

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИЛОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРИ ВИНТОВОЙ ПРОКАТКЕ

Д.Ю. Звонарев

Производство труб из сталей разделяется на два типа: сварные и бесшовные. Наиболее важным процессом при производстве бесшовных труб является процесс прошивки заготовок в черновую трубу (гильзу) на станах винтовой прокатки. На сегодняшний день одна из тенденций в производстве труб – это расширение сортамента выпускаемого на одном трубопрокатном агрегате (ТПА). Одним из критериев определяющий возможность производить тот или иной сортament является расчет энергосиловых параметров (ЭСП). Существует множество методик по расчету ЭСП [1–3], однако они имеют ряд недостатков. Усилие на валок прошивного стана определяется следующим образом:

$$P = p_1 F_1 + p_2 F_2, \quad (1)$$

где p_1, p_2 – давления в конусе захвата и в конусе раскатки очага деформации, соответственно; F_1, F_2 – площадь контакта металла заготовки с валком в конусе захвата и в конусе раскатки очага деформации.

Уравнения по расчету давления в конусе захвата p_1 и в конусе раскатки p_2 имеют вид [1]:

$$p_1 = \left(1,8 - \frac{b_n}{2r_n} \right) (1 - 2,7\varepsilon^2) \sigma_{cp}; \quad (2)$$

$$p_2 = 0,75 p_1, \quad (3)$$

где b_n – ширина контактной поверхности в пережиме очага деформации; r_n – радиус заготовки в пережиме очага деформации; σ_{cp} – среднее значение сопротивления металла пластической деформации в пережиме очага деформации.

Недостатком уравнения (2) является, то что расчет ведется в среднем сечении очага деформации, и при расчете усилия на валок для различных значениях толщины стенок гильз (при одинаковом наружном диаметре гильзы) получаются близкие по значению результаты. Так, например, в таблице представлены расчеты ЭСП гильз размером $\text{Ø}433 \times 26,9$ мм и $\text{Ø}433 \times 53,95$ мм, получаемые из заготовок $\text{Ø}400$ мм. На рис. 1 и 2 представлены схемы очагов деформации для прокатки гильз размером $\text{Ø}433 \times 26,9$ мм и $\text{Ø}433 \times 53,95$ мм из заготовок $\text{Ø}400$ мм.

Результаты исходных данных и расчета геометрических, деформационных и энергосиловых параметров при прошивке заготовок $\varnothing 400$ мм в гильзы $433 \times 53,95$ и $433 \times 26,9$ из стали 09Г2С

Величина	Обозначение	Ед. изм.	Размер гильзы $\varnothing 433 \times 53,95$ мм	Размер гильзы $\varnothing 433 \times 26,9$ мм
Частота вращения валков	n	об/мин	60	60
Радиус заготовки в пережиме валков	r_n	мм	180	177,5
Угол подачи валков	α	град	6	6
Давление в конусе захвата	p_1	МПа	112	173
Давление в конусе раскатки	p_2	МПа	84	130
Усилие на валок	P	МН	9,2	10
Суммарный момент на валки	M	м·Н	$2,8 \times 10^6$	$2,5 \times 10^6$
Мощность	$N_{2-x \text{ валков}}$	МВт	8,8	7,9

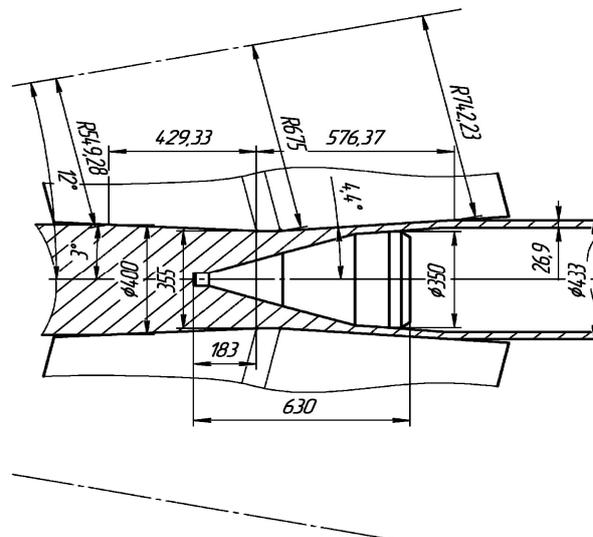
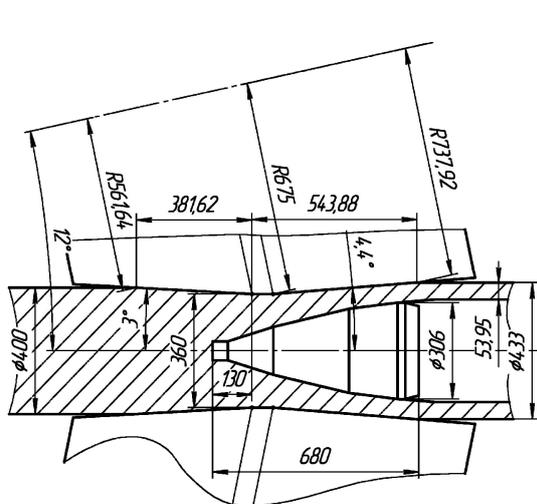


Рис. 1. Схема очага деформации к расчету параметров процесса винтовой прошивки заготовки в гильзу $\varnothing 433 \times 53,95$ мм (угол подачи 6 градусов)

Рис. 2. Схема очага деформации к расчету параметров процесса винтовой прошивки заготовки в гильзу $\varnothing 433 \times 26,9$ мм (угол подачи 6 градусов)

Полученные результаты вычислений противоречат экспериментальным данным.

