

А 194653
Министерство высшего и среднего специального образования СССР

Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н. Э. Баумана

Наталья Алексеевна МАКИНА

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ХОЛОДНОГО
ОБРАТНОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ С АКТИВНЫМ
ДЕЙСТВИЕМ СИЛ ТРЕНИЯ**

(05.03.08 — Оборудование и машины кузнечно-прессового
производства)

Диссертация написана на русском языке

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в МВТУ им. Н. Э. Баумана.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор Е. А. Попов.

Официальные оппоненты:
заслуженный деятель науки и техники РСФСР,
доктор технических наук, профессор В. Т. Мешерин
(СТАНКИН),
доктор технических наук, старший научный сотрудник
Л. Г. Степанский (ВНИИМЕТМАШ).

Ведущее предприятие — НИИТракторсельхозмаш.

Автореферат разослан « » 1973 г.

Защита диссертации
на заседании
заседания произведена
Трудового Коллектива
имени Н. Э. Баумана
«Москва, 10/11/73 г.»

1973 г.
механика
ордена
чилища

Ваши отклики
просьба выразить
С диссертацией
ща.

печатью,
е учили-

Ученый
канд. техн. наук

М 194653

тепанов.



1194653

Макина Н.А. Исследование

- 3 -

ВВЕДЕНИЕ

холодное выдавливание является одним из прогрессивных методов обработки металлов давлением и отличается высоким коэффициентом использования металла, повышенной прочностью получаемого изделия, высокими показателями чистоты поверхности и точности размеров изделия и т.д.

К недостаткам процесса следует отнести высокие усилия, действующие на рабочий инструмент при деформировании. При выдавливании стальных заготовок удельные усилия на пуансоне становятся соизмеримыми с пределом его прочности, что отрицательно сказывается на стойкости.

Поэтому широкому внедрению этого прогрессивного метода обработки в промышленное производство препятствует не отсутствие прессового оборудования, позволяющего получить необходимые усилия, а недостаточная стойкость рабочего инструмента при холодном выдавливании.

При решении проблемы повышения стойкости можно идти, во-первых, по пути применения высокопрочных сплавов для изготовления матриц и пуансонов, а также выбора рациональной технологии их изготовления и термообработки. В этом направлении достигнуты значительные успехи, однако, применительно к выдавливанию стальных изделий существующие металлы и сплавы для инструмента и технология их изготовления в ряде случаев все еще не обеспечивает достаточную стойкость инструмента, обуславливающую экономическую целесообразность применения холодного выдавливания.

Вторым направлением поисковых работ по увеличению стойкости рабочего инструмента при холодном выдавливании является изыскание условий деформирования, при котором снижается сопротивление пластическому деформированию, что обеспечивает снижение усилия, действующего на рабочий инструмент.

В этом аспекте интересен процесс деформирования в условиях измененного знака сил трения. Если при обычной схеме обратного выдавливания силы трения на боковой контактной поверхности заготовки направлены в противоположную истечению металла сторону и требуют увеличения усилия, прикладываемого к пуансону, то в условиях измененного знака сил трения, деформирование происходит при меньших усилиях на пуансоне.

M194653

Настоящая работа посвящена исследованию процесса обратного выдавливания с активным действием сил трения, т.е. с измененным знаком сил трения на боковой контактной поверхности заготовки и матрицы.

ГЛАВА I

ОБЗОР ВЫПОЛНЕННЫХ И ОПУБЛИКОВАННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Обзор отечественной и иностранной литературы по вопросам технологии холодного выдавливания позволил установить, что к основным факторам, влияющим на деформирующее усилие, относятся характеристики прочности материала заготовки, скорость и степень деформации, температурные условия деформирования, размерные характеристики рабочего инструмента и условия трения на контактных поверхностях заготовки.

Внешнее трение имеет большое значение при обработке металлов давлением. Оно влияет на схему напряженного состояния при деформировании, увеличивает неравномерность распределения деформаций, повышает сопротивление заготовки деформированию.

Применением различных смазок можно несколько снизить отрицательное воздействие сил трения на процесс деформирования. В настоящее время накоплен значительный материал по выбору рациональных смазок при холодном выдавливании, способов их приготовления и нанесения. Нельзя считать, что работа по отысканию лучших смазок закончена, однако, трудно ожидать, что применение новых смазок вызовет значительное снижение сопротивления заготовки деформированию.

