

ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ ТЕРМОУПРОЧНЕННЫХ СТАЛЕЙ В КОНСТРУКЦИЯХ КОЖУХОВ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ

В комплексе сооружений доменных печей кожух является наиболее ответственным элементом, который подвержен значительным технологическим воздействиям. Поэтому кожухи проектируются самонесущими.

Кожух доменной печи должен воспринимать следующие нагрузки [1]: вес оборудования, внутреннее давление газовой среды, термические расширения футеровки и холодильников, давление массы шихтовых материалов и продуктов плавки, обрывы шихты, взрывные работы, аварии оборудования, а также нагрузки от воздействия нерегулярных технологических факторов: материальных, прямого и непрямого восстановления, интенсивности плавки, нагрева дутья, изменения влажности дутья, обогащения дутья кислородом, вдувания нереформированного топлива и горячих восстановительных газов в горн и шахту [2].

Сложность и многофакторность технологического процесса не обеспечивает стабильность расчетных эксплуатационных нагрузок и воздействий. Неформализованная связь между параметрами технологического процесса и воздействиями на кожух затрудняет прогнозирование и возможность обеспечения его прочности, что ведет к дефектам и авариям [3].

Прочность кожухов доменных печей определяется в первую очередь состоянием футеровки и системы охлаждения. При нарушениях проектного функционирования защитных систем через 2,5–5 лет эксплуатации появляются необратимые пластические деформации и трещины кожуха.

Наряду с важнейшим способом повышения надежности кожуха – увеличением срока службы холодильников, возникает необходимость усовершенствования конструктивных решений собственно кожуха печи, что является определяющим при выходе холодильников из строя.

Кожух доменных печей состоит из цилиндрических и конических оболочек, в местах пересечений которых возникают краевые напряжения, значения которых превышают допустимые, что приводит к образованию дополнительного вертикального распора и неупругим деформациям в виде трещин. Кроме того, на



Е.И. Гезенцев

начальник отдела строительного проектирования ООО «Метинвест Инжиниринг», г. Днепр

прочность кожуха существенно влияют примыкающие конструкции охлаждения, вырезы под выводы холодильных труб и отверстия под болты крепления холодильных плит, изготовление конструкции с отклонениями от требований норм и стандартов. Большое влияние оказывают конструкции технологических площадок и колошника. Наиболее опасным фактором при работе печи является перегрев кожуха, поскольку в металле возникают напряжения, значения которых выше предела текучести, ввиду чего такие физико-механические характеристики металла, как вязкость и пластичность имеют первостепенное значение при выборе материала.

Вероятность образования трещин в условиях повышенных технологических параметров (температуры дутья и давления) возрастает. Сталь 09Г2С, которая ранее применялась для кожухов доменных печей, после длительной эксплуатации существенно теряет показатели ударной вязкости, что приводит к образованию хрупких трещин лавинного характера в разных направлениях и различных размеров. В конечном счете это может привести к разрушению кожуха. Ремонт трещин не обеспечивает надежность при дальнейшей эксплуатации, что приводит к необходимости замены обшивки кожуха на больших участках с применением сварки, производимой по специально разработанной технологии с применением физических методов контроля.

Одним из эффективных методов повышения эксплуатационных свойств кожухов может стать применение термоупрочненных мелкозернистых высокопрочных сталей, производимых предприятиями группы «Метинвест», в частности, марки 10Г2ФБ, которая применена в проекте полной замены кожуха ДП № 3 на металлкомбинате ПАО «Запорожсталь».

Таблиця 1

Марка стали	Массовая доля элементов, %								
	Углерод	Марганец	Кремний	Ванадий	Ниобий	Титан	Сера	Фосфор	Алюминий
10Г2ФБ	0,09–0,12	1,55–1,75	0,15–0,35	0,09–0,12	0,02–0,04	Не более 0,035	Не более 0,006	Не более 0,02	Не более 0,05

Таблиця 2

Марка стали	$\sigma_B, \text{H/мм}^2$ [кгс/мм ²]	$\sigma_m, \text{H/мм}^2$ [кгс/мм ²]	$\sigma_5, \%$	Ударная вязкость, Дж/см ² (кгс/см ²)		Количество вязкой составляющей в изломе образцов для ИПГ(В), %, при $t = \text{минус } 15^\circ\text{C}$
				минус 15 °С КСV	минус 60 °С КСУ	
10Г2ФБ	520(53)	430(44)	17	59(6)	39(4)	80
	min	min	min	min	min	min

Химический состав стали по плавочному анализу соответствует нормам таблицы 1 [4].

