

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ДУГОВОЙ ЭЛЕКТРОПЕЧИ ДСП-40-Н1*

А.О. ГОЛУБЕВ¹, инженер
Д.А. КРАСНОРУЦКИЙ¹, канд. техн. наук
В.Е. ЛЕВИН¹, доктор техн. наук, доцент
С.Н. САПОВ², главный конструктор проекта
(¹НГТУ, г. Новосибирск
²ОАО «Сибирский завод
электротермического оборудования»,
г. Новосибирск)

Получена 15 октября 2013
Рецензирование 23 января 2014
Принята к печати 28 января 2014

Леви́н В. Е. – 630073, г. Новосибирск, пр.К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: Levin@craft.nstu.ru

Рассматривается расчет на прочность основных элементов конструкции дуговой сталеплавильной печи ДСП-40-Н1. Статическое деформирование пространственной конструкции печи моделируется с помощью метода конечных элементов в пакете ANSYS. Для снижения вычислительных затрат модель массивной конструкции набирается из пластин (используются оболочечные конечные элементы типа SHELL). Проведен расчет на прочность самых нагруженных элементов печи. Выявлено, что в исходном варианте конструкции имеются места, в которых напряжения в несколько раз превышают предел текучести материала, регламентируемого в ГОСТе для листового металла, из которого состоит конструкция. На основе распределения напряжений, возникающих в конечноэлементной модели, было проработано несколько вариантов усиления конструкции и выбран наиболее приемлемый вариант, обеспечивающий необходимый запас прочности и простоту конструктивного исполнения. Конструкция с предложенными усилениями успешно прошла внутривзаводские испытания на предельные нагрузки. Это обеспечит в дальнейшем безопасную эксплуатацию печи.

Ключевые слова: расчет на прочность, конечноэлементная модель, дуговая сталеплавильная печь, усиление конструкции, коэффициент запаса прочности, допускаемые напряжения

Введение

Для выплавки сталей широко используются дуговые сталеплавильные печи (ДСП) [1]. За последние 25–30 лет прошлого века резко возросла производительность основных металлургических агрегатов:

- производительность доменных печей увеличилась на 25 %, в среднем с 2 до 2,5 т/м³ за сутки;
- конвертеров – в среднем с 11 тыс. плавов в 1970 г. до 12 тыс. плавов в 1995 г.;

• производительность дуговых сталеплавильных печей увеличилась с 2500 плавов в 1970 г., почти до 5000 плавов в 1995 г.

Наряду с другими технико-экономическими показателями это способствовало резкому росту объема выплавки стали в дуговых печах и ее доли в общем объеме производства стали. ДСП является опасным и ответственным производственным объектом.

Основа надежной работы любой конструкции – ее прочность и устойчивость [2, 3] при

* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ, по государственному заданию №2014/138, проект № 435.

действию максимальных рабочих нагрузок [4, 5]. При проектировании новых и доработки уже существующих конструкций широко применяются расчетные методы, реализованные в конечно-элементных программных комплексах. Процесс расчета в этом случае включает процедуру описания трехмерной конструкции и создания ее модели в ЭВМ, процедуру разбиения на конечные элементы и проведение расчетов. Несмотря на кажущуюся простоту последовательности расчета, каждый расчет конкретной конструкции представляет сложную операцию, при выполнении которой нужен опыт не только программиста, но и опыт специалиста, занимающегося расчетами на прочность.

В данной статье рассматривается совершенствование конструкции сталеплавильной дуговой электропечи ДСП-40-Н1 с позиции обеспечения необходимой прочности.

