

УДК 621.771.013

## ОПЕРАЦИИ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ И ВЫБОР ТЕХНОЛОГИИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ПРОФИЛИРОВАНИЯ

**Е. В. Щипковский**

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского  
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: shipkovskij.evgen@yandex.ua

Решена актуальная проблема выбора методов прокатки металла в местах возможного утонения при дальнейшей обработке давлением. Технологическая сущность этой проблемы заключается в перемещении избыточного металла из нейтральных мест на опасные участки поперечного сечения (в месте предполагаемого утонения). Проанализированы способы прокатки металла в местах утонения, определены преимущества и недостатки данных операций. Выполнен анализ использования каждого из существующих видов: профилирование; предварительная чеканка металла; технологическая вальцовка края; радиальное вдавливание заготовки в форму процесса; получение накатки металла методом штамповки. Уточнены формы профилирования, их влияние на утонение металла в местах получения профиля, а также дальнейшее использование всех вариантов для профилирования и выявлена зависимость утонения от метода профилирования.

**Ключевые слова:** профилирование, заготовка, технология, толщина.

## ОПЕРАЦІЇ ОБРОБКИ ТИСКОМ І ВИБІР ТЕХНОЛОГІЇ ПОПЕРЕДНЬОГО ПРОФІЛЮВАННЯ

**Є. В. Щіпковський**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського  
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: shipkovskij.evgen@yandex.ua

Вирішено актуальну проблему щодо вибору методів прокатки металу в місцях можливого потоншення при подальшій обробці тиском. Технологічна сутність цієї проблеми полягає у переміщенні надлишкового металу з нейтральних зон на небезпечні ділянки (в місці передбачуваного потоншення). Проаналізовані способи прокатки металу в місцях потоншення, визначено переваги та недоліки даних операцій. Виконано аналіз використання кожного з існуючих видів: профілювання, попередня чеканка металу, технологічне вальцювання краю; радіальне штампування заготовки у форму пресу; отримання накатки металу методом штампування. Уточнено форми профілювання та їх вплив на потоншення металу в місцях отримання профілю, а також подальше використання всіх варіантів для профілювання та виявлена залежність потоншення від методу профілювання.

**Ключові слова:** профілювання, заготовка, технологія, товщина.

**АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ.** В машиностроении в значительной степени все конфигурируется вокруг уменьшения затрат на технологию изготовления продукции. С этой точки зрения перспективным способом является обработка давлением из предварительно спрофилированной заготовки по сравнению с традиционными методами вытяжки без утонения. Сущность указанного способа заключается в предварительном профилировании заготовок по всей плоскости или в местах дальнейшего вероятного утонения, что, в свою очередь, создает запас пластичности в опасном сечении и необходимые физико-механические свойства изделий, тем самым уменьшив количество технологических переходов.

Определение физических и геометрических параметров предварительной профилировки заготовок, обеспечивающих указанные преимущества, на сегодняшний день, базируется на упрощенных аналитических зависимостях, которые не учитывают:

- неконтактную деформацию;
- неконтролируемое утонение в опасном сечении в процессе вытягивания;

- отсутствие гарантии необходимых физико-механических свойств полученных изделий (геометрические параметры предварительно спрофилированных заготовок уточняются в ходе отладки технологической оснастки, что, в свою очередь, приводит к увеличению сроков и стоимости подготовки производства).

Целью работы является выбор актуального метода накатывания металла в местах предварительного утонения при дальнейшей обработке давлением.

## МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.

Технологическая сущность данного вопроса заключается в перемещении избыточного металла с нейтральных участков на участки опасного поперечного сечения (в места предполагаемого утонения), может осуществляться по нескольким вариантам:

- профилированием (накатыванием металла на необходимые участки);
- предварительной чеканкой металла, что, в свою очередь, натягивает металл в места технологической необходимости;
- путем технологического торцевого раскатывания;
- радиальным вдавливанием заготовки в технологическую форму;
- получением накатки металла путем штамповки.

