

УДК 621.77

Колповский В. Н.
Дрожжа П. В.
Гладкий Ю. А.
Демский Н. Н.

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА НЕПРЕРЫВНОЙ ОПРАВОЧНОЙ ПРОКАТКИ ТРУБ

Известно, что процесс непрерывной оправочной прокатки труб характерен существенной нестабильностью, вносимой рядом переменных факторов (температурой металла на входе в стан, исходной продольной и поперечной разностенностью гильзы, условиями трения на контакте металла с валками и оправкой и пр.). Очаг деформации при прокатке труб на цилиндрической оправке характеризуется большой неравномерностью напряженно-деформированного состояния. Эти особенности необходимо учитывать при определении геометрических, кинематических и энергосиловых параметров процесса.

Существенная нестабильность определяется переменными условиями трения на контакте металла со свободной оправкой. Предшествующие исследования были направлены на изучение природы нестабильности, показаны условия образования и характер продольной разностенности труб [1]. Экспериментально исследовались скорости перемещения и геометрические размеры проката по клетям непрерывного стана [2], получены графики изменения скорости трубы в плоскости разъема калибра (рис. 1).

Целью данной работы является возможность определения степени заполнения калибров непрерывного оправочного стана при изменении возмущающих параметров процесса прокатки одной гильзы трубы.

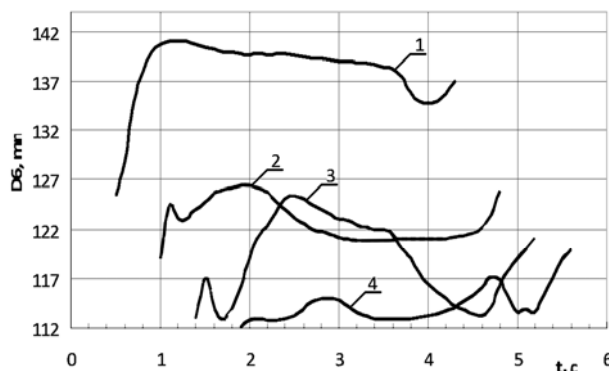


Рис. 1. Изменение диаметра трубы в плоскости разъема калибра в клетях непрерывного стана:

1, 2, 3, 4 – соответственно 2-я, 3-я, 4-я и 6-я клетки (ширина калибров 2-ой, 3-ей, 4-ой и 6-ой клетки соответственно – 136 мм, 130,9 мм, 129,9 мм и 127,6 мм)

Сопоставляя результаты теоретических и экспериментальных исследований, получили объяснение характера наиболее распространенной реализации геометрических размеров (среднего диаметра D_{cp} и толщины стенки S_{cp}) «черновых» труб, прокатанных при реальном скоростном режиме настройки стана (рис. 2).

В работе [3] приведена методика расчета оптимального скоростного режима непрерывного стана, основанная на минимизации изменений продольных напряжений в металле в процессе прокатки одной трубы.

Критерием оптимальности скоростного режима настройки всего стана приняли величину, которая характеризует минимальную сумму $\Delta z_i = z_{i,max} - z_{i,min}$ по всем межклетевым промежуткам:

$$K_0 = \min \sum_{i=1}^{k-1} g_i \Delta z_i,$$

где k – количество работающих клеток стана; z_i – коэффициент пластического натяжения в каждом межклетевом промежутке; g_i – коэффициент, учитывающий влияние изменения коэффициента пластического натяжения отдельно в каждом межклетевом промежутке на изменение размеров по длине «черновых» труб.

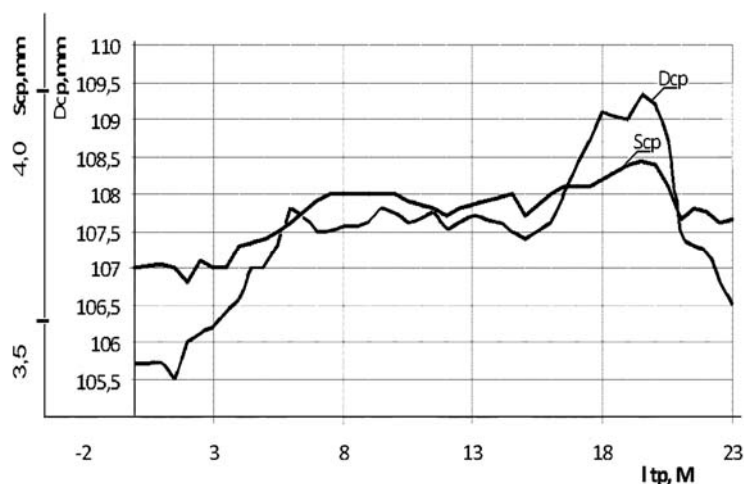


Рис. 2. Характерное изменение геометрических размеров черновой трубы при прокатке в непрерывном стане

С использованием современной вычислительной техники расчет такого режима не представляет сложности. Но в методике предусмотрено верное определение коэффициентов вытяжки по клетям стана, а это, в свою очередь требует корректного определения заполнения калибров. Задача необходимая, но во все времена вызывала затруднения, связанные либо с возможностями техники, либо с недостатком теоретического обоснования.

Для условий прокатки в непрерывном стане ТПА 30-102 был проведен расчет оптимального скоростного режима. В результате анализа расчетов можно отметить, что такой скоростной режим предусматривает создание небольшого подпора при прокатке во втором и третьем межклетевых промежутках. При этом, однако, нельзя допускать переполнения металлом калибров. Исследования литературных источников показали, что переполнение калибров наступает в одном случае при достижении величины пластического натяжения равной $-0,15 \dots -0,2$; в другом $-0,6 \dots -0,8$. Анализ реального процесса показывает, что процесс идет устойчиво при $z_i = -0,45$.

В результате экспериментальных исследований авторы публикации [4] справедливо заметили, что небольшие изменения коэффициентов кинематического натяжения не приводят к существенным изменениям заполнения калибра, но превышение таких параметров в направлении подпора приводит к резкому изменению толщины стенки трубы, прежде всего в зоне выпуска. Допустимым пределом является значение $\omega = 0,925$.

Как видим, данные противоречивы, и желательно иметь зависимости, определяющие связь величины уширения от ряда параметров процесса прокатки.

Во многом проблема влияния оправки на параметры деформации в каждой клетке стана решается с использованием удерживаемой перемещаемой оправки. Удерживаемая оправка позволяет значительно снизить продольную разностенность труб, а возможность использования более «тесных» калибров в обжимной группе клеток определяет снижение поперечной разностенности. На уменьшение брака, связанного с переполнением калибров, направлено соблюдение условия соотношения периметров наружного контура поперечного сечения трубы на выходе из очагов деформации соседних клеток стана. Совершенствование калибровок валков (с округленным выпуском, с выпуском по кривой второго порядка, с ограничителем

уширения и др.) решает проблему максимального увеличения периметра при сохранении неизменными показателей овальности (B/H , где B – ширина калибра, H – высота калибра) и обжатия.

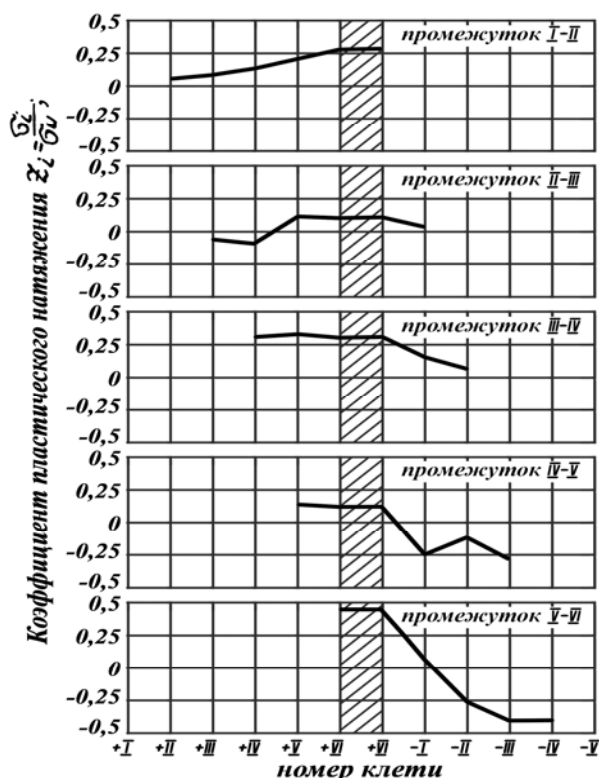


Рис. 3. Изменение продольных напряжений в металле в межклетевых промежутках непрерывного стана ТПА 30-102 за время прокатки одной гильзы трубы

периметр наружного контура поперечного сечения трубы, рассчитанного из условия максимального возможного переднего и заднего подпора на границах очага деформации; $P_{k,i}$ – периметр рабочей части калибра i -ой клетки стана.

