

УДК 621.771.001.57

Солод В. С.
Бенецкий А. Г.
Мамаев А. Н.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СОРТОВОЙ ПРОКАТКИ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «СОРТ-ПРО»

Разработка технологии для новых сортовых станов, выбор оптимальных путей реконструкции существующих станов, освоение новых видов проката, оптимизация калибровки валков и выбор экономичных температурно-скоростных режимов прокатки требуют учёта множества геометрических, физических и термомеханических факторов процесса прокатки.

Для усовершенствования и ускорения процесса разработки технологии в НПО «Доникс» используется компьютерное моделирование на базе математических моделей, обладающих достаточной точностью и высокой скоростью расчета.

К числу используемых математических моделей относятся:

- феноменологическая математическая модель мгновенного сопротивления деформации сталей при прокатке в зависимости от химического состава стали, температуры, скорости деформации и накопленной деформации [1];
- универсальная математическая модель формоизменения свободной кромки сортового раската в вытяжных калибрах [2–3];
- адаптируемая математическая модель натяжения, позволяющая контролировать и проектировать оптимизированные кинематические режимы прокатки в проволочных блоках и на непрерывных сортовых станах [4];
- адаптируемая математическая модель структурообразования в процессе комбинированного многостадийного охлаждения сортового проката [5, 6].

На базе разработанных моделей создана система автоматизированного проектирования технологии сортовой прокатки и прокатки катанки («Сорт-про») предназначенная для оперативного моделирования, проектирования и анализа основных технологических параметров процесса прокатки в интерактивном режиме [7].

Целью работы является анализ работы программного комплекса для проектирования и разработки технологии сортовой прокатки.

Параметры технологии определяют с учетом взаимного расположения прокатных клеток, приводных рольгангов, режущих устройств, устройств ускоренного охлаждения и охлаждения на воздухе, установленных как в линии стана, так и после прокатки.

К определяемым параметрам технологии относятся параметры формоизменения (геометрические размеры, обжатие, уширение, форма и площадь раската, коэффициент вытяжки), скоростного режима (скорости металла, валков, двигателей), циклограмма прокатки, параметры температурного режима (поверхности, центра, среднемассовая температура), энергосиловые параметры прокатки (сила, момент и мощность прокатки, момент и мощность на валу двигателя), механические свойства охлажденного проката.

Структурно программа выполнена в виде модулей, каждый из которых выполняет определенную функцию.

Для проектирования расположения оборудования используется модуль конструктора стана, обеспечивающий адекватное описание реверсивной, линейной, полунепрерывной и непрерывной схем прокатки (рис. 1).

Модель прокатного стана включает схему расположения прокатных клеток и вспомогательного оборудования стана, характеристики клеток и привода, допускаемые параметры оборудования.

Кроме конструктора стана комплекс содержит модули определения начальных параметров технологии, проектирования калибровки, расчета технологических параметров, проектирования монтажей калибров на валках и вывода результатов в табличном и графическом представлении.

