

umoss

Инженерные решения
Надежный результат

**ПРОГРАММНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ИНЖЕНЕРНОГО
АНАЛИЗА СВАРКИ СУДОВЫХ КОРПУСНЫХ
КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ СТАДИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ
ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА**

CAE WERTSIM

COMPUTER-AIDED ENGINEERING «WELDING AND RELATED TECHNOLOGIES SIMULATION»

Дикшев Игорь Владиславович

ОБЪЕКТ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА

ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ СУДОВЫХ КОРПУСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

umoss



«Развитие российского судостроения сталкивается с многими трудностями, среди которых особенно выделяется низкая эффективность производства, являющаяся причиной высокой стоимости и длительных сроков строительства судов. 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 программный инструмент инженерного анализа сварки судовых корпусных конструкций:

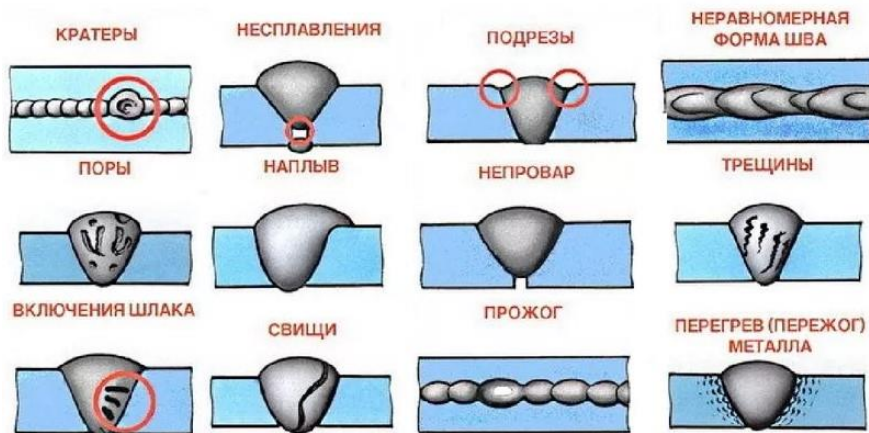
- повышение производительности труда и снижение издержек;
- кадровый дефицит и снижение квалификационных требований к производственному персоналу;
- цифровизация стадии технологической подготовки;
- автоматизация и роботизация судостроительных производств.

ПРОБЛЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

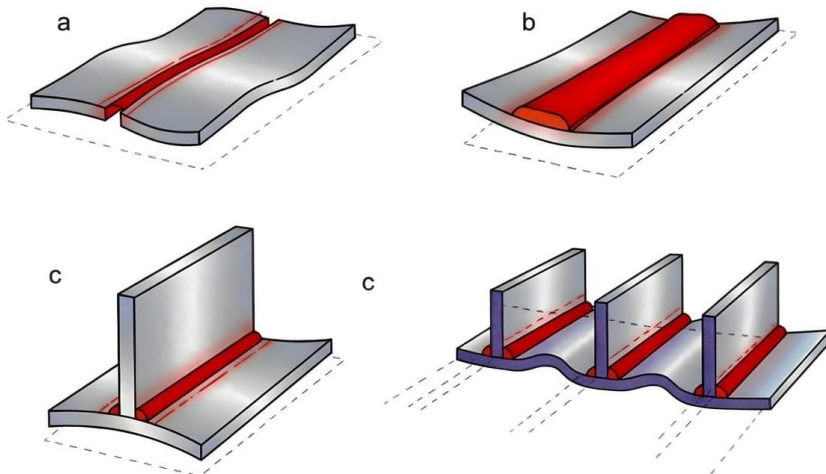
АКТУАЛЬНОСТЬ: КАЧЕСТВО ШВА И ДЕФОРМАЦИИ КОНСТРУКЦИИ

umoss

Наиболее распространенные дефекты сварных швов



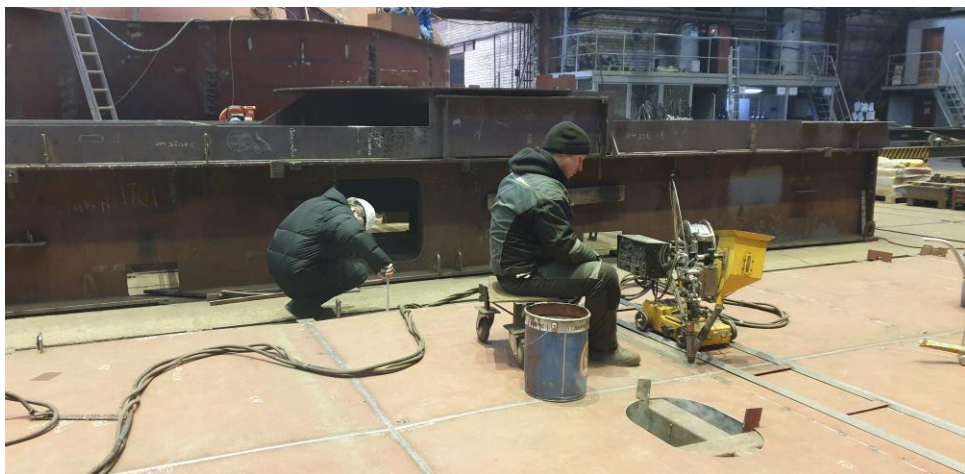
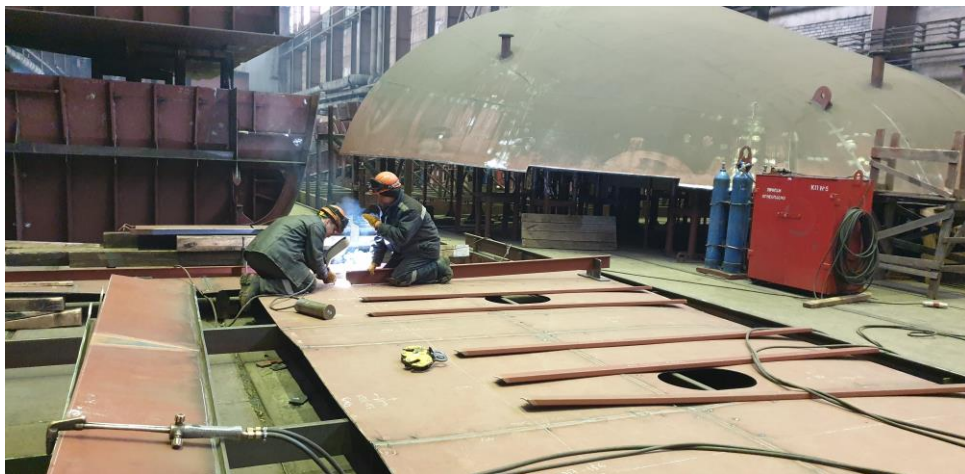
Основные типы сварочных деформаций



