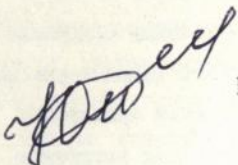


**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ УКРАИНЫ
" КИЕВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ "**

На правах рукописи



ОЛЕГ ЧЖИЙОН

К Н Р

УДК 621.73.043

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ШТАМПОВКИ
ОБКАТЫВАНИЕМ**

**05.03.05 – ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ ОБРАБОТКИ
МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Киев -1997



00753505 (P)

Диссертация является рукописью.

Работа выполнена на кафедре обработки металлов давлением Национального "технического университета Украины "Киевский политехнический институт".

Научный руководитель - Кандидат технических наук,
доцент **Пшенишник Александр Сидорович**

Официальные оппоненты - Директор НИИАТ, доктор технических наук,
профессор **Кривов Георгий Алексеевич**
Старший научный сотрудник института
проблем материаловедения НАН Украины,
кандидат технических наук
Ваглик Геннадий Анатольевич

Ведущая организация - Украинский конструкторский технологический институт сварочного производства

Защита диссертации состоится " 09 " июня 1997 г. в 15 ч.
на заседании специализированного Совета Д.01.02.18 Национального
технического университета Украины " Киевский политехнический ин-
ститут " по адресу:

252056, г. Киев-56, проспект Победы, 37, учебный корпус 1,
ауд. 166-1.

Отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью,
просим направить по указанному адресу на имя ученого секретаря
специализированного Совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Университета.

Автореферат разослан " 07 " мая 1997 г.

Ученый секретарь
специализированного
Совета

кандидат технических наук,
доцент

О. А. Боронко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность диссертационной работы связана с проблемой снижения энергетических и материальных затрат при выпуске металлоизделий. Указанная проблема особенно важна для металлообрабатывающих отраслей промышленности как КНР так и Украины, которые вынуждены функционировать в условиях дефицита энергетических ресурсов.

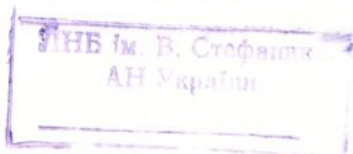
Штамповка обкатыванием является одним из наиболее перспективных технологических процессов в обработке металлов давлением (ОМД) с точки зрения экономии энергетических и материальных ресурсов. Причем, наибольший эффект достигается как за счет разработки технологических процессов на базе штамповки обкатыванием, так и за счет создания новых типов машин и оснастки.

Однако, отсутствие или несовершенство общих подходов и принципов, необходимых для оптимального выбора основных параметров технологических процессов и оборудования для штамповки обкатыванием, препятствует ее дальнейшему развитию, а, следовательно, и извлечению максимальных выгод, связанных с существенной экономией энергетических и материальных ресурсов в промышленности при более широком использовании рассматриваемого процесса.

Цель диссертационной работы - разработка методик расчета параметров технологического процесса и оборудования для штамповки обкатыванием с улучшенными по сравнению с существующими, показателями энергоемкости и использование полученных результатов при внедрении в производство новых типов оборудования и технологий.

Для достижения указанной цели поставлены и решены следующие задачи:

1. Разработана модель технологического процесса, позволяющая оценивать энергетические затраты на его реализацию, а также обобщенная модель, дающая возможность комплексной оценки энергозатрат в системе "оборудование-технологический процесс".
2. Определены критерии оптимизации оборудования и технологии по показателям энергоемкости и сформулирована оптимизационная за-



дача.

3. Разработаны метод и алгоритмы решения задачи по оптимизации параметров технологических процессов и оборудования для штамповки обкатыванием.

4. Создано программное обеспечение, дающее возможность на стадии проектирования определять параметры процесса и оборудования с уменьшенными энергозатратами на единицу выпускаемой продукции при одновременном обеспечении желаемого уровня его производительности.

5. Полученные результаты использованы при разработке технологических процессов и проектировании промышленного оборудования.

Методы исследования. Теоретический анализ и разработка модели процесса выполнены с использованием энергетического метода. Результаты экспериментальных исследований получены при помощи современных средств электротензометрии, а также методов планирования эксперимента. При решении задачи оптимизации применены методы покоординатного спуска и штрафной функции.

Научная новизна. 1. Разработана математическая модель процесса с учетом упругой деформации инструмента, а также расчетная схема оборудования для штамповки обкатыванием, позволяющая оптимизировать его конструкцию и учитывающая основные факторы, которые влияют на энергопотери в узлах механизмов.

2. Установлена область рационального использования технологического процесса и оборудования для штамповки обкатыванием, определены критерии оптимизации с точки зрения уменьшения энергозатрат при реализации процесса и на стадии конструирования оборудования.

3. Определены зависимости для установления производительности оборудования и технологических процессов, позволяющие предложить пути повышения производительности процесса при одновременной рационализации энергопотерь.

4. Разработаны метод и алгоритм решения задачи оптимизации параметров технологических процессов и оборудования для штамповки обкатыванием.

5. Создано программное обеспечение, позволяющее решать оптими-

ационные задачи в области технологий и оборудования для штамповки обкатыванием, которое может быть использовано для решения других задач в ОМД.

6. Решены задачи оптимизации параметров, как технологических процессов, так и оборудования. Выработаны рекомендации, позволяющие на стадии проектирования выбрать параметры технологического процесса и оборудования, обеспечивающие оптимальные энергозатраты при производстве штамповки обкатыванием.

Связь с госпрограммами и НИР. Работа выполнена в рамках кооперативной тематики с ПО "АвтоКРАЗ" (г. Кременчуг) (х/д N 931).

