

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 004.942

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛАЗЕРНОГО РАСКРОЯ СТАЛЬНОГО ПРОКАТА

Д.А. ЗОРЕНКО, канд. техн. наук

Тверской государственный технический университет,
170026, Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22, e-mail: dzorenko@yandex.ru

© Зоренко Д.А., 2021

В статье представлены основные результаты САЕ-моделирования процесса лазерного раскроя стального листового проката. Рассмотрены особенности создания расчетных моделей и полученных с их помощью параметров процесса. Получены картины температурных полей и распределения давления.

Ключевые слова: лазерный раскрой, температурное поле, метод конечных элементов, стальной листовой прокат, расчетная модель.

DOI: 10.46573/2658-5030-2021-63-68

ВВЕДЕНИЕ

Лазерный раскрой металлов в современном машиностроении является одной из самых распространенных технологических операций заготовительного производства [1–6]. Луч лазера имеет ряд свойств, позволяющих остро сфокусировать его на обрабатываемой поверхности. Световой пучок несет энергетический заряд высокой плотности. Интенсивность излучения на поверхности обрабатываемого изделия при газолазерной резке достигает величины $2 \cdot 10^6 \dots 10^8$ Вт/см² [1–3]. Под его воздействием практически любой материал активно плавится и испаряется. Для эффективного удаления расплава осуществляют продувку канала реза вспомогательным газом. Используют кислород, воздух, азот, ряд инертных газов. Одним из основных видов лазерного раскроя является лазерный раскрой с продувкой струей азота под давлением, позволяющий интенсифицировать процесс, увеличить толщину раскраиваемого металла и защитить поверхность реза от окисления.

Целью работы является моделирование процесса лазерного раскроя в струе азота с помощью расчетных комплексов с использованием метода конечных элементов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

На сегодняшний день существует несколько САЕ-систем, позволяющих осуществлять моделирование различных этапов газолазерной резки. Для решения поставленной задачи была выбрана система прочностного анализа АРМ FEM, предназначенная для работы в интерфейсе российской САД-системы КОМПАС-3D. Расчетный комплекс работает на основе метода конечных элементов, который является численным методом решения дифференциальных уравнений с частными производными, а также интегральных уравнений, возникающих при решении задач прикладной физики. Метод широко используется для решения задач механики деформируемого

твёрдого тела, теплообмена, газогидродинамики, электродинамики и топологической оптимизации.

Исходными данными являлись:

температура нагрева поверхности лучом 1 500 °С;

диаметр сфокусированного луча 0,3 мм;

диаметр струи азота 2 мм.

Давление азота в системе было принято равным 0,81 МПа. Толщина раскраиваемого листа 5 мм, соответственно, зазор между листом и торцом сопла был принят равным 3 мм.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

С целью упрощения моделирования процесс раскроя можно условно разделить на три составляющие, каждая из которых моделировалась отдельным этапом. На первом этапе производилось моделирование воздействия струи азота на поверхность раскраиваемого листа, представленное на рис. 1.

