

Определение энергосиловых параметров деформации алюминиевой полосы на маятниковом прокатном стане

03, сентябрь 2018

Арюлин С. Б., Лобурь Е. В., Сухоставский М. Н.

УДК: 621.771

¹Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

sergei.boricovich@yandex.ru

loburke@mail.ru

suhostavsky.m.n@gmail.com

Введение

В рамках научного направления, сложившегося на кафедре «Оборудование и технологии прокатки» МГТУ им. Н.Э. Баумана, по созданию совмещенных литейно-прокатных агрегатов (ЛПА), активно разрабатывается тематика, связанная с созданием конструкций маятниковых прокатных станов. Подобные станы в силу их технических характеристик, таких как небольшие габариты, металлоемкость, простота конструкции, не требующая большого числа обслуживающего персонала, низкая энерговооруженность и вместе с тем возможность выпускать практически готовую продукцию, осуществляя большие деформации, и главное возможность работать в совмещении с ЛПА, делают их пригодными для использования в качестве прокатной единицы в «мини заводах» при переработке отходов основного производства. Работы над такими станами ведутся при непосредственном участии студентов и находят свое отражение в курсовых и дипломных работах, КНИРС, докладах на конференциях СНТО, межвузовских и всероссийских конкурсах на лучшую студенческую работу, отмеченных грамотами. В процессе работы над тематикой было создано ряд конструкций промышленных станов, на которые получены авторские свидетельства, сложилась методика расчета параметров очага деформации при маятниковой прокатке, отдельные положения которой изложены в научных публикациях. Определение энергосиловых параметров прокатки является ключевым моментом для конструкторов и технологов, работающих в области конструирования и эксплуатации прокатных станов. В специальной литературе достаточно подробно изложена методика определения силы процесса продольной прокатки, в то время как расчет силовых характеристик при периодической прокатке представлен в основном в привязке к отдельным разновидностям подобных станов (планетарные листовые, планетарные сортовые, циклоидальные шаговой прокатки). Каждая из конструкций подобных станов имеет свои особенности, что отражается на методике расчета отдельных величин при определении энергосиловых параметров деформации. В данной работе представлена методика определения энергосиловых параметров для случая прокатки алюминиевой полосы на маятниковом прокатном стане.

Предложенная методика и результаты расчетов

Конструкция маятникового прокатного стана, разработанная на кафедре “Оборудование и технологии прокатки” МГТУ им. Н.Э. Баумана, описанная в ряде публикаций [1,2], изображена на рисунке 1.

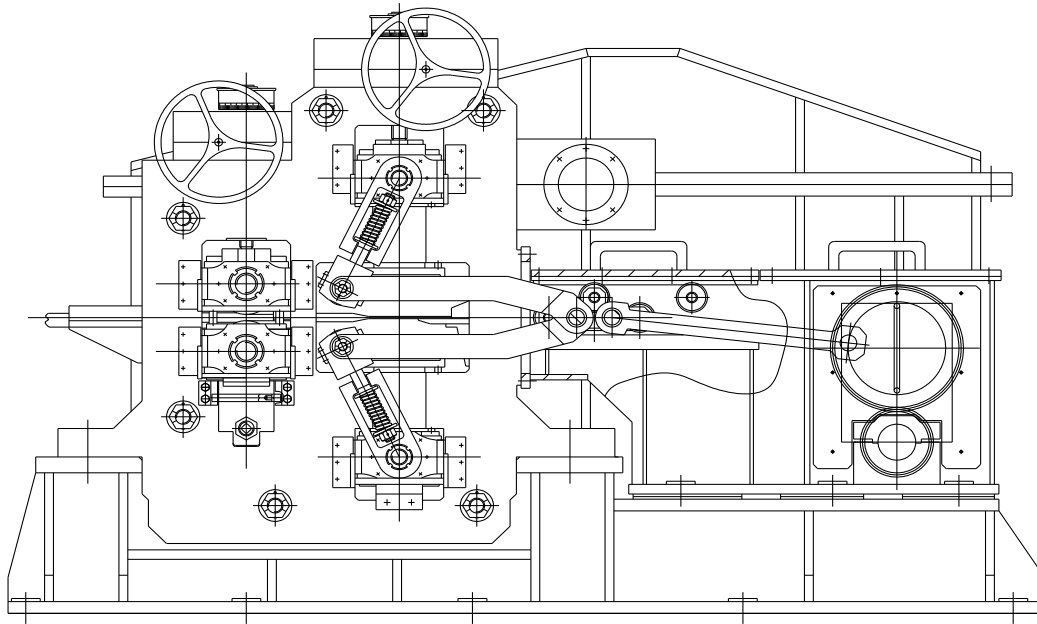


Рис. 1. Полосовой маятниковый стан с опорной профилированной планкой

На рисунке 2 представлена кинематическая схема стана, поясняющая ниже представленные материалы.

