

# **РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ**

## **к программному продукту**

### **«РАСЧЕТ КЛЕТЕЙ НЕПРЕРЫВНЫХ ШИРОКОПОЛОСНЫ Х СТАНОВ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ»**

*Рабочее наименование программного продукта – «6-Rolls»*

Программа «6-Rolls» была создана в 2006 – 2007 гг. на кафедре «Машин и агрегатов металлургических заводов» Н.Л. Болобановой в рамках работы над кандидатской диссертацией под руководством Э.А. Гарбера.

В связи с появлением в 2007 г. коммерческого интереса к программе, было разработано руководство пользователя, разъясняющее ее функциональные возможности. Руководство распространяется вместе с программным продуктом «6-Rolls» и файлом презентации 6-Rolls.ppt. Далее по тексту следуют ссылки на слайды этой презентации.

## **1 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОСНОВА РАСЧЕТА**

Основой оборудования непрерывных широкополосных станов холодной прокатки (НШСХП) являются рабочие клетки «кварто». В последние десятилетия XX века в мировом производстве широкополосной холоднокатаной стали, наряду с клетями «кварто», начали применять шестивалковые клетки, в которых между опорным и рабочим валками установлен промежуточный валок. В отечественном листопрокатном производстве шестивалковые клетки пока не получили распространения, вопросы их конструирования и оптимизации основных параметров представляют практический интерес для разработчиков прокатного оборудования и технологов цехов холодной прокатки.

Данный программный продукт предназначен для расчета, исследования шестивалковых клеток и клеток «кварто» и сравнения их при проектировании или реконструкции непрерывных широкополосных станов холодной прокатки. Он также может использоваться в учебных целях при подготовке специалистов, бакалавров и магистров металлургического и машиностроительного направлений.

Программный продукт «6-Rolls» дает возможность пользователю исследовать (слайд 2):

- контактные напряжения, усилие и мощность прокатки;
- коэффициент трения при прокатке;
- силы и моменты прокатки при разных вариантах привода валков;
- момент и мощность двигателей;
- упругие деформации валков;
- жесткости клетей;
- продольную разнотолщинность полосы.

Теоретической базой расчета контактных напряжений, усилия и мощности прокатки являются:

1) методика, основанная на упругопластической модели очага деформации [1, 2]. Алгоритм расчета приведен в работе [2];

2) методика А.В. Третьякова, позволяющая учитывать параболический закон изменения предела текучести в очаге деформации [3, 4].

При определении коэффициента трения применялась формула А.П. Грудева [5].

Теоретической базой расчета сил и моментов прокатки при разных вариантах привода валков четырехвалковой клетки являлась методика, представленная в работе [1], а шестивалковой клетки – [6]. При определении моментов прокатки учитывались моменты трения качения между валками и моменты сил трения в подшипниках.

При определении моментов и мощностей двигателей использовалась методика, изложенная в ряде работ, например [7].

При определении упругих деформаций валков принималось, что валки цилиндрические, усилие прокатки по ширине полосы и межвалковые давления распределены равномерно. Деформации валков вычислялись по формулам, приведенным в работах [8, 9].

При определении жесткости клетки учитывались деформации станины и валков, деформации остальных деталей учитывались числовым коэффициентом [7, 8].

Для расчета продольной разнотолщинности холоднокатаной полосы использовалась методика, основанная на совместном рассмотрении кривых обжатий полосы и упругой линии клетки, приведенная в работе [9].

## **2 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ НАЧАЛА РАБОТЫ С ПРОГРАММНЫМ ПРОДУКТОМ «6-ROLLS» (ВВОДИТ В КОМПЬЮТЕР ПОЛЬЗОВАТЕЛЬ)**

### ***2.1 Расчет контактных напряжений, усилия и мощности прокатки***

#### **2.1.1 Параметры расчета**

- методики расчета:

а) расчет на основе упругопластической модели очага деформации;

б) расчет на основе параболического закона изменения предела текучести в очаге деформации;

- метод сходимости итерационного процесса:

а) постепенный;

б) скачкообразный;

в) без итераций;

- точность расчета усилия прокатки;

- максимальное число итераций;

- показывать все итерации в трассировке.

#### **2.1.2 Технологические параметры**

- толщина подката;

- толщина полосы на входе в валки;

- толщина полосы на выходе из валков;

- ширина полосы;

- скорость полосы на выходе из валков;

- сила заднего натяжения полосы;
- сила переднего натяжения полосы;
- коэффициент трения в очаге деформации.

#### 2.1.3 Конструктивные параметры

- диаметр рабочих валков.