В стали допускается массовая доля хрома, никеля и меди не более 0,3 % каждого и азота не более 0,01 %.

Механические свойства листов для поставки должны соответствовать нормам таблицы 2 [4].

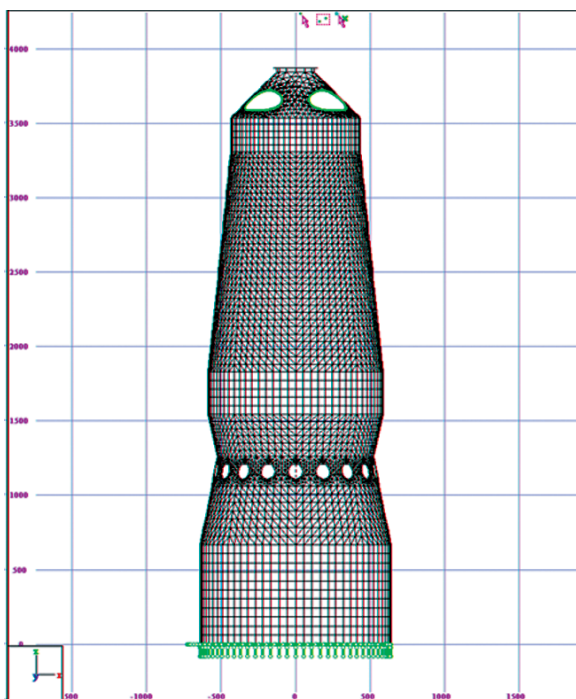
Механические испытания производятся на образцах, отбираемых согласно требованиям соответствующих ГОСТов.

Из приведенных таблиц видно, что механические свойства стальных листов позволяют обеспечить как необходимую несущую способность конструкции, так и высокую степень трещиностойкости за счет показателей по ударной вязкости.

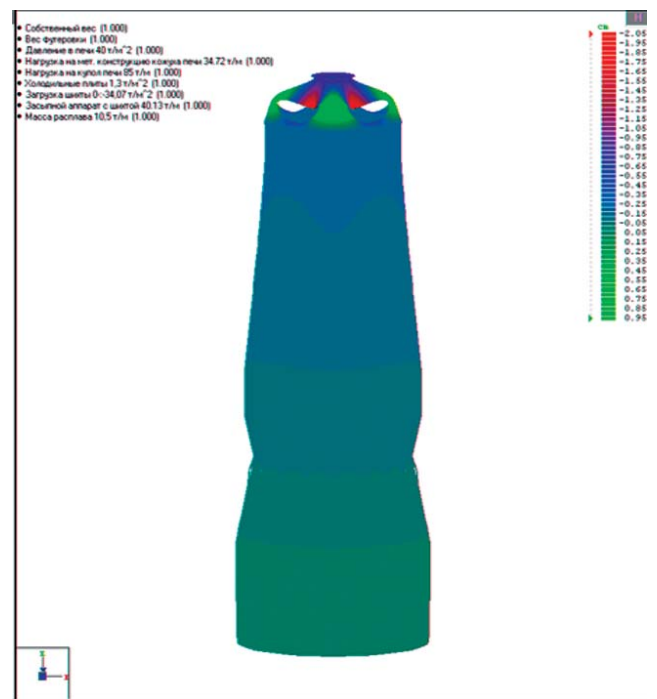
Статический расчет кожуха реализован методом конечных элементов в программном комплексе SELENA (см. рисунки).

Следует отметить, что сортамент в толщинах 50 мм и 60 мм производился комбинатом ПАО «Азовсталь» впервые как новый вид продукции. Первоначальная технология: контролируемая прокатка и прокатка с ускоренным охлаждением с опробованием обоих вариантов.

