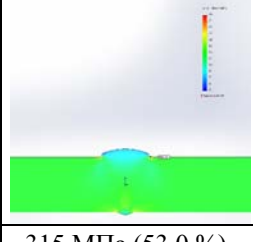
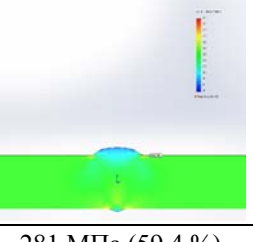
Представление уровня напряжений в зависимости от уровня качества и толщины

Дефект (ISO 6520-1)	Характеристика дефектов	Толщина, мм	Уровень качества согласно ISO 5817		
			D (Умеренный)	C (Промежуточный)	B (Жесткий)
1	2	3	4	5	6
Непрерывный подрез (5011)		6			
			453 МПа (36,9 %)	313 МПа (53,4 %)	289 МПа (57,8 %)
		8			
			486 МПа (34,4 %)	308 МПа (54,2 %)	285 МПа (58,6 %)
		10			
			493 МПа (33,9 %)	318 МПа (52,5 %)	318 МПа (52,5 %)

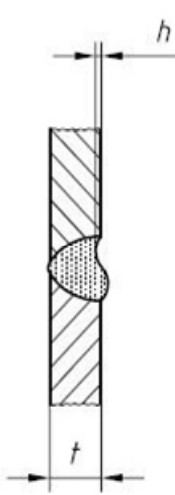
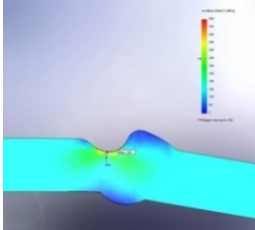
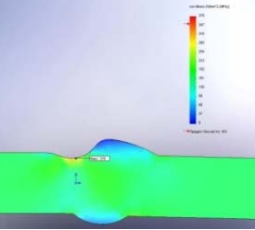
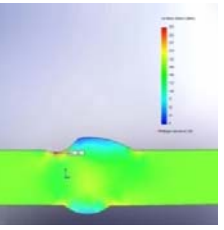
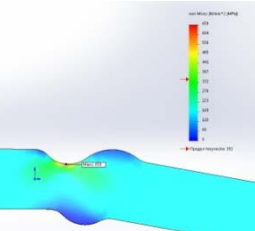
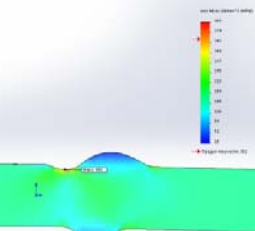
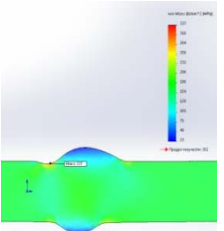
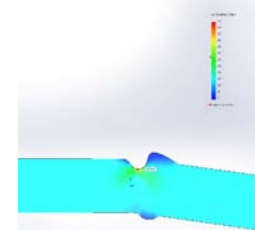
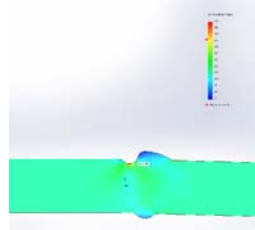
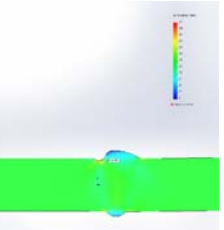
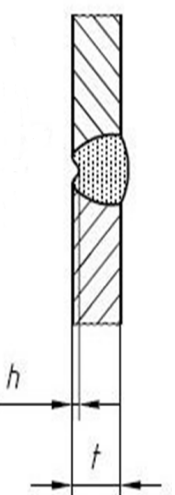
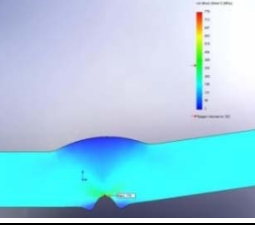
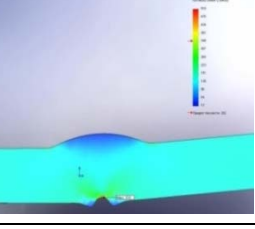
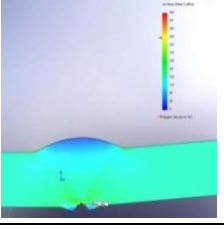
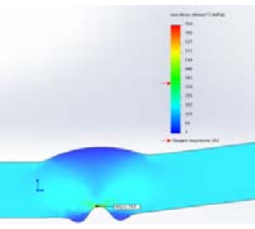
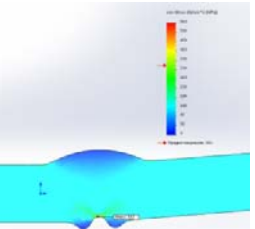
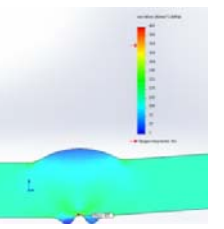
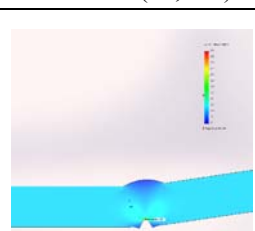
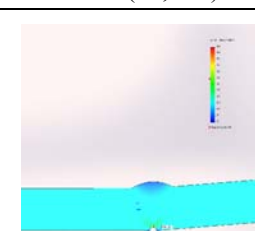
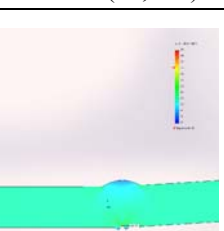
Продолжение табл. 3

