

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ ТРУБЫ Ø88,9×8 НА РЕДУКЦИОННО-РАСТЯЖНОМ СТАНЕ ТРУБОПРОКАТНОГО АГРЕГАТА ТПА 21/168 ОАО “БМЗ – УПРАВЛЯЮЩАЯ КОМПАНИЯ ХОЛДИНГА “БМК”

М. В. ОБОРОВ¹, *mihoborov@gmail.com*; И. А. ПАНКОВЕЦ¹, М. Н. ВЕРЕЩАГИН², *д-р техн. наук;*
И. В. АСТАПЕНКО², *канд. с.-х. наук*

¹ ОАО “БМЗ — управляющая компания холдинга “БМК”,

² УО “Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого”)

В современной промышленности при ее неуклонном развитии широко применяются наукоемкие технологии, обеспечивающие высокую конкурентоспособность продукции на мировых рынках бесшовных труб. Одним из способов достичь высокой производительности с сохранением качества продукции является численное моделирование процесса обработки металлов давлением. При использовании численного моделирования создается имитация реального процесса, который позволяет оценить распределение нагрузок на прокатные клети, а также на основании

полученных результатов создать оптимальную нарезку калибров валков. Моделирование процесса прокатки осуществляется с помощью метода конечных элементов. Преимущество данного метода заключается в возможности проведения комплексного физико-механического анализа, который основывается на концептуальных положениях, законах и теоремах механики сплошной среды и деформируемого объекта. Адекватная модель в методе конечных элементов приближена к реальному физическому процессу.

Цель

Основными дефектами на редуционно-растяжном стане является смятие трубы, граненность, разностенность. Если дефекты, возникающие при неудовлетворительной настройке стана и поломке оборудования, можно минимизировать определенными мероприятиями и профилактическими ремонтными работами, то дефекты, связанные с процессом горячего деформирования и калибровкой валков, невозможно предсказать и предотвратить, не имея

большого опыта. Именно поэтому целесообразно смоделировать процесс, связанный с минимальными рисками и потерями для предприятия. Целью проводимого исследования является создание корректной модели процесса прокатки бесшовной трубы Ø88,9×8 на редуционно-растяжном стане в условиях ОАО “БМЗ – управляющая компания холдинга “БМК” в программном комплексе DEFORM-3D методом конечных элементов.

Входные параметры и методика моделирования

Редуционный стан — это стан, работающий в непрерывном режиме и состоящий из большого числа (до 28) последовательно расположенных клетей (рис. 1). Клетки имеют три валка, образующих круглый калибр (рис. 2). Трехвалковые клети наклонены под углом 180 град. друг к другу, что позволяет получать трубу большей точности. В результате последовательного уменьшения калибров по клетям, уменьшается диаметр прокатываемой трубы (рис. 3); толщина стенки при этом может увеличиваться, уменьшаться или оставаться неизменной. Суммарное уменьшение диаметра трубы (степень редуцирования) может достигать 70 % и более. Нали-

чие таких станов в агрегате способствует повышению его производительности, расширяя размерный сортамент агрегатов в сторону получения труб меньших диаметров и большей длины. Редуционно-растяжные станы работают с натяжением и предназначены для получения тонкостенных труб небольших диаметров. При редуцировании с натяжением достигается уменьшение диаметра трубы на 75–80 % и уменьшение толщины стенки на 35–40 %. Стан оснащен дифференциально-групповым приводом, включающим в себя три основных двигателя и три двигателя суперпозиции (рис. 4).

