



---

УДК 621.31:621.771.06-88

## ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ МАШИНЫ ОМД

**Андрей Анатольевич Мальцев**

к.т.н., доцент кафедр ФН-7 и МТ-10 МГТУ им Н.Э. Баумана

e-mail: [a.a.mal@bmstu.ru](mailto:a.a.mal@bmstu.ru)

### Аннотация

---

На примере прокатного стана проиллюстрирована постановка задачи оптимизации конструкции машины обработки металлов давлением (ОМД) на стадии проектирования по различным критериям. Приведены примеры решения задач оптимизации в MathCAD по критериям максимального обжатия и минимального уширения прокатываемой заготовки.

---

**Ключевые слова:** машина ОМД, оптимизация, конструирование, прокатка.

---

## OPTIMIZATION OF THE OMD MACHINE DESIGN

**Andrey A. Maltsev**

associate professor, BMSTU ФН-7 and МТ-10 Departments

e-mail: [a.a.mal@bmstu.ru](mailto:a.a.mal@bmstu.ru)

### ABSTRACT

---

Using the example of a rolling mill, the problem of optimizing the design of a metal forming machine (OMD) at the design stage according to various criteria is illustrated. Examples of solving optimization problems in MathCAD according to the criteria of maximum compression and minimum expansion of the rolled billet are given.

