

УДК 621.981

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ ФОРМЫ НОЖА ДЛЯ РУБКИ ПРОФИЛЕЙ ЗАМКНУТОГО ТИПА В ШТАМПАХ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ ANSYS/LS-DYNA

М.В.Илюшкин, В.А. Марковцев, И.И. Лазарев

Процесс рубки профилей в штампах применяют в основном для профилей открытого поперечного сечения, например, уголкового и швеллерообразного типа. В случае применения аналогичных штампов для профилей замкнутого поперечного сечения, например, для квадратных и прямоугольных труб, рубка приводит к сильному искажению поперечного сечения, что не устраивает потребителей таких изделий. Поэтому, в большинстве случаев, при изготовлении труб на гибочно-прокатных станах используют отрезные пилы типа “Makita”, “Dewalt” и др.

Рубка в штампах более технологична по сравнению с отрезкой пилой. Процесс рубки позволяет уменьшить время разделительной операции, снизить уровень шума, улучшить условия труда, исключить наличия в воздухе частиц абразива или металлической пыли. Разработка конструкции штампа, позволяющая производить рубку профилей с минимальным искажением поперечного сечения, является одной из основных задач для увеличения производительности процесса изготовления профилей замкнутого типа на гибочно-прокатных станах.

Работа над конструкцией отрубного штампа может проводиться в двух направлениях:

1. Разработка новой конструкции штампа с применением нескольких последовательных отрубных операций или применением плавающих ножей со сложным поступательным движением;
2. Применение конструкции штампа, как и для профилей открытого поперечного сечения с доработкой его основных частей или элементов.

В данных исследованиях было выбрано второе направление.

Основной элемент, воздействующий на профиль при рубке, является нож (пуансон) штампа. Выбор оптимальной формы ножа, позволяющая получить минимальное искажение поперечного сечения после рубки, является основной задачей данных исследований.

Рубка представляет собой процесс разделения или разрушения металла между ножом и матрицей. Задачами разрушения металла занимались, такие ученые, как, Кочанов Л.М. [1], Партон В.З. [2], Морозов Е.М. [3] и др. Применение компьютерных программ, основанных на методе конечных элементов [4], для исследования процесса разрушения, позволяет смоделировать процесс для большинства конкретных практических задач. К таким программам можно отнести программы Ansys [5] и Ls-dyna [6].

Данные исследования проводились в программе Ansys/Ls-dyna, где использовался пре- и постпроцессор Ansys, а в решателе использовалась программа Ls-dyna.

В качестве объекта исследования был выбран профиль с сечением замкнутого типа “труба 15x25x1,2” (рис. 1). Профиль имеет прямоугольное поперечное сечение, изготавливается из тонколистовой холоднокатаной стали марки 08ю по ГОСТ 16523-89 и применяется в сварных конструкциях лестничных маршей в качестве обрешетки. Твердотельная модель штампа представляла собой упрощенную конструкцию (рис. 2), содержащую нож 1 и полуматрицу 2, и была представлена только половиной штампа, как результат его симметрии.

На начальной стадии исследования рубки профиля были выбраны четыре вида ножей (рис. 3). Размеры матрицы и профиля уменьшали до минимально возможной величины с целью уменьшения времени расчета при одновременном обеспечении достоверности результатов.

Модели последовательно передавались в препроцессор Ansys, где создавалась КЭ модель и прикладывались нагрузки.

Пуансон и матрица задавались как абсолютно жесткие (Rigid) тела, конечно-элементная (КЭ) сетка задавалась только на их поверхности, используя тип элемента Shell 163.

Для модели материала профиля была выбрана пластическая кинематическая модель (*MAT_PLASTIC_KINEMATIC) с коэффициентом разрушения и типом КЭ – Solid 164 с одноточечной редуцированной схемой интегрирования по объему с контролем Hourglass 4. Характеристики материала профиля приведены в табл. 1.