- возникновение дефектов сварного шва (подрезы, непровары, прожоги и др.) вследствие неудачно выбранных параметров процесса и их случайного отклонения под воздействием внешних и внутренних факторов, изменение химического состава в зоне термического влияния вследствие испарения легирующих элементов и химических реакций горячего металла с окружающей средой, изменение размеров и прочностных характеристик металла после нагрева и охлаждения;
- возникновение напряженного состояния и упругопластических деформаций во всей конструкции после сварки приводит к значительному увеличению трудозатрат и расходу ресурсов на правку, подгоночные и прирубочные работы (иногда сварочные деформации достигают такой величины, что выправить их становится невозможно, и готовые конструкции бракуются);

ПРОБЛЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

АКТУАЛЬНОСТЬ: КАДРОВЫЙ ВОПРОС

umoss

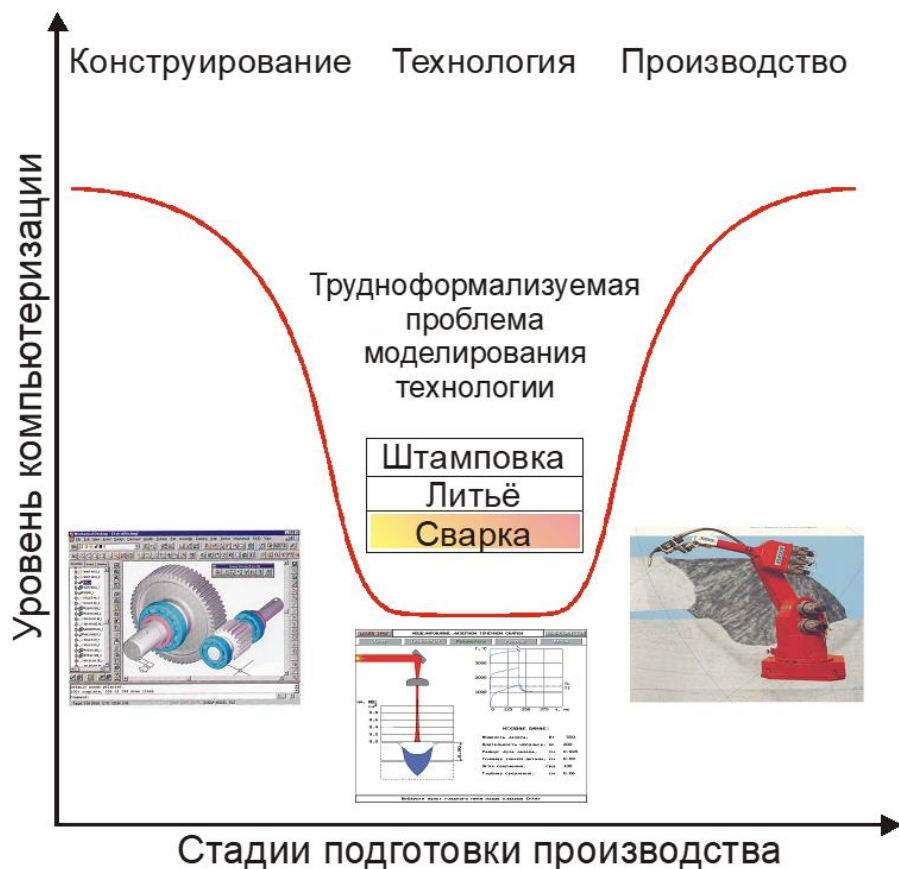
- ❑ часто на производстве при выборе режимов и условий сварки приходится полагаться на опыт сварщика, что обуславливает высокие квалификационные требования к нему для обеспечения заданного качества продукции;
- ❑ на рынке труда длительное время наблюдается дефицит высококвалифицированных сварщиков;
- ❑ кадровый голод приводит к чрезмерно завышенным зарплатным ожиданиям и предложениям;
- ❑ оплата труда высококвалифицированного производственного персонала и издержки на борьбу с дефектами и сварочными деформациям оказывают непосредственное влияние на стоимость и сроки изготовления продукции;

ПРОБЛЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

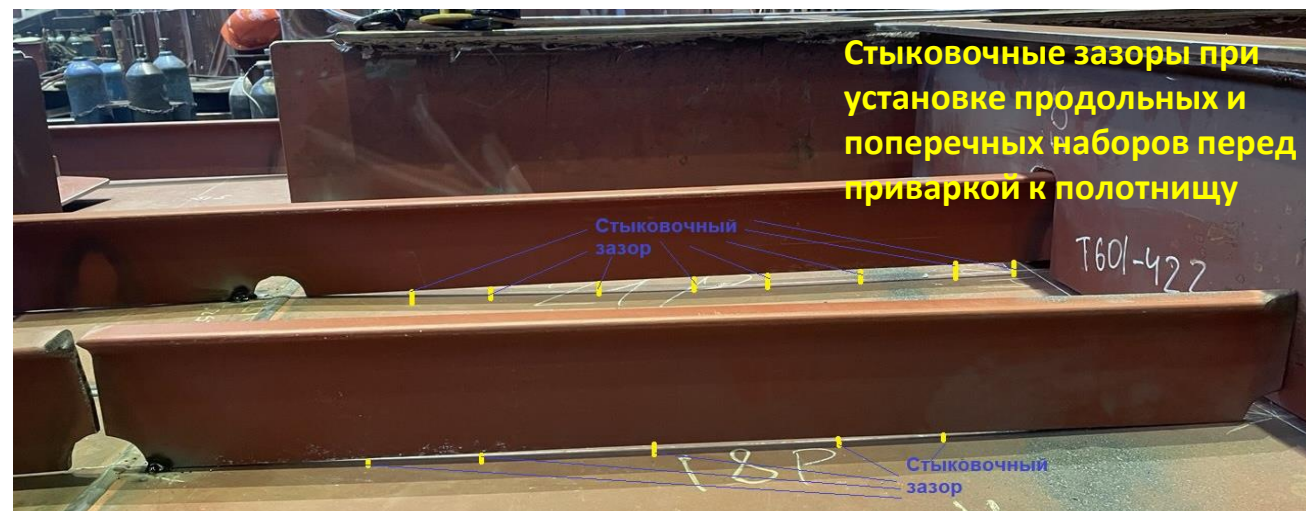
АКТУАЛЬНОСТЬ: ЗДЕСЬ И СЕЙЧАС, БЫСТРО И ДЁШЕВО

umoss

Уровни компьютеризации машиностроения



- на отечественном и международном рынках инженерного программного обеспечения отсутствуют компьютерные системы инженерного анализа сварки для стадии технологической подготовки производства, которые обеспечивали бы интуитивно понятный инженеру-технологу пользовательский интерфейс и возможность «здесь и сейчас, быстро и дешево» решать на производстве ряд сложных технических задач.



ЭТАПЫ СОЗДАНИЯ ИНСТРУМЕНТА ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА СВАРКИ ДЛЯ СТАДИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

umoss

**Физико-математическое
моделирование и
компьютерная имитация
сварочных процессов**

- Инструменты инженерного анализа сварки
- Технология имитационного моделирования (ТИМ)

**Автоматизация
выполнения рутинных
задач с помощью
алгоритмов
вычислительных
экспериментов (ВЭ)**

- Автоматизация рабочих процессов технолога по сварке
- Интеграция с корпоративными и отраслевыми ИС

Имитационные
модели ✓

CAE WeRTSim ✓

Алгоритмы ВЭ

SPDM «APM
Технолога»



ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СВАРКИ НАУЧНАЯ ШКОЛА

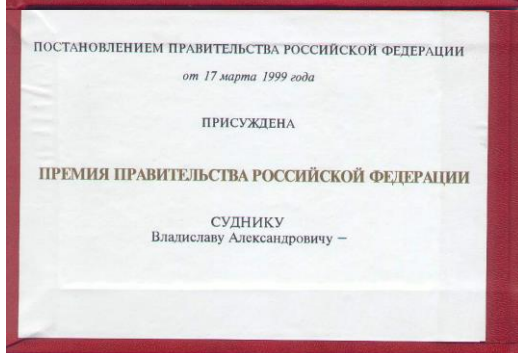
UMOSS



Проф. д.т.н. Судник Владислав Александрович,
основатель и руководитель научной школы
ТулГУ по физ.-мат. моделированию и
компьютерной имитации сварки



Коллектив ученых научной школы ТулГУ
по физ.-мат. моделированию и
компьютерной имитации сварки, 2000 год



Премия Правительства РФ в области
науки и техники, 1999 г.



Медаль ордена «За заслуги перед Отечеством»
II степени Российской Федерации, 2000 г.

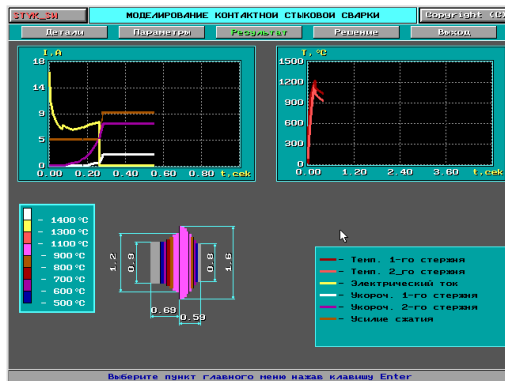


Научная премия германо-американского концерна ДаймлерКрайслер за особые заслуги в области численной имитации сварочных процессов в промышленном применении, 2001 г.