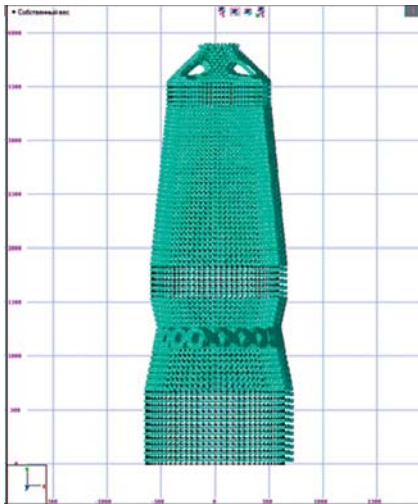
При этом не были получены стабильные результаты по ударной вязкости, особенно при толщине 60 мм, ввиду чего прокат был подвержен термической обработке с индивидуальной подборкой для каждого листа в зависимости от получаемых механических свойств после прокатки. Установлено, что, учитывая назначение



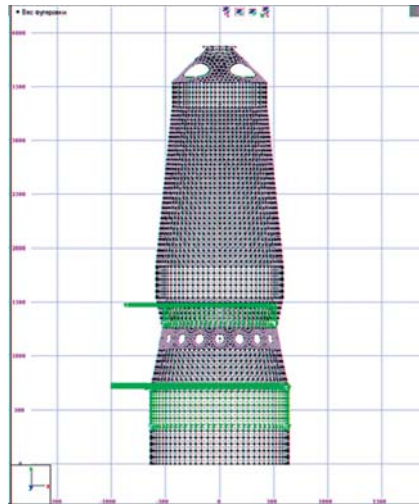
Расчетная схема



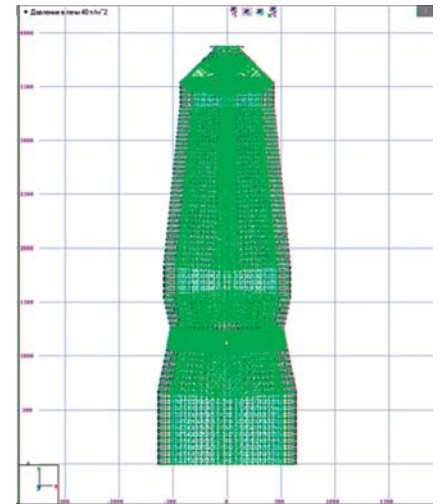
Перемещения от суммарной нагрузки



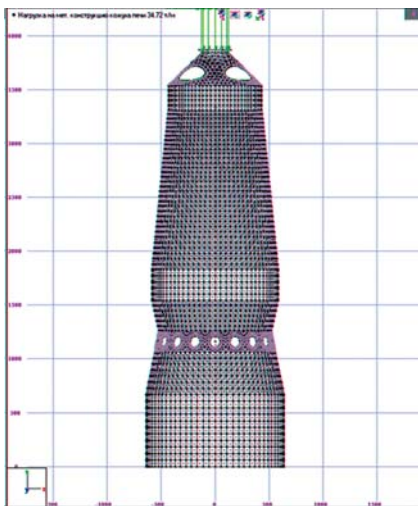
