

**Висновки:** 1. Моделювання ущільнення циліндричної порошкової заготовки у жорсткому закритому штампі показало, що різні схеми пресування приводять до приблизно однакового значення середньої пористості але характеризуються суттєво різним розподілом пористості по товщі заготовки. 2. Експериментальне дослідження ущільнення циліндричної порошкової заготовки у жорсткому закритому штампі показало задовільну відповідність результатів комп'ютерного моделювання моделювання натурним.

**Список літератури:** 1. *Баглюк Г.А.* Сравнительный анализ схем нагружения при горячем доуплотнении пористой заготовки в закрытом штампе [Текст] / *Г.А.Баглюк, М.Б.Штерн, В.Л.Юрчук.* // Порошковая металлургия. – 1979. – №11 - С.19-22. 2. *Бахвалов Н. С.* Численные методы [Текст] / *Н.С.Бахвалов, Н.П.Жидков, Г.М.Кобельков.* – М.: Бином, 2006. – 622 с. 3. *Баглюк Г. А.* Апаратно-програмний комплекс для дослідження структурних змін деформованого матеріалу [Текст] / *Г.А.Баглюк, О.І.Хоменко, Д.А.Гончарук* // Наукові нотатки: Міжвузівський збірник (за напрямом "Інженерна механіка"). - 2009. - Вип. 25, ч. II - С. 9 - 11.

**УДК 621.73.016**

**ГОЖИЙ С.П.**, докт. техн. наук, доц., НТУУ “КПІ”, Київ  
**КЛИСКО А.В.**, асп., НТУУ “КПІ”, Київ  
**НОСЕНКО А.И.**, маг., НТУУ “КПІ”, Київ

## ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ШТАМПОВКЕ ОБКАТЫВАНИЕМ С АКТИВНЫМИ СИЛАМИ ТРЕНИЯ

Показаны предпосылки создания и развития нового способа обработки давлением – штамповки обкатыванием с активными силами трения. Перспективность способа основана на возможности интенсификации формоизменения в заданных направлениях. Это позволяет изготавливать детали с различными конструктивными элементами. Рассмотрены конкретные технологические операции использования процесса.

**Ключевые слова:** штамповка обкатыванием, частота обкатывания, угол наклона оси обкатывания, обкатывающий инструмент.

Показані передумови створення і розвитку нового метода обробки тиском – штампування обкочуванням з активними силами тертя. Перспективність метода основана на можливості інтенсифікації формозміни в заданих напрямках. Це дозволяє виготовляти деталі з різними конструктивними елементами. Розглянуті конкретні технологічні операції застосування процесу.

**Ключові слова:** штампування обкочуванням, частота обкочування, кут нахилу осі обкочування, обкочувальний інструмент.

Preconditions of creation and development of new method of treatment pressure are rotated are stamping by a rolling-off with active forces of friction. Perspective of method is based on possibility of intensification of forming in the set directions. It allows making details with different structural elements. The concrete technological operations of the use of process are considered.

**Keywords:** stamping by a rolling-off, frequency of rolling-off, angle of slope of axis of rolling-off, instrument for rolling.

**Введение.** Основные особенности штамповки обкатыванием обусловлены специфическим действием образованного в ходе протекания процесса локализованного очага деформации. В первую очередь это утверждение относится к характерным проявлениям формоизменения и энергосиловым характеристикам процесса [1].

В свою очередь геометрия очага пластической деформации определяется тремя кинематическими характеристиками процесса:

- осевой скоростью деформирования ( $v$ );
- частотой обкатывания ( $n$ );
- углом наклона оси обкатывания ( $\gamma$ ).

Приведенные кинематические характеристики определяют геометрию очага деформации, который при осадке цилиндрического образца можно условно оценить по коэффициенту ( $\lambda$ ) - соотношения площади контакта между активным инструментом и заготовки ( $F_K$ ) к полной торцевой поверхности ( $F$ )

$$\lambda = \frac{F_K}{F} = \sqrt{\frac{S}{\pi^2 R \cdot \operatorname{tg} \gamma}}, \quad (1)$$

где:  $S = \frac{v}{n}$  - подача за единичное обкатывание;

$R$  - текущий радиус заготовки.