Наиболее перспективным для снижения отрицательного действия сил трения является метод изменения знака сил трения, в частности, метод обратного выдавливания с активными силами трения. При такой схеме выдавливания направление контактных касательных напряжений на поверхности заготовки совпадает с направлением истечения деформируемого металла, и усилие на пуансоне снижается.

В авторских свидетельствах Янаева С.И., Мохейко Ю.П. и Розенталя Н.К. предложены схемы штампов, в которых при обратном выдавливании знаки сил трения на боковой контактной поверхности матрицы и заготовки изменены на обратные.

По предложению Янаева С.И. изменения знака сил трения можно достичь в результате принудительного движения заготовки в сторону

движения пуансона относительно неподвижной матрицы в процессе выдавливания. Это движение осуществляется с помощью опускания нижнего пуансона при деформировании.

По предложению Можейко Ю.П. и Розенталь Н.К. такого же эффекта можно достичь при выдавливании с принудительным движением матрицы относительно неподвижной заготовки.

В работах Охрименко Я.М. и Бережного В.Л. наиболее полно исследован процесс прямого выдавливания (прессования) с активными силами трения. Что касается обратного выдавливания (закрытой прошивки) с активными силами трения, то работы, проведенные на экспериментальных штампах Яшаева С.Ш., Можейко Ю.П. и Розенталь Н.К., не позволяют сделать достаточно определенные выводы относительно зависимости эффективности активного действия сил трения от различных технологических параметров и носят характер апробирования штампов.

На основе анализа литературных данных в данной работе поставлены следующие задачи:

- исследование характера взаимодействия матрицы и заготовки на различных участках контактной поверхности при обратном выдавливании с принудительным движением матрицы в сторону истечения металла;
- исследование зависимости удельного усилия на пуансоне при обратном выдавливании с активным действием сил трения от различных технологических параметров;
- исследование зависимости скорости движения матрицы, соответствующей наибольшему снижению усилия на пуансоне, от различных факторов;
- разработка рекомендаций по внедрению в производство процесса обратного выдавливания с активными силами трения.

ГЛАВА II

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ОБРАТНОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ С АКТИВНЫМ ДЕЙСТВИЕМ СИЛ ТРЕНИЯ

Для определения удельного усилия на пуансоне был использован энергетический метод, основанный на равенстве работ внешних и внутренних сил, т.е. на равенстве нулю полной энергии системы:

$$\int_V \tau_i \gamma_i dV - A = 0 \quad (I)$$

V

При определении работы внутренних сил была принята модель идеального жестко-пластического тела, форма очага пластических деформаций схематизирована. Для упрощения теоретических выкладок принято, что очаг пластических деформаций можно разделить на два участка (цилиндрический и кольцевой), в каждом из которых поля деформаций в первом приближении можно считать однородными. Принято, что угловые деформации в этих участках отсутствуют, а на их границах скорости сдвига имеют разрывы.

Удельные силы трения принимались равными (по Тарновскому И.А. и др.) $\tau = \psi \frac{\sigma_1}{\sqrt{3}}$, где ψ - некоторая функция, зависящая от размеров очага пластических деформаций, условий смазки и состояния трущихся поверхностей.

При принятой схематизации была вычислена работа внутренних сил в отдельных участках очага пластических деформаций и работа сил среза, осуществляемая касательными напряжениями на границах между отдельными участками на соответствующих перемещениях или, другими словами, была найдена верхняя оценка полной работы деформирования:

$$A_1 = \sum_i^m k \int_{V_i} \chi_i dV + \sum_j^n k \int_{f_j} (u_1 \pm u_2) df \quad (2),$$

где k - предельное значение интенсивности касательных напряжений в условиях пластической деформации;

χ_i - интенсивность деформаций сдвига;

m - количество участков очага пластических деформаций;

V_i - объем i -го участка;

u_1, u_2 - значения перемещений на границе двух смежных участков;

n - количество граничных поверхностей;

f_j - площадь j -ой граничной поверхности.

Работы внутренних сил, сил среза и сил трения под торцом пуансона определены по аналогии с обычной схемой обратного выдавливания. Работа сил трения на боковой поверхности заготовки определена следующим образом.