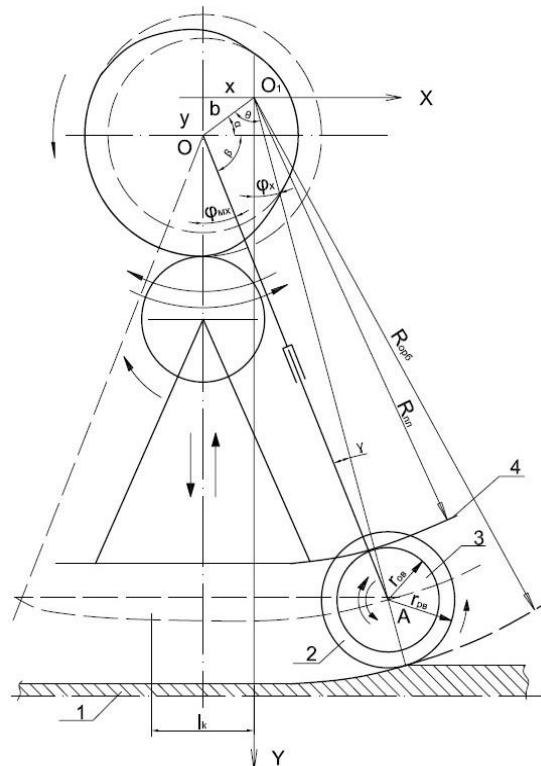


Рис. 2. Кинематическая схема маятникового стана с опорной профилированной планкой:

1- прокатываемый металл; 2- рабочий валок; 3- опорная втулка; 4- профилированная планка; 5- маятник

Формула для определения силы прокатки на маятниковом стане имеет аналогичный вид как при процессе простой продольной прокатки, с той разницей, что при периодической прокатке все параметры деформирования металла переменны по углу пробега рабочего вала по зоне прокатки и речь может идти об их мгновенном значении:

$$P_x = p_{cp.x} \cdot F_x, \quad (1)$$

где $p_{cp.x}$ – среднее контактное давление в мгновенном очаге деформации;

F_x – площадь контакта металла с валком определяется как:

$$F_x = b_{cp.x} \cdot l_x, \quad (2)$$

где $b_{cp.x}$ – средняя ширина полосы в мгновенном очаге деформации

$b_{cp.x} = \frac{b_{0x} + b_{1x}}{2}$; $b_{0x}; b_{1x}$ – ширина полосы по задней и передней границе мгновенного очага деформации (далее очага деформации).

Практика прокатки на полосовых станах периодического действия показывает, что прокатка на них ведется без уширения, поэтому допустимо считать $b_{cp.x} = b_0$.

Длина мгновенной дуги контакта l_x определяется в зависимости от положения рабочего вала в зоне деформации, методика ее вычисления подробно изложена в литературе [3].

Среднее контактное давление находится из выражения:

$$p_{cp.x} = \gamma \cdot n_\sigma \cdot n_\kappa \cdot n'_\sigma \cdot n''_\sigma \cdot n'''_\sigma \cdot \sigma_\phi, \quad (3)$$

где γ – коэффициент Лоде, учитывающий влияние среднего главного напряжения:

$$\gamma = 1 + \frac{\mu}{3} \cdot \frac{\sigma_{cp.}}{h_{cp.x}} \quad \text{при} \quad 0 < \frac{\sigma_{cp.}}{h_{cp.x}} < \frac{0,465}{\mu}, \quad (4)$$

$$\gamma = 1,15 \quad \text{при} \quad \frac{\sigma_{cp.}}{h_{cp.x}} > \frac{0,465}{\mu}, \quad (5)$$

μ – коэффициент трения; для алюминия согласно [4] $\mu = 0,24$

n_σ – коэффициент, учитывающий влияние ширины полосы, поскольку прокатка на маятниковом стане ведется практически по всей зоне деформации при значениях $\frac{\sigma_{cp.}}{l_x}$ больше 5, $n_\sigma = 1$,

n_κ – коэффициент, учитывающий влияние формы калибра, для случая прокатки полосы $n_\kappa = 1$,

n''_σ – коэффициент, учитывающий влияние внешних внеконтактных зон, находится из выражения:

$$n''_\sigma = \left(\frac{l_x}{h_{cp.x}} \right)^{-0,4}, \quad (6)$$

$\frac{l_x}{h_{cp_x}}$ - параметр геометрии очага деформации, для определения которого отдельной задачей является нахождение средней высоты прокатываемой полосы в мгновенном очаге деформации h_{cp_x} . Эта величина на любом участке является средним арифметическим значением между высотой полосы по передней границе очага деформации h_{1x} и высотой полосы по задней границе очага деформации h_{0x} , которые указаны на рисунке 3.

