

М 204298

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

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

Валентин Иванович ЛУГИНИН

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРАЦИИ ОБРАТНОГО
ВЫДАВЛИВАНИЯ С НАЛОЖЕНИЕМ
УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ**

(Специальность 05.03.08 — Технология и машины обработки давлением)

Диссертация написана на русском языке

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в Московском высшем техническом училище имени Н. Э. Баумана.

Научный руководитель — доцент, кандидат технических наук А. Г. Овчинников.

Официальные оппоненты:
Заслуженный деятель науки и техники РСФСР,
доктор технических наук, профессор Норицын И. А.,
кандидат технических наук Толчинский М. С.

Ведущее предприятие указано в решении Ученого Совета,

Автореферат разослан « » 1973 г.

Защита диссертации состоится « » 1973 г.
на заседании Совета факультета «Автоматизация и механизация производства» МВТУ им. Н. Э. Баумана по адресу:
Москва, 107000

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ им. Н. Э. Баумана.

Ваши отзывы и предложения прошу направлять по адресу: Москва, 107000, зав. кафедрой _____

Ученый секретарь _____

_____ епанов.



№ 207 298

М 207 298

Развитие современного машиностроения вызывает необходимость применения новых материалов с повышенными прочностными свойствами. Обработка давлением таких материалов затруднительна из-за их низкой пластичности и больших удельных усилий, возникающих при пластическом доформировании. В связи с этим повышаются требования к разрабатываемым технологическим процессам объемной холодной штамповки, что в свою очередь вызывает необходимость развития и усовершенствования теории процессов деформирования. При проектировании технологических процессов обработки давлением необходимо знать усилие и работу деформирования для выбора технологического оборудования и распределения напряжений на контактных с заготовкой поверхностях для расчета штампового инструмента на прочность и износ. Изучение возможностей формоизменения, исследование неоднородности свойств по объему изделия, сознательное варьирование распределением свойств, разработка методов устранения или уменьшения различного рода дефектов, вызванных неравномерностью течения, невозможны без изучения кинематики пластического течения. В этих двух направлениях (изучение кинематики течения и распределения напряжений на контактных поверхностях инструмента и заготовки) в настоящее время и ведутся исследования операций холодной объемной штамповки.

По теоретическому и экспериментальному исследованию силовых параметров процесса обратного выдавливания накоплен обширный материал в результате работ, проведенных Губкиным С.И., Гофманом Ф.И., Сторожевым М.В., Унковым Е.П., Прозоровым Л.В., Норицыным И.А., Ганаго О.А., Ренне И.П., Мартиросяном Ф.А., Евстратовым В.А., Кирилловым Г.И., Головиным А.А., Джонсоном В., Кудо Г., Фельдманом Г.Д., Эверхартом Д. и др. Кинематика пластического течения при обратном выдавливании изучена недостаточно.

Одной из важнейших проблем, от решения которой зависит успех внедрения процессов объемной холодной штамповки, является стойкость инструмента, при прочих равных условиях определяемая величиной удельных деформирующих усилий. Поэтому перспективными могут быть технологические процессы, для выполнения которых необходимо меньшее усилие деформирования.

Повышенный интерес к процессу деформирования с наложением ультразвуковых колебаний (УЗК) объясняется возможностью снижения



усилия деформирования и уменьшения сил трения между заготовкой и инструментом по сравнению с обычным деформированием. В настоящее время по экспериментальному исследованию процессов пластического деформирования с наложением УЗК накоплен довольно обширный материал в результате работ, проведенных Блаха Ф., Гудманом И., Елиным В.И., Коноваловым Е.Г., Ласуновым В.А., Лангснером Б., Мищенковым Ю.И., Северденко В.П., Степаненко А.В., Турсуновым Д.А., Фудзимори С., Ямамото М. и другими отечественными и зарубежными исследователями. Влияние УЗК на поведение металлов при пластическом деформировании различно в зависимости от скорости деформирования, физико-химических характеристик материала и др. Необходимы исследования для выяснения влияния скорости деформирования, свойств материала в исходном состоянии, размеров и формы заготовок на протекание и силовые характеристики процесса деформирования с наложением УЗК.

