

АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ТЕРМООБРАБОТКИ ПРИ ОПТИМАЛЬНОМ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕМ УПРАВЛЕНИИ ГРУППОЙ ТЕПЛОВЫХ АППАРАТОВ

Основными энергоемкими объектами на многих промышленных предприятиях являются электрические печи. Их количество в цехах термообработки может достигать нескольких десятков и сотен. В связи с этим весьма остро стоят вопросы экономии электроэнергии [1]. Эффекта энергосбережения можно достичь за счет применения оптимального энергосберегающего управления процессом разогрева печей и использования оптимального плана обработки материалов [2].

При разработке алгоритма оптимального распределения плановых заданий необходимо:

1. разработать информационные модели деталей, печей и цепочек термообработки;
2. построить альтернативные варианты цепочек термообработки для каждой партии обрабатываемых деталей;
3. рассчитать время и затраты электроэнергии на обработку нескольких партий деталей по каждой из цепочек;
4. оценить эффективность использования тех или иных вариантов цепочек для обработки партий деталей.

Применительно к нашей задаче, информационные модели деталей, печей и цепочек термообработки имеют вид:

- информационная модель детали

$$МД = \langle И, Д, \Gamma_{дет}, K; ТП \rangle,$$

где И – наименование изделия; Д – наименование детали; $\Gamma_{дет}$ – габаритные размеры детали; K – коэффициент значимости (приоритет обработки); ТП – техпроцесс обработки.

Техпроцесс обработки можно задать в виде следующей модели

$$ТП = \langle T_i, t_i, \Pi_{доп,i}, O_i \rangle,$$

где T_i – температура обработки; t_i – время выдержки при данной температуре; $\Pi_{доп,i} = \langle p_1, \dots, p_j \rangle$ – множество печей, в которых может вестись термообработка на i -ом этапе; j – количество рекомендуемых печей; i – количество операций в техпроцессе; O_i – ограничения.

В качестве ограничений O могут быть указаны: скорость нагрева/ охлаждения ($^{\circ}C/c$), среда нагрева/охлаждения, максимальный промежуток времени $T_{ожид,i}$ между операциями обработки и т.п.;

- модель печи

$$МП = \langle T_{max}, \Gamma_{печь}, ММ \rangle,$$

где T_{max} – максимальная температура разогрева печи; $\Gamma_{печь}$ – габаритные размеры загрузочной области печи; ММ – математическая модель процесса динамики печи, $\{\dot{z} = f(z(t), u(t); A, B)\}$ [3];

- модель цепочки термообработки (рис. 1).

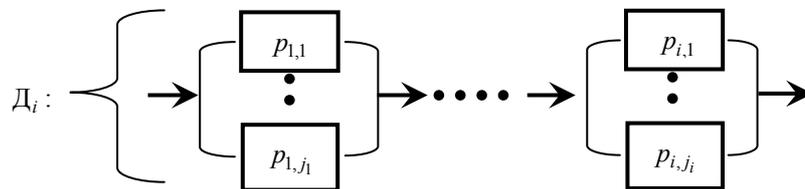


Рис. 1. Модель цепочки термообработки:

D_i – множество обрабатываемых деталей; p_{i,j_i} – множество печей для обработки; i – количество этапов термообработки для D_i -й детали; j_i – количество печей, в которых может вестись термообработка на i -м этапе

Рассмотрим альтернативные варианты построения цепочек термообработки и общее время, затрачиваемое на обработку d -партий деталей в p -печах (p – количество печей в цепочке термообработки).

1. Выделяется одна цепочка необходимых печей из общего количества печей, и обработка всех партий деталей ведется последовательно по этой цепочке (рис. 2).

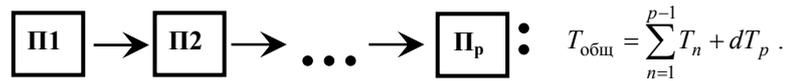


Рис. 2. Одиночная цепочка термообработки:

T_p – максимальное время выдержки

2. Используется несколько одиночных цепочек, как в п. 1, обработка партий деталей ведется параллельно по этим цепочкам (рис. 3).

