

CAE-МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ СОПЛА ГАЗОКИСЛОРОДНОГО РЕЗАКА

Зоренко Д.А.

Тверской государственный технический университет, Тверь

Ключевые слова: газокислородный раскрой, температурное поле, метод конечных элементов, расчетная аэрогидродинамика, сопло газокислородного резака, сопряженные вычисления, сопряженный теплообмен.

Аннотация. В статье представлены основные результаты CAE-моделирования температурных процессов, происходящих в сопле газокислородного резака при раскрое стального скрапа толщиной более 700 мм. Показано распределение температуры в теле сопла при его охлаждении струей режущего кислорода. Рассмотрены особенности создания расчетных моделей теплопереноса с поверхности скрапа на рабочий торец сопла, а также проведено моделирование распределения температуры по его поверхности.

CAE-MODELING OF TEMPERATURE FIELDS OF THE NOZZLE OF AN OXYGEN GAS CUTTER

Zorenko D.A.

Tver State Technical University, Tver

Keywords: oxygen-gas cutting, temperature field, finite element method, computational aerohydrodynamics, nozzle of an oxygen-gas cutter, coupled calculations, coupled heat transfer.

Abstract. The article presents the main results of CAE modeling of temperature processes occurring in the nozzle of an oxygen-gas cutter when cutting steel scrap with a thickness of more than 700 mm. The temperature distribution in the nozzle body is shown when it is cooled by a jet of cutting oxygen. The features of creating computational models of heat transfer from the scrap surface to the working end of the nozzle are considered, as well as modeling the temperature distribution over its surface.

Газокислородный раскрой крупногабаритных отходов металлургической промышленности является актуальной и сложной технической задачей. Процесс раскроя осложняется большими габаритами отходов – скрапа и наличием толстой и плотной окалины на его поверхности. Диаметры более 700 мм и многометровые линейные размеры дают многотонную массу металла, раскрой которой осуществляется без транспортировки, непосредственно на месте накопления. Таким образом, газокислородный резак подводится непосредственно к раскраиваемому скрапу. Процесс раскроя характеризуется большим расходом режущего и подогревающего кислорода, а также горючего газа. Режущая струя имеет температуру более 1600°C, а зона горения стали разогревается до температуры более 2000°C. При этом рабочая часть резака – сопло, находясь в непосредственной близости от нее, подвергается высокотемпературному воздействию. Работоспособность в этих условиях обеспечивается высокой теплопроводностью материала и принудительным охлаждением. В качестве материала сопла чаще всего используются хромистые бронзы с теплопроводностью 315 Вт/(м·К). Принудительное охлаждение сопла затрудняется условиями его работы и конструктивными особенностями

раскройных машин. Единственными источниками охлаждения сопла являются потоки проходящих через него газов, основной из которых – поток режущего кислорода через центральное отверстие (рис. 1).

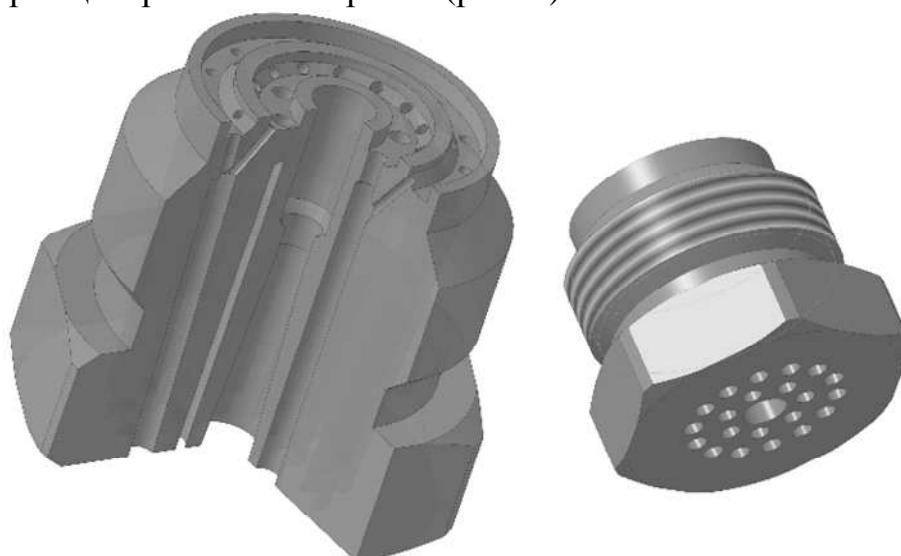


Рис. 1. Общий вид сопла скрапового резака

Целью проведенного исследования являлось САЕ-моделирование условий работы сопла и получение распределения температурных полей на поверхности и внутри него.

