М 324296

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
СССР

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

НА ДОМ НЕ ВЫДАЕТСЯ

На правах рукописи

Смирнова Тамара Алексеевна

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ШТАМПОВКИ В ВАЛЬЦАХ БЕЗ ОПЕРЕЖАЮЩЕГО ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА

(Специальность 05.03.05 – Процессы и машины обработки давлением)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Город Москва Год 1978

Работа выполнена в МВТУ им Н.Э.Баумана

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор
Овчинников А.Г.

Официальные оппоненты: – доктор технических наук,
профессор ОХРИМЕНКО Я.М.

– кандидат технических наук
МОНЧЕНКО В.П.

Ведущее предприятие – указано в решении Ученого Совета

Защита диссертации состоится " "_____1978 г.
на заседании специализированного Совета К.053. I5.I3
по металловедению и горячей обработке металлов
Московского ордена Ленина и ордена Трудового Красного
Знамени высшего технического училища имени Н.Э.Баумана
по адресу: I07005, Москва, 2-я Бауманская, 5.

Ваши ...ю,
просим выс...

С дис...
МВТУ им. Н...

Автор... 1978 г.

Ученый...
кан... А.Беликов

М 324296

НТБ МГТУ им Н.Э.Баумана
1324296
Смирнова Т.А. Разработка и

Актуальность проблемы. Темпы роста отечественного машиностроения, предусмотренные в принятых XXУ съездом КПСС "Основных направлениях развития народного хозяйства СССР на 1976-1980 г.г.", ставят перед промышленностью как одну из первостепенных проблем интенсификацию производственных процессов.

Основным резервом интенсификации в производстве массовых изделий является максимальное использование автоматических линий, что в свою очередь предъявляет высокие требования к геометрической точности и качеству деталей на всех этапах технологического процесса. Поэтому исследования, связанные с разработкой технологических процессов, отвечающих условиям автоматизации производства, являются актуальными, так как создают надежные предпосылки устойчивой работы оборудования и обеспечивают качество получаемых изделий.

В связи с этим предлагаемая работа ставит основной целью выявление факторов, влияющих на качество и точность геометрических размеров поковок, разработку мероприятий, обеспечивающих качество и заданную точность в условиях штамповки на ковочных вальцах, и внедрение результатов исследования в производство.

М32492

Методы исследования. Теоретические исследования, выполненные согласно инженерному методу с использованием деформационной теории пластического течения. Экспериментальные исследования кинематики течения металла при штамповке в ковочных вальцах, определение полного и среднего деформирующих усилий выполнены с использованием координатной сетки, муарового эффекта и датчиков для замера перемещений и усилий.

Научная новизна. Найдены критерии, определяющие возможность штамповки прокаткой без опережающего течения металла. Разработана методика определения силовых, кинематических и основных технологических параметров процесса штамповки без опережающего течения металла с использованием инженерного метода теории обработки давлением. Показана возможность применения муара для исследования кинематики течения при штамповке на ковочных вальцах. Разработан технологический процесс штамповки на ковочных вальцах, обеспечивающий заданную точность размеров.

Апробация работы. Основное содержание работы опубликова-

но в двух статьях. Полученные в процессе исследования результаты использованы Рязанским комбайновым заводом при разработке мероприятий по совершенствованию технологического процесса штамповки звена цепи транспортера на ковочных вальцах. Основные результаты работы доложены на научных семинарах кафедры АМ-6 МВТУ им. Н.Э.Баумана в 1974, 1975, 1977 гг.

Объем работы. Диссертация содержит 135 страниц машинописного текста; 60 рисунков; 7 таблиц; перечень литературы из 57 наименований; приложение.

I. Состояние вопроса и задачи исследования

Теоретические основы технологии штамповки на ковочных вальцах разработаны советскими учеными В.М.Аристовым, В.Н.Мартыновым, И.Я.Тарновским, В.С.Смирновым и другими.

До настоящего времени основное внимание при исследовании процесса штамповки на ковочных вальцах уделялось изучению влияния основных технологических параметров на величину опережения и контура отставания, определяющих нестабильность продольных размеров и некачественное оформление выступающих элементов поковки.

Штамповка на ковочных вальцах получила промышленное применение благодаря работам, выполненным В.Н.Мартыновым в ЦНИИТМАШе. Исследуя процесс штамповки на ковочных вальцах, В.Н.Мартынов пришел к выводу, что по сравнению с обычной прокаткой, изменение основных технологических параметров процесса оказывает диаметрально противоположное влияние на опережение. Согласно его данным, с увеличением температуры прокатки опережение уменьшается, а при штамповке в вальцах - увеличивается.