1	2	3	4	5	6		
Неглубокий подрез под корнем (5013)		6	 <p>486 МПа (34,4 %)</p>	 <p>336 МПа (49,7 %)</p>	 <p>325 МПа (51,4 %)</p>		
		8	 <p>470 МПа (35,5 %)</p>	 <p>374 МПа (44,7 %)</p>	 <p>363 МПа (46,0 %)</p>		
		10	 <p>435 МПа (38,4 %)</p>	 <p>328 МПа (50,9 %)</p>	 <p>317 МПа (52,7 %)</p>		
		Избыток металла (502)		6	 <p>353 МПа (47,3 %)</p>	 <p>233 МПа (71,7 %)</p>	 <p>217 МПа (77,0 %)</p>
				8	 <p>242 МПа (69,0 %)</p>	 <p>235 МПа (71,1 %)</p>	 <p>232 МПа (72,0 %)</p>
				10	 <p>205 МПа (81,5 %)</p>	 <p>231 МПа (72,3 %)</p>	 <p>217 МПа (77,0 %)</p>

Продолжение табл. 3

1	2	3	4	5	6		
<p>Чрезмерный провар (503)</p> 		6	 <p>274 МПа (60,9 %)</p>	 <p>273 МПа (61,2 %)</p>	 <p>266 МПа (62,8 %)</p>		
		8	 <p>225 МПа (74,2 %)</p>	 <p>230 МПа (72,6 %)</p>	 <p>244 МПа (68,4 %)</p>		
		10	 <p>237 МПа (70,5 %)</p>	 <p>233 МПа (71,7 %)</p>	 <p>231 МПа (72,3 %)</p>		
		<p>Неправильная граница наружной поверхности шва (505)</p> 		6	 <p>312 МПа (53,5 %)</p>	 <p>267 МПа (62,5 %)</p>	 <p>254 МПа (65,7 %)</p>
				8	 <p>315 МПа (53,0 %)</p>	 <p>297 МПа (56,2 %)</p>	 <p>257 МПа (65,0 %)</p>
				10	 <p>335 МПа (49,9 %)</p>	 <p>315 МПа (53,0 %)</p>	 <p>281 МПа (59,4 %)</p>

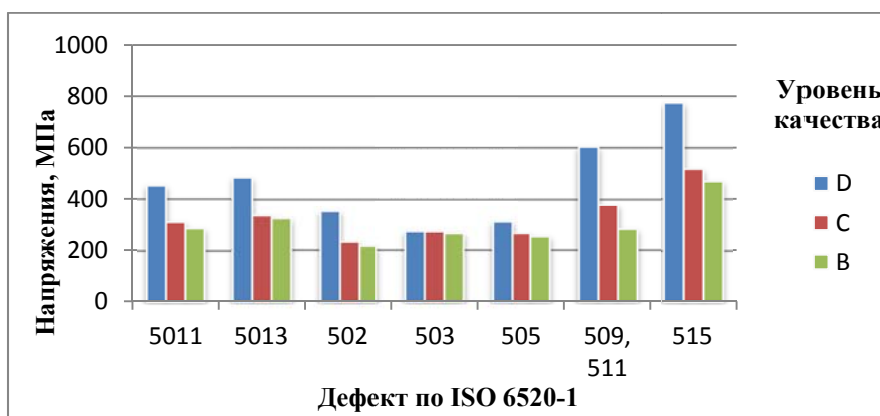
Продолжение табл. 3

1	2	3	4	5	6		
Протек (509) Неполное заполне- ние под- готовлен- ной кром- ки (511)		6	 <p>604 МПа (27,6 %)</p>	 <p>378 МПа (44,2 %)</p>	 <p>283 МПа (59,0 %)</p>		
		8	 <p>659 МПа (25,3 %)</p>	 <p>406 МПа (41,1 %)</p>	 <p>337 МПа (49,6 %)</p>		
		10	 <p>643 МПа (26,0 %)</p>	 <p>454 МПа (36,8 %)</p>	 <p>343 МПа (48,7 %)</p>		
		Вогну- тость об- ратной стороны (515)		6	 <p>776 МПа (21,5 %)</p>	 <p>518 МПа (32,2 %)</p>	 <p>469 МПа (35,6 %)</p>
				8	 <p>764 МПа (21,9 %)</p>	 <p>563 МПа (29,7 %)</p>	 <p>425 МПа (39,3 %)</p>
				10	 <p>893 МПа (18,7 %)</p>	 <p>604 МПа (27,6 %)</p>	 <p>456 МПа (36,6 %)</p>

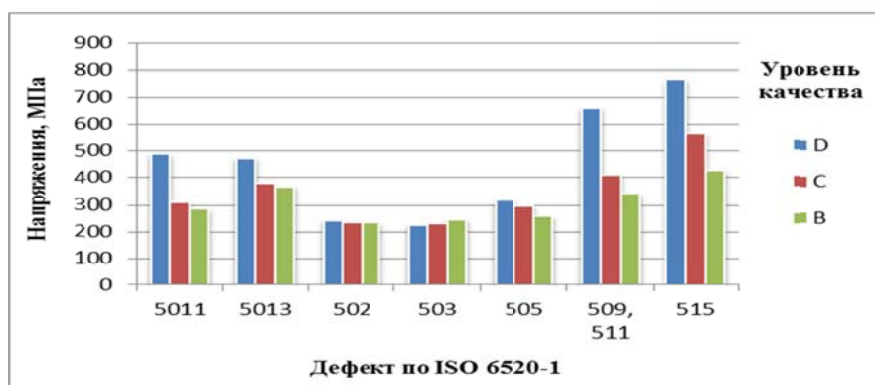
Для всех дефектов (табл. 3), кроме избытка металла (502) и чрезмерного провара (503), характерно повышение уровня напряжений в сварном соединении при снижении уровня качества от В к D согласно ISO 5817.

Изменение уровня напряжений при изменении толщины металла для исследуемых дефектов имеет не однозначный характер. Для таких дефектов формирования шва, как 5011, 505, 511 и 515 с увеличением толщины металла от 6 до 10 мм наблюдается повышение уровня напряжений в сварном соединении, в то время как для дефектов 5013, 502 и 503 обнаруживается обратная зависимость, т. е. с увеличением толщины металл от 6 до 10 мм напряжения в сварном соединении уменьшаются. Это может быть объяснено влиянием масштабного фактора.

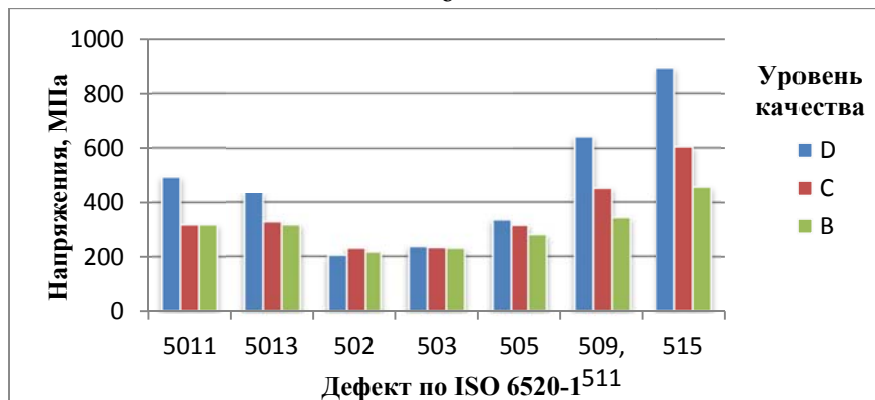
Сравнительные диаграммы полученных результатов приведены на рис. 2 и рис. 3.