В качестве критерия разрушения был принят критерий превышения допустимой деформации [7]:

$$\varepsilon_1 \geq \varepsilon_{np};$$

где ε_1 – максимальная главная деформация;

ε_{np} – главная деформация при разрушении.

Величина предельной деформации определялась из эксперимента на одноосное растяжение и для стали 08ю составляла 30%.

Для создания контактных поверхностей между инструментом и профилем использовали тип контакта Automatic surface-to-surface contact (ASTS), а так же Automatic general (AG) – для самоконтакта профиля.

Были заданы соответствующие условия ограничения профиля от смещения и условия ограничения на симметрию штампа.

Таблица 1
Характеристики материала профиля

Плотность (ρ), т/м ³	7,85e-9
Модуль Юнга (E), МПа	2e5
Коэффициент Пуассона	0,3
Предел текучести (σ_T), МПа	250
Касательный модуль (E'), МПа	430
Скорость деформации, С ⁻¹	40
Параметр скоростного упрочнения	5
Предельная пластическая деформация (ε_{np})	0.3

Далее введенные параметры передавались решателю ls-dyna. Расчет одной модели занимал около двух часов (Pentium D 3200 с оперативной памятью 1 Гб). После расчета данные передавались постпроцессору Ansys

В постпроцессоре представлялись следующие результаты:

- форма торца профиля и вырубленной части после рубки различными видами ножей (рис. 4);

- график усилий, действующих на нож, при рубке (рис. 5).

В результате выявлено, что наименьшее отклонение (1,8 мм), т.е. искажение формы торца профиля, имеет нож №3, а минимальное усилие отрезки 10 кН нож №4.

По результатам моделирования можно выделить следующие основные этапы рубки профиля:

- внедрение ножа в профиль, пластическое деформирование элементов профиля до момента разрушения;

- начало процесса отделения краевых отходов и отделение центрального отхода;

- внедрение пуансона в нижнюю горизонтальную часть профиля;

- полное отделение отходов.

На основе проведенных исследований сделаны следующие выводы:

- в качестве формы ножа для рубки профиля замкнутого типа использовать форму ножа №3;

- расчетное усилие рубки профиля можно использовать для выбора прессы по силовым характеристикам, например, для пневмопресса выбор диаметра цилиндра, шток которого осуществляет воздействие на пуансон штампа;

- наибольшей нагрузке будут подвергаться “усики” штампа, поэтому рекомендуется подбор оптимального радиуса скругления и толщины ножа;

- существует возможность попадания центрального отхода в зазор между пуансоном и матрицей при отрезке нижней части профиля, что может привести к преждевременному износу штампа (рекомендуется убирать его, например, пневмосдувом).

Для апробации модели и сравнении результатов моделирования с практическими данными в ОАО “Ульяновский НИАТ” был изготовлен штамп с фор-

мой ножа №3 (рис. 6). Для рубки использовался пневматический пресс с рабочим усилием 20 кН (рис. 7).

В процессе испытания контролю подлежали следующие параметры:

- сечение торца профиля после рубки;
- форма вырубленной части профиля;
- величина давления в пневмосистеме при рубке профиля.

Измерение величины давления осуществлялось следующим образом (см. рис. 7). Сжатый воздух через регулятор давления (1) постепенно подавался в верхнюю полость цилиндра (2). При определенном давлении P происходила рубка профиля в штампе (3), величину давления контролировали по манометру (4).

Величину усилия, действующего на пуансон, рассчитывали по известной формуле:

$$F = P \cdot S,$$

где P – давление при котором произошла рубка, МПа

S – площадь цилиндра, мм²

В испытании в зависимости от величины давления в системе были фиксированы несколько положений ножа относительно профиля (рис. 8) – прорубание верхней горизонтальной части, прорубание нижней горизонтальной части и др.

Результаты практического испытания процесса рубки сравнивали с результатами моделирования процесса.

