

УДК 681.5.015

**КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
ОСТАТОЧНЫХ СВАРОЧНЫХ ЯВЛЕНИЙ ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ
КОНСТРУКЦИЙ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ**

С. В. МЕДВЕДЕВ, М. В. ЖУКОВЕЦ

Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси
Минск, Беларусь

UDC 681.5.015

**COMPUTER TECHNOLOGIES FOR PREDICTION OF RESIDUAL
WELDING PHENOMENA IN ARC WELDING OF GENERAL PURPOSE
CONSTRUCTIONS**

S. V. MEDVEDEV, M. V. ZUKOVEC

Аннотация. Обоснованы предпосылки разработки и требования к компьютерным (суперкомпьютерным) технологиям прогнозирования; получено практическое подтверждение выдвинутых теоретических положений; показаны направления дальнейших исследований.

Ключевые слова: сварные конструкции общего назначения, компьютерные и суперкомпьютерные технологии, остаточные явления, прогнозирование, дуговая сварка.

Abstract. Development background and requirements for computer (supercomputer) forecasting technologies are substantiated. Practical confirmation of the put forward theoretical positions has been received, directions for further research are shown.

Keywords: general purpose welded constructions, computer and supercomputer technologies, residual effects, forecasting, arc welding.

Рыночные условия заставляют разработчиков сварных конструкций искать новые подходы проектирования и моделирования, способствующие повышению уровня конкурентных преимуществ.

Как правило, на большинстве машиностроительных предприятий реального сектора экономики сварные конструкции разрабатываются специалистами без базовой сварочной подготовки в универсальных графических системах; полученные при этом твердотельные модели деталей и узлов сварных конструкций передаются в расчетные системы конечно-элементного анализа, в которых на данный момент, к сожалению, особенности сварочных процессов учтены в недостаточной степени.

Цель работы – представить разработанные авторами программно-методические средства автоматизированного проектирования и моделирования сварных конструкций общего назначения, использование которых позволяет сблизить позиции разработчиков и расчетчиков с тем, чтобы конструкторские службы оперативно получили представление о напряженно-деформированном состоянии (НДС) конструкции после сварки, а технологическое подразделение

более глубоко проникло в состояние и проблемы напряженной сварной конструкции, находящейся под эксплуатационными нагрузками.

Анализ работ предшественников и собственный многолетний научно-методический задел позволяют в следующем виде сформулировать инженерные требования к методу и суперкомпьютерной технологии прогнозирования остаточных сварочных явлений:

– при создании трехмерной твердотельной модели сварной конструкции и указании на ней типа сварного шва программным образом в соответствии со стандартными параметрами сварочного режима для данного типа основного металла необходимо создать модели зон сплавления и термического влияния; эти модели должны автоматически интегрироваться в исходную конструкторскую модель;

– в интерактивно-алгоритмическом режиме требуется создать корректную конечно-элементную сетку с последующим расчетом на ней НДС сварной конструкции при одновременной сварке всех сварных швов в свободном состоянии в пространственном положении, наиболее пригодном для нанесения и кристаллизации сварных швов;

– конструкторское подразделение по результатам суперкомпьютерного вычислительного эксперимента должно получить укрупненное представление о величине и направлении остаточных деформаций для сравнения с закладываемыми на сборочном чертеже допусками;

– технологическая служба должна иметь возможность уточнить схему закрепления изделия в технологически необходимой сборочно-сварочной оснастке при сварке, учитывая последовательность и направления нанесения сварных швов, формируя при этом уточненное НДС конструкции, которое может существенно отличаться от НДС предыдущего этапа; к модели с уточненным НДС прикладываются внешние эксплуатационные нагрузки; полученные результаты должны анализироваться совместно конструкторской и технологической службами.

Основные научно-методические положения метода и суперкомпьютерной технологии [1–3].

1. Зона сплавления имеется во всех соединениях и может быть определена по ГОСТам или по связям с параметрами сварочных режимов (номинальные размеры при комнатной температуре).

