

May 2021

MATHEMATICAL MODEL OF THE COLD ROLLING PROCESS

D M. Berdiyev

Tashkent state technical university named after Islam Karimov, radiofizik2012@mail.ru

B M. Saydumarov

Tashkent state technical university named after Islam Karimov

Follow this and additional works at: <https://uzjournals.edu.uz/ferpi>

Recommended Citation

Berdiyev, D M. and Saydumarov, B M. (2021) "MATHEMATICAL MODEL OF THE COLD ROLLING PROCESS," *Scientific-technical journal*: Vol. 3 : Iss. 6 , Article 6.

Available at: <https://uzjournals.edu.uz/ferpi/vol3/iss6/6>

This Article is brought to you for free and open access by 2030 Uzbekistan Research Online. It has been accepted for inclusion in Scientific-technical journal by an authorized editor of 2030 Uzbekistan Research Online. For more information, please contact sh.erkinov@edu.uz.

SHORT MESSAGES

УДК 621.771

MATHEMATICAL MODEL OF THE COLD ROLLING PROCESS

Berdiyev D.M., Saydumarov B.M.

Tashkent state technical university named after Islam Karimov

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ ПОЛОС

Бердиев Д.М., Сайдумаров Б.М.

Ташкентский государственный технический университет им. Ислама Каримова

ПОЛОСАНИ СОВУҚ ҲОЛДА ПРОКАТЛАШ ЖАРАЁНИДАГИ МАТЕМАТИК
МОДЕЛ

Бердиев Д.М., Сайдумаров Б.М.

Ислом Каримов номидаги Тошкент давлат техника университети

Abstract. The article considers a mathematical model of the process of cold rolling strips depending on the loads acting on the stands of the rolling mill. Calculations are given for residual stresses based on the hypothesis of a single curve of true stresses for all types of shaping.

Keywords: cross sections of materials, longitudinal fibers, cold rolling, roll deflection, mathematical analysis of rolling, lateral bend, curvature, rolling mill crate.

Аннотация. В статье рассматривается математическая модель процесса холодной прокатки полос в зависимости от нагрузок, действующих на клетки прокатного стана. Приведены расчеты по остаточным напряжениям, исходя из гипотезы об единой кривой истинных напряжений для всех видов формоизменения.

Ключевые слова: поперечные сечения материалов, продольные волокна, холодная прокатка, прогиб валков, математический анализ прокатки, поперечный изгиб, кривизна, клеть прокатного стана.

Аннотация. Мақолада полосани совуқ ҳолда прокатлаш жараёнидаги прокат станининг клетига таъсир этишида тушадиган кучнинг математик модели кўриб чиқилган. Қолдиқ кучланиш бўйича ҳисоблашда барча турдаги шакллар учун ҳақиқий кучланишларнинг эгри чизиги гипотезаси келтирилган.

Калит сўзлар: материалларнинг кўндаланг кесими, бўйлама толалар, совуқ ҳолда прокатлаш, валларни эгиш, прокатлашни математик таҳлил қилиш, кўндаланг эгиш, эгмок, прокат стани клетки.

В процессе прокатки происходит изменение во взаимном расположении поперечных сечений материала, вызываемое тем, что в части продольных волокон по одну сторону от нейтральной линии образуются остаточные удлинения, а по другую сторону – остаточные напряжения.

Указанное выше приводит к тому, что в таком материале возникают значительные остаточные напряжения, величина которых может достигать предела текучести и даже предела прочности.

Наличие таких остаточных напряжений приводит к тому, что такие валки в результате холодной прокатки приобретают ряд особых механических свойств.

Приведенные выше механические свойства валков проявляются в том, что нарушается их геометрическая форма, например, прогиб. Эти изменения формы валков могут простираются по всей длине или быть местным и разным по величине и направлению в зависимости от величины и направления деформаций при прокатке. Причиной изменения

SHORT MESSAGES

геометрической формы является нарушение равновесия между остаточными напряжениями и их перераспределением, что неизбежно приводит к изменению формы валков.

При математическом анализе прокатки и изгиба валков в общем виде встречаются значительные трудности, связанные с большой неравномерностью напряженно-деформированного состояния по толщине раската и сложного характера упрочнения материала при пластическом деформировании.

Принятие для всего диапазона изгиба валков общих упрощений приводит к значительным неточностям для тех или других стадий изгиба.

