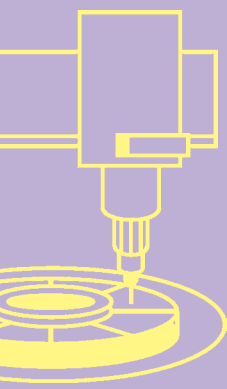


## КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ЛУЧЕВОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ: СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ LaserCAD



**Как сократить время разработки новых высокоэффективных сварочных технологий и уменьшить затраты на дорогостоящие эксперименты? Какую технологию выбрать: лазерную или электронно-лучевую? А может, лучше применить гибридную сварку, совмещающую преимущества как лазерной, так и электродуговой технологий? Как спрогнозировать свойства сварного соединения? Ответ прост: надо полагаться на свою интуицию или... на помощь системы компьютерного инженерного анализа лучевых сварочных процессов LaserCAD.**

Расширение технологических возможностей машиностроительных предприятий связано с появлением новых материалов, обладающих высокими физико-механическими свойствами. Методы дуговой, лазерной и гибридной сварки могут обеспечить высокую прочность конструкций, износостойкость трущимся поверхностям, залечивать зарождающиеся трещины. Перспективы успешного использования сварочных технологий в сложных многоступенчатых производственных линиях требуют активного внедрения САПР.

Для проектирования процесса сварки необходимы эффективные математические модели, отражающие физические процессы развития пор и дефектов, скорость движения фазовых поверхностей, распределение тепловых полей. Также важно учесть сопутствующие эффекты: термомеханические, расплескивание вещества ванны, гидродинамику течений. Банк данных должен содержать широкую информационную базу по свойствам материалов и параметрам оборудования, программа должна обеспечивать быстрое действие и удобный диалоговый интерфейс.

Система LaserCAD предназначена для решения ряда инженерных и научных задач, а именно: расчета геометри-

ческих характеристик предполагаемого соединения, подбора оптимальных параметров режима обработки, выбора необходимого технологического оборудования в соответствии с требуемыми параметрами, подбора материалов с учетом предполагаемых свойств соединений, расчета полей температур расплава, твердой и паровой фазы, скоростей течения расплава и разлета продуктов испарения. По своим функциям, возможностям и составу система LaserCAD представляет собой средство инженерного компьютерного анализа процессов обработки металлов концентрированными потоками энергии. Она позволяет не только прогнозировать глубину и форму сварного шва, но и анализировать изменение химического состава металла сварного шва в процессе сварки, прогнозировать структуру и свойства металла шва и зоны термического влияния.

Система опирается на четыре модели расчета для различных видов обработки: с помощью только лазерной сварки, для электронно-лучевой сварки с глубоким проплавлением, для гибридной сварки с глубоким проплавлением и без него. После того, как выбор режима сварки сделан, необходимо определить химический состав металла в сварочной ванне,



Рис.1 Структура задачи о лазерной сварке металлов

учитывая разницу температур кипения соединяемых материалов. В основе расчета лежит динамическая модель сварочной ванны и модель фазового состава металла шва и околошовной зоны.

База данных в LaserCAD многоуровневая. Она содержит информацию о химическом составе материалов, их физико-технических параметрах и технологических режимах промышленного оборудования. Создан интуитивно понятный диалоговый интерфейс и средства для сохранения результатов расчетов и их последующего анализа.