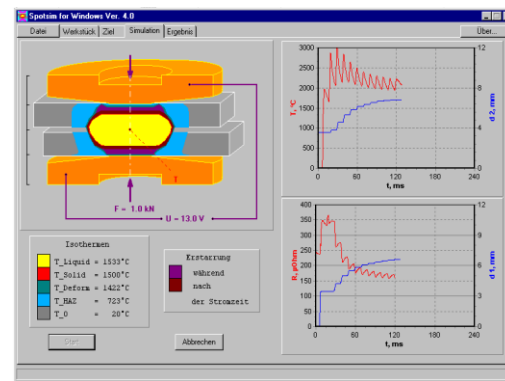
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СВАРКИ

ИМИТАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ СВАРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ

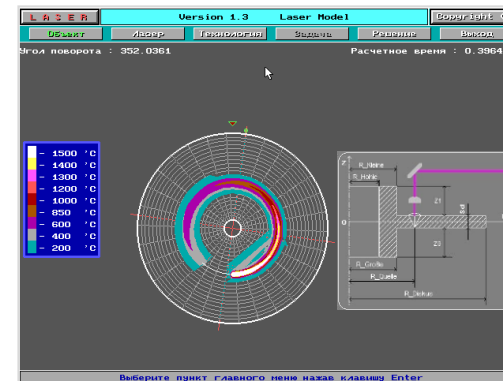
UMOSS



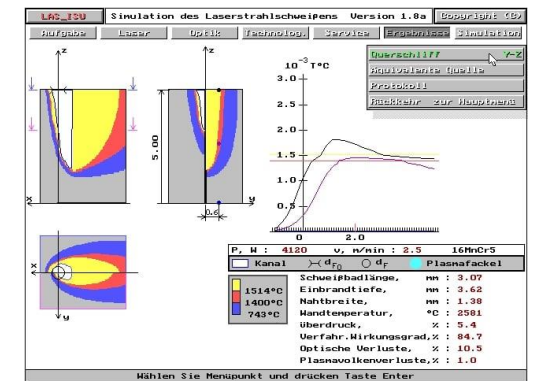
Стыковая сварка сопротивлением



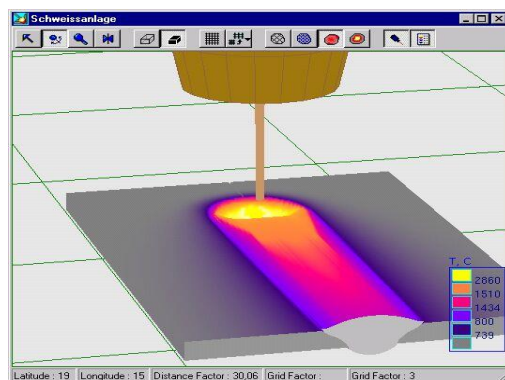
Точечная контактная сварка



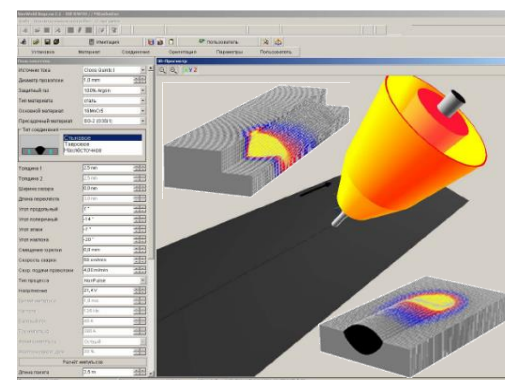
Лазерная сварка кольцевого шва



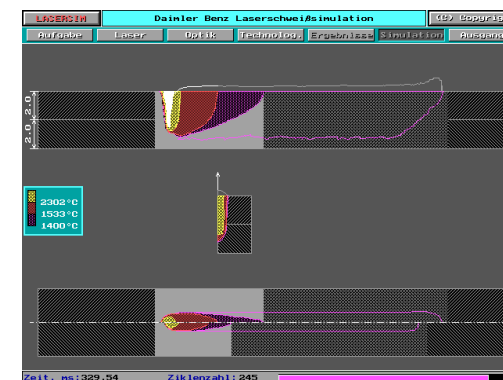
Стационарная модель лазерной сварки



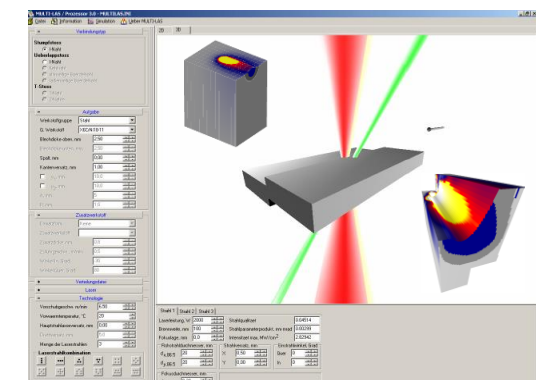
Дуговая сварка плавящимся электродом



Импульсная дуговая сварка плавящимся электродом



Нестационарная модель лазерной сварки



Многолучевая сварка

ДОРОЖНАЯ КАРТА ПРОЕКТА

РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТА ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА СВАРКИ

umoss

Стадии
проекта

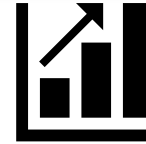


НИР «Сварка»

Технология имитационного моделирования (ТИМ) сварки

18 мес.

- ❑ ОКР «Разработка CAE WeRTSim», 12 мес.
 - Программная платформа WeRTSim
 - Цифровой двойник процесса GMAW
 - Цифровой двойник процесса SAW
 - Механические свойства шва и ЗТВ
 - Фазовый состав шва и ЗТВ
 - Оценка сварочных деформаций
 - Задание начальных деформаций
 - Режимы термической правки
 - Нормирование материалов
 - Формирование протокола расчёта
 - Технологическая карта сварки
- ❑ НИР «Сварка», 6 мес.
 - Разработана ТИМ сварки
 - ТИМ апробирована на АО «ОССЗ»



ОКР «ТИМ Сварка»

Система управления процессами и данными компьютерного моделирования (SPDM) на основе алгоритмов ВЭ

18 мес.