Практическая ценность. Разработанные модели процесса и оборудования позволяют создать уточненные инженерные методики расчета основных энергосиловых параметров вновь создаваемых технологий и машин для штамповки обкатыванием.

При этом, учет в моделях, полученных экспериментальных результатов по исследованию упругой деформации инструмента, дает возможность расширить технологические возможности существующего оборудования (увеличения максимальных размеров штампуемых изделий) за счет использования конструкций инструмента и оснастки повышенной жесткости.

Предложенные критерии оптимизации служат основой для оценки энергозатрат в процессах штамповки обкатыванием и оборудовании для его реализации.

Созданное программное обеспечение дает возможность разрабатывать и проектировать новые технологические процессы и оборудование с уменьшенной энергоемкостью по сравнению с существующими, а также может служить важной составной частью САПР в штамповке обкатыванием.

Реализация результатов. Полученные результаты были использованы при создании первой отечественной опытно-промышленной установки для штамповки обкатыванием ПУШО-200 (ПО "АвтоКРАЗ", г. Кременчуг) усилием 2,0 МН, а также при разработке технического предложения специализированного прессы 2605ШО500 усилием 5,0 МН для ПО "ПрессМаш"

(г. Одесса), по заказу ПО " ТяжноМаш " (г. Эчжоу, КНР).

Апробация работы. Основные результаты работы были доложены на: научно-технических семинарах кафедры обработки металлов давлением КПИ и института обработки металлов давлением Хуачжонского научно-технологического университета КНР, международной конференции: " Основы технологии обработки металлов давлением " (г. Ухань, КНР 1994 г.), научно-техническом совещании заводов ПО "ПрессМаш" (г. Одесса, 1992 г.) и ПО " ТяжноМаш " (г. Эчжоу КНР, 1992г.).

Личный вклад автора в получении научных результатов , которые обобщены в диссертационной работе, заключается в разработке обобщенной схемы расчета энергетических затрат в оборудовании для штамповки обкатыванием , в предложении критериев оценки оптимальности параметров технологии и оборудования, разработке системы оптимизации, включающей метод решения, алгоритм и программное обеспечение, а также в решении задачи оптимизации и сопоставлении результатов расчета с экспериментальными данными.

Основные положения выносимые на защиту.

1. Разработанная математическая модель процесса и расчетная схема оценки энергетических затрат на его реализацию на оборудовании для штамповки обкатыванием с учетом упругой деформации инструмента.

2. Предложенная система критериев оптимизации параметров технологических процессов и оборудования для штамповки обкатыванием.

3. Разработанный подход к определению области параметров рационального использования процесса.

4. Полученные зависимости для определения производительности процесса штамповки обкатыванием и установленные принципы ее повышения.

5. Разработанная система оптимизации энергозатрат на реализацию процесса , включающая методики решения оптимизационной задачи, алгоритм и программное обеспечение.

6. Рекомендации по промышленному использованию полученных результатов при разработке технологических процессов и оборудования

для штамповки обкатыванием с уменьшенными показателями энергоемкости.

Публикации. По результатам работы опубликовано 10 научных работ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы и приложения. основная часть работыложена на 174 страницы и включает 11 таблиц и 60 рисунков. Список литературы содержит 92 наименования. Общий объем работы составляет 174 страницы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель работы, задачи исследований, научная новизна работы и основные положения, выносимые автором на защиту.

В первой главе приведен анализ ранее выполненных исследований по изучению энергосиловых параметров процесса, созданию оборудования для штамповки обкатыванием и на его основе новых ресурсосберегающих технологических процессов.

Благодаря локализации очага деформации при штамповке обкатыванием (рис.1), что достигается путем придания коническому инструменту 1 обкатывающего движения, потребное усилие деформирования заготовки 2 снижается в 5-20 раз, при одновременном снижении энергозатрат на реализацию процесса.

Большой вклад в исследование штамповки обкатыванием внесли работы Marciniak Z., Hawkyard J.B., Standring P.M., Kubo K., Kobayashi M., Nakane T., Zhang M., Корякина Н. А., Лапина В.В., Кривды Л. Т., Шенишнюка А. С., Агеева Н. П., Бабушкина Р.А. и других.

Тем не менее,обладая рядом достоинств, процесс не получил широкого промыш-

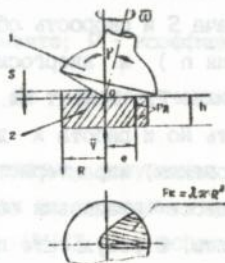


Рис.1 Схема процесса

шленного освоения в Украине и КНР, так как до сих пор серийно не выпускается оборудование для штамповки обкатыванием, а импортное оборудование обладает рядом недостатков, которые ограничивает область его применения.

Разброс в параметрах выпускаемого оборудования достаточно широк. В частности, кинематические параметры варьируются в пределах: угол наклона продольной оси конического инструмента - $0,0175 - 0,140$ рад ($1^\circ - 8^\circ$); угловая скорость обкатывания - $10 - 105$ рад/с.

Как следует из обзора литературных источников, критерии, а также рекомендации по выбору рациональных (оптимальных) параметров процесса и оборудования для штамповки обкатыванием, отсутствуют.

Приведенный сопоставительный анализ ранее выполненных исследований, а также существующих и предлагаемых конструкций оборудования, и предложенная его классификация позволили определить тенденции в развитии перспективных конструктивных и технологических схем, и сформулировать задачи исследования.