#### 2.1.4 Свойства материала полосы

- марка стали полосы;
- предел текучести полосы в недеформированном состоянии;
- фактор наклепа;
- коэффициент наклепа;
- модуль упругости материала полосы;
- коэффициент Пуассона материала полосы.

#### 2.1.5 Свойства материала валков

- марка стали рабочих валков;
- модуль упругости материала рабочих валков;
- коэффициент Пуассона материала рабочих валков.

### ***2.2 Расчет коэффициента трения при прокатке***

#### 2.2.1 Технологические параметры

- толщина полосы на входе в валки;
- толщина полосы на выходе из валков;
- скорость полосы на выходе из валков.

#### 2.2.2 Конструктивные параметры

- высота неровностей на поверхности бочки рабочего валка.

#### 2.2.3 Свойства смазочно - охлаждающей жидкости

- тип смазки;
- коэффициент, учитывающий природу смазки;
- кинематическая вязкость смазки при 50°C.

### ***2.3 Расчет сил и момента прокатки***

### 2.3.1 Параметры расчета

- выбор методики расчета плеча усилия прокатки:
  - a) по мощности прокатки;
  - б) по длине дуги контакта.

### 2.3.2 Технологические параметры

- скорость полосы на выходе из валков;
- сила заднего натяжения полосы;
- сила переднего натяжения полосы.

### 2.3.3 Конструктивные параметры

- тип привода шестивалковой клетки:
  - a) на промежуточные валки;
  - б) на опорные валки;
- тип привода четырехвалковой клетки:
  - a) на рабочие валки;
  - б) на опорные валки;
- диаметр рабочих валков;
- диаметр промежуточных валков;
- диаметр опорных валков;
- длина бочки рабочих валков;
- длина бочки промежуточных валков;
- длина бочки опорных валков;
- рабочий диаметр подшипников рабочих валков;
- рабочий диаметр подшипников промежуточных валков;
- рабочий диаметр подшипников опорных валков;
- горизонтальное смещение рабочего вала;
- горизонтальное смещение опорного вала.

### 2.3.4 Свойства материала валков

- марка стали рабочих валков;
- модуль упругости материала рабочих валков;
- коэффициент Пуассона материала рабочих валков;
- марка стали промежуточных валков;
- модуль упругости материала промежуточных валков;
- коэффициент Пуассона материала промежуточных валков;
- марка стали опорных валков;
- модуль упругости материала опорных валков;
- коэффициент Пуассона материала опорных валков.

### 2.3.5 Энергосиловые параметры

- усилие прокатки;
- длина площадки контакта между полосой и валками;
- мощность прокатки.

### 2.3.6 Коэффициенты

- коэффициент плеча равнодействующей усилия прокатки;
- коэффициент плеча трения качения;
- коэффициент трения в подшипниках рабочих валков;
- коэффициент трения в подшипниках промежуточных валков;
- коэффициент трения в подшипниках опорных валков;
- коэффициент трения покоя в межвалковом контакте.

## ***2.4 Расчет момента и мощности двигателей для привода валков***

### 2.4.1 Технологические параметры

- скорость полосы на выходе из валков;

### 2.4.2 Конструктивные параметры

- тип привода шестивалковой клетки:
  - а) на промежуточные валки;
  - б) на опорные валки;
- тип привода четырехвалковой клетки:

- а) на рабочие валки;
- б) на опорные валки;
- диаметр рабочих валков;
- диаметр промежуточных валков;
- диаметр опорных валков;
- К.П.Д. привода;
- передаточное число между валками и двигателем.

#### 2.4.3 Энергосиловые параметры

- момент, необходимый для вращения вала шестивалковой клетки;
- момент, необходимый для вращения вала четырёхвалковой клетки.

### **2.5 Расчет упругих деформаций валков**

#### 2.5 .1 Технологические параметры

- ширина полосы.

#### 2.5 .2 Конструктивные параметры

- диаметр рабочих валков;
- диаметр промежуточных валков;
- диаметр опорных валков;
- длина бочки рабочих валков;
- длина бочки промежуточных валков;
- длина бочки опорных валков;
- диаметр шейки опорных валков;
- длина скоса бочки опорных валков;
- расстояние между подшипниковыми опорами опорного вала.

#### 2.5.3 Свойства материала валков

- марка стали рабочих валков;
- модуль упругости материала рабочих валков;
- коэффициент Пуассона материала рабочих валков;
- марка стали промежуточных валков;
- модуль упругости материала промежуточных валков;

- коэффициент Пуассона материала промежуточных валков;
- марка стали опорных валков;
- модуль упругости материала опорных валков;
- модуль сдвига материала опорных валков;
- коэффициент Пуассона материала опорных валков.

#### 2.5 .4 Энергосиловые параметры

- усилие прокатки;
- усилие, действующее между рабочим и промежуточным валками;
- усилие, действующее на опорный валок.

