

DIGITAL TRANSFORMATION OF PEAT INDUSTRY. PART 1. PRINCIPLES OF GEOMODELING OF PEAT DEPOSIT

T.B. YAKONOVSKAYA, Cand. Sc.

Tver State Technical University
22, Af. Nikitin emb., Tver, 170026, e-mail: tby81@yandex.ru

The article describes the methodology of peat deposit geomodeling. The principles of creating and using a digital model of peat deposit are shown. Peat production as an information object is evaluated. The article describes the peculiarities of geoinformation systems application in the conditions of peat extraction enterprises, as well as the sources of initial information required for geomodeling of peat production facilities.

Keywords: peat deposit, modeling, modeling objects, sources of information, modeling principles.

Поступила в редакцию/received: 24.11.2023; после рецензирования/revised: 30.11.2023;
принята/accepted: 05.12.2023

УДК 004.942

САЕ-МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ СОПЛА СКРАПОВОГО РЕЗАКА, ОХЛАЖДАЕМОГО СТРУЕЙ РЕЖУЩЕГО КИСЛОРОДА, С ПРИМЕНЕНИЕМ СОПРЯЖЕННОГО ВЫЧИСЛЕНИЯ

Д.А. ЗОРЕНКО, канд. техн. наук

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

© Зоренко Д.А., 2024

В статье представлены основные результаты САЕ-моделирования температурных процессов, происходящих в сопле скрапового резака при раскросе скрапа толщиной более 800 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 проведены сопряженные вычисления температурных полей в теле сопла при холодной продувке струей режущего кислорода центрального канала.

Ключевые слова: газокислородный раскрой, температурное поле, метод конечных элементов, расчетная модель, расчетная аэрогидродинамика, скрап, сопряженные вычисления, сопряженный теплообмен.

DOI: 10.46573/2658-5030-2024-1-95-101

ВВЕДЕНИЕ

Газокислородный раскрой крупногабаритных отходов металлургической промышленности (т.е. скрапа) является актуальной и непростой (с технической точки зрения) задачей. Этот процесс осложняется большими габаритами скрапа и наличием

толстой и плотной окалины на его поверхности. Диаметры более 800 мм и линейные размеры, достигающие нескольких метров, дают многотонную массу металла, раскрой которой осуществляется без транспортировки, непосредственно на месте накопления, т.е. газокислородный резак на специальной кронштейне подводится к раскаиваемому скрапу (рис. 1).



Рис. 1. Вид рабочей зоны раскроя скрапа

Процесс характеризуется большим расходом режущего и подогревающего кислорода, а также горючего газа. Режущая струя имеет температуру более 1 600 °С, а зона горения стали разогревается до температуры более 2 000 °С. При этом рабочая часть резака – сопло – находится в непосредственной близости от нее. И хотя расстояние при этом процессе увеличивают до 30...80 мм, сопло подвергается воздействию высоких температур. Залогом его работоспособности в таких условиях являются большая теплопроводность материала и желательное принудительное охлаждение. В качестве материала сопла чаще всего используются хромистые бронзы с теплопроводностью 315 Вт/(м·К) и температурой плавления 1 080 °С. По этим параметрам они не уступают различным маркам меди, превосходя их по прочностным свойствам. Принудительное охлаждение сопла затрудняется условиями его работы и конструктивными особенностями скраповых машин и резаков.

Единственными источниками охлаждения сопла являются потоки проходящих через него газов и основной из них – поток режущего кислорода, проходящий через центральное отверстие (рис. 2). В существующих моделях не учитывалось влияние подогревающего кислорода и горючего газа, при этом были исключены каналы их подвода в рабочую зону. Они присутствуют в сопле в большом количестве и, имея малые сечения, существенно усложняют расчет, забирая на себя большое количество расчетных ячеек.

Цель настоящей работы – провести САЕ-моделирование работы скрапового сопла, получить распределение температурных полей внутри него и выявить влияние на поля охлаждающих свойств струи режущего кислорода.