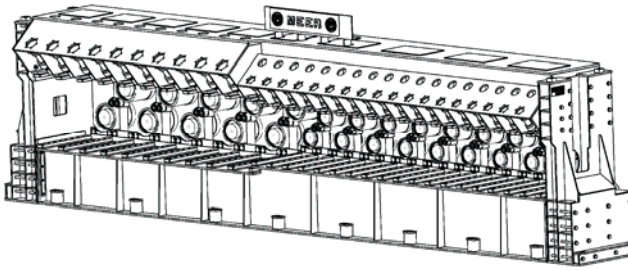


Рис. 1. Общий вид стана (клетки не установлены)

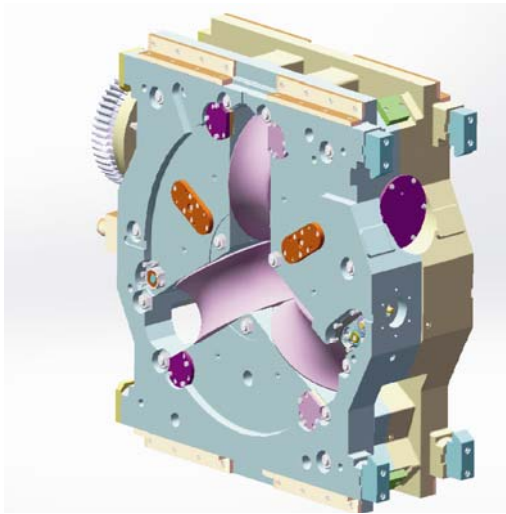


Рис. 2. Прокатная клетка редукционно-растяжного стана (спроектирована в программном пакете SolidWorks)

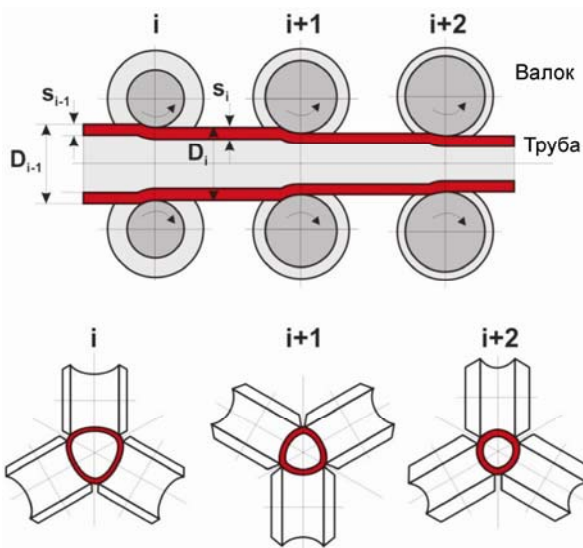


Рис. 3. Схема процесса прокатки на редукционно-растяжном стане:

i — номер клетки; D_i — диаметр трубы после i -й клетки; S_i — толщина стенки трубы после i -й клетки

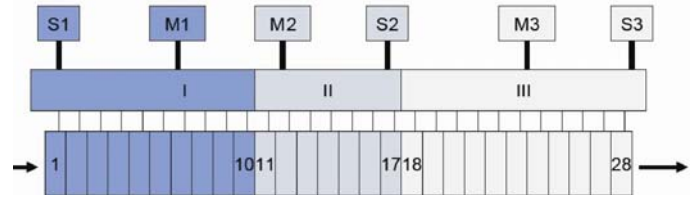


Рис. 4. Схема привода редукционно-растяжного стана:
 $M1, M2, M3$ — основной привод;
 $S1, S2, S3$ — привод наложения (суперпозиции);
 I, II, III — суммирующий редуктор

В качестве исходных данных для создания модели использовали параметры из таблицы прокатки для производства трубы $\varnothing 88,9 \times 8$ по DIN 1629 из заготовки $\varnothing 140$ мм и настройки стана в условиях реального производства:

Размер готовой трубы, мм: наружный диаметр толщина стенки	88,9 8
Размер трубы после стана-извлекателя (на входе в PPC), мм: наружный диаметр толщина стенки	118 8,14
Размер трубы после PPC (в горячем состоянии), мм наружный диаметр толщина стенки	89,8 8,89
Ряд обжатий	АО
Коэффициент вытяжки	1,24
Температура трубы на входе в PPC, °C	950
Скорость трубы на входе в PPC, м/с	1
Коэффициент трения	0,4
Марка стали	S355J2

Ряд обжатий АО определяет общее число клеток, необходимых для получения заданных размеров готовой трубы, и геометрию рабочей поверхности валков для каждого калибра. В данном случае используются шесть клеток.

