

Обработка металлов давлением. Технологии и машины обработки давлением

УДК 621.774.32/38

DOI: 10.14529/met170310

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ПРОШИВНОМ ПРЕССЕ ТРУБОПРЕССОВОЙ ЛИНИИ

С.Р. Рахманов

*Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепр, Украина;
ООО «НПФ «Восток Плюс», г. Днепр, Украина*

Составлена математическая модель динамики процесса прошивки или экспандирования трубной заготовки на прошивном прессе трубопрессовой линии. Рассмотрено осесимметричное течение металла (рабочей среды) между контейнером и оправкой или экспандером. Установлен характер распределения давления металла и напряжений в очаге деформации. Из условия минимума осевого сопротивления оправки или экспандера потоку металла установлена рациональная форма её образующей. Показана достоверность полученных результатов путем идентификации диагностируемых данных прошивного пресса.

Ключевые слова: трубная заготовка; прошивка; экспандирование; пресс; оправка; труба; математическая модель; рабочая среда; уравнение Навье – Стокса; давление; касательное напряжение; осевое сопротивление; калибровка.

Введение

В мировой практике производства бесшовных горячекатаных труб из малопластичных нержавеющей сталей и труднодеформируемых сплавов широкое применение находят процессы горячего прессования [1–6].

Условия функционирования оборудования для производства бесшовных стальных труб и особенности реализации современных технологических процессов на трубопрессовых линиях установили определенные приоритеты в данном направлении. При этом повышение эффективности технологических процессов прошивки сплошной или экспандирования предварительно сверленной трубной заготовки путем совершенствования как технологии производства, так и модернизации оборудования прошивного пресса выдвигают ряд актуальных задач. К ним относятся: выбор рациональных решений, связанных в конечном итоге с оптимизацией качества бесшовных горячекатаных труб; отработка требуемых технологических характеристик; прогнозирование показателей стойкости технологического инструмента и надежности функционирования трубопрессового оборудования. Данные вопросы диктуют кардинально новые подходы к рассматриваемой задаче.

Очевидно, что прогнозирование существующих и разработка новых технологических процессов производства горячекатаных труб в рамках данной задачи указывают на необходимость создания корректных математических моделей технологических процессов, адекватно отражающих условия прошивки или экспандирования трубных заготовок на современных прошивных прессах трубопрессовых установок (рис. 1).

Необходимо подчеркнуть, что при прошивке или экспандировании предварительно просверленных трубных заготовок из труднодеформируемых сталей и их сплавов для уменьшения сил трения в очаге деформации и стабилизации самого технологического процесса используются различные приемы. Например, чистоту и качество поверхности при прессовании труб из малопластичных материалов обеспечивают применением специальных технологических смазок. Для этой цели, как правило, в промышленных условиях преимущественно применяют различные порошки, смазочные шайбы, жидкую или стекловидную смазку. Однако данные мероприятия коренным образом не устраняют узкие места при производстве высококачественных труб.

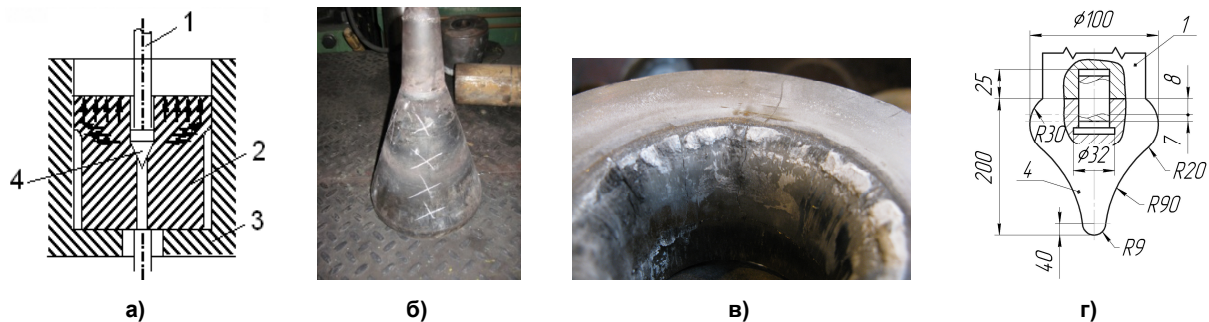


Рис. 1. Схема технологического процесса экспандирования трубной заготовки (а); картины износа экспандера (б), контейнера (в); оправка (г) вертикального прошивного пресса 12 МН фирмы SMS MEER трубопрессовой линии. 1 – стержень (игла); 2 – трубная заготовка; 3 – контейнер; 4 – экспандер (оправка)

Отметим, что вследствие несовершенства формы образующей рабочей поверхности оправки или экспандера в процессе прошивки или экспандирования трубной заготовки она подвергается интенсивному износу обтекающим потоком горячего металла. Преимущественно это приводит к существенному увеличению осевого сопротивления оправки или экспандера, изменению прямолинейного устойчивого положения поддерживающей иглы по оси прошивки и, как следствие, к ухудшению качества прошитых гильз.

