|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| **Математическая модель  процессов литья, гомогенизации и резки цилиндрических слитков на агрегатах 3 и 4 САЗ**   |  |  | | --- | --- | | **Разработано:** | **Институт Автоматизации проектирования РАН** | | **Версия документа:** | **0.1** | | **Дата создания:** | **18.01.2014** | | |
| **Москва – 2013** | |

**Контроль изменений документа**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Имя изменившего** | **Дата изменения** | **Версия** | **Описание изменения** |
| Нелюбин А.П. | 20.01.2014 | 0.1 | Первоначальная версия документа. |

**оглавление**

1. Математическая модель процессов 4

1.1. Общее описание модели 4

1.2. формальное описание модели 5

2. Алгоритм моделирования процессов 6

2.1. схема процесса литья 6

2.2. схема синхронизации процессов 7

2.3. алгоритм моделирования процессов гомогенизации и резки 8

1. **Математическая модель процессов**
   1. **Общее описание модели**

Литейные агрегаты ПНГ 3 и ПНГ 4 на ЛО 1 на САЗ состоят из двух копильников и одной литейной машины каждый. Отливаемые на них цилиндрические слитки отправляются на гомогенизацию и резку на одну из двух линий Хертвич.



В данной версии модели предполагается, что:

- Каждая ходка может быть отправлена на любую линию Хертвич, а также может быть разделена на 2 части, отправляемые на разные линии Хертвич.

- Если линии Хертвич полностью заняты другими заготовками, то только что отлитая ходка ожидает на ЛМ, пока не освободятся буферы линий Хертвич. В течение этого времени данная ЛМ недоступна в процессе литья.

Таким образом, процессы литья, гомогенизации и резки взаимозависимы. Их необходимо моделировать синхронно. Синхронизацию предлагается осуществлять только в моменты загрузки заготовок на линии Хертвич.

**Принципиальное устройство одной линии Хертвич:**

1. **Первый (входной) буфер** с точки зрения моделирования является плоской платформой (без ячеек), на которой помещается определенное число заготовок в зависимости от их диаметра.
2. **Печь гомогенизации** содержит постоянно движущийся конвейер с 158 ячейками под заготовки. Скорость движения конвейера зависит от диаметра заготовок: чем толще, тем медленнее.
3. **Второй (промежуточный) буфер** состоит из нескольких отделов: выходной накопитель печи, камера охлаждения, входной накопитель пилы. Охлаждение не является узким местом процесса, поэтому второй буфер с точки зрения моделирования – такая же плоская платформа, на которой помещается определенное число заготовок в зависимости от диаметра.
4. **Резка** заготовок на слитки производится по одной. Число резов зависит от заказа (сколько слитков в заготовке). Скорость реза зависит от диаметра заготовки: чем толще, тем медленнее.

Далее заготовки диаметров 152, 178, 203 мм будем называть тонкими, а заготовки диаметров 228, 254 мм будем называть толстыми.

Также существуют гомогенизируемые и негомогенизируемые заготовки. Первые загружаются в первый буфер линии Хертвич и проходят весь цикл. Вторые загружаются во второй буфер.

Загрузка заготовок в печь гомогенизации осуществляется по программе:

1. Толстые заготовки помещаются на конвейер через одну ячейку.
2. При переходе с тонких заготовок на толстые обеспечивается необходимый интервал в 14 ячеек.
3. При переходе с толстых заготовок на тонкие загрузка останавливается, пока не будут выгружены все толстые слитки из печи.

Если в конвейере печи находятся заготовки разного диаметра, то скорость его движения определяется по последней загруженной заготовке.

При переполнении второго буфера будем останавливать конвейер печи гомогенизации и загрузку заготовок в печь.