При этом слишком большое превышение $P_{k,i}$ по отношению к $P_{t,i \max}$ не следует допускать, поскольку это приводит к увеличению отклонений размеров труб по длине. Для непрерывного стана с целью исключения наружных дефектов на трубе типа «бунтов», «ужимов» необходимо придерживаться зависимости:

$$P_{t,i \max} \leq P_{k,i-1} - 4\Delta S_i,$$

где ΔS_i – величина обжатия по стенке трубы в i -ой клетки стана.

Для установления связи между степенью заполнения круглого калибра металлом применим регрессионный анализ. Для этого избираем модуль «Нелинейное оценивание», который является универсальной аппроксимирующей процедурой, которая позволяет оценивать любой вид зависимости между переменной отклика и набором независимых переменных.

Для выявления степени заполнения круглого калибра применим множественную регрессию. Критерием заполнения калибра является отклонение между фактическим диаметром трубы по разьему калибра и шириной калибра. Если разность положительная, то возможно переполнение калибра, если отрицательна, то калибр не заполнен, если разность нулевая, то имеем так называемое нормальное заполнение.

Вероятно, в еще большей степени, снижению разностенности труб способствуют трехвалковые оправочные калибры в сочетании с удерживаемой оправкой. «Тесный» замкнутый калибр ограничивает уширение, но возникают другие проблемы, о которых в пределах нашей статьи не будем говорить.

Еще раз нужно отметить, что все расчеты режимов как деформационных, так и скоростных предусматривают правильное определение площади поперечного сечения трубы по клетям непрерывного стана при неконтролируемом заполнении калибров.

Для нестабильной оправочной прокатки труб остается открытым вопрос корректного определения характера течения металла в калибрах.

Получение высокого качества поверхности труб возможно при исключении затекания металла в зазоры между валками (переполнения калибров). Это обеспечивается при условии:

$$P_{t,i \max} \leq P_{k,i},$$

где $P_{t,i \max}$ – максимальный пе-

В этой модели предполагается, что зависимая переменная – фактический диаметр трубы по разьему калибра, является линейной функцией от независимых переменных, т. е. эта зависимость имеет вид:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + \dots + b_n \cdot x_n.$$

Во множественной регрессии предполагается, что остатки распределены нормально, т. е. подчиняются закону нормального распределения.

Установим регрессионную зависимость между фактическим диаметром трубы по разьему калибра по клетям непрерывного стана от таких факторов: коэффициент вытяжки μ_i , коэффициент кинематического натяжения ω_i , абсолютное обжатие по стенке трубы ΔS_i и ширина калибра B_{ki} .

Для 9-ти клетового непрерывного стана уравнение регрессии, определяющее связь предложенных технологических параметров с реальным диаметром трубы по выпуску калибра (собственно с заполнением калибра) можно представить в виде:

$$D_{расч_i} = b_0 + b_1 \cdot \mu_i + b_2 \cdot \omega_i + b_3 \cdot B_{ki} + b_4 \cdot \Delta S_i.$$

В непрерывном оправочном стане основная деформация по стенке трубы осуществляется в первых 6-и клетях. Калибры этих клетей, скорее всего, являются наиболее подверженными переполнению. Учитывая это, нами были получены уравнения регрессии для обжимной группы клетей. Таким образом, уравнение регрессии для обжимных клетей имеет вид:

$$D_{расч_i} = 30.582 + 27.041 \cdot \mu_i + 8.588 \cdot \omega_i + 0.444 \cdot B_{ki} - 0.122 \cdot \Delta S_i.$$

Графически эта зависимость представлена на рис. 4

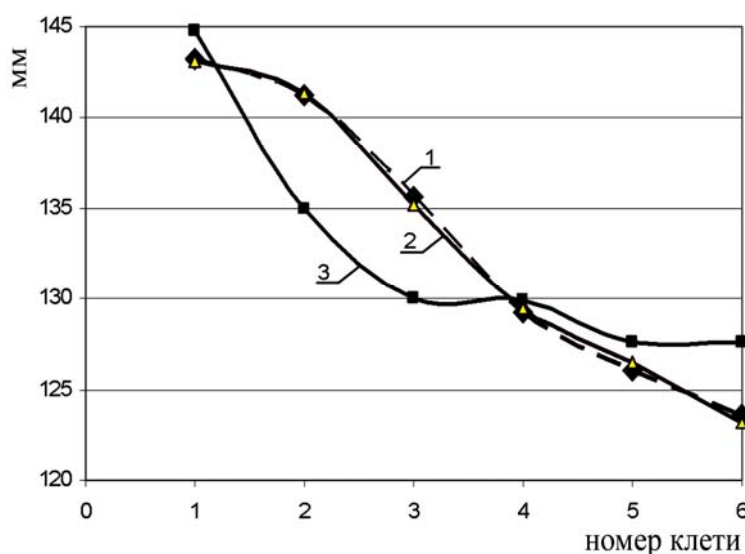


Рис. 4. Сравнение фактического (1) и расчетного (2) диаметров трубы по разьему калибра с шириной калибра (3)