- ❑ Алгоритмы ВЭ
 - Прогноз качества шва
 - Пакетная обработка
 - Параметрический анализ
 - Диагностика качества шва
 - Факторный анализ (синтез)
 - Оптимизация параметров
 - Прогноз деформаций
 - Оптимизация технологии
 - Верификация
- ❑ Системная интеграция
 - CAD, CAE, MES, ...
 - BIM, PDM, PLM, ...
 - Эквивалентный источник теплоты для передачи в FEM
- ❑ Кастомизация под завод



Внедрение

Опытно-промышленная эксплуатация (ОПЭ)

3 мес.

- ❑ Выбор заводов для ОПЭ
- ❑ Анализ техпроцессов
- ❑ Развертывание системы
- ❑ Кастомизация под процессы заводов ОПЭ
- ❑ Обучение пользователей
- ❑ Техническая поддержка

Основные вехи и результаты

ОКР «РАЗРАБОТКА CAE WERTSIM»

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА СВАРКИ

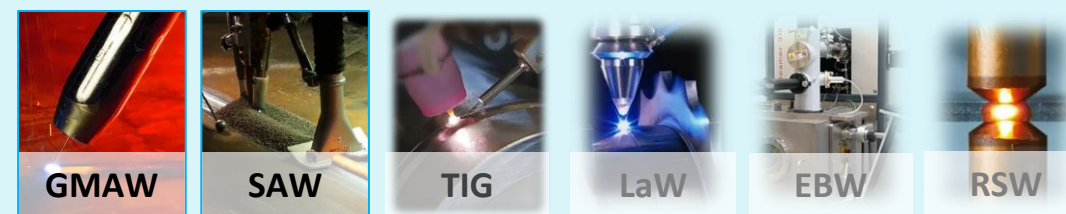
Программная платформа CAE WeRTSim:

- ❑ микросервисная архитектура платформы поддерживает распределенные вычисления, обеспечивает гибкость, независимость масштабирования и развертывания компонентов, их слабую связанность и использование асинхронного взаимодействия для обработки пиковых нагрузок;
- ❑ единый Web-интерфейс для всех модулей и компонентов позволяет бесшовно создавать на их основе кастомизированные решения в различных формфакторах (однопользовательское Desktop-приложение, низконагруженный Web-сервис для корпоративного или частного облака, высоконагруженный Web-сервис для отраслевого или публичного облака);
- ❑ программная платформа является кроссплатформенным решением, обеспечивая функционирование в Windows и Linux;
- ❑ платформа формирует единое информационное пространство для всех пользователей и модулей Системы, содержит личный кабинет пользователя, поддерживает персонализацию, политику лицензирования и обеспечение требований информационной безопасности и защиты информации.

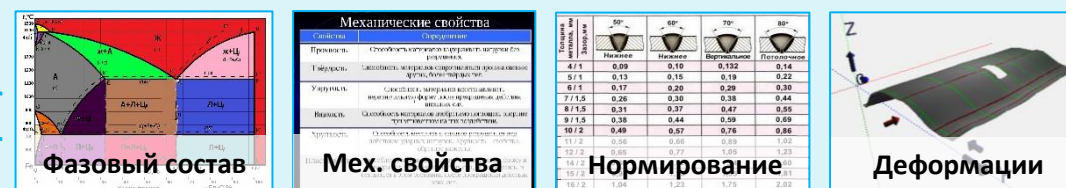
Программные комплексы, модули и компоненты:

- ❑ обеспечивают состав, настройку и работу расчетного ядра;
- ❑ автоматизируют выполнение элементарных функций.

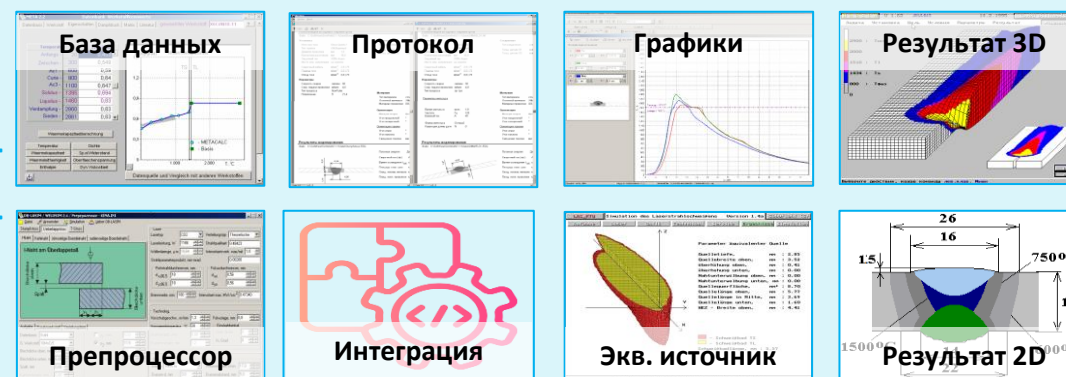
Цифровые двойники сварочных процессов



Расчетные модули



Функциональные модули



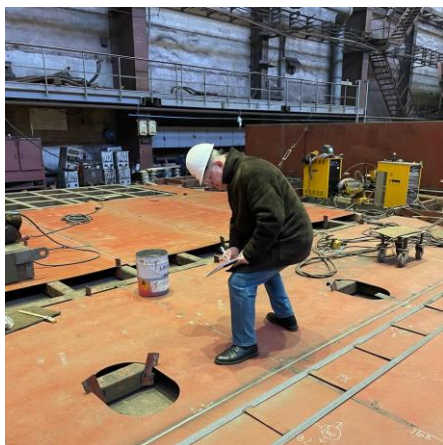
Программная платформа CAE WeRTSim

НИР «СВАРКА»