По коэффициенту  $\lambda$  определяют геометрические размеры локального контактного очага деформации, как на торце, так и его проникновение по высоте заготовки ( $h$ ). Характеризующими очага деформации в этом случае являются: - угол при вершине вписанного треугольника ( $\alpha$ ); - дуга боковой поверхности ( $l$ ), которые определяются выражениями:

$$\alpha = \frac{R(\pi \cdot \lambda + 0,433) - \frac{S}{2\pi \cdot \operatorname{tg} \gamma}}{0,0349 \cdot R}, \quad (2)$$

$$l = R \cdot \alpha. \quad (3)$$

Высота образованного локального очага  $h \approx l$ . Эта величина, несмотря на неполноту описания с ее помощью локального очага деформации, носит ключевое значение, так как от нее, в конечном счете, зависят особенности формообразования. В зависимости от соотношения между  $h$  и  $H$  (где:  $H$  – высота заготовки) возможны, как минимум, два основных механизма протекания деформаций.

**Первый механизм.** При штамповке обкатыванием под силовым воздействием активного инструмента имеющего форму конуса образуется локальный очаг деформации, который при обкатывании инструмента перемещается и многократно охватывает зону действия. Если  $h < H$  то пластические деформации охватывают только верхнюю область тела заготовки. Деформации очага в тангенциальном направлении вызывают образование неконтактного вспучивания вдоль периферийного фронта, а в радиальном – приводят к образованию специфической грибовидной формы заготовки. Причем нижняя зона заготовки деформаций не претерпевает и остается неизменного

радиуса. При таком сочетании между  $h$  и  $H$  заготовку, условно, можно назвать "высокой" [2].

Второй механизм. Совершенно иной механизм деформаций при  $h > H$  (в данном случае имеется в виду расчетное значение  $h$  определенное по длине дуги контакта  $l$ ). При таком соотношении локальный очаг деформации проходит через всю высоту заготовки. Это вызывает практически равномерные на верхнем и нижнем торцах заготовки условия нагружения, образования локализованного очага деформации, а также и деформации. Тангенциальные деформации вызывают образование специфических очагов неконтактных деформаций, по своему действию напоминающих изгиб противоположащей контакту области заготовки в горизонтальной плоскости. Эта особенность вызывает интенсивный рост текущего диаметра как за счет тангенциальных, так и радиальных деформаций в контактном очаге при равномерном возрастании диаметра по высоте заготовки. При таком сочетании между  $h$  и  $H$  заготовку, условно, можно назвать "низкой", это соотношении достигается при  $2R/H > 4$  [3].

Особенности деформации высокой и низкой заготовки, в конечном счете, являются определяющими при определении преимуществ способа. Общепринятыми, из которых являются следующие [1]:

- \* снижение усилия деформирования в сравнении с традиционными методами в 5...30 раз;
- \* снижение влияния контактного трения;
- \* достижение равномерности деформирования, что относится к изделиям с большим соотношением диаметра к высоте;
- \* увеличение граничной степени деформации в сравнении с традиционной объемной штамповкой 10...15% из-за создания благоприятных схем деформирования, в том числе прохождения за цикл обкатывания многоэтапного сложного деформирования;
- \* возможность изготовления деталей, которые невозможно изготовить другими способами обработки давлением из-за опасности разрушения детали или инструмента при чрезмерных напряжениях деформирования;
- \* увеличение стойкости штамповой оснастки;
- \* возможность обработки в холодном состоянии деталей, которые изготавливались в горячем состоянии, при тех же технологических усилиях;
- \* изготовление деталей в холодном состоянии позволяет получать функциональные поверхности, не требующие последующей обработки резанием;
- \* создание технологических процессов и оборудования, которые отвечают повышенным требованиям безопасности и условий труда, т.к. процесс штамповки обкатыванием отличается низким уровнем шума, протекает в холодном состоянии, имеет предпосылки к автоматизации и механизации;
- \* снижение размеров, веса и стоимости оборудования и оснастки;
- \* использование преимуществ холодного поверхностного упрочнения, получение оптимальной заданной структуры, т.к. в зоне деформирования протекают интенсивные дислокационные процессы, что сопровождается образованием совершенной ячеистой структуры;

\* возможность реализации штамповкой обкатыванием широкого спектра операций объемной и листовой штамповки.