Очевидно, что в данном случае на передний план выдвигается проблема оптимизации самого процесса прошивки или экспандирования путем выбора рациональных параметров технологического процесса и инструментов, что неразрывно связано с развитием фундаментальных методов исследования очага деформации [1, 2]. Отметим, что нарушение проектных размеров полученных гильз вызвано, в основном, изменением геометрических размеров оправки или экспандера и в результате их интенсивного износа в процессе прошивки и дальнейшего искажения оси контейнера.

Постановка задачи

Реализация устойчивых процессов прошивки трубной заготовки с относительно высокими темпами деформации металла обуславливает разработку принципиально новых физических и математических моделей рассматриваемого технологического процесса, что в основном базируется на развитии результатов ранее проведенных исследований [3, 4].

Задача выбора параметров технологического инструмента для прошивки или экспандирования трубных заготовок с применением методов расчета калибровки в теоретическом плане недостаточно полно изучена и в ограни-

ченном объеме изложена в ряде работ [5, 6]. В существующей литературе отсутствуют строгие рекомендации и однозначные предложения по выбору рациональных геометрических параметров технологического инструмента (калибровок экспандера или оправки).

Характерно то, что при отработке конкретных режимов прошивки или экспандирования трубных заготовок на этапе проектирования технологических процессов возникают определенные трудности, обусловленные особенностями динамики функционирования очага деформации.

Цель работы

Целью данной работы является разработка практических рекомендаций по выбору рациональных параметров (калибровке) технологического инструмента путем создания динамической модели технологического процесса прошивки или экспандирования трубной заготовки. Ниже приведены наиболее значимые выкладки, где сделана определенная попытка получить корректную математическую модель процесса прошивки или экспандирования трубной заготовки на основе базовых положений динамической аналогии течения металла в очаге деформации.

Метод решения задачи

В основу гидродинамического моделирования очага деформации с принятой реологией рабочей среды положены динамические процессы при прошивке или экспандировании трубной заготовки. Данная методика расчета характерна и особенно эффективна при высокоскоростной прошивке или экспандирования трубной заготовки на прошивном прессе. В этом случае требуется установить соответствие предложенной реологии рабочей среды и

гидродинамической модели физическим и граничным условиям процесса прошивки или экспандирования металла на прошивном прессе.

Очаг деформации прошивного пресса и динамические процессы прошивки сплошной или экспандирования сверленной трубной заготовки в гильзы требуемых размеров в дальнейшем моделируем на основе динамической аналогии очага деформации [5]. При этом обтекающий поток металла рассматривается как вязкопластическая среда (принятая реология), которая размещена в ограниченном пространстве осесимметричного очага деформации, образованном контейнером и оправкой или экспандером заданных геометрических размеров (рис. 2).

Следовательно, в рамках принятой вязкопластичной реологии рабочей среды и динамической модели технологического процесса удобно воспользоваться цилиндрической системой координат и фундаментальными уравнениями Навье – Стокса [3, 6]. После отбрасывания ряда второстепенных слагаемых дифференциальные уравнения Навье – Стокса для осесимметричной динамической модели процесса прошивки или экспандирования можно записать в виде:

$$\frac{\partial p}{\partial r} = \mu \left(\nabla^2 v_r - \frac{v_r}{r^2} \right); \quad (1)$$

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \mu \nabla^2 v_x, \quad (2)$$

где

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{\partial^2}{\partial x^2} \quad (3)$$

– обобщенный оператор Лапласа; μ – коэффициент вязкого сопротивления металла (рабочей среды); p – давление металла в очаге деформации; v_r, v_x – соответственно радиальная и осевая составляющая скорости движения металла (рабочей среды) в очаге деформации.

Коэффициент вязкого сопротивления рабочей среды в данной постановке задачи определяется графическим дифференцированием механических характеристик прошиваемого металла в напряженно-деформированном состоянии согласно [6].

Уравнение неразрывности при движении потока металла между контейнером и оправкой или экспандером в принятой постановке осесимметричной задачи с динамической моделью «вязкой» рабочей среды записывается в форме

$$\frac{\partial(rv_r)}{\partial r} + \frac{\partial(rv_x)}{\partial x} = 0. \quad (4)$$

В дифференциальных уравнениях (1), (2) и уравнении неразрывности потока металла (4) следует учесть, что осевая составляющая ско-

