

УДК 004.89:004.93

Управление гидравлическим удалением окалины с листового проката на основе генетических алгоритмов

А.Н. Шушура, К.Н. Зайцев

Management of the hydraulic descaling from rolled sheet, based on genetic algorithms

A.N. Shushura, K.N. Zajtsev

Управління гідравлічним видаленням окалини з листового прокату на основі генетичних алгоритмів

О.М. Шушура, К.Н. Зайцев

В статье предложен способ управления гидравлическим удалением окалины с листового проката на основе генетических алгоритмов. Предложенный метод позволит определять значение управляющих переменных в системах гидросбива окалины, благодаря чему удастся уменьшить расход воды и электроэнергии при обеспечении высокого качества сбива.

Ключевые слова: гидросбив, генетический алгоритм, удельная энергия удаления окалины.

У статті запропоновано спосіб управління гідравлічним видаленням окалини з листового прокату на основі генетичних алгоритмів. Запропонований метод дозволить визначати значення керуючих змінних в системах гідрозбиву окалини, завдяки чому вдасться зменшити витрату води і електроенергії при забезпеченні високої якості збиву.

Ключові слова: гідрозбив, генетичний алгоритм, питома енергія видалення окалини.

1. Введение

В печах при горячей прокатке на поверхности проката образуется воздушная (вторичная) окалина. Если окалина своевременно не удаляется, то она вкатывается при прокатке в основной металл листа, снижая качество поверхности, эксплуатационные и механические свойства проката, а также приводит к уменьшению срока службы рабочих валков клетей стана [1].

Для удаления первичной и вторичной окалины наибольшее применение получил гидравлический способ очистки слябов – гидросбив. Этот способ заключается в нагнетании на поверхность изделия струй воды из сопел, при давлении воды в коллекторе не менее 16 МПа [2,3].

Как было показано в [2], наиболее рациональным подходом для определения основных параметров коллектора для гидравлического удаления окалины является подход, основанный на обеспечении необходимой энергии струй жидкости для удаления окалины, которая является специфической для каждой марки стали [3]. Авторы [2] доказали, что нет необходимости расходовать больше энергии, создаваемой струями жидкости, чем требуется для конкретной марки стали и типа окалины.

Достичь требуемой энергии удаления окалины возможно, варьируя значения управляющих переменных, причем существует несколько комбинаций, обеспечивающих требуемую энергию удаления окалины. Поэтому задача сводится к выбору наиболее выгодной комбинации. Высокие показатели в решении подобных задач показало применение генетических алгоритмов.

2. Постановка задачи

Общий вид установки для гидросбива представлен на рисунке 1.

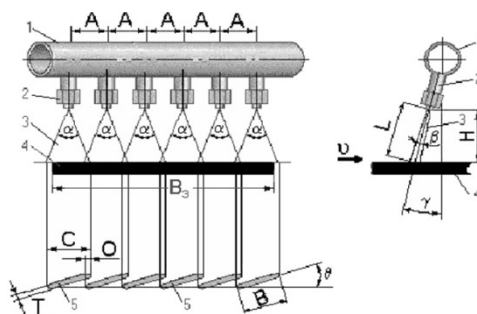


Рисунок 1 – Установка гидросбива окалины

Как видно из рисунка 1, в общем виде установка включает в себя траверсу (1) (верхнюю и нижнюю), на которую монтируются сопла (форсунки) (2). Исследования [3] показали, что для эффективного удаления окалины целесообразно управлять положением траверсы, расстоянием между соплами, углом поворота форсунок. Авторами [4] была выведена зависимость между ударной нагрузкой, приходящейся на квадратный метр поверхности e и параметрами сбива:

$$e = p \cdot V^2 \cdot \cos^3 \gamma \cdot 8H^3 \cdot \vartheta \cdot \operatorname{tg} \alpha^2 \operatorname{tg} \beta^2 \cdot \cos \theta ,$$

(1)

где p - рабочее давление воды; V - объемный расход воды; H - высота

установки сопла над поверхностью обрабатываемого проката; ϑ - скорость

движения проката; α - угол раскрытия струи воды в продольном направлении сечения струи; β - угол раскрытия струи воды в поперечном направлении сечения струи; γ - угол наклона струи воды к поверхности обрабатываемого проката; θ - угол разворота сопла относительно продольной оси сечения сопла.

В результате исследований [5] было выявлено, что наиболее значимыми параметрами для систем гидросбива являются: объемный расход воды V ; высота установки сопла над поверхностью обрабатываемого проката H и угол раскрытия струи воды в поперечном направлении сечения этой струи β . Менее

значимыми являются: скорость движения проката ϑ ; угол раскрытия струи воды

в продольном направлении α и рабочее давление воды p ; угол наклона струи воды к поверхности обрабатываемого проката γ и угол разворота сопла форсунки относительно продольной оси сечения сопла θ не оказывают значительного влияния на энергию удаления окалины.