Вторая глава посвящена аналитическому и экспериментальному исследованию физической модели оптимизируемого процесса штамповки обкатыванием с учетом упругой деформации инструмента.

В соответствии с принятыми допущениями и, на основании анализа выполненных исследований по изучению энергосиловых параметров, приведены систематизированные данные по взаимосвязи кинематических (угол наклона γ , подача S и скорость обкатывания n) и энергосиловых (усилие P_d , момент M_d , мощность N_0 и работа A деформирования) характеристик в процессе штамповки обкатыванием. В результате приведенного анализа можно сделать вывод, что эффективность

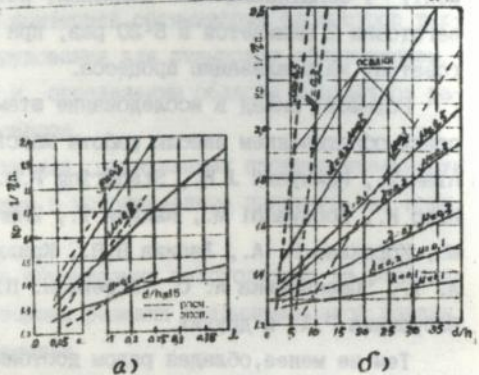


Рис.2 Эффективность процесса

(к. п. д) рассматриваемого процесса (см. рис.2) обусловлена многократным снижением потребного усилия деформирования, которое пропорционально коэффициенту уменьшения контактной площади по сравнению с традиционными способами штамповки λ , определяемого основными параметрами процесса

$$\eta_{п.} = \frac{1}{K_p} = \frac{1}{1 + \mu\lambda \left(\frac{2R}{3h} + 1 \right) + \frac{1}{2} \frac{h}{S} \sqrt{1 + \frac{S}{h-S}} - 1}, \quad (1)$$

здесь коэффициент λ может быть определен по зависимости:

$$\lambda = \frac{F_k}{\lambda R} = \frac{1}{2\alpha} \left[\alpha + (1 + 2Q) \frac{\sin \alpha}{3} \right],$$

где $Q = S/2tg\psi$, $\alpha = \cos^{-1}(1-2Q)$, R , h - радиус и высота заготовки, μ - коэффициент трения по контактной поверхности.

В результате исследования влияния упругой деформации инструмента на процесс показано наличие критического усилия деформирования при холодной штамповке обкатыванием, ниже которого пластическое течение в заготовке не возникает.

Полученная аналитическая зависимость для определения критического усилия имеет вид:

$$P_{кр} = (2k \cdot K_p' \cdot R)^2 \frac{8}{9} \frac{C}{\psi}, \quad (2)$$

или

$$S_{кр} = \frac{P_{кр}}{2k \cdot A_0} = \frac{8}{9\alpha} K_p'^2 \frac{2kC}{\psi}, \quad (3)$$

где $C = \frac{16(1-\nu^2)}{\alpha \cdot E}$ - упругая константа инструмента; ν - коэффициент Пуассона; E - модуль упругости инструмента; $2k$ - предел текучести материала;

На основании анализа экспериментальных данных, полученных при помощи современных средств электротензоэметрии на экспериментальной установке для штамповки обкатыванием мод. UMIST и, с использованием методов планирования экспериментов, получено экспериментальное уравнение критического усилия деформирования в виде:

$$\sigma_{cr} = (0,484(2\kappa) \frac{C}{\gamma} + 0,034(2\kappa) - 12 \frac{C}{\gamma} - 5,4 \cdot 10^{-5} (2\kappa)^2) \cdot 10^{-3} \quad (4)$$

Сопоставление расчетных и экспериментальных значений критического усилия при холодной штамповке обкатыванием (рис. 3) показало их достаточную сходимость и, позволило предложить номограмму удобную для проведения инженерных расчетов.

Увеличение контактной площади между инструментом и заготовкой вследствие упругой деформации инструмента при холодной штамповке обкатыванием может быть оценено через коэффициент λ' (рис. 4), которое ведет к возрастанию усилия, момента, мощности и работы деформирования заготовки и нежелательному снижению эффективности процесса.

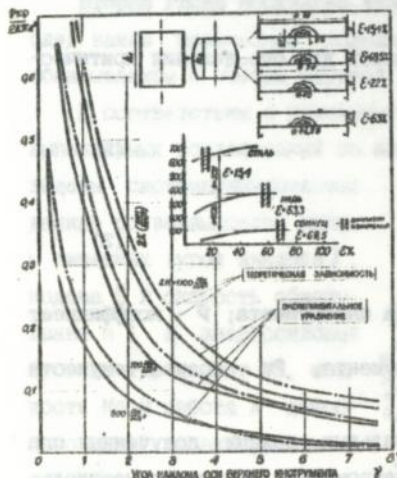


Рис. 3 Критическое усилие при холодной штамповке обкатыванием

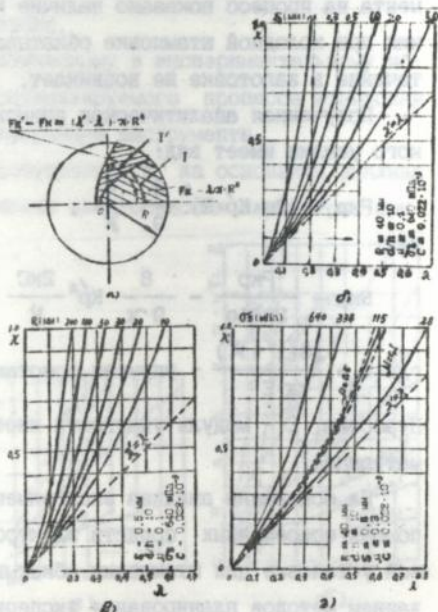


Рис. 4 Коэффициент λ' с учетом упругой деформации инструмента

$$\lambda' = \frac{\frac{S}{\lambda \cdot C} + 1,25 \sigma_s \cdot \pi \cdot R}{\frac{S}{\lambda^2 \cdot C} - \mu \lambda^2 \left(\frac{2R}{3h} + 1 \right) \cdot \sigma_s \cdot \pi \cdot R} \quad (5)$$

где $\sigma_s = 2k$ - предел текучести.

