

Отсюда следует, что модулированное колебание содержит в своем спектре только высокочастотные составляющие: несущее колебание с частотой ω_0 и комбинационные колебания с частотами $\omega_0 \pm \Omega$, близкими к ω_0 , поскольку $\Omega \ll \omega_0$. При детектировании (демодуляции) колебания получается низкочастотный сигнал вида $u_{\text{вых}}(t) = A \cos \Omega t$.

Таким образом, детектирование (демодуляция) сопровождается преобразованием частотного спектра и поэтому не может быть осуществлено без применения нелинейных систем или же линейных систем, но с переменными параметрами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лосев В.Ф., Морозова Е.Ю., Ципилев В.П. Физические основы лазерной обработки материалов. – Томск.:

Изд-во Томского политехнического университета, 2011. -199с.

2. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюрин А.И. Технологические процессы лазерной обработки. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2006. - 664 с.

САД/САЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ БЕЗДЕФЕКТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ «МЕЗА»

Мальшев Д.Ю., Деев М.А.
E-mail: dmitry.mlv@gmail.com

Научный руководитель: канд. физ.-мат.наук, доцент Крехтулева Р.А., Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Введение

Уровень развития современных систем автоматизированного проектирования (САПР) позволяет использовать цифровые технологии на самых разных этапах производственного цикла: от создания изделия до его эксплуатации и последующей утилизации. Активное внедрение САПР в хозяйственную и социальную жизнь является залогом роста производительных сил общества, рационального использования трудовых и материальных ресурсов, повышения конкурентоспособности выпускаемой продукции и укрепления экономики в целом.

Настоящая работа посвящена развитию методов предпроектной диагностики состояния материала конструкции, подвергнутого интенсивной термообработке. Актуальность данного исследования обусловлена тем, что термические методы (сварка, наплавка, пайка, литье и т.д.) широко применяются в производстве объектов машиностроения, приборостроения, транспорта и других. Существующие методы контроля качества получаемых изделий, как правило, констатируют факт пригодности или непригодности изделия уже после того, как оно получено. При наличии брака в изделии оно изымается из производственного цикла и подлежит либо восстановлению, либо утилизации. В отдельных случаях скрытые дефекты не удается своевременно обнаружить. Чаще всего это случается в зоне сварных соединений из-за больших остаточных напряжений или разупрочнения материала в процессе кристаллизации. Скрытые дефекты возникают при усадке литых изделий из-за нелинейности процессов охлаждения. Термообработка материалов, имеющих при определенных температурах фазовые переходы, также может спровоцировать возникновение дефектов в виде микротрещин из-за скачкообразного изменения внутренней структуры. В результате оказывается, что обнаруженные дефекты снижают производительность и повышают себестоимость продукции, а не обнаруженные (пропущенные) дефекты увеличивают риски техногенных аварий. В то же время возникновение значительной доли дефектов можно избежать, если при выборе технологических режимов термообработки материалов использовать средства САПР технологических процессов. В данной работе рассматривается применение методологии САПР для диагностики обрабатываемых изделий и оценки их качества с использованием программного обеспечения (ПО) «Meza».

Структура и возможности ПО «Meza»

Полная версия ПО «Meza» является цифровой 3D моделью технологических процессов сварки, наплавки, термической резки, газотермического нагрева и охлаждения материалов различной внутренней структуры: однородных, пористых, слоистых, материалов с включениями. В эту программу входит две подсистемы: CAD (Computer Aided Design) – системы конструкторского проектирования и CAE (Computer Aided Engineering) – системы расчетов и инженерного анализа.

Программа предназначена для проектирования новых конструкционных материалов, конструирования изделий 3D геометрии и исследования влияния технологических режимов на изменение теплофизических параметров обрабатываемых материалов. ПО «Meza» позволяет осуществлять технологическую подготовку производственных циклов и выполнять научно-исследовательские работы по изучению зависимостей «воздействие – состав – свойство» для различных конструкционных материалов.