Опираясь на вышеизложенные результаты можно сделать вывод, что

управление переменными V , H , β , а также ϑ , α , p обеспечивает

высококачественную очистку поверхности проката. Однако величины V , β , α определяются моделью выбранной форсунки и их корректировка в режиме

реального времени затруднительна, изменение же скорости движения проката ϑ

крайне нежелательно ввиду непрерывности процесса прокатки. Значит, реально возможно осуществлять управление только величинами H , p и γ . Изменение каждой величины в режиме реального времени сопряжено с существенными энергетическими затратами. Целесообразно подбирать

значения управляющих переменных гидросбыва так, чтобы на их установку тратилось наименьшее количество энергии.

Целью данной работы является разработка алгоритма и, на его основе, программного обеспечения для системы управления гидросбывом окалины, позволяющей осуществлять удаление окалины с минимальными энергетическими затратами при неизменно высоком качестве очистки. Для достижения цели выполняется формализация задачи управления и разрабатывается генетический алгоритм ее решения, проводится численное исследование алгоритма.

3. Формализация задачи управления гидросбывом окалины

Рассмотрим целевой критерий и ограничения задачи. Для эффективного сбыва окалины требуется достижения удельной энергии удаления e^* , достаточной для разрушения окалины конкретного типа и определяемой для каждого участка листа проката на основе термограмм в режиме реального времени. Превышение этого значения не целесообразно из-за дополнительного расхода воды. Кроме того, нужно минимизировать затраты на управление. Поэтому, используя формулу (1), критерий управления можно представить в виде:

$$f_{H,p,\gamma} = 103 \cdot k_F p \cdot V_2 \cdot \cos^3 \gamma \cdot H^3 \cdot \vartheta \cdot \operatorname{tg} \alpha^2 \operatorname{tg} \beta^2 \cdot \cos \theta - e^* + c_1 p - p_0 + c_2 H - H_0 + c_3 \gamma -$$

$$\gamma_0 \rightarrow \min, \tag{2}$$

где p_0 , H_0 , γ_0 – текущие значения соответственно давления воды, высоты

установки сопла и угла наклона струи; c_1 , c_2 , c_3 – коэффициенты, отражающие

затраты на изменение соответствующих управляющих воздействий.

Существует ряд ограничений, связанных с техническим обеспечением системы. Так, система гидросбыва может обеспечить давление от 10 до 60 Мпа; высота варьируется в пределах от 11 до 50 мм; максимальный угол поворота

сопла составляет 30° . Поэтому управляющие переменные находятся в следующих пределах:

$$10 \leq p \leq 60;$$

$$11 \leq H \leq 50; \quad (3)$$

$$\gamma \leq 30.$$

Поставленная задача относится к классу нелинейных оптимизационных задач, для решения которых целесообразно использовать генетические алгоритмы.

4. Синтез генетического алгоритма управления гидросбивом окалины

Разработка генетического алгоритма требует определения вида хромосомы, формализации фитнес-функции, выбора генетических операторов.

В системе используется целочисленное кодирование, которое будет соответствовать требуемому значению управляющих переменных: давление воды в соплах, положение траверсы, угол поворота сопла. Поэтому хромосома в таком случае будет иметь вид:

$$X = \{x_1, x_2, x_3\}, \quad (4)$$

где x_1 - давление жидкости в сопле; x_2 – высота расположения траверсы; x_3 - текущий угол поворота сопла.

Учитывая критерий (2) и ограничения (3), фитнес-функция будет иметь вид:

$$ff = (103 \cdot x_1 \cdot V_2 \cdot \cos 3x_3 8x_2 3 \cdot \vartheta \cdot \operatorname{tg} \alpha 2 \operatorname{tg} \beta 2 \cdot \cos \theta - e^* + c_1 x_1 - \quad (5)$$

$$p_0 + c_2 x_2 - H_0 +$$

Переменные l, m и n , отражающие ограничения задачи, рассчитываются по формулам:

$$l=1, \text{ если } 10 \leq x_1 \leq 601000, \text{ иначе } ,$$

(6)

$$m=1, \text{ если } 11 \leq x_2 \leq 501000, \text{ иначе } ,$$

(7)

$$n=1, \text{ если } x_3 \leq 301000, \text{ иначе } .$$

(8)

Для реализации генетического алгоритма требуется выбрать генетические операторы. В реализуемом алгоритме были использованы, как наиболее распространенные, следующие операторы:

- отбор рулеткой;
- односточечный кроссинговер;
- простая мутация.