Завруження 1



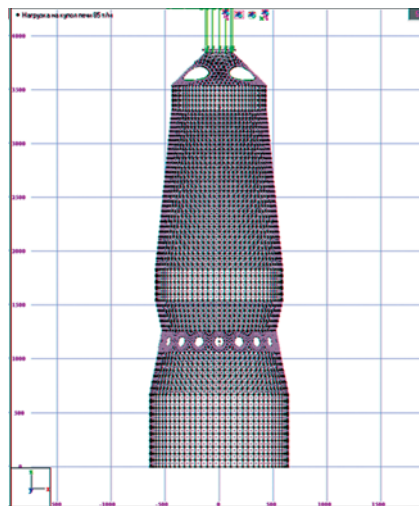
Завруження 2



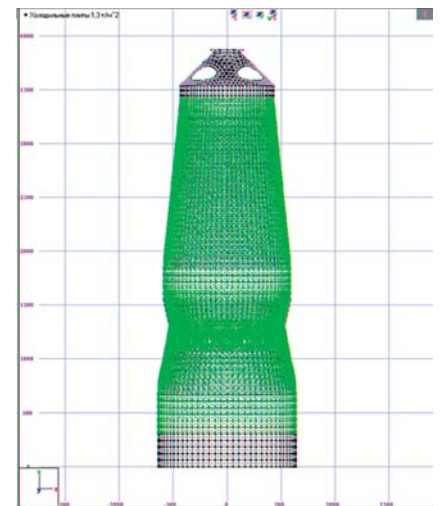
Завруження 3



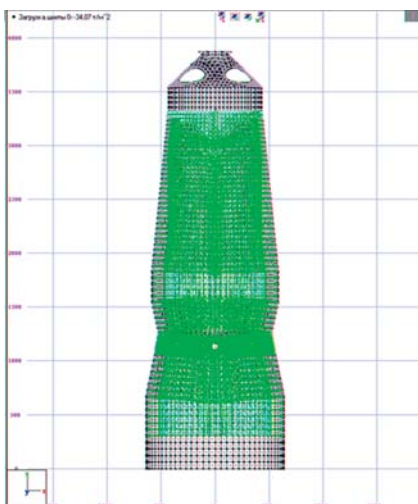
Завруження 4



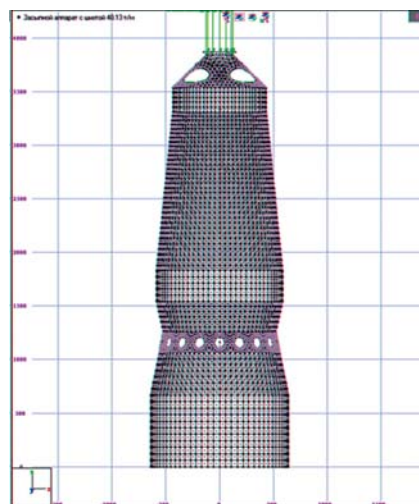
Завруження 5



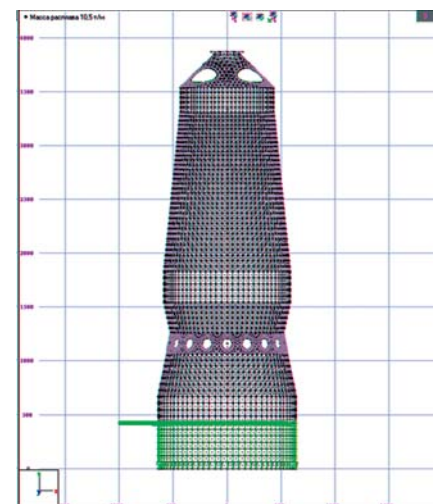
Завруження 6



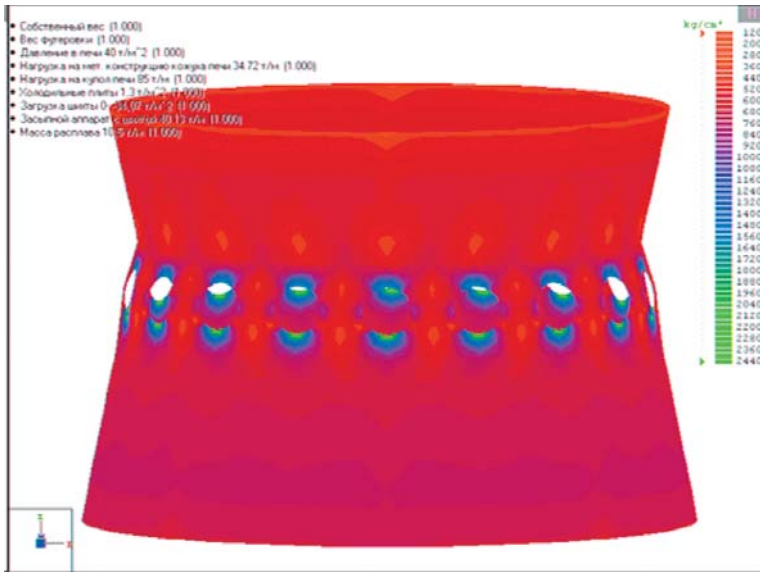
Завруження 7



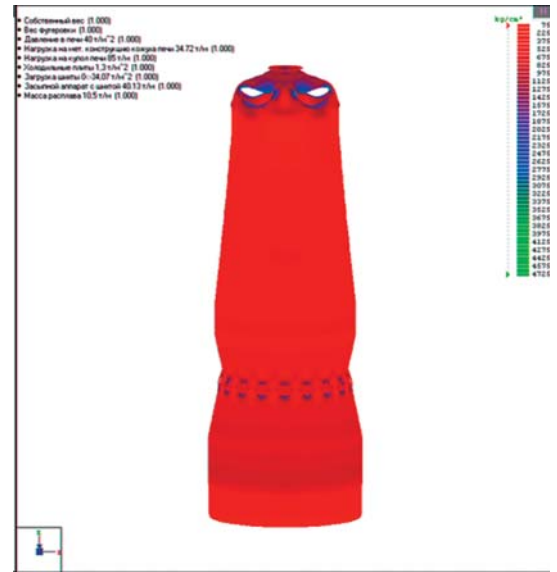
Завруження 8



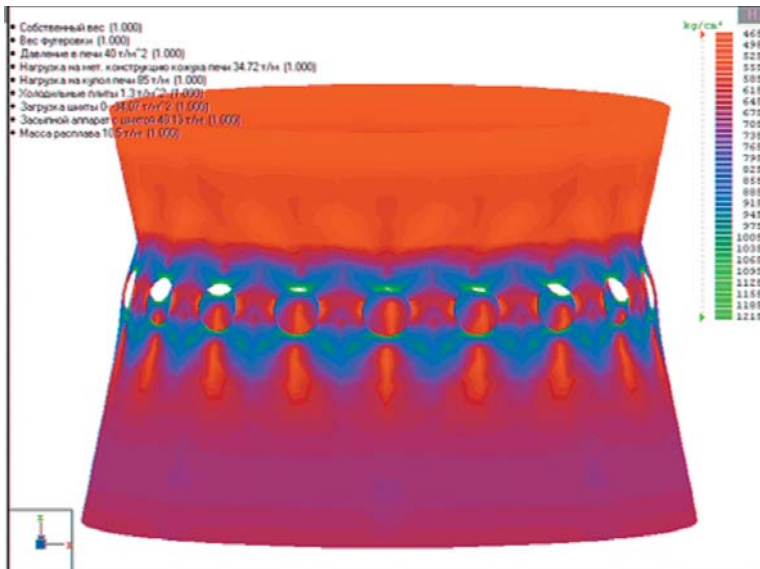
Завруження 9



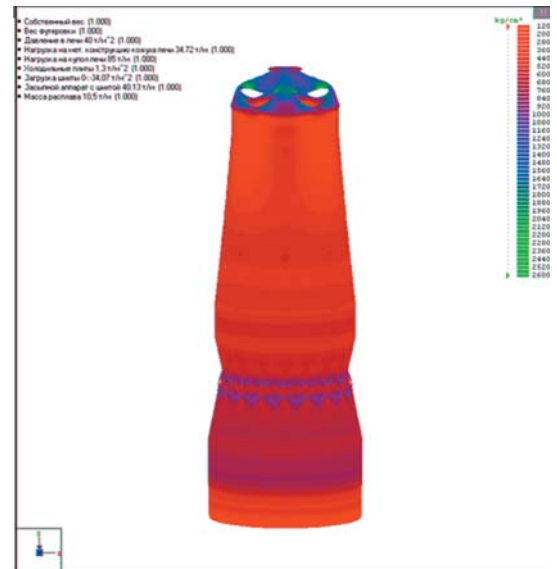
Інтенсивність напружень на внутрішній фібрі від сумарної навантаження (фрагмент)



Інтенсивність напружень на внутрішній фібрі від сумарної навантаження



Інтенсивність напружень на зовнішній фібрі від сумарної навантаження (фрагмент)



Інтенсивність напружень на зовнішній фібрі від сумарної навантаження

матеріала – металоконструкції кожуха доменної печі, не було необхідності в тестах ударної в'язкості при негативних температурах, так як в конструкції матеріал при таких температурах не працює.