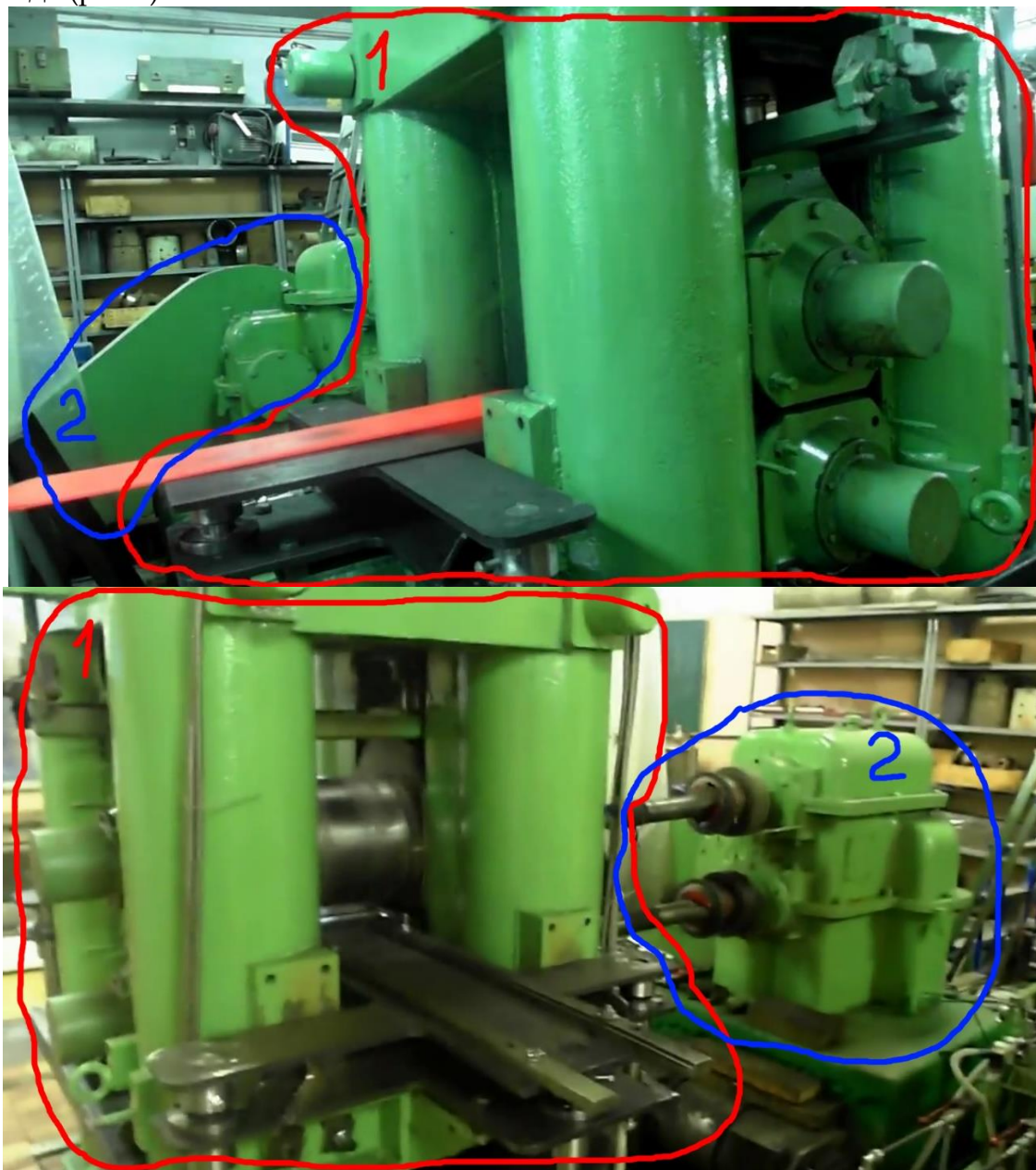
---

**Keywords:** OMD machine, optimization, design, rolling.

---

**Введение**

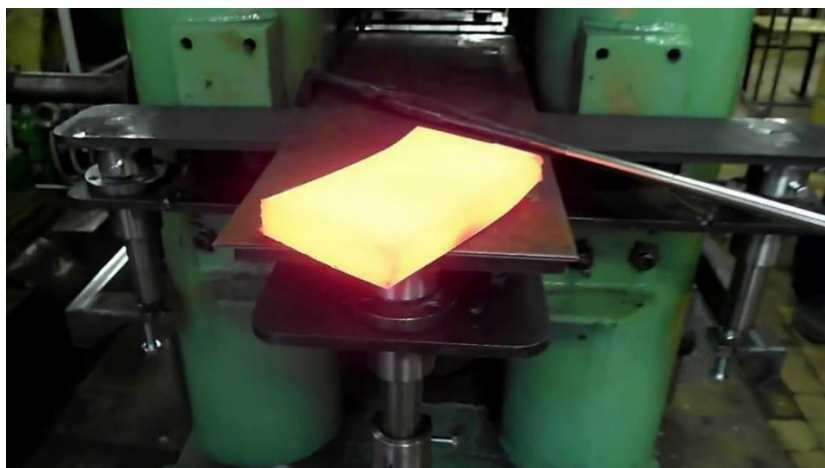
Объект исследования — двухвалковый одноклетьевого прокатный стан, относящийся к машинам обработки металлов давлением (ОМД), состоящий из рабочей клетки и ее электропривода (рис.1).



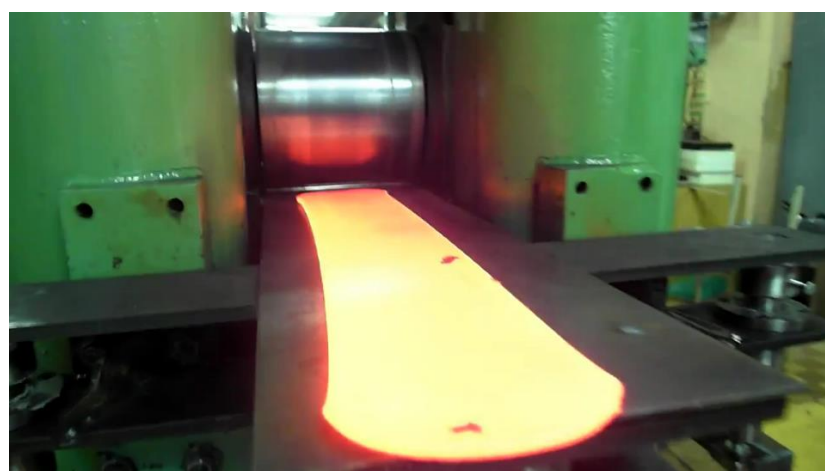
*Рисунок 1. Прокатный стан:*

- 1 – рабочая клеть;*
- 2 – электропривод*

Сущность обработки металлов давлением (прокатки) заключается в том, что технологический инструмент (например, рабочие валки прокатного стана) пластически деформирует заготовку, изменяя ее форму и размеры (рис. 2).