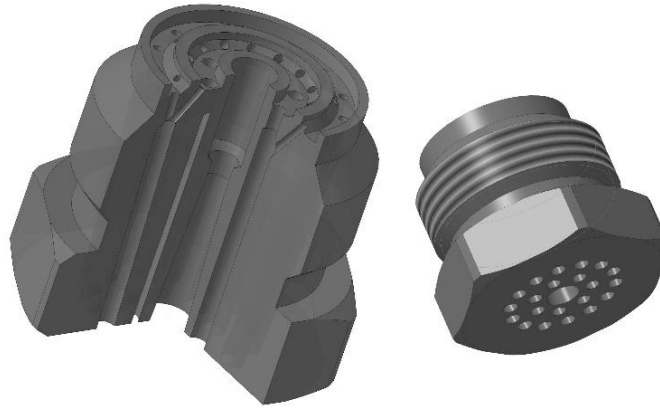


Рис. 2. Общий вид сопла скрапового резака

МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Моделирование производилось в специализированном программном обеспечении [1–3]. Процесс был разделен на три этапа: холодную продувку струей кислорода центрального отверстия сопла; моделирование конвективного теплопереноса от нагретой зоны раскроя к рабочему торцу сопла; сопряженное вычисление аэродинамики потока режущего кислорода и отвода им тепла от материала сопла [4–7].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На первом этапе моделировалось холодное течение режущего кислорода через центральное отверстие скрапового сопла. На рис. 3 представлено распределение скорости потока кислорода в продольном сечении сопла. Входное избыточное давление кислорода – 600 кПа. В качестве давления на выходе из сопла принималось атмосферное. Температура кислорода – 10 °С. Расчетная сетка адаптировалась по стенкам отверстия и объему описанного вокруг него цилиндра.

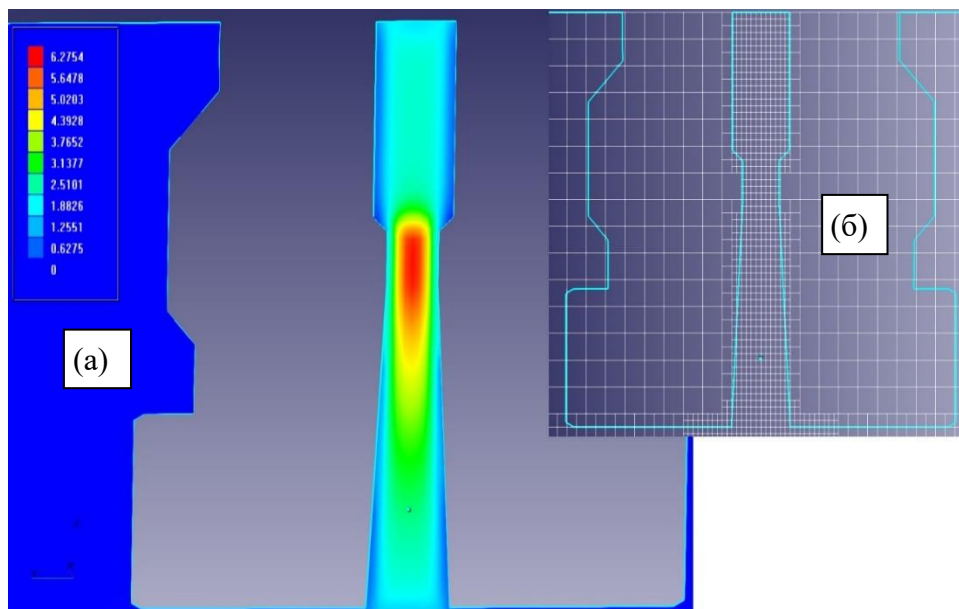


Рис. 3. Распределение скорости потока режущего кислорода в центральном канале сопла (а) и расчетная сетка (б)

При рабочем давлении скорость потока в канале сопла достигает 6 м/с. Среднее значение скорости потока в пристеночном слое составляет 3 м/с. Полученные значения скоростей в последующем сопряженном расчете позволят проконтролировать получающиеся значения.

Следующий этап – моделирование теплопереноса 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 (рис. 4), так и в его объеме (рис. 5). Температура нагретой поверхности скраба была принята равной 2 000 °С. Поток кислорода через центральный канал сопла не моделировался. В ходе моделирования осуществлялось сопряжение двух расчетных областей – воздуха вокруг сопла и материала самого сопла. В качестве материала использовалась хромистая бронза марки БрХ1. Полученные результаты позволили определить начальное граничное условие по прикладываемой к соплу температуре, а также сравнить значения температуры в объеме сопла при продувке струей режущего кислорода центрального канала. В результате моделирования было установлено максимальное значение температуры на торцевой поверхности сопла 1 280 °С (табл. 1). Значения температуры вокруг сопла в секущей плоскости даны в табл. 2.