Было выявлено, что:

- форма сечения профиля и вырубленной части при моделировании и практическом испытании подобны (рис.9);
- величина усилий при моделировании и практическом испытании отличается не более чем на (15-20)%.

Результаты испытания позволяют говорить о правильном выборе исходной модели и возможностью использования программы Ansys/Ls-dyna для исследования задач рубки профилей различного сечения с целью подбора рацио-

нальной формы ножа, позволяющая минимизировать искажение торца профиля.

Данный штамп рекомендуется к внедрению на автоматизированную линию по изготовлению профиля труба 25x15x1,2.

Применение данного штампа в производстве позволит:

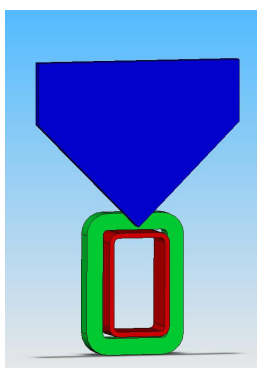
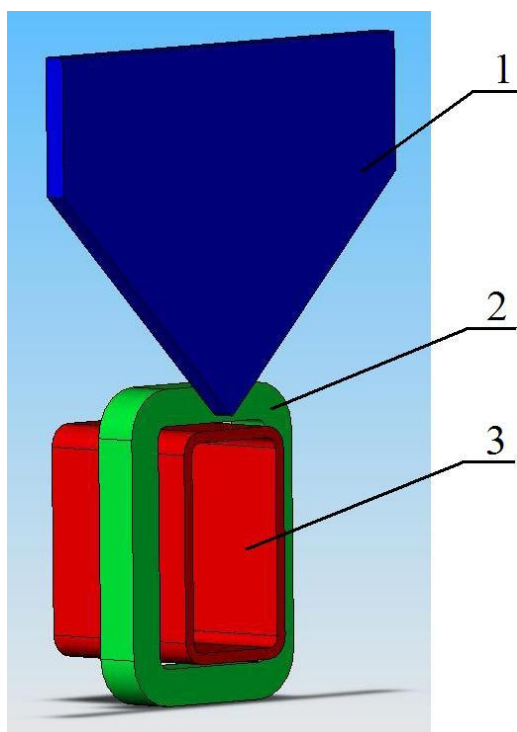
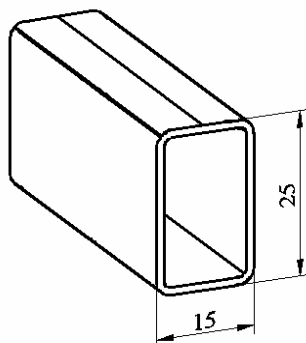
- увеличить производительность автоматизированной линии по выпуску профиля на (20-25)% (что в первую очередь связано с уменьшением времени отрезки);

- улучшить условия труда в результате уменьшения уровня шума и исключения в воздухе частиц абразива.

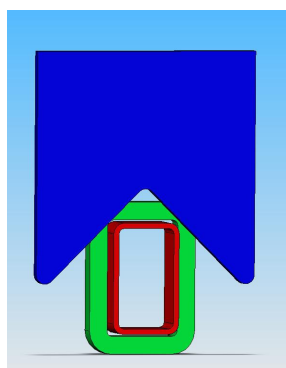
Литература

1. Качанов Л.М. Основы механики разрушения. – М.: Наука, 1974. – 311 с.
2. Партон В.З., Морозов Е.М. Механика упруго-пластического разрушения. – М.: Наука, 1974. – 416 с.
3. Морозов Е.М., Зернин М.В. Контактные задачи механики разрушения.
4. Морозов Е.М., Никишков Г.П. Метод конечных элементов в механике разрушения. Изд. 2-е, испр. – М.: изд-во ЛКИ, 2008. – 256 с.
5. Морозов Е.М., Муйземнек А.Ю. Шадский А.С. Ansys в руках инженера: механика разрушения. – М.: ЛЕНАНД, 2008. – 456 с.
6. Муйземнек А.Ю., Богач А.А. Математическое моделирование процессов удара и взрыва в программе Ls-dyna: учебное пособие. – Пенза: Информационно-издательский центр ПГУ, 2005. – 106 с.
7. LS-DYNA Theoretical manual. 2006. Livemore software technology corporation