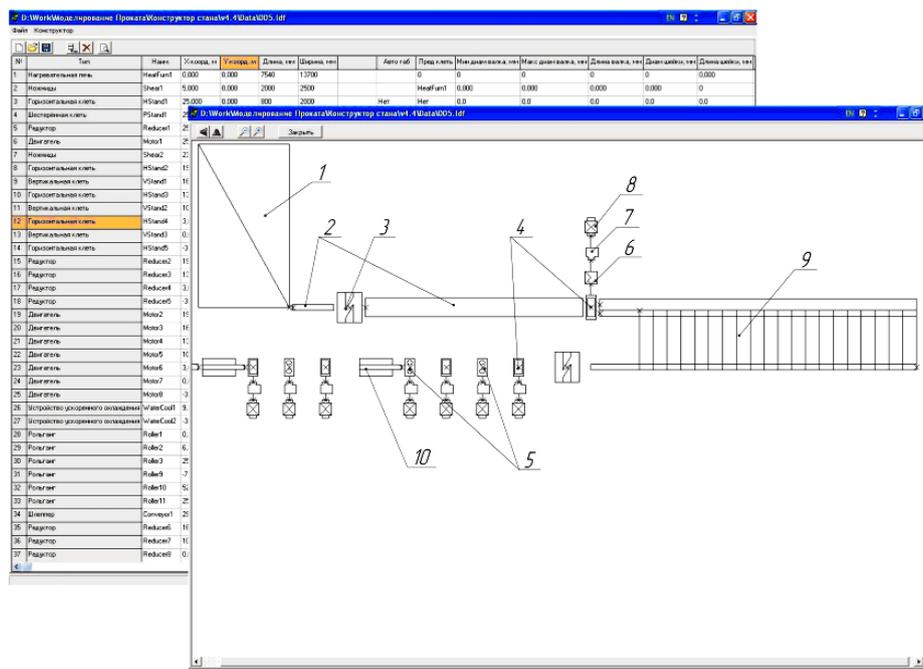


Рис. 1. Вид оконного интерфейса модуля конструктора стана:

1 – нагревательная печь; 2 – рольганг; 3 – ножницы; 4 – горизонтальная клеть; 5 – вертикальная клеть; 6 – шестеренная клеть; 7 – редуктор; 8 – двигатель; 9 – шлеппер; 10 – устройство ускоренного охлаждения

Модуль определения начальных параметров позволяет определить марку или химический состав прокатываемой стали, обеспечивает ввод информации о форме, размерах и температуре нагрева заготовки, скорости ее подачи к стану, а также формирует объем набора данных для оформления отчета.

Модуль проектирования калибровки (рис. 2) обеспечивает возможность спроектировать калибр, задать форму раската и режим обжатия. При этом сортовой калибр представляется в виде совокупности линейных отрезков и дуг окружностей, описывающих ручки калибра. Для проектирования используется конструктор калибров, реализующий алгоритм обмена информацией между программой и файлами чертежей формата «*.dxf». Таким образом, обеспечивается возможность как интерактивного проектирования типовых вытяжных калибров из программной среды (гладкая бочка, ящичный, овал, ящичный овал, плоский овал, ребровой овал, круг, ромб, квадрат), так и использования ранее построенных чертежей симметричных сортовых калибров нестандартной формы, в том числе – многоручьевых.

Проектирование режима прокатки включает построение схемы прокатки, произвольное задание угла кантовки подката, диаметра и материала валков, скоростных параметров прокатки и особенностей схемы прокатки (наличие реверса, величина паузы и т. д.).

Определяемые в расчетном модуле параметры формоизменения включают форму и площадь проекции поверхности контакта металла с валками, что позволяет оценить условия входа металла в валки.

На основе численного решения дифференциального уравнения Т. Кармана разработан универсальный подход к расчету энергосиловых параметров прокатки, исключающий использование набора эмпирических коэффициентов формы калибра, напряженного состояния и пр. Алгоритм расчета энергосиловых параметров прокатки для сортовых калибров произвольной формы разработан с учетом трансформирования контура раската и контактной поверхности при уширении металла.

Температурный режим прокатки определяется с применением численного решения дифференциального уравнения теплопроводности по методу прогонки для вычисления распределения температуры по сечению цилиндрического бесконечного стержня. Необходимые для расчета зависимости теплофизических коэффициентов, в частности – плотности,

коэффициента температуропроводности, удельной теплоемкости, теплосодержания, коэффициента теплоотдачи стали от температуры охлаждения получены статистической обработкой литературных табличных данных.