Авторами данного исследования предлагается анализ вышеперечисленных методов, определив преимущества и недостатки упомянутых операций и использования каждого на действующих производствах.

Существует два варианта применения профилировки в промышленности [1]: первый применяется для изменения формы детали (заготовки) как формирующая операция и получения профильной продукции без запросов по физическим свойствам, а второй – для изменения физических свойств детали, увеличения плотности материала для улучшения физических свойств. Больше всего интересуют технологии профилировки металла с изменением их физических свойств. К этим технологиям принадлежат:

– термомеханическая обработка проката – перспективный способ увеличения плотности проката, позволяет достичь высокого комплекса механических свойств стали, одновременно повысить прочность, пластичность и сопротивление на разрушение, состоит из пластической деформации на прокатных роликах с интенсивным охлаждением за определенным режимом после выхода проката из печи и дальнейшим отпуском. Из всех разновидностей данного процесса представляют интерес высокотемпературная термомеханическая обработка (ВТМО), высокотемпературная термомеханическая изотермическая обработка (ВТИЗО), низкотемпературная термомеханическая обработка (НТМО) [2];

– валковая штамповка – формоизменяющая операция обработки металлов давлением (ОМД), позволяет получить симметричные детали из цилиндрических заготовок за счет одновременного приложения к ним осевых и радиальных нагрузок. Осевые нагрузки на заготовку при профильной штамповке возникают за счет перемещения пуансона, а радиальные – за счет обкатки ее боковой поверхности в роликах или валках.

Таким образом, профильная штамповка представляет собой способ комплексного локального деформирования, в котором в одном технологическом процессе проходит совмещение одной из основных кузнечных операций, – прошивка или осадка с поперечной обкаткой или прокаткой. Этот способ деформирования позволяет изготавливать круглые в плане цельные, пустотелые детали и тонкостенные детали малых размеров, используемых в приборостроении, а также крупногабаритные детали с высокой точностью и качеством при технологической силе на порядок меньше, нежели при традиционных методах [3].

Одним из распространенных видов проката выступают профили, полученные методом холодного формирования на валках [4]. Они применяются там, где высокая жесткость конструкции должна сочетаться с ее малым весом (например, в транспортном машиностроении). При этом экономичным является и сам процесс профилирования: так, коэффициент использования металла при этом достигает 99,5–99,8 %, а брак – у 3–5 раз меньше, чем при горячей профилировке. Кроме этого, применение профилирования позволяет значительно снизить трудозатраты у потребителей за счет конструкции профилей и небольшого их веса относительно горячекатаного проката. Он позволяет уменьшить расходы материала без уменьшения прочности конструкции – один из важнейших при разработке проектов новых типов машин, изделий и сооружений не требует от конструкторов более широкой разработки и употребления нового вида профилей специального назначения. Холодная профилировка металла сопровождается заклепыванием, в результате которого предел текучести растет. При соответствующей технологии гнутые профили на 10–15 % крепче исходного материала. При употреблении данных изделий это обстоятельство дает возможность осуществить допол-

нительное снижение массы машин и металлических конструкций. Ход профилировки – непрерывный, а при сварке концов заготовок или рулонов ленты – бесконечный. Несмотря на то, что оборудование для этой работы подобно прокатной, сами процессы обоих видов операций принципиально отличаются один от другого. Основные отличия между ними следующие:

а) *при прокате:*

– полоса в любой паре валков или за каждый проход обжимается механизмами;

– с изменением размеров продольного сечения, линии и форма может не изменяться;

– очаг деформации металла в основном ограничен валками, и немного выходит за пределы роликов;

б) *при профилировании:*

– площадь поперечного сечения исходной заготовки и ее толщина изменяются;

– обязательной является модификация формы;

– повреждение сплава происходит перед профилировкой намного раньше, чем определенный участок полосы вступит в столкновение с ними.

Общим между данными процессами являются применение как исходной заготовки полосового или листового металла, площадь поперечного сечения в ходе деформации остается относительно постоянной.