В общем случае обратного выдавливания с принудительным движением матрицы на боковой поверхности пластической зоны заготовки можно различить участок действия активных сил трения и участок действия сил трения реактивного действия. Суммарную работу этих сил можно

определить, проинтегрировав на этих участках произведения сил трения на величину перемещения металла:

$$A_{\text{тр}}^{\text{доп}} = \psi \frac{\sigma_s}{\sqrt{3}} \alpha R \varepsilon \frac{z^2 h^2}{R^2 - z^2} (1 - 2\alpha^2) \quad (3)$$

После подстановки значений работ в уравнение (I) и приведения к площади торца пуансона и к его перемещению была получена формула, позволяющая определить верхнюю оценку удельного усилия на пуансоне при обратном выдавливании с различными (в том числе и равной нулю) скоростями движения матрицы:

$$q = \sigma_s \left\{ 1 + \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{\ln \left[\frac{1}{3} \left(\frac{R^2}{z^2} + \sqrt{3 + \frac{R^4}{z^4}} \right) \right] - \sqrt{3 \frac{z^4}{R^4} + 1} + 2}{1 - \frac{z^4}{R^4}} \right\} +$$

$$+ \frac{\sigma_s}{3\sqrt{3}} \left[\frac{z(1+\psi)}{h} + \frac{3R^2 h}{(R^2 - z^2)z} + \frac{4R^3 - 6R^2 z + 2z^3}{(R^2 - z^2)h} \right] +$$

$$+ \psi \frac{\sigma_s}{\sqrt{3}} \cdot \frac{R h}{R^2 - z^2} (1 - 2\alpha^2), \quad (4)$$

где σ_s - предел текучести материала заготовки;

z - радиус пуансона;

R - рабочий радиус матрицы;

h - высота очага пластических деформаций;

α - относительная скорость движения матрицы, равная отношению скорости последней к скорости истечения металла на выходе в стенку изделия, причем $0 \leq \alpha \leq 1$

Известная формула Тарновского И.Я. и др. для определения деформирующего усилия q_0 по обычной схеме является частным случаем решения полученной нами формулы и получается при подстановке в выражение (3) значения $\alpha = 0$. С учетом этого формулу (3) можно записать в виде

$$q = q_0 - \psi \frac{2\sigma_s}{\sqrt{3}} \cdot \frac{R h \alpha^2}{R^2 - z^2} \quad (5),$$

откуда следует, что величина снижения удельного усилия на пуансоне при изменении знака сил трения зависит от предела текучести металла заготовки, степени деформации, коэффициента, учитывающего условия трения, и относительной скорости движения матрицы.

Исследование характера взаимодействия матрицы и заготовки на контактной боковой поверхности позволило теоретически обосновать предположение о том, что некоторое снижение нагрузки на пуансон возможно на определенных этапах деформирования при обратном выдавливании в матрице, освобожденной от крепления к нижней плите штампа. Это происходит также вследствие действия активных сил трения. В работе исследован случай обратного выдавливания при незакрепленной матрице, когда ее движение определяется действием сил трения, возникающих между боковой поверхностью выдавливаемой заготовки и матрицей. Было найдено, что движение матрицы может начаться лишь на определенном этапе выдавливания, а максимальная скорость движения матрицы не превышает половины скорости движения стенок выдавливаемого стакана.

Получена формула для определения относительной скорости движения матрицы под действием деформируемого металла заготовки, из которой следует, что при обратном выдавливании в свободной матрице заготовок толщиной $H \leq 2,15h$ на части боковой поверхности заготовки будут действовать активные силы трения. Величина снижения удельного усилия на пуансоне была вычислена после подстановки значения α при обратном выдавливании в свободной матрице в уравнение (5). В случае выдавливания деталей с тонким дном ($H \leq h$) это выражение принимает вид:

$$q_{ca} = 0,5 \psi \frac{\sigma_s}{\sqrt{3}} \cdot \frac{Rh}{R^2 - z^2}$$

Кроме этого в работе был исследован вопрос о величине предельной скорости принудительного движения матрицы, вызывающей наибольшее снижение усилия на пуансоне. В работе было показано, что при схематизации, принятой при выводе формулы для определения деформирующего усилия, предельная скорость движения матрицы должна быть равна скорости движения стенок выдавливаемого стакана. Дальнейшее рассмотрение контактных условий и условий деформирования заготовки показало, что предельная скорость движения матрицы может быть несколько больше скорости, найденной при допущении об однородности полей деформаций в двух рассмотренных выше участках очага пластических деформаций. На основании анализа литературных данных было установлено, что коэффициент трения может изменяться в зависимости от скоростей относительного перемещения трущихся поверхностей. Это может привести к дальнейшему снижению усилия на пуансоне при увели-

чении скорости выдавливаемого стакана. Кроме того, использование принципов гидродинамической аналогии позволило установить, что скорости движения металла в приконтактных участках могут быть выше средних значений скоростей смещения, найденных из условия однородных полей деформаций, причем это превышение должно зависеть от механических свойств материала выдавливаемой заготовки: чем пластичнее материал (чем меньше значение времени релаксации), тем больше разность указанных выше скоростей.