1. Постановка задачи

Каркас свода сталеплавильной дуговой электропечи ДСП-40-Н1 представляет собой массивную пространственную конструкцию. По заданным размерам свода, материала и приложенным нагрузкам требуется оценить прочность конструкции. Для проведения необходимых расчетов свод необходимо моделировать как твердотельную конструкцию, но это нерационально с вычислительной точки зрения. Исходя из имеющегося расчетного опыта было принято решение набрать модель свода из тонкостенных элементов – пластин [6]. Тонкостенная модель свода представлена на рис. 1 и состоит из 150 пластин. В настоящей работе представлены результаты расчетов наиболее нагруженных конструктивных элементов (каркас свода и платформа) ду-

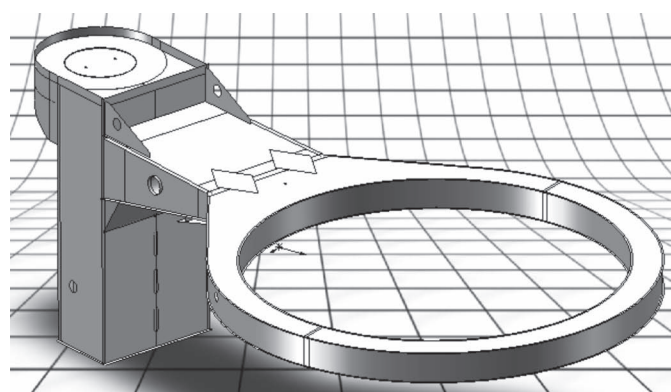


Рис. 1. Расчетная модель каркаса свода

говой сталеплавильной электропечи ДСП-40-Н1 [4] методом конечных элементов в пакете ANSYS [7, 8]. Решалась линейная задача статики. Предполагается, что материал работает в пределах закона Гука [2]. В конечноэлементной модели использовались треугольные и шестиузловые оболочечные элементы, а в свойствах элементов задавалась толщина пластин согласно конструкторской документации.

Действующие нагрузки: на каркас свода по внутреннему диаметру приложен вес свода – 384 600 Н, вес патрубка – 35 000 Н, момент сил от патрубка 86461,620 Н·м.

Для платформы выбрано два расчетных случая.

1. Платформа опирается по трем опорам – прикладывается вес печи 1 287 100 Н, вес и момент от свода прикладывается к месту крепления оси поворота свода.

2. Платформа опирается по двум опорам и наклонена к горизонту на 25°. К ней прикладывается вес печи и вес свода (рис. 2, 3).

Для разбиения платформы использовались четырехугольные оболочечные элементы (рис. 4).