2. Зона термического влияния (ЗТВ) имеет определенную связь с зоной сплавления; эта связь поддается аналитическому и/или эмпирическому определению.

3. Теоретически обоснованно и экспериментально подтверждено наличие в поперечном сечении стыковых швов растягивающих напряжений, достигающих предела текучести основного металла; при этом в ЗТВ напряжения в основном сжимающие, не более предела текучести.

4. Принимая во внимание упрощенные теории сварочных напряжений и деформаций, когда исследуется лишь остывание нагретой конструкции от 600 °С до комнатной температуры, рассчитываем по известным термодинамическим зависимостям эквидистантные увеличения сечений зон сплавления и ЗТВ;

механические свойства этих зон принимаются такими, какими они становятся при комнатной температуре и могут быть экспериментально верифицированы.

5. Растягивающие напряжения в поперечных сечениях швов – результат пластической необратимой деформации моделей ЗТВ, к поверхностям которых приложены напряжения, эквивалентные пределу текучести основного металла или превышающие его; модель поведения материала ЗТВ обладает упругими и пластическими свойствами, но пластические преобладают; зона сплавления имеет также комбинацию свойств, но упругие свойства преобладают.

6. Имеются различия в схемах силового нагружения пространственных замкнутых, разомкнутых и прямолинейных швов:

- в замкнутых швах нагружаются давлением, эквивалентным пределу текучести, все поверхности трехмерной модели ЗТВ;
- в разомкнутых швах нагружают все боковые и торцевые поверхности ЗТВ;
- в линейных швах нагружают все поверхности ЗТВ и торцевые поверхности зоны сплавления.

7. За счет беспрепятственной деформации упруго пластических и пластически упругих зон сплавления и термического влияния формируется в пространстве и во времени равновесное состояние сварной конструкции с остаточными деформациями и напряжениями по объему сварного шва, что, в конечном итоге, приводит к локальному повышению жесткости сварного соединения, не подвергавшегося термической обработке.

На рис. 1 и 2 показаны качественные и количественные результаты использования рассматриваемой методики компьютерного (суперкомпьютерного) моделирования остаточных сварочных явлений, которые с достаточной инженерной точностью соотносятся с аналитическими результатами по наплавке валика на кромку пластины.