### **2.6 Расчет жесткости клетки**

#### 2.6 .1 Конструктивные параметры

- толщина поперечины станины;
- высота поперечины станины;
- толщина стойки станины;
- ширина стойки станины;
- высота окна станины;
- ширина окна станины;
- упругая деформация валков шестивалковой клетки;
- упругая деформация валков четырехвалковой клетки.

#### 2.6 .2 Энергосиловые параметры

- усилие прокатки;
- усилие, действующее на опорный валок.

#### 2.6 .3 Коэффициенты

- коэффициент, учитывающий деформацию деталей клетки кроме валков и станины;
- коэффициент, зависящий от формы сечения поперечины станины.



## 2.6 .4 Свойства материала станины

- марка стали станины клетки;
- модуль упругости материала станины;
- модуль сдвига материала станины.

## 2.7 *Расчет продольной разнотолщинности полосы*

### 2.7 .1 Параметры расчета

- метод сходимости итерационного процесса:
  - a) постепенный;
  - б) скачкообразный;
  - в) без итераций;
- точность расчета усилия прокатки;
- максимальное число итераций.

### 2.7 .2 Технологические параметры

- толщина подката;
- толщина полосы на входе в валки;
- толщина полосы на выходе из валков;
- утолщение подката;
- утолщение полосы на входе в валки;
- коэффициент увеличения обжатия;
- ширина полосы;
- скорость полосы на выходе из валков;
- сила заднего натяжения полосы;
- сила переднего натяжения полосы;
- коэффициент трения в очаге деформации.

### 2.7 .3 Конструктивные параметры

- диаметр рабочих валков;
- жесткость клетки.

#### 2.7 .4 Свойства материала полосы

- марка стали полосы;
- предел текучести полосы в недеформированном состоянии;
- фактор наклепа;
- коэффициент наклепа;
- модуль упругости материала полосы;
- коэффициент Пуассона материала полосы.

#### 2.7 .5 Свойства материала валков

- марка стали рабочих валков;
- модуль упругости материала рабочих валков;
- коэффициент Пуассона материала рабочих валков.

### **3 ТЕХНИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА «6-ROLLS»**

#### ***3.1 Системные требования***

Требования, необходимые для работы с программным продуктом «6-Rolls»:

- операционная система Microsoft Windows 9x или Microsoft Windows XP;
- текстовый редактор Microsoft Word (для отчетов);
- разрешение экрана не ниже 1024x768 точек при глубине цвета 32 бит;
- 10 МБайт на жестком диске.

#### ***3.2 Установка программного продукта «6-Rolls»***

Для установки программы необходимо запустить файл Setup.exe и следовать инструкциям мастера установки.

#### ***3.3 Файлы программы***

Формат файлов программы \*.6rf. В нем хранится информация об исходных данных.

## 4 ИНСТРУКЦИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ПО РАБОТЕ С ПРОГРАММНЫМ ПРОДУКТОМ «6-ROLLS»

Общий вид программы представлен на слайде 3. Так выглядит программа при запуске. Интерфейс состоит из трех основных зон – зоны ввода исходных данных, зоны выбора типа расчета и зоны трассировки расчета. Эти зоны можно сворачивать и разворачивать на весь экран.

### *4.1 Ввод исходных данных (п.2.1. - 2.7)*

Предусмотрена возможность ввода исходных данных одновременно для всех расчетов и отдельно для каждого расчета из списка (слайд 4).

Исходные данные сгруппированы в следующие разделы:

- «Параметры расчета» – выбор методики расчета, точности расчета, числа итераций;
- «Конструктивные параметры» – вводятся конструктивные параметры клетки;
- «Технологические параметры» – вводятся технологические параметры процесса;
- «Свойства материала полосы» – вводятся характеристики материала полосы;
- «Свойства СОЖ» – вводятся параметры смазочно-охлаждающей жидкости;
- «Свойства материала валков» – вводятся характеристики материалов валков;
- «Коэффициенты» – вводятся различные коэффициенты;
- «Энергосиловые параметры» – вводятся соответствующие энергосиловые параметры;
- «Свойства материала станины» – вводятся характеристики материала станины.

Слайд 5 демонстрирует разделы исходных данных расчета контактных напряжений, усилия и мощности прокатки.

При вводе данных в расчетах предусмотрены различные списки по характеристикам материала полосы, валков, станины, смазочно-охлаждающей жидкости. Слайд 6 демонстрирует, что при выборе марки стали полосы задаются значения параметрам, характеризующим данную марку стали, их можно редактировать. Также предусмотрены различные списки выбора, например, на слайде 7 – выбор типа привода клетки «кварто» в расчете сил и момента прокатки.