Блок Meza – CAD позволяет проектировать материалы с различной внутренней структурой, а также проектировать элементы конструкций из этих материалов, которые в дальнейшем будут подвергаться термообработке. Геометрические размеры структурных элементов могут варьироваться в широких пределах: от долей миллиметра до нескольких сотен миллиметров. На Рис. 1 представлены примеры проектирования конструкций усложненной геометрии и материала с внутренней структурой.

В блоке Meza – CAE осуществляется компьютерный эксперимент обработки элемента конструкции, созданного в блоке Meza – CAD, по одной из базовых технологий. Из базы данных выбирается тип источника нагрева (электрическая дуга, электронный луч, газотермический поток и прочее), задаются режимы воздействия: скорость и траектория движения источника нагрева, его мощность, коэффициент полезного действия, задаются другие исходные данные: начальная температура образца, характеристики окружающей среды (воздух, вакуум), область теплового воздействия источника и т.д. Слежение за процессом осуществляется по показаниям виртуальных термодатчиков, которые могут быть выставлены по всему объему образца с шагом $h \geq 0,1$ мм. Термодатчики регистрируют изменение температуры (нагрев-охлаждение) в конкретной точке материала в зависимости от времени (Рис.2,а). Также предусмотрено слежение за протяженностью зон фазовых превращений и за распределением температурных полей в различных сечениях обрабатываемого образца (Рис. 2,б и 2,в).

В базе данных ПО «Meza» содержатся теплофизические параметры более тридцати материалов различной физической природы: технически чистых металлов, сталей, газов, неметаллических веществ. Вычисления проводятся конечно-разностным методом. В систему математического описания технологических процессов входят: пространственное динамическое уравнение теплопроводности, уравнение фазовых переходов Стефана, уравнения состояния материалов, уравнение теплового потока от источника нагрева, уравнение движения источника нагрева и температурные зависимости теплофизических параметров реальных материалов.

Более подробное описание структуры программы и оценка достоверности расчетных методов приведены в работах [1-3].

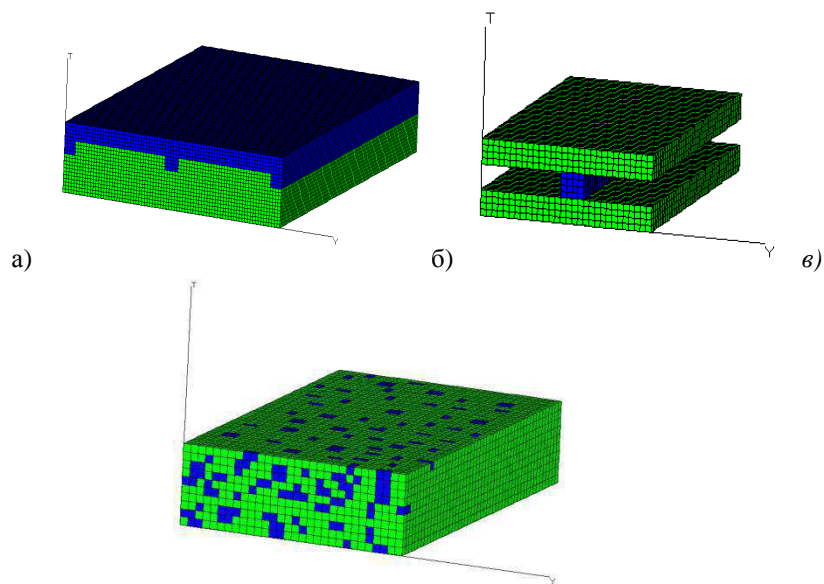


Рис.1. Примеры проектирования: а, б – образцы усложненной геометрии, в – материал сложной внутренней структуры.