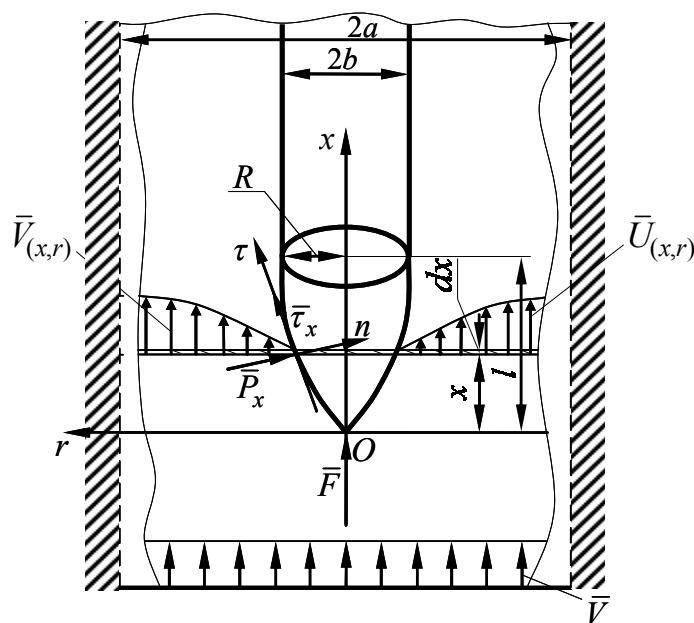


Рис. 2. Расчетная схема процесса прошивки сплошной или экспандирования сверленной трубной заготовки на прессе (процесс обтекания оправки или экспандера потоком металла)

рости движения металла намного превышает радиальную составляющую $v_r \ll v_x$, следовательно, можно принимать $v_r = 0$; $\frac{\partial(v_r)}{\partial x} = 0$.

Это установлено существующими ограничениями границ очага деформации по контейнеру и оправке.

Если оправку или экспандер прессы в обтекающем потоке металла считать относительно «тонкой» ($R/l \ll 1$), то можно предположить $v_x = U(x, r)$, что $\frac{\partial(U(x, r))}{\partial x} \ll \frac{\partial(U(x, r))}{\partial r}$.

Тогда дифференциальные уравнения (1) и (2), в рамках данной реологии рабочей среды и предложенной динамической модели (при $\frac{\partial p}{\partial r} = 0$), запишутся в виде преобразований Пуазейля [5]

$$\frac{dp}{dx} = \mu \left(\frac{\partial U}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial r} \right), \quad (5)$$

где $U(x, r)$ – осевая составляющая скорости течения металла в очаге деформации.

Для удобства решения задачи на базе динамической аналогии технологического процесса систему уравнений (5) представим в безразмерной форме

$$\frac{d\bar{p}}{d\bar{x}} = \frac{\partial \bar{U}}{\partial \bar{r}^2} + \frac{1}{\bar{r}} \frac{\partial \bar{U}}{\partial \bar{r}}, \quad (6)$$

где $\bar{r} = r/a$; $\bar{x} = x/a$; $\bar{p} = \frac{pa}{\mu v}$; $\bar{U} = \frac{U}{v}$ – соответствующие безразмерные параметры уравнения (6) и очага деформации в процессе прошивки или экспандирования; v – постоянная осевая составляющая скорости движения металла; a – радиус втулки контейнера.

Интегрируя дифференциальное уравнение (6), согласно [3, 4], с учетом постоянства градиента давления, получаем выражение для определения скорости течения потока металла в очаге деформации

$$\bar{U}(\bar{x}, \bar{r}) = \frac{1}{4} \frac{d\bar{p}}{d\bar{x}} \bar{r}^2 + c_1(\bar{x}) + c_2(\bar{x}) \ln \bar{r}, \quad (7)$$

где $c_1(\bar{x})$ и $c_2(\bar{x})$ – параметры интегрирования задачи.

Воспользуемся соответствующими граничными условиями задачи в очаге деформации в виде характерных условий взаимодействия металла с втулкой контейнера и оправ-

кой или экспандером. На соответствующих границах данных технологических инструментов в процессе прошивки или экспандирования имеет место

$$\bar{U}|_{\bar{r}=1} = 1; \quad \bar{U}|_{\bar{r}=\bar{R}(\bar{x})} = 0, \quad (8)$$

где $\bar{R}(\bar{x})$ – уравнение образующей поверхности оправки или экспандера в данном сечении \bar{x} очага деформации.

Из уравнения (7), используя условия взаимодействия металла с технологическими инструментами (8) (контейнером и оправкой или экспандером), соответственно определяем параметры интегрирования $c_1(\bar{x})$ и $c_2(\bar{x})$ в виде:

$$c_1(\bar{x}) = 1 - \frac{1}{4} \frac{d\bar{p}}{d\bar{x}};$$

$$c_2(\bar{x}) = \frac{1}{4 \ln \bar{R}(\bar{x})} \frac{d\bar{p}}{d\bar{x}} \left[1 - \bar{R}^2(\bar{x}) \right]. \quad (9)$$

Для определения градиента давления воспользуемся условиями неразрывности потока металла в очаге деформации прошивного прессы в форме постоянства расхода рабочей среды. Учитывая условия течения металла между контейнером и оправкой или экспандером в очаге деформации, для квазиустойчивого процесса уравнение неразрывности потока металла можно записать в следующей безразмерной форме

$$\int_{\bar{R}(\bar{x})}^1 2\bar{U}\bar{r}d\bar{r} = 1. \quad (10)$$

Произведя соответствующие подстановки и ряд необходимых преобразований, из уравнения (10) с учетом (9) находим градиент давления в очаге деформации

$$\frac{d\bar{p}}{d\bar{x}} = \frac{f_1[\bar{R}(\bar{x})]}{f_2[\bar{R}(\bar{x})]}, \quad (11)$$