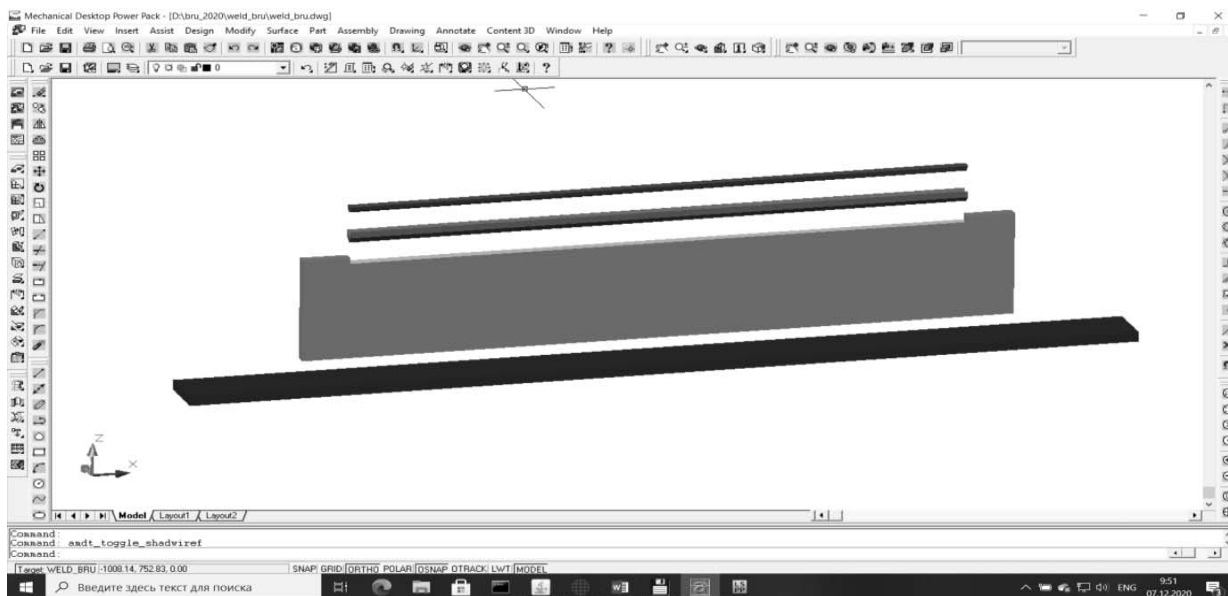
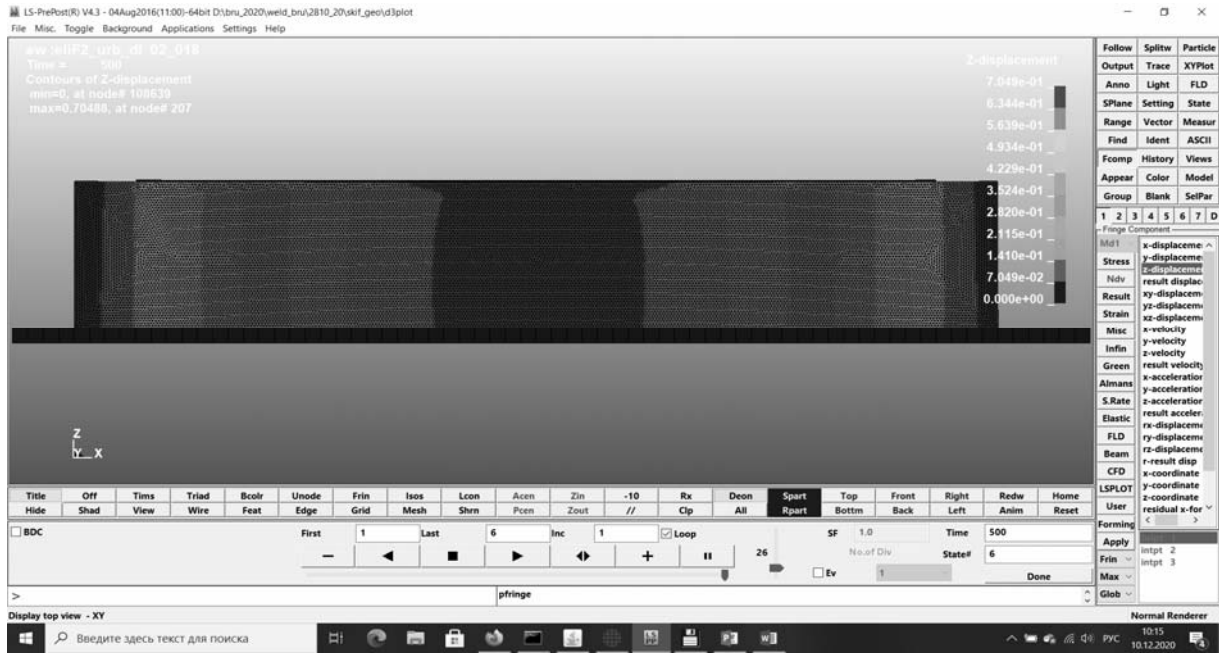


Рис. 1. Составные части твердотельной модели: зона сплавления, зона термического влияния, основной металл

a)



б)