Несмотря на то, что перечисленные характеристики являются общепринятыми, при детальном анализе можно прийти к выводу, что подавляющая их часть относится к обработке низких заготовок. Также, если рассматривать осадку высоких и низких образцов с точки зрения практического использования при изготовлении изделий определенной формы (в данном случае – фланцевых), выделяются две взаимоисключающие особенности, которые делают привлекательными или затрудняют обработку той или иной заготовки:

1) изготовление фланца на цилиндрической высокой заготовке является естественным процессом, так как этому способствует особенности ее формоизменения, вплоть до того, что определенные геометрические соотношения фланцевой части можно получать без формообразующих элементов штамповой оснастки;

2) наоборот, изготовление фланца на цилиндрической низкой заготовке препятствуется равномерным протеканием суммарных радиальных деформаций по ее высоте, при этом следует обратить внимание на то, что максимальный эффект от штамповки обкатыванием достигается как раз при обработке низких заготовок.

Из приведенного следует, что, с одной стороны, формообразование фланцевой части на низкой заготовке не целесообразно, так как при этом нивелируется большая часть преимуществ способа. С другой стороны, именно обработка тонких заготовок штамповкой обкатыванием наиболее эффективна, а также следует учитывать, что фланцевые детали имеют массовое распространение. Общее решение сформулированных замечаний является актуальной задачей, требующей как концептуальной теоретической, так и технологической, и конструкторской проработки.

Существует ряд технологических процессов обработки металлов давлением, в которых достигаются положительные эффекты при наложении на традиционный технологический процесс активных сил трения, например штамповка с кручением, прессование и др. [4, 5]. В данной статье рассмотрены принципиальные моменты позитивного использования активных сил трения с точки зрения управления формоизменения при штамповке обкатыванием. Следует отметить, что эффективность формоизменения с активными силами трения не только приемлема при обработке тонких фланцевых заготовок, а создает целую гамму технологических возможностей.

Общая схема процесса штамповки обкатыванием заключается в том, что (см. рис.1) деформирование заготовки 1 производится между активным инструментом 2 и штампом 3. Активный инструмент совершает обкатывающие движения относительно вершины  $O$ . Наиболее простым по реализации является круговое обкатывание активного инструмента 2, но возможны и более сложные виды обкатывающих перемещений. Угол наклона оси  $OZ_1$  активного инструмента 2 относительно вертикальной оси  $OZ$  составляет угол  $\gamma$ . Деформирование заготовки происходит при осевом сближении инструмента 2 со

штампом 3 и движении обкатывания. Между инструментом 2 и заготовкой 1 образуется контакт только по части ее торцевой поверхности, которую называют пятном контакта (заштрихованная область на рис. 1). Суммарная зона пластической деформации при круговом перемещении локализованного очага, который образуется под пятном контакта, охватывает весь объем заготовки 1.