Профилировка полосы происходит одновременно в нескольких положениях. При этом придерживаются принципа непрерывности: через каждую пару валков в единицу времени проходят одинаковые объемы металла. Принципы этих процессов определяют особенности конструкций профилегибочных станков.

Профилировка на штампах при поступательном движении заготовки к рабочей зоне между матрицей и пуансоном. У этого варианта существуют свои позитивные и негативные стороны.

Отрицательными сторонами являются:

– неравномерная внутренняя структура после данной операции, что предопределено неравномерным нахождением определенной зоны заготовки между матрицей и пуансоном;

– большой износ инструмента;

– дороговизна изготовления технологической оснастки.

Положительными сторонами выступают:

– высокое качество изготовления на неизношенном инструменте при высокой квалификации рабочего;

– возможность быстрой переналадки технологического инструмента.

Технология изготовления проката на вальце прокатных станках [1]. Они обеспечивают экономию необходимых средств на самых важнейших этапах производства и позволяют предприятию эффективно развиваться. Такой станок незаменим для профильной обработки края рулонного или листового металла, что позволяет создать качественное и надежное соединение фальца. Материалом для обработки служит сталь, как без покрытия, так и оцинкованная, с алюминиевым или медным покрытием.

Вальцепрокатные станки относятся к самому современному профилигибочному комплексу, позволяющие производить высокоточную обработку металлических заготовок. С их помощью изготавливаются швеллеры и уголки, и-образные профили и кровельные «замки», а также соединения фальца для воздуховодов круглого или прямоугольного пересечения, причем на станках этого типа качественно обрабатываются и радиальные (криволинейные) заготовки.

Технология волочения – обработка металлов давлением, при которой изделия (заготовки) круглого или фасонного профиля (поперечного сечения) протягиваются через отверстие, сечение которого меньше сечения заготовки [5]. В результате поперечные размеры изделия уменьшаются, а длина – увеличивается. Волочение широко применяется в производстве металла хворостины, провода, труб и других, производится на волочильных станках, основными частями которых являются волокни и устройство, тянущее через них металл. При волочении присутствует большое количество негативных моментов:

- увеличение в геометрической проекции энергетических затрат и габаритов технологической оснастки при незначительном увеличении размеров заготовки (обработка заготовки малых размеров или малых основных геометрических размеров);

- при обработке холодной заготовки значительно увеличивается энергетических и ресурсных затрат на изготовление.

Технология торцевого раскатывания основана на локализации очага деформации за счет наклона одного из инструментов, которые вращаются, на определенный угол с подачей за каждый оборот (рис. 1) [3].

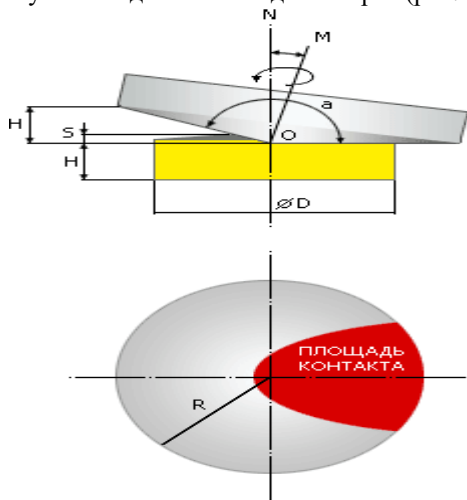


Рисунок 1 – Схема технологии торцевого раскатывания:  $N$  – угол крепления инструмента;  $M$  – угол крепления заготовки;  $a$  – угол профилирования;  $O$  – цент соприкосновения инструмента и заготовки;  $T$  – высота профилирования заготовки;  $S$  – глубина смятия заготовки в инструмент;  $H$  – высота инструмента;  $D$  – диаметр инструмента;  $R$  – радиус заготовки

Метод торцевого раскатывания имеет ряд преимуществ:

- уменьшение деформирующего усилия в 10–15 раз с соответствующим уменьшением капитальных расходов;

- повышение коэффициента использования металла до 0,5–0,9;

- возможность получения за один переход заготовки с соотношением  $H/d = 0,015–0,1$ ;

- безотходный раскрой листовой заготовки;

- управление ходом металла и напряженно-деформированным состоянием заготовки;

- формирование в процессе деформации заготовки направленной концентрической структуры металла, который существенно повышает служебные характеристики детали;

- уменьшение цены на 10–15 % по сравнению с обычной штамповкой.