ГЛАВА III

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАТНОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ С АКТИВНЫМИ СИЛАМИ ТРЕНИЯ

Для проверки корректности принятых при теоретическом расчете допущений и решений, полученных при теоретическом анализе, было проведено экспериментальное исследование процесса обратного выдавливания с активными силами трения.

Экспериментальные исследования проводились на установке, состоящей из штампа и индивидуального независимого гидравлического привода движения матрицы. Насос подавал жидкость через дроссели и золотник в полости гидроцилиндров штампа, которые под действием этой жидкости перемещали матрицу. Дроссели позволяли менять количество жидкости в гидравлической цепи, и тем самым регулировать скорость перемещения матрицы.

Экспериментальная установка дала возможность производить процесс обратного выдавливания в трех вариантах:

- 1) с принудительным движением матрицы;
- 2) со свободной матрицей;
- 3) с неподвижной (закрепленной) матрицей.

В качестве исследуемого материала были выбраны алюминиевый сплав АВ, свинец СОО и медь М1.

Заготовки имели диаметр 18 мм, а высота их определялась в зависимости от степени деформации так, чтобы высота готового изделия была одинаковой (35 мм), с тем чтобы насколько возможно ограничить влияние высоты стенки изделия на деформирующее усилие при всех исследуемых степенях деформаций. Диаметры сменных пуансонов выбраны 10; 14 и 15 мм, что соответствует степеням деформаций 0,3; 0,6; 0,8.

Скорость движения матрицы определялась коэффициентом

2,3.
$$\lambda = \frac{V_{\text{матр}}}{V_{\text{теч}}^{\text{снх}}}$$
, который был выбран равным 0; 0,5; 1,0; 1,4; 1,7;

Эксперименты проводились как со смазкой боковой поверхности заготовки, так и без смазки. В качестве смазки использовалось машинное масло с наполнителями и без них.

В соответствии с задачами экспериментального исследования измерению подлежали следующие параметры: усилие на рабочем пуансоне, усилие на нижнем пуансоне, усилие на болтах, крепящих матрицу, при обычной схеме обратного выдавливания (что дало возможность экспериментально определить усредненные значения коэффициента ψ); давление жидкости в гидроприводе; ход (скорость) матрицы; ход (скорость) пуансона.

Для изучения степени влияния измененного знака сил трения на размеры и форму очага пластических деформаций использовался метод координатной сетки. Координатные сетки наносились на плоскости разреза образца, проходящие через его ось. Результаты проверялись замерами толщин дна изделия в начале третьей стадии деформирования, когда наблюдалось интенсивное увеличение усилия деформирования.

Для выявления степени влияния смазки на скорость движения матрицы, соответствующую наибольшему снижению усилия на пуансоне, были проведены эксперименты при условиях трения, близких к максимальному (значения ψ близки к 1). Поверхность образцов, полученных при различных скоростях движения матрицы, в этих условиях фотографировалась на инструментальном микроскопе типа МПБ-2. Результаты экспериментального исследования сведены в таблицах и графиках. Они подтвердили основные выводы теоретического анализа.

При обратном выдавливании с принудительным движением матрицы закономерность изменения величины относительного снижения усилия на пуансоне для исследованных материалов примерно одинакова:

- при росте степени деформации эта величина повышается;
- возрастает при повышении коэффициента, учитывающего трение, причем, с увеличением степени деформации влияние коэффициента ψ снижается;
- возрастает с увеличением относительной скорости перемещения матрицы, но до определенного предела.

Величина снижения усилия на пуансоне, вызванного движением матрицы, а также предельная скорость движения матрицы, зависят от рода материала и типа смазки. Так, например, более интенсивное снижение усилия при увеличении степени деформации наблюдается для алюминиевых сплавов и меди и несколько меньшее для свинца. Предельная скорость движения матрицы была больше при выдавливании заготовок из свинца, чем из сплава АВ и меди.

Максимальная величина относительного снижения удельного усилия на пуансоне при обратном выдавливании со смазкой боковой поверхности заготовки составляла 31,4%, без смазки - 35,6% (свинец).

Эксперименты подтвердили, что освобождение матрицы от крепления к нижней плите позволяет снизить усилие на пуансоне. Величина относительного снижения удельного усилия зависит кроме прочностных свойств металла, степени деформации и условий смазки, от толщины дна изделия: чем оно тоньше, тем больший эффект можно получить при выдавливании в свободной матрице. Максимальная величина относительного снижения удельного усилия на пуансоне при выдавливании со свободной матрицей составляла 11%.