а



б



в

Рис. 2. Зависимость уровня максимальных напряжений для различных дефектов и уровней качества в зависимости от толщины металла:

а – 6 мм; б – 8 мм; в – 10 мм

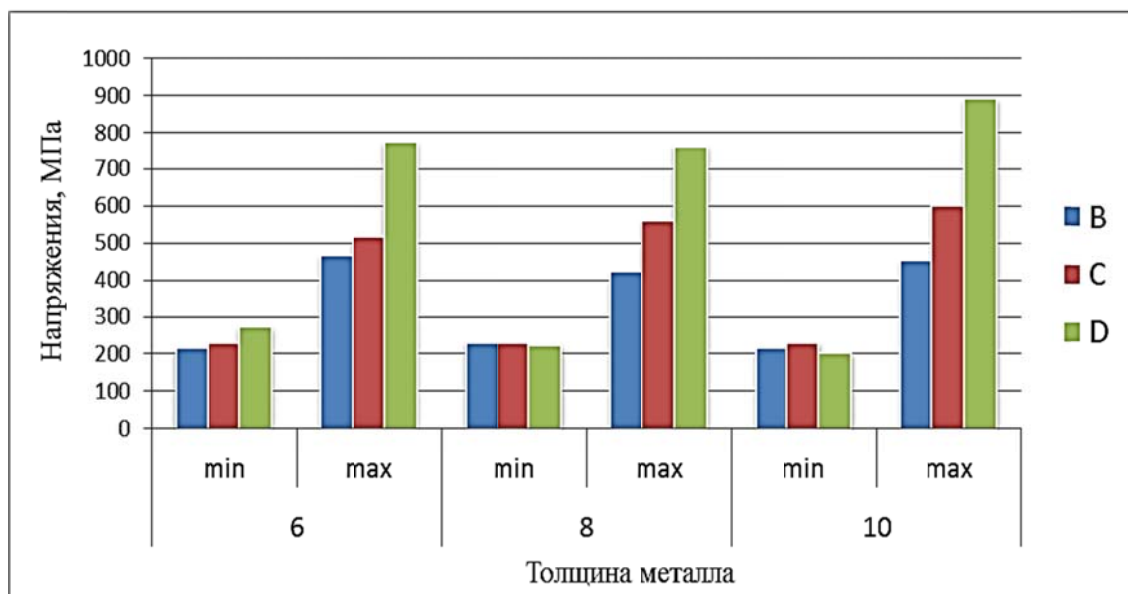


Рис. 3. Величина напряжений в зависимости от уровня качества и толщины металла

Полученные данные свидетельствуют (рис. 2), что такие дефекты как избыток металла (502), чрезмерный провар (503) и неправильная граница наружной поверхности шва (505) являются менее важными по сравнению с другими. С увеличением излишнего металла (502) концентрация напряжений у выпуклости шва возрастает, а у корня шва – снижается.

Из приведенных данных (рис. 3) видно, что с увеличением толщины чувствительность к концентраторам напряжений увеличивается. Кроме того, величина напряжений растет с понижением уровня качества.

ВЫВОДЫ

1. Исследовано влияние дефектов формирования шва в зависимости от уровня качества по ISO 5817 и толщины металла на величину напряжений с применением программного продукта SolidWorks для однопроходных стыковых швов.
2. С увеличением толщины сварного соединения в расчетной модели чувствительность к концентраторам напряжений возрастает.
3. Чрезмерная выпуклость шва не вызывает повышения прочности шва, а только увеличивает расход сварочных материалов.
4. Значительно снижают прочность подрезы, вогнутость обратной стороны и протечи.
5. С уменьшением уровня качества сварного шва максимальные напряжения растут.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / под ред. Б. Е. Патона. – М. : Машиностроение, 1974. – 768 с.*
2. *Сварные строительные конструкции. Т.1. Основы проектирования конструкций / под ред. Л. М. Лобанова. – К. : Наукова думка, 1993. – 416 с.*
3. *ISO 6520-1:2007 «Сварка и родственные процессы – Классификация дефектов по геометрическим параметрам в металлических материалах – Часть 1: Сварка плавлением».*
4. *ISO 5817:2014 «Сварка – Сварные соединения в стали, никеле, титане и других сплавах (кроме лучевой сварки) выполненные сваркой плавлением – Уровни качества для дефектов».*