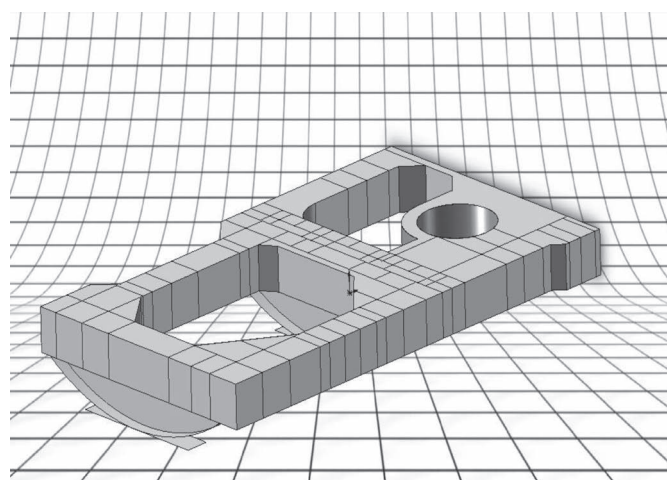


Рис. 2. Платформа наклоняющаяся

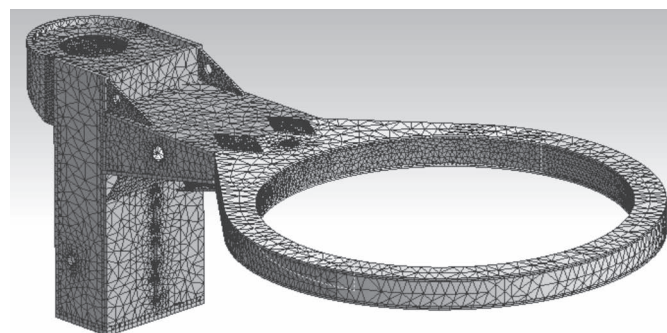


Рис. 3. Сетка конечных элементов каркаса свода

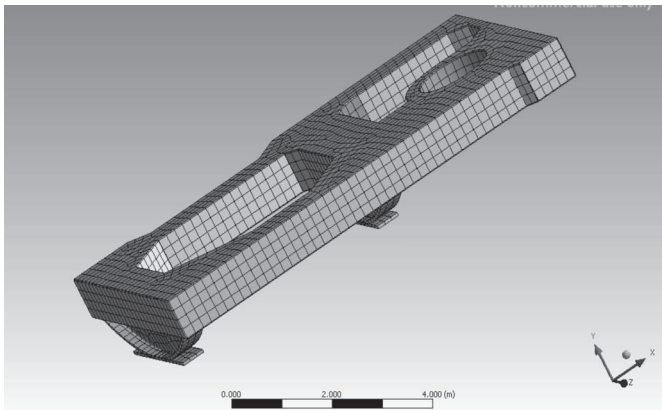


Рис. 4. Сетка конечных элементов платформы

Толщины задавались согласно конструкторской документации.

Каркас свода

Закрепление:

- неподвижная опора на втулке;
- запрещены все перемещения, кроме вертикального на обечайке.

Нагрузка:

- вес свода и патрубка (суммарно 419 600 Н) приложен по кромке коллектора;
- момент от патрубка приложен к кромке коллектора (86 461 620 Н·м).

Числовые характеристики сетки: число элементов 23 829, число узлов 14 614.

Платформа

Закрепление:

- неподвижная опора на втулке гидроцилиндра;
- созданы поверхности для контакта с подвижными опорами и заданы контактные пары.

Нагрузка:

первый расчетный случай:

- вес корпуса печи 1 270 000 Н,
- вес печи 1 287 100 Н, вес и момент от свода прикладывается к месту крепления оси поворота свода;

второй расчетный случай:

- вес корпуса печи 1 270 000 Н и вес свода 410 000 Н, платформа наклонена под углом 25°.

Числовые характеристики сетки: число элементов 46 574, число узлов 34 748.

Количество разбиений конечноэлементной модели подбиралось так, чтобы рассчитываемые напряжения при увеличении числа конечных элементов практически не изменялись. Для этого проводилась серия расчетов при разных дискретизациях модели, а сетка сгущалась на

наиболее нагруженных элементах конструкции. В каждом последующем расчете бралось большее число разбиений, а результаты сравнивались с предыдущим расчетом. В работе приведены результаты для оптимального с этой точки зрения числа разбиений.

2. Результаты расчета и обсуждение

Для оценки результатов расчета за допускаемые напряжения [2] был выбран предел текучести по ГОСТ 19282–73. Результаты расчета составленной модели показали, что получаемые максимальные эквивалентные напряжения 1824 МПа в несколько раз превышают предел текучести, который составляет 325 МПа (согласно ГОСТ 19282–73 для листа толщиной 10 мм, на котором возникли максимальные напряжения, рис. 6). Кроме того, на других частях модели получаемые напряжения оказались близкими к пределу текучести. В частности, обнаружена область напряжений порядка 500 МПа на обечайке (рис. 5), что превышает предел текучести 305 МПа согласно ГОСТ 19282–73 для листа толщиной 25 мм.

На основании полученных результатов расчета сделан вывод о том, что несущая способность