Таким образом, выполненные исследования позволяют предложить модель процесса, учитывающую упругую деформацию инструмента, что, в свою очередь, дает возможность более точно определять весь комплекс энергосиловых характеристик как процесса так и оборудования.

Третья глава посвящена определению энергетических затрат в оборудовании для штамповки обкатыванием на основе выбранной обобщенной расчетной схемы (рис.5). Последняя предложена в соответствии с проведенным классификационным анализом существующих и предложенных конструкций данного класса кузнечно - штамповочного оборудования.

В результате исследования получены зависимости для установления реакции на прессователе, крутящего момента механизма обкатывания, мощностей двигателей обкатывающего движения и осевого перемещения инструмента, позволяющих предложить уточненные

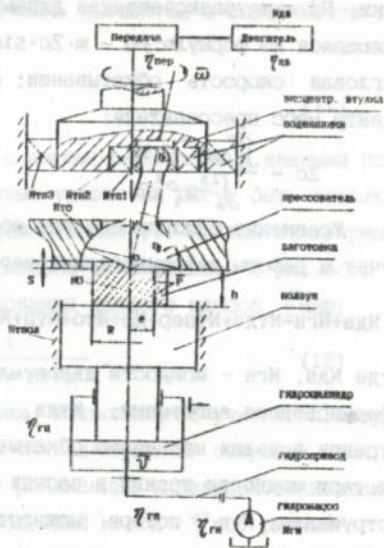


Рис.5 Схема расчета энергопотерь критерии оценки эффективности системы "кузнечно-прессовая машина - заготовка" для данного технологического процесса.

Так реакции на прессователе могут быть представлены в виде:

$$R_0 = \sqrt{1 + \left(\frac{e - r g \sin \gamma}{L p \cos \gamma - r g \sin \gamma} \right)^2 + \left(1 - \frac{Z_0}{L p} \right)^2 \cdot \left(\frac{P_d}{P_d} \right)^2 + 2 \left(\frac{e - r g \sin \gamma}{L p \cos \gamma - r g \sin \gamma} \right) \cdot}$$

$$\cdot \left(1 - \frac{Z_c}{L_p}\right) \cdot \left(\frac{P_d}{P_d}\right) \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot P_d ; \quad (6)$$

$$R_n = \sqrt{\left(\frac{e - r g \sin \gamma}{L_p \cos \gamma - r g \sin \gamma}\right)^2 + \left(\frac{Z_c}{L_p}\right)^2 \cdot \left(\frac{P_d}{P_d}\right)^2} - 2 \left(\frac{e - r g \sin \gamma}{L_p \cos \gamma - r g \sin \gamma}\right) \cdot \left(\frac{Z_c}{L_p}\right) \cdot \left(\frac{P_d}{P_d}\right) \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot P_d . \quad (7)$$

где R_0, R_n - реакции в опоре и водиле прессователя; e - эксцентриситет приложения технологического усилия; rg - радиус сферической опоры; L_p - длина прессователя; P_d - усилие деформирования заготовки; P_d - неуравновешенная динамическая сила прессователя, определяющаяся по формуле: $P_d = m \cdot Z_c \cdot \sin \gamma \cdot \omega^2$; m - масса прессователя; ω - угловая скорость обкатывания; α - угол контактной площади; Z_c - центр масс прессователя:

$$Z_c = \frac{\int_0^{L_p} \pi \rho^2 \cdot Z \cdot dZ}{\int_0^{L_p} \pi \rho^2 dZ}$$

Уравнение баланса энергии оборудования по приведенной схеме, с учетом работы деформирования заготовки, может быть записано как:

$$N_{дв} + N_{гн} - N_{тдв} + N_{тпер} + N_0 + N_{то} + N_{тп} + N_{тпол} + N_{тгц} + N_{тгп} + N_{тгн} + N_{уп} . \quad (8)$$

где $N_{дв}, N_{гн}$ - мощности двигателя и гидронасоса; N_0 - мощность деформирования заготовки; $N_{тдв}, N_{тпер}, N_{то}, N_{тп}$ - потери мощность трения в уадах механизма обкатывания; $N_{тпол}, N_{тгц}, N_{тгп}, N_{тгн}$ - потери мощности трения в частях механизма осевого перемещения инструмента; $N_{уп}$ - потеря мощности на упругую деформацию оборудования и штампов.

