

Моделирование разрушения изношенной футеровки металлургических печей

Описано моделирование (которое включает математическое моделирование, разработку конструктивно-технологических предложений, оптимизацию параметров) при исследовании возможностей применения импульсного магнитного поля для разрушения изношенной футеровки металлургических печей.

Ключевые слова: моделирование, разрушение, футеровка, печь.

Разборка изношенной футеровки металлургических печей во время ремонтов в настоящее время – самый трудоемкий и непроизводительный процесс, занимающий до 50 % всего времени ремонта. Разрушение изношенной футеровки, как правило, производится после ее остывания с использованием различных механизмов и машин, а в ряде случаев – и ручного труда.

Для исследования возможностей повышения производительности разрушения футеровки целесообразно применить систему математического моделирования, которая включает:

- математическое моделирование (целеполагание, идеализация, формализация, идентификация, проверка адекватности);
- разработку конструктивно-технологических предложений;
- оптимизацию параметров конструктивно-технологических предложений.

Рассмотрим решение такой задачи на примере технологической оснастки для магнитного импульсного разрушения футеровки [1] с помощью комплексного метода совершенствования технологической оснастки [2].

Математическое моделирование

Целеполагание. Разработать математические модели, описывающие движение отделяемого элемента футеровки под действием импульсной силовой нагрузки. Погрешность моделирования – не более 15 %. Стоимость моделирования не должна превышать 4,25 % стоимости продукции, для утилизации которой используется оснастка.

Идеализация. Математическая модель (ММ), описывающая связь входных переменных (характеристики футеровки и магнитного индуктора) и выходной переменной (перемещение определенного объема разрушенной футеровки), основывается на ряде допущений:

1. Под действием давления магнитного поля от футеровки отделяется определенный объем, соответствующий контуру пластины-бойка.
2. Сила F создается давлением импульсного магнитного поля.
3. Разрушению футеровки противодействуют сила сопротивления F_c и сила трения $F_{тр}$.

4. Отделение объема футеровки происходит в момент:

$$t_n = \frac{\tau}{\pi} \cdot \arcsin \left(\frac{F_c + F_{тр}}{P_a \cdot S} \right),$$

что соответствует условию: $F = F_c + F_{тр}$.

Формализация. Для описания поведения отделяемого элемента использовано уравнение одномерного движения, которое с учетом принятых допущений, будет иметь переменную правую часть. Изменение правой части (вид действующих на элемент сил) уравнения обуславливается временем процесса относительно момента отделения элемента:

$$m \cdot \ddot{x} = \begin{cases} 0, 0 < t < t_n; \\ F - F_{тр}, t_n \leq t \leq \tau; \\ -F_{тр}, t \tau. \end{cases}$$

$$F = P_a \cdot S \cdot \sin \frac{\pi}{\tau} t,$$

где P_a – амплитудное значение силы; S – площадь поверхности пластины-бойка; τ – длительность импульса, $0 \leq t \leq \tau$.

$$F_c = S \cdot [\tau],$$

$$F_{тр} = G \cdot f,$$

где $[\tau]$ – допустимое значение касательных напряжений для материала футеровки; G – вес отделяемого объема футеровки; f – коэффициент трения для материала футеровки.

Идентификация. Значения параметров модели установлены для конкретного случая разрушения футеровки. В частности, принято:

$l = 0,92$ м; $S = 1$ м²; $f = 0,5$; $[\tau] = 30$ кГ/см²; $\tau_{и} = 0,52 \cdot 10^{-3}$ с; $\rho = 1850$ кг/м³.

Проверка адекватности. При проверке соответствия ММ и оригинала [3], выходная переменная детерминированной ММ сравнивалась с выборками значений (по 4 опыта в каждой) выходной переменной оригинала при лабораторных испытаниях в конце перемещения отделяемого объема футеровки для 4 типов футеровки, различающихся толщиной и

материалом. В табл. 1 указаны значения выходных переменных (и предельные значения), приведенные к номинальной толщине футеровки.

Таблица 1

Типы футеровки	Выходная переменная модели	ξ_{\max}	ξ_{\min}
1	1,0	1,235	1,015
2	1,0	1,209	0,916
3	1,0	1,085	0,865
4	1,0	1,035	0,815

Значения выходной переменной ММ находятся между граничными значениями критерия проверки соответствия (кроме первого случая), для уровня значимости 5 % (см. табл. 1). Это означает, что соответствие имеется для всех типов футеровки, кроме первого случая, для которого ММ дает несколько меньшие значения перемещения, чем зафиксированные при проведении опытов.