где

$$f_1[\bar{R}(\bar{x})] = 2\bar{R}(\bar{x}) - 1;$$

$$f_2[\bar{R}(\bar{x})] = \frac{1 - \bar{R}^4(\bar{x})}{8} -$$

$$- \frac{1 - \bar{R}(\bar{x})}{2} \left[\frac{1 - \bar{R}^3(\bar{x})}{4\bar{R}(\bar{x}) \ln \bar{R}(\bar{x})} - \frac{1}{\ln \bar{R}(\bar{x})} \right] \times$$

$$\times \left[0,5 + \bar{R}^2(\bar{x}) [\ln \bar{R}(\bar{x}) - 0,5] \right]. \quad (12)$$

Интегрируя выражение (11) с известными граничными условиями задачи $\bar{p}|_{\bar{x}=\bar{l}} = 0$, для квазистационарного технологического процесса прошивки или экспандирования трубной заготовки запишем интегральное уравнение для определения безразмерного давления в рассматриваемом сечении \bar{x} очага деформации

$$\bar{p}(\bar{x}) = - \int_{\bar{x}}^{\bar{l}} \frac{f_1[\bar{R}(\bar{x})]}{f_2[\bar{R}(\bar{x})]} d\bar{x}. \quad (13)$$

Опираясь на ранее принятые условия стационарного течения металла в очаге пресса, касательное напряжение в рамках гидродинамической модели и принятой реологии процесса обтекания оправки или экспандера потоком горячего металла (рабочей среды) определяем согласно [5] из закона вязких трений Ньютона

$$\tau(r, x) = \mu \left. \frac{\partial U(r, x)}{\partial r} \right|_{r=R(x)}. \quad (14)$$

Следовательно, при определенных граничных условиях взаимодействия оправки или экспандера в обтекающем потоке горячего металла (вязкой среды) в процессе прошивки или экспандирования трубной заготовки имеет место

$$\bar{\tau} = \frac{\tau a}{\mu V} \quad \text{или} \quad \bar{\tau} = \left. \frac{\partial \bar{U}}{\partial r} \right|_{r=\bar{R}(\bar{x})}. \quad (15)$$

Используя выражение (7), находим касательное напряжение на рабочей поверхности оправки или экспандера ($\bar{r} = \bar{R}(\bar{x})$) в рассматриваемом сечении \bar{x} очага деформации

$$\bar{\tau}(x) = \frac{1}{2} \frac{d\bar{p}}{d\bar{x}} \bar{R}(\bar{x}) + c_2(\bar{x}) \frac{1}{\bar{R}(\bar{x})}. \quad (16)$$

После подстановки параметров интегрирования (9) и градиента давления (11) в уравнение (16) и незначительных преобразований окончательно найдем касательное напряжение на рабочей поверхности оправки или экспандера в виде:

$$\bar{\tau}(x) = \frac{1}{2} \frac{f_1[\bar{R}(\bar{x})]}{f_2[\bar{R}(\bar{x})]} \bar{R}(\bar{x}) + \left[\frac{1}{4 \ln \bar{R}(\bar{x})} \frac{f_1[\bar{R}(\bar{x})]}{f_2[\bar{R}(\bar{x})]} \left[1 - \bar{R}^2(\bar{x}) \right] - \frac{1}{\ln \bar{R}(\bar{x})} \right] \frac{1}{\bar{R}(\bar{x})}. \quad (17)$$

Осевое сопротивление оправки (сила прошивки) или экспандера (сила экспандирования) на прошивном прессе с учетом динамической модели процесса определяется из условия взаимодействия инструментов со сплошным обтекающим потоком металла в очаге деформации

$$F = \int_0^l 2\pi R(x) R'(x) p(x) dx + \int_0^l 2\pi R(x) \tau(x) dx, \quad (18)$$

где l – длина рабочего участка оправки или экспандера.

Для удобства решения задачи воспользуемся ранее принятыми безразмерными параметрами задачи. После подстановки (11) и (17) в выражение (18) осевое сопротивление оправки или экспандера представим в безразмерной форме

$$\begin{aligned} \bar{F} = & - \int_0^{\bar{l}} \bar{R}(\bar{x}) \bar{R}'(\bar{x}) \left[\int_{\bar{x}}^{\bar{l}} \frac{f_1[\bar{R}(\bar{x})]}{f_2[\bar{R}(\bar{x})]} d\bar{x} \right] d\bar{x} + \int_0^{\bar{l}} \left[\frac{1}{2} \frac{f_1[\bar{R}(\bar{x})]}{f_2[\bar{R}(\bar{x})]} \bar{R}(\bar{x}) + \right. \\ & \left. + \left[\frac{1}{4 \ln \bar{R}(\bar{x})} \frac{f_1[\bar{R}(\bar{x})]}{f_2[\bar{R}(\bar{x})]} \left[1 - \bar{R}^2(\bar{x}) \right] - \frac{1}{\ln \bar{R}(\bar{x})} \right] \frac{1}{\bar{R}(\bar{x})} \right] d\bar{x}. \end{aligned} \quad (19)$$

Сходимость интегрального уравнения (19) в целом обеспечивается тем, что соблюдаются основные условия сходимости отдельных слагаемых. Условия сходимости силы осевого сопротивления (19) указывают на то, что параметры процесса прошивки или экспандирования в рассматриваемом сечении \bar{x} очага деформации устойчивы.

