

УДК 629.12

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЛИСТОГИБОЧНОЙ МАШИНЫ С ЧПУ

Лучков Иван Николаевич^{1,2}, заместитель начальника отдела профессионального образования, дипломирования и защиты информации Управления безопасности судоходства, доцент

e-mail: luchkovin@kapitan-arctica.ru

¹ Федеральное агентство морского и речного транспорта, Москва, Россия

² Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. Данный материал является математическим описанием Листогибочного станка с ЧПУ с формализацией показателей производственного процесса, отражающих свойства процесса гибки металла, его магнитных и изотермических свойств.

Ключевые слова: организация производства судостроения, организация производства судоремонта, гибка металлов, оптимизация производственных процессов.

MATHEMATICAL MODEL OF A CNC BENDING MACHINE

Luchkov Ivan Nikolaevich^{1,2}, Deputy Head of the Department of Vocational Education, Certification and Information Protection of the Navigation Safety Department, Associate Professor of the Department

e-mail: luchkovin@kapitan-arctica.ru

¹ Federal Agency for Maritime and River Transport, Moscow, Russia

² Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. This material is a mathematical description of a CNC bending machine with a formalization of the production process indicators reflecting the properties of the metal bending process, its magnetic and isothermal properties.

Keywords: organization of shipbuilding production, organization of ship repair production, metal bending, optimization of production processes.

Судокорпусное производство является одним из самых трудоемких. Трудоемкость судокорпусных работ варьируется от 25 до 41% всей трудоемкости корпусных работ судостроительного и судоремонтного предприятия. При этом судокорпусное производство состоит из корпусообработывающего и сборочно-сварочного цехов.

Корпусообработывающий цех предназначен для подготовки металлопроката к сборочно-сварочным работам и именно с корпусообработывающих работ должна начинаться полная механизация судостроительного предприятия, т.к. по своей сути корпусообработывающий цех судостроительного предприятия, по сути, аналогичен цеху по

подготовке металла любого другого предприятия авиационного, вагоностроительного, машиностроительного или автомобилестроительного, т.к. набор станков в таких цехах схож между собой.

Чтобы минимизировать затраты производства целесообразно использовать одинаковые станки на любом предприятии.

Одним из таких технологических решений может стать листогибочная машина с ЧПУ (ЛМ). Принцип работы ЛМ описан в работе [1].

Учитывая, что предлагаемая автором ЛМ является лишь идеей, предлагается рассмотреть проект математического описания производственного процесса ЛМ на примере одного производственного процесса, производимого в идеальных условиях.

На рис. 1 представлена принципиальная схема работы ЛМ, на которой изображен порядок работы. В блок ЧПУ поступает в виде программного файла техническое задание гибки листового проката. ЧПУ отправляет сигнал в виде программного кода на листогибочный станок, в котором магнитные захваты фиксируют листовую прокат на головках плунжеров, индукционный нагрев, позволяет быстро и эффективно нагреть листовую прокат до нужной температуры и как только температура нагрева достигнет оптимального значения плунжеры начинают движение по вертикальной оси движения придавая листовому прокату заданный программой вид. После завершения операции гибки листа технолог проверяет соответствие изгибаемого листового проката и в случае положительного результата дает команду оператору завершить выполнение операции.

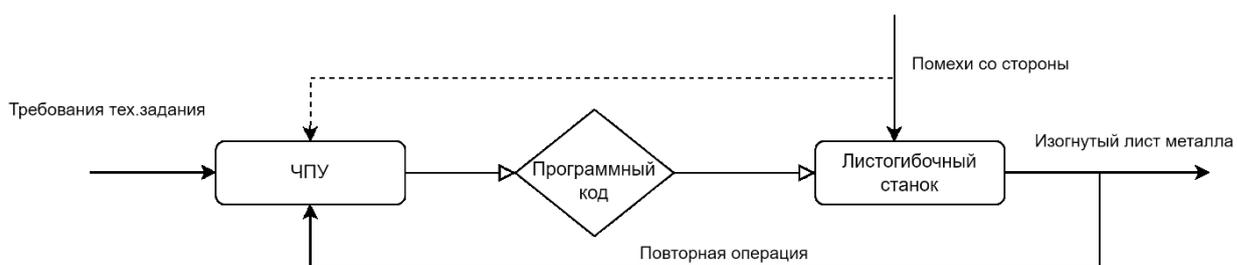


Рисунок 1 – Принципиальная схема работы листогибочной машины с ЧПУ

В рамках построения математической модели были определены векторные величины, где x – это выходные векторы листогибочного станка, а u – управляющее воздействие ЧПУ:

- X_1 – магнитный захват
- X_2 – индукционный нагрев
- X_3 – движение плунжера по вертикальной оси
- U_1 – сила магнитного захвата
- U_2 – сила индукционного нагрева
- U_3 – сила изгибаемого момента плунжера
- U_4 – сила тяги двигателей, перемещающих плунжер

Учитывая, что в станке таких плунжеров несколько то соответственно каждый из них определяется в виде координат векторов X и U .

Еще одним важным требованием, применяемым к листогибочному станку, является критерий оптимальности.

В качестве критериев оптимальности были выбраны следующие технические и экономические показатели:

- а) Снижение издержек производства
- б) Минимизация брака и отходов
- в) Сокращение сроков изготовления изделия

- d) Минимизация человеческого фактора
- e) Минимизация травмирования человека
- f) Повышение производительности производства
- g) Повышение качества производимых изделий

Эти показатели были разбиты на 2 блока, те, что стремятся к минимуму, и те что стремятся к максимуму:

$Q = \max$

- f) Повышение производительности производства
- g) Повышение качества производимых изделий

$Q = \min$

- a) Снижение издержек производства
- b) Минимизация брака и отходов
- c) Сокращение сроков изготовления изделия
- d) Минимизация человеческого фактора
- e) Минимизация травмирования человека

Критерий оптимальности зависит от задающего воздействия, действующего на ЧПУ, управляющее воздействия, в виде программного кода, возмущающего воздействия, действующего со стороны, и времени.

Таким образом формул принимает следующий вид:

$$Q(x, x^*, u, z, t) = \max$$

А для значений стремящихся к минимуму

$$(x, x^*, u, z, t) = \min$$

Теперь необходимо формализовать производственный процесс с момента поставки листового проката до выхода готового изделия – сформируем схему автоматизации процесса.

Как известно схема автоматизации процесса формируется на основании перечня операций производственного процесса.

Для этого были формализованы осуществляемые операции производственного процесса и критерии, с помощью которых можно судить о выполнении степени автоматизации процесса.

В расчет были взяты показатели автоматизированного производства:

1. Производительность процесса
2. Средняя доля годных операций
3. Интенсивность отказов в производственном процессе
4. Среднее время производственной работы на операции
5. Надежность процесса

Учитывая, что математическая модель строится на станок, который на сегодняшний день пока отсутствует в производстве, то ни один из этих показателей быть абсолютно точным не может.

Поэтому целесообразно взять один из показателей как сопоставимый станку-прототипу.

Был произведен расчет производительность процесса исходя из того, что приблизительно известно общее время работы станка.

Время работы станка представляет из себя сумму

$$t_c = t_{c.п} + t_{c.e} + t_{c.к} + t_{c.тр} + t_{c.y} + t_{пр},$$

где $t_{c.п}$ – время продолжительности операции

$t_{c.e}$ – продолжительность технологической операции

$t_{c.к}$ – время операции контроля

$t_{c.тр}$ – время транспортных операций

$t_{c.y}$ – время на упаковку и другие заключительные операции



$t_{пр}$ – продолжительность простоев

Габариты листового проката взяты следующие: толщина × ширина × длина = 6 × 1000 × 1000, мм

$t_{с.п}$ – время продолжительности операции

$$t_{с.е} = 5 \text{ мин}$$

$$t_{с.к} = 1 \text{ мин}$$

$$t_{с.тр} = 1,5 \text{ мин}$$

$$t_{с.у} = 5 \text{ мин}$$

$$t_{пр} = 2 \text{ мин}$$

Время продолжительности операции гибки листа нельзя взять из справочника

Поэтому оно было рассчитано следующим путем

$t_{и}$ – время, затрачиваемое на изгиб 1 листа, мин

$t_{н}$ – время нагрева 1 листа, мин

Если взять за основу индукционный нагреватель Универсал-6 при его максимальной мощности в 324 кВт на 20 м², скорость нагрева листа в 6 мм составит приблизительно 8 минут.