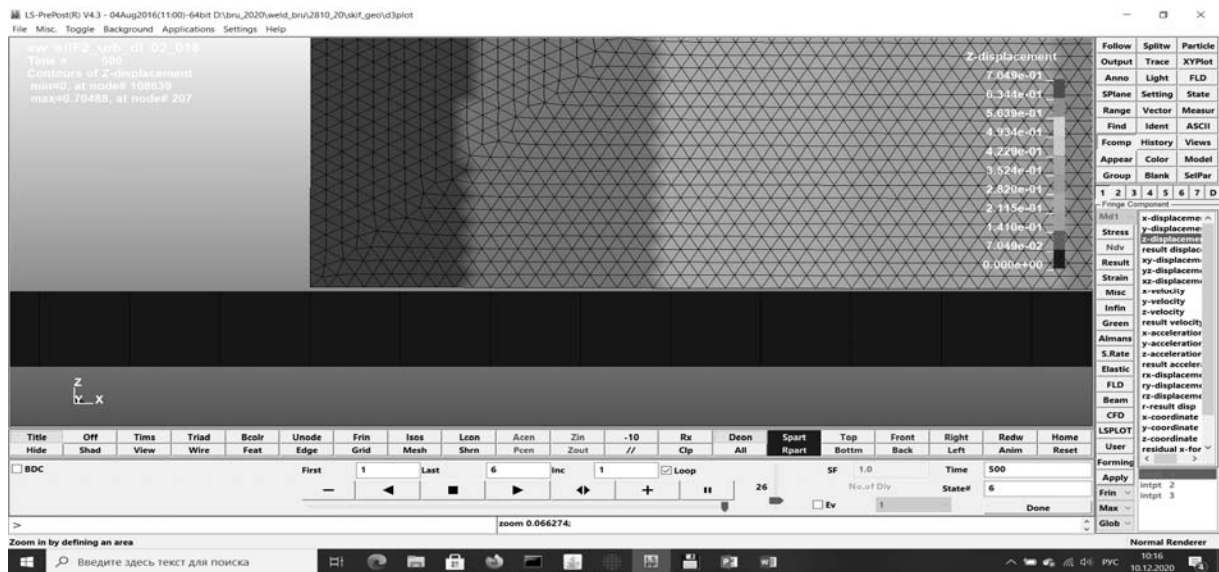


Рис. 2. Характер изменения остаточных деформаций пластины по вертикали: *a* – общий вид; *б* – деформации в районе торца пластины

Направления дальнейших исследований и разработок видятся в совершенствовании программных пользовательских интерфейсов, уточнении зависимостей геометрических размеров зон сплавления и термического влияния, переход к прогнозному моделированию остаточных явлений сварных конструкций из легированных сталей при наличии в них структурных превращений.

Рассматриваемые компьютерные технологии прогнозирования остаточных сварочных напряжений и деформаций сварных конструкций общего назначения при дуговых способах сварки могут использоваться как составная часть программно-методического обеспечения научно-образовательного грид-сегмента сборочно-сварочной направленности, разрабатываемого ОИПИ НАН Беларуси совместно со сварочными кафедрами вузов и промышленными предприятиями [4].

Авторы открыты для взаимовыгодного сотрудничества с заинтересованными структурами и отдельными специалистами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Медведев, С. В.** Компьютерное моделирование остаточных сварочных деформаций в технологическом проектировании сварных конструкций / С. В. Медведев // Сварочное производство. – 2001. – № 8. – С. 10–18.

2. **Medvedev, S. V.** Computer and supercomputer technologies for the design and technological design of welded structures [Electronic resource] / S. V. Medvedev, K. A. Klimov // The 4th IIW South–East European Welding Congress «Safe Welded Construction by High Quality Welding» (10–13 October 2018), Belgrade, Serbia. – Mode of access: <http://seeiiw2018.duzs.org.rs>. – Date of access: 10.11.2021.

3. **Медведев, С. В.** Конструктивно-технологическое проектирование и моделирование сварных конструкций в распределенных суперкомпьютерных средах / С. В. Медведев // Сварочное производство. – 2022. – № 5. – С. 24–29.

4. **Медведев, С. В.** Основные направления разработки научно-образовательного грид-сегмента для предприятий и вузов машиностроительного профиля [Электронный ресурс] / С. В. Медведев, О. П. Чиж, В. М. Матюшенко. – Режим доступа: <http://2019.nscf.ru/prezentacii>. – Дата доступа: 10.11.2021.

E-mail: medv@newman.bas-net.by; romannose@tut.by.