Аналитическое исследование пластического формоизменения с наложением УЗК в общем виде связано с необходимостью использования уникальных ЭВМ с большим объемом оперативной памяти. Поэтому может оказаться рациональным проведение анализа обычного деформирования и последующее отыскание условий распространения такого решения на процесс деформирования с наложением УЗК.

В связи с изложенным в работе поставлены следующие задачи:

1. исследовать кинематику пластического течения при осесимметричном обратном выдавливании;
2. изыскать возможность учесть влияние УЗК на сопротивление деформированию при обратном выдавливании;
3. исследовать влияние УЗК на размеры и форму очага пластической деформации при обратном выдавливании;
4. сравнивать влияние УЗК на сопротивление деформированию материалов для инструмента и деформируемых материалов;
5. исследовать влияние УЗК на сопротивление деформированию в зависимости от скорости деформирования;
6. определить область рационального применения УЗК в процессах холодного выдавливания.

Данная работа является частью серии работ по теоретическому и экспериментальному исследованию, а также внедрению в производство операций холодной объемной штамповки, выполняемых на кафедре "Машины и автоматизация обработки давлением" МВТУ им. Н.Э. Баумана, и

посвящена исследованию процесса обратного выдавливания с наложением УЗК.

Работа состоит из введения, пяти глав, общих выводов и приложения.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАТНОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ

Исходными соотношениями являются уравнения равновесия, кинематические зависимости между скоростями деформации и скоростями течения, удовлетворяющие условию неразрывности, зависимости между компонентами девиатора напряжений и компонентами девиатора скоростей деформации, определяемые выбором модели деформируемого тела. В данном случае в качестве модели деформируемого тела выбрано идеальное жестко-пластическое тело, у которого величина напряжения текучести не изменяется с изменением скорости деформации.

Последовательность решения: из первого уравнения равновесия, предварительно дифференцированного по z , вычитают второе, дифференцированное по ρ . В полученное уравнение подставляют выражения слагаемых, найденных из уравнений связи. Эта подстановка приводит к уравнению равновесия в скоростях деформации, которые выражают через функцию тока Ψ , используя кинематические уравнения и выражения для скоростей течения $U_p = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial \Psi}{\partial z}$, $U_z = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial \Psi}{\partial \rho}$.

Уравнение функции тока для осесимметричного пластического течения имеет вид

$$\begin{aligned} & \frac{\partial^4 \Psi}{\partial z^4} + 2 \frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2 \partial \rho^2} + \frac{\partial^4 \Psi}{\partial \rho^4} - \frac{2}{\rho} \frac{\partial^3 \Psi}{\partial \rho^3} - \frac{2}{\rho} \frac{\partial^3 \Psi}{\partial z^2 \partial \rho} + \frac{3}{\rho^2} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial \rho^2} - \frac{3}{\rho^2} \frac{\partial \Psi}{\partial \rho} = \\ & = -\frac{1}{\mu} \left[\frac{\partial^2 \mu}{\partial \rho \partial z} \left(4 \frac{\partial^2 \Psi}{\partial \rho \partial z} - \frac{2}{\rho} \frac{\partial \Psi}{\partial z} \right) + \left(\frac{\partial^2 \mu}{\partial z^2} - \frac{\partial^2 \mu}{\partial \rho^2} \right) \left(\frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \Psi}{\partial \rho} - \frac{\partial^2 \Psi}{\partial \rho^2} \right) + \right. \\ & \left. + 2 \frac{\partial \mu}{\partial z} \left(\frac{\partial^3 \Psi}{\partial z^3} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial \rho \partial z} - \frac{\partial^3 \Psi}{\partial \rho^2 \partial z} \right) + \frac{\partial \mu}{\partial \rho} \left(2 \frac{\partial^3 \Psi}{\partial \rho^3} + 2 \frac{\partial^3 \Psi}{\partial z^2 \partial \rho} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2} - \frac{3}{\rho} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial \rho^2} + \frac{3}{\rho^2} \frac{\partial \Psi}{\partial \rho} \right) \right], \end{aligned} \quad (I)$$

где $\mu = \frac{2}{3} \cdot \frac{\sigma_s}{\dot{\epsilon}_1}$ — коэффициент жесткости;

σ_s — напряжение текучести;

$\dot{\epsilon}_1$ — интенсивность скорости деформации.