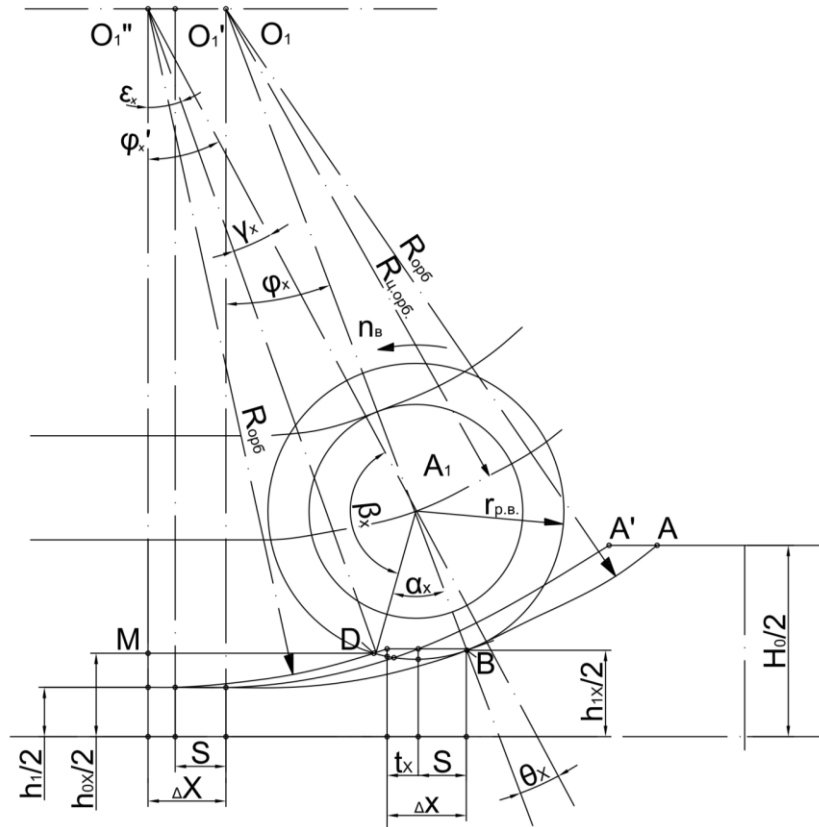


Рис. 3. К определению величины геометрических параметров очага деформации

Методика определения параметра геометрии очага деформации $\frac{l_x}{h_{cp_x}}$ в зависимости от

положения рабочего валка в зоне деформации приведена в литературе [5],

n''_{σ} – коэффициент, учитывающий натяжение полосы при прокатке, поскольку прокатка на маятниковом стане ведется без натяжения $n''_{\sigma} = 1$,

n'_{σ} – коэффициент, учитывающий влияние внешнего трения, находится по известным из теории прокатки зависимостям [6]:

$$n'_{\sigma} = 1 + \frac{\mu}{3} \cdot \frac{l_x}{h_{cp_x}} \quad \text{при} \quad \frac{l_x}{h_{cp_x}} = 1 \div 2, \quad (7)$$

$$n'_{\sigma} = \frac{2 \cdot h_n}{\Delta h \cdot (\delta - 1)} \left[\left(\frac{h_n}{h_1} \right)^{\delta} - 1 \right] \quad \text{при} \quad \frac{l_x}{h_{cp_x}} = 2 \div 4, \quad (8)$$

$$\text{где } \frac{h_n}{h_1} = \left(\frac{1 + \sqrt{1 + (\delta^2 - 1) \cdot \left(\frac{h_0}{h_1}\right)^\delta}}{\delta + 1} \right)^{\frac{1}{\delta}} \quad \text{и} \quad \delta = 2 \cdot \mu \cdot l_x / \Delta h_x$$

Δh_x – мгновенное обжатие, с небольшой долей погрешности равное слою металла, смещаемого рабочим валком в мгновенном очаге $\Delta h_x \approx \frac{l_x^2}{r_{p.в.}}$.