РАЗРАБОТКА ТИМ СВАРКИ СУДОВЫХ КОРПУСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

umoss

Этап I



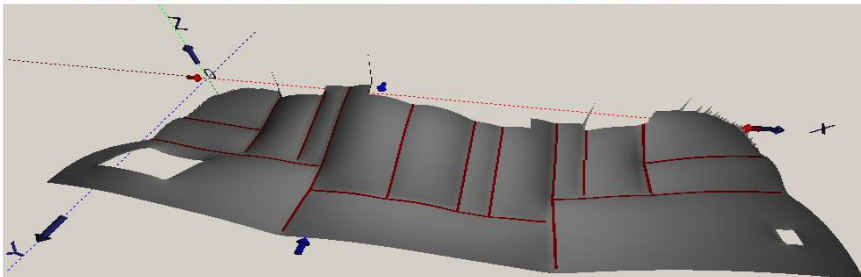
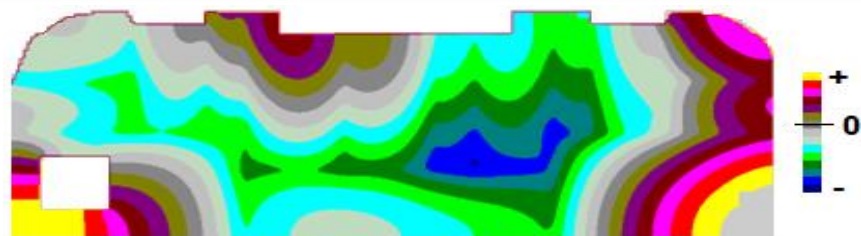
- анализ применяемой на заводе технологии сварки тонколистовых и толстолистовых конструкций:
 - непосредственное наблюдение за подготовкой листов под сварку, закрепление и снятие технологической оснастки (гребней, рыбин и грузов), прихватку, сварку, кантование и перемещение свариваемой конструкции, приварку поперечных и продольных наборов с одновременным проведением мероприятий по исправлению сварочных деформаций;
 - фиксирование состояния листов перед сваркой, наличия размеров и положения конструктивных элементов, параметров режимов и условий сварки, очередности и направления швов, характеристик оборудования и материалов;
 - оценка сварочных деформаций конструкции в плоскости листов на каждом технологическом переходе;
 - проведение замеров времени выполнения отдельных технологических переходов и мероприятий по устранению сварочных деформаций с помощью П-образных упоров и домкратов;
 - систематизация и обобщение результатов наблюдений и измерений с учётом ранее полученных данных;
- подготовка имитационной модели дуговой сварки под флюсом плавящимся электродом:
 - формирование модельных данных: заведение геометрии сборки с учётом конструктивных элементов, закрепления сборки, свойств и характеристик материалов, параметров режима и т.д.;
 - валидация модели, заключающаяся в подтверждении того, что она достаточно точно отражает реальные физические и технические процессы и соответствует требованиям решаемой задачи;
 - проверка адекватности модели, заключающаяся в оценке соответствия её результатов реальным экспериментальным данным с заданной точностью;
 - калибровка модели, заключающаяся в изменении параметров модели в соответствии с набором натуральных данных для минимизации разницы между натуральными данными и результатами работы модели;

НИР «СВАРКА»

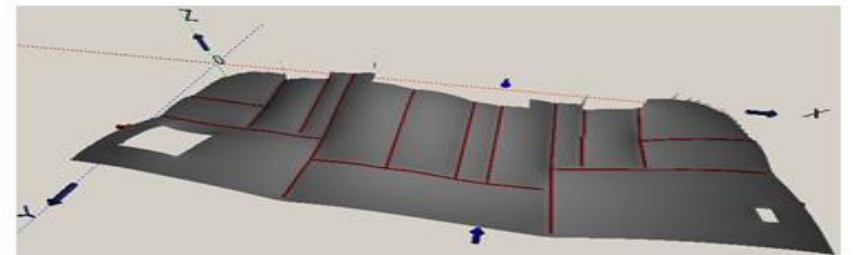
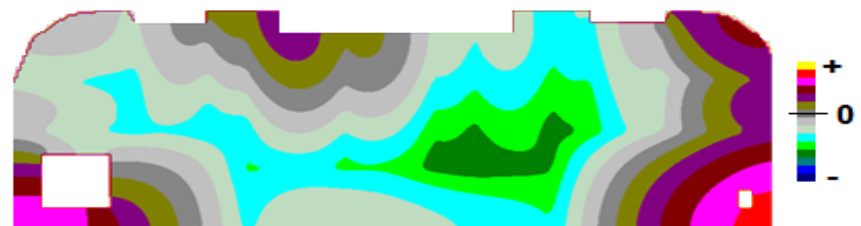
РАЗРАБОТКА ТИМ СВАРКИ СУДОВЫХ КОРПУСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

umoss

Было



Стало



Этап II

- исследование процесса сварки корпусных судовых конструкций методом вычислительного эксперимента над подготовленной имитационной моделью для поиска возможностей изменения (улучшения) технологии сварки с целью минимизации сварочных деформаций;
- выработка рекомендаций по изменению технологии сварки на основе результатов проведённых вычислительных экспериментов;

Этап III

- апробация рекомендаций в реальном технологическом процессе:
 - проведение натурных экспериментов по сварке корпусных судовых конструкций с учётом выданных рекомендаций;
 - оценка сварочных деформаций корпусных судовых конструкций в плоскости листов на каждом технологическом переходе;
 - проведение замеров времени выполнения отдельных технологических переходов и мероприятий по устранению сварочных деформаций;
- сравнение результатов анализа применяемой на заводе технологии сварки тонколистовых и толстолистовых корпусных судовых конструкций с результатами апробации выданных рекомендаций, основанных на применении ТИМ.