На основании экспериментальных данных очаг интенсивных пластических деформаций при осесимметричном обратном выдавливании представлен в виде двух участков (рис. I): цилиндрического участка I

под торцем пуансона и кольцевого участка II. Высота очага пластической деформации $\bar{h}$.

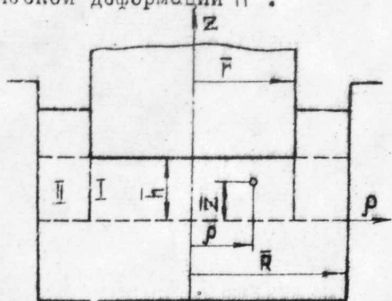


Рис. I

Для решения уравнения функции тока (I) для участка I задаемся выражением функции тока, удовлетворяющим граничным условиям и уравнению (I). Такую выбранную функцию называют подходящей, а соответствующее ей кинематическое состояние - возможным в отличие от действительного. В подходящей функции тока неизвестными являются коэффициенты, которые находим из решения уравнения функции тока. Таким образом, данное решение является своего рода верхней оценкой.

Выбор функции тока проводим применительно к скорости течения U_z , граничные условия для которой определены наилучшим образом. В общем случае скорость U_z является функцией координат p и z и может быть определена в виде двойного тригонометрического ряда с нулевым слагаемым. Такой ряд является быстроходящимся, поэтому ограничиваемся двумя первыми членами ряда.

Скорость определяется в величинах, отнесенных к скорости движения пуансона при неподвижной матрице

$$U_z = -\sin \frac{\pi z}{2} + (\alpha_1 \sin \frac{\pi p}{2r} + \alpha_2 \sin \frac{\pi p}{r}) \sin \pi z \quad (2)$$

где $0 \leq p \leq r$, $0 \leq z \leq 1$ - относительные координаты рассматриваемых точек;

$$r = \frac{F}{h}, \quad z = \frac{z}{h}, \quad p = \frac{p}{F}.$$

Из условия неразрывности получено выражение для скоростей течения

$$U_p = \frac{\pi p}{4} \cos \frac{\pi z}{2} + \left[2\alpha_1 \left(\cos \frac{\pi p}{2r} - \frac{2r}{\pi p} \sin \frac{\pi p}{2r} \right) + \alpha_2 \left(\cos \frac{\pi p}{r} - \frac{r}{\pi p} \sin \frac{\pi p}{r} \right) \right] r \cdot \cos \pi z \quad (3)$$

Из кинематических уравнений найдены выражения для скоростей деформации $\dot{\epsilon}_p$, $\dot{\epsilon}_z$, $\dot{\epsilon}_r$ и скоростей вращения частиц $\dot{\omega}$. Полученные подходящие функции для скоростей деформации удовлетворяют граничным условиям.

Использование граничного условия $p = 0$, $\eta_{z1} = 0$, позволило найти соотношение между коэффициентами тригонометрического ряда $\alpha_2 = -\frac{\alpha_1}{2}$

Для определения коэффициента α_1 , решено уравнение функции тока (I). В качестве нулевого приближения найдено решение уравнения (I) без правой части, т.е. принимается $\mu = \text{const}$, что соответствует течению вязкой несжимаемой жидкости.

