

*начальник отдела ОАО НКМЗ Бобух В.И,
к. т. н., ст. преподаватель Сатонин А.А.,
вед. инженер Бегунов А.А.,
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)*

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ ПРИ ЗАХВАТЕ МЕТАЛЛА ВАЛКАМИ

Приведені математична модель та отримані результати щодо аналізу енергосилових параметрів при реалізації нестационарних стадій процесу гарячої прокатки. Надано кількісну інформацію з визначення коефіцієнту динамічності процесу, що реалізується.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Методы определения энергосиловых параметров процесса горячей прокатки достаточно полно представлены авторами работ [1,2], однако особый интерес представляют переходные процессы при захвате металла валками прокатного стана, которые, в свою очередь, обуславливают коэффициенты динамичности реализуемого процесса, а также нагрузки как на основные элементы силовой линии рабочей клетки прокатного стана, так и на линию привода рабочих валков [3]. В свою очередь расчет динамических явлений, возникающих в линии привода прокатного стана должен опираться на функцию изменения энергосиловых параметров реализуемого процесса. Таким образом, актуальной является задача определения энергосиловых параметров процесса горячей прокатки при захвате металла валками прокатного стана. Следует также отметить, что от объема принимаемых допущений, определяющего достоверность получаемых результатов будет полностью зависеть дальнейший расчет динамических колебаний в линии привода рабочей клетки прокатного стана.

В данной работе проведено математическое моделирование захвата металла валками, основанное на использование метода конечных элементов[4].

Постановка задачи. Необходимо разработать математическую модель, позволяющую прогнозировать значения энергосиловых параметров процесса горячей прокатки при захвате металла валками прокатного стана. В качестве метода математического моделирования

был принят метод конечных элементов в его программной интерпретации в пакете Abaqus и LS-DYNA[5].

Изложение материала и его результаты. В рамках проведения исследований была разработана конечно-элементная модель процесса горячей прокатки, которая позволяет определить напряженно-деформированное состояние и энергосиловые параметры процесса при реализации захвата металла валками прокатного стана. При этом расчет в пакете ABAQUS был разделен на два шага, а именно осадка металла валками прокатного стана и последующее вращение рабочих валков и реализация непосредственно процесса прокатки. В квазистатической постановке задачи пренебрегли динамическими явлениями, связанными с изменением скорости полосы. В качестве результатов расчета анализировали силу и момент прокатки.

На рисунке 1 представлены расчетные распределения энергосиловых параметров при горячей прокатке листа исходной толщины $h_0 = 3 \text{ мм}$, конечная толщина составляет $h_1 = 2 \text{ мм}$, радиусы рабочих валков $R = 375 \text{ мм}$. Материала листа принимался упругопластическим без упрочнения, с пределом текучести $\sigma_m = 200 \text{ МПа}$. Результаты представлены для трех значений коэффициента контактного трения, а именно $f = 0,2; 0,3; 0,4$.

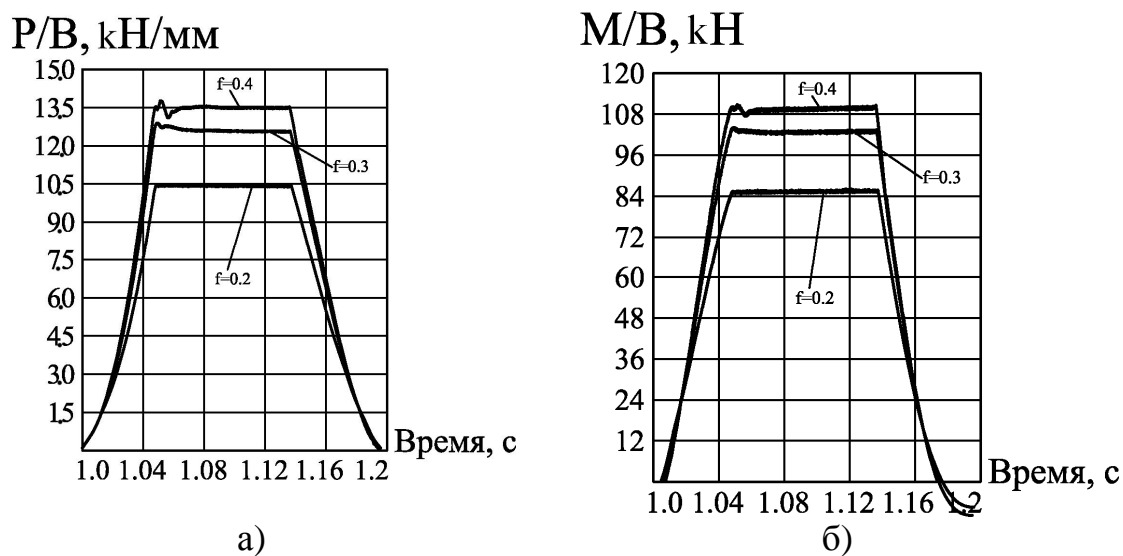


Рисунок 1- Расчетные распределения приведённых силы (а) и момента (б) при горячей прокатке применительно к различным значениям коэффициента контактного трения