Разработка конструктивно-технологических предложений. Известен способ разрушения изношенной футеровки металлургических печей с использованием импульсного магнитного поля [1]. Он заключается в том, что при замене футеровки между кожухом и кладкой устанавливаются магнитные индукторы в виде закладных частей, которые находятся там до ремонта печи. Индукторы располагаются по всей футеровке на расстоянии, которое подбирается экспериментально. Индукторы устанавливаются между кожухом печи и кладкой в заранее подготовленное место, которое должно обладать повышенной жесткостью и прочностью. Концы индукторов выводятся на наружную часть кожуха печи через изоляторы, образуя клеммные вводы.

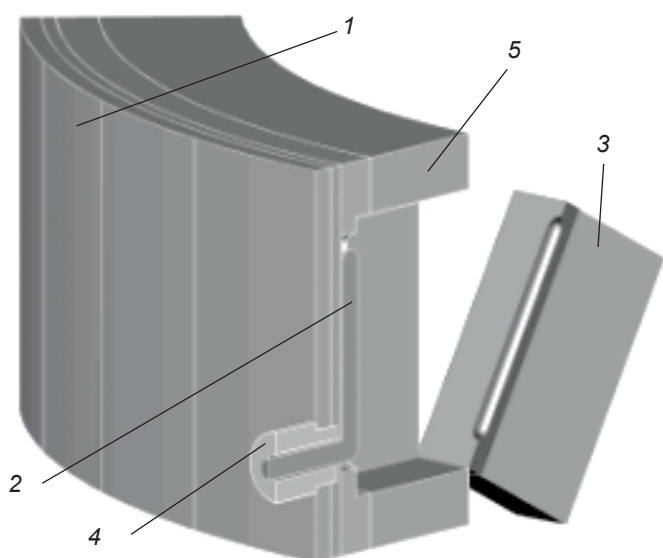


Рис. 1. Размещение индуктора в футеровке: 1 – кожух; 2 – индуктор; 3 – отделяемый элемент; 4 – клеммный вывод; 5 – футеровка

Для создания силового воздействия индуктора на изношенную футеровку последний, через клеммный ввод, подключается к передвижному генератору импульсов тока с энергией разряда 10-100 кДж. Импульс тока в индукторе создает сильное магнитное поле, преобразующееся затем в механическое давление индуктора на участок кладки, в результате чего производится разрушение. Разрушение изношенной кладки силами магнитного давления можно производить сразу после остановки печи, не дожидаясь ее остывания, что позволяет значительно снизить силы магнитного давления.

Оптимизация параметров конструктивно-технологических предложений. Формулировка задачи оптимизации включает критерий оптимизации и ограничение:

$$F = P_a \cdot S \cdot \sin \frac{\pi}{\tau} t \rightarrow \min,$$

$$F > F_c + F_{тр}.$$

Оптимизируемыми параметрами являются амплитудное значение внешней силы P_a и длительность импульса τ . Для решения задачи использован градиентный метод [4], основанный на имитационных планируемых экспериментах с ММ. Уровни варьирования факторов, матрица планирования и последовательность решения приведены в табл. 2.

Движение по градиенту производится с переменным (постепенно уменьшающимся) шагом. Пятый шаг движения по градиенту приводит к нарушению ограничения, поэтому в качестве оптимальных значений выбраны результаты четвертого шага (выделены в табл. 2).

Вид движения (перемещение и скорость) отделяемого элемента (на длине пути равном толщине футеровки), в зависимости от изменения заданного импульса силы (F), получен интегрированием соответствующих уравнений движения.

Применение модели позволяет решать практические вопросы использования импульсного магнитного поля для разрушения изношенной футеровки металлургических агрегатов.

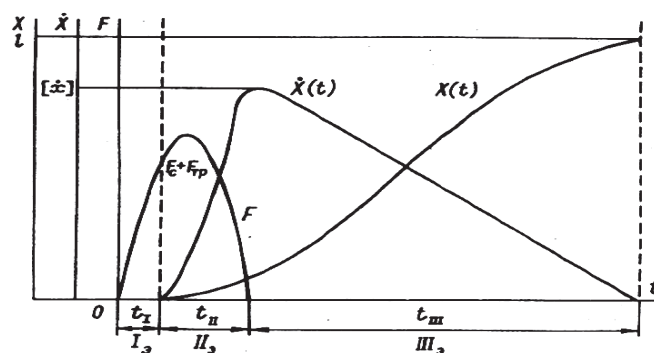
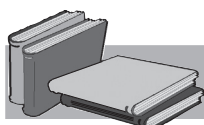


