

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА СВАРКИ СУДОВЫХ КОРПУСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

CAE «WERTSIM»

COMPUTER-AIDED ENGINEERING «WELDING AND RELATED TECHNOLOGIES SIMULATION»

Дикшев Игорь Владиславович

ОБЪЕКТ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА: ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ СУДОВЫХ КОРПУСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

UMOSS



«Одним из главных рисков для развития российского промышленного судостроения является высокая стоимость и длительные сроки строительства. Строительство судна в России обходится минимум в два раза дороже, чем за рубежом.»

Константин Глобенко, генеральный директор РРПК

<https://paluba.media/news/203350>



Задачи, в решении которых поможет имитационное моделирование сварки судовых корпусных конструкций:

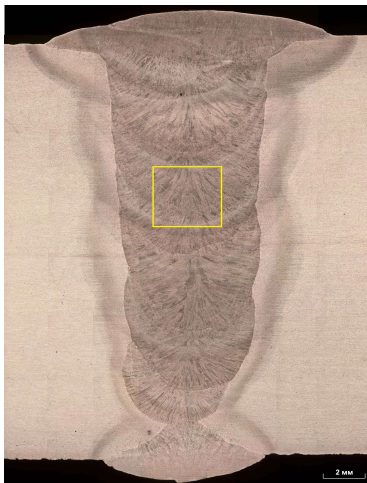
- повышение производительности труда и снижение производственных издержек;
- кадровый дефицит и снижение квалификационных требований к производственному персоналу;
- цифровизация стадии технологической подготовки;
- автоматизация и роботизация судостроительных производств.

ОБЪЕКТ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА: АСПЕКТ ПЕРВЫЙ

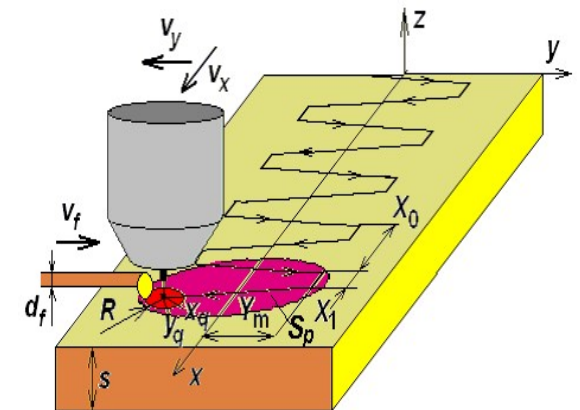
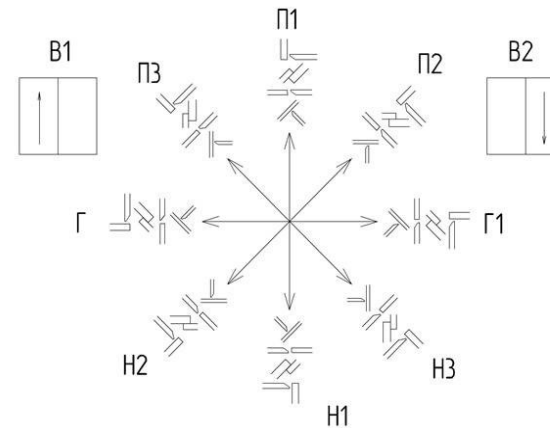
КОНСТРУКТИВНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА СВАРКИ

UMOSS

- Многообразие конструктивных форм сварных соединений
- Многообразие материалов
- Большое количество проходов при сварке листов значительной толщины