* 1. **ФОРМАЛЬНОЕ описание модели**

**Объект**: линия гомогенизации и резки *hc*

**Известные параметры** линии гомогенизации и резки:

- <list>*CU*(*hc*) – список литейных агрегатов (может быть 2 ЛА)

- <map>*Tload*(*hc*, *diameter*) – время загрузки заготовки в печь гомогенизации (сек)

- <map>*Tcell*(*hc*, *diameter*) – время перемещения ячейки конвейера на одну позицию (сек)

- <map>*Tcut*(*hc*, *diameter*) – время одного реза (сек)

- *nCells*(*hc*) – число ячеек на конвейере печи

- <map>*nBlanksB*1(*hc*, *diameter*) – номинальное число заготовок, помещающееся в первый буфер

- <map>*nBlanksB*2(*hc*, *diameter*) – номинальное число заготовок, помещающееся во второй буфер

- *R*(*hc*) – общее число ремонтов литейной машины в месяц

- <list>*TSr*(*hc*) и *TFr*(*hc*) – время начала и окончания ремонта *r* = 1, …, *R*(*hc*)

**Объект**: партия одинаковых заготовок *P* (ходка или часть ходки)

**Известные параметры** партии:

- *Diameter*(*P*) – диаметр заготовок (мм)

- *nBlanks*(*P*) – количество заготовок в партии (~ 60-120)

- *nIngots*(*P*) – количество слитков в одной заготовке

- *Cast*(*P*)) – соответствующая ходка

- *HC*(*P*) – линия Хертвич, на которую поступает партия заготовок

- *T*(*P*) = (*Cast*(*P*)) – время поступления новой партии на линию Хертвич (время окончания литья соответствующей ходки)

- *Homogenization*(*P*) – нужна ли гомогенизация (если нет, то заготовки отправляются сразу во второй буфер)

**Объект**: заготовка *blank*

**Известные параметры** заготовки:

- *HC*(*blank*) – линия Хертвич, на которую поступает заготовка

- *P*(*blank*) – партия (ходка) заготовки

- *Diameter*(*blank*) = *Diameter*(*P*(*blank*)) – диаметр заготовки (мм)

- *nIngots*(*blank*) = *nIngots*(*P*(*blank*)) – количество слитков в заготовке

**Вычисляемые параметры** заготовки:

- (*blank*) – момент времени загрузки заготовки в печь.

- (*blank*) – момент времени выгрузки заготовки из печи.

- (*blank*) – момент загрузки заготовки в печь.

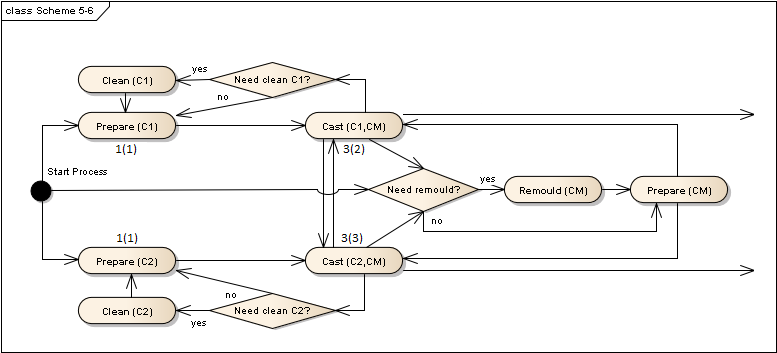
- (*blank*) – момент загрузки заготовки в печь.

- *Next*(*blank*) – указатель на следующую заготовку на линии Хертвич

- *CellsAfter*(*blank*) – количество пропусков ячеек после заготовки

1. **алгоритм моделирования процессов**
   1. **схема процесса литья**

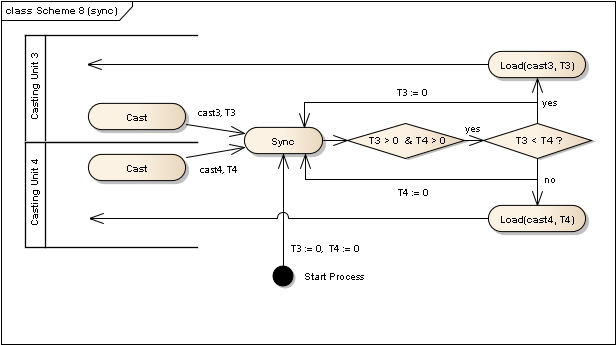
Процесс литья на агрегатах ПНГ 3 и ПНГ 4 моделируется по схеме 5 (схема будет уточняться):



Описание обозначений см. в Модели процессов литья.