*а*



*б*

*Рисунок 2. Нагретая заготовка:*

*а – до прокатки;*

*б – после прокатки*

Высота заготовки до прокатки значительно больше высоты заготовки после прокатки, поэтому данную заготовку (см. рис. 2) прокатали в несколько проходов (пропусков) между валками.

*Предмет исследования* – технологический процесс прокатки заготовки.

*Цель исследования* – установить связи в системе заготовка – рабочие валки (инструмент) – прокатный стан [1] для рационального проектирования будущих машин ОМД.

*Задача исследования* – выявление критериев оптимизации технологии и конструкции машины ОМД.

#### **Материалы и методы исследования**

*Исходные данные* – материал (марка стали) и геометрические размеры прокатываемой заготовки, а также технологические параметры прокатки:

- ✓ длина заготовки до прокатки  $L_0$ ;
- ✓ длина заготовки после прокатки  $L_1$ ;
- ✓ ширина заготовки до прокатки  $B_0$ ;
- ✓ ширина заготовки после прокатки  $B_1$ ;
- ✓ толщина заготовки до прокатки  $H_0$ ;
- ✓ толщина заготовки после прокатки  $H_1$ ;
- ✓ температура прокатки  $T$ ;
- ✓ скорость прокатки  $V$ ;
- ✓ сопротивление пластическому формоизменению  $\sigma_\phi$  [2].

Абсолютное обжатие

$$\Delta H = H_0 - H_1, \text{ мм.} \quad (1)$$

Абсолютное уширение

$$\Delta B = B_1 - B_0, \text{ мм.} \quad (2)$$

Коэффициент вытяжки

$$\lambda = \frac{L_1}{L_0}. \quad (3)$$

Угол захвата заготовки рабочими валками

$$\alpha = \arccos\left(1 - \frac{\Delta H}{D}\right), \text{ рад,} \quad (4)$$

где  $D$  – диаметр рабочего валка, мм.

При горячей прокатке листов угол захвата [3]

$$18^\circ(0,31 \text{ рад}) < \alpha < 22^\circ(0,38 \text{ рад}). \quad (5)$$

Уширение определено по формуле Э. Зибеля:

$$\Delta B = 0,4 \cdot \frac{\Delta H}{H_0} \cdot \sqrt{R \cdot \Delta H}, \text{ мм.} \quad (6)$$

где  $R$  – радиус рабочего валка, мм.

*Методы исследования* – математические методы решения задачи линейного программирования, в которой требуется найти максимум или минимум целевой функции, а система ограничений включает в себя уравнения или неравенства.

Ниже приведены различные варианты постановки задачи оптимизации по следующим выявленным критериям:

- ✓ минимизация количества проходов при прокатке заготовки;
- ✓ максимизация обжатия при прокатке заготовки;
- ✓ минимизация уширения при прокатке заготовки;
- ✓ минимизация силы (или момента) прокатки;
- ✓ максимизация качества структуры металла прокатанной заготовки;
- ✓ минимизация габаритов рабочих валков;

- ✓ минимизация серповидности прокатанной заготовки;
- ✓ оптимизация температурного режима прокатки;
- ✓ оптимизация скоростного режима прокатки.

Во всех вышеперечисленных случаях математическое решение задачи линейного программирования (оптимизации) сводится к поиску максимума или минимума некоторой целевой функции  $F$ :

$$F(L_0, L_1, B_0, B_1, H_0, H_1, T, V, \sigma_\phi) = \max. \quad (7)$$

или

$$F(L_0, L_1, B_0, B_1, H_0, H_1, T, V, \sigma_\phi) = \min. \quad (8)$$

Кроме того, необходимо минимизировать общие финансовые затраты на проектирование и изготовление новой машины ОМД.