| | | |
|-----|--|--|
| У10 | | |
| T1 | | |
| T5 | | |



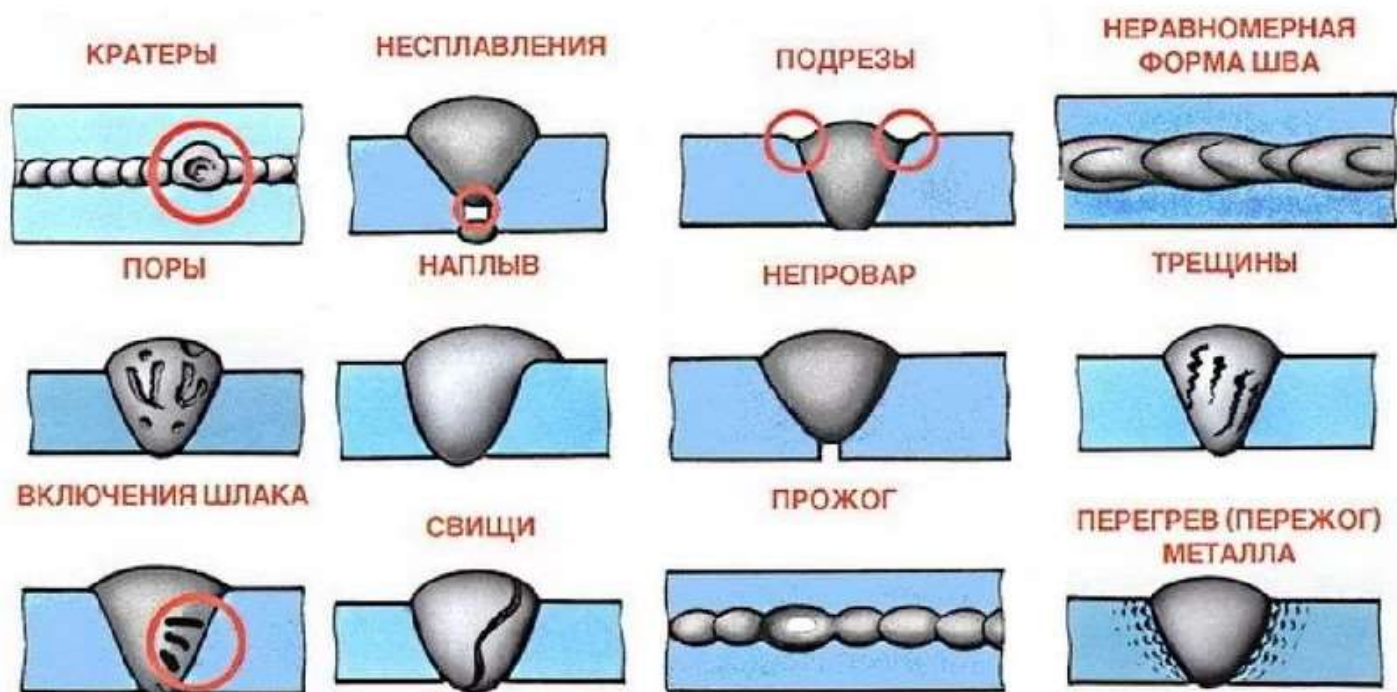
- Сварка швов в различных пространственных положениях: нижнем Н, вертикальном В, потолочном П, горизонтальном Г и их комбинациях
- Сварка с поперечными колебаниями электрода, которые характеризуются амплитудой, периодом и задержкой в крайних положениях

ПРОБЛЕМА: ПРОГНОЗ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

КАК НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТАК И В ПРОЦЕССЕ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ

UMOSS

Наиболее распространенные дефекты сварных швов



ОБЪЕКТ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА: АСПЕКТ ВТОРОЙ

КОНСТРУКТИВНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СВАРКИ СУДОВЫХ КОРПУСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

UMOSS

- Сварные конструкции сложной геометрии больших размеров
- Сварка плавящимся электродом в защитном газе (GMAW) или под флюсом (SAW)
- Множество разнонаправленных сварных швов, различно расположенных относительно друг друга и оказывающих совместное влияние на напряженно-деформированное состояние конструкции (подборки)
- Локальные и общие деформации сварных подборок, затрудняющие последующие сборку и сварку корпусов

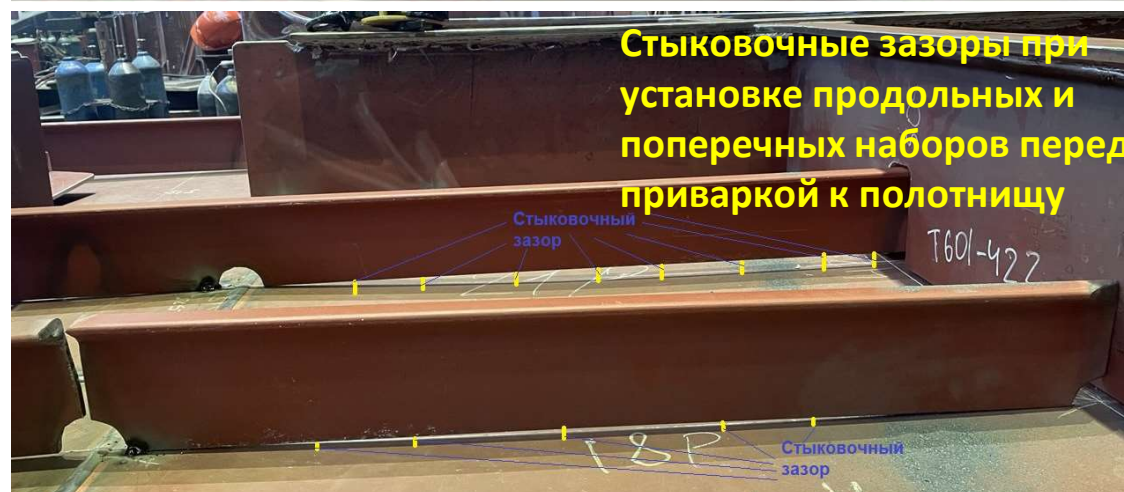


ПРОБЛЕМА: СВАРОЧНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ЛИСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

СНИЖЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И УВЕЛИЧЕНИЕ РАСХОДА МАТЕРИАЛОВ