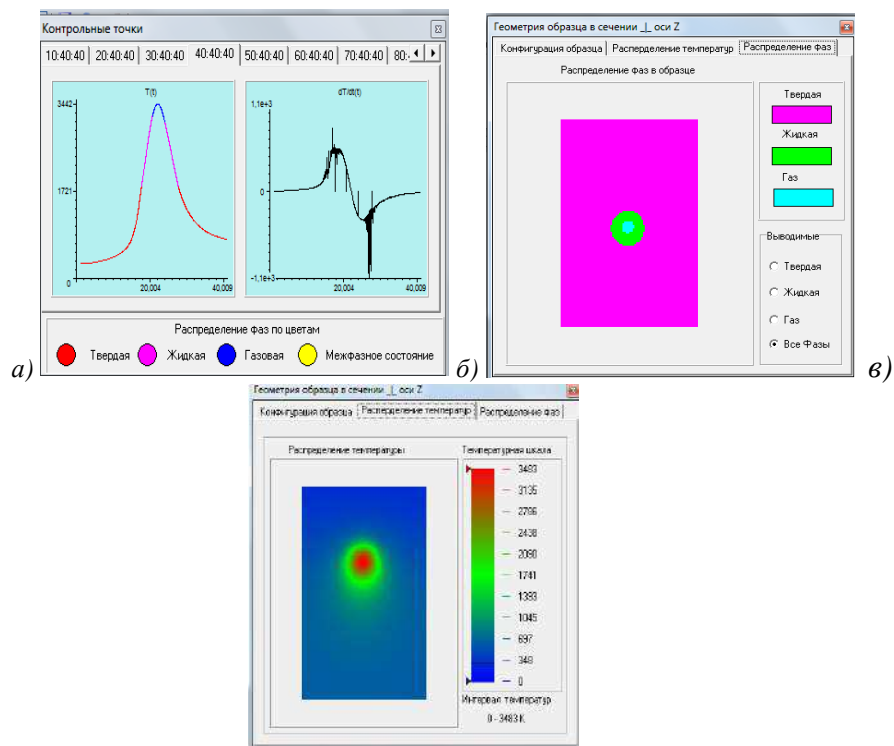


Рис. 2. Способы слежения за изменением температурных полей и фазовыми превращениями в объеме материала.

Примеры оценки дефектности при различных режимах термообработки

Природа образования дефектов при термообработке материала различна. Она может быть связана с неоднородностью структуры материалов, с нелинейностью теплофизических свойств

материалов, с наличием краевых эффектов и разных других факторов, большинство из которых удастся обнаружить при тщательных расчетах с использованием ПО «Meza» [4,5]. Покажем это на примере тепловой обработки прямоугольных образцов с размерами 120x80x10 мм, выполненных из стали Ст20Х13. Мощность источника нагрева задавалась $q=9,5$ Квт/см². Компьютерные эксперименты показали, что характер нагрева пластин существенно зависит от скорости движения источника. Так, при скорости $V=1,5$ мм/с глубина проплавления, исключая начало и конец пластины, составляет 1мм (Рис.3,а). Однако, значительная часть зоны расплава активно испаряется, это проиллюстрировано на Рис.2. Следовательно, можно сделать вывод о том, что при таких режимах поверхностный слой металла после охлаждения приобретет сильную шероховатость, что недопустимо. Кроме того, правый конец пластины из-за перегрева будет подвержен большим остаточным деформациям. Это, так называемый, краевой эффект. При увеличении скорости до $V=3$ мм/с (Рис.3,б) удалось избежать испарения расплава и одновременно уменьшить величину краевого эффекта. Таким же образом можно установить мощность источника, необходимую для предварительного подогрева, чтобы избежать возникновения краевых эффектов в левой части пластин, то есть при начале обработки образцов.