Из соотношений между скоростями деформации и скоростями течения найдены выражения частных производных первого порядка функции тока. Дифференцированием их получены значения производных, входящих в левую часть уравнения (I). После подстановки и преобразований уравнение (I) без правой части принимает вид

$$\frac{3^2 p^2}{32} \sin \frac{\pi z}{2} + \alpha_1 \left[\left(2\pi r + \frac{\pi}{r} + \frac{\pi}{8r^3} \right) p + \frac{1}{2\pi r p} \right] \cos \frac{\pi p}{2r} + \left(\frac{1}{4r^4} - 4r^2 \right) \sin \frac{\pi p}{2r} - \\ - \left[\left(\frac{\pi r}{2} + \frac{\pi}{r} + \frac{\pi}{2r^3} \right) p + \frac{1}{2\pi r p} \right] \cos \frac{\pi p}{r} + \left(\frac{r^2}{2} - \frac{1}{2r^2} \right) \sin \frac{\pi p}{r} \right] \sin \pi z = 0$$

Согласно методу ортогонализации для определения коэффициента α_1 , умножаем полученное уравнение на $\sin \pi z \cdot \sin \frac{\pi p}{r}$ и интегрируем по объему участка I; после преобразований получаем

$$\alpha_1 = \frac{r^4}{4r^4 - 16r^2 - 4} \quad (4)$$

После подстановки выражения (4) в правую часть уравнения (I) последнее можно интегрировать с целью определения значений первого приближения α_1 и т.д. до получения необходимой точности. После определения коэффициентов подходящей функции α_1 и α_2 можно найти скорости течения, скорости деформации и саму функцию тока.

Выбор подходящей функции тока на участке II проводится применительно к скорости ψ_p . Граничными условиями являются: постоянство расхода на границе между участками I и II и $\psi_p = 0$ при $p = R$.

Такой подходящей функцией для ψ_p на участке II является выражение

$$\psi_p = \frac{\pi r}{4} \cdot \frac{R-p}{R-r} \cos \frac{\pi z}{2} - \left[\alpha_1 \frac{4r}{\pi} \sin \frac{\pi(R-p)}{2(R-r)} - \alpha_2 r \frac{R-p}{R-r} \cos \frac{\pi(R-p)}{R-r} \right] \cos \pi z. \quad (5)$$

Дальнейший ход решения с целью определения коэффициентов тригонометрического ряда аналогичен рассмотренному для участка I.

Для определения поля напряжений необходимо использовать уравнения равновесия и зависимости между напряжениями и скоростями деформации (аналогично методу визиопластичности). В результате получаем

$$\sigma_z = \frac{2}{3} \sigma_s \left\{ \int_{p_0}^p \frac{\partial}{\partial p} \left(\frac{\epsilon_p - \epsilon_z}{\epsilon_1} \right) dp + \frac{1}{2} \int_{p_0}^p \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\gamma}{\epsilon_1} \right) dp + \int_{p_0}^p \frac{\epsilon_p - \epsilon_z}{p \epsilon_1} dp + \frac{1}{2} \left[\int_{z_0}^z \frac{\partial}{\partial p} \left(\frac{\gamma}{\epsilon_1} \right) + \frac{\gamma}{p \epsilon_1} dz \right] \right\} + C, \quad p=p_0, \quad z=z_0.$$

Значения других напряжений определены следующими зависимостями

$$\sigma_p = \sigma_z + \frac{2}{3} \frac{\sigma_s}{\epsilon_1} (\epsilon_p - \epsilon_z); \quad \sigma_s = \sigma_p - \frac{2}{3} \frac{\sigma_s}{\epsilon_1} (2\epsilon_p + \epsilon_z); \quad \tau_{pz} = \frac{\sigma_s}{3} \cdot \frac{\gamma p z}{\epsilon_1}.$$

По изложенной методике было проведено решение для 45 размерных соотношений очага пластической деформации (μ менялся в пределах 2,3 - 5,0; $\frac{R}{r}$ - в пределах 1,02 - 1,6) на электронно-вычислительной машине "М-220". Программа составлена на языке АЛГОЛ; для ввода её использовался транслятор ТА-1М.

В результате решения получено распределение скоростей течения, скоростей деформации, скоростей вращения частиц, напряжений в объеме очага пластической деформации. Полученные деформационные и силовые поля неоднородны и степень их неоднородности зависит от геометрических соотношений очага пластической деформации.