UMOSS

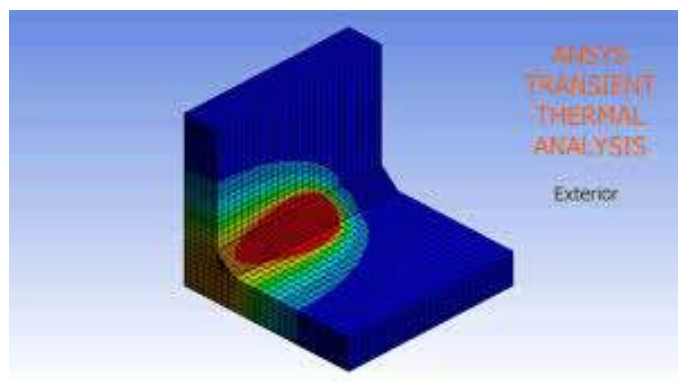
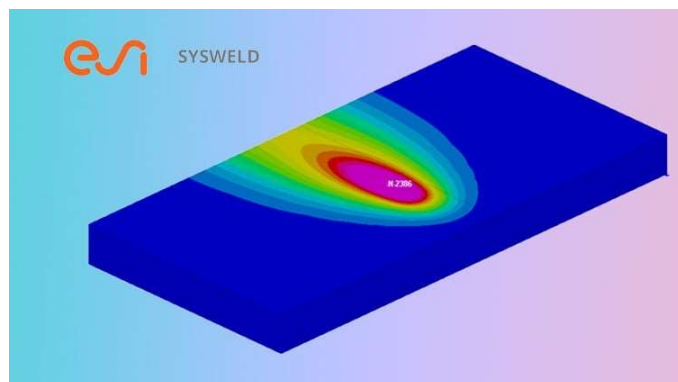
Требуется значительное время для уменьшения сварочных деформаций между технологическими переходами, что снижает производительность труда и увеличивает расход материалов



КАК ПРОБЛЕМА ДЕФОРМАЦИЙ РЕШАЕТСЯ В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ?

1. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РАСЧЕТЫ С ПОМОЩЬЮ УНИВЕРСАЛЬНЫХ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫХ ПАКЕТОВ

UMOSS



Существующие CAE

- **Ansys** (Западное)
- **Abaqus** (Западное)
- **Marc** (Западное)
- **Sysweld** (Западное)
- **Simufact Welding** (Западное)
- **Вертикаль** (Отечественное)
- **Bazis** (Отечественное)

Ограничения для применения

- Требуют спецподготовки
- Сложные в использовании
- Требуют CAD/FEM-сеток
- Учтены не все процессы
- Очень долгие расчёты
- Универсальные и не учитывают специфику отрасли: множество швов, термоправка элементов и пр.

КАК ПРОБЛЕМА ДЕФОРМАЦИЙ РЕШАЕТСЯ В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ?

2. НЕПОСРЕДСТВЕННО В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА: ПОДГОНОЧНЫЕ РАБОТЫ

UMOSS

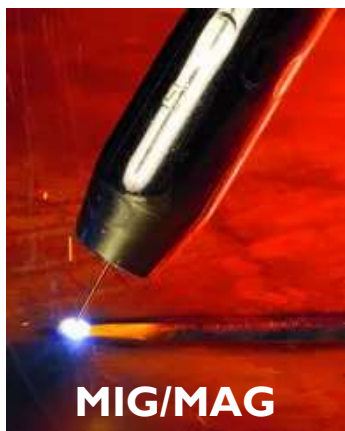


- Прихватка упорных рамок, установка домкратов, подгонка стыков, демонтаж домкратов
- Термическая правка отдельных деталей

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СВАРКИ И РОДСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

