

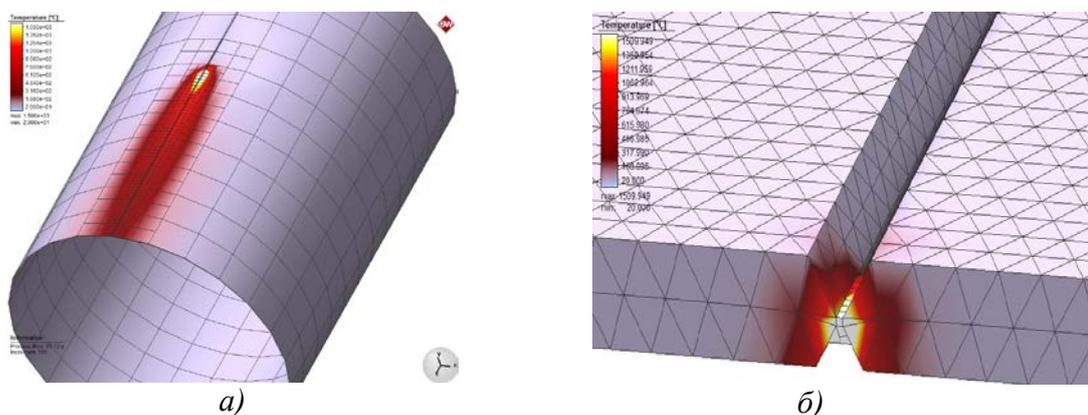
## Численное моделирование комбинированного способа сварки (135+121) продольных и кольцевых швов обечаек

Студент гр.10403116 Назаров Д.А.  
Магистрант: Фигурин Ф.К.  
Валов А.С. (инженер по сварке ОАО «Беларуськалий»)  
Научный руководитель – Бендик Т.И.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Наиболее ответственной частью стыковых сварных соединений трубопроводов и обечаек является первый проход, так называемый, корневой шов. От технологии его выполнения зависит надежность и работоспособность всего стыкового соединения. Без применения различных технологических приемов качественно выполнить корневой шов при автоматической сварке оказывается сложно из-за требований высокой точности сборки стыка под сварку, а для обечаек большого габарита это часто представляется затруднительным.

Комбинированный способ сварки включает выполнение корневого шва роботизированной сваркой в среде защитных газов (способ сварки 135 по СТБ ISO 4063), а заполнение разделки кромок – сваркой под флюсом (способ сварки 121 по СТБ ISO 4063). Предварительное наложение подварочного шва позволяет решить задачу качественного формирования корневого прохода многослойных стыковых соединений при условии рационального выбора параметров режима для двух из вышеприведенных способов дуговой сварки.

Для решения задачи выбора параметров режима комбинированной сварки и минимизации проведения натурных экспериментов разработана конечно-элементная модель многопроходных стыковых сварных соединений, выполняемых комбинированным (135+121) способом сварки. При моделировании процесса сварки, связанного со значительными градиентами температур в зоне шва, использована повышенная дискретизация сетки и адаптивное разбиение конечных элементов (рисунок 1, а, б).



*а)* – внешний вид геометрии обечайки; *б)* – геометрия разделки кромок под сварку  
Рисунок 1 – Дискретизация сетки конечных элементов в зоне сварки при движении источника нагрева

Для моделирования источника нагрева была использована модель Голдака [3], в которой источник тепла рассматривается, как неосесимметричная трехмерная модель с плотность теплового потока распределенной по закону Гаусса в области, представленной двойным эллипсоидом. Предложенная конечно-элементная расчётная модель обеспечивает решение следующих задач: исследование особенностей образования сварного соединения с возможностью

произвольной корректировки основных параметров режима сварки; оценка влияния параметров режима сварки на термический цикл образования сварного соединения и его геометрические размеры (ширину шва, глубину проплавления); прогнозирование поведения конструкции под влиянием протекания процесса сварки и во время охлаждения.

С целью снижения количества проходов при сварке (рисунок 2) предложен вариант применения разделки кромок по п. 2.5.5 СТБ ИСО 9692-2-2006 [1] вместо более широко применяемой разделки С21 по ГОСТ 8713-79 [2].