Решение подобных задач возможно с использованием метода конечных элементов (МКЭ). В качестве программного продукта использующий МКЭ

был выбран ANSYS\LS-DYNA. На рис. 3 представлена общая расчетная модель процесса прокатки на косовалковом стане с грибовидными валками. На рис. 4 представлена конечно элементная модель процесса.

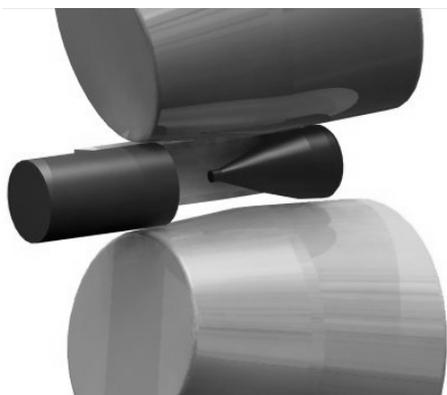


Рис. 3. Трехмерная модель прошивки с грибовидными валками (линейка условно не показана)

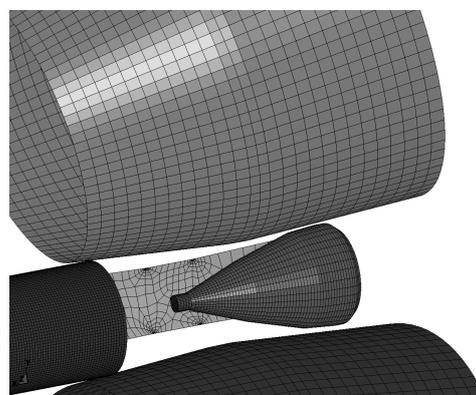


Рис. 4. КЭ модель процесса прошивки (поверхность линейки условно не показана)

При постановке задачи валки, линейки и оправка моделировались как абсолютно жесткие тела, поэтому в расчете учитывались только поверхности инструментов участвующих в процессе прошивки. Начальные условия были приняты, такими же, как и для расчетов по эмпирическим формулам.

Результаты расчета давлений на один валок представлены на рис. 5 и 6 для обоих расчетов.

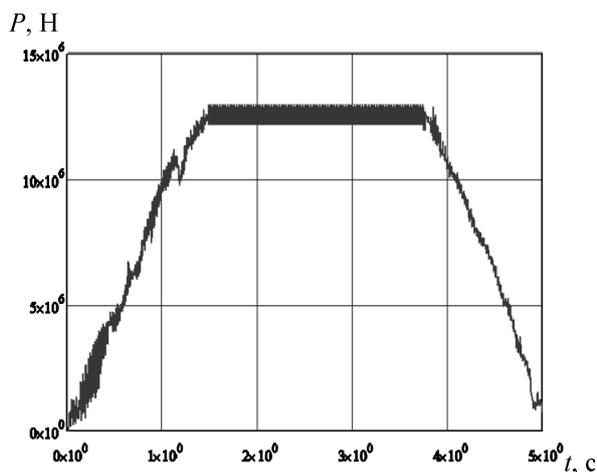


Рис. 5. Давление на валок во времени прошивки заготовки в гильзу $\text{Ø}433 \times 53,95$ мм

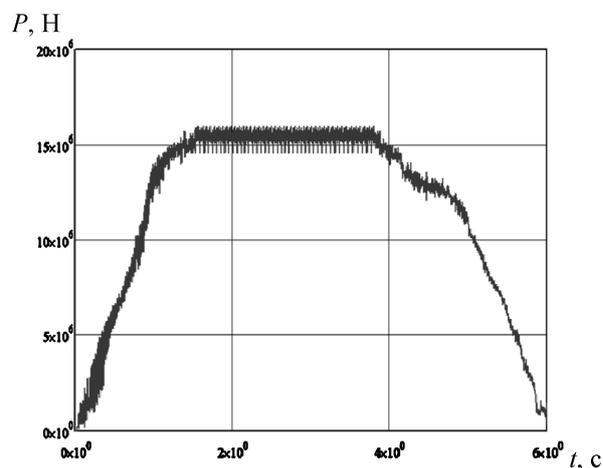


Рис. 6. Давление на валок во времени прошивки заготовки в гильзу $\text{Ø}433 \times 29,9$ мм

Видно, что максимальные значения давлений в очаге деформации находятся на калибровочном конусе и превышают теоретически полученные значения на 40 %.

Кроме этого результаты подобных расчетов можно использовать при прогнозировании величины максимальной износостойкости. Так требование по обеспечению необходимой износостойкости инструмента соблюдается, если:

$$I < [I], \quad (4)$$

где $[I]$ – допустимая интенсивность износа.

При установившемся режиме работы интенсивность износа можно определить по уравнению [4]:

$$I = \frac{\Delta q}{FL}, \quad (5)$$

где Δq – весовой износ; F – сила трения; L – путь трения.

Стойкость инструмента можно определить по выражению:

$$n = \frac{I}{[I]}. \quad (6)$$

Поэтому для увеличения стойкости инструмента на прошивном стане (наиболее важно для оправок) необходимо проводить расчеты при различных калибровках оправок и настроечных параметров.

Библиографический список

1. Потапов, И.Н. Теория трубного производства / И.Н. Потапов, А.П. Коликов. – М.: Металлургия, 1991. – 424 с.
2. Чекмарев, А.П. Прошивка в косовалковых станах / А.П. Чекмарев, Я.Л. Ваткин. – М.: Металлургия, 1967. – 240 с.
3. Теория прокатки / А.И. Целиков, А.Д. Томленов, В.И. Зюзин, А.В. Третьяков. – М.: Металлургия, 1982. – 335 с.
4. Гриб, В.В. Лабораторные испытания материалов на трение и износ / В.В. Гриб, Г.Е. Лазарев. – М.: Наука, 1986. – 141 с.