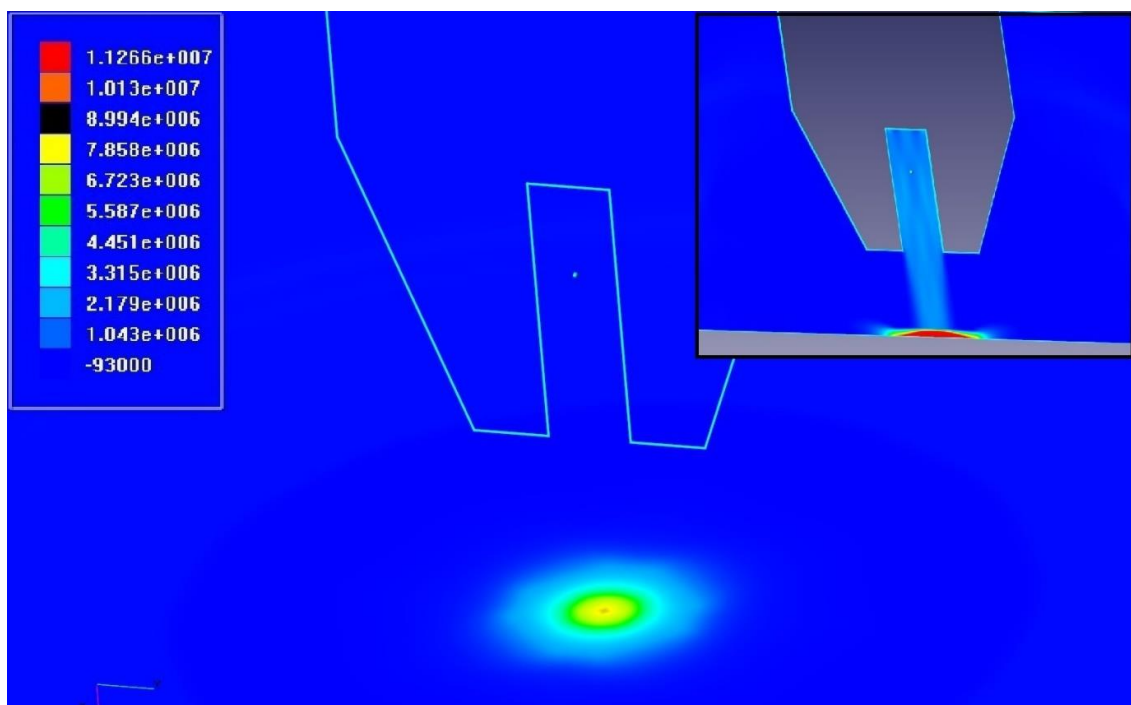


Рис. 1. Распределение давления струи азота по поверхности раскраиваемого листа

На втором этапе моделировался процесс нагрева листа лучом лазера. На рис. 2 представлено распределение температуры в массиве раскраиваемого материала при первоначальном контакте луча с поверхностью. Распределение температур по глубине листа показывает наибольшую температуру непосредственно в месте контакта с лучом, на глубине более 0,1 мм значение температуры падает ниже 1 100 °С. На следующих 0,1 мм глубины температура понижается еще на 400 °С. На глубине более 0,6 мм температура падает до значения 300 °С. Распределение температуры наблюдалось на временном интервале раскроя в 1 с (таблица). Температурное воздействие луча лазера на поверхность и давление струи азота являются основными факторами, определя-

щими скоростные свойства процесса и технологические возможности, указывающие на наиболее эффективно раскраиваемые толщины стальных листов.

Распределение температуры по глубине металла в зоне нагрева

Расстояние от поверхности, мм	Температура, °C
0,01	1 450
0,05	1 380
0,1	1 010
0,15	720
0,2	630
0,25	580
0,3	510
0,35	470
0,4	430
0,45	370
0,5	310
0,7	260
0,9	220
1,0	190
3,0	80
6,0	40
10,0	20

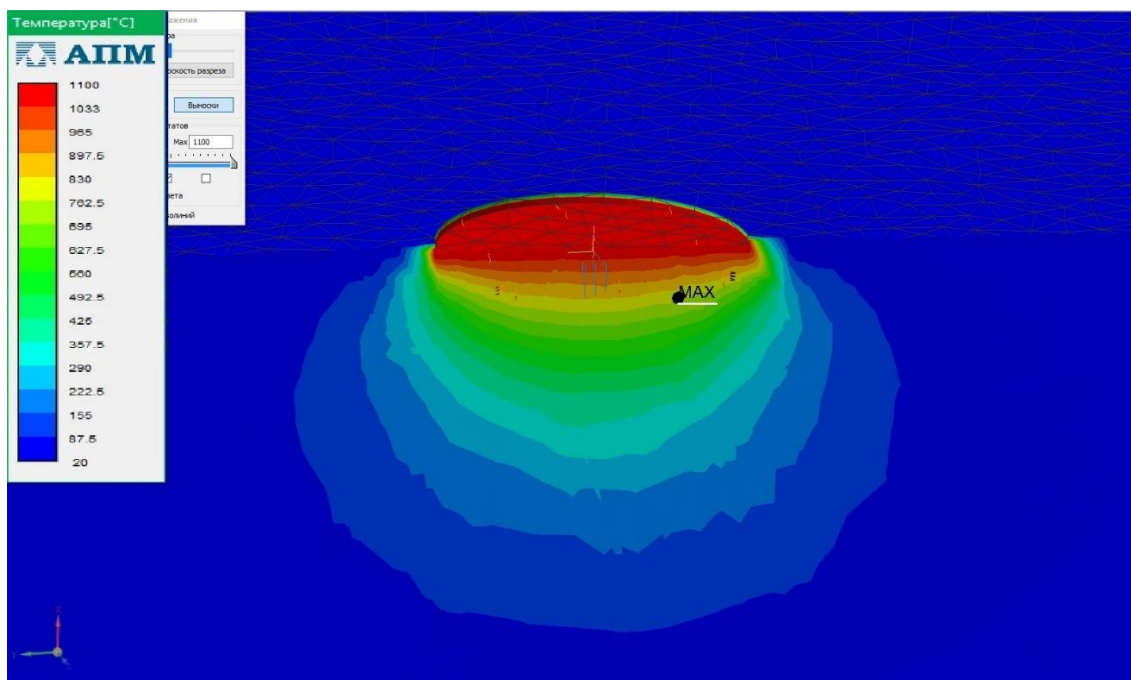


Рис. 2. Распределение температуры в зоне действия лазерного луча при его контакте с поверхностью (сечение)