При выборе зависимости между напряжениями и деформациями исходим из гипотезы об единой кривой истинных напряжений для всех видов формоизменения, т.е. упрочнение материала в наружной и внутренней зонах деформируемого материала считаем зависящим только от степени деформации.

Объемный чисто-пластический изгиб соответствует прогибу валка, который характеризуется значительной величиной деформации, и резко выраженным объемным напряженно-деформированным состоянием.

По величине тангенциальные деформации, в основном, находятся в диапазоне деформации третьего участка диаграммы истинных напряжений.

Линейный изгиб соответствует прогибу валка, когда напряженно-деформированное состояние принимается линейным, т.к. объемность напряженно-деформированного состояния сказывается незначительно и им можно пренебречь.

Средняя упруго - деформированная зона также еще мала по величине и можно считать, что все подвергнутое перегибу сечение изгибаемого валка пластически деформировано.

Упруго-пластический изгиб начинается с перехода деформаций в крайних слоях из упругой области в пластическую и эта стадия изгиба характеризуется значительной величиной средней упруго-деформированной зоны. Величина деформаций соответствует первому и второму участкам диаграммы истинных напряжений [1].

Оценим распределение напряжений по толщине полосы при упруго-пластическом изгибе. Изгибающий момент валка, симметричного по отношению к нейтральному слою, будет проходить посередине сечения и распределение напряжений будет иметь вид (рис.1).

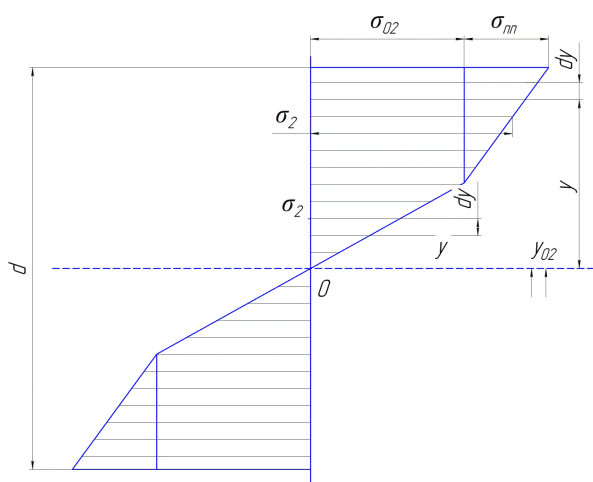


Рис. 1. Схема распределений напряжений на валке при упруго-пластическом изгибе.

Функциональная зависимость напряжений от координаты выразится в упругой зоне

$$\sigma_1 = \sigma_{02} * \frac{y}{y_{0e}} \quad (1)$$

В пластической зоне

$$\sigma_2 = \sigma_{02} + E_y(y - y_{02})R \quad (2)$$

В общем виде изгибающий момент будет равен

$$M = 2\sigma_{02} \int_0^{y_{02}} bx \frac{y}{y_{02}} y dy + 2 \int_{y_{02}}^{d/2} bx \left[\sigma_{02} + \frac{E_y}{R} (y - y_0) \right] y dy \quad (3)$$

После интегрирования и подстановки

$$Y_{02} = R \sigma_{02} / E ; \quad r \approx R/d ; \quad j = E_y / \sigma_{02}$$

Получим

SHORT MESSAGES

$$M = \left[1,5 - 2r^2 \left(\frac{\sigma_{02}}{E} \right)^2 + \frac{1}{r} + 3 \frac{\sigma_{02}}{E} - 4r^2 \left(\frac{\sigma_{02}}{E} \right) \frac{j_0}{2} \right] W \cdot \sigma_{02}, \quad (4)$$

где выражение в квадратных скобках является относительным изгибающим моментом; $m = \frac{M}{W}$ – масса валка; σ_{02} – радиус слоя, проходящего через центр тяжести поперечного сечения; r – относительный радиус слоя, проходящего через центр тяжести поперечного сечения.

Исследуя уравнения (4), видно, что влияние упруго-сформированной зоны заметно сказывается при правке полос с небольшими прогибами валков, а с увеличением величины прогиба ее влияние становится незначительным.

При прокатке, когда относительный радиус $r < 200$, повышение изгибающего момента от упрочнения материала получается меньше 2%, поэтому при упруго-пластическом изгибе можно им пренебречь. Тогда уравнение (4) имеет вид

$$M = \left(1,5 - \frac{2r^2 \sigma_{02}^2}{E^2} \right) W \cdot \sigma_{02}$$

Для упруго-пластического изгиба остается справедливой известная анамнестическая зависимость [2]

$$\frac{1}{R_{np}} = \frac{M}{EY}, \quad (5)$$

Так как принятые допущения при выводе этого уравнения будут давать наименьшие погрешности.