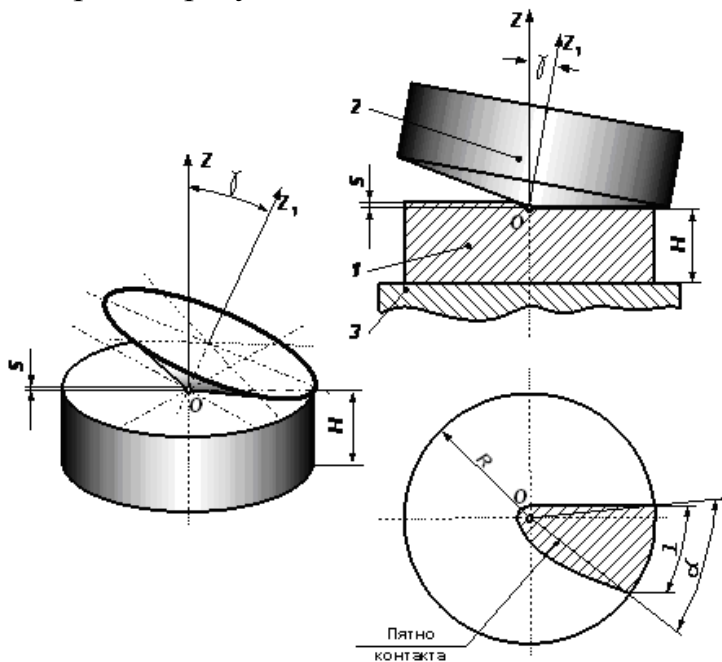


Рис. 1. Схема штамповки обкатыванием

Традиционно, процесс штамповки обкатыванием реализуют с присутствием минимальной составляющей сил трения в балансе работ. Это условие достигается, если активный инструмент 2 совершает обкатывающие движения относительно вершины  $O$ . Однако, это условие выполнимо только при самой простой форме активного инструмента 2 в виде конуса. При более сложной геометрии формообразующего инструмента, неизбежно, между инструментом и заготовкой возникает относительное проскальзывание,

что в большинстве случаев не приветствуется.

Для нашего случая как раз этот технологический эпизод может оказать положительную роль, так как, задавая направление и интенсивность проскальзывания можно вызвать контактные силы трения, которые будут активно способствовать истечению металла из локализованного очага деформации в заданном направлении и участвовать в заключительном формообразовании.

Моделирование истечения металла из локализованного очага в зависимости от направления активных сил трения показаны на рис. 2. Возможны четыре, наиболее очевидные, варианта направлений активных сил трения: - два в радиальном направлении (от центра (см. рис.2, а) и к центру (см. рис.2, б)); - два в тангенциальном (по направлению обкатывания (см. рис.2, в) и против направления (см. рис.2, г)). В более сложном виде возможны комбинации очагов деформирования с радиально-тангенциальными направлениями сил трения.

Приложение активных сил трения в радиальном направлении от центра (см. рис.2, а) вызывает интенсивные деформации в этом направлении и приводит к приданию специфической грибовидной формы даже на низкой заготовке и, по сути, решает вопрос о формировании фланца на заготовках всех типоразмеров.

Направление активных сил трения в радиальном направлении к центру (см. рис.2, б) приводит к ослаблению формообразования грибовидной внешности на высоких заготовках.

При определенных сочетаниях кинематических параметров процесса

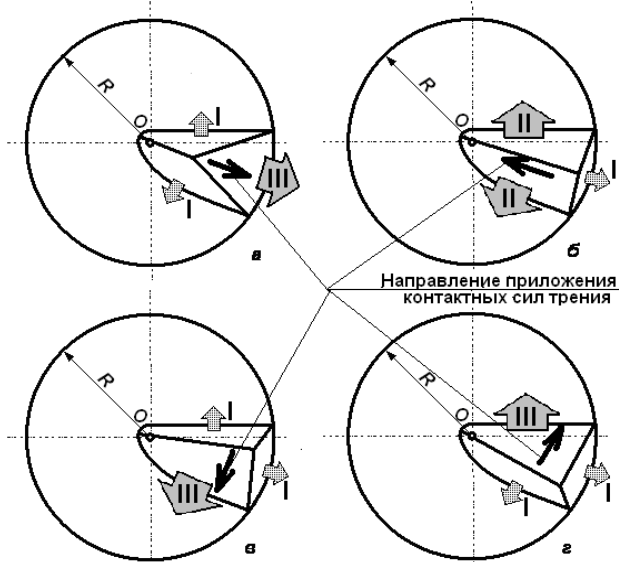


Рис.2. Схемы создания преимущественных направлений истечения металла из локализованного очага деформации (I – минимальная интенсивность истечения; II – средняя; III.- максимальная).

возникает нежелательное проявление истечения металла из локализованного очага по направлению обкатывания в виде "бегущей волны". Использование активных сил трения приложенных в обратном направлении (см. рис.2, г) снижает или устраняет этот эффект.

Предварительный анализ показал, что составляющая работы активных сил трения в балансе работ не превышает 5% от общих энергозатрат, а эффект от расширения технологических возможностей – очевидный.

На кафедре механики пластичности материалов и ресурсосберегающих процессов Национального технического университета Украины "Киевский политехнический институт" проводятся научно-исследовательские работы по

установлению энергосиловых и эффективных кинематических характеристик процесса штамповки обкатыванием с активными силами трения. Разрабатываются конструкции технологической оснастки позволяющей реализовать этот способ в промышленных условиях.