Для маятниковой прокатки под величинами h_0 и h_1 следует понимать высоты полосы по задней и передней границе мгновенного очага деформации, то есть h_{0x} и h_{1x} .

$$n'_\sigma = 1 + \frac{\mu}{6} \cdot \frac{l_x}{h_{cp.x}} \quad \text{при} \quad \frac{l_x}{h_{cp.x}} \text{ более } 4, \quad (9)$$

при $\frac{l_x}{h_{cp.x}}$ менее 1 n'_σ можно считать равным 1.

Для определения фактического сопротивления деформации σ_ϕ (σ) в данной работе была использована аналитическая зависимость, предложенная в литературе [7], которая была использована для значений входящих в нее параметров с учетом допущения, что прокатка алюминиевой полосы ведется при постоянной температуре ($T=450^0$ C) и переменных значениях степени и скорости деформации:

$$\sigma = \sigma_0^* \cdot \varepsilon^{n_1} + D \cdot \varepsilon \cdot \exp(-\varepsilon/\varepsilon_{x_1}^* \cdot \varepsilon^{n_{\varepsilon 1}}) - (\sigma_0^* \cdot \varepsilon^{n_1} - \sigma_y^* \cdot \varepsilon^{n_y}) \cdot [1 - \exp(-\varepsilon/\varepsilon_{x_2}^* \cdot \varepsilon^{n_{\varepsilon 2}})], \quad (10)$$

где σ_0^* ; σ_y^* ; $\varepsilon_{x_1}^*$; $\varepsilon_{x_2}^*$ – значения соответствующих параметров при единичной скорости деформации;

n_1 ; n_y ; $n_{\varepsilon 1}$; $n_{\varepsilon 2}$ – соответствующие скоростные показатели;

D – модуль начального упрочнения;

ε – логарифмическая деформация;

ε^* – скорость деформации.

Ниже приводятся численные значения параметров аналитической зависимости (10), полученные обработкой экспериментальных данных для алюминия при температуре 450^0 C, приведенные в литературе [7]:

$\sigma_0^* = 30,15$ МПа – экстраполированный предел текучести;

$\sigma_y^* = 35,64$ МПа – установившееся напряжение течения;

$D = 163$ МПа – модуль начального упрочнения;

$n_1 = 0,0688$ – коэффициент, учитывающий влияние скорости деформации на σ_0^* ;

$n_y = 0,0577$ – коэффициент, учитывающий влияние скорости деформации на σ_y^* ;

$\varepsilon_{x_1}^* = 0,264$ и $\varepsilon_{x_2}^* = 1,815$ – характеристические степени рассматриваемого процесса деформации;

$n_{\varepsilon_1} = 0,0437$ и $n_{\varepsilon_2} = 0,0437$ – коэффициенты, учитывающие влияние скорости деформации на ε_{x_1} и ε_{x_2} соответственно.

Под логарифмической деформацией для случая маятниковой прокатки следует понимать величину:

$$\varepsilon = \ln \frac{h_0}{h_{0,x}}, \quad (11)$$

где h_0 – начальная высота прокатываемой полосы;

$h_{0,x}$ – высота полосы по задней границе мгновенного очага деформации.

Под скоростью деформации ε^{\bullet} при периодической прокатке следует понимать среднее ее значение в мгновенном очаге деформации:

$$u_{cp.x} = \frac{\omega_6 \cdot l_x}{h_{деф.х}}, \quad (12)$$

где ω_6 – угловая скорость вращения рабочего вала,

l_x – длина мгновенной дуги контакта,

$h_{деф.х}$ – глубина деформируемого слоя металла в мгновенном очаге деформации,

$$h_{деф.х} = k_{проникн} \cdot h_{cp.x},$$

где $k_{проникн}$ – коэффициент глубины проникновения деформации, поскольку прокатка на маятниковом стане ведется практически по всей зоне деформации при значениях $\frac{l_x}{h_{cp.x}} \geq 0,222$

$k_{проникн} = 1$;

$$\omega_6 = \frac{R_m \cdot \omega_m}{r_{p.в.} \cdot 60}, \quad (13)$$

где $r_{p.в.}$ – радиус рабочего вала, ω_m – угловая скорость качания маятника, R_m – радиус (длина) маятника, то есть расстояние от оси качания маятника до центра рабочего вала, величина переменная, зависящая от его углового положения, которая может быть найдена из рассмотрения кинематической схемы маятникового стана с использованием приведенных в литературе [3] зависимостей. Как показывают расчеты, при определении угловой скорости вращения рабочего вала с небольшой погрешностью может быть заменена известной постоянной величиной $R_{ц.орб.}$, см. рисунок 2.

$$\omega_m = \varphi_m \cdot n_{дв.ход.}, \quad (14)$$

где φ_m – угол двойного хода маятника (конструктивный параметр стана);

$n_{дв.ход.}$ – число двойных ходов маятника (технологический параметр стана).