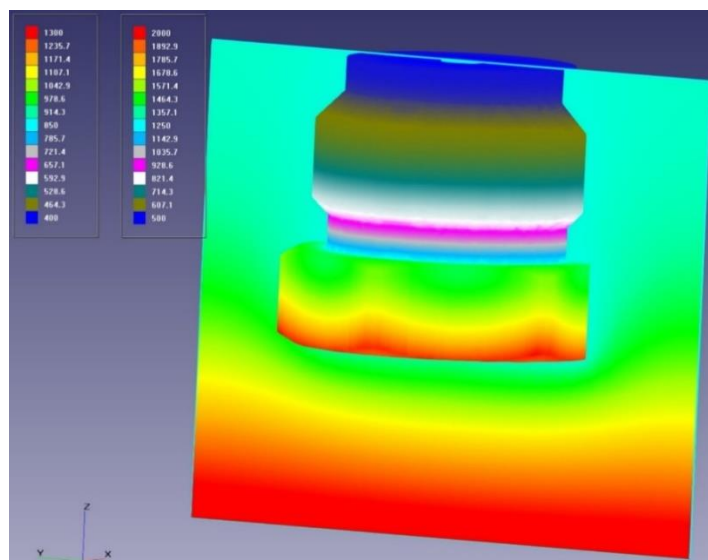


Рис. 4. Температурное поле по поверхности сопла и в воздухе вокруг сопла на секущей плоскости

Таблица 1. Распределение температуры на поверхности сопла, °С

На нижнем торце	На боковой поверхности шестигранника	На поверхности с резьбой	На верхнем торце
1 280	900...1 280	850...500	500...350

Таблица 2. Распределение температуры вокруг сопла в секущей плоскости, °С

Над поверхностью скраба	В слое, прилегающем к нижнему торцу сопла	В районе резьбы сопла	В районе верхнего торца
2 000	1 300...1 460	1 000...1 350	500...950

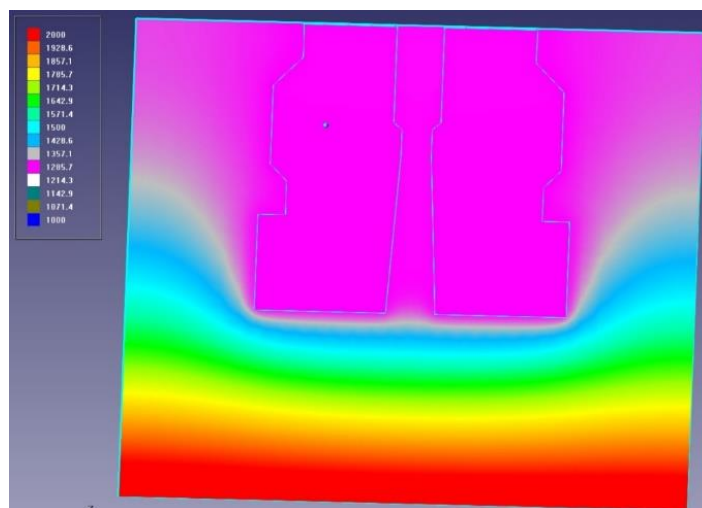


Рис. 5. Температурное поле в секущей плоскости, захватывающей как сопло, так и окружающий его воздух

На следующем этапе проводилось сопряженное моделирование конвективного теплопереноса и аэродинамического течения кислорода в центральном канале сопла.

Расчет температурных полей в объеме сопла велся с учетом продувки струей кислорода с давлением на входе 600 кПа и сопряжением расчетных областей по стенкам центрального канала с условием сопряженного теплопереноса. Результаты расчета в виде распределения в секущей плоскости температурных полей с наложением аэродинамической струи кислорода показано на рис. 6. Расчетная сетка адаптировалась по сопрягаемой стенке и объему центрального канала. Производилась также ее адаптация по наружным стенкам сопла, к которым прикладывалась температура, рассчитанная на предыдущем этапе.

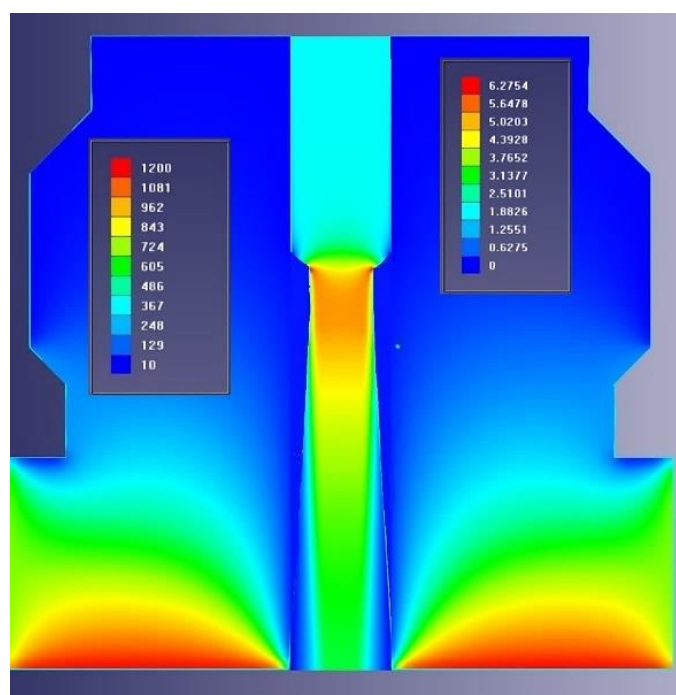


Рис. 6. Температурное поле в объеме сопла (левая шкала) и скорость потока кислорода (правая шкала)