Технология торцевого раскатывания наиболее эффективна для условий серийного и крупносерийного производства. Области применения технологии – детали плоских колец, ступиц, фланцев и других асимметричных деталей.

Для изготовления конических деталей [3] (рис. 2), которые достаточно широко применяются как в машиностроении, так и авиа- и ракетостроении, с равномерным распределением интенсивности деформаций по пересечению детали.

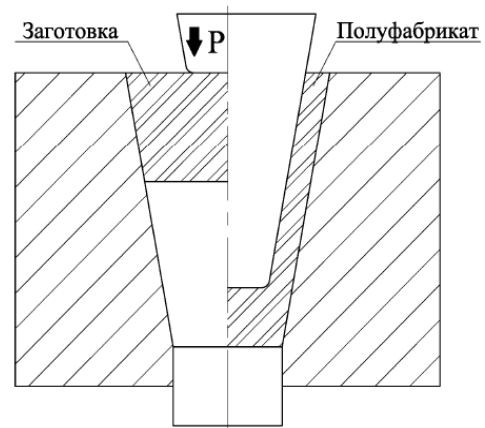


Рисунок 2 – Исходная заготовка и схема процесса получения полой конической детали

Также используют комбинированные схемы хода металла, но для данного технологического процесса необходима заготовка конической формы, чтобы угол наклона образующей заготовки равнялся углу наклона внешней образующей детали. Данная технология эффективна для получения прочных деталей с уплотнением материала, а также с определенной толщиной стенок, получаемой эффективным обеспечением зазора между матрицей и пуансоном. Данная технология относится к энергозатратным, в связи с чем получение данной детали требует повышенных усилий при данной штамповке [7, 9]. Для получения профилируемых заготовок конической формы существует способ изготовления

радиальним выдавливанием (рис. 3), однако употреблению данного способа характерны большие усилия раскрытия матрицы, а для уменьшения их значения необходимо использование определенных наклонов образующей матрицы [3].

На рис. 4 отображен способ получения заготовок конической формы от прутка в специальном штампе.

Получение заготовки осуществляется следующим образом [4, 10]. Прутик заключается в подвижный втулочный нож. Пуансон выполняет радиальное выдавливание металла прутка в круговую коническую полость с односторонней подачей. Далее для оформления торцов проводится высадка матрицей, которая толкается подвижным пуансоном. На последнем шаге отрезают полученной заготовки от прутка путем сдвига подвижной части штампа. Недостатком такого способа являются не только достаточные усилия раскрытия штампа при заполнении углов, но и появление рваного торца в месте отделения заготовки от прутка.

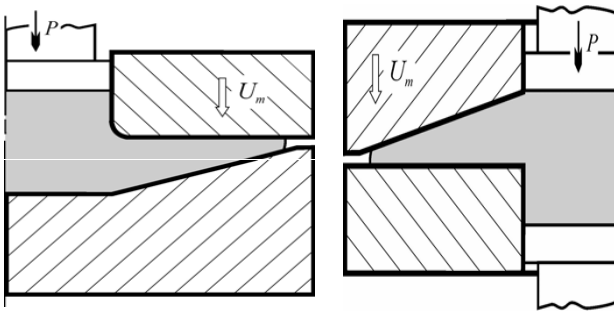


Рисунок 3 – Получение заготовок фигурной формы в разъемных матрицах:  $P$  – усилие матрицы,  $U_m$  – усилие пуансона