Осевое сопротивление оправки или экспандера в потоке металла окончательно определяется

$$F = 2\pi\omega a \bar{F}. \quad (20)$$

Далее, в первом приближении, для наиболее распространенных условий эксплуатации прошивного пресса, задаваясь определенной формой образующей оправки или экспандера, находим характер распределения энергосиловых параметров в очаге деформации. Кривые, приведенные на рис. 3, для некоторых наиболее распространенных или характерных форм образующих экспандера диаметром 90 мм прошивного пресса 12 МН, обуславливают распределение давления и касательных напряжений в очаге деформации и их изменение по всей длине рабочей поверхности образующих как экспандера, так и втулки контейнера.

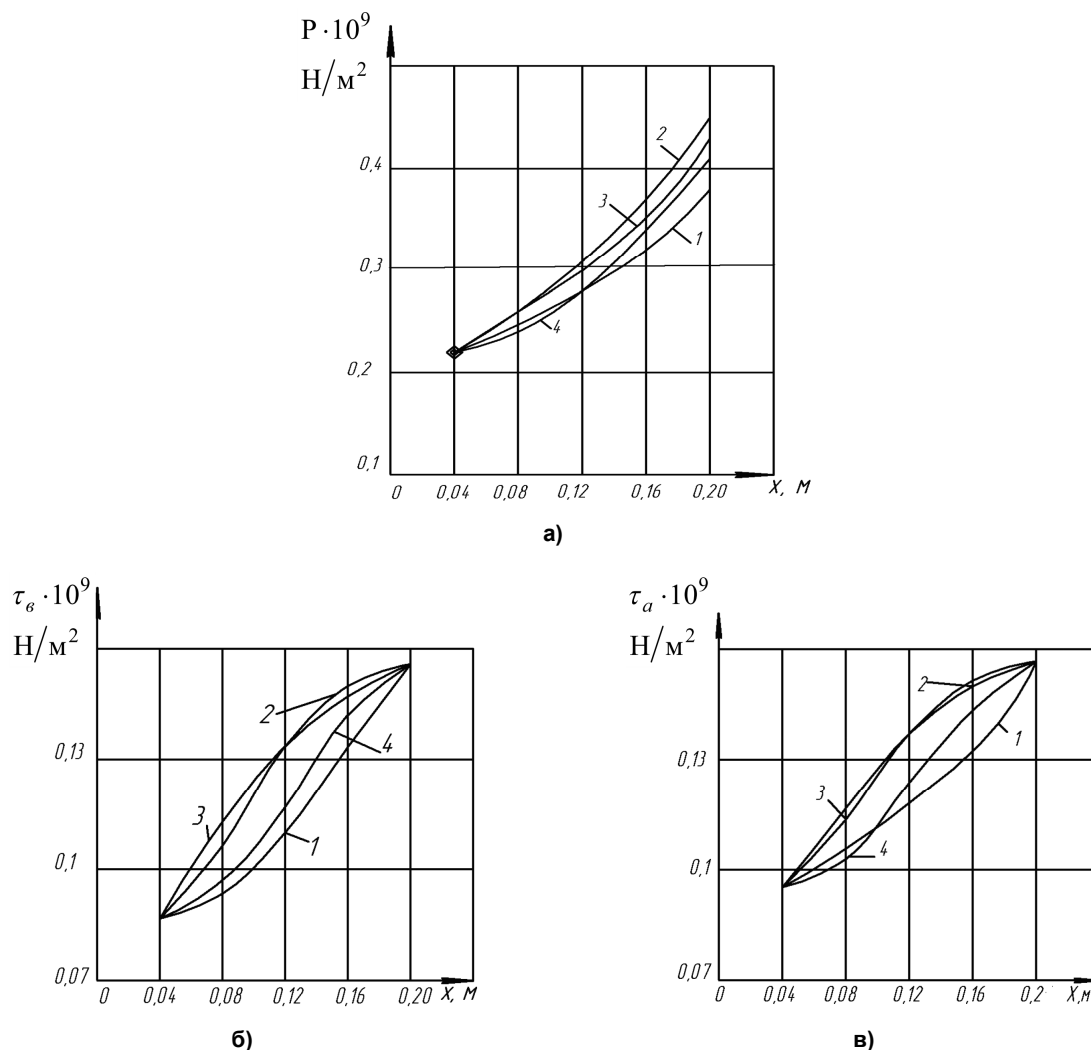


Рис. 3. Распределение давления металла и касательных напряжений в очаге деформации в процессе экспандирования круглых заготовок на прошивном прессе 12 МН фирмы SMS MEER (заготовка $\varnothing 180$, экспандер $\varnothing 90$, материал 12Х18Н10Т, $\mu = 6,8 \cdot 10^{-4}$ Па·с): а – распределение давления в очаге деформации; б – распределение касательных напряжений на поверхности оправки; в – распределение касательных напряжений на поверхности контейнера (принятые формы образующей оправки: 1 – конус; 2 – парабола; 3 – тор; 4 – кубическая парабола)