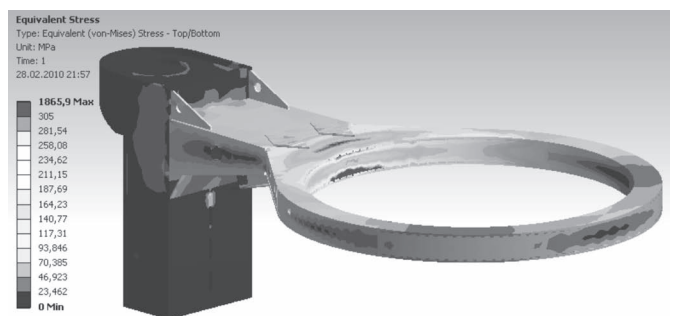


Рис. 5. Вид 1. Распределение эквивалентных напряжений

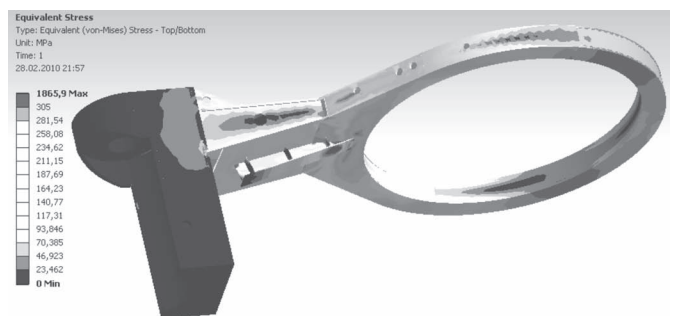


Рис. 6. Вид 2. Распределение эквивалентных напряжений

конструкции недостаточна. Для повышения несущей способности необходимо усиление наиболее нагруженных элементов в определенных зонах.

По проведенным расчетам после анализа поля напряжений выработан вариант усиления конструкции с учетом конструктивных особенностей печи. На рис. 7 представлена разработанная схема усиления каркаса свода.

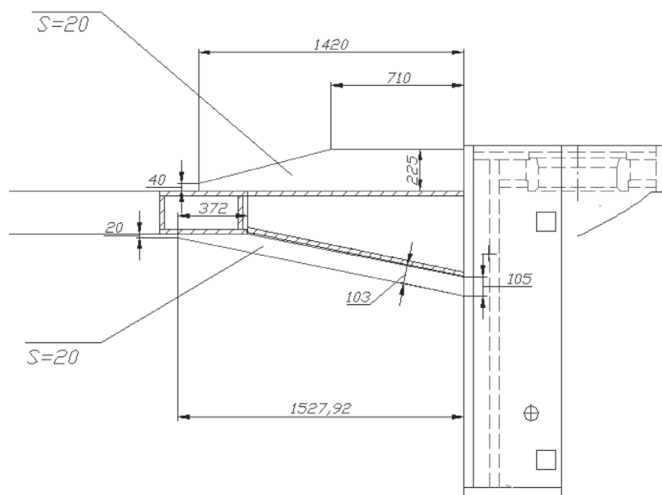


Рис. 7. Эскиз подкреплений кронштейна свода

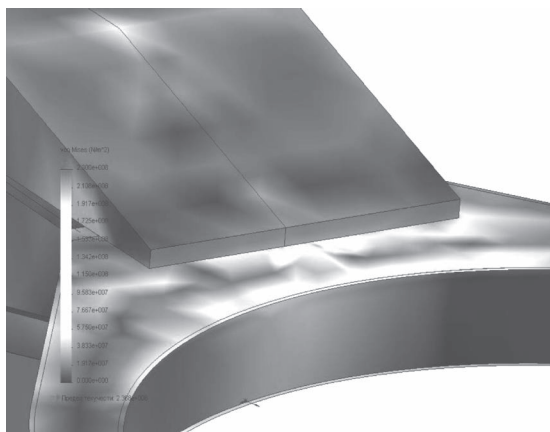


Рис. 8. Концентрация напряжений в верхней панели сводового кольца

После внесения всех доработок в расчетную модель конструкции в результате расчета получено, что максимальные напряжения составляют 170 МПа. Это обеспечивает запас прочности 1,79.

Такие напряжения развиваются на верхней панели сводового кольца (рис. 8). В остальных опасных зонах напряжения достигают 125 МПа, что обеспечивает запас прочности 2,44.

Выводы

Конструкция дуговой сталеплавильной печи ДСП-40-Н1 представляет собой сложную пространственную конструкцию, состоящую в основном из листов металла (пластин). Этот подход позволил создать тонкостенную конечноэлементную модель и по сравнению с твердотельной моделью (объемные конечные элементы) существенно упростить последующие расчеты в конечноэлементном пакете ANSYS Workbench.

Применение метода конечных элементов позволило найти и оценить слабые зоны конструкции и произвести их усиление рациональным способом (в процессе разработки усиления были проработаны и отброшены 8 различных вариантов). Конструкция с предложенными усилениями успешно прошла внутризаводские испытания на предельные нагрузки и в дальнейшем обеспечит безопасную эксплуатацию печи.