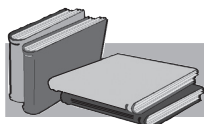
Рис. 2. Кинематика движения отделяемого элемента футеровки

Уровни факторов	$P_a, \text{H/m}^2$	$\tau, \text{с}$	F, H	$F = F_c + F_{\text{тр}}, \text{H}$
Верхний	4 E+06	0,5 E-03		
Нижний	3 E+06	0,4 E-03		
Интервал варьирования	0,5 E+06	0,05 E-03		
Матрица планирования	+	+	3008510	3008510
	+	-	3497421	3008510
	-	+	2256383	3008510
	-	-	2623066	3008510
Шаг движения	1355402,3	-7,1E-05		
Движение по градиенту	3661149,4	0,000418	3117220	3008510
	3593379,3	0,000421	3043163	3008510
	3563259,3	0,000423	3010463	3008510
	3561452,1	0,000423	3008505	3008510
	3559644,9	0,000423	3006548	3008510



ЛИТЕРАТУРА

1. Тимошенко Б. И., Ермоленко Д. И., Ясев А. Г., Тумко Н. С. Использование импульсного магнитного поля для разрушения футеровки металлургических печей // Электронная обработка материалов. – 1980. – № 6. – С. 55–58.
2. Ясев А. Г. Комплексный метод совершенствования технологической оснастки процессов обработки деталей металлургических машин // Сучасні проблеми металургії. Наукові праці. Дніпро: Системні технології, 2007. – Т. 10. – С. 68–82.
3. Ясев А. Г. Соответствие математических моделей и технологических процессов в металлургии и машиностроении. – Днепр: Днепр-VAL, 2001. – 237 с.
4. Ясев А. Г. Применение методов оптимизации технологических процессов // Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф. В. Новикова и А. В. Якимова. В десяти томах. – Т. 8: Оптимизация технологических процессов в машиностроении. – Одесса: ОНПУ, 2004. С. 163–217.



REFERENCES

1. Timoshenko B. I., Ermolenko D. I., Yasev A. G., Tumko N. S. (1980). Ispol'zovanie impul'snogo magnitnogo polia dlia razrusheniia futerovki metallurgicheskikh pechei [Use of pulse magnetic field for destruction of metallurgical furnaces lining]. Elektronnaia obrabotka materialov, no. 6, pp. 55–58 [in Russian].
2. Yasev A. G. (2007). Kompleksnyi metod sovershenstvovaniia tekhnologicheskoi osnastki protsessov obrabotki detalei metallurgicheskikh mashin [Complex method of improvement of the industrial equipment of processing of details of metallurgical machines]. Suchasni problemy metalurgii. Naukovi pratsi. Dnipro: Systemni tekhnologii, vol. 10, pp. 68–82 [in Russian].
3. Yasev A. G. (2001). Sootvetstvie matematicheskikh modelei i tekhnologicheskikh protsessov v metallurgii i mashinostroenii [Accordance of mathematical models and technological processes in metallurgy and engineering]. Dnepr: Dnepr-VAL, 237 p. [in Russian].
4. Yasev A. G. (2004). Primenenie metodov optimizatsii tekhnologicheskikh protsessov [Application of methods of technological processes optimization]. Fiziko-matematicheskaiia teoriia protsessov obrabotki materialov i tekhnologii mashinostroeniia. Under a common release of F. V. Novikova and A. V. Yakimova. In 10 volumes, vol. 8: Optimization of technological processes in engineering, Odessa, ONPU, 509 p. [in Russian].

Анотація

Ясев О. Г.

Модельовання руйнування зношеної футеровки металургійних печей

Описано модельовання (яке включає математичне моделювання, розробку конструктивно-технологічних пропозицій, оптимізацію параметрів) при дослідженні можливостей застосування імпульсного магнітного поля для руйнування зношеної футеровки металургійних печей.

Ключові слова

Модельовання, руйнування, футеровка, піч.

Summary

Yasev A.

Modeling of destruction of deteriorated lining-up of metallurgical furnaces

Modeling (which includes mathematical modeling, development of constructive and technological offers, optimization of parameters) at research of possibilities of application of impulsive magnetic field for destruction of deteriorated lining-up of metallurgical furnaces is described.

Keywords

Modeling, destruction, lining-up, stove.

Поступила 18.04.17