Путем моделирования процессов экспандирования трубной заготовки переходим к проектированию экспандера рациональной формы. В первом приближении путем подбора параметров и формы образующей экспандера минимизируем его осевое сопротивление обтекающему потоку металла. Например, для заданной формы образующей экспандера удобно минимизировать осевую составляющую усилия прошивки \bar{F} на заданной длине оправки l . Поскольку радиус калибрующего пояса экспандера R известен, то исходим из условия необходимости образования

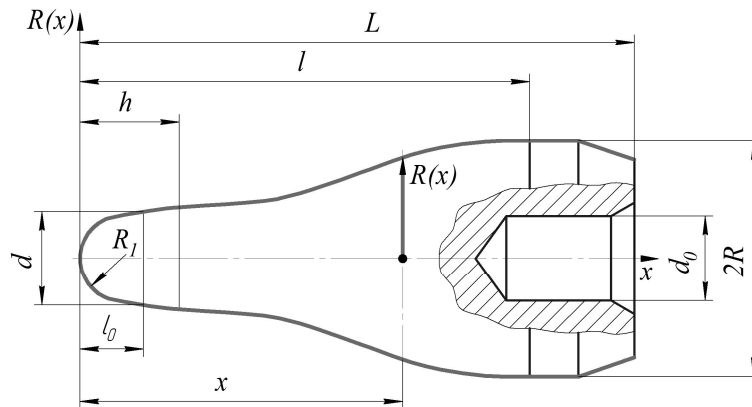


Рис. 4. Экспандер прошивного прессы 12 МН фирмы SMS MEER рациональной калибровки (бутылочнообразная форма)