НИР «СВАРКА»

РАЗРАБОТКА ТИМ СВАРКИ СУДОВЫХ КОРПУСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

umoss

Результат:

Проведённая работа доказала, что применение ТИМ позволяет значительно увеличить производительность труда и повысить эффективность производства сварных судовых конструкций.

Например, для сварки габаритного полотнища с протяженными швами было установлено, что применение ТИМ позволило:

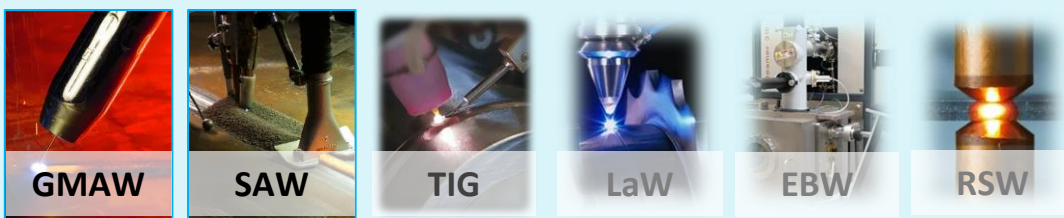
- сократить время сварки в среднем на **50%**;
- уменьшить величину сварочных деформаций в плоскости конструкции в среднем на **30%**;
- сократить длительность мероприятий по борьбе с деформациями в среднем на **17%**;
- сократить количество мероприятий по борьбе с деформациями в среднем на **20%**;
- сократить расход электродной проволоки до **40%**;
- сократить расход флюса до **37%**.

ОКР «ТИМ СВАРКА» РАЗРАБОТКА SPDM «АРМ ТЕХНОЛОГА»



Программная платформа CAE WeRTSim

Цифровые двойники сварочных процессов



Расчетные модули



Механические свойства

Прочность	Средняя прочность в сварном шве
Удлинение	Среднее удлинение в сварном шве
Вязкость	Средняя вязкость в сварном шве
Хрупкость	Средняя хрупкость в сварном шве

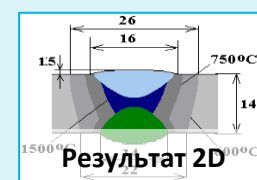
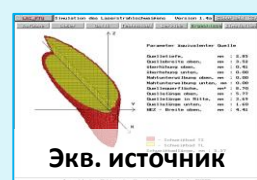
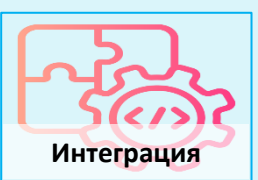
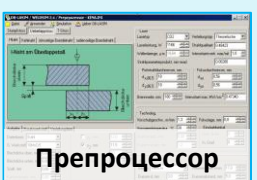
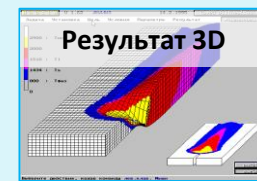
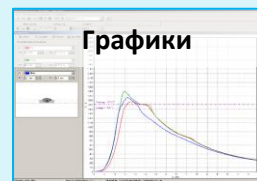
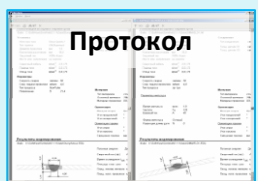
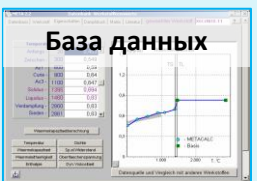
Мех. свойства

Нормирование

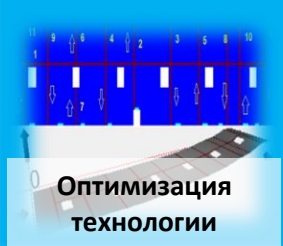
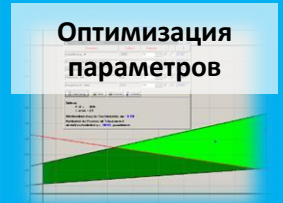
Положение шва	30°	60°	90°	30°
47.1	0.10	0.122	0.14	
51.1	0.13	0.15	0.19	0.22
51.2	0.17	0.20	0.29	0.30
71.5	0.26	0.30	0.38	0.44
81.5	0.31	0.37	0.47	0.55
91.5	0.38	0.44	0.59	0.69
101.2	0.49	0.57	0.76	0.88
111.2	0.58	0.68	0.93	1.02
121.2	0.70	0.80	1.08	1.20
141.2	0.84	0.95	1.25	1.40
151.2	1.01	1.13	1.45	1.65
161.2	1.24	1.37	1.75	2.00



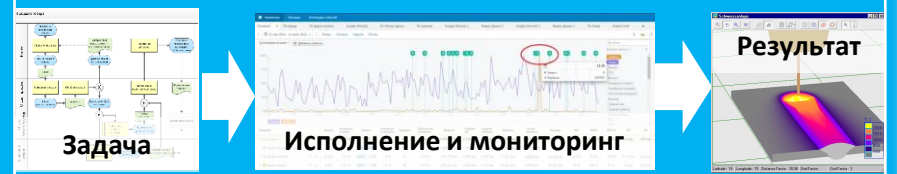
Функциональные модули



Алгоритмы ВЭ



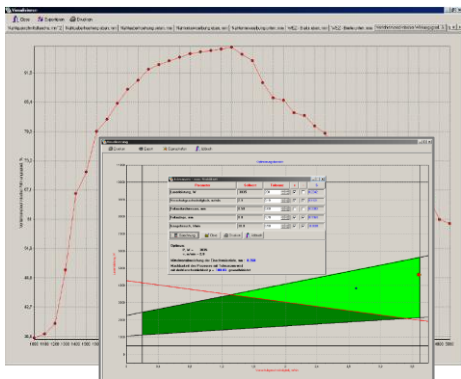
Автоматизация рабочих процессов технолога