Технологічність конструкції – відповідність конструктивної форми передовим технологічним можливостям виробництва (вироблення і монтажу) – і забезпечення надійної і економічної експлуатації споруди досягається як використанням властивостей сталі 10Г2ФБ, так і виготовленням отправочних еле-

ментів кожуха з високою ступенню заводської готовності.

Згідно проекту товщина стінки кожуха печі становить 60 мм до отм. +23.700 і 50 мм від отм. +27.700 до отм. +39.848. Корисний об'єм доменної печі – 1513 м³, виробництво чугуна до 3000 т в сутки.

Сталь марки 10Г2ФБ виробляється в відповідності з змінами 1–12 ТУ-14-1-4083-86 «Прокат листовий з низколегированої сталі покращеної зварюваності і хладостійкості» [4], згідно котрим даний прокат

предназначается для изготовления металлических конструкций. Листы изготавливают толщиной 8–50 мм, шириной 3200 мм, длиной 3000–11800 мм или других размеров по требованию потребителя.

Таким образом, применение в проекте стали марки 10Г2ФБ дало возможность впервые создать материал больших толщин с необходимыми физико-механическими показателями, что предполагает широкие перспективы для его использования в строительных металлоконструкциях.

Учитывая, что сварные швы, соединяющие отдельные части кожуха, выполняются равнопрочными основному металлу (согласно ГОСТ 8713-79*), как расчетная схема принимается оболочка вращения, состоящая из нескольких оболочек, образующих тело сооружения.

Благодаря высоким прочностным показателям материала стала возможной организация 20 фурменных зон вместо ранее применяемых 16–18. Напряженное состояние в области отверстий под установку фурм, т.е. интенсивность напряжений на внутренней и наружной фибрах в области фурменных отверстий, является максимальным, учитывая концентрацию напряжений в области отверстия, однако со значительным запасом по прочности, что создает гарантированные условия неразрушаемости сооружения в опасной зоне.

Институтом электросварки им. Е.О. Патона проведены исследования, в ходе которых в соответствии с ОСТ 32.153-2000 определяли [7]:

- механические особенности и ударную вязкость стали;
- влияние погонной энергии сварки на статическую прочность, пластичность и ударную вязкость металла PND (зоны термического влияния) сварных соединений;
- реакцию стали на обжиг электродом;
- склонность стали к замедленному разрушению;
- влияние погонной энергии сварки на структуру металла зоны термического влияния сварных соединений;
- склонность стали к послойному разрушению;
- сопротивляемость сварных соединений образованию холодных трещин;
- изменение структуры и особенностей металла зоны термического влияния под воздействием эксплуатационных нагрузок;
- возможность упрочнения сварных соединений с накопленными в металле при эксплуатации усталостными повреждениями.

Положительные результаты, полученные по каждому виду испытаний, допускают применение стали 10Г2ФБ в кожухах доменных печей с гарантированными эксплуатационными свойствами, подтверждая технологичность принятых конструктивных решений.

- [1] Проблема повышения прочности и надежности кожухов доменных печей в работах ИЧМ / В.И. Большаков // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: Сб. научн. тр. – Днепропетровськ.: ИЧМ НАН України, 2005. – Вип. 11. – С. 237–246.
- [2] Рамм А.Н. Современный доменный процесс. – М.: «Металлургия», 1980.
- [3] Любин А.Е. Металлические конструкции сооружений комплекса доменной печи. – К.: «Сталь», 2010.
- [4] Прокат листовой из низколегированной стали улучшенной свариваемости и хладостойкости. Технические условия. ТУ-14-1-4083-86. Переизданы в 2002 г.с учетом изменений 1–12.

- [5] Сахновский М.М. Технологичность строительных сварных стальных конструкций. – К.: «Будівельник», 1970.
- [6] Колодяжная М.Г. Влияние химического состава и технологических факторов на механические свойства стали 10Г2ФБ // Материалы всеукраинской научно-практической конференции студентов физико-металлургического факультета ДонНТУ.
- [7] Поздняков В.Д. и др. Структура и механические свойства металла ЗТВ соединений стали 10Г2ФБ после сварки и циклического нагружения изгибом. // XXV Международная научно-практическая конференция Стародубовские чтения, 20–21 апреля 2015 г. Днепропетровск.

Надійшла 15.12.2015 р.