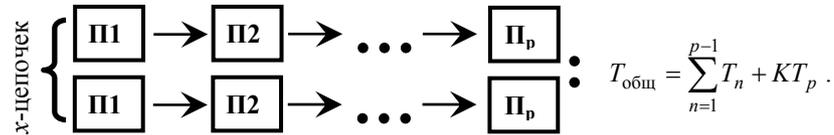


Рис. 3. Параллельные цепочки термообработки:

$K = \frac{d}{x}$, если число партий d деталей делится на количество цепочек

без остатка, или $K = \text{round}\left(\frac{d}{x}\right) + 1$, если не делится

3. Выделяется одна основная цепочка (п. 1) и несколько дополнительных (дублирующих) печей (или цепочек печей).

Возможны два критерия для дублирования печей:

- 1). отношение времени обработки в различных печах;
- 2). отношение вместимостей печей для данного типа деталей.

Первый критерий имеет место, когда время обработки в одной из печей в разы отличается от времени обработки в других. В этом случае общее время обработки партий деталей рассчитывается по формуле

$$T_{\text{общ}} = dT_1 + \sum_{n=2}^{p-1} T_n,$$

где p – количество печей в основной цепочке, $p \geq 2$; T_1 – минимальное время выдержки.

Второй критерий подходит тогда, когда печи сильно отличаются своей вместимостью. В этом случае формула для расчета общего времени обработки выглядит следующим образом

$$T_{\text{общ}} = \sum_{n=1}^{p-1} T_n + \frac{d}{P_{\text{вирт, max}}} T_p,$$

где p – количество виртуальных печей в цепочке; $P_{\text{вирт, max}}$ – максимальный порядок виртуальной печи цепочки (максимальное количество печей, входящих в состав виртуальной печи).

4. Комбинация обоих критериев из п. 3. Данный случай имеет место, когда при обработке нескольких групп деталей на различных этапах термообработки используются печи, существенно отличающиеся своей вместимостью и временем выдержки. Формула для расчета общего времени обработки имеет вид

$$T_{\text{общ}} = \frac{d}{P_{\text{вирт, max}}} T_1 + \sum_{n=2}^{p-1} T_n.$$

Затраты энергии на полную обработку d -партий деталей рассчитываются по формуле

$$J_{\text{об}} = \sum_{i=1}^d \sum_{n=1}^p (J_{\text{нагрев, } n, i} + J_{\text{выдержка, } n} + [J_{\text{охлаждение, } n}]),$$

где $J_{\text{нагрев, } n}$ – затраты энергии на нагрев печи до заданной температуры на n -м этапе; $J_{\text{выдержка, } n}$ – затраты энергии на поддержание заданной температуры термообработки в печи; $J_{\text{охлаждение, } n}$ – затраты энергии на управляемое охлаждение деталей в печи; p – количество этапов термообработки, d – количество партий деталей одного типа или с полностью одинаковым процессом термообработки.

При оценке эффективности использования представленных вариантов цепочек термообработки для каждой партии деталей задаются критерии эффективности $K_{\text{эф}}$. В качестве таких критериев могут быть:

- ограничения на время полной обработки партий деталей;
- приоритетность обработки;
- минимизация затрат энергии;
- различные комбинации перечисленных критериев.

Анализ процесса термообработки позволяет получить исходные данные для последующих этапов функционирования алгоритма оптимального распределения плановых заданий.

В связи с тем что в реальном производственном процессе требуется обработка большого числа наименований деталей, для чего применяются десятки печей различных типов, на этапе анализа процесса термообработки необходимо рассмотреть тысячи цепочек термообработки. Это довольно сложная задача, требующая много времени и больших вычислительных ресурсов. Поэтому основная цель данного этапа – уменьшить количество альтернативных вариантов цепочек термообработки, так как тем самым уменьшается размерность матрицы {Детали × Печи}, а это ведет к сокращению числа вычислений в процессе работы алгоритма и повышению его производительности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Муромцев, Ю.Л. Микропроцессорные системы оптимального управления : учебное пособие / Ю.Л. Муромцев, Л.Н. Ляпин и др. – Тамбов : ТИХМ, 1990. – 93 с.
2. Мачихин, А.И. Автоматизация энергосберегающего управления группой электрических печей / А.И. Мачихин // Составляющие научно-технического прогресса : сб. материалов 2-й междунар. науч.-практ. конф. 21–22 апреля 2006 г. – Тамбов : Першина, 2006. – 472 с.
3. Белоусов, О.А. Интеллектуальная система энергосберегающего управления электрокамерными печами : автореф. дис. ... канд. техн. наук / О.А. Белоусов. – Тамбов, 2005. – 28 с.

Кафедра «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем»