

➤ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ КРОМОК ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ ПРИ НЕПРЕРЫВНОЙ ВАЛКОВОЙ ФОРМОВКЕ

Известно [1], что основным недостатком непрерывной валковой формовки труб является появление в процессе формоизменения искривленных участков кромок трубной заготовки — так называемых гофров, представляющих собой следствие появления в кромках продольных сжимающих напряжений, определяющих их устойчивость. Причиной возникновения таких напряжений являются пластические деформации растяжения и сжатия, которые происходят при непрерывном знакопеременном гнбе полосы в валках формовочного стана. Гофрообразование затрудняет или делает невозможной последующую сварку заготовки. Этот недостаток наиболее явно проявляется при производстве тонкостенных труб или же труб из сталей высоких классов прочности.

Чтобы определить картину распределения продольных деформаций в зависимости от траектории центрального волокна трубной заготовки был проведен анализ процесса формовки труб на ТЭСА 203-530 АО "ВМЗ". Исследование

проведено в специализированном программном комплексе конечно-элементного моделирования COPRA FEA RF [2], основанном на базе решателя MSC Marc. В качестве объекта исследования выбрана труба диаметром 325 мм и толщиной стенки 5 мм. Труба изготавливается из двух марок сталей (20 и K56),

причем гофрообразование наблюдается только в случае использования стали класса прочности K56.

Исходными данными для моделирования послужила компоновка формовочно-сварочного стана непрерывной валковой формовки (рис. 1), реализованная в COPRA RF.

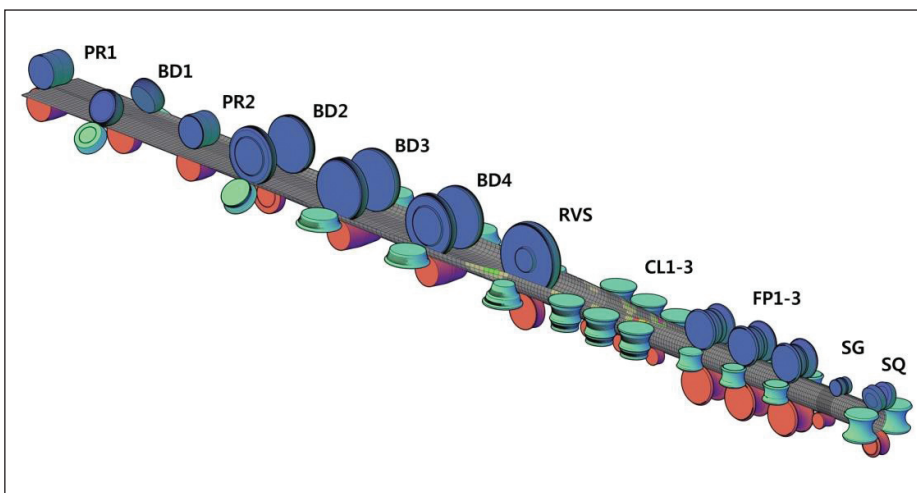
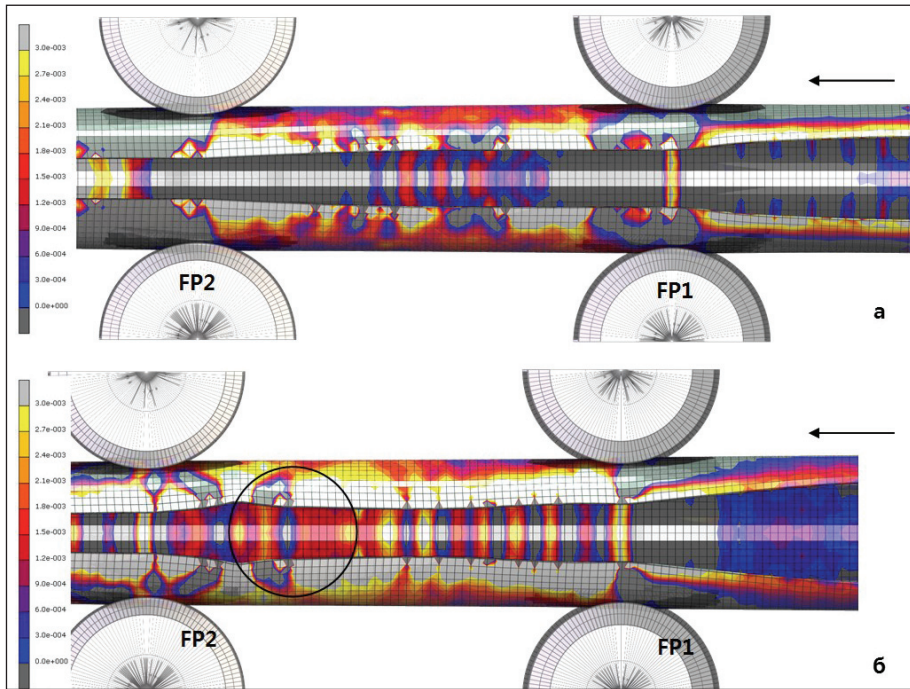


Рис. 1. Компоновка формовочно-сварочного стана 203-530



а – сталь 20; б – сталь K56

Рис. 2. Продольная пластическая деформация трубной заготовки в межклетьевом промежутке FP1-FP2 при производстве трубы $\varnothing 325 \times 5$ мм (вид сверху)

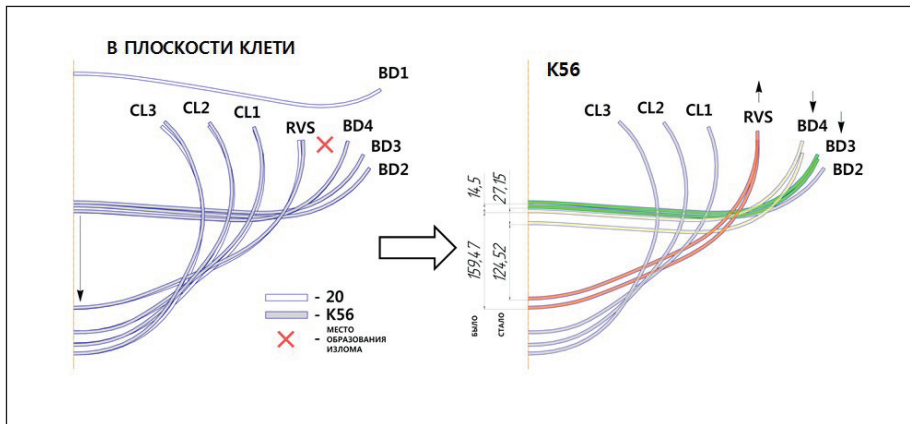


Рис. 4. Схема перераспределения величины опускания дна заготовки по клетям FFX

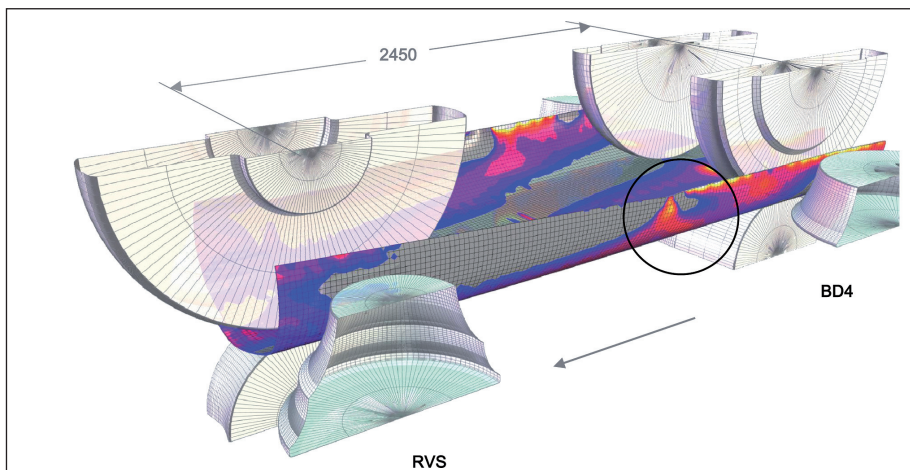


Рис. 5. Внешний вид перегибов кромки в межклетьевом промежутке BD4-RVS

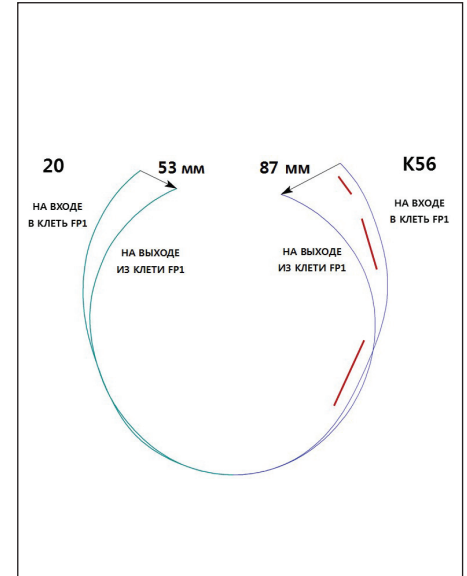


Рис. 3. Форма профиля трубной заготовки на входе и выходе из клетки FP1 при производстве труб из стали 20 и K56

Результаты моделирования формовки показали, что, не меняя текущую настройку стана, стабильность процесса сварки возможно обеспечить только при производстве труб $\varnothing 325 \times 5$ мм из стали 20, так как при формовке трубной заготовки, изготовленной из стали класса прочности K56, кромка теряет продольную устойчивость в межклетьевом промежутке FP1-FP2. Внешний вид излома показан на рис. 2.

В ходе анализа очага формоизменения были определены причины возникновения гофров. Одной из причин оказалось увеличение расстояния между кромками полосы и ее высоты перед клетью FP1 вследствие большего распруживания профиля трубной заготовки при формовке в предыдущих клетях стана (рис. 3). Поскольку увеличивается траектория перемещения кромок, становится больше и величина продольных деформаций, что способствует потере продольной устойчивости кромок в межклетьевом промежутке FP1-FP2.

Также установлено, что немаловажной причиной гофрообразования в группе клеток с закрытым профилем калибра FP1-3 является несовершенство схемы формоизменения в клетях стана предварительной формовки FFX (PR1-CL3), а именно неравномерность деформации кромок полосы из-за очага сворачивания. Как видно из рис. 4, одновременная большая величина опускания дна трубной заготовки в плоскости клетки RVS ведет к перегибам кромки в межклетьевом промежутке BD4-RVS (рис. 5)

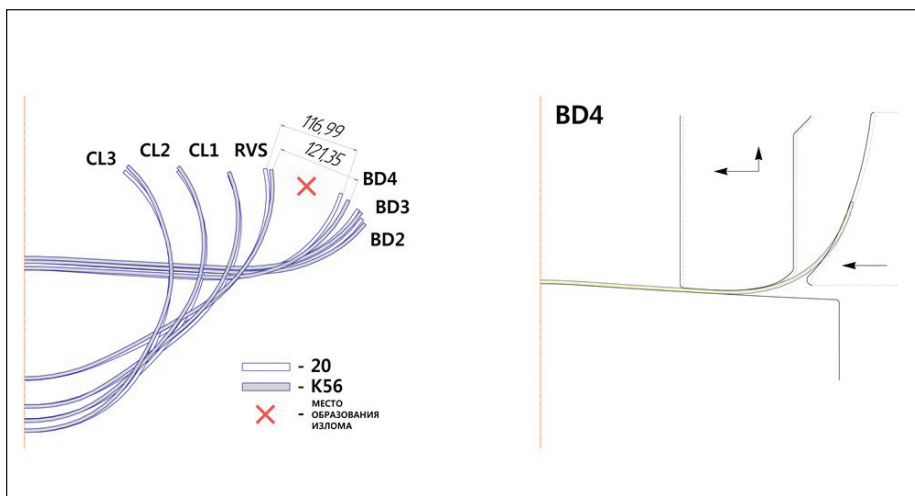


Рис. 6. Схема, демонстрирующая различия геометрии профиля трубной заготовки на выходе из клеток стана FFX при формовке труб $\varnothing 325 \times 5$ мм из различных марок сталей

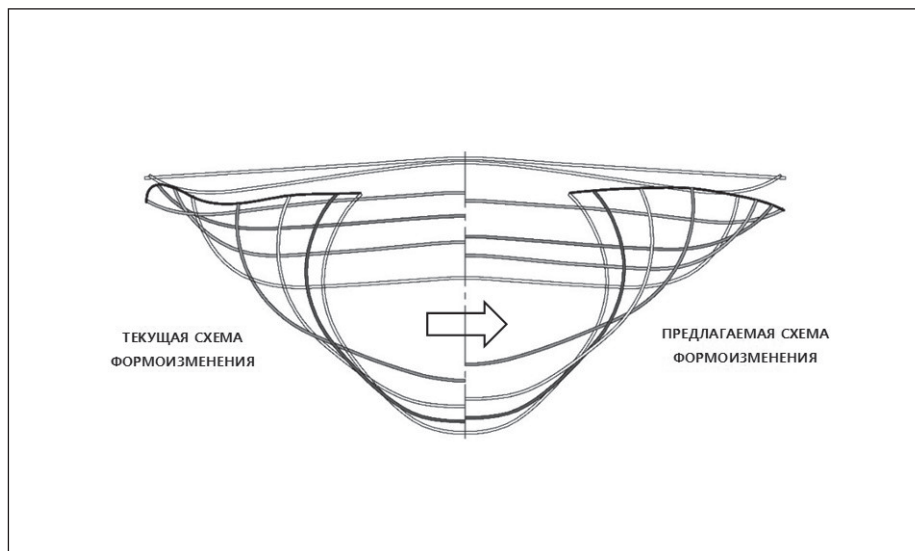


Рис. 7. Схема оптимальной траектории перемещения кромки и величины опускания дна трубной заготовки

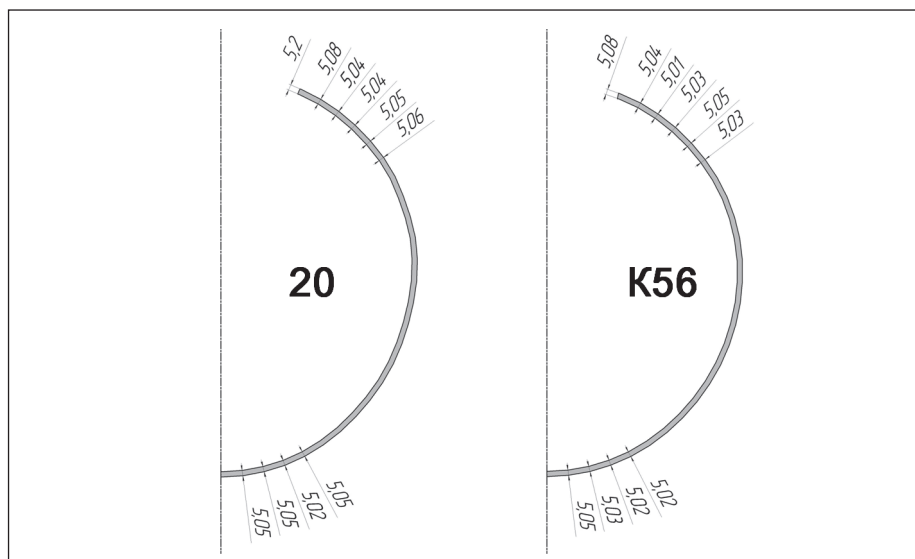


Рис. 8. Сечение трубной заготовки на выходе из клетки FP1

с периодом возникновения ~ 1200 мм, равным половине межклетьевого расстояния.

Кроме того, при формовке труб из стали K56 происходит увеличение траектории перемещения кромки за счет ее большего распрямления (рис. 6) на выходе из клетки BD4, что приводит к увеличению продольных деформаций и, как следствие, способствует формированию излома кромки в межклетьевом промежутке BD4-RVS по принципу, описанному выше.

Чтобы предотвратить потерю кривизны кромки заготовки, необходимо увеличить ширину подгибаемого участка профиля, скорректировав положение валков клетки BD4 согласно принципиальной схеме "доформовки", представленной на рис. 6.

Таким образом, устранить исходные перегибы кромки, способствующие формированию гофров в группе клеток с закрытым профилем калибра, позволит оптимизация схемы формоизменения заготовки в клетях стана предварительной формовки FFX за счет изменения координат положения рабочего инструмента. Схема "цветка формовки", оптимального для производства труб $\varnothing 325 \times 5$ мм из стали K56 (отражает геометрию профиля трубной заготовки на различных этапах ее формоизменения), представлена на рис. 7.

Устранение описанных причин гофрообразования в группе клеток FP необходимо, но недостаточно для обеспечения продольной устойчивости кромки. В ходе исследования было установлено, что главной причиной появления изломов является продольное течение металла прикромочной области при обжатии трубной заготовки из стали K56 в клетях с закрытым профилем калибра. Как видно на рис. 8, при обжатии заготовки из стали K56 не происходит утолщения прикромочной области — в отличие от формовки труб из стали 20.

Обнаружено, что вследствие применения ниспадающей схемы опускания дна трубной заготовки на стане FFX кромка "отстает" от тела формируемой трубы, как показано на рис. 9. Этот факт и отмеченное ранее течение металла прикромочной области в направлении формовки создают его избыток в межклетьевом промежутке FP1-FP2, формируя излом. Период образования непроваров сварного соединения, как и период формирования изломов кромки в межклетьевых промежутках группы клеток FP1-3,

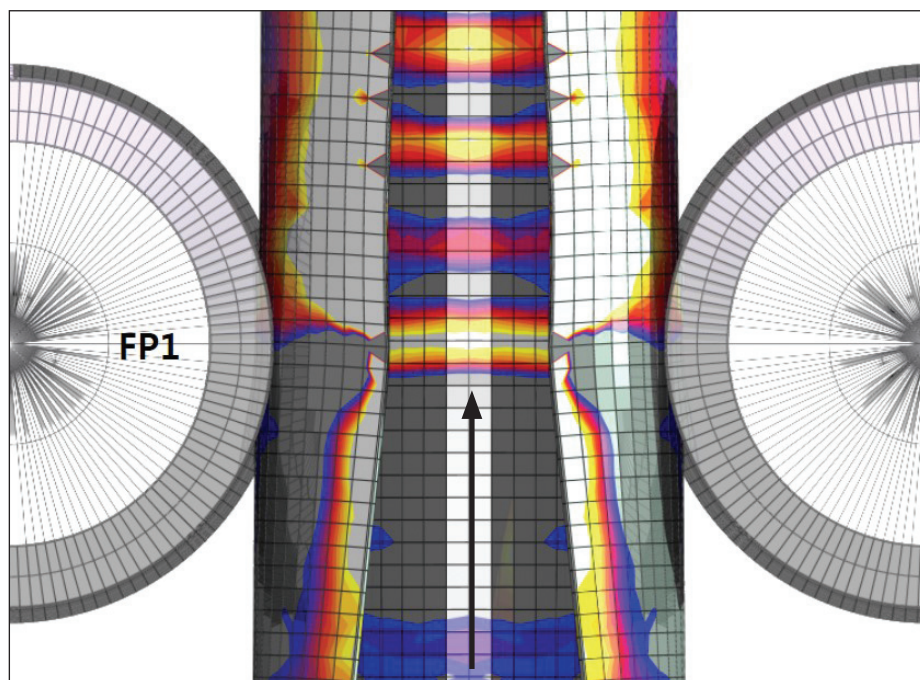


Рис. 9. Геометрия сетки после прохождения трубной заготовки стана предварительной формовки FFX

одинаков и равен ~600 мм — половине расстояния между ними.

Для обеспечения продольной устойчивости кромки предложено исключить обжатие трубной заготовки по периметру в первых двух клетях группы FP, предотвратив продольное течение металла прикромочной области, за счет уменьшения ширины исходной заготовки B_0 на величину Δ , определяемую по представленной ниже формуле:

$$\Delta = B_0 - (P_{\text{калиб FP2}} - k \cdot t),$$

где $P_{\text{калиб FP2}}$ — периметр калибра клетки FP2, мм;
 t — толщина стенки трубной заготовки, мм;
 k — коэффициент увеличения наружного периметра заготовки в клетях FFX.

Выводы

1. Создана модель формоизменения трубной заготовки на ТЭСА 203-530 АО "ВМЗ" в программном комплексе COPRA FEA RF (на базе MSC Marc).
2. Проведен конечно-элементный анализ процесса формовки труб 325×5 мм из сталей 20 и К56, который позволил установить следующие закономерности:

- путем подбора в вертикальной плоскости кривой положения центрального волокна трубной

Помимо обеспечения продольной устойчивости кромок, уменьшение ширины исходной заготовки позволило уменьшить расходный коэффициент металла более чем на 5 кг на тонну готовой продукции. Полученные закономерности имеют универсальный характер и на данный момент успешно подтверждены при производстве труб из стали К56 (диаметр 530 мм, стенка 6 мм)

заготовки имеется возможность сформировать такой очаг формовки, которому была бы характерна меньшая неравномерность продольных деформаций и меньшая величина их максимальных значений;

- формирование излома кромки (при производстве труб из сталей

высоких классов прочности) происходит вследствие продольного течения металла прикромочной области в направлении формовки при обжатии заготовки в клетях FP и "отставания" кромки от тела формируемой трубы по причине применения ниспадающей схемы опускания дна трубной заготовки на стане FFX;

- при формовке тонкостенных заготовок целесообразно сочетать мероприятия, предотвращающие появление гофров на кромках между клетями стана предварительной формовки FFX, с выбором оптимальной ширины штрипса, позволяющей исключить чрезмерное обжатие заготовки в стане окончательной формовки FP1-3.
3. Помимо обеспечения продольной устойчивости кромок, уменьшение ширины исходной заготовки позволило уменьшить расходный коэффициент металла более чем на 5 кг на тонну готовой продукции.

Полученные закономерности имеют универсальный характер и на данный момент успешно подтверждены при производстве труб из стали К56 (диаметр 530 мм, стенка 6 мм).

Литература

1. Иванов Е.И., Жуковский Б.Д., Калинушкин П.Н. О механизме деформации кромок при непрерывной валковой формовке трубных заготовок // Производство сварных труб: тематический отраслевой сборник. — М.: Металлургия, 1974, №3, с. 13-20.
2. Официальный сайт компании data M: www.datam.de.
3. Совершенствование производства сварных труб / Рымов В.А., Полухин П.И., Потапов И.Н. — М.: Металлургия, 1983. 312 с.

*Дмитрий Новокшионов
АО "Выксунский
металлургический завод",*

*Ольга Соколова
МГТУ им. Н.Э. Баумана,*

*Антон Лепестов
ЗАО "СиСофт"*