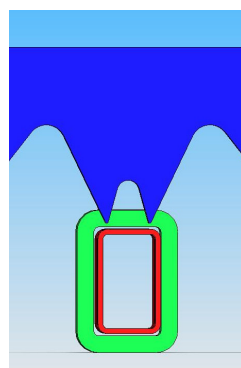
Рисунки
к статье «Выбор оптимальной формы ножа для рубки профилей замкнутого типа в штампах с помощью программы ANSYS/LS-DYNA» авторов М.В. Илюшкина, В.А. Марковцева, И.И. Лазарева



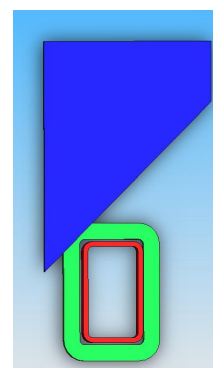
а



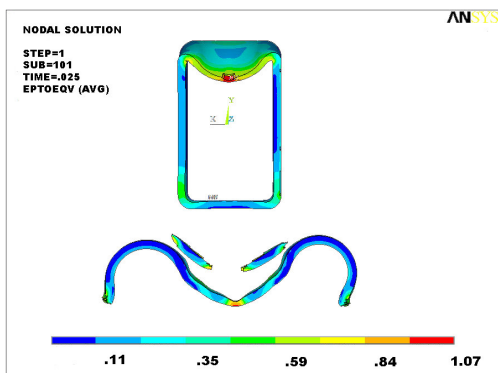
б