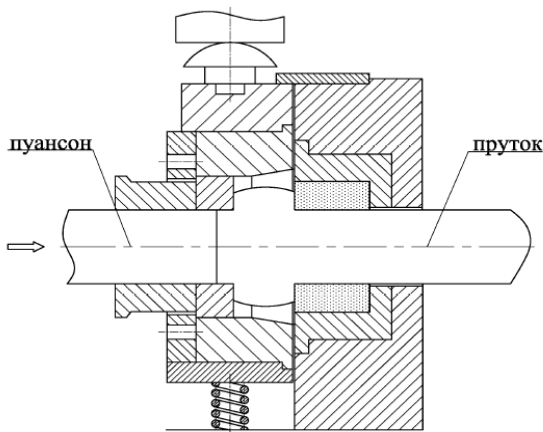


Рисунок 4 – Получение заготовок фигурной формы в специальном штампе

Авторами разработан способ (рис. 5), позволяющий получать заготовки конической формы в плавающей матрице [4]. Благодаря обойме, свободно лежащей на плите, штамп является закрытым в период его заполнения.

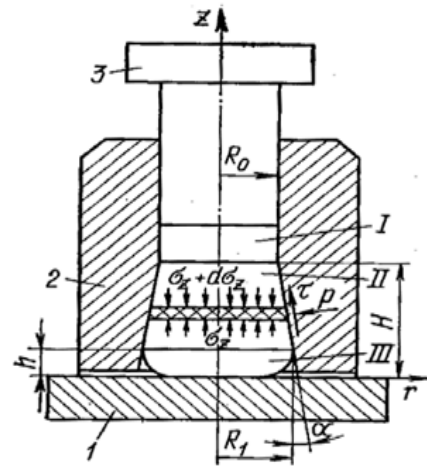


Рисунок 5 – Схема получения заготовки в подвижной обойме: 1 – плита; 2 – обойма; 3 – пуансон

В конечный момент штампования (при доштамповке), когда растет давление на боковые поверхности штампа, обойма может подниматься под действием нормального и касательного напряжения. В этом случае штамп становится открытым, и в зазор между плитой и обоймой могут быть вытисненные излишки металла. К недостатком такого способа можно отнести достаточную сложность в центрировании заготовки относительно обоймы, а также получение заусенцев, которые впоследствии необходимо удалять механическим способом.

В результате анализа существующих технологий изготовления заготовок конической формы был разработан процесс их изготовления, представленный на рис. 6 [3, 8].

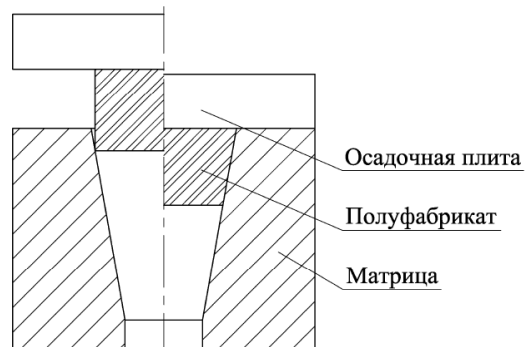


Рисунок 6 – Получение профилируемых заготовок фигурной формы

Данный способ предусматривает использование цилиндрической заготовки для получения профилируемой конической заготовки. Заготовку устанавливают в матрицу и плоской плитой осаждают к моменту столкновения плиты и матрицы. Достоинствами данного способа являются: низкое усилие выдавливания; простота конструкции деформирующего инструмента; отсутствие заусенцев после выдавливания.

Анализируя вышеизложенное, можно сказать, что с увеличением контактного трения на матрице увеличивается и усилие выдавливания. Кроме этого, присутствует существенное влияние на формоизме-

нение, т.е. вогнутость нижнего торца заготовки тем меньше, чем выше коэффициент трения на матрице. Такая картина характерна для всех исследуемых углов наклона образующей матрицы.

При анализе формоизменения видно незаполнение верхнего угла, характерное для всех исследуемых вариантов. Величина незаполнения в большей степени зависит от величины угла наклона образующей и в меньшей мере – от величины контактного трения на матрице.