Из анализа представленных распределений можно заключить о практически линейном, во временном интервале $t=1.0...1.05 \text{ с}$. росте приведённых к ширине полосы силы и момента прокатки захвате

металла валками прокатного стана - до начала установившегося процесса прокатки $t=1.07...1.14$ с. При реализации данной серии расчетов не была учтена упругая деформация рабочей клетки. Полученная в дальнейшем модель была дополнена элементом, моделирующим рабочую клетку прокатного стана с жёсткостью $G_{кл}=4000\text{Н/мм}^2$, что позволило оценить степень влияния этого фактора.

На рисунке 2 представлены расчетные распределения силовых параметров, а также изменения межвалкового зазора при реализации процесса прокатки с учетом упругой деформации рабочей клетки прокатного стана, соответствующие коэффициенту контактного трения между валками и листом в очаге деформации $f = 0,2$, также полученные при решении квазистатической задачи о захвате металла валками при горячей прокатке, реализованной в пакете ABAQUS.

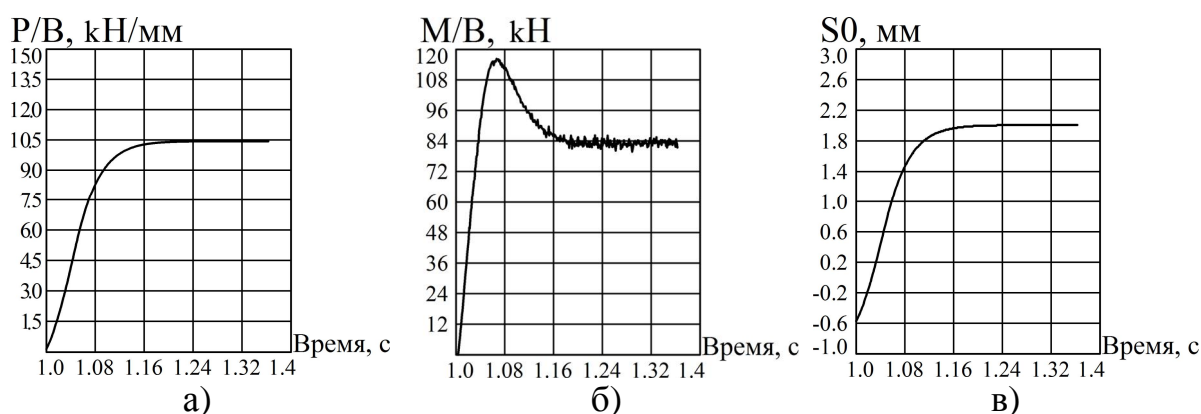


Рисунок 2- Расчетные изменения приведённой силы (а) и момента (б), а также межвалкового зазора (в) при горячей прокатке

Из анализа полученных распределений видно(см. рисунок 2а), что по мере захвата полосы валками происходит монотонный рост приведённой силы прокатки от нуля до значения при установившемся режиме. Аналогичный характер носит изменение межвалкового зазора (от -0.6 мм – валки первоначально сводятся в забой). Иная картина наблюдается на зависимости момента прокатки по времени (см. рисунок 2б): в процессе захвата приведённый момент интенсивно возрастает, а затем снижается до установившегося значения. При этом максимальное значение его в 1.5 раза превосходит значение в установившемся режиме прокатки, что обусловлено изменением плеча приложения силы.

Горячая прокатка ведётся при значительных скоростях, в некоторых случаях достигающих 15-25 м/с, при этом важным является учёт динамической составляющей, особенно в неустановившейся стадии процесса, которые невозможно оценить с использованием квазистатического решения, поэтому в работе для более полного учёта факторов, в частности,

динамических явлений при захвате, было проведено моделирование процесса захвата металла валками с учётом инерционных сил, реализованное в пакете конечно-элементного анализа LS-DYNA[5], использующей явный метод интегрирования уравнений движения во времени, и позволяющей проводить анализ быстротекущих высоконелинейных процессов.

В расчёте моделировался захват полосы при окружной скорости валков 5 м/с. Полученные результирующие значения силовых параметров процесса представлены на рисунке 3, из которых является очевидным, что сила прокатки ведёт себя аналогично случаю, полученному в квазистатическом решении (см. рисунок 1), в то время как на моменте прокатки в полной мере отражается динамика процесса захвата, так, момент прокатки на начальном этапе существенно больше по сравнению со статическим решением, что соответствует значению $k_{Мдин} = 1.8$ при $f = 0.2$ и $k_{Мдин} = 2.0$ при $f = 0.4$ что свидетельствует о росте коэффициента динамичности с повышением контактного трения.