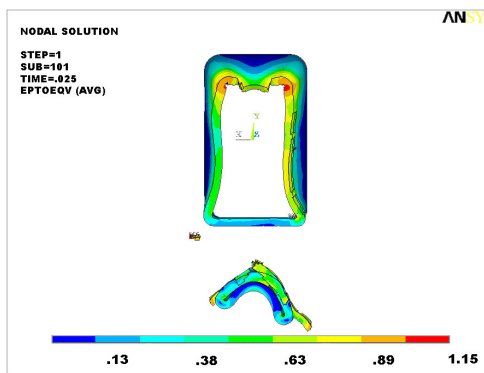
в



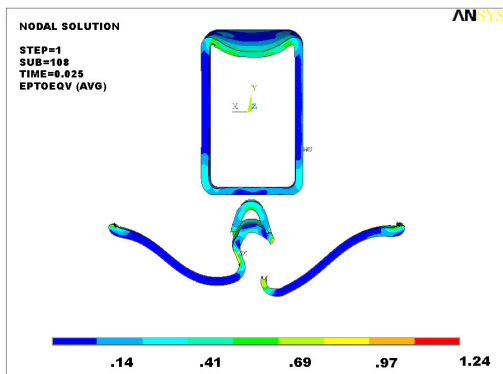
г



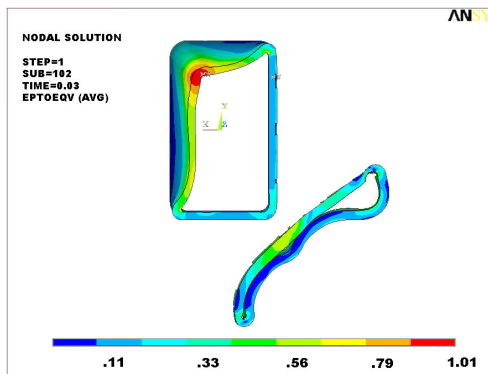
a



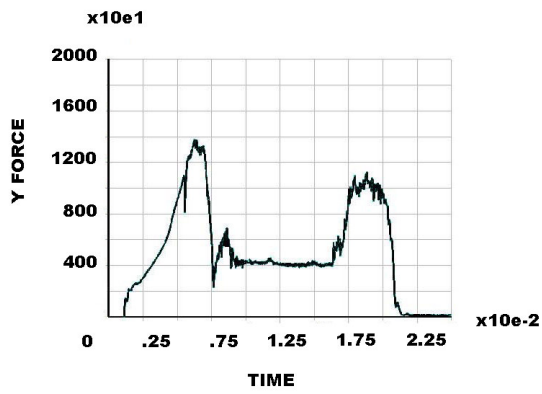
б



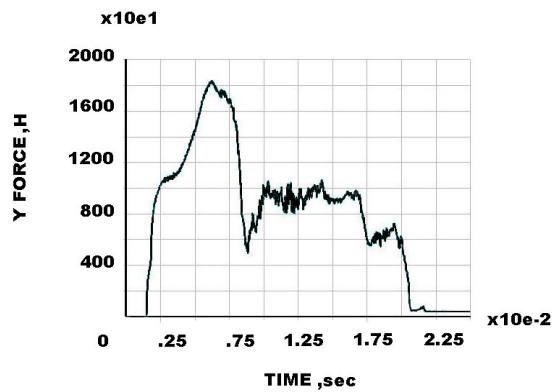
B



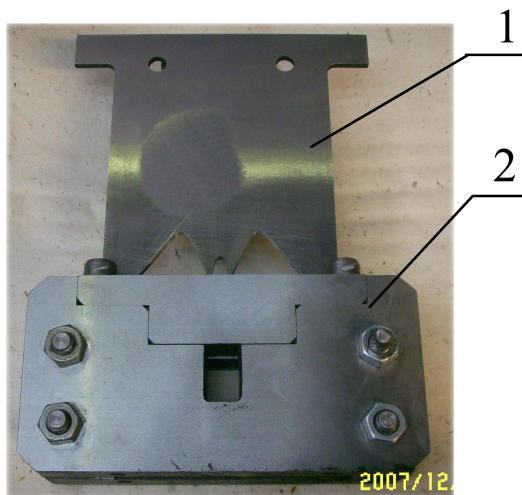
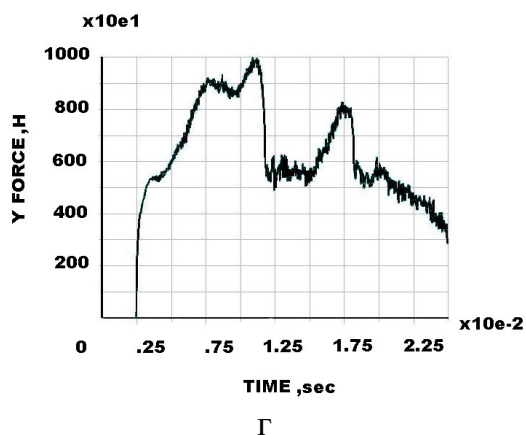
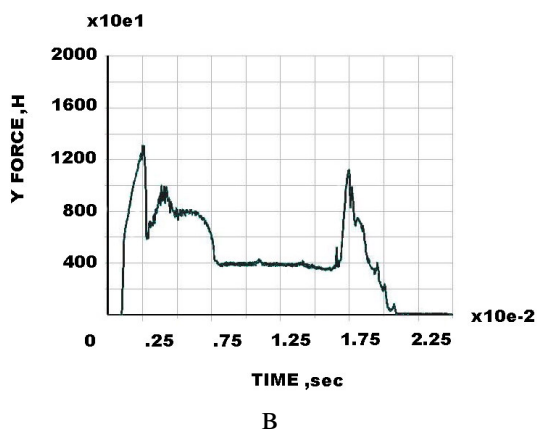
Г