В отличие от чистого изгиба при поперечном изгибе валок находится под действием изгибающего момента и поперечных сил. От изгибающего момента в валке возникают нормальные напряжения, а от поперечных сил – касательные.

При поперечном изгибе кривизна должна изменяться в зависимости от длины, т.к. изменение величины изгибающего момента по длине валка для наиболее распространенной схемы изгиба, т.е. прогибе валка, опирающегося на две опоры, сосредоточенной посередине силой, выразится формулой

$$M_x = 2M \cdot x/L \quad (6)$$

Последовательность протекания поперечного изгиба теоретически можно представить в следующем порядке: в начале деформирования происходит упругий прогиб валка с

переменной кривизной по его длине, где изгибающий момент достигает наибольшей величины, в крайних слоях поперечного сечения возникают пластические деформации, которые при дальнейшем прогибе распространяются в обе стороны.

Влияние касательных напряжений на напряженно-деформируемое состояние изгибаемого валка слабо исследовано теоретически [3].

Рассмотрим действие касательных напряжений при упруго-классическом изгибе, который является наиболее общим следствием прогиба валка. Выделим на изгибаемом валке участок, ограниченный поперечными сечениями, которые расположены друг от друга на расстоянии dx (рис.2). В сечении $a_1 b_1$ будет действовать

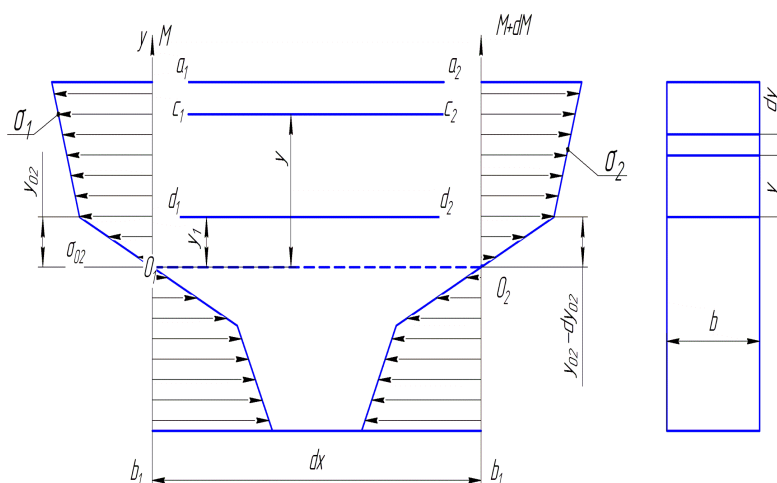


Рис. 2. Схема действия нормальных и касательных напряжений при упруго-пластическом изгибе валка.

SHORT MESSAGES

изгибающий момент M , а в сечении $a_1 b_1$ - изгибающий момент $M + dM$. В первом сечении пластическая зона отстоит от нейтрального слоя на расстоянии Y_{02} , а во втором сечении - на расстоянии $Y_{02} + d_{y_{02}}$.

В пластической зоне в сечении $a_1 b_1$

$$\sigma_1 = \sigma_{02} + \frac{E_y}{R_1} (y - y_{02})$$

В сечении $a_1 b_1$

$$\sigma_2 = \sigma_{02} + \frac{E_y}{R_2} [y - (y_{02} - dy_{02})] \quad (7)$$

Выразим в этих уравнениях значения через величины Y_{02} и $Y_{02} + dy_{02}$. Тогда имеем

$$\sigma_1 = \sigma_{02} \left[1 + \frac{E_y}{E} \left(\frac{Y}{Y_{02}} \right) - 1 \right] \quad (8)$$

$$\sigma_1 = \sigma_{02} \left[1 + \frac{E_y}{E} \left(\frac{Y}{Y_{02} - dy_{02}} \right) - 1 \right] \quad (9)$$