Объемная модель создавалась в программном пакете SolidWorks (рис. 5). Затем полученная модель загружалась в программный комплекс DEFORM-3D, где задавались входные данные и моделировался процесс прокатки.



Рис. 5. Объемная модель прокатки

Одной из основных задач, возникающих при проектировании и эксплуатации редуцированных станов, а также моделировании процесса прокатки, является расчет скоростных режимов (распределения оборотов валков по клетям). Правильная настройка стана обеспечивает по-

лучение труб с требуемой толщиной стенки, стабильный процесс редуцирования, равномерную загрузку клеток.

Скоростные режимы прокатки в стане рассчитываются автоматически программным модулем системы CARTA SRM.

Обсуждение результатов исследования

Для теоретического расчета скоростных параметров и создания адекватной модели воспользуемся методикой определения скоростных настроек редуцированных станов с дифференциально-групповым приводом [1] и методикой, разработанной во ВНИИМЕТМАШ [2], основанной на использовании трех физических уравнений, определяющих процесс непрерывной прокатки:

- равновесия сил, действующих на трубу;
- зависимости изменения толщины стенки трубы от параметров очага деформации и натяжения;
- постоянства секундных объемов.

Вследствие незначительного изменения толщины стенки трубы после обжатия в первой клетке примем коэффициент пластического натяжения $\beta = 0$. С учетом данного допущения определяем скорость вращения валков первой клетки. По методике [1] рассчитываем скорости оставшихся пяти клеток. Расчетная частота вращения валков:

Номер клетки	Число оборотов, об/мин
1	98,6
2	106,8
3	115,1
4	124,2
5	137,4
6	152,6

Сравнивая расчетные данные (рис. 6) с диапазоном работы существующего привода стана (рис. 7), можно заключить, что они входят в данный промежуток и приближаются к реальным значениям, рассчитанным модулем системы CARTA SRM.

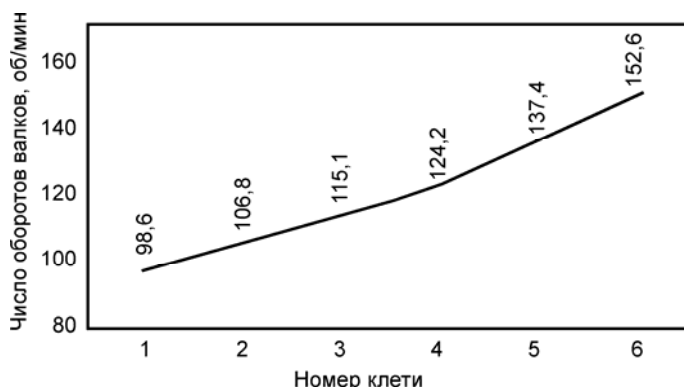


Рис. 6. Расчетная кривая числа оборотов

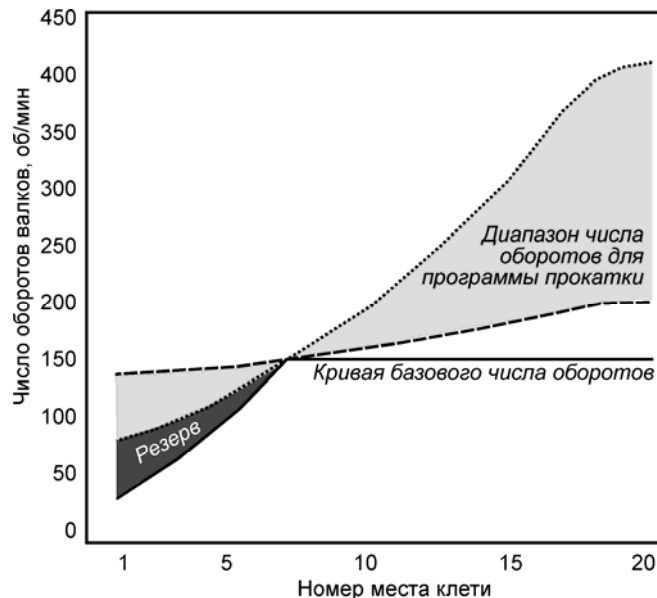


Рис. 7. Диапазон числа оборотов существующего привода стана

Моделирование процесса позволило установить поведение металла в калибрах и получить картину напряженного состояния очага деформации (рис. 8, 9).

