

УДК 621.774.6

Федоринов В. А.
Завгородний А. В.
Стриченко С. М.
Лесовой М. О.
Андросов И. Ю.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ И МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПРОЦЕССОВ ПРАВКИ ТРУБ И ТРУБНЫХ ЗАГОТОВОК НА МНОГОРОЛИКОВЫХ МАШИНАХ

Трубное производство является одним из важнейших в металлургическом комплексе Украины. Значительное место в черной и цветной металлургии занимают производство бесшовных и сварных труб. Бесшовные трубы производят катаными в горячем, теплом и холодном состояниях, прессованными и литыми. Сварные трубы изготавливаются печной сваркой встык, электросваркой сопротивлением, оплавлением, дуговой, индукционной, радиочастотной сваркой, электросваркой под флюсом или с использованием целого ряда других технологий. Наибольшее применение нашли бесшовные трубы, которые в настоящее время широко применяют в нефтедобывающей промышленности, машиностроении, энергетике и в целом ряде других отраслей. За последние 10–15 лет достижения в области научно-технического прогресса, особенно в сталеплавильном производстве, позволяют получать бесшовные трубы высокого качества как по внутренней поверхности, так и по точности геометрических характеристик, что приближает их к электросварным трубам [1].

На качество трубного металлопроката влияет большое количество факторов, таких как:

- характеристики заготовки;
- совершенство используемого основного оборудования;
- принятой технологии производства.

Наиболее встречающимся видом дефекта таких изделий является их продольная кривизна, которая может быть исправлена благодаря дополнительной обработке. При этом задача получения готовой металлопродукции требуемого качества сводится к совершенствованию технологий и оборудования как основного, так и отделочного производства, включающего в себя многороликовые правильные машины различного типоразмера.

Целью данной работы является анализ возможных схем настройки многороликовых трубоправильных машин с целью повышения качества труб по всей длине, включая их концевые участки.

Процесс правки труб заключается в создании знакопеременного упругопластического изгиба выправляемого изделия (трубы), и качество правки, в первую очередь, зависит от количества и величины создаваемых изгибов по длине трубы [2]. Таким образом, развитие правильных машин идет по пути увеличения числа знакопеременных изгибов выправляемых изделий в процессе правки, а также создания принципиально новых схем правки, в том числе схем правки внутри калибра [3]. Следует отметить, что при увеличении количества перегибов увеличивается, соответственно, и количество технологических схем, которые возможно реализовать при различных вариантах настройки валковых калибров. В настоящее время известны следующие схемы правки [4]:

- трапециевидная (см. рис. 1, а);
- трапециевиднотреугольная (рис. 1, б);
- многотреугольная (рис. 1, в);
- двухтреугольная (рис. 1, г).

При трапециевидной схеме создание изгибающего момента производится путем смещения средних валковых обойм в одном направлении в плоскости расположения валковых обойм. При этом смешаются три валковые обоймы, за счет чего обеспечивается более длинная, чем у машин с четырьмя валковыми обоймами, зона упруго-пластических деформаций выправляемых изделий.

При трапециевиднотреугольной схеме создание изгибающего момента производится путем смещения двух соседних средних валковых обойм в одном направлении и одной валковой обоймы в противоположном направлении в плоскости расположения валковых обойм.

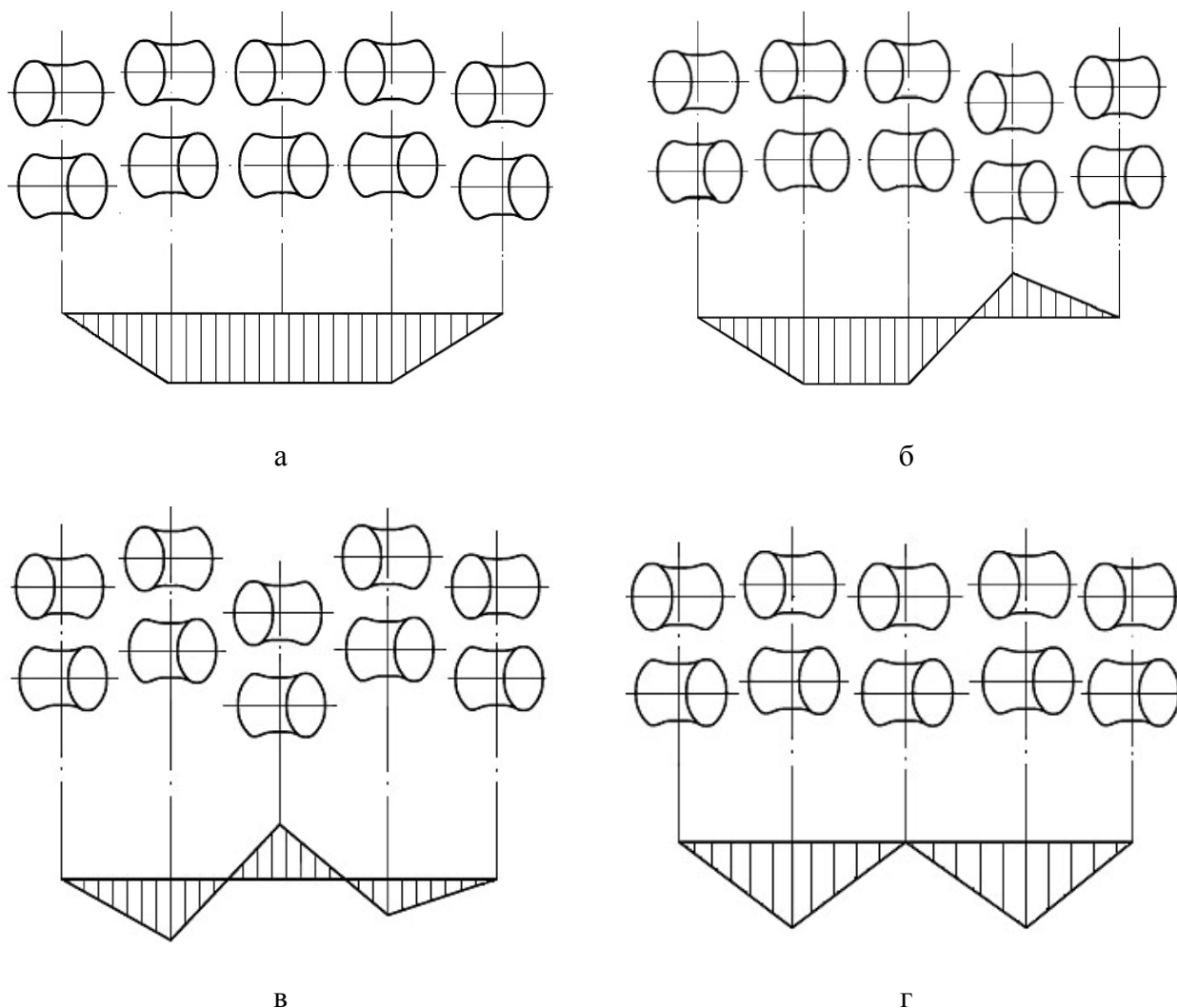


Рис. 1. Принципиальные схемы правки труб применительно к десятивалковой правильной машине [4]

При многотреугольной схеме создание изгибающего момента производится путем последовательного встречного смещения трех средних валковых обойм в плоскости расположения валковых обойм.

При двухтреугольной схеме создание изгибающего момента производится путем смещения двух валковых обойм, второй и четвертой, в одном или встречном направлении в плоскости расположения валковых обойм.

Однако как показывает опыт эксплуатации данных типов косовалковых машин, их недостатком является невысокое качество правки концов круглых изделий, поскольку на длине, равной примерно половине шага, их концевые участки не подвергаются изгибу. Для исправления данного вида недостатка был проведен комплекс исследований по анализу напряженно-деформированного состояния металла при овализации поперечного сечения трубы [5]. При этом следует отметить, что в отличие от «классических» способов правки изгибом, данный подход подразумевает создание обжатия трубы валками.

Анализируя результаты проведенных исследований (рис. 2) можно разработать практические рекомендации по совершенствованию технологических режимов работы, состава и конструктивных параметров оборудования многороликовых машин для правки трубного металлопроката. Кроме того данные математические модели, используемые в качестве целевых функций, могут служить основой применительно к решению задач по автоматизированному расчету требуемой настройки многороликовых косовалковых трубоправильных машин.

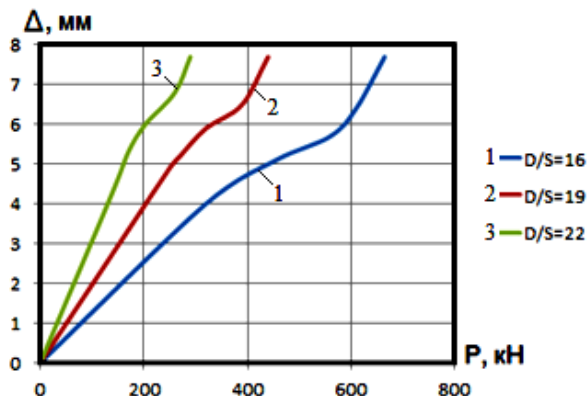


Рис. 2. Расчетные распределения силы овальной деформации при создании обжатия трубы валками правильной машины

В качестве критериальных оценок при автоматизированном проектировании технологических режимов и настройки оборудования процесса правки изгибом труб и трубных заготовок используются условия соответствия с требуемой степенью точности расчетных и заданных значений остаточного радиуса кривизны $\rho_{j\text{ост}}$, определяемого по методике, изложенной в работе [3], или связанной с данным показателем остаточная кривизна $\chi_{j\text{ост}}$.

Аналитически, следуя структуре метода целенаправленного перебора вариантов, данное решение формализовано следующим образом:

$$W_{j(k+1)} = W_{jk} + A_{w_j} \text{sign}\{\chi_{j\text{ост}k} - [\chi_{j\text{ост}}]\}, \quad (1)$$

где k – порядковый номер очередного цикла и итерационной процедуры решения;

A_{w_j} – шаг изменения настройки рабочих роликов трубоправильной машины;

$\text{sign}\{\chi_{j\text{ост}k} - [\chi_{j\text{ост}}]\}$ – функции знака, характеризующие векторную направленность процедуры итерационного решения, соответствующие аналитическим выражениям вида:

$$\text{sign}\{\chi_{j\text{ост}k} - [\chi_{j\text{ост}}]\} = \begin{cases} +1 \text{ при } \chi_{j\text{ост}k} > [\chi_{j\text{ост}}]; \\ 0 \text{ при } \chi_{j\text{ост}k} \leq [\chi_{j\text{ост}}]. \end{cases} \quad (2)$$

Помимо собственно самого оптимизационного решения автоматизированное проектирование настройки валков трубоправильной машины должно включать в себя проверку усилий правки, а именно при невыполнении условия $P_i < [P_{\text{овал}}]$ программа имеет возможность корректировки величины прогиба W_j рабочих валков трубоправильной машины, при этом дорабатывая недостающий прогиб принудительным обжатием трубы Δh .

Полученная с учетом изложенного выше блок-схема алгоритма автоматизированного проектирования технологических и конструктивных режимов правки труб на косовалковых трубоправильных машинах представлена на рис. 3.

Таким образом, при выборе рациональной схемы правки необходимо также учитывать конкретные геометрические характеристики изделий, подвергаемых правке.

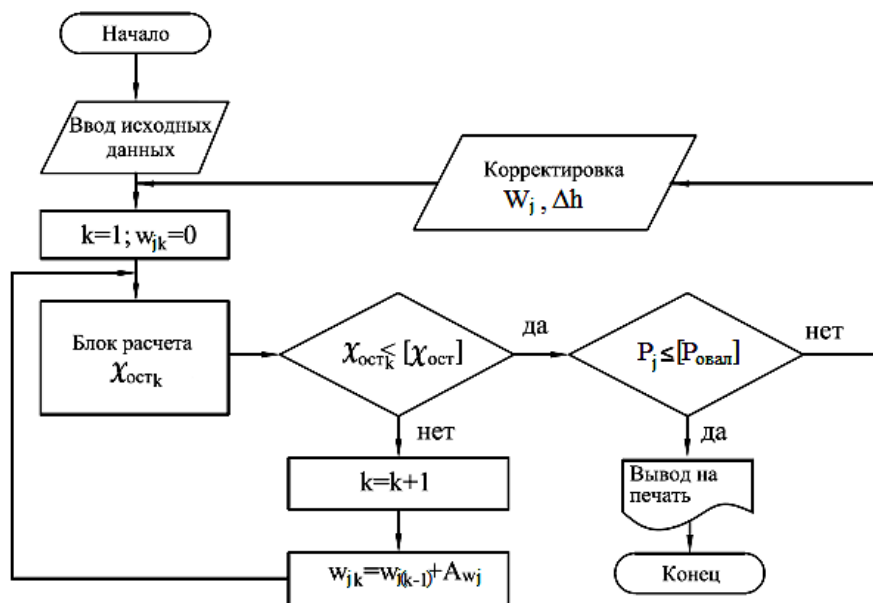


Рис. 3. Укрупненная блок-схема алгоритма автоматизированного проектирования технологических режимов работы и настройки оборудования косоваляковых трубоправильных машин

Проведенные теоретические исследования показали, что для определенного сортамента труб при правке на косоваляковых машинах имеет место наведение овальности их поперечного сечения. Это обусловлено тем, что трубы с относительно небольшой толщиной стенки сильно овалируются под воздействием усилия, имеющего место под роликом или валком при создании прогиба, необходимого для исправления продольной кривизны.

Для исключения такого эффекта следует определиться с граничными условиями наведения овализации сечения труб под воздействием усилий на валках правильной машины, т. е. применительно к практическому использованию определить границы, при которых возникают неравномерные напряжения и потеря круглости в сечении труб при правке чистым изгибом.

Результаты проведенных исследований позволили выявить определенную закономерность зависимости наружного диаметра труб D и отношения наружного диаметра труб к толщине стенки D/s . Полученная закономерность представлена на рис. 4.

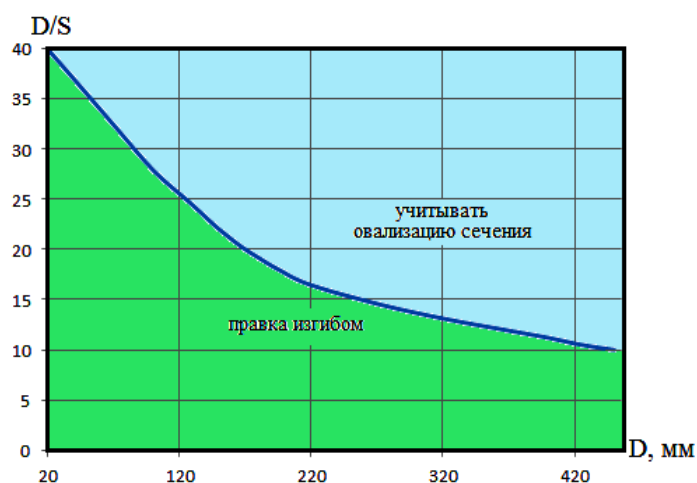


Рис. 4. Выбор настроечных параметров косоваляковых трубоправильных машин

Таким образом, в процессе правки на косоваляковой правильной машине труба подвергается деформациям следующих видов:

- изгибу по длине между последовательно расположенными обоймами валков;

- изгибу в пределах валков средней обоймы за счет специально выполненной профилировки этих валков [3];
- овализации в валках при создании прогиба;
- овализации в валках за счет принудительного защемления трубы.

При разработке технологии правки труб того или иного сортамента технологю, используя приведенные кривые, следует определиться какую из труб можно править чистым изгибом, а какую следует подвергнуть предварительному защемлению в валках, дабы избежать неравномерных упруго-пластических деформаций, вызванных «просадкой» стенки трубы в зоне контакта с прогибающим валком.

ВЫВОДЫ

Проведенный теоретический анализ полученного технического решения, в том числе с использованием метода конечных элементов, позволяет сделать вывод о целесообразности применения метода правки труб овальной деформацией. Использование предложенной схемы правки позволяет прогнозировать энергосиловые параметры процесса, что делает возможным модернизацию действующего оборудования, а также созданию нового оборудования, габаритные размеры и масса которого не превышает оборудование ведущих мировых производителей. Схему правки овальной деформацией следует рекомендовать к правке тонкостенных и особотонкостенных труб. Как показывают проведенные исследования, использование данного технического решения позволяет снизить продольную кривизну концевых участков в 1,5...2 раза.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Современное состояние мирового производства труб* / Ю. Г. Крупман, Л. С. Ляховецкий, О. А. Семенов [и др.]. – М. : Металлургия, 1992. – 353 с.
2. *Исследование процесса правки изгибом труб и трубных заготовок* / В. А. Федоринов, Д. В. Завгородний, В. Г. Пашков, А. Ю. Коляда // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском у металургії і машинобудуванні : зб. наук. пр. – Краматорськ : ДДМА, 2005. – С. 51–54.
3. *Завгородний Д. В. Совершенствование технологических режимов процесса и конструкций оборудования для правки труб и трубных заготовок : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.03.05 / Завгородний Денис Владимирович. – Краматорск : ДГМА, 2006. – 16 с.*
4. *Завгородний Д. В. Прецизионная правка толстостенных труб нефтяного сортамента на десятивалковых правильных машинах* / Д. В. Завгородний, О. А. Гаврильченко, А. В. Завгородний // *Обработка материалов давлением* : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2008. – № 1 (19). – С. 268–271.
5. *Конечно-элементное моделирование напряженно-деформированного состояния металла при правке труб овальной деформацией* / В. А. Федоринов, А. В. Завгородний, С. В. Тимошенко, А. А. Соломко // *Обработка материалов давлением* : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2011. – № 4(29). – С. 64–67.

Федоринов В. А. – канд. техн. наук, проф., зав. каф. АММ, ректор ДГМА;

Завгородний А. В. – ассистент кафедры АММ ДГМА;

Стриченко С. М. – вед. инж. ПАО «ЕМЗ»;

Лесовой М. О. – ассистент ПГТУ;

Андросов И. Ю. – студент ДГМА.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск;

ПАО «ЕМЗ» – Публичное акционерное общество «Енакиевский металлургический завод», г. Енакиево.

ПГТУ – Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь.

E-mail: amm@dgma.donetsk.ua