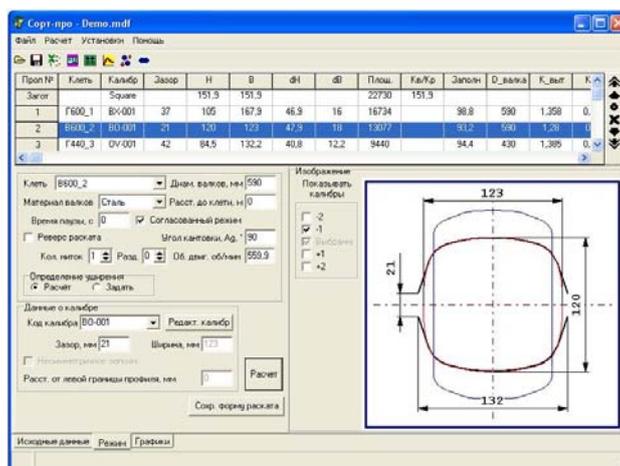


Рис. 2. Окно модуля проектирования калибровки

Результаты расчетов отображаются на экране в виде линейных диаграмм, таблиц, чертежей контуров калибров и раскатов.

Модуль вывода результатов позволяет оперативно отображать график прокатки, проекцию контактной площади (рис. 3), чертеж контура калибра и подката в момент захвата (рис. 4), диаграммы изменения по пропускам температуры металла, углов захвата, оборотов двигателей (рис. 5), диаметров валков, силы и момента прокатки и потребляемых мощностей двигателей (рис. 6).

Сохранение результатов расчетов обеспечивается в виде таблиц и диаграмм в формате «*.xls» и чертежей в формате «*.dxf».

Разработанная программа позволяет создавать универсальные базы данных по расположению оборудования прокатных станов, калибровок, режимов прокатки, монтажей валков. Модульное построение программы обеспечивает использование разработанных ранее технологических элементов (схемы стана, калибров) и вариантов технологии при ведении новых технологических разработок, что значительно сокращает время проектирования. Оперативная цифровая и графическая информация дает возможность разработчику технологии определить перегрузки оборудования стана, оценить захватывающую способность валков и устойчивость раската в калибре. Функция автоматического пакетного пересчета режима прокатки позволяет произвести пересчет на согласованный режим, выполнить моделирование нового варианта технологии при изменении исходных данных.

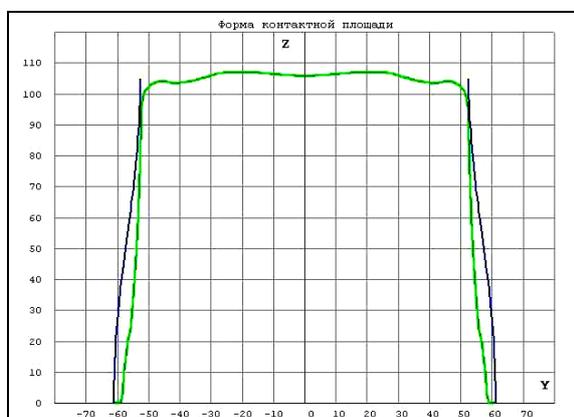


Рис. 3. Чертеж проекции контактной площади и график изменения ширины раската по длине очага деформации