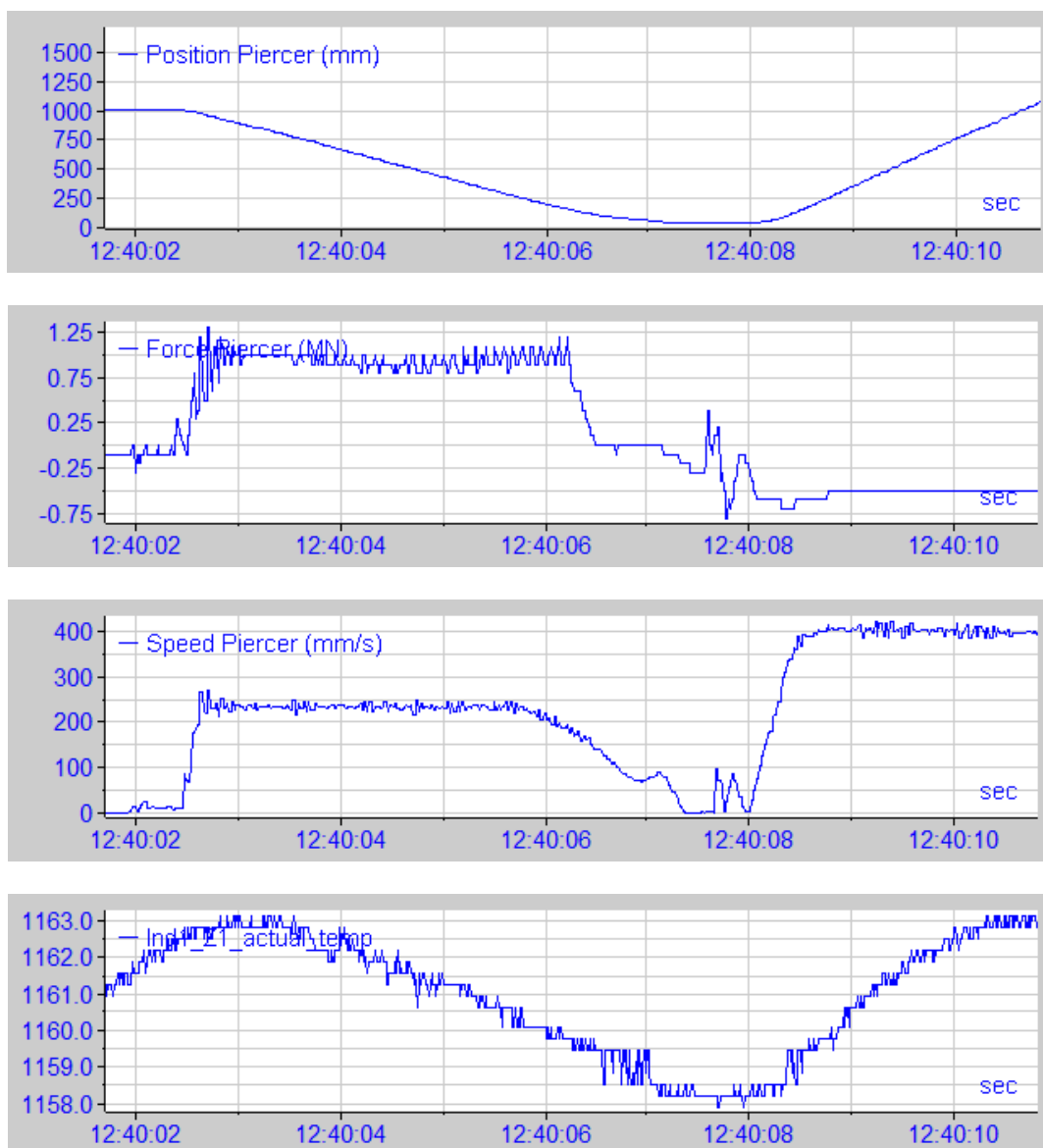


Рис. 5. Типовая осциллограмма процесса экспандирования предварительно сверленной трубной заготовки на прошивном прессы 12 МН фирмы SMS MEER трубопрессовой линии (заготовка $\varnothing 180$ мм, материал 12Х18Н10Т, экспандер $\varnothing 90$ мм)

полых гильз (труб) с требуемыми геометрическими размерами. Такой подход приводит к некоторому увеличению расчетной длины экспандера, что в ряде случаев обуславливает нарушение стабильности очага деформации. При этом одновременно путем минимизации функционала осевого сопротивления экспандера потоку металла достигнуто заметное повышение устойчивости процесса прошивки, что приводит к заметному снижению разностенности гильз.

Результаты исследования показывают, что экспандер диаметром 80 мм с формой образующей, соответствующей кубической параболе, при прочих равных условиях обеспечивает рациональное распределение давления металла и касательных напряжений по всей длине очага деформации в процессе экспандирования гильзы. Необходимо отметить, что через определенное время эксплуатации экспандера с конической образующей рабочая поверхность приобретает «бутылочнообразную» форму (рис. 4), которая по картине износа идентифицируется с некоторой кривой, приближенно совпадающей с кубической параболой. Очевидно, образующая рабочей поверхности оправки с течением времени приспособляется к реальным условиям экспандирования. Полученные результаты удовлетворительно совпадают с экспериментальными данными, приведенными в работах [7, 8].

Уточнение решения задачи по оптимизации очага деформации возможно с применением одного из известных методов (метод Гаусса – Зейделя, Эйлера и др.) [3, 6]. При этом из условия минимума силы осевого сопротивления оправки или экспандера металлу в очаге деформации определяем рациональную форму образующей ее рабочей поверхности.

Идентификацией результатов диагностики технологического процесса экспандирования трубной заготовки на прошивном прессе 12 МН фирмы SMS MEER трубопрессовой линии системой «ANALIZISIS» и методами математической статистики установим зависимость между энергосиловыми параметрами процесса и формой технологического инструмента (рис. 5).

Повышение эксплуатационной стойкости и снижение потребления дорогостоящих технологических инструментов (оправок или экспандеров) обеспечивается рациональным распределением энергосиловых параметров

прошивки в очаге деформации и оптимизацией формы образующей рабочей поверхности.

Следует подчеркнуть, что путем моделирования необходимых условий течения металла в очаге деформации, на соответствующем этапе проектирования технологического процесса, назначаются рациональные режимы (устойчивые условия) прошивки сплошных или экспандирования сверленных трубных заготовок в гильзы заданных размеров.

Выводы

1. На основе фундаментальной теории гидродинамической аналогии и принятой реологии металла трубной заготовки предложена обобщенная математическая модель процесса прошивки или экспандирования трубной заготовки на прошивном прессе.

2. Определены энергосиловые параметры в процессе прошивки или экспандирования трубной заготовки. Для квазистационарных условий реализации технологического процесса и осесимметричного очага деформации определены: давление металла, касательные напряжения и сила осевого сопротивления оправки потоку металла.

3. Установлен функционал осевого сопротивления оправки обтекающему потоку металла, что позволило моделировать и обеспечивать необходимые условия реализации устойчивых технологических процессов на прошивном прессе.

4. Исходя из условия минимума функционала осевого сопротивления оправки в обтекающем потоке металла, предложена рациональная форма образующей рабочей поверхности (калибровка) оправки или экспандера.

Литература

1. Данилов, Ф.А. Горячая прокатка и прессование труб / Ф.А. Данилов, А.З. Глейберг, В.Г. Балакин. – М.: Металлургия, 1972. – 576 с.

2. Технология трубного производства: учеб. для вузов / В.Н. Данченко, А.П. Коликов, Б.А. Романцев, С.В. Самусев. – М.: Интермет Инжениринг, 2002. – 640 с.

3. Гун, Г.Я. Теоретические основы обработки металлов давлением / Г.Я. Гун. – М.: Металлургия, 1980. – 456 с.