Проверку результатов моделирования тепловых полей при газолазерной резке с продувкой азотом осуществляли по размерам зоны термического влияния образцов конструкционной стали, подвергнутых газолазерной резке [6]. Известно, что для каждой марки стали существуют критические температуры, при которых происходят фазовые превращения. Сопоставление экспериментальных данных с результатами расчетов показало хорошее соответствие с точностью 5...10 %, что достаточно для практического использования по оценке протяженности зоны лазерного воздействия.

Имея представление о распределении температуры в объеме материала, производили моделирование напряженного состояния с учетом давления струи азота (рис. 3).

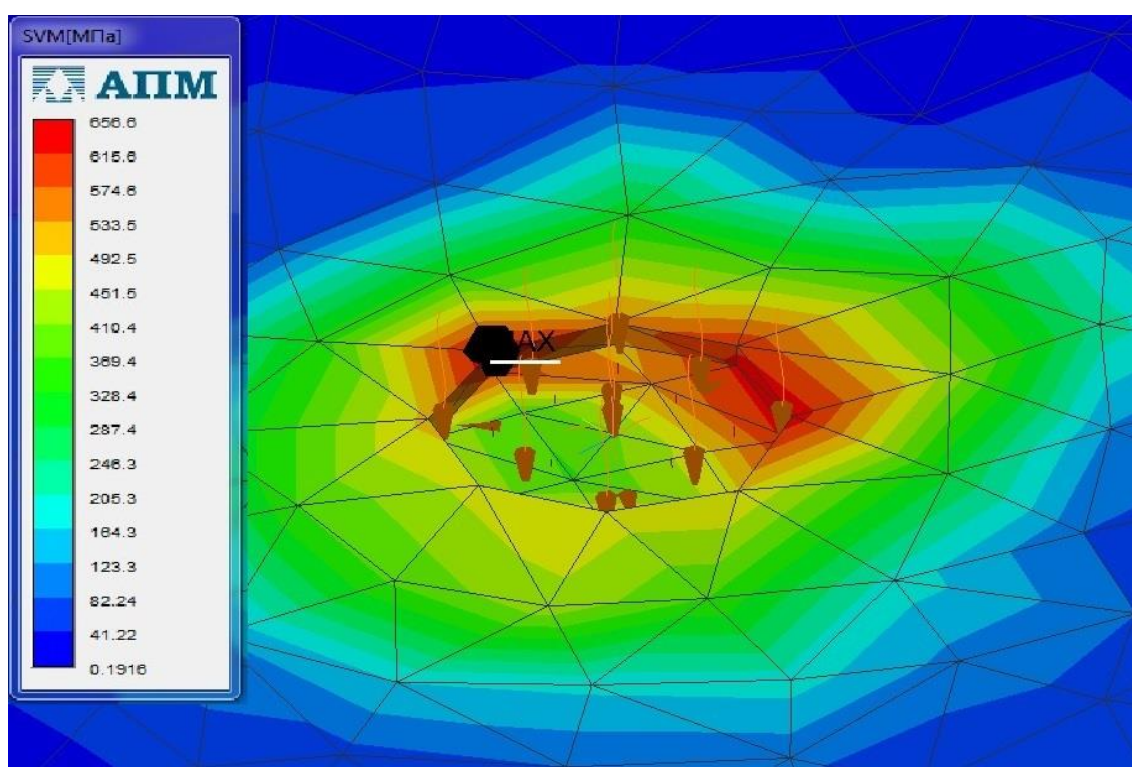


Рис. 3. Распределение механических напряжений в поверхностном слое нагретого стального листа под действием струи азота