Мощность приводного двигателя механизма обкатывания равна:

$$N_{дв} = K_{дв} \cdot N_0$$

$$N_{дв} = \frac{N_0}{\eta_{дв} \cdot \eta_{пер}} \left\{ 1 - \lambda + 2 \lambda \mu_1 \frac{rg}{S} \sqrt{[\sin^2 \gamma + \left(\frac{2 \gamma}{\lambda}\right)^2]} \left[1 + \left(\frac{e - r g \sin \gamma}{L_p \cos \gamma - r g \sin \gamma}\right)^2 + \left(1 - \frac{Z_c}{L_p}\right) \cdot \left(\frac{P_d}{P_d}\right)^2 + 2 \left(\frac{e - r g \sin \gamma}{L_p \cos \gamma - r g \sin \gamma}\right) \left(1 - \frac{Z_c}{L_p}\right) \cdot \left(\frac{P_d}{P_d}\right) \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right] \right\} +$$

$$+ 2\pi \frac{\lambda}{S} (\mu_2 r b \frac{2\psi}{\pi} + \mu_1 n_1 K_k \frac{dn_1}{2} + \mu_2 n_2 \frac{dn_2}{2}) \sqrt{\left(\frac{e - r g \sin \psi}{L p \cos \psi - r g \sin \psi}\right)^2 + \left(-\frac{Z_c}{L p}\right)^2 \cdot \left(\frac{P_d}{P_d}\right)^2 - 2 \left(\frac{e - r g \sin \psi}{L p \cos \psi - r g \sin \psi}\right) \cdot \left(-\frac{Z_c}{L p}\right) \cdot \left(\frac{P_d}{P_d}\right) \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \quad (9)$$

а мощность двп геля осевого перемещения инструмента (в случае использования гидропривода) равняется:

$$N_{гн} - K_{вгн} \cdot N_0$$

$$N_{гн} - \frac{N_0}{\eta_{гн} \cdot \eta_{гп} \cdot \eta_{гц}} \left(\lambda + \mu_3 \lambda \frac{e}{L_{пол}} \right) \quad (10)$$

Здесь мощность деформирования заготовки находится в зависимости от основных параметров процесса как:

$$N_0 - \frac{1}{2} K_p \cdot \sigma_s \cdot R^2 \cdot S \cdot \omega \quad (11)$$

Сопоставление зависимости (8) с экспериментальными данными позволяет сделать вывод, что полученные уравнения могут быть использованы с достаточной степенью сходимости для уточненных инженерных расчетов мощности пресса для штамповки обкатыванием (рис.6), а также для определения к.п.д. оборудования данного класса $\eta_{маш}$:

$$\eta_{маш} - \frac{N_0}{N_{дв} + N_{гн}} - \frac{1}{K_{вдв} + K_{вгн}} \quad (12)$$

В качестве комплексного критерия, позволяющего учитывать энергозатраты как во время выполнения технологической операции, так и затраты энергии в оборудовании для реализации указанной технологической схемы может быть выбран обобщенный к.п.д. $\eta_{шо}$, равный

$$\eta_{шо} - \frac{1}{K_p (K_{вдв} + K_{вгн})} - \frac{1}{K_p \cdot K_v} \quad (13)$$

а приведенные на рис.7 результаты расчета дают основание предполагать наличие максимума данного показателя при некоторых значениях основных параметров процесса. Последнее позволяет вполне обоснованно поставить задачу оптимизации процесса и оборудования с точки зрения уменьшения энергозатрат.

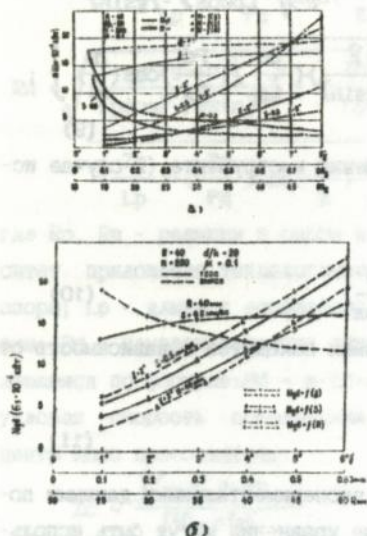


Рис. 6 Мощность прессы для штамповки обкатыванием

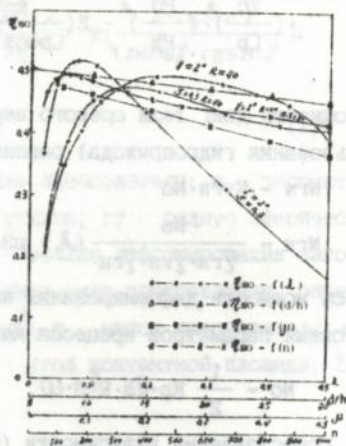


Рис. 7 Обобщенный к. п. д.

Четвертая глава посвящена разработке и определению математических критериев оптимизации энергозатрат при штамповке обкатыванием, в том числе целевой функции и условий-ограничений.

Как было показано в главе III, эффективность способа штамповки обкатыванием может определена величиной $\eta_{ш}$, которая и выбрана в качестве целевой функции оптимизации, т. е.

$$\eta_{ш}^* = \max \left(\frac{1}{K_p \cdot K_v} \right) = \frac{1}{K_p(\gamma^*, S^*) \cdot K_v(\gamma^*, S^*, \omega^*)} \quad (14)$$

Оптимальные основные параметры представляют собой последовательности их значений на каждом цикле обкатывания, что позволяет сделать вывод о целесообразности разработки и создания оборудования универсального назначения с регулируемым в ходе процесса параметрами.

Однако учитывая, что в большинстве случаев реальных технологических процессов штамповки обкатыванием, осуществление регулировки

основных параметров в ходе процесса ведет к усложнению конструкции оборудования, повышению его стоимости и к снижению надежности, представляется, целесообразным нахождение значений параметров, которые устанавливаются в начале процесса и обеспечивают снижение энергопотерь в ходе его реализации. С учетом сказанного, в качестве целевой функции оптимизации энергозатрат (суммарной работы) всего процесса деформирования выбран критерий:

$$W^* - \min \sum_{i=1}^{NN} (\pi k p_i \cdot K v_i \cdot R_i^2 \cdot \sigma_{Si} \cdot S_i) , \quad (15)$$

где NN - суммарное количество оборотов, необходимое для окончательного деформирования заготовки; S_i - подача инструмента за текущий оборот обкатывания; σ_{Si} - предел текучести материала, определяющийся по кривой упрочнения.