Начальная популяция формируется на основе текущих значений параметров гидросбыва. На каждой очередной итерации алгоритма рассчитываются значения функции приспособленности для всех хромосом этой популяции, после чего проверяется условие остановки алгоритма и либо фиксируется результат в виде хромосомы с наибольшим значением функции

приспособленности, либо осуществляется переход к следующему шагу генетического алгоритма.

На основе генетического алгоритма было разработано программное обеспечение, выполняющее расчет значений управляющих переменных.

5. Численное исследование

В рамках численного исследования алгоритма был проведен сравнительный анализ его работы с результатами исследований подходов к управлению гидросбивом, проводившихся ранее [1]. В качестве системы гидросбива окалины, на которой проводились исследования, выступала низконапорная машина, смонтированная на стане 2000 Новолипецкого металлургического комбината [1].

С целью проверки эффективности алгоритма был смоделирован эксперимент, проводимый авторами в статье [1]. В ходе эксперимента траверса из положения $H = 0,045$ м перемещалась в положение $H = 0,011$ м с последующей подачей давления на сопла. Для тех же условий были выполнены расчеты на основе разработанного генетического алгоритма. Сравнение результатов приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительные результаты моделирования

Статистические данные значений параметров сбива низконапорной машины							
р		е		Н		γ	
предыдущег о цикла	текущего цикла	предыдущег о цикла	текущего цикла	предыдущег о цикла	текущег о цикла	предыдущег о цикла	текущег о цикла
0	50000	0	2371,26 1	0,045	0,011	0	0
0	100000	0	6572,8	0,045	0,011	0	0
0	150000	0	12025,3 1	0,045	0,011	0	0
Результаты расчета по разработанному генетическому алгоритму							
р		е		Н		γ	
предыдущег о цикла	текущего цикла	предыдущег о цикла	текущего цикла	предыдущего цикла	текущег о цикла	предыдущег о цикла	текущег о цикла
0	47000	0	2400	0,045	0,012	0	22
0	98000	0	6572,8	0,045	0,016	0	12
0	148000	0	12025	0,045	0,018	0	13

Анализируя результаты моделирования, можно сделать вывод об эффективности разработанного алгоритма по сравнению с использованным авторами в работе [1], поскольку для достижения той же удельной энергии удаления окалины требуется меньшее давление жидкости на соплах, что обеспечивает меньший расход воды.

Выводы

В данной работе предложен способ управления гидравлическим удалением окалины с листового проката, который, в отличие от существующих, основан на расчете параметров гидросбива с помощью генетического алгоритма. В рамках решения задачи проведен анализ конструкции установки гидросбива и выделены управляющие переменные, формализован критерий управления и ограничения. Для расчета значений управляющих переменных разработан генетический алгоритм и проведено его численное исследование. Практическое применение результатов работы позволяет уменьшить расход воды и электроэнергии при обеспечении высокого качества очистки окалины.

Литература

1. Чекулаев Е.Ф. Промышленные исследования энергетических параметров низконапорной машины гидросбива окалины / Чекулаев Е.Ф., Денщик Р.В. // Восточно-европейский журнал передовых технологий – 2005 – С. 21-24.
2. N.J. Silk. The impact energy primary descaling / N.J. Silk. // Steel Times. – 1999. – №5. – P.184 – 185.
3. Руденко В.И., Определение основных параметров устройств для гидравлического удаления окалины / Руденко В.И., Суков Г.С., Руденко Р.В., Ошовская Е.В., Антыкуз О.В. // Metallurgical and Mining Industry. – 2004. – №4. – С. 28-30.
4. Руденко В.И. Обоснование управляющих параметров гидравлических устройств удаления окалины / Руденко В.И., Суков Г.С., Руденко Р.В., Ошовская Е.В., Антыкуз О.В. // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Междунар. сб. науч. трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2004. Вып. 27. – С. 186-190.
5. Антыкуз О.В. Разработка конструкции и исследование энергосиловых параметров усовершенствованного устройства для гидросбива окалины с поверхности листа – Донецк: ДонНТУ, 2004.

Literatura

- i. Chekulaev E.F. Industrial energy parameters of the study low-pressure machine descaling. East European Journal of advanced technologies. 2005. P. 21-24.
- ii. N.J. Silk. The impact energy primary descaling. Steel Times. 1999. №5. P.184 – 185
- iii. Rudenko V.I. Determination of basic device parameters for the hydraulic removal of scale. Metallurgical and Mining Industry. 2004. №.4. P. 28-30.