В упругой зоне: в сечении $a_1 b_1$

$$\sigma_1' = \frac{Y}{Y_{02}} \sigma_{02} \quad (10)$$

$$\sigma_2' = \frac{Y}{Y_{02} - dy_{02}} \sigma_{02} \quad (11)$$

Рассмотрим касательные напряжения в валке, как в стержневой системе и определим зависимость касательных напряжений в пластической зоне из условия равновесия параллелепипеда сечением, $a_1 a_2 c_1 c_2$ и шириной b (сумма проекций сил на горизонтальную ось равна нулю) [4]

$$\int_y^{d/2} \sigma_1 b dy - \int_y^{d/2} \sigma_2 b dy + \tau_{пл} b dx = 0 \quad (12)$$

После интегрирования и преобразований получим значения касательных напряжений в пластической зоне

$$\tau_{пл} = \frac{E_y}{E} \cdot \frac{\sigma_{02}}{2} \cdot \frac{d^2/4 - y^2}{y_{02}^2} \cdot \frac{dy_{02}}{dx} \quad (13)$$

Определяем зависимость касательных напряжений в упругой зоне из условия равновесия параллелепипеда сечением $a_1 a_2 d_1 d_2$ шириной b

$$\int_y^{y_{02}} \sigma_1 b dy + \int_y^{d/2} c_1 b dy - \int_y^{y_{02} - dy_{02}} \sigma_2 b dy - \int_{y_{02} - dy_{02}}^{d/2} \sigma_2 b dy + \tau_{уп} b dx = 0 \quad (14)$$

После интегрирования и преобразований получаем значения касательных напряжений в упругой зоне [5]

$$\tau_{уп} = \frac{\sigma_{02}}{2} \cdot \frac{(y_{02}^2 - y^2) + \frac{E_y}{E} \left(\frac{d^2}{4} - y_{02}^2 \right)}{y_{02}^2} \cdot \frac{dy_{02}}{dx} \quad (15)$$

Находим dy_{02} путем дифференцирования уравнения (4), в котором значения Γ заменим через

$$dy_{02} = \frac{y_{02}^2 d^2 dM}{4 \left[y_{02}^3 + \left(\frac{n^3}{8} - y_{02}^3 \right) \right] W \sigma_{02}} \quad (16)$$

Подставляя значение dy_{02} в уравнения (14) и (15) и заменяя $\frac{dM}{dx}$ и W соответственно через Q и $\frac{Fd}{6}$. Тогда получаем расчетные уравнения для касательных напряжений

$$\tau_{пл} = \frac{3}{4} \cdot \frac{Q}{F} \cdot \frac{d \left(\frac{d^2}{4} - y^2 \right)}{d^3/8 + \left(\frac{E}{E_y} - 1 \right) y_{02}^3} \quad (17)$$

$$\tau_{уп} = \frac{3}{4} \cdot \frac{Q}{F} \cdot \frac{d \left[\left(\frac{d^2}{4} - y^2 \right) + \frac{E}{E_y} (y_{02}^2 - y^2) \right]}{d^3/8 + \left(\frac{E}{E_y} - 1 \right) y_{02}^3} \quad (18)$$

Максимальное значение касательных напряжений будет на нейтральном слое, т.е. при $y=0$, тогда уравнение (18) примет вид

SHORT MESSAGES

$$\tau_{max} = \frac{3}{2} \cdot \frac{Q}{F} \cdot \frac{d^3/8 \left(\frac{E}{E_y} - 1 \right) d/2 \cdot y_{02}^2}{d^3/8 + \left(\frac{E}{E_y} - 1 \right) y_{02}^3} \quad (19)$$

Заклучение

Таким образом, математическая модель процесса холодной прокатки полос определяется по нагрузкам, действующим на клетки прокатного стана. Разработаны и обоснованы допущения, позволяющие построить расчетные схемы прогиба валков во время процесса прокатки в стационарном режиме.

References

- [1].Vydrin V. N., Fedosienko A. S., Krainee V. I. Process of continuous rolling. - M.: Metallurgy, 2000. - 456 p.
- [2].Gun G. Ya. Mathematical modeling of metal processing processes by pressure. M.: Metallurgy, 2003. - 352 p.
- [3].Klimenko V.M., Onishchenko A.M. Kinematics and dynamics of rolling processes. M:Metallurgy, 2004.-232 p.
- [4].Contact friction in the processes of metal processing by pressure / Levanov A.N., Kolmogorov V.L., Burkin S.P., - M.: Metallurgy, 2006. - 416 p.
- [5].Plasticity and destruction / Kolmogorov V.L., Bogatov A.A., Migachev B.A. et al. M.: metallurgy, 2007. -336 p.