## М. Н. ФИЛИППОВ<sup>1</sup>, А. Л. МИНЬКОВ<sup>1</sup> Научный руководитель С. В. МЕДВЕДЕВ<sup>2</sup>, д-р техн. наук <sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет <sup>2</sup>Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси Минск, Беларусь

Проведены моделирование в средах ANSYS и LS-DYNA при многопроходной сварке температурных полей и расчёт термических напряжений и деформаций, а также величины коробления пластины 200 × 100 × 10 мм из жаропрочной хромомолибденовой стали Р91. Двойной эллипсоид Голдака был использован в качестве трёхмерного источника нагрева. Моделирование проводилось в два этапа: получение распределения тепловых полей; деформационный анализ.

Цель работы – провести трёхмерное моделирование напряженно-деформированного состояния в процессе многопроходной сварки пластины 200 × 100 × 10 мм и рассчитать напряжения и остаточные деформации в общей трехмерной постановке с применением метода МКЭ [1].

Расчёты проводились для автоматической аргонодуговой сварки с неплавящимся электродом и погруженной дугой при  $\eta_u = 0,6$ , I = 200 A, U = 25 B,  $v_{c6} = 1$  мм/с и погонной энергии сварки q = 3 кДж/мм. Справочные данные по теплофизическим и механическим свойствам стали P91, которые использовали при расчете, взяты из [2]. Моделирование сварки пластины проводили в три прохода с V-образной разделкой кромок при следующих максимальных температурах: источника тепла корневого шва – 2000 °C; источника тепла облицовочного шва правого и левого – 3000 °C. Количество элементов сетки – 438375.

Основные результаты.

1. Построена геометрическая модель пластины с конечно-элементной сеткой переменного размера: мелкая – в зоне шва и крупная – на остальных участках.

2. Определены максимальные остаточные растягивающие напряжения по фон Мизесу после сварки ( $\sigma = 453$  МПа) и рассчитана остаточная деформация (коробление) после сварки по толщине пластины (ось Y = 1,6 мм).

3. Рассчитаны термические напряжения во времени при трехпроходной сварке правого (рис. 1) и левого торца пластины относительно начала сварки. Максимальные растягивающие напряжения возникают в центре правого торца – 28 МПа, а в центре левого торца – 29 МПа. Остаточные максимальные растягивающие напряжения в конце правого торца пластины – 4,2 МПа, а в середине левого торца пластины – 7 МПа.



Рис. 1. Изменения термических напряжений во времени при трехпроходной сварке правого торца пластины относительно начала сварки

4. Рассчитаны изменения термических напряжений во времени при трехпроходной сварке переднего (рис. 2) и заднего (рис. 3) торца пластины относительно начала сварки. Термические напряжения во время сварки максимальны в середине переднего левого торца (кривая С) и равны 375 МПа при втором проходе, а также максимальны в середине заднего левого торца (кривая С) и равны 325 МПа при втором проходе. Остаточные растягивающие напряжения максимальны в середине переднего левого торца пластины (кривая С (255 МПа)) и ближе к шву (кривая D (325 МПа)), а остаточные растягивающие напряжения максимальны в середине заднего левого торца пластины (кривая С (100 МПа)) и ближе к шву (кривая D (280 МПа)).



Рис. 2. Изменения термических напряжений во времени при трехпроходной сварке переднего торца пластины относительно начала сварки



Рис. 3. Изменения термических напряжений во времени при трехпроходной сварке заднего торца пластины относительно начала сварки

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Prediction of deformation for large welded structures based on inherent stain / Yu Lu [et al.] // Trans. JWRI. – 2004. – Vol. 33, № 1. – P. 65–70.

2. T91/P91 Steel [Electronic resource]. – Mode of access: metalspiping.com.

107