* 1. **схема синхронизации процессов**

Синхронизация процесса литья на двух агрегатах с процессами гомогенизации и резки на двух линиях Хертвич осуществляется по следующей схеме:



Слева опущены подробные схемы процессов литья на агрегатах. Операция «Cast» – это либо «Cast(C1, CM)», либо «Cast(C2, CM)» на соответствующем агрегате.

Операция «Cast» активирует операцию «Sync» (синхронизация) и передает ей время окончания литья: *T*3 для ПНГ 3 или *T*4 для ПНГ 4. Изначально в операции «Sync» хранятся нулевые значения этих времен: *T*3 = 0, *T*4 = 0. Как только операция «Sync» получает оба ненулевых времени (т.е. на агрегатах выполнено минимум по одной ходке), она их сравнивает и отправляет на загрузку на линию Хертвич ту ходку *k* (*k* = 3 или 4), которая была выполнена ранее. При этом соответствующее время в операции «Sync» обнуляется.

Далее операция «Load(cast*k*, *Tk*)» пытается разместить заготовки из ходки cast*k* на линиях Хертвич, на одной или на обеих по частям. Длительность данной операции равна времени освобождения буферов под новые заготовки с момента времени *Tk*. Если в момент времени *Tk* буферы линий Хертвич могут вместить новые заготовки, то длительность операции «Load(cast*k*, *Tk*)» равна 0. Сохраняем время загрузки ходки cast*k* с учетом времени ожидания.

После этого мы можем обработать следующую ходку на агрегате ПНГ *k*. Сделав это, вновь активируем операцию «Sync», отправляя в нее время окончания ходки *Tk*. Снова сравниваем времена *T*3 и *T*4.

Может так оказаться, что на одном агрегате (пусть на ПНГ 3) несколько первых ходок выполнено раньше, чем первая ходка на втором агрегате (ПНГ 4). Но в алгоритме эти ходки будут обработаны так:

1. Сначала будет обработано по одной ходке на каждом агрегате.
2. Сработает операция «Sync», на линии Хертвич загрузится первая ходка с ПНГ 3.
3. Обработается вторая ходка на ПНГ 3.
4. Сработает операция «Sync», на линии Хертвич загрузится вторая ходка с ПНГ 3.

И так далее. В результате, на линии Хертвич ходки будут загружаться в соответствии с реальным их выполнением.

* 1. **алгоритм моделирования процессов гомогенизации и резки**

Основные задачи:

1. вычислить расположение заготовок на каждой линии Хертвич в момент поступления каждой новой партии заготовок.

2. вычислить время, необходимое для освобождения буферов под заданное число заготовок.

При поступлении самой первой партии заготовок кладем их в первый (во второй для негомогенизируемых заготовок) буфер на одну из линий Хертвич, которые в начале полагаются пустыми. Записываем время *T*1 загрузки первой партии равным времени ее поступления.

Предположим по индукции, что нам известно расположение заготовок на линиях Хертвич в момент *Ti* загрузки на нее предыдущей партии заготовок *Pi*. Требуется рассчитать новое расположение заготовок к моменту поступления новой партии заготовок и вычислить момент времени *Ti*+1 ее загрузки.

**Шаг 1.** Проверяем, не превышает ли момент *Ti* загрузки предыдущей партии заготовок на линию Хертвич текущее время поступления новой партии. Такое возможно, если предыдущая партия ожидала освобождения буферов достаточно долго, чтобы за это время поступила наша новая партия. В этом случае переходим на Шаг 2, иначе переходим на Шаг 3.

**Шаг 2.** Поскольку мы знаем расположение заготовок в момент *Ti*, то осталось посчитать время ожидания перед освобождением буферов. Переходим на Шаг 5.

**Шаг 3.** Перемещаем заготовки на линиях Хертвич в течение времени . Это отдельная процедура.

**Шаг 4.** Если в буферах хватает места под новую партию, помещаем их туда и кладем

, завершаем итерацию алгоритма. Иначе переходим на Шаг 5.

**Шаг 5.** Вычисляем время, необходимое для разгрузки буферов под новую партию (отдельная процедура). Затем рассчитываем расположение заготовок к моменту *Ti*+1 разгрузки буферов и кладем на эти буферы новую партию. Завершаем итерацию алгоритма.