ОКР «ТИМ СВАРКА»

АЛГОРИТМЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

umoss



Вычислительные эксперименты

Алгоритмы ВЭ:

- ❑ **прогноз качества шва** – термодинамический анализ процесса сварки при заданной комбинации параметров режима;
- ❑ **пакетная обработка заданий** – термодинамический анализ процесса сварки по заданному набору несвязанных комбинаций параметров режима;
- ❑ **параметрический анализ** (параметрическое исследование) процесса сварки – термодинамический анализ процесса сварки при варьировании одного параметра режима в заданном диапазоне для оценки его влияния на качество шва;
- ❑ **диагностика качества шва** – термодинамический анализ процесса сварки при одновременном варьировании нескольких параметров режима (напряжение, скорость подачи проволоки, скорость сварки) в заданных диапазонах для оценки их влияния на качество шва (сварного соединения) при отклонении значений этих параметров от заданных;
- ❑ **факторный анализ** – синтез параметра режима при прочих заданных для получения требуемого качества шва;
- ❑ **оптимизация параметров режима** – поиск оптимальной комбинации параметров режима по заданному критерию: максимальная производительность процесса, максимальная стабильность характеристик качества, минимальные напряжения и деформации металла шва и околошовной зоны;
- ❑ **прогноз сварочных деформаций** – термодинамический анализ сварной конструкции с учетом взаимного влияния всех швов и с учетом их порядка и направления, а также с учетом порядка и направления отдельных проходов для каждого шва при многопроходной сварке;
- ❑ **оптимизация технологии сварки** – поиск оптимального порядка и направлений швов и отдельных проходов для каждого шва при многопроходной сварке с целью минимизации сварочных деформаций конструкции;
- ❑ **верификация имитационных моделей** – сравнение результатов опытной сварки и имитационного моделирования на основе статистических критериев достоверности.

ОКР «ТИМ СВАРКА»

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ ТЕХНОЛОГА ПО СВАРКЕ

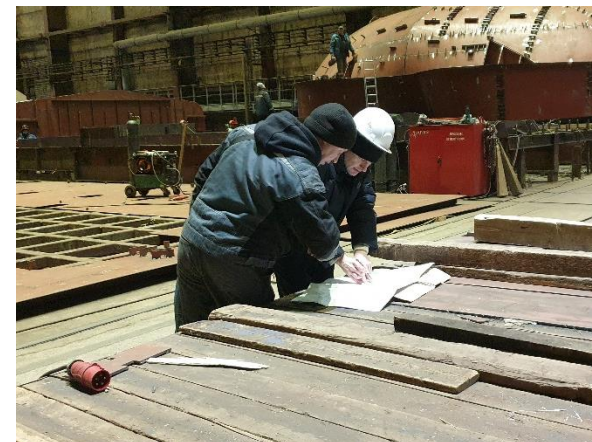
umoss



Технолог по сварке обеспечивает полный цикл производства, от подготовки документации, выбора методов соединения и материалов до контроля качества готовых сварных конструкций.

Рабочие процессы технолога по сварке:

- ❑ Подготовка и планирование:
 - анализ нормативной документации, чертежей и графиков производства
 - выбор оптимального способа сварки
 - подбор необходимых материалов и оборудования
 - расчёт параметров режима сварки и норм выработки.
- ❑ Разработка документации:
 - операционных карт и инструкций, описывающих подготовку кромок, порядок сборки и сварки;
 - технических заданий, обеспечивающих безопасность и эффективность производства.
- ❑ Организация контроля качества: внедрение методик проверки качества и проведения испытаний.
- ❑ Мониторинг выполнения работ: надзор за производством и соблюдением техники безопасности.
- ❑ Сопровождение: инструктаж персонала, наладка оборудования и оптимизация норм выработки.



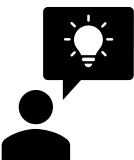
ОКР «ТИМ СВАРКА»

СРАВНЕНИЕ ТЕКУЩЕГО И ПРЕДЛАГАЕМОГО РЕШЕНИЙ

umoss



Проектант формирует документ «Таблица сварки» с указанием типов сварных соединений, допустимыми диапазонами значений параметров режима и геометрическими размерами профиля сварного шва с допусками.



Текущее решение:

- сварщик, основываясь на своем опыте и личных предпочтениях, для каждой конструкции выставляет параметры режима в пределах, заданных «Таблицей сварки», и по своему усмотрению выбирает последовательность и направление сварных швов.



Предлагаемое решение:

- инженер-технолог с помощью автоматизированных рабочих процессов на основе имитационных моделей сварки и реализованных алгоритмов вычислительных экспериментов, для конкретной конструкции, оперативно исследует и оптимизирует параметры режима, влияние последовательности и направления сварных швов и отдельных проходов (при многопроходной сварке) на сварочные деформации;
- по результатам имитационного моделирования автоматически формируется документ «Технологическая карта сварки», который определяет оптимальные параметры режима сварки и даёт четкие указания (технологические инструкции, рекомендации) сварщику, в том числе по выполнению последовательности и направлению сварных швов и отдельных проходов;
- «Технологическая карта сварки» предоставляется на рабочее место сварщика.

Дикшев Игорь Владиславович

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

АО «Юмоосс»

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