Результаты расчета (рис.8) при фиксированных параметрах процесса показали, что минимум энергозатрат достижим.

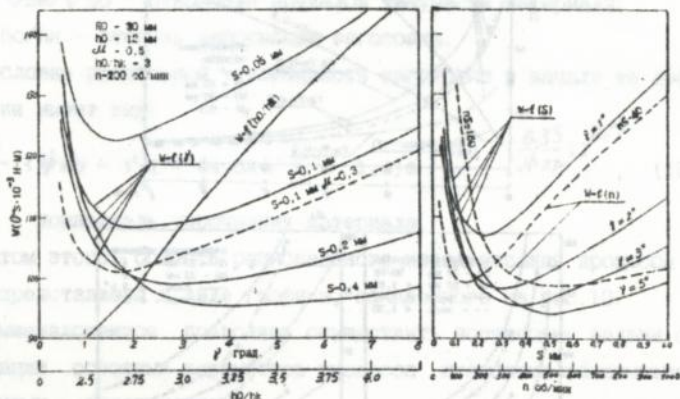


Рис.8 Энергозатраты в зависимости от основных параметров

Наряду с предложенной целевой функцией оптимизации проанализирован ряд условий - ограничений для применения штамповки обкатыванием. В частности, установлены области рационального использования

процесса и условие достаточной производительности оборудования.

Производительность оборудования ограничена номинальным усилием при холодной штамповке обкатыванием вследствие автоматического уменьшения подачи инструмента после достижения равенства потребного усилия деформирования заготовки P_d значению номинального усилия P_n оборудования. Тогда максимальные допускаемые подачи инструмента за каждый цикл обкатывания могут быть определены как:

$$S_i \leq S_{i\max} = \frac{R_{itg} \gamma}{0,405 \mu \left(\frac{d_i}{3h_i} + 1 \right)} \sqrt{1,25^2 + 4 \mu \left(\frac{d_i}{3h_i} + 1 \right) \frac{P_n}{\pi R_i^2 \sigma_{s1}} - 1,25^2} \quad (16)$$

При этом минимальное время рабочего хода, занимающее в процентном отношении наибольший удельный вес в общем цикловом времени, может быть установлено как:

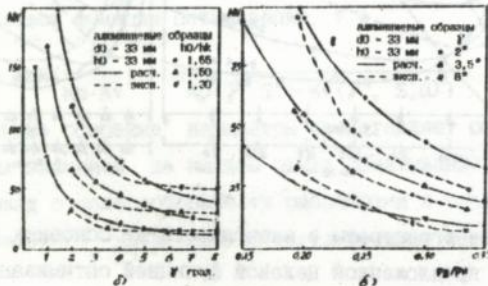
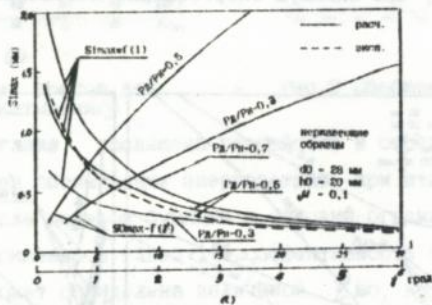


Рис.9 Производительность в зависимости от угла наклона и номинального усилия

$$t_{pmin} = \frac{NN}{n}, \quad \sum_{i=1}^{NN} Simax = h_0 - h_k \quad (17)$$

где n - частота обкатывания инструмента в минуту; h_0, h_k - начальная и конечная высота заготовки.

Полученные методом итерации результаты с достаточной степенью точности совпадают с экспериментальными данными (рис.9).

Используя теорему о среднем значении, область рационального использования процесса штамповки обкатыванием может быть определена путем сравнения работы деформирования $A_{шo}$ с работой, затрачиваемой при традиционных способах, $A_{ш}$.

$$A_{шo} < A_{ш},$$

тогда

$$\frac{d_0}{h_0} > \frac{0,25(1+2\frac{\sigma_{sk}}{\sigma_{so}}) + \mu\lambda_0[1 + \frac{\sigma_{sk}}{\sigma_{so}}(\frac{h_0}{h_k})^{-1/4}]}{\frac{\mu}{3}(1-\lambda_0)[1+2\frac{\sigma_{sk}}{\sigma_{so}}(\frac{h_0}{h_k})^{3/2}] + \frac{1-\lambda_0(\frac{h_0}{h_k})^{-1/4}}{1-\lambda_0}}; \quad (18)$$

где d_0/h_0 - отношение диаметра к высоте исходной заготовки;

σ_{sk}/σ_{so} - отношение пределов текучести материала;

h_0/h_k - степень деформации заготовки.

Условие продольной устойчивости заготовки в начале ее деформирования имеет вид:

$$\frac{h_0}{d_0} < \psi_{кр} - 1,4 + (4,84\sqrt{n} - 1,4)e^{-[\sin^{-1}(\frac{0,35}{\psi_{кр}})]^{2/7}}, \quad (19)$$

где n - показатель упрочнения материала.

С учетом этого, область рационального использования процесса может быть представлена в виде графика, показанного на рис.10.

Вышеизложенное позволяет осуществить постановку задачи об оптимизации основных параметров процесса штамповки обкатыванием с условиями - ограничениями.