Предусмотрены «всплывающие» подсказки, показывающие, где это возможно, диапазоны значений вводимых параметров (слайд 8).

В случае, если значения, занесенные в поля ввода, не могут быть преобразованы в число, то их числовые значения интерпретируются как «ноль».

Возможны следующие варианты ввода исходных данных:

- из ранее созданного файла (расширение \*.brf). В этом случае используется пункт падающего меню «Файл/Открыть...» или кнопка «Открыть», в случае необходимости данные редактируются. С программным продуктом поставляется файл Sample. brf с примером исходных данных;

- ввод новых исходных данных пользователем. Для этого используется пункт падающего меню «Файл/Новый».

В программе автоматически формируются бланки исходных данных в MS Word – кнопка «Исходные данные». Слайд 9 демонстрирует, как выглядит заполненный бланк в MS Word на примере исходных данных расчета контактных напряжений, усилия и мощности прокатки. Также можно использовать пункты падающего меню «Отчеты/Печатать бланк для исходных данных» (незаполненный бланк) или «Отчеты/Печатать исходные данные».

Сохранение исходных данных в файле формата \*.brf можно выполнить с использованием пункта падающего меню «Файл/Сохранить...» или кнопки «Сохранить».

#### **4.2 Выполнение расчетов**

После назначения видов расчетов (необходимо включить флажок у требуемого расчета), запускается кнопка «Выполнить расчеты» (слайд 10). При этом в зоне

«Трассировка расчета» (закладка «Журнал расчетов») отображаются основные события, происходящие при выполнении расчетов: идет проверка исходных данных – их полнота (все ли данные заданы), появляются предупреждения, например (слайд 11) значение «Коэффициента плеча трения качения» находится вне диапазона (расчет будет выполнен с этим значением), отображается информация о различных проверяемых условиях и т.д.

### ***4.3 Трассировка расчетов***

После выполнения расчета можно представить результаты в виде формул, схем, формул и схем (им соответствуют одноименные закладки зоны «Трассировка расчета»). При выборе «Формул и схем» (слайд 12 отображает фрагмент трассировки расчета контактных напряжений, усилий и мощности прокатки) в трассировке расчета отображаются название параметра с единицей измерения, схема (если ее можно привести для этого параметра), формула, по которой определялся этот параметр и его значение. При этом на схеме определяемый параметр выделен красным цветом.

В трассировке приводятся все формулы модели (методики расчета). Слайды 13 – 18 демонстрируют, что трассировки создаются для остальных расчетов.

Трассировка расчета с формулами, схемами, названиями и значениями может быть автоматически сформирована в MS Word– кнопка «Трассировка расчета» (слайд 18) или пункт падающего меню «Отчеты/Печатать трассировку». С полученными результатами расчета в текстовом редакторе MS Word можно выполнить все необходимые действия (например, сохранить в файле или распечатать).

## Список литературы

- 1 *Гарбер Э.А.* Станы холодной прокатки (теория, оборудование, технология). – М.: ОАО "Черметинформация"; Череповец: ГОУ ВПО ЧГУ, 2004. – 416 с.
- 2 *Гарбер Э.А., Кожевникова И.А., Никитин Д.И.* Расчет мощности процесса холодной прокатки: Учебное пособие. – Череповец: ГОУ ВПО ЧГУ, 2006. – 129 с.
- 3 Механическое оборудование цехов холодной прокатки / Под ред. Г.Л. Химича. – М.: Машиностроение, 1972. – 536 с.
- 4 Прокатка на многовалковых станах / П.И. Полухин, В.П. Полухин, А.Ф. Пименов и др. М.: Metallurgia, 1981. – 248 с.
- 5 *Грудев А.П.* Внешнее трение при прокатке. М.: Metallurgia, 1973. – 288 с.
- 6 *Гарбер Э.А., Болобанова Н.Л., Дилигенский Е.В.* Методология конструирования шести-валковых клетей широкополосных станов холодной прокатки // Производство проката, 2007. № 1. С. 6 – 15.
- 7 *Целиков А.И., Никитин Г.С., Рокотян С.Е.* Теория продольной прокатки. – М.: Metallurgia, 1980. – 320 с.
- 8 Машины и агрегаты металлургических заводов. В 3-х томах. Т. 3. Машины и агрегаты прокатных цехов. Учебник для вузов / А.И. Целиков, П.И. Полухин, В.М. Гребник и др. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Metallurgia, 1988. – 432 с.
- 9 Настройка, стабилизация и контроль процесса тонколистовой прокатки. / Г.Г. Григорян, Ю.Д. Железнов, В. А. Кузнецов и др. – М.: Metallurgia, 1975. – 368 с.