А время, затрачиваемое на изгиб листа, соответственно уменьшается пропорционально нагреваемому металлу, т.е. приблизительно составит 2 минуты

Таким образом время продолжительности операции составит

$$t_{с.п} = 10 \text{ мин}$$

Таким образом время работы станка будет равным

$$t_c = 10 + 5 + 1 + 1,5 + 5 + 2 = 24,5 \text{ мин}$$

Для сравнения на трехвалковых листогибочных станках время обработки 1 листа металла составляет от 30 минут в зависимости от сложности линии изгиба листа и его габаритов, а также необходимо учитывать еще и разметку по шаблону и резку металла.

Дополненным преимуществом такого станка с ЧПУ является еще и то, что для управления нужен 1 рабочий, как по сравнению с другими станками требуется не менее 2 человек.

Таким образом трудоемкость составит 0,4 человеко-часа, так для сравнения трехвалковый станок имеет от 1 человеко-час, при этом для листогибочного станка с ЧПУ это значение будет постоянной при заданных значениях мощности индукционной плиты и габаритов листа.

Данный расчет является приблизительным, т.к. в реальных условиях имеется определённые внешние и внутренние воздействия, которые действуют на станок, так называемые риски. Данный расчет приблизительно показывает, что мы можем сократить время на обработку листового проката и повысить его точность, а также сократить количество отходов и брака.

Теперь мы можем определить производительность процесса

$$П_{п} = \frac{N_r(t_c)}{t_c} = \frac{1}{24,5} = 0,04,$$

где N_r - число годных изделий, произведенных за время t_c .

Учитывая, что рассчитан один из показателей автоматизированного производственного процесса теперь производим расчет остальных 4 основных показателей

2. Средняя доля годных изделий

$$A_r = \frac{N_r(t_c)}{N(t_c)}$$

где A_r - средняя доля годных изделий



$$A_r = \frac{1}{1} = 1 \text{ шт}$$

3. Интенсивность отказов в производственном процессе

$$L_c = \frac{n_c}{nt_c}$$

где n_c число операций, в которых наблюдались отказы

n – общее число операций

Учитывая, что был рассмотрена только одна операция с идеальными условиями, то соответственно, $n_c = 0$, а $n = 1$

$$L_c = \frac{0}{1 * 24.5} = 0$$

4. Среднее время производительной работы на одну операцию

$$T_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n}$$

$\sum_{i=1}^n t_i$ Общее время производительной работы автоматизированной системы при n позициях

$$T_{cp} = \frac{24,5}{1} = 24,5 \text{ мин}$$

6. Надежность процесса. Надежностью процесса называют способность обеспечить выполнение заданных функций при сохранении эксплуатационных показателей в заданных пределах и на протяжении установленного отрезка времени. Критерием надежности является вероятность безотказной работы в течение периода нормальной эксплуатации.

Учитывая, что был рассмотрен только 1 из возможных вариантов в котором система работает безотказно и штатно, то надёжность процесса будет соответственно равна 1.

При рассмотрении большего количества вариантов работы станка критерий надёжности будет рассматриваться уже в составе математической модели листогибочного станка с ЧПУ.

Рассмотренные показатели производственного процесса являются объективными его характеристиками, отражающие свойства процесса гибки металла, его магнитных и изотермических свойств и формализованы в виде математической модели ЛМ. Производственный процесс можно свести к изменениям тех или иных показателей и с помощью компьютерного математического моделирования можно найти оптимальное соотношение между отдельными элементами и показателями процесса гибки.

Список литературы:

1. Патент № 187367 на полезную модель «Листогибочный станок с ЧПУ», Лучков И.Н., Бурмистров Е.Г. опублик. 04.03.2019.
2. Автоматизация и механизация производственных процессов в судостроении, В.К. Кузьменко, изд. Судостроение, 1972 г.
3. Технология судостроения и судоремонта, Гуревич И.М., Зеличенко А.Я., Кулик Ю.Г., Изд. Транспорт, 1976 г.
4. Экономико-математическое моделирование, Катаргин Н.В., Изд. ЛАНЬ, 2022 г.
5. Экономико-математические методы и модели в управлении морским транспортом: Учеб. для студентов морских вузов. / Е.Н. Воевудский, Н.А. Коневцева, Г.С. Махуренко, И.П. Тарасова; под ред. Е.Н. Воевудского. - М.: Транспорт, 1988. – 384 с.