В пятой главе изложены методы и алгоритмы решения задачи об оптимизации на основе численных методов; создана система оптимизации RFOPTIM (рис.11) для решения как вопроса штамповки обкатыванием, так и общих вопросов в ОМД; разработано ее программное обеспечение на машинных языках FORTRAN.

коэффициент уменьшения контактной площади - $\lambda_0 = 0,155 - 0,2$;
при горячей:

угол наклона - $\gamma = 3,0 - 6,25$ град.;

коэффициент уменьшения контактной площади - $\lambda_0 = 0,095 - 0,21$.

При этом разработанное программное обеспечение дает возможность для каждого конкретного условия обработки детали выбрать оптимальные с точки зрения минимизации энергозатрат параметры.

Полученные результаты были использованы при проектировании опытно-промышленной установки ПУШО-200 ус. 2,0 МН, предназначенной для штамповки обкатыванием номенклатуры деталей ПО "АвтоКРАЗ" (г. Кременчуг), а также при разработке проекта специализированного прессы 2605ПШО500 ус. 5,0 МН для нужд завода "Тяжмаш" (г. Эчжоу, КНР).

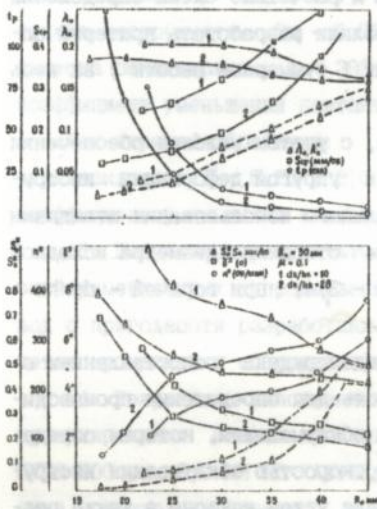


Рис.12 Оптимальное решение при холодной штамповке обкатыванием

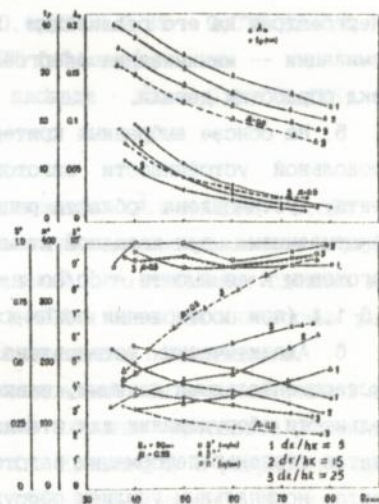


Рис.13 Оптимальное решение при горячей штамповке обкатыванием

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. На основе выполненных исследований предложена модель процесса, которая учитывает особенности деформации инструмента, что позволяет уточнить весь комплекс энергосиловых параметров как процесса так и оборудования.

2. Разработана расчетная схема, позволяющая производить более точную оценку энергетических затрат на реализацию процесса в системе " пресс для штамповки обкатыванием - заготовка ".

3. Проведенные исследования эффективности процесса показали, что максимум обобщенного к.п.д. штамповки обкатыванием достигается в случае, когда коэффициент контактной площади λ находится в пределах $\lambda - 0,2 - 0,08$. Последнее может быть обеспечено на оборудовании с регулируемыми параметрами, такими как угол наклона продольной оси прессователя, скорость обкатывания и осевого перемещения инструмента.

4. Разработанные модели процесса и расчетные схемы определения энергозатрат на его реализацию позволили разработать критерий оптимизации -- минимизация энергозатрат (суммарной работы) за весь цикл обработки детали.

5. На основе выбранных критериев, с учетом условия обеспечения продольной устойчивости заготовки и упругой деформации инструмента, установлена область рационального использования штамповки обкатыванием: при холодной штамповке отношение диаметра исходной заготовки к ее высоте - $d_0/h_0 > 4,05 - 3,4$; при горячей - $d_0/h_0 > 1,5 - 1,1$ (при соотношении $h_0/h_k < 2$).

6. Аналитически установлена и подтверждена сопоставлением с экспериментальными данными, зависимость для определения производительности оборудования для штамповки обкатыванием, которая определяется степенью деформации заготовки, скоростью обкатывания инструмента, номинальным усилием оборудования, углом наклона, а также размерами заготовки и условиями смазки. Повышение производительности процесса может быть достигнуто путем увеличения угла наклона и

скорости обкатывания прессователя.

7. Разработаны критерии оценки энергоемкости, поставлена задача об оптимизации энергозатрат при штамповке обкатыванием на основе проведенных систематизированных исследований закономерностей взаимосвязи основных кинематических и энергосиловых параметров с учетом упругой деформации инструмента.

8. Разработана система оптимизации RFOPTIM на основе выбранных методов и алгоритмов, а также ее программное обеспечение, которые позволяют решить задачи об оптимизации как для процесса штамповки обкатыванием, так и для других процессов в ОМД, и машиностроении. Она может быть использована в САПР технологических процессов, штамповой оснастки и оборудования для штамповки обкатыванием.

9. Полученные результаты оптимизации позволяют рекомендовать следующие диапазоны параметров для процесса штамповки обкатыванием, при которых энергозатраты на ее реализацию могут быть минимальны:

для холодной обработки:

угол наклона - γ - 3,25 - 1,75 град.;

подача инструмента - S_0 - 0,75 - 0,4, S_k - 0,45 - 0,075 (мм/об.);

частота обкатывания - n - 385 - 175 (об/мин.);

коэффициент уменьшения контактной площади - λ_0 - 0,2 - 0,155;

Для горячей обработки:

угол наклона - γ - 6,25 - 3,0 град.;

коэффициент уменьшения контактной площади - λ_0 - 0,21 - 0,095.