CAE «WERTSIM» - ПРОДУКТ, ОБЪЕДИНЯЮЩИЙ РАЗНЫЕ ТИПЫ ПРОЦЕССОВ В ОДНОЙ СИСТЕМЕ

UMOSS



MIG/MAG



SAW



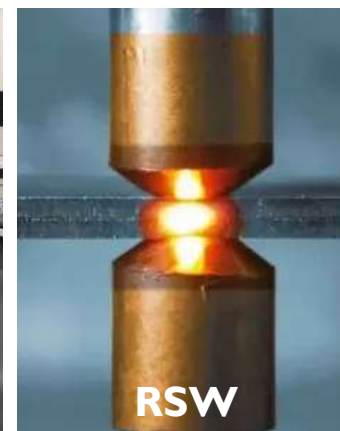
TIG



LaW



EBW



RSW



RPW



FBW



FW



FSW



WAAM

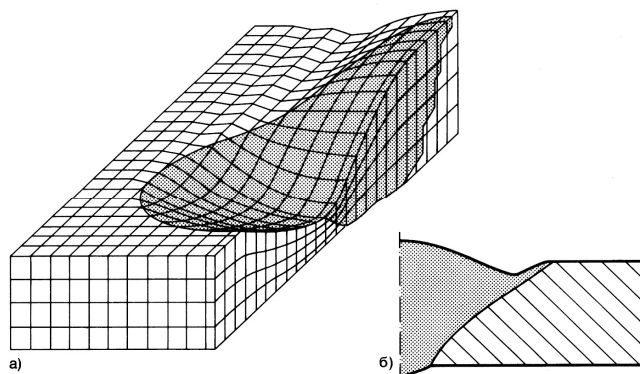


LMD

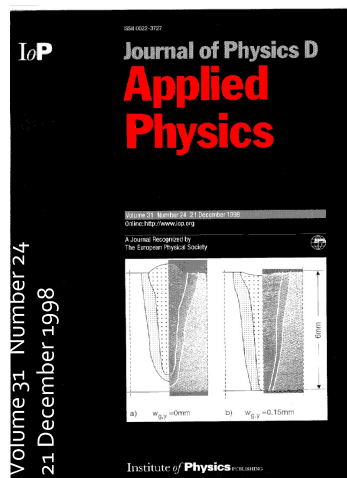
ОТЕЧЕСТВЕННОЕ ПРОГРАММНОЕ РЕШЕНИЕ МИРОВОГО УРОВНЯ

CAE «WERTSIM» - ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ

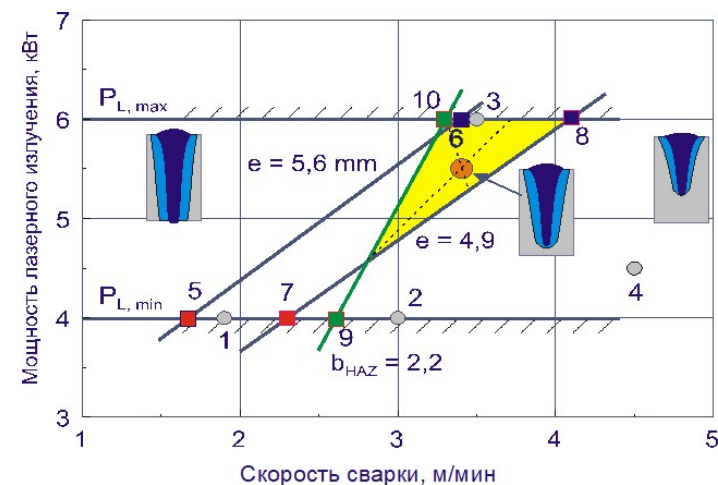
UMOSS



Численное моделирование и компьютерная имитация высокотемпературных процессов на основе уникальных алгоритмов, разработанных и эволюционировавших в результате многолетних исследований, проведённых в российской научной школе численного анализа и моделирования сварочных процессов на кафедре Сварки в Тульском государственном университете под руководством д.т.н. проф. Судника В.А.



Основные расчетные алгоритмы были ранее верифицированы по экспериментальным данным по методике проверки имитационных моделей с использованием статистических критериев достоверности и прошли проверку многолетней эксплуатацией на отечественных и международных предприятиях. Методика верификации была опубликована в научном журнале «Прикладная физика», а один из слайдов вынесен на обложку журнала.

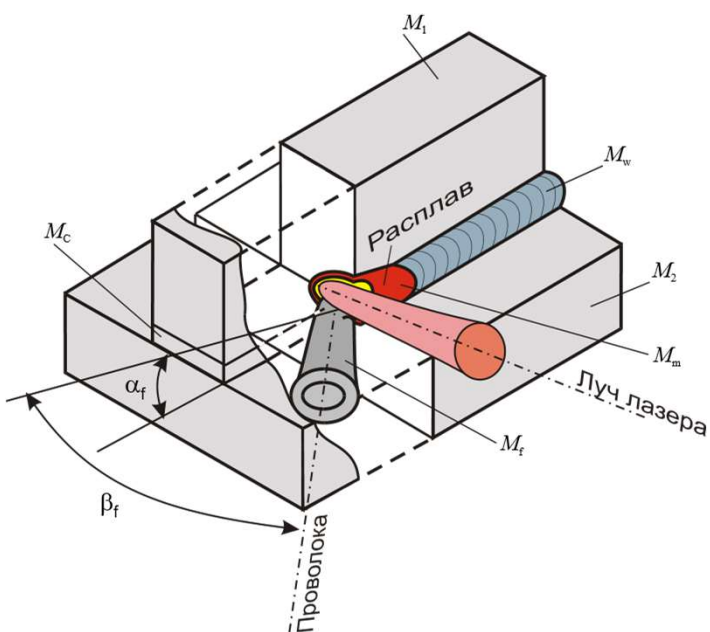


Система позволяет проводить вычислительные эксперименты над имитационными моделями для решения как прямых (анализ), так и обратных (синтез и оптимизация) задач, математической физики для всестороннего исследования высокотемпературных процессов сварки и родственных технологий.