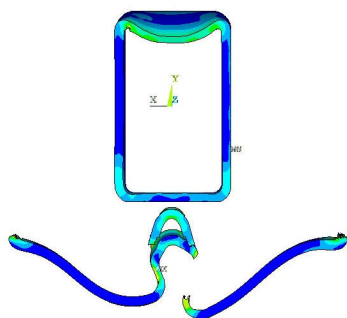
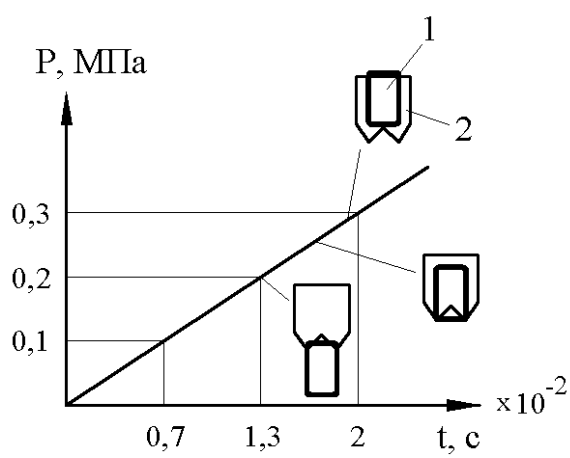
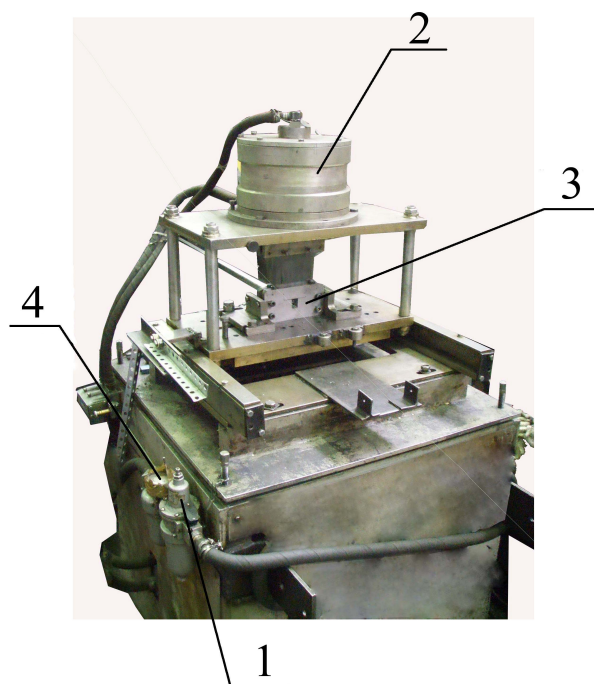


a



б





а



б

Подписи к рисункам

статьи «Выбор оптимальной формы ножа для рубки профилей замкнутого типа в штампах с помощью программы ANSYS/LS-DYNA» авторов М.В. Илюшкина, В.А. Марковцева, И.И. Лазарева

Рис. 1. Профиль замкнутого типа “труба 25x15x1,2”

Рис. 2. Твердотельная модель штампа с профилем: 1 – нож, 2 – матрица, 3 – профиль

Рис. 3. Твердотельные модели и формы ножей для рубки профилей закрытого поперечного сечения (а-№1, б-№2, в-№3, г-№4)

Рис. 4. Форма торца профиля и вырубленной части после рубки (а-№1, б-№2, в-№3, г-№4)

Рис. 5. Значение усилий на пуансоне при рубке (а-№1, б-№2, в-№3, г-№4)

Рис. 6. Штамп для рубки профиля “труба 25x15x1,2”: 1 – пуансон, 2 – полу-матрица

Рис. 7. Пневматический пресс со штампом: 1 – регулятор давления, 2 – цилиндр, 3 – штамп, 4 – манометр

Рис. 8. Положение ножа относительно сечения профиля в зависимости от давления действующего на пуансон: 1 – профиль, 2 – нож

Рис. 9. Форма сечения профиля и вырубленной части после процесса рубки при моделировании (а) и практически (б)