Рисунок 2 – Варианты заполнения разделки кромок при комбинированной сварке  
*а* – тип разделки С21 по ГОСТ 8713-79; *б* – предлагаемая разделка кромок по п. 2.5.5 СТБ ИСО 9692-2-2006

По результатам анализа температурных полей (рисунок 3, а) определены диапазоны режимов сварки многопроходных стыковых соединений из мелкозернистой стали Р460NL2, обеспечивающие формирование сварного соединения толщиной 13 мм: для 135 способа сварки – сварочный ток  $I_{св} = 170 - 220$  А, напряжение на дуге  $U_{д} = 24 - 26$  В при скоростях сварки  $V_{св} = 15 - 20$  м/ч; 121 способ сварки – сварочный ток  $I_{св} = 550 - 650$  А, напряжение на дуге  $U_{д} = 32 - 36$  В при скоростях сварки  $V_{св} = 25 - 35$  м/ч.

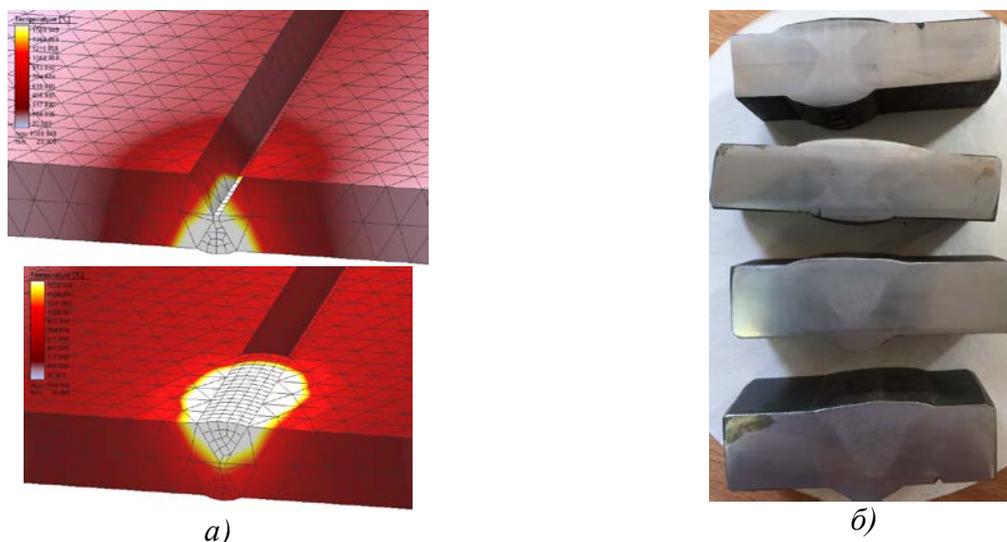


Рисунок 3 – Результаты теоретических и экспериментальных исследований  
*а* – распределение температурных полей при заполнении разделки кромок; *б*) – шлифы сварных соединений

На вышеприведенных режимах сварки получены шлифы сварных соединений, позволившие верифицировать данные численных расчетов по геометрическим параметрам сварных соединений: ширине шва, глубине проплавления, и т.д. (рисунок 3, б). Полученные результаты исследований

имеют свою практическую значимость на фоне отсутствия в литературных источниках и нормативной документации обоснованных рекомендаций по количеству проходов и параметрам режима сварки для комбинированных способов сварки.

#### **Список использованных источников**

1. СТБ ИСО 9692-2-2006 Сварка и родственные процессы. Типы подготовки соединений. Часть 2. Дуговая сварка сталей под флюсом. – Введ. 01.05.2006. – Мн.: Госстандарт, 2006. – 20 с.
2. ГОСТ 8713-79 Сварка под флюсом. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры. – Введ. 01.01.2081. – М.: Госстандарт, 1979. – 40 с.
3. Goldak, J. A., Computational Welding Mechanics, Springer Science+Business Media, Inc. USA, 2005, p. 325.