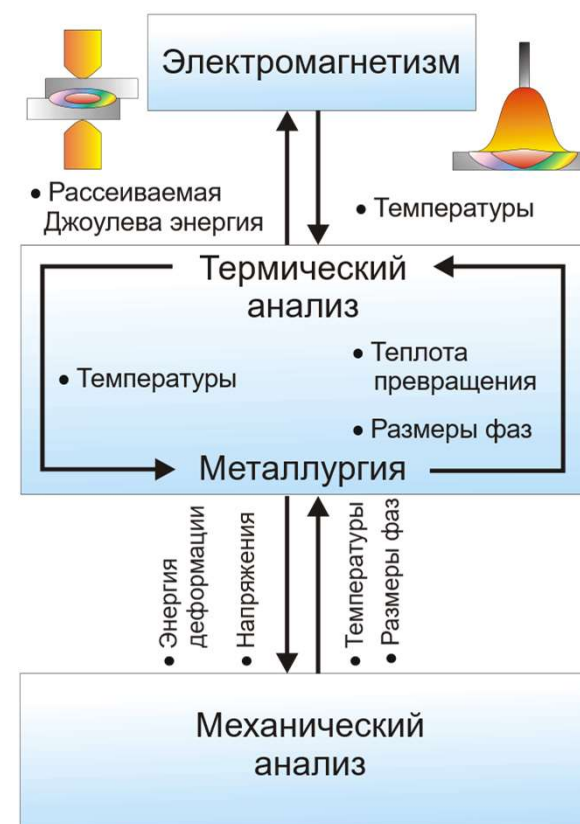
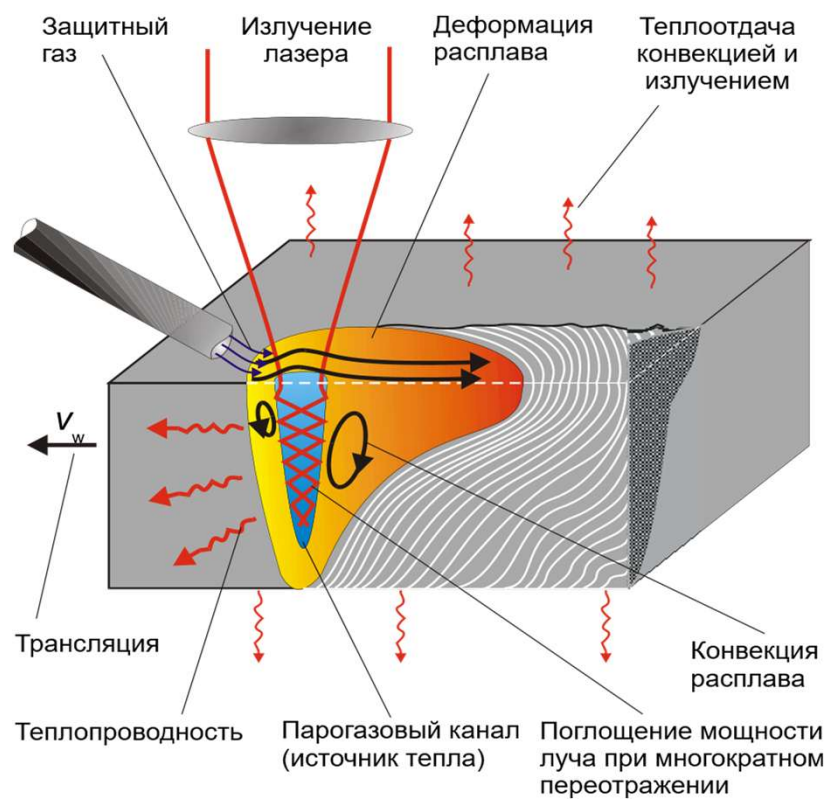
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

УЧИТЫВАЮТСЯ ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ЛОКАЛЬНОЙ ЗОНЕ ТЕРМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ

UMOSS



**Схематичное
представление
процесса лазерной сварки**





Быстрые инженерные расчеты

- * Учитываются только основные физические явления и их влияние на целевые характеристики качества
- * Зона моделирования ограничена зоной сварки (расплав, шов, ЗТВ)
- * Применяются быстрые численные методы: метод контрольных объемов и метод конечных разностей



Интуитивно понятный инженеру-технологу интерфейс

Интерфейс ввода исходных данных приближен к интерфейсам сварочных установок и не требует от пользователей специальной подготовки

Задания на моделирование могут поступать автоматически через API из внешних информационных систем