Модель лазерной сварки с глубоким проплавлением решает задачи теплопереноса в металле в жидкой и твердой фазах, гидродинамики течения расплава, течения паров металла и формирования лазерно-индуцированной плазмы,

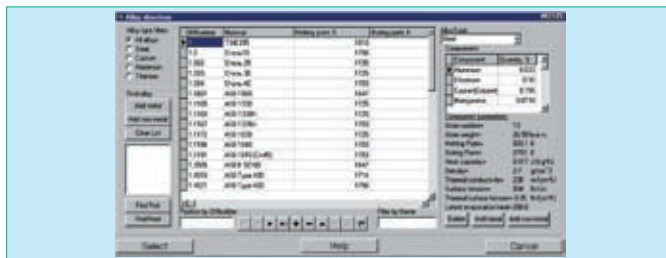


Рис.2 База данных по составу и свойствам свариваемых материалов

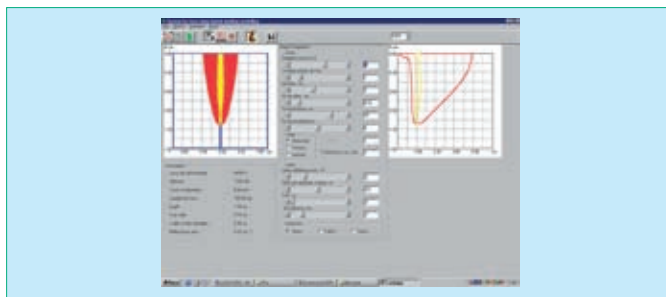


Рис.3 Диалоговый оптимизатор режимов гибридной сварки

а также прохождения луча через плазму (рис.1). Модель гибридной сварки учитывает помимо характерных для лазерной сварки процессов задачи теплопереноса от дополнительного теплового источника: дугового, плазменного или светового. Для сварки с поверхностным проплавлением она позволяет рассчитать температурные поля на основе численного решения трехмерной задачи нестационарной теплопроводности. Модель электронно-лучевой сварки включает в себя решение задач тепломассопереноса, газодинамики и кинетики разлета паров металла в вакууме, рассеяния луча на парах металла при сварке с глубоким проплавлением.

Сегодня еще не создана полная адекватная теоретическая модель динамики сварочной ванны из-за сложности описания протекающих в ней процессов. Поэтому пока для ана-

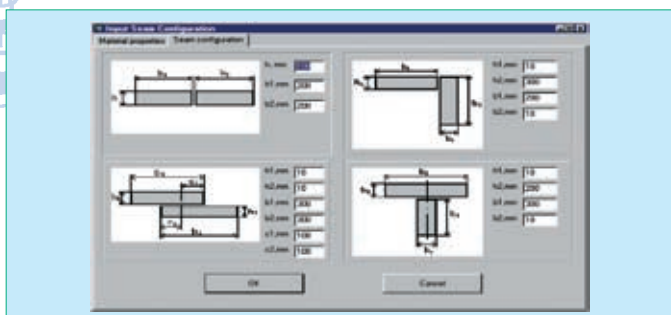


Рис. 4 Выбор типа сварного соединения

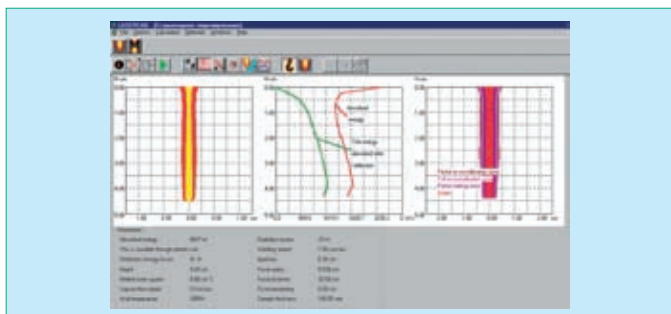


Рис. 5 Анализ распределения тепловложения по глубине сварного шва при электроннолучевой сварке низкоуглеродистой стали

лиза изменения глубины проплавления, ширины парогазового канала и сварочной ванны, развития волн на поверхности парогазового канала, приводящих к формированию пористости и выплеску жидкой фазы, используется математическая модель сварочной ванны, основанная на механике Лагранжа\*. Совместное решение задачи об испарении и диффузии примесей в расплаве с учетом гидродинамики течения жидкого металла и газодинамики разлета паров позволяет составить прогноз химического состава металла в зоне лучевого воздействия.