### Выводы

1. Сформулирована задача развития способа штамповки обкатыванием применительно к изготовлению наиболее массовых деталей.
2. Обоснованы характеристики процесса, которые определяют особенности формоизменения.
3. Определена целесообразность придания обкатывающему инструменту дополнительных технологических функций – создания активных сил трения.
4. Проведен предварительный анализ вариантов применения способа для получения положительных технологических эффектов.
5. Намечены направления дальнейших научных, технологических и конструкторских исследований и разработок.

**Список литературы:** 1. *Кривда Л.Т.* Теорія і практика штампування обкочуванням: (Монографія) / Л.Т.Кривда. - Київ. 1998. – 179 с. 2. *Гожій С.П.* Модель деформацій при осаджуванні обкочуванням високого циліндричного зразка // *Машинознавство*, 2009. - №7 (145).-с. 34-37. 3. *Кривда Л.Т.* Построение модели пластических течений при осадке обкатыванием цилиндрической заготовки. Прогресивна техніка і технологія машинобудування і зварювального виробництва // Л.Т. Кривда, С.П. Гожий; Праці Міжнародної конференції, присвяченої 100-річчю механіко-машинобудівного і 50-річчю зварювального факультетів. Том II. К.: НТУУ "КПІ". 1998. с. 454-458. 4. *Марченко В.Л.* Вплив напруженого стану заготовки на пластичність при деформуванні з крученням / В.Л. Марченко, Ю.С. Шамарін// *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки.*–2005.–№1.–С. 53-55. 5. *Калюжний*

В.Л. Силові режими та якість виробів при холодному видавлюванні порожнистих виробів із сталі в умовах прикладання розтягуючого зусилля до заготовки. // В.Л. Калюжний та ін.; Наукові нотатки. Міжвузівський збірник. Луцький національний технічний університет. Вип. №25. Частина 2. – 2009. – С. 103-107.

## УДК 621.919

**ГРУШКО А.В.**, канд. техн. наук, доц., ВНТУ, Вінниця

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СКОРОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ МАТЕРИАЛА ПО ЕГО ТВЕРДОСТИ**

Предложен метод определения параметров, учитывающих скоростное упрочнение материала в холодном состоянии. Метод основан на измерении стандартной твердости по Бринеллю (НВ) и Либу (НЛ). Проведено моделирование при помощи метода конечных элементов. Получены регрессионные зависимости показателя скоростного упрочнения от чисел твердости НВ, НЛ для некоторых групп сталей.

Запропоновано метод визначення параметрів, що враховують швидкісне зміцнення матеріалу в холодному стані. Метод ґрунтується на вимірюванні стандартної твердості за Брінелем (НВ) і Лібом (НЛ). Проведено моделювання за допомогою методу кінцевих елементів. Отримано регресійні залежності показника швидкісного зміцнення від чисел твердості НВ, НЛ для деяких груп сталей.

The method of determination of parameters, taking into account the speed work-hardening material in the cold state is offered. A method is based on measuring of standard hardness by Brinell (HB) and Leeb (HL). A design through the finite-element method is conducted. Regressive dependences of index of the speed work-hardening are got on the hardness of HB, HL for some groups of steels.

Учет влияния скорости деформаций металлов необходим для моделирования процессов обработки металлов давлением, в основе которых лежит ударное воздействие на обрабатываемую заготовку. Скоростные эффекты учитываются при моделировании столкновения автомобилей, самолетов, механизмов, аварий строительных конструкций, проведении экспертиз, связанных с определением энергии деформации при столкновении автомобилей и пр. [1, 2]. Отметим, что справочные данные влияния скорости деформации на упрочнение в холодном состоянии для большинства конструкционных материалов отсутствуют. Определение параметров, определяющих скоростное упрочнение материала, связано с проведением специальных лабораторных динамических испытаний. Таким образом, актуальным является разработка метода определения параметров скоростного упрочнения материала, позволяющего применять стандартные методы испытаний. Предлагаемый ниже метод основан на измерении твердости материала двумя методами – стандартным статическим испытанием по Бринеллю (*НВ*) и динамическим по Либу (*НЛ*). Твердость *НЛ* измеряется при помощи портативного переносного твердомера, использование которого приобретает большую популярность, благодаря удобству использования. В статических измерениях скоростные эффекты ничтожно малы,