Список литературы

1. Сойфер В.М., Кузнецов Л.Н. Дуговые печи в сталелитейном цехе. – М.: Металлургия, 1989. – 176 с.
2. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. Т. 1. – М: Машиностроение, 2001. – 902 с.
3. Феодосьев В. И. Сопротивление материалов: учебник. – М.: Наука, 1986 г. – 512 с.
4. Гребенкин М.Ф. Расчет металлургических машин и механизмов. – Киев: Выща школа, 1988. – 448 с.
5. Толоконников Л.С. Расчет и конструирование механизмов электрических печей. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1961. – 240 с.
6. Авдонин А.С. Прикладные методы расчета оболочек и тонкостенных конструкций. – М.: Машиностроение, 1969. – 402 с.
7. Moaveni S. Finite Element Analysis Theory and Application with ANSYS (3rd edition). Prentice Hall, 2008. – 868 p.
8. Басов К.А. ANSYS: справочник пользователя. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 640 с.

OBRABOTKA METALLOV

(METAL WORKING • MATERIAL SCIENCE)

N 1(62), January – March 2014, Pages 76–80

Improvement of the design of the steel-making electric-arc furnace ДСП-40-Н1

Golubev A.O.¹, Engineer

Krasnorutskiy D.A.¹, Ph.D. (Engineering)

Levin V.E.¹, D.Sc. (Engineering), Associate Professor, e-mail: levin@craft.nstu.ru

Sapov S.N.², Chief Project Designer

¹Novosibirsk State Technical University, 20 Prospect K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation

²Siberian electrothermal equipment plant JSC “Sibelektroterm”, 51 Petukhova st., Novosibirsk, 630088, Russian Federation

Received 15 October 2013

Revised 23 January 2014

Accepted 28 January 2014

Abstract

Stress calculation of the main structural elements of the steel-making electric-arc furnace ДСП-40-Н1 is considered. Static deformation of spatial design of the furnace is modeled using the finite element method in the ANSYS program pack. To reduce the computation effort a model of massive construction is recruited from the plates (shell finite elements are used). Stress calculation of the furnace structural members most subjected to load is conducted. It is revealed that in the original version of the construction there are stresses that are several times higher than the yield stress of the material, prescribed in the GOST for sheet metal that makes up the construction. On the basis of the distribution of stresses in the finite element model several options to strengthen the construction were worked out and the most appropriate variant, that provided the required safety and ease of constructive implementation were selected. The construction of the proposed reinforcements successfully completed in-plant test limit loads. This will ensure further safe operation of the furnace.

Keywords: Stress calculation, finite-element model, steel-making electric-arc furnace, reinforcement of construction, safety factor, allowable stresses.

References

1. Sojfer V.M., Kuznecov L.N. *Dugovye pechi v stalelitejnom cehe* [Arc furnaces in steel-casting foundry]. Moscow, Metallurgija Publ., 1989. 176 p.
2. Anur'ev V.I. *Spravochnik konstruktora-mashinostroitelja, tom 1* [Reference Design - Mechanical Engineer]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2001. Vol.1, 902 p.
3. Feodos'ev V.I. *Soprotivlenie materialov: uchebnik* [Textbook “Strength of materials”]. Moscow, Nauka Publ., 1986. 512 p.
4. Grebenkin M.F. *Raschet metallurgicheskikh mashin i mehanizmov* [Calculation of metallurgical machinery]. Kiev, Vysha Shkola, 1988. 448 p.
5. Tolokonnikov L.S. *Raschet i konstruirovanie mehanizmov jelektricheskikh pechej* [Calculation and design of mechanisms of electric furnaces]. Moscow–Leningrad, Gosjenergoizdat Publ., 1961. 240 p.
6. Avdonin A.S. *Prikladnye metody rascheta obolochek i tonkostennykh konstrukcij* [Applied methods of analysis of shells and thin-walled structures]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1969. 402 p.
7. Moaveni S. *Finite Element Analysis Theory and Application with ANSYS* (3rd edition). Prentice Hall, 2008. 868 p.
8. Basov K.A. *ANSYS: spravochnik pol'zovatelja* [ANSYS: User's Guide]. Moscow, DМК Press, 2005. 640 p.