- iv. Rudenko V.I. Justification of the control parameters of hydraulic descaling devices. Advanced technologies and systems engineering. 2004. №27. P. 186-190
- v. Antykuz O. Development of a design and research of energy-power parameters of the improved apparatus for descaling the surface of the sheet. 2004

Abstract

Hydraulic descaling is one of the most progressive method for scale removal in metallurgy. The most rational way to identify key reservoir parameters for hydraulic descaling is to provide the necessary liquid jets energy to remove the scale. This parameters is specific for each grade of steel. Specific scale deleting energy e^* achieving is needed to provide the effectively scale removing. Scale density is defined by real time thermal images for each section of steel sheet. Value e^* exceeding due to the additional water flow. Also, we need to minimize the cost of management.

Therefore the control criterion can be represented as:

$$f_{H,p,\gamma} = 103 \cdot k_{Fp} \cdot V^2 \cdot \cos^3 \gamma \cdot H^3 \cdot \vartheta \cdot \operatorname{tg} \alpha^2 \operatorname{tg} \beta^2 \cdot \cos \theta - e^* + c_1 p - p_0 + c_2 H - H_0 + c_3 \gamma \quad (1)$$

$\gamma_0 \rightarrow \min,$

Where p_0, H_0, γ_0 is current values of water pressure, nozzle mounting height

and angle of the jet. c_1, c_2, c_3 is coefficients that reflect the cost of changing the

appropriate control actions.

There are some limitations that associate with the technical support of the system. That's why the control variables vary in the following ranges:

(2)

$$10 \leq p \leq 60;$$

$$11 \leq H \leq 50;$$

$$\gamma \leq 30.$$

Presented in the above problem belongs to a class of nonlinear optimization problems. That's why it is advisable to use genetic algorithms. The system uses an integer encoding that match to the desired control variables value: the water pressure in the nozzles, beam position, angle nozzle.

Using the criterion (1) and constraints (2) we can get the fitness function like:

$$ff = (103 \cdot x_1 \cdot V_2 \cdot \cos 3x_3 8x_{23} \cdot \vartheta \cdot \operatorname{tg} \alpha^2 \operatorname{tg} \beta^2 \cdot \cos \theta - e^* + c_1 x_1 - p_0 + c_2 x_2 - H_0 + \dots) \quad (3)$$

$$p_0 + c_2 x_2 - H_0 +$$

The following statements have been used in algorithm :

- selection of roulette;
- single-point crossover;
- simple mutation.

Authors has been developed software to perform the calculation of the control variables values.

Шушура Алексей Николаевич

Кандидат технических наук, доцент

Институт информатики и искусственного интеллекта

Донецкий национальный технический университет

ул. Артема, 58, г. Донецк, 83001

E-mail: leshu@i.ua

Круг научных интересов: процессы и системы управления,

математическое моделирование и оптимизация технологических процессов

Контактный тел.: +38 (062) _____

Зайцев Константин Николаевич

Студент II курса магистратуры

**Институт информатики и искусственного интеллекта
Донецкий национальный технический университет
ул. Артема, 58, г. Донецк, 83001
E-mail: konstant913@ukr.net**

**Круг научных интересов: процессы и системы управления, теория
генетических алгоритмов
Контактный тел.: +38 (062) _____**

**Шушура Олексій Миколайович
Кандидат технічних наук, доцент
Інститут інформатики і штучного інтелекту
Донецький національний технічний університет
вул. Артема, 58, м. Донецьк, 83001
E-mail: leshu@i.ua**

**Коло наукових інтересів: процеси та системи управління, математичне
моделювання та оптимізація технологічних процесів
Контактний тел.: +38 (062) _____**

**Зайцев Костянтин Миколайович
Студент II курсу магістратури
Інститут інформатики і штучного інтелекту
Донецький національний технічний університет
вул. Артема, 58, м. Донецьк, 83001
E-mail: konstant913@ukr.net**

**Коло наукових інтересів: процеси та системи управління, теорія
генетичних алгоритмів
Контактний тел.: +38 (062) _____**

**Shushura Alexey
PhD, Associate Professor
Institute for Computer Science and Artificial Intelligence
Donetsk National Technical University
Artema str., 58, Donetsk, 83001
E-mail: leshu@i.ua**

**Research interests: processes and management systems, mathematical modeling
and optimization of the processes
Contact Tel.: +38 (062) _____**

**Konstantin Zajtsev
II year master student
Institute for Computer Science and Artificial Intelligence
Donetsk National Technical University
Artema str., 58, Donetsk, 83001
E-mail: konstant913@ukr.net**

**Research interests: processes and management systems, the theory of genetic
algorithms
Contact Tel.: +38 (062) _____**