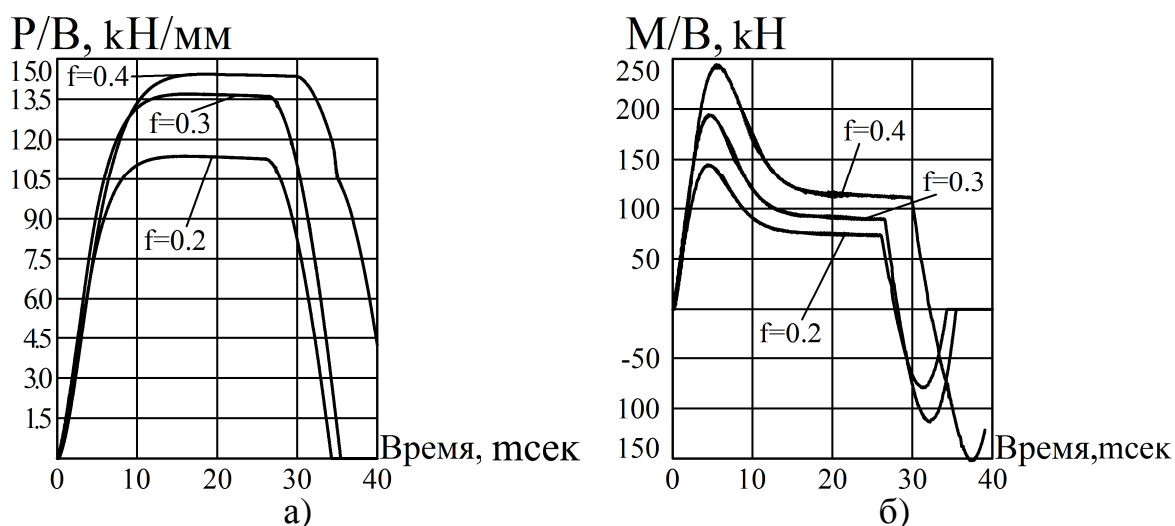


Рисунок 3 - Расчетные значения приведённой силы (а), момента (б) при горячей прокатке с учетом упругой деформации рабочей клетки

Выводы и направление дальнейших исследований.

В рамках анализа энергосиловых параметров процесса захвата металла при горячей прокатке было произведено конечно-элементное моделирование процесса горячей прокатки с учетом упругой деформации рабочей клетки, а также инерционных сил, действующих на полосу при прокатке. Анализ полученных в каждом конкретном случае результатов свидетельствует о сложном влиянии всего комплекса исходных данных на формирование энергосиловых параметров реализуемого технологического процесса. Существенный вклад в динамику захвата вносит упругая деформация рабочей клетки, что видно по

различию результатов, полученных при захвате металла абсолютно жёсткой клетью (см. рисунок 1) и клетью с конечным модулем жёсткости (см. рисунок 3). Интерес также представляет процесс выхода металла из валков, следующий за установившимся этапом прокатки – при этом момент прокатки меняет знак на обратный, что оказывает существенное влияние на нагрузки, действующие в главной линии стана.

При этом, следует отметить существенную динамичность системы при входе полосы в очаг деформации, а также выходе её из клетки. Численные характеристики коэффициента динамичности по моменту прокатки при заполнении очага деформации могут составлять 1.8-2 и более, в то время как при выходе заготовки из рабочих валков момент прокатки меняет свой знак и может количественно составлять до 50% от момента прокатки, что свидетельствует о довольно сложном характере нагружения деталей и узлов привода прокатного стана.

Представлены результаты анализа нестационарных стадий процесса горячей прокатки. Дана численная информация по определению коэффициента динамичности реализуемого процесса.

The mathematical model and results for analysis of unsteady phases of hot rolling processes is described. Numeric information for amplification factor definition is given.

Библиографический список.

1. Целиков А.И., Никитин Г.С., Рокотян С.Е. Теория продольной прокатки. – М.: Металлургия, 1980. – 320 с.
2. Сатонин А.В. Развитие методов расчета, совершенствование технологических режимов и конструктивных параметров механического оборудования листопрокатного производства. Дис...д-ра. техн. наук: 05.03.05 / Донбасская государственная машиностроительная академия. – Краматорск, 2001. – 616 с.
3. Иванченко Ф.К., Полухин П.И., Тылкин М.А. и др. Динамика и прочность прокатного оборудования. – М.: Металлургия, 1970. – 486 с.
4. Компьютерное моделирование процессов обработки металлов давлением.// В.Н. Данченко, А.А. Миленин, В.И. Кузьменко, В.А. Гриневич. - Днепропетровск.: Системные технологии, 2005. – 448 с.
5. Dr. John Hallquist, LS-DYNA Theory Manual, Livermore Software Technology Corporation, 2006 – 680p.

*Рекомендовано к печати
к. т. н., проф. Луценко В.А.*