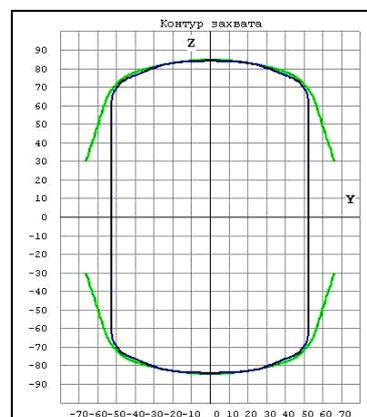


Рис. 4. Чертеж контура калибра и подката в момент захвата

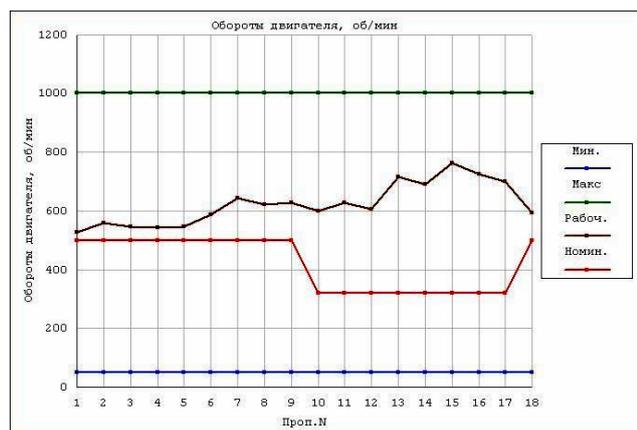


Рис. 5. Диаграмма оборотов двигателей по пропускам

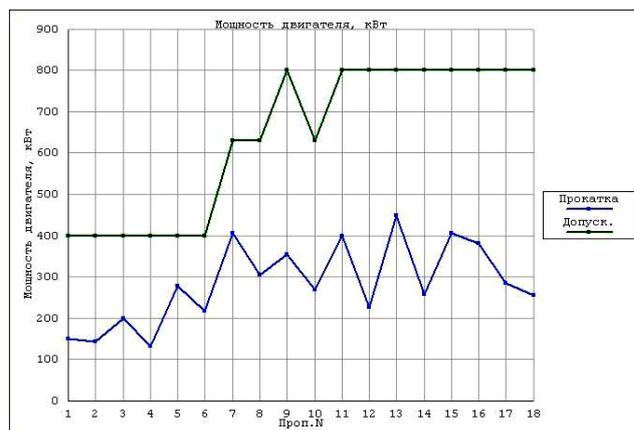


Рис. 6. Диаграмма потребляемых мощностей двигателей по пропускам

ВЫВОДЫ

Таким образом, разработанный программный комплекс обеспечивает возможность оперативного автоматизированного анализа, проектирования и оптимизации технологии сортовой прокатки. Использование разработанного программного комплекса может быть полезно проектировщикам сортовых и проволочных прокатных станов, разработчикам технологии прокатки, технологам прокатных цехов, калибровщикам металлургических заводов и для использования в учебных заведениях для подготовки специалистов по сортовой прокатке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Солод В. С. Математическое моделирование сопротивления деформации при горячей прокатке углеродистых сталей / В. С. Солод, Я. Е. Бейгельзимер, Р. Ю. Кулагин // *Металл и литье Украины*. – 2006. – № 7–8. – С. 52–56.
2. Солод В. С. Универсальная математическая модель формоизменения металла в вытяжных калибрах / В. С. Солод, Р. Ю. Кулагин, Я. Е. Бейгельзимер // *Сталь*. – 2006. – № 8. – С. 16–18.
3. Солод В. С. Применение универсальной математической модели формоизменения свободного контура для определения формы и площади контакта в вытяжных калибрах / В. С. Солод, Р. Ю. Кулагин, А. Г. Бенецкий // *Металл и литье Украины*. – 2006. – № 7–8. – С. 49–51.
4. Система контроля кинематических параметров непрерывных групп прокатного стана / В. С. Солод, Е. С. Дмитриев, Д. Н. Новиков, С. А. Рудской // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2006. – № 4. – С. 65–68.
5. Математическое моделирование процесса комбинированного охлаждения сортового проката / В. С. Солод, Д. Н. Новиков, М. Н. Тютюк, С. И. Гинкул, М. А. Ларченко // *Металл и литье Украины*. – 2007. – № 8. – С. 28–30.
6. Новые решения НПО «Доникс» для сортопрокатного производства : сб. трудов конференции «Металлургия и литейное производство 2007. Беларусь», 6-7 сентября 2007 / Солод В. С., Бенецкий А. Г., Рудской С. А., Новиков Д. Н. – С. 41–43.
7. Новые математические модели процессов сортовой прокатки : сб. трудов I международной научно-практической конференции ИНТЕХМЕТ 2008, 9–10 сентября 2008, Санкт-Петербург / В. С. Солод, А. Г. Бенецкий, А. В. Харченко, М. Н. Тютюк. – С. 280–283.

Солод В. С. – канд. техн. наук, доц., зав. отделом НПО «Доникс»;

Бенецкий А. Г. – науч. сотрудник НПО «Доникс»;

Мамаев А. Н. – науч. сотрудник НПО «Доникс».

НПО «Доникс» – Научно-производственное объединение «Доникс», г. Донецк.

E-mail: solod@donix-ua.com
benetsky@donix-ua.com