Напряженно-деформированное состояние заготовки показывает, что с увеличением коэффициента трения на матрице увеличивается и равномерность проработки материала по сечению заготовки. Также происходит увеличение накопленной силы деформации с ее равномерным распределением по пересечению.

Анализ литературных данных показывает, что для выбора материала силовые характеристики данного технологического процесса значительно ниже, чем у способов, предложенных раньше.

Форма и размеры деформирующего инструмента – достаточно простой конфигурации, что значительно облегчает его проектирование. При повторном использовании матрицы для выдавливания полуфабриката, использованной при получении профилируемой конической заготовки, наблюдается значительная экономия инструментальных сталей.

Заготовка, полученная рекомендованным способом, не требует дальнейшей механической обработки или подгонки под необходимые размеры матрицы.

Явными преимуществами способов получения профилируемых заготовок конической формы с заданным углом наклона образующей, являются достаточно малые усилия деформации отсутствие усилия раскрытия и возможность использования штамповой оснастки сначала для получения заготовок, а в дальнейшем – и для получения заданных деталей.

**ВЫВОДЫ.** На основании литературных источников рассмотрены существующие технологии профилирование. Уточнено применение видов профилирование и их влияние на утонение металла в местах получения профиля. Уточнено дальнейшее применение всех вариантов получения профилирования и зависимость утонения от метода профилирования.

В данной работе решена актуальная задача выбора методов накатывания металла в места дальнейшей возможного утонения при дальнейшей обработке.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аверкиев Ю.А., Аверкиев А.Ю. Технология холодной штамповки. – М.: Машиностроение, 1989. – 304 с.
2. Голенко В.А., Дмитриев А.М., Кухарь В.Д. Специальные технологические процессы и оборудование обработки давлением. – М.: Машиностроение, 2004. – С. 45–128.
3. Губкин С.И., Звороно Б.П., Катков В.Ф. и др. Основы теории обработки металлов давлением / Под ред. М.В. Сторожева. – М.: Машиностроение, 1979. – 540 с.
4. Громов Н.П. Теория обработки металлов давлением. – М.: Металлургия, 1988. – 360 с.
5. Зубцов М.Е. Листовая штамповка. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, Ленинградское отделение, 1980. – 432 с.
6. Ковалёв В.Г., Ковалёв С.В. Технология листовой штамповки. Технологическое обеспечение точности и стойкости. – М.: КНОРУС, 2010. – 224 с.
7. А.с. № 1286320 СССР МКИ В 21 D 22/20 Способ вытяжки полых изделий / А.Г. Кец, П.И. Харитонов (СССР). – № 3806816/25–27; заявл. 30.10.84; опубл. 30.01.87, Бюл. № 4.
8. А.с. № 1704885 СССР, МКИ В 21 D 22/20 Способ получения заготовки для глубокой вытяжки / В.А. Короткое (СССР). – № 4756949/27; заявл. 09.11.89; опубл. 15.01.92, Бюл. № 2.
9. Стеблюк В.И. Орлюк М.В. Возможности интенсификации первой операции вытяжки из профильной заготовки // Праці Міжнародної науково-технічної конференції «Прогресивна техніка і технологія машинобудування, приладобудування і зварювального виробництва». – К: НТУУ «КПІ», 1998. – С. 367–372.
10. А.с. № 1311814 СССР, МКИ В 21 D 22/20 Устройство для глубокой вытяжки / В.И. Стеблюк, Л.С. Бойко, Т.М. Корина, И.А. Олешко, И.Н. Сушко (СССР). – № 3922755/31–27; заявл. 07.07.82; опубл. 18.04.85, Бюл. № 19.