4. Борисов, С.И. Аналитический метод определения усилия при прессовании стальных труб / С.И. Борисов, А.Е. Притоманов // Ин-

женерные методы расчета технологических процессов обработки металлов давлением. – М.: Metallurgizdat, 1964. – С. 350–355.

5. Колмогоров, Г.Л. Вопросы гидродинамической смазки при прессовании материалов жидкостью высокого давления / Г.Л. Колмогоров, Т.Е. Мельников // *Физика и техника высоких давлений*. – 1981. – № 3. – С. 91–96.

6. Гуляев, Ю.Г. Математическое моделирование процессов обработки металлов давлением / Ю.Г. Гуляев, С.А. Чукмасов,

А.В. Губинский. – Киев: Наукова думка, 1986. – 240 с.

7. Рахманов, С.Р. Динамические процессы при прошивке трубной заготовки на прессе / С.Р. Рахманов, О.Г. Гоман // *Сталь*. – 2010. – № 6. – С. 73–78.

8. Рахманов, С.Р. Математическое моделирование процессов вибрационной прошивки трубной заготовки на прошивном прессе / С.Р. Рахманов // *Вибрация в технике и технологиях*. – 2010. – № 3. – С. 99–108.

Рахманов Сулейман Рахманович, канд. техн. наук, доцент кафедры теоретической механики и сопротивления материалов, Национальная металлургическая академия Украины; директор, ООО «НПФ «Восток Плюс», г. Днепр, Украина; npfvostokplus@gmail.com.

Поступила в редакцию 20 марта 2017 г.

DOI: 10.14529/met170310

MODELLING OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AT THE PIERCING PRESS OF A PIPE PRESSING LINE

S.R. Rakhmanov, npfvostokplus@gmail.com

National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnepr, Ukraine;
Vostok Plus, Ltd, Dnepr, Ukraine

A mathematical model of process dynamics of piercing or expanding of a tube preparation on a piercing press of pipe pressing line is composed. Axisymmetrical flow of the metal (working medium) between the container and the mandrel or expander is considered. The distribution character of metal pressure and stresses in the deformation zone is established. The rational shape of the mandrel generating line is determined from the condition of minimum axial resistance of the mandrel or expander to the metal flow. Reliability of the obtained results is shown by means of identification of diagnosed data for a piercing press.

Keywords: pipe preparation; piercing; expanding; press; mandrel; pipe; mathematical model; working medium; Navier–Stokes’s equation; pressure; tangent stress; axial resistance; calibration.

References

1. Danilov F.A., Gleyberg A.Z., Balakin V.G. *Goryachaya prokatka i pressovanie trub* [Hot Rolling and Pressing of Pipes]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1972. 576 p.
2. Danchenko V.N., Kolikov A.P., Romantsev B.A., Samusev S.V. *Tekhnologiya trubnogo proizvodstva* [Technology of Pipe Production]. Moscow, Internet Engineering Publ., 2002. 640 p.
3. Gun G.Ya. *Teoreticheskie osnovy obrabotki metallov davleniem* [Theoretical Bases of Metal Deformation]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1980. 456 p.
4. Borisov S.I., Pritomanov A.E. [An Analytical Method for Determination of Force in Pressing of Steel Pipes]. *Inzhenernye metody rascheta tekhnologicheskikh protsessov obrabotki metallov davleniem* [Engineering Methods of Calculation of Technological Processes of Metal Deformation]. Moscow, Metallurgizdat Publ., 1964, pp. 350–355. (in Russ.)

5. Kolmogorov G.L., Mel'nikov T.E. [Issues of Hydrodynamic Lubrication in Pressing of Materials by High Pressure Liquid]. *Fizika i tekhnika vysokikh davleniy*, 1981, no. 3, pp. 91–96. (in Russ.)
6. Gulyaev Yu.G., Chukmasov S.A., Gubinskiy A.V. *Matematicheskoe modelirovanie protsessov obrabotki metallov davleniem* [Mathematical Modeling of Metal Deformation Processes]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1986. 240 p.
7. Rakhmanov S.R., Goman O.G. [Dynamic Processes During Press Piercing of a Pipe Blank]. *Stal'*, 2010, no. 6, pp. 73–78. (in Russ.)
8. Rakhmanov S.R. [Mathematical Modelling of Vibrational Piercing Processes of a Pipe Blank on a Piercing Press]. *Vibratsiya v tekhnike i tekhnologiyakh*, 2010, no. 3, pp. 99–108. (in Russ.)

Received 20 March 2017

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Рахманов, С.Р. Моделирование технологических процессов на прошивном прессе трубопрессовой линии / С.Р. Рахманов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2017. – Т. 17, № 3. – С. 82–91. DOI: 10.14529/met170310

FOR CITATION

Rakhmanov S.R. Modelling of Technological Processes at the Piercing Press of a Pipe Pressing Line. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2017, vol. 17, no. 3, pp. 82–91. (in Russ.) DOI: 10.14529/met170310