Температура потока кислорода равнялась 10 °С, что является средним рабочим значением. К нижнему торцу сопла была приложена температура 1 250 °С, взятая из предыдущего расчета. К верхнему торцу прикладывалась температура 100 °С, а к крепежной резьбе – 300 °С, тем самым моделировался теплоотвод от сопла к корпусу резака. Коэффициент шага по времени для конвективного теплопереноса задавался равным 10 °С. Общий шаг по времени задавался числом Куранта 0,1.

На рис. 6 левая шкала показывает значения температуры, распределенной в объеме сопла. Максимальная температура достигается в районе рабочего торца сопла и снижается по мере удаления от него. Минимальная температура наблюдается в районе центрального канала сопла и ближе к верхнему торцу приближается к 10 °С, что является результатом отвода тепла в корпус резака и охлаждения струей режущего кислорода.

Если сравнить результаты на рис. 5 и 6, станет видно, что общий уровень температуры в сопле существенно ниже у модели, учитывающей поток кислорода. Сравнивая значения скорости течения кислорода в модели сопряженного теплопереноса (см. рис. 6) (правая шкала) и скорости при аэродинамическом расчете (см. рис. 3), можно понять, что картины отличаются незначительно, что связано с разной конфигурацией расчетных сеток, но общий уровень скоростей сопоставим. Модель сопряженного теплопереноса показывает в основном существенно более низкий общий уровень температур в сравнении с температурой плавления бронзы марки БрХ1. Это подтверждает хорошая работоспособность сопел в представленных условиях. Главным наиболее быстро разрушающимся участком поверхности сопла является его нижний торец, что обуславливается картиной температурных полей.

Таким образом, на основе модели видно, что неплохая работоспособность скрапового сопла во многом обусловлена хорошим охлаждающим эффектом струи режущего кислорода, достаточно большим объемом и массой рабочего торца сопла, хорошими теплопроводящими свойствами его материала. Кроме того, заменителем хромистой бронзы в подобных рабочих условиях могут служить различные марки меди, уступающие ей только по прочностным свойствам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Согласно вышеизложенному можно отметить, что использование метода конечных элементов позволяет быстро, эффективно и достоверно моделировать сложные процессы теплопереноса между различными веществами, находящимися в разных агрегатных состояниях. Это дает возможность в еще более высокой степени приблизить расчетную модель к ее природному прототипу. Результаты моделирования показали (хоть и косвенно) хорошую корреляцию с результатами реального технологического процесса. В дальнейшем возможно повышение точности моделирования путем учета продувки потоком подогревающего кислорода и горючего газа периферийных каналов, 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-элементный комплекс расчетной аэрогидродинамики позволяет успешно решать сложные задачи сопряженного теплопереноса при моделировании работы газокислородных скраповых резаков в условиях, близких к натуральным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аксенов А.А., Гудзовский А.В. Пакет прикладных программ Flow Vision // *Труды МФТИ. Серия «Аэрофизика и прикладная математика»*. М.: МФТИ. 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.
5. Прандтль Л. Гидроаэромеханика. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика». 2000. 576 с.
6. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа: учебник для вузов. М.: Наука. 1987. 840 с.
7. Калиткин Н.Н. Численные методы. М.: Наука. 1978. 512 с.

Для цитирования: Зоренко Д.А. CAE-моделирование температурных полей сопла скрапового резака, охлаждаемого струей режущего кислорода, с применением сопряженного вычисления // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2024. № 1 (21). С. 95–101.

CAE-MODELING OF THE TEMPERATURE FIELDS OF THE NOZZLE OF A SCRAP CUTTER COOLED BY A JET OF CUTTING OXYGEN USING COUPLED CALCULATION

D.A. ZORENKO, Cand. Sc.

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

The article presents the main results of CAE-modeling of temperature processes occurring in the nozzle of a scrap cutter when cutting scrap with a thickness of more than 800 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, and conjugate calculations of temperature fields in the nozzle body during cold purging with a jet of cutting oxygen of the central channel are carried out.

Keywords: oxygen gas cutting, temperature field, finite element method, computational model, computational aerohydrodynamic, scrap, coupled calculations, coupled heat transfer.

Поступила в редакцию/received: 05.12.2023; после рецензирования/revised: 11.12.2023;
принята/accepted: 15.12.2023