Результаты аналитического решения согласуются с ранее выполненными исследованиями других авторов, а также получены новые данные. Величины скоростей угловых деформаций и скоростей вращения частиц вблизи боковой поверхности матрицы невелики, что свидетельствует о незначительных силах трения. Наибольшее изменение вихря вектора скорости - вблизи кромок матрицы, т.е. в местах зарождения трещин; это свидетельствует о том, что градиент вихря вектора скорости может быть принят в качестве критерия разрушения. Эпюра нормальных давлений на стенку матрицы криволинейная; величина давлений на уровне нижней границы очага пластической деформации в 2 - 3 раза превосходит величину давлений на уровне верхней границы очага. Величины удельных деформирующих усилий и давлений на стенку матрицы соответствуют результатам экспериментов различных авторов. Это подтверждает приемлемость примененной методики исследования кинематики пластического течения.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАСТИЧЕСКОГО РАСТЯЖЕНИЯ МЕТАЛЛОВ С НАЛОЖЕНИЕМ УЗК.

Для выяснения вопросов физической природы деформирования с наложением УЗК и сравнения действия УЗК на материалы с различными прочностными свойствами проведены эксперименты по пластическому растяжению сталей марок 20, 45 и У8А. Выбор операции растяжения обусловлен стремлением исследовать воздействие УЗК на сопротивление деформированию без учета эффекта воздействия на контактные условия.

Для проведения испытаний на растяжение было изготовлено специальное приспособление, устанавливаемое на испытательную машину УИМ - 50. В качестве источника электрических УЗК использовался ультразвуковой генератор УЗГ-10У; для преобразования этих колебаний в механические применялись магнитострикционные преобразователи типа ПМС-15А-18. Для увеличения амплитуды колебаний использовались конические и ступенчатые концентраторы с коэффициентами усиления от 2,5 до 4,5. Образцы резонансной длины, уточняемой экспериментально имели диаметр рабочей части 6 мм.

Степень влияния УЗК на пластическое растяжение сталей оценивалась по изменению усилия деформирования, работы деформирования испытательной машины, остаточного удлинения образца и распределения деформаций по длине образца.

Экспериментальные исследования подтвердили предположение о том, что величина снижения усилия деформирования для разных сплавов различна и зависит от амплитуды колебаний и скорости деформирования. Например, при амплитуде колебаний 10 мкм и скорости деформирования 10 мм/мин $\sigma_{\text{д}}$ стали 20 снижалось примерно на 35%, стали 45 - на 25%, стали У8А - 18%; работа испытательной машины, затраченная на разрушение образца уменьшалась в 2 - 2,5 раза по сравнению с обычным растяжением с той же скоростью деформирования. По результатам экспериментов установлено, что величина снижения сопротивления деформированию под действием УЗК зависит от исходной величины $\sigma_{\text{д}}$ стали и тем меньше, чем выше $\sigma_{\text{д}}$ исходное. Таким образом, влияние УЗК на изменение механических свойств сплавов для инструмента менее эффективно, чем на деформируемые сплавы.

При растяжении с наложением УЗК температура разогрева стальных образцов достигала 170 - 220 °С. Для выявления температурного эффекта от действия УЗК проведены эксперименты по растяжению с наложением

УЗК на образцы, охлаждаемые проточной водой; по статическому растяжению с нагревом образцов до температуры, равной температуре разогрева их при растяжении с ультразвуком, и при более высоких температурах.

Охлаждение образцов проточной водой весьма заметно снижает влияние УЗК на процесс пластического растяжения сталей, но не сводит его к нулю. Объясняется это тем, что отвод тепла от образцов происходит не мгновенно и только с поверхностных слоев металла.