Для проверки работоспособности полученной модели воспользовались скоростным режимом настройки стана, предусматривающим повышенное натяжение между клетями обжимной группы.

$$\omega_{1-2} = 1,01; \quad \omega_{2-3} = 1,08; \quad \omega_{3-4} = 1,06; \quad \omega_{4-5} = 1,0; \quad \omega_{5-6} = 1,04.$$

Результаты расчетов приведены на рис. 5.

Видно, что калибры всех клетей недозаполнены; диаметр трубы в последней клетке практически равен размерам калибра, что гарантирует необходимый для облегченного извлечения оправки зазор между внутренней поверхностью трубы и оправкой.

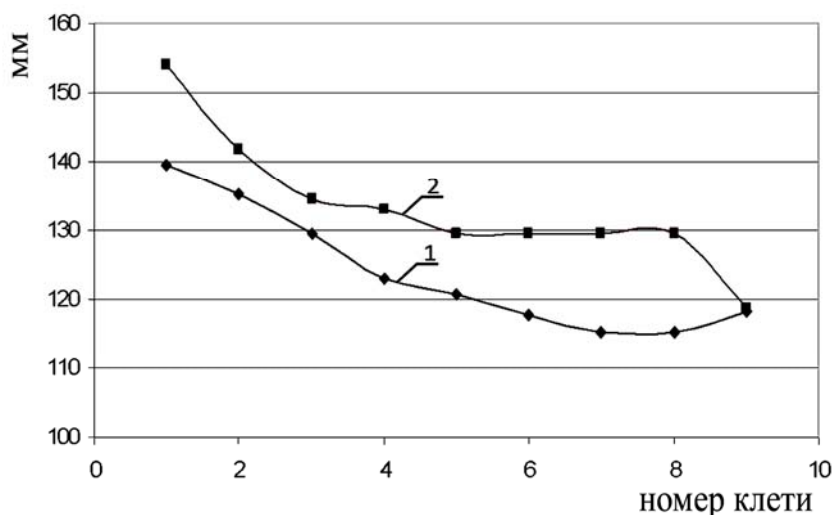


Рис. 5. Сравнение расчетных диаметров трубы по разьему калибра и ширины калибра

ВЫВОДЫ

Влияние нестабильных параметров процесса прокатки в непрерывном оправочном стане на точность черновых труб можно снизить различными мероприятиями, среди которых основными следует считать: оптимальный скоростной режим настройки (в том числе настройки и регулирования скоростного режима в процессе прокатки), применение удерживаемой оправки, совершенствование калибровки валков и пр.

В любом случае, необходимо иметь зависимости, связывающие заполнение калибров с основными технологическими параметрами. Такие зависимости получены с использованием регрессионного анализа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Влияние нестабильности процесса непрерывной оправочной прокатки на точность труб / И. А. Чекмарев, В. Н. Данченко, А. Ф. Гринева и др. // *Металлургия и коксохимия*. – К. : Техника, 1974. – Вып. 40. – С. 81–86.
2. Чекмарев И. А. Экспериментальное исследование заполнения калибров металлом при прокатке труб в непрерывном оправочном стане / И. А. Чекмарев, В. Н. Данченко, В. Н. Колповский // *Металлургия и коксохимия*. – К. : Техника, 1975. – Вып. 46. – С. 86–90.
3. Данченко В. М. Оптимізація швидкісного режиму безперервного оправочного трубопрокатного стану / В. М. Данченко, В. М. Колповський, П. В. Дрожжа // *Металургічна і горнорудна промисловість*. – 2002. – № 8–9. – С. 401–406.
4. Онищенко И. И. В сб. «Обработка металлов давлением» / И. И. Онищенко, П. И. Куценко. – М. : *Металлургия*, 1976 (*ДМетИ*, науч. тр. № 59.) – С. 241–249.
5. Боровиков В. П. Популярное введение в программу STATISTIKA / В. П. Боровиков // *Электронный учебник*. – Киев, 2009. – 424 с.

Колповский В. Н. – канд. техн. наук, доц. НМетАУ;

Дрожжа П. В. – канд. техн. наук, доц. НМетАУ;

Гладкий Ю. А. – ассистент НМетАУ;

Демский Н. Н. – студент НМетАУ.

НМетАУ – Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск.

E-mail: Gladkyomd@mail.ru