Моделирование проводилось в специализированном программном комплексе расчетной аэрогидродинамики [1-4], в котором имитировался теплоперенос между зоной горения стали и рабочим торцом сопла через воздушную прослойку, размер которой был выбран наиболее часто применяемым – 30 мм. В качестве результатов были получены картины распределения температуры как по поверхности сопла (табл. 1, рис. 2), так и в его объёме (табл. 2, рис. 3). Температура нагретой поверхности скрапа была принята равной 2000°C. Поток кислорода через центральный канал сопла не моделировался. В процессе моделирования осуществлялось сопряжение двух расчетных областей – воздух вокруг сопла и материал самого сопла. В качестве материала сопла использовалась хромистая бронза марки БрХ1. В результате моделирования было установлено максимальное значение температуры на торцевой поверхности сопла (1250°C), что превышает температуру плавления.

Табл. 1. Распределение температуры на поверхности сопла, °С

На нижнем торце	На боковой поверхности шестигранника	На поверхности с резьбой	На верхнем торце
1280	900...1280	850...500	500...350

Табл. 2. Распределение температуры в секущей плоскости, °С

Над поверхностью скрапа	В слое, прилегающем к нижнему торцу сопла	В районе резьбы сопла	В районе верхнего торца	В объёме сопла
2000	1300...1460	1000...1350	500...950	1150...1250

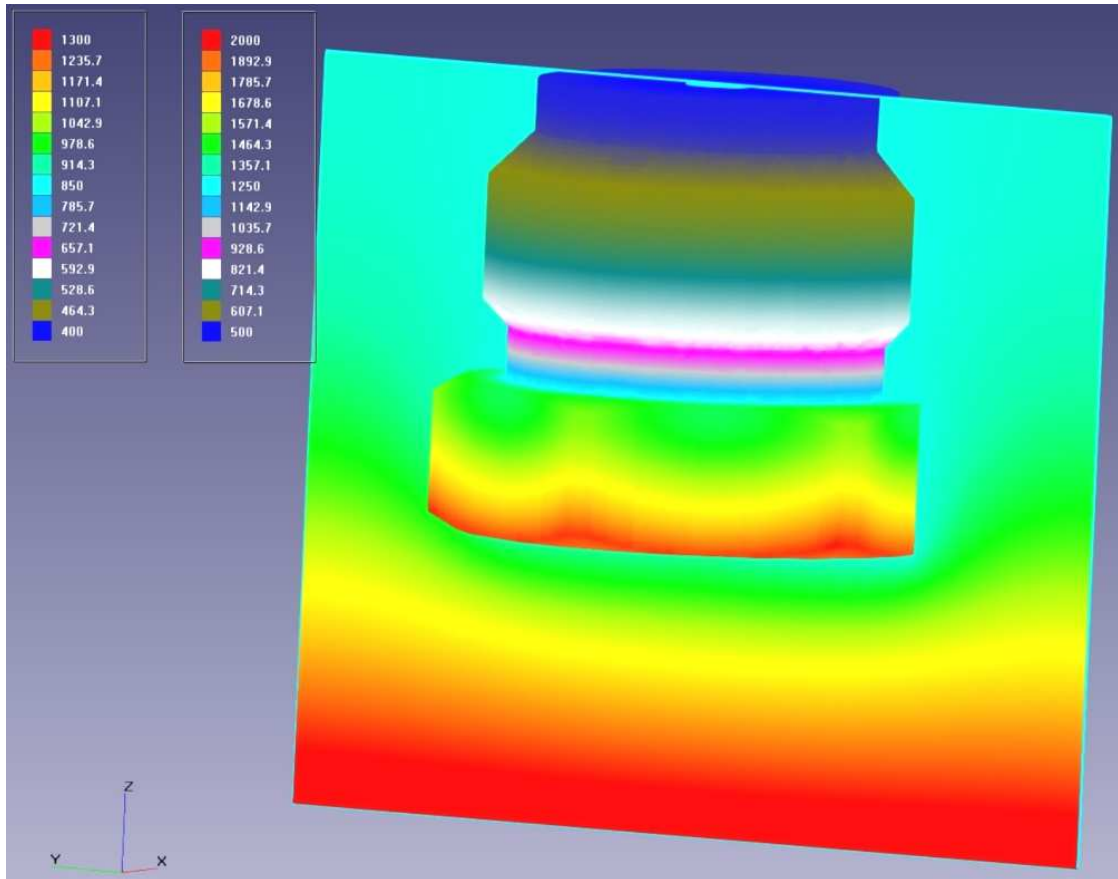


Рис. 2. Распределение температуры по поверхности сопла и в воздухе вокруг сопла на секущей плоскости