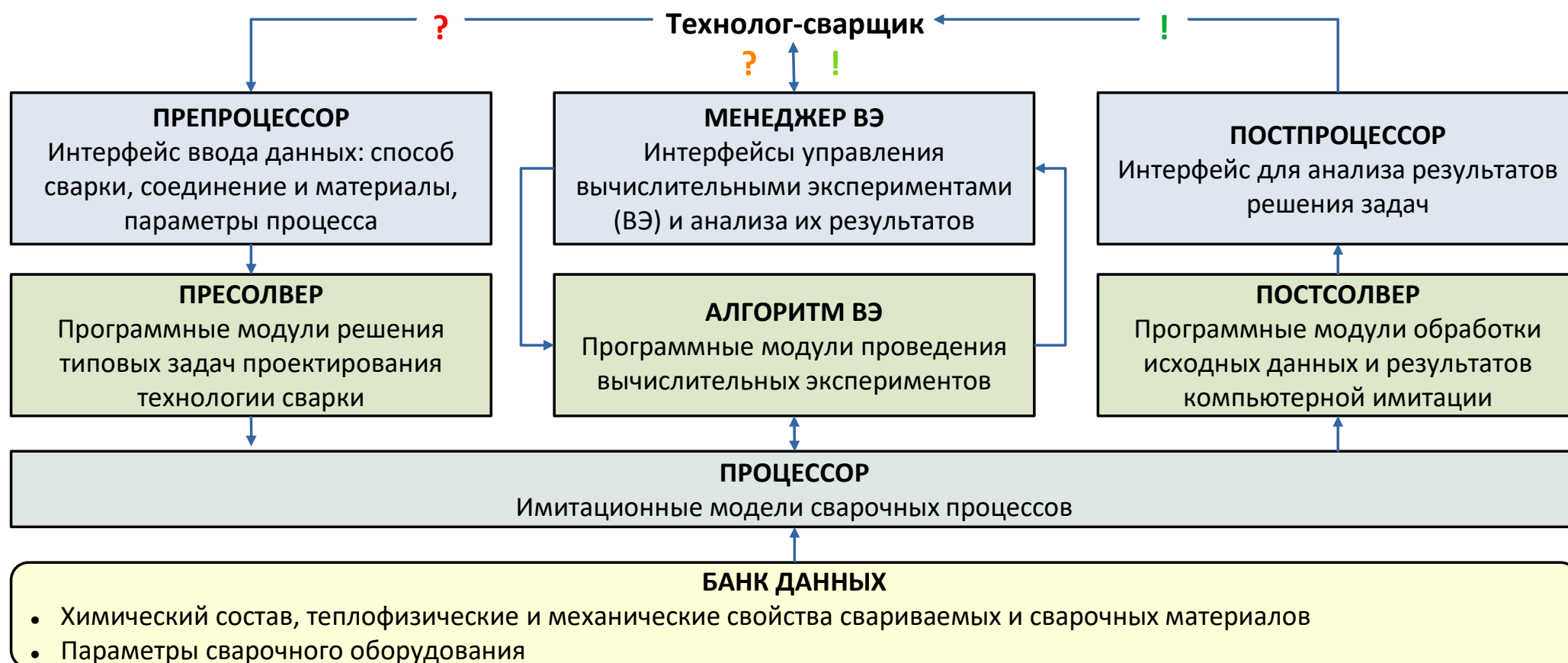
Бесшовная интеграция с CAD, CAE, MES, FEM

Результаты моделирования имеют наглядное и информативное представление и могут передаваться через API во внешние информационные системы

ИНЖЕНЕРНЫЙ АНАЛИЗ СВАРКИ И РОДСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

CAE «WERTSIM» - СТРУКТУРА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

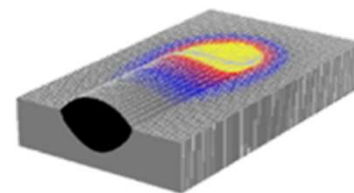
UMOSS



РЕШЕНИЕ ПРЯМОЙ ЗАДАЧИ

АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ СВАРОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ И ВЫБОРА КОМПЕНСИРУЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ

UMOSS



- расчёт температурного поля и размеров характерных изотерм
- расчёт профиля многопроходного шва
- расчёт фазового состава металла шва и зоны термического влияния (ЗТВ)
- расчёт механических свойств металла шва и ЗТВ



- расчёт результирующей остаточной сварочной деформации от сварки всех швов как алгебраическая сумма (с учётом знака)

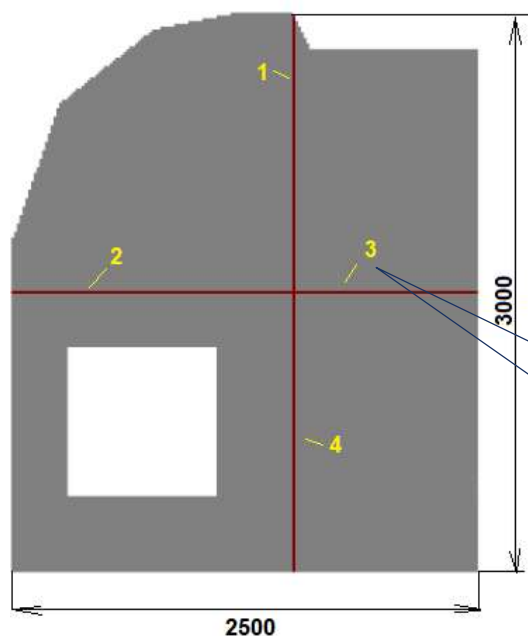


- расчёт результирующей остаточной сварочной деформации после локального (локально-распределённого) нагрева и охлаждения при термоправке участка (-ов) сварной конструкции после сварки