В результате проведенных исследований было показано, что САПР технологических процессов на основе программного обеспечения «Meza» может быть надежным инструментом подготовки производственных операций, связанных с термообработкой материалов, в том числе новых конструкционных материалов, свойства которых еще недостаточно исследованы. Данный способ анализа позволяет заменить трудоемкие экспериментальные исследования компьютерными расчетами, что повышает точность выбора нужных технологических режимов и существенно сокращает временные и материальные затраты, особенно на этапе обработки новых технологий.

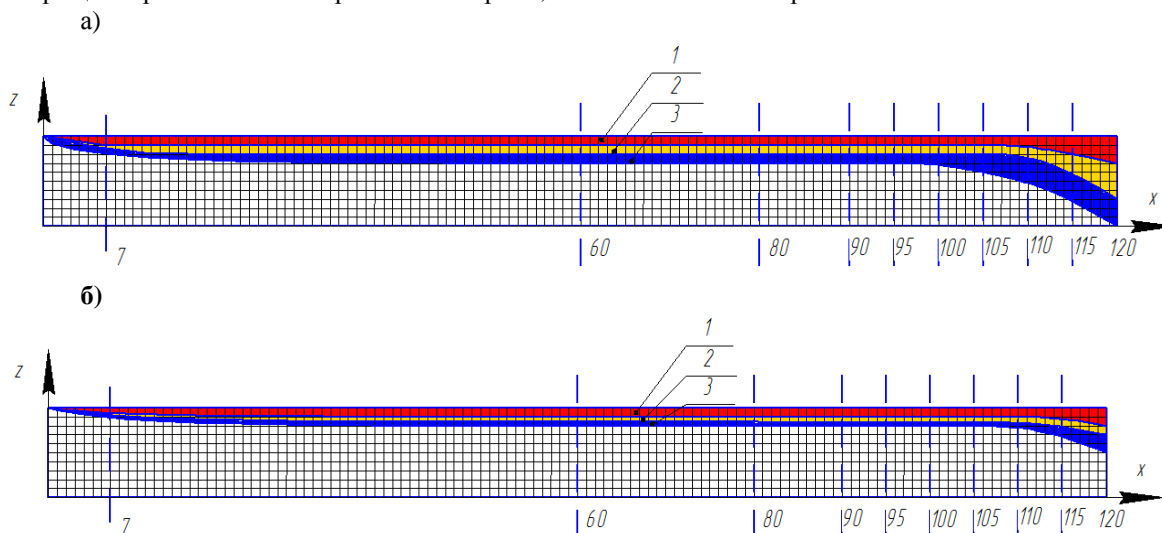


Рис. 3 влияние режимов обработки на образования краевых эффектов в Ст20Х13
 Зона термического воздействия: 1 - зона плавления, 2 – зона неполного плавления (1820-1500)К, 3 – зона перегрева (1500-1200)К

Список литературы

1. Кректулева Р. А., Батрагин А. В., Бежин О. Н. Применение программного обеспечения Meza для оценки дефектности сварных соединений на стадии проектирования // Сварка и диагностика. – 2009. – № 2. – С. 36–42.
2. Бежин О.Н., Косяков В.А., Кректулева Р.А. Формирование тепловых локализованных структур в сварном шве при импульсно-дуговой сварке неплавящимся электродом // ПМТФ 1998. № 6. С. 172–176.
3. Кректулева Р.А. Компьютерное моделирование и анализ теплофизических процессов при сварке неплавящимся электродом с использованием теплоотводящих покрытий.// Сварка и диагностика.- 2011. – №4. – С.45–51.
4. Кректулева Р.А. Численное моделирование процессов теплопереноса в материалах с мезоструктурой // Изв. ВУЗов.Физика. – 2011. – №10/2С.103–108.

5. Кректулева Р. А., Деев М. А., Малышев Д. Ю. Исследование краевых эффектов в сварных соединениях с учетом влияния скорости сварки по результатам компьютерных экспериментов. Труды VII-й международной научно-технической конференции «Современные проблемы машиностроения», 11-13 ноября 2013г. Томск, Россия. – Томск, 2013. – С.191–195.