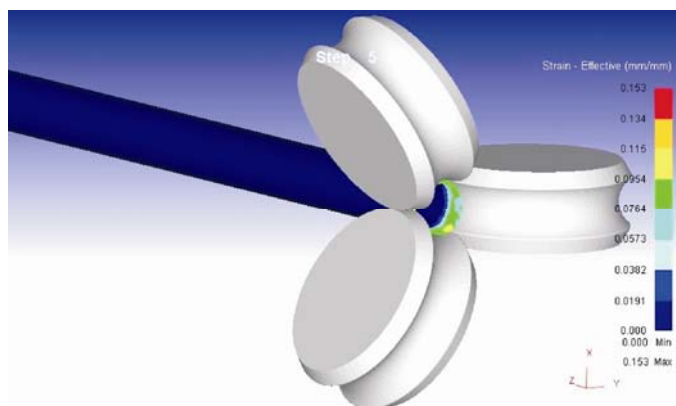


Рис. 8. Напряжения, возникающие в заготовке при захвате ее прокатными валками

Анализ модели позволил сравнить геометрию трубы, полученной моделированием, с трубой, прокатанной в условиях стана (см. таблицу). Отклонение размеров не превышает 4 %. Не было выявлено поверхностных дефектов.

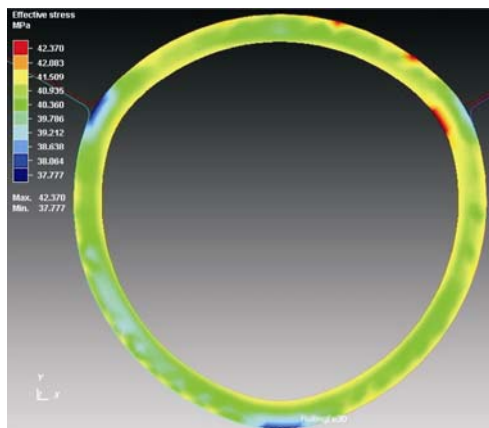


Рис. 9. Эффективное напряжение в очаге деформации первой клетки (максимальное напряжение составляет 42,37 МПа, минимальное — 37,77 МПа)

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ТАБЛИЦА ГЕОМЕТРИИ ГОРЯЧЕЙ ТРУБЫ

Труба	Наружный диаметр, мм	Толщина стенки, мм	Длина трубы, мм	Масса погонного метра, кг
Прокатанная на стане РРС	89,8	8,89	26000	15,859
Смоделированная в программном комплексе DEFORM-3D	93,2	9,2	26147	16,419

Заключение

Точность геометрических размеров труб является важнейшей характеристикой качества этого вида металлопродукции. Особое внимание при этом уделяется точности размеров стенки трубы. Колебание толщины стенки в сторону ее уменьшения может вызвать падение прочностных характеристик изделий из труб, колебание толщины стенки в сторону ее увеличения приводит к неоправданному увеличению металлоемкости трубной продукции.

Исследование, проведенное в данной работе, позволило с определенной точностью смодели-

ровать процесс прокатки на редуционно-растяжном стане, изучить поведение металла в калибрах, оценить правильность расчетов скоростей валков прокатных клетей.

Полученная модель может быть использована для дальнейших исследований зависимости толщины стенки от усилий прокатки, влияния температуры и материала на качество проката, поведения материала в межклетевом промежутке, оптимизации методики расчета калибровки прокатных валков.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Редуционные станы / В. П. Анисифоров, Л. С. Зельдович, В. Д. Курганов и др. — М.: Металлургия. 1971. — 252 с.
2. Данилов Ф. А., Глейберг А. З., Балакин В. Г. Горячая прокатка труб. — М.: Metallurgizdat. 1962. — 502 с.