При статическом растяжении при повышенных температурах кривые упрочнения сталей и форма локализации деформаций в зоне шейки близки к соответствующим кривым при деформировании с наложением УЗК, если температура нагрева образцов превышает температуру разогрева от действия УЗК примерно в 2 раза (по шкале Цельсия). При режимах деформирования, примененных в наших экспериментах, это соответствовало температуре нагрева примерно 350°C для стали 20 и 400°C для стали 45. Из анализа результатов экспериментов следует, что при деформировании с наложением УЗК поведение материала определяется не среднеинтегральной температурой разогрева образцов, регистрируемой термопарами, а степенью разогрева, локализованного в местах нарушения правильности кристаллического строения металла, в которых поглощается основная часть рассеиваемой ультразвуковой энергии и которые являются носителями механизма пластической деформации.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

ОПЕРАЦИИ ОБРАТНОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ С НАЛОЖЕНИЕМ УЗК

Основной задачей данной части работы являлось определение условий, при которых можно было бы распространить решение, выполненное для обычного выдавливания, на процесс выдавливания с наложением УЗК.

Эксперименты проводились на специально изготовленном штампе, к пуансону которого подводился УЗК. Штамп устанавливался на испытательной машине УИМ - 50; скорость деформирования изменялась от 5 до 200 мм/мин. Внутренний диаметр матрицы - 15,8 мм, диаметр пуансонов - 10, 11, 12 мм. Применялись свинцовые и алюминиевые образцы $\varnothing$ 15,8 высотой 10, 15, 20, 25 и 30 мм.

В процессе деформирования производилась запись индикаторной диаграммы "усилие-путь", фиксировались показания приборов ультра-

звукового генератора, скорость деформирования и температура разогрева образцов.

Перед проведением экспериментов по выдавливанию были определены характеристики алюминия АД-I при растяжении с наложением УЗК и без него при различных скоростях деформирования. Образцы для испытаний на растяжение были изготовлены из того же прутка, что и для выдавливания.

Эксперименты показали, что величина снижения под действием УЗК удельных усилий деформирования возрастает по ходу деформирования и практически не зависит от величины обжатия. Так, при выдавливании алюминия со скоростью деформирования 20 мм/мин подведение к пуансону УЗК амплитудой 10 мкм снижало величину удельных деформирующих усилий на 16 кг/мм² в начале деформирования и на 24 кг/мм² при ходе пуансона 10 мм; степень снижения удельных усилий деформирования составляла при этих условиях примерно 30% и практически не изменялась в процессе деформирования.

Из сравнения результатов экспериментов по пластическому растяжению и обратному выдавливанию с наложением УЗК следует, что степень снижения усилия деформирования в обоих случаях зависит от амплитуды колебаний и от скорости деформирования. Характер этой зависимости одинаков: эффект от воздействия УЗК увеличивается с увеличением амплитуды колебаний и уменьшением скорости деформирования.

Сравнение результатов воздействия УЗК на сопротивление деформированию при растяжении и обратном выдавливании алюминия показало, что уменьшение относительных удельных усилий выдавливания $\frac{P}{G}$ пропорционально уменьшению напряжения текучести σ_s при растяжении с той же скоростью деформирования с наложением УЗК той же интенсивности. В исследованном диапазоне скоростей деформирования (до 200 мм/мин) расхождение снижения сопротивления деформированию при растяжении и выдавливании не превышало 5%. Наибольшая непропорциональность наблюдалась при малых (до 20 мм/мин) скоростях деформирования. Это позволяет учитывать влияние УЗК при аналитическом определении усилия выдавливания, используя результаты испытаний на растяжение.

Влияние УЗК на усилие деформирования при выдавливании складывается из двух эффектов: уменьшение напряжения текучести обрабатываемого материала и снижение сил контактного трения. Снижение напряжения

текучести при выдавливании происходит на меньшую величину, чем при растяжении (об этом свидетельствует меньший разогрев заготовки); такое недостаточное снижение напряжения текучести как бы компенсируется уменьшением сил контактного трения; результатом этого и является пропорциональное снижение σ_y при растяжении и σ_r при выдавливании.