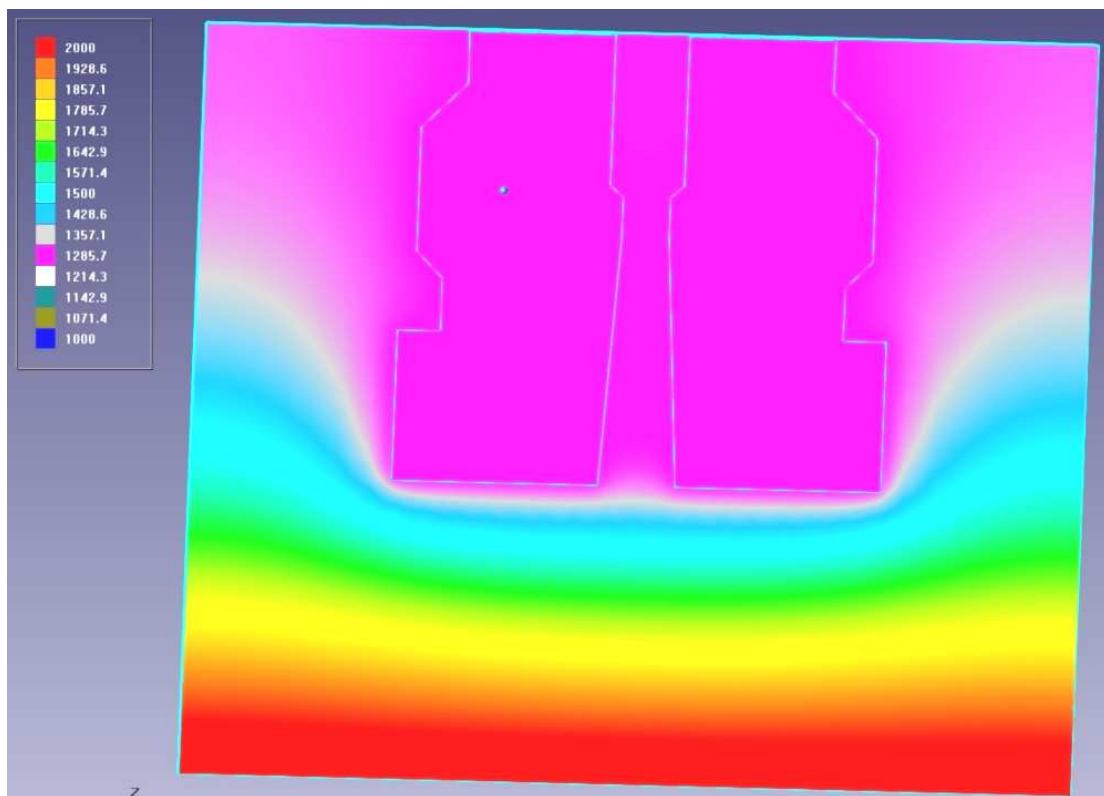


Рис. 3. Температурное поле в секущей плоскости, захватывающей как само сопло, так и окружающий его воздух

Таким образом, можно сделать вывод о том, что работа сопла в представленных условиях невозможна без охлаждения потоками кислорода и горючего газа. Достаточно большой объём и масса рабочего торца сопла, хорошие теплопроводящие свойства его материала также положительно влияют на его работоспособность. В качестве заменителя хромистой бронзы в подобных рабочих условиях могут выступать различные марки меди, уступающие ей только по прочностным свойствам.

В качестве основных выводов можно отметить следующие: применение метода конечных элементов позволяет быстро, эффективно, а главное достоверно моделировать сложные процессы теплопереноса между различными веществами, находящимися в разных агрегатных состояниях. Моделирование таких процессов с применением сопряженных вычислений позволяет в еще более высокой степени приблизить расчетную модель к ее природному прототипу. Таким образом, результаты моделирования, хоть и косвенно, но показали хорошую корреляцию с результатами реального технологического процесса. В дальнейшем возможно повышение точности моделирования путем учета продувки режущего и подогревающего кислорода, а также горючего газа через каналы, которые в представленной работе не учитывались с целью уменьшения числа расчетных ячеек, снижения нагрузки на ПК и увеличения скорости вычислений. В последующих расчетах имеет смысл повысить точность моделирования за счет привлечения больших вычислительных мощностей. Таким образом, конечно-элементные комплексы расчетной аэрогидродинамики позволяют успешно решать сложные задачи сопряженного теплопереноса при моделировании работы газокислородных резаков в условиях близких к натуральным.

Список литературы

1. Аксенов А.А., Гудзовский А.В. Пакет прикладных программ FlowVision // Труды МФТИ, серия Аэрофизика и прикладная математика. –1998. – С. 45-56.
2. Зоренко Д.А. Моделирование лазерного раскроя стального проката // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки». – 2021. – №3(11). – С. 63-68.
3. Лавров А.В., Зоренко Д.А. Использование системы FlowVision в качестве виртуальной лаборатории при проведении проектных расчетов узла поджига для машин термической резки металлов // САПР и графика. – 2007. – № 4. – С. 32-36.
4. Диденко Д.В., Балувев Д.Е., Маров И.В., Никаноров О.Л., Рогожкин С.А., Сорокин С.Е. Расчетное моделирование теплофизических процессов в высокотемпературном газоохлаждаемом реакторе // Компьютерные исследования и моделирование. – 2023. – Т. 15, № 4. – С. 895-906.

Сведения об авторе:

Зоренко Дмитрий Анатольевич – к.т.н., доцент.