10. Полученные результаты подтверждены сопоставлением с рядом экспериментальных и промышленных данных, что позволяет сделать вывод о пригодности разработанных моделей и схем для инженерных расчетов процессов и оборудования для штамповки обкатыванием.

11. Результаты выполненных исследований были использованы при проектировании опытно-промышленного образца прессовой установки ПУШО-200 ус. 2,0 МН ПО "АвтоКРАЗ" (г. Кременчуг) и разработке проекта специализированного прессы 2605-ПШ0500 ус. 5,0 МН для нужд завода "Тяжмаш" (г. Эчжоу, КНР).

Основное содержание диссертационной работы опубликовано в следующих работах:

1. Пшенишнюк А.С., Юй Чжийон/Взаимосвязь кинематических и энергосиловых характеристик в процессе штамповки обкатыванием / Сборник научных трудов Хуачжонского научно-технологического университета " Основы технологии обработки металлов давлением ", 1994 No.11. с.31-35.
2. Пшенишнюк А.С., Навкуард J.В., Юй Чжийон / Экспериментальное исследование критического деформирующего усилия при штамповке обкатыванием /Сборник научных трудов Хуачжонского научно-технологического университета " Основы технологии обработки металлов давлением ", 1994 No.11. с.36-41.
3. Пшенишнюк А.С., Юй Чжийон / Разработка новых типов оборудования штамповки обкатыванием на основе оптимизации параметров технологических процессов / Інформатизація та нові технології. Київ, Видавничий дім, Комп'ютерні Системи, 1997 No.2. с.26-28.
4. Пшенишнюк А.С., Юй Чжийон/ Обобщенная оценка эффективности процесса и оборудования для штамповки обкатыванием / Сборник научных трудов факультета механизации сельского хозяйства Национального аграрного университета Украины "Сучасні проблеми сільськогосподарського машинобудування" том I, Киев, 1997 г.с.84-88.
5. Пшенишнюк А. С., Юй Чжийон / Определение времени деформирующего процесса штамповки обкатыванием /Сборник научных трудов факультета механизации сельского хозяйства Национального аграрного университета Украины " Сучасні проблеми сільськогосподарського машинобудування " том I, Киев, 1997 г. с.89-93
6. Пшенишнюк А.С., Юй Чжийон, Путиенко С.В. / Анализ эффективности процессов и оборудования для штамповки обкатыванием/ Киев, Деп. в ГНТБ Украины, 4.12.96, N 2316-Ук96.
7. Пшенишнюк А.С., Юй Чжийон, Путиенко С.В. / Повышение производительности оборудования для штамповки обкатыванием / Киев, Деп. в ГНТБ Украины, 4.12.96, N 2317-Ук96.

8. Пшенишнюк А.С., Юй Чжийон, Путиенко С.В / Определение критериев оптимизации энергозатрат при штамповке обкатыванием / Киев, Деп. в ГНТБ Украины, 4.12.96, N 2318-Ук96.
9. Пшенишнюк А.С., Путиенко С.В., Юй Чжийон / Экспериментальная установка для штамповки обкатыванием на базе прессы РХВ - 100 / Киев, Деп. в ГНТБ Украины, 4.12.96, N 2319-Ук96.
10. Пшенишнюк А.С., Путиенко С.В., Юй Чжийон / Расчет энергосиловых параметров штамповки обкатыванием деталей с центральным утолщением / Киев, Деп. в ГНТБ Украины, 4.12.96, N 2320-Ук96.

Аннотация

Юй Чжйон. " Повышение эффективности технологических процессов и оборудования для штамповки обкатыванием ". Рукопись. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05. 03.05 - Процессы и машины обработки металлов давлением. Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт", Киев, 1997.

В диссертационной работе решены проблемы, связанные с повышением эффективности технологических процессов и оборудования при штамповке обкатыванием на основе оптимизации их параметров.

Автор защищает математическую модель процесса с учетом упругой деформации инструмента, критерии, методы и алгоритмы оптимизации процесса штамповки обкатыванием, а также их программное обеспечение и рекомендации по промышленному использованию.

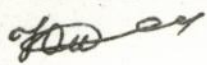
Annotation

Yu Zhiyong. " Promoting the efficiency of rotary forging based on optimization of their parameters ". Manuscript. This thesis is for claiming the academic degree of Candidate of technical science on speciality 05.03.05-The processes and machines for metalworking by pressure. The National Technical University of Ukraine " Kiev Polytechnical Institute " . Kiev, 1997.

Problems of promoting the efficiency of rotary forging, based on optimization of their parameters, have been solved in this dissertation.

It is defended by Author that mathematical models of the rotary forging process with the influence of elastic die deformation have been worked. And the criteria, methods and algorithms of the rotary forging optimization have been developed, as well as the recommendations for engineering applications have been proposed in order to promote the efficiency of rotary forging process and machines.

Ключові слова: штампування обкатуванням, ефективність, технологічні процеси, обладнання, енергосилові параметри, оптимізація, зменшення енергоємності, продуктивність.



Подп. к печати 5.05.97. Формат 60x84/16. Бумага офс. №1. Печ. офс.
Услови. печ. лист I Учт.-изд. л. I Тир. 100 Зам. 1800.

Компьютерный набор, верстка, печать выполнена в Фастовском
малом государственном полиграфическом предприятии "Полифаст"
г. Фастов, Киевская обл., ул. Ленина, 40

AB 37.688

AB 37.688