Влияние УЗК на размеры и форму очага пластической деформации оценивалось изменением макроструктуры стаканчиков, выдавленных обычным способом и с наложением УЗК. Исследования показали, что подвод к пуансону УЗК при обратном выдавливании приводит к более равномерному распределению деформаций по объему очага; особенно четко это наблюдается на участках, соответствующих периферии торца пуансона. При выдавливании с наложением УЗК уменьшается высота застойной зоны под торцем пуансона, что свидетельствует о снижении сил трения между торцом пуансона и заготовкой. Характер искривления волокон, места их перегибов в обоих случаях весьма сходны. Это свидетельствует о том, что форма очага пластической деформации при наложении УЗК изменяется мало (кроме зоны, непосредственно примыкающей к торцу пуансона).

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ УЗК В ОПЕРАЦИЯХ ВЫДАВЛИВАНИЯ.

Практическому внедрению процессов деформирования с наложением УЗК препятствует ряд трудностей организационно-технического и биологического характера. Сюда относятся вопросы, связанные с использованием в условиях обрабатывающих цехов высокочастотной электрической и акустической аппаратуры, вопросы конструирования штамповой оснастки и вопросы защиты технологического оборудования и обслуживающего персонала от вредного воздействия УЗК. До настоящего времени не определена экономически целесообразная область применения УЗК в операциях обработки давлением.

На наш взгляд применение энергии УЗК в операциях выдавливания может оказаться рациональным в следующих случаях:

- получение особотонкостенных изделий, когда на преодоление контактного трения затрачивается значительная часть усилия деформирования и когда обычными способами затруднительно обеспечить необходимое качество поверхности изделий;

- при обработке выкопрочных материалов, сопротивление деформированию которых близко к пределу прочности инструмента и стойкость инструмента очень низкая;

- при обработке малопластичных материалов, которые при обычном выдавливании разрушаются. В этом случае существенную роль в улучшении деформируемости материалов может оказать тепловое влияние УЗК. Причем, как мы убедились, разогрев материала под действием УЗК не равнозначен обычному тепловому нагреву, т.к. изменение прочностных и пластических характеристик материала под действием ультразвукового разогрева происходит более интенсивно, чем под действием обычного нагрева до тех же среднеинтегральных температур.

Во всех применявшихся схемах обработки металлов давлением с наложением УЗК (кроме прокатки) общее усилие деформирования воспринималось фланцами колебательной системы, с помощью которых элементы акустической системы крепятся к технологическому оборудованию. Толщина таких фланцев не должна превышать 3% от длины волны упругих колебаний, т.к. иначе нарушаются резонансные свойства колебательной системы. Отсюда следует, что при использовании стандартных преобразователей колебаний усилие деформирования не должно превышать 20 - 25 тс. Устранение этого ограничения может осуществляться двумя путями: создание новых, более мощных преобразователей ультразвуковой энергии, способных воспринимать значительные нагрузки, и разработка новых принципов крепления элементов колебательной системы к деталям технологического оборудования с тем, чтобы соединительным фланцам передавалась только часть общего усиления деформирования.

Практическое внедрение операций выдавливания с наложением УЗК на обычном оборудовании затруднительно, т.к. на прессах с требующимся для данной операции усилием трудно разместить акустическую систему, а прессы, в штамповом пространстве которых размещается колебательная система, используются в этом случае с очень низким коэффициентом загрузки по усилию. Возникает необходимость создания специальных кузнечно-штамповочных машин для деформирования с наложением УЗК. Такими машинами могут быть гидравлические прессы с невысокими скоростями рабочего хода, поскольку эффективность воздействия УЗК на процесс деформирования возрастает с уменьшением скорости деформирования. Величина скорости деформирования (верхний ее

предел) может значительно изменяться в зависимости от свойств деформируемого материала, мощности подводимых колебаний и доли сил контактного трения в общем усилии деформирования и должна устанавливаться в каждом конкретном случае. Снижения усилия деформирования за счет действия волны напряжения от упругих колебаний и уменьшения сил трения при деформировании с наложением УЗК можно добиться и при значительных (до десятков миллиметров в секунду) скоростях деформирования. Если же требуется снизить усилие деформирования и за счет теплового влияния УЗК, то скорость деформирования должна устанавливаться, исходя из времени "озвучивания", необходимого для разогрева материала заготовки до среднеинтегральной температуры, примерно в два раза меньшей (по шкале Цельсия) температуры полугорючего деформирования данного материала. При условиях деформирования, близких к условиям проведения наших экспериментов (амплитуда колебаний 10 - 12 мкм, объем заготовки 4 - 7 см³) время, необходимое для такого разогрева заготовки составляет 0,5 - 0,8 мин для алюминия и 2 - 4 мин для стали.