Информационно-справочная система программы LaserCAD включает в себя базы данных по материалам (рис.2), оборудованию и качеству получаемых соединений. База данных по материалам содержит сведения о физических свойствах металлов, неметаллов, сталей и алюминиевых сплавов, их химическом составе, а также о структурном составе сталей, полученном на основе термокинетических диаграмм распада аустенита. Банк данных по оборудованию содержит информацию о режимах и условиях обработки. За критерий качества сварных соединений принимают структуру металла шва и околшованной зоны. Надежность конструкции прогнозируется на основе численных расчетов по принятым моделям с учетом значений, выбранных из банков материалов и рабочего оборудования.

Интерфейс САПР LaserCAD позволяет работать в диалоговом режиме (рис.3). Специальная функция "Ручной оптимизатор" облегчает и ускоряет подбор необходимого режима

\*Лагранжева механика – математические методы описания движения системы материальных частиц без учета их взаимодействия с внешней средой, то есть без учета диссипативных сил. Тогда траектория движения объекта отыскивается через разность кинетической и потенциальной энергий. (Прим. ред.).

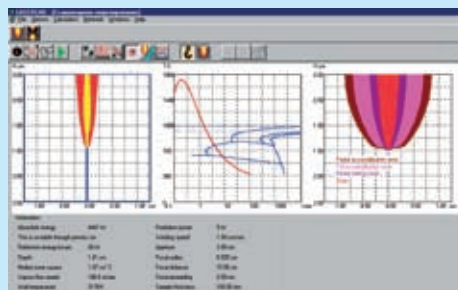


Рис. 6 Анализ структуры сварного соединения стали 30ХМ при лазерной сварке

обработки для достижения требуемого результата. Система может работать в многооконном режиме, позволяющем одновременно решать несколько задач и сравнивать результаты комбинации материалов, типы сварного соединения (рис.4) и тепловую мощность луча (рис.5), а затем анализировать их (рис.6) и выбирать оптимальные (рис.7). Базы данных открыты для редактирования и пополнения новой информацией, в том числе – непосредственно через Интернет.

Программа написана на языке Object Pascal в среде Delphi5. Она работает в среде Windows XP, минимальные системные требования – процессор Pentium-III с тактовой частотой 500 МГц, объем ОЗУ – 64 Мбайт. Оптимизированные алгоритмы обеспечивают необходимое для производственной практики быстродействие системы – так, расчет одного варианта режима сварки занимает не более одной минуты.

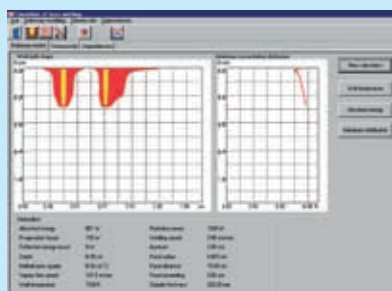


Рис.7 Расчет распределения Mg по глубине сварного шва при лазерной сварке сплава АМг6

САПР LaserCAD и ее аналоги успешно применяются в ЦНИИ РТК и ЦНИИ ТС в Санкт-Петербурге, в МВТУ им. Баумана и НИИТ в Москве, и в Германии в ISF (Институт сварки и соединений, Institut für Schweißtechnik und Fügetechnik), ILT (Институт лазерной техники, Fraunhofer-Institut für Lasertechnik), IWS (Институт материалов и лучевой техники, Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik), Weldaix (Ingenieurgesellschaft für Schweiß- und Fertigungstechnik), NMB (Kompetenzzentrum – Neue Materialien Bayreuth), SLV Rostock (Служба обучения и аттестации сварщиков, Schweisstechische Lehr- und Versuchsanstalt). Помимо проектирования технологических процессов система полезна в образовательном процессе как компьютерный тренажер по лучевым технологиям. Сегодня САПР LaserCAD развивается в направлении создания модуля лазерной наплавки и напыления.