**Полученные результаты**

Выполнена оптимизация машины ОМД (прокатного стана) по критерию максимального обжатия и приведен фрагмент программы в среде MathCAD:

$$D := 200$$

$$Y(\Delta H1, \Delta H2, \Delta H3) := \Delta H1 + \Delta H2 + \Delta H3$$

$$\Delta H1 := 0$$

$$\Delta H2 := 0$$

$$\Delta H3 := 0$$

Given

$$\Delta H1 > 1$$

$$\Delta H2 > 1$$

$$\Delta H3 > 1$$

$$0.31 < \arccos\left(1 - \frac{\Delta H1}{D}\right) < 0.38$$

$$0.32 < \arccos\left(1 - \frac{\Delta H2}{D}\right) < 0.37$$

$$0.33 < \arccos\left(1 - \frac{\Delta H3}{D}\right) < 0.36$$

$$\begin{pmatrix} \text{обжатие1} \\ \text{обжатие2} \\ \text{обжатие3} \end{pmatrix} := \text{Find}(\Delta H1, \Delta H2, \Delta H3)$$

$$\begin{pmatrix} \text{обжатие1} \\ \text{обжатие2} \\ \text{обжатие3} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 9.533 \\ 10.153 \\ 10.792 \end{pmatrix}$$

$$Y(\text{обжатие1}, \text{обжатие2}, \text{обжатие3}) = 30.478$$

Выполнена оптимизация машины ОМД (прокатного стана) по критерию минимального уширения и приведен фрагмент программы в среде MathCAD:

$$\underline{R} := 100$$

$$\Delta H1 := 9.5$$

$$\Delta H2 := 10.2$$

$$\Delta H3 := 10.8$$

$$H01 := 40$$

$$H02 := H01 - \Delta H1$$

$$H02 = 30.5$$

$$H03 := H02 - \Delta H2$$

$$H03 = 20.3$$

$$Y(\Delta B1, \Delta B2, \Delta B3) := \Delta B1 + \Delta B2 + \Delta B3$$

$$\Delta B1 := 0.4 \cdot \frac{\Delta H1}{H01} \cdot \sqrt{R \cdot \Delta H1}$$

$$\Delta B2 := 0.4 \cdot \frac{\Delta H2}{H02} \cdot \sqrt{R \cdot \Delta H2}$$

$$\Delta B3 := 0.4 \cdot \frac{\Delta H3}{H03} \cdot \sqrt{R \cdot \Delta H3}$$

Given

$$\begin{pmatrix} \text{уширение1} \\ \text{уширение2} \\ \text{уширение3} \end{pmatrix} := \text{Find}(\Delta B1, \Delta B2, \Delta B3)$$

$$\begin{pmatrix} \text{уширение1} \\ \text{уширение2} \\ \text{уширение3} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2.928 \\ 4.272 \\ 6.994 \end{pmatrix}$$

$$Y(\text{уширение1}, \text{уширение2}, \text{уширение3}) = 14.194$$

**Выводы**

1. Оптимизация технологии и конструкции машины ОМД была сведена к решению задачи линейного программирования на ЭВМ в среде MathCAD.

2. Автор планирует перейти от однокритериальной оптимизации (по критерию максимального обжата заготовки или по критерию минимальной силы прокатки) к многокритериальной оптимизации – одновременной оптимизации нескольких конфликтующих целевых функций (например, к решению оптимизационной задачи достижения наибольшего суммарного обжата при наименьшем числе проходов) при заданных ограничениях.

3. Необходимо будет связать оптимизацию технологий и конструкций разрабатываемых кузнечных, прессовых, штамповочных и прокатных машин со средствами их автоматизации.

**Список литературы**

1. Колесников А.Г., Яковлев Р.А., Мальцев А.А. Технологическое оборудование прокатного производства. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 158 с.
2. Шинкаревич Ю.П. Физика и механика пластических деформаций. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. – 40 с.
3. Никитин Г.С. Теория непрерывной продольной прокатки. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 400 с.

**References**

1. Kolesnikov A.G., Yakovlev R.A., Maltsev A.A. Technological equipment for rolling production. – Moscow: BMSTU, 2014. – 158 p.
2. Shinkarevich Yu.P. Physics and mechanics of plastic deformations. – Moscow: BMSTU, 2015. – 40 p.
3. Nikitin G.S. Theory of continuous longitudinal rolling. – Moscow: BMSTU, 2009. – 400 p.