Экспериментальные исследования показали, что высота очага пластических деформаций практически не меняется с изменением знака сил трения.

При экспериментальных исследованиях было установлено, что при определенных скоростях движения матрицы в условиях значительных величин приведенного коэффициента трения выдавливание изделий с тонким дном может сопровождаться искажением формы донной части заготовки (образование фаски на границе донной части с боковой стенкой).

Скорость движения матрицы, вызывающая наибольшее снижение удельного усилия на пуансоне без искажения формы изделия в каждом конкретном случае вполне определенная: при максимальных условиях трения она приближается к скорости истечения металла на выходе в стенку изделия, и превышение ее вызывает искажение формы изделия. Чем пластичнее деформируемый материал и ниже коэффициент трения, тем на большую величину предельная скорость движения матрицы превышает скорость истечения металла на выходе в стенку изделия. При выдавливании со смазкой заготовок из сплава АВ и меди предельная относительная скорость матрицы равнялась 1,7. Дальнейшее увеличение скорости не изменяло силовой режим деформирования. При выдавливании

заготовок из свинца некоторое снижение усилия наблюдалось еще до $\lambda = 2,3$.

На основании проведенных исследований были разработаны и изготовлены производственные штампы для выдавливания корпуса масленки с принудительным движением матрицы на Московском заводе "Станконормаль", а также штампы для выдавливания штуцера и гайки в свободной матрице на Перовском заводе торгового машиностроения, что позволило внедрить на заводе процесс холодного выдавливания вместо механической обработки, в то время как ранее проводимые заводом эксперименты по обычной схеме обратного выдавливания были прекращены вследствие разрушения пуансонов из-за высоких удельных усилий.

ВЫВОДЫ

1. При изменении знака сил трения на боковой контактной поверхности заготовки в результате принудительного движения матрицы удельное усилие на пуансоне снижается тем больше, чем выше предел текучести материала заготовки, коэффициент трения на боковой контактной поверхности заготовки, степень деформации и относительная скорость движения матрицы.

2. Скорость принудительного движения матрицы, вызывающая максимальное снижение усилия на пуансоне без искажения формы изделия зависит от коэффициента трения на боковой поверхности заготовки и механических свойств ее материала.

3. При обратном выдавливании в свободной (незакрепленной) матрице снижение усилия на пуансоне кроме предела текучести заготовки, степени деформации и коэффициента трения зависит еще от высоты заготовки и толщины дна изделия.

4. Получены формулы для определения верхней оценки удельного усилия на пуансоне при обратном выдавливании с принудительным движением матрицы и в свободной матрице.

5. Удовлетворительное совпадение результатов теоретического расчета с экспериментальными данными позволяет рекомендовать полученные формулы для практического использования.

6. Результаты проведенного исследования были использованы при внедрении в производство процесса обратного холодного выдавливания с активным действием сил трения взамен механической обработки на Перовском заводе торгового машиностроения.

7. Исследование процесса обратного выдавливания с активными силами трения позволило заключить, что внедрение в производство можно рекомендовать по следующим направлениям:

- модернизация обычных штампов обратного выдавливания для осуществления выдавливания в свободной матрице ;
- проектирование специальных штампов с индивидуальным приводом движения матрицы ;
- проектирование специальных прессов, которые должны обеспечить независимое движение матрицы с предусмотренной возможностью регулировки скорости этого движения в определенных пределах.

Материалы по теме диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Попов Е.А., Макина Н.А. Исследование обратного выдавливания с активными силами трения. Тезисы докладов 6-ой научно-технической конференции. Тула, 1970.

2. Макина Н.А. Холодное выдавливание с активным действием сил трения. ЦНИИТЭИлегпищемаш, Москва, 1972г.

3. Овчинников А.Г., Макина Н.А. Исследование закрытой прошивки с активными силами трения. "Кузнечно-штамповочное производство", 1972г., № 6.

4. Макина Н.А. Обратное выдавливание полых цилиндрических деталей в свободной (незакрепленной) матрице. Сб. "Технология машиностроения" ЦНИИТЭИлегпищемаш, Москва, 1971г. № 5.

5. Рыжов И.Н., Миронов Л.Н., Макина Н.А. Холодное выдавливание деталей из сталей и цветных металлов. ЦНИИТЭИлегпищемаш, Москва, 1970г.