На основе разработанной методики расчета параметров очага деформации и методики определения энергосиловых параметров при прокатке полосы на маятниковом прокатном стане, была создана универсальная программа, позволяющая определять эти параметры в

функции угла пробега рабочим валком зоны деформации, от момента касания металла, до отрыва от него в конце калибрующего участка. В качестве инструмента была выбрана компьютерная программа Microsoft Excel, которая в данной работе была использована для определения энергосиловых параметров прокатки алюминиевой заготовки высотой 24мм и шириной 90 мм на полосу высотой 4мм при температуре 450⁰ С с подачей 3мм на один ход рабочего валка при числе двойных ходов маятника 60дв.х./мин. Ниже приводится в виде графика (рисунок 4) результат расчета по данной программе зависимости величины силы прокатки (P_x) от углового положения рабочего валка в зоне деформации ($\varphi_{мх}$).

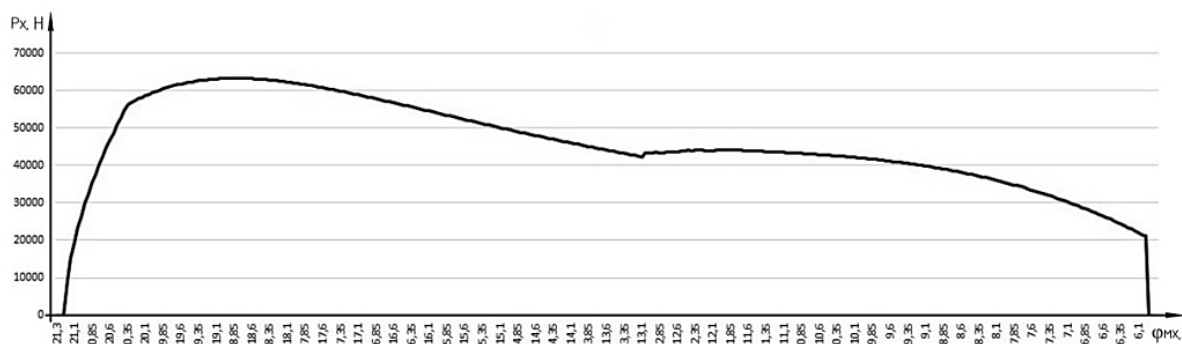


Рис. 4. График зависимости силы прокатки (P_x) от угла положения рабочего валка в зоне деформации ($\varphi_{мх}$)

Заключение

Приведенные расчеты энергосиловых параметров прокатки алюминиевой полосы являются примером использования разработанной методики и универсальной программы определения силовых характеристик деформации металла на маятниковом прокатном стане. Аналогичные расчеты с применением данной методики можно проводить при различных технологических параметрах прокатки пластичных цветных металлов и их сплавов, подвергающихся горячей деформации при различных температурах. Использование изложенной в статье методики расчета энергосиловых параметров прокатки позволяет определять нагрузки, действующие на детали и узлы маятникового стана, что дает возможность корректно выбирать их габариты при проведении проектно-конструкторских работ и обеспечить работоспособность и необходимый запас прочности конструкции в целом.

Список литературы

- [1].Галкин М.П., Никитин Г.С., Арюлин С.Б. Маятниковые прокатные станы // Заготовительные производства в машиностроении. 2003. №6. С. 30-32.
- [2].Арюлин С.Б., Шинкаревич Ю.П. Исследование лабораторного маятникового стана // Заготовительные производства в машиностроении. 2013. №4. С.29-34.
- [3].Арюлин С.Б., Камоничкин Д.Т. Определение параметров очага деформации при прокатке на маятниковом стане // Заготовительные производства в машиностроении. 2015. №9. С. 32-40.

[4].Кривенцов А.М. Коэффициент трения при горячей, холодной и теплой прокатке цветных и черных металлов. / В сб.: Конструкция, расчет и исследование прокатных станов. М.: ВНИИМетМаш, 1987. С.75-81.

[5].Арюлин С.Б., Камоничкин Д.Т. Теоретическое определение параметра геометрии очага деформации при маятниковой прокатке // Заготовительные производства в машиностроении. 2016. №7. С.39-44.

[6].Теория непрерывной продольной прокатки: Учебное пособие/ Г.С. Никитин. - М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. 399 с.

[7].Жучин В.Н., Никитин Г.С., Шварцбарт Я.С., Зуев И.Г. Расчет усилий при непрерывной горячей прокатке. М.: Металлургия, 1986. 198 с.