#### OPERATIONS OF PRESSURE PROCESSING AND CHOICE OF THE PRELIMINARY PROFILING TECHNOLOGY

**Y. Schipkovskiy**

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: shipkovskij.evgen@yandex.ua

**Purpose.** As a perspective method there is pressure treatment from a preliminary profiled purveyance as compared to the traditional methods of extraction without thinning. Essence of the indicated method consists in the preliminary profiling of purveyance on all plane or in the places of further credible thinning, that, in turn, creates the supply of plasticity in a weak section and necessary physical and mechanical properties of wares, decreasing the amount of technological transitions in the same time. **Results.** A method allowing to get the purveyances of peg-shaped in a floating matrix is developed. Due to a holder, lying freely on a flag, a stamp is closed in the period of his filling. With the increase of friction coefficient on a matrix the uniformity of material processing on the section of purveyance is increasing also. Also there is an increase of the accumulated force of deformation with her even distribution on crossing. **Practical value.** The purveyance derived by the recommended method does not require the further tooling or adjustment to the necessary sizes of matrix. Obvious advantages of processing methods of the profiled peg-shaped purveyances with the set angle

of formative are: small force of deformation, absence of opening effort and possibility to use of the stamp rigging at first for the purveyances obtaining, and in future - for the making of the necessary details. The application of profiling types and their impact on the thinning of the metal in profiling places is specified. Further application of all types of profiling and dependence of thinning from profiling method are clarified. It is solved an actual task of choosing methods of the metal rolling in place of possible further thinning at further processing.

**Key words:** profiling, purveyance, technology, thickness.

## REFERENCES

1. Averkiev, Yu.A., Averkiev, A.Y. (1989), *Tehnologiya holodnoy shtampovki* [Technology of cold forging], Mashinostroenie, Moscow, USSR.
2. Golenko, V.A., Dmitriev, A.M., Kuhar, V.D. (2004), *Spetsialnyie tehnologicheskie protsessyi i oborudovanie obrabotki davleniem* [Special technological processes and equipment of pressure processing], Mashinostroenie, Moscow, Russia.
3. Gubkin, S.I., Sorono, B.P., Katkov, V.F. et al. (1979), *Osnovyi teorii obrabotki metallov davleniem* [Fundamentals of theory of metal forming], ed. by M.V. Storozheva, Mashinostroenie, Moscow, USSR.
4. Gromov, N.P. (1988), *Teoriya obrabotki metallov davleniem* [Theory of metal forming], Metallurgy, Moscow, USSR.
5. Zubtsov, M.E. (1980), *Listovaya shtampovka, 3-e izd., pererab. i dop.* [Stamping, 3rd ed., Rev. and add.], Mashinostroenie, Leningrad, USSR.
6. Kovalev, V.G., Kovalev, S.V. (2010), *Tehnologiya listovoy shtampovki. Tehnologicheskoe obespechenie tochnosti i stoykosti* [Technology of sheet metal forming. Technology of ensuring the precision and durability], KNORUS, Moscow, Russia.
7. Kets, A.G. Kharitonov, P.I. (1984), "Method of drawing hollow products", pat. no. 1286320, IPC 21 D 22/20 (USSR), no. 3806816/25-27; Stated 30.10.84; Publ. 30.01.87, bull. no. 4, USSR.
8. Korotkoe, V.A. (1989) "A method of producing blanks for deep drawing", pat. no. 1704885, IPC 21 D 22/20 / (USSR), no. 4756949/27; Stated 09.11.89; Publ. 15.01.92, bull. no. 2, USSR.
9. Steblyuk, V.I., Orlyuk, M.V. (1998), "Possibilities of intensifying the first operation of the extrusion of profile blanks", *Proceedings of the International Scientific Conference "Progressive engineering and engineering technology, instrumentation and welding production"*, NTUU "KPI", Kyiv, Ukraine, pp. 367–362.
10. Steblyuk, V.I., Boyko, L., Corina, T.M., Oleshko, I., Sushko, I.N. (1985) "Device for deep drawing", pat. no. 1311814, IPC 21 D 22/20 / (USSR), no. 3922755/31-27; Stated 07.07.82; Publ. 18.04.85, bull. no. 19, USSR.

Стаття надійшла 01.10.2015.