Нами совместно с кафедрой общей физики Курского политехнического института и ГПЗ № 20 проведено полупромышленное испытание выдавливания с наложением УЗК деталей типа "ниппель". В ранее выполненной на кафедре АМ-6 МВГУ им. Н.Э. Баумана научно-исследовательской работе АМ-671 было показано, что получение данных деталей методами обычного выдавливания затруднительно, т.к. пуансоны работают в этом случае на пределе прочностных возможностей. Наложение УЗК позволило не только снизить усилие деформирования, т.е. значительно облегчить работу инструмента, но и повысить чистоту поверхности и точность получаемых деталей.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ, ВЫВОДЫ

1. В работе проведено исследование кинематики пластического течения при обратном выдавливании осесимметричных деталей.
2. Получено дифференциальное уравнение функции тока для осесимметричного пластического течения, учитывающее вихревой характер течения и переменный коэффициент жесткости μ .
3. Отработана программа решения уравнения функции тока для случая обратного выдавливания; в результате решения получены поля скоростей течения, скоростей деформации, скоростей вращения частиц и поля напряжений в очаге пластических деформаций.

4. Сравнение расчетных эпюр давлений на контактных поверхностях инструмента с экспериментальными показывает удовлетворительную сходимость, что подтверждает приемлемость примененной методики исследования кинематики пластического течения.
5. При аналитическом определении усилия деформирования при выдавливании с наложенным УЗК следует в расчетные формулы подставлять значения сопротивления деформированию, полученные при испытании на растяжение с той же скоростью деформирования и с наложением УЗК такой же интенсивности.
6. Наложение УЗК при обратном выдавливании приводит к уменьшению застойной зоны под торцом пуансона и к более равномерному распределению деформаций по объему очага, что вызывает равномерное распределение свойств по объему изделия и повышает возможность формоизменения в процессе пластического деформирования. Форма очага пластической деформации меняется незначительно.
7. Степень снижения сопротивления деформированию под действием УЗК зависит от первоначальной прочности стали и тем меньше, чем выше её предел прочности; влияние УЗК на изменение механических свойств сплавов для инструмента менее эффективно, чем на деформируемые сплавы.
8. Степень влияния УЗК на снижение усилия деформирования возрастает с уменьшением скорости деформирования.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Головин А.А., Лугинин В.И. Экспериментальное исследование давления на стенку матрицы при обратном выдавливании ступенчатым пуансоном. Материалы республиканской научно-технической конференции, посвященной 50-летию Советской Армении "Стойкость инструмента при холодной штамповке". Ереван, 1970.
2. Овчинников А.Г., Лугинин В.И. Некоторые особенности пластического растяжения сталей с наложением ультразвуковых колебаний. Материалы второй всесоюзной конференции по ультразвуковым методам интенсификации технологических процессов. Москва, 1972.
3. Овчинников А.Г., Лугинин В.И. Применение ЭВМ при исследовании холодного выдавливания. Материалы семинара "Объемная штамповка". Московский Дом научно-технической пропаганды им. Ф.Э. Дзержинского, 1973.

По материалам диссертации сделаны доклады:

1. На республиканской научно-технической конференции, посвященной 50-летию Советской Армении "Стойкость инструмента при холодной штамповке", Ереван, 1970.
2. На восьмой межвузовской научно-технической конференции "Обработка металлов давлением", Тула, 1972.
3. На второй всесоюзной научно-технической конференции по ультразвуковым методам интенсификации технологических процессов. Москва, 1972.
4. На девятой межвузовской научно-технической конференции "Обработка металлов давлением", Тула, 1973.
5. На семинаре "Объемная штамповка" в Московском Доме научно-технической пропаганды им.Ф.Э.Дзержинского, 1973.