ТЕРМО-ДЕФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ

1. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

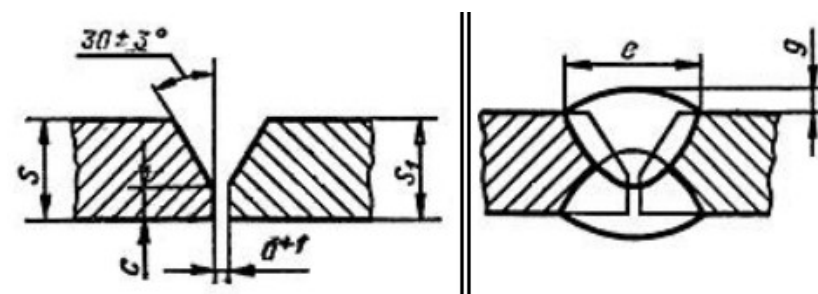
UMOSS



| Комментарий | Ток, А | Напряжение, В | Скорость сварки, см/мин |
|---|--------|---------------|-------------------------|
| Сварка корня шва | 550 | 33-34 | 34 |
| Сварка прохода с обратной стороны | 640 | 33-34 | 34 |
| Сварка заполняющего прохода с лицевой стороны | 550 | 33-34 | 34 |

Режимы сварки соединения С21 секций полотнища

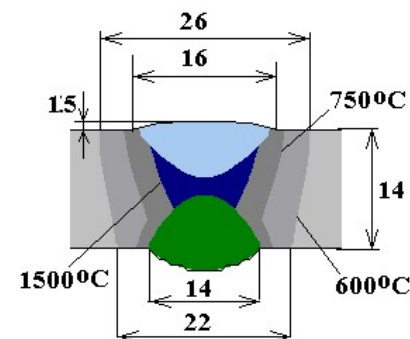
цифрами указан
возможный порядок
выполнения швов
(иллюстративно)



Требования ГОСТ 8713-79-С21

Пример задачи: оценка сварочных деформации участка (секции) палубы корпусной судовой конструкции после сварки под флюсом

Сталь РСД40, 14+14 мм, С21

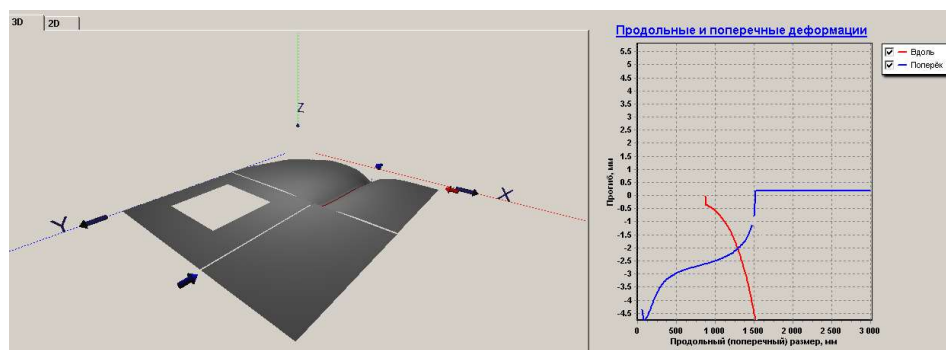


Результат термодинамического анализа (профиль шва в три прохода и его характерные зоны)

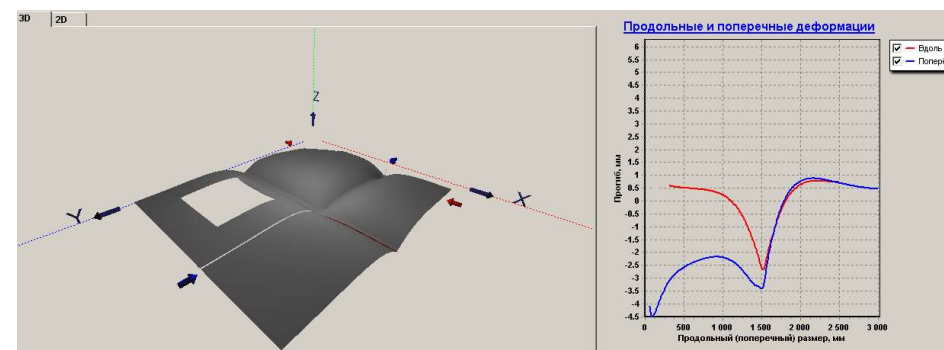
ТЕРМО-ДЕФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ

2. ДЕФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ

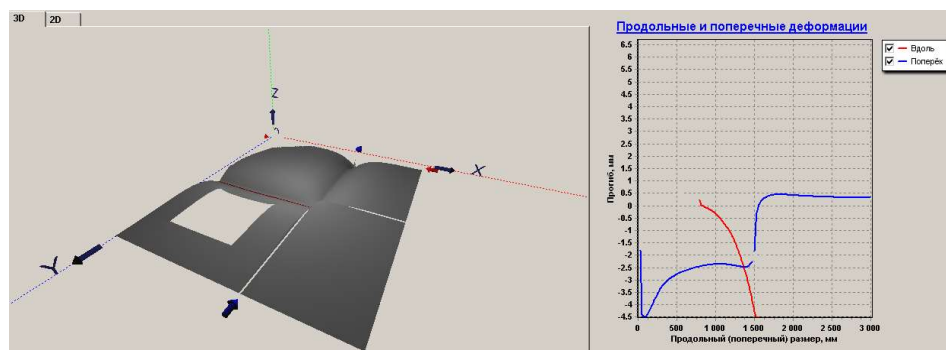
UMOSS



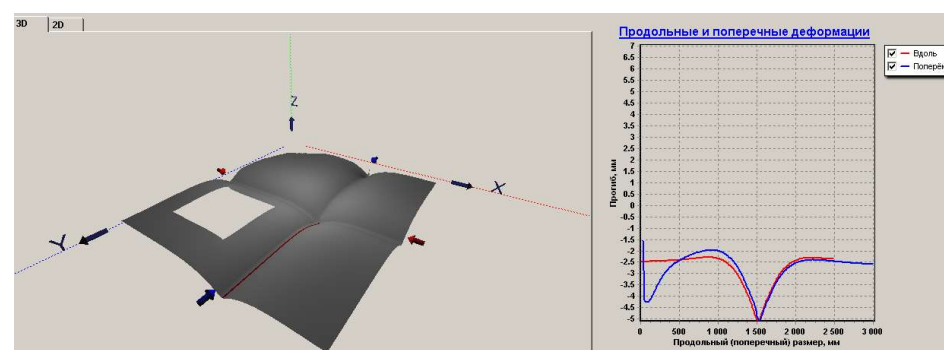
После сварки первого шва



После сварки третьего шва



После сварки второго шва



После сварки четвертого шва

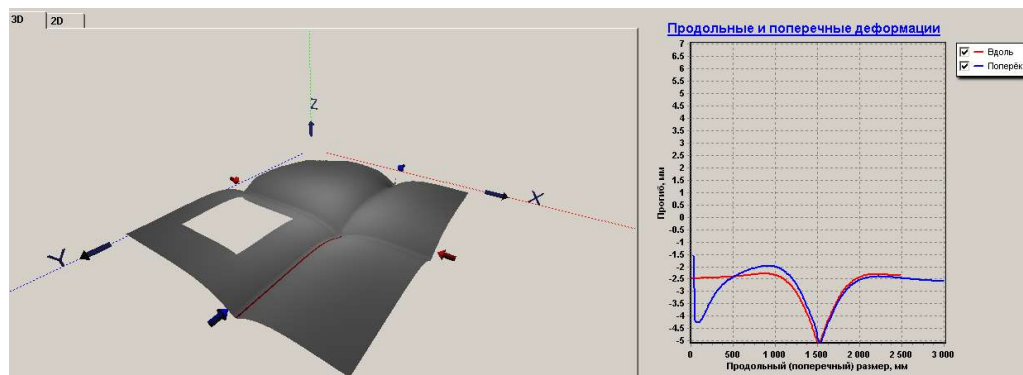
Результат деформационного анализа при возможном варианте расположения сварных швов (для иллюстрации)

МОДУЛЬ РАСЧЕТА РЕЖИМА ТЕРМОПРАВКИ

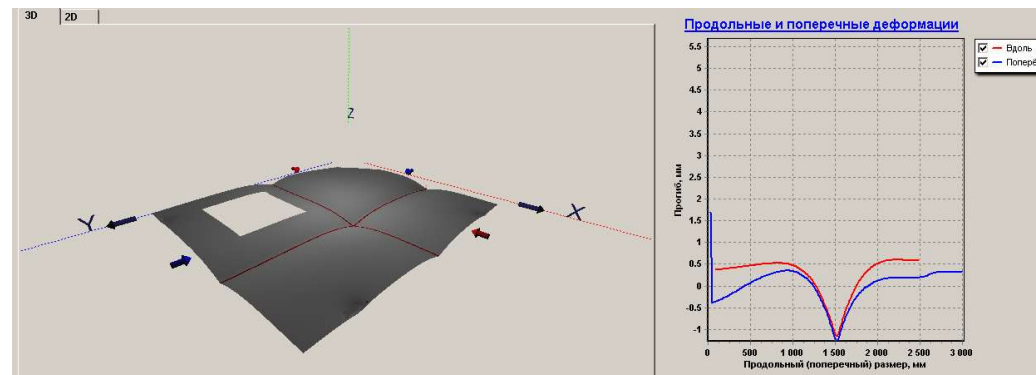
ВЫБОР КОМПЕНСАЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

UMOSS

До термоправки



После термоправки



- Определяются перемещения точек элемента и напряжения, вызванные совместным воздействием предварительной деформации (после сварки) и нагрева (при термоправке), что позволяет определить распределение пластической деформации в элементе.
- По распределению пластической деформации определяются перемещения точек элемента после охлаждения (термоправки), что позволяет оценить результат термической правки при выбранных параметрах.

Дикшев Игорь Владиславович

Директор департамента математического
моделирования сварочных процессов, к.т.н.

АО «Юмосс»

моб. +7 (962) 962 60-39

div@umoss.ru

<http://umoss.ru>

div@wertsim.ru

<http://wertsim.ru>

СПАСИБО ЗА
ВНИМАНИЕ!

umoss

Инженерные решения
Надежный результат