Из распределения механических напряжений видно, что в зоне действия струи азота при рассматриваемых температурах они значительно превышают значение предела прочности стали 45 при сжатии. Из этого можно сделать вывод о гарантированном разрушении стали в зоне раскроя. Таким образом, показана возможность приближенного описания процесса без проведения сопряженных вычислений. Полученная модель позволяет отслеживать основные параметры процесса и их временные изменения. Результат представленного CAE-моделирования может служить основой для создания более точных расчетных моделей лазерного раскроя.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение метода конечных элементов позволяет быстро, эффективно, а главное, достоверно смоделировать процесс лазерного раскроя стального листового металла. Результаты моделирования показали хорошую корреляцию с результатами реального технологического процесса. В дальнейшем возможно повышение точности моделирования за счет привлечения больших вычислительных мощностей. Кроме того, большего приближения моделирования к реальному процессу можно достичь применением сопряженных вычислений, одновременно учитывающих как температурное, так и механическое воздействие в процессе раскроя. Конечно-элементный модуль APM FEM фирмы «АСКОН» позволяет успешно решать задачи моделирования таких сложных процессов, как газолазерная резка стального листового проката.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технологические лазеры: справочник / под ред. Г.А. Абильсиитова. Т. 1. М: Машиностроение, 1991. 432 с.
2. Харанжевский Е.В., Кривилев М.Д. Физика лазеров, лазерные технологии и методы математического моделирования лазерного воздействия на вещество: учебное пособие. Ижевск: Удмуртский университет, 2011. 187 с.
3. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И. Технологические процессы лазерной обработки. М: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. 664 с.
4. Petring D., Molitor T., Schneider F., Wolf N. Diagnostics, modeling and simulation: Three keys towards mastering the cutting process with fiber, disk and diode lasers // *Physics Procedia*. 2012. V. 39. P. 186–196.
5. Зоренко Д.А. CAE-моделирование лазерно-кислородного раскроя стального листового проката // *Journal of Advanced Research in Technical Science*. 2020. № 22. С. 5–8.
6. Макозюба Д.А., Ступина Т.М., Зоренко Д.А., Вареца Р.С., Афанасьева Л.Е. Влияние вспомогательных газов кислорода и азота на технологическую прочность зоны лазерного воздействия при раскрое стали 15пс // *Механика и физика процессов на поверхности и в контакте твердых тел, деталей технологического и энергетического оборудования*. 2009. № 2. С. 142–145.

Для цитирования: Зоренко Д.А. Моделирование лазерного раскроя стального проката // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2021. № 3 (11). С. 63–68.

SIMULATION OF LASER CUTTING OF ROLLED STEEL

D.A. ZORENKO, Cand. Sc.

Tver State Technical University, 22, Af. Nikitin emb.,
170026, Tver, Russian Federation, e-mail: dzorenko@yandex.ru

The article presents the main results of CAE-modeling of the process of laser cutting of steel sheet products. The features of the creation of computational models and the process parameters obtained with their help are considered. The pictures of temperature fields and pressure distribution are obtained.

Keywords: laser cutting, temperature field, finite element method, steel sheet rolling, laser cutting, calculation model.

REFERENCES

1. Tekhnologicheskiye lazery: spravochnik [Technological lasers: directory]; Pod red. G.A. Abilsiitova. V. 1. Moscow: Mashinostroyeniye, 1991. 432 p.
2. Kharanzhevsky E.V., Krivilev M.D. Fizika lazerov, lazernyye tekhnologii i metody matematicheskogo modelirovaniya lazernogo vozdeystviya na veshchestvo: uchebnoye posobiye [Physics of lasers, laser technologies and methods of mathematical modeling of laser action on matter. Tutorial]. Izhevsk: Udmurtskiy universitet, 2011. 187 p.
3. Grigoryants A.G., Shiganov I.N., Misyurov A.I. Tekhnologicheskiye protsessy lazernoy obrabotki [Technological processes of laser processing]. M: MGTU, 2006. 664 p.
4. Petring D., Molitor T., Schneider F., Wolf N. Diagnostics, modeling and simulation: Three keys towards mastering the cutting process with fiber, disk and diode lasers. *Physics Procedia*. 2012. V. 39, pp. 186–196.
5. Zorenko D.A. CAE-modeling of laser-oxygen cutting of steel sheet products. *Journal of Advanced Research in Technical Science*. 2020. No 22, pp. 5–8.
6. Makozyuba D.A., Stupina T.M., Zorenko D.A., Varetsa R.S., Afanasieva L.E. Influence of auxiliary gases oxygen and nitrogen on the technological strength of the zone of laser action during cutting of steel 15ps. *Mekhanika i fizika protsessov na poverkhnosti i v kontakte tverdykh tel, detaley tekhnologicheskogo i energeticheskogo oborudovaniya*. 2009. No 2, pp. 142–145.

Поступила в редакцию/received: 07.04.2021; после рецензирования/revised: 20.05.2021;
принята/accepted 01.06.2021