По данным И.Я.Тарновского, повышение температуры штамповки в одних случаях увеличивает, а в других - уменьшает опережение. Анализируя это противоречие, И.Я.Тарновский пришел к выводу, что влияние температуры штамповки на величину опережения существенно изменяется в зависимости от веса поковок. Для легких поковок опережение с увеличением температуры штамповки увеличивается, а для средних - уменьшается.

В более поздних исследованиях К.М.Кауфмана и Г.А.Монахова показано, что температура штамповки на ковочных вальцах влияет на величину опережения также, как и для случаев прокатки. Однако В.А.Бабенко и Ф.П.Алексеенко экспериментально подтверж-

МВТУ
им. Н. Э. Баумана
ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ
БИБЛИОТЕКА

дают выводы, сделанные В.Н.Мартыновым.

Противоречивые сведения имеются и при анализе влияния на величину опережения других технологических факторов (диаметр инструмента, чистота обработки, скорость деформирования и др.).

Теория прокатки и штамповки на ковочных вальцах простых по конфигурации поковок позволяет с достаточной для практического использования точностью определить величину опережения в зависимости от основных технологических параметров. Однако выдержать технологические параметры постоянными, особенно в условиях массового производства, не представляется возможным. К тому же отсутствуют рекомендации по определению величины опережения при штамповке прокаткой поковок сложной формы. В технической литературе имеются сведения о том, что при штамповке на ковочных вальцах сложных поковок характер течения металла весьма сложный и имеются зоны торможения, способствующие стабилизации продольных размеров. Трудности, связанные с теоретическими исследованиями процесса штамповки на ковочных вальцах поковок сложной формы, заставляют искать решение поставленных производством задач чисто экспериментальным путем.

Таким образом, дальнейшему внедрению данного способа металлообработки препятствуют следующие причины.

I. Трудность обеспечения заданной точности межосевых расстояний выступающих элементов поковок.

2. Невозможность автоматизации последующих разделительных операций.

3. Наличие искажения форм переходных участков и неоформление выступающих элементов поковки.

4. Повышенный расход металла.

5. Теоретические исследования процесса не позволяют установить кинематическое состояние заготовки в процессе ее деформирования.

С целью поиска путей устранения вышеизложенных причин, в предлагаемом исследовании поставлены следующие задачи.

I. Установление характера и кинематики течения при штамповке на ковочных вальцах изделий сложной формы для определения возможности выбора оптимальных технологических параметров процесса (геометрия инструмента, сечение заготовки, температура штамповки), обеспечивающих точность размеров и качественное оформление выступающих элементов поковки при минимальном

расходе металла.

2. Определение технологических, кинематических и силовых параметров процесса штамповки на ковочных вальцах без опережающего течения металла.

3. Разработка конструкций штампов, обеспечивающих штамповку без опережающего течения при минимальном расходе металла.

4. Внедрение результатов исследований в производство.

II. Теоретический анализ механизма пластического формоизменения при штамповке в вальцах

Теоретический анализ пластического формоизменения проведен в целях определения возможности оформления выступающих элементов и стабилизации продольных размеров поковок сложной формы. В анализе приняты следующие допущения;

а) рассматривается жестко-пластическая модель;

б) прямолинейность границ, разделяющих жесткую и пластическую зоны на входе в очаг деформации и выходе из него;

в) плоско-деформированное состояние металла;

г) при определении удельной силы трения на контактной поверхности принят закон сухого трения Амонтона-Кулона.

В результате анализа установлено, что основными критериями, определяющими возможность штамповки прокаткой без опережающего течения металла, являются:

I) устойчивость выступающих элементов поковки, создающих торможение опережающему течению металла;

2) соотношение между геометрическими размерами поковки и деформирующего инструмента, обеспечивающее торможение опережающему течению металла и устойчивость выступающих элементов.

Аналитические зависимости, характеризующие устойчивость выступающих элементов и, следовательно, условие осуществимости процесса штамповки без опережающего течения металла, выведены на основании использования метода баланса работ

$$A_n = A_\alpha - A_\beta - A_{тр} \qquad (I)$$

где A_n -полезная работа, совершающая деформирование выступающего элемента поковки на перемещении U_x, равная

$$A_n = P_n \frac{F_2}{f} U_x$$

A_α-активная работа от воздействия продольной силы, возникающей при деформировании гладкой части поковки, определяемая уравнением

$$A_\alpha = P_\alpha \cdot F_1 \cdot U_x$$

$A_з$ –работа, расходуемая на преодоление внутренних сил, возникающих при деформировании выступающего элемента поковки и $A_{тр.}$ – работа, расходуемая на преодоление сил контактного трения в зоне предполагаемого очага деформации, в районе которого наблюдается потеря устойчивости, находятся интегрированием элементарных работ внутренних сил и сил внешнего трения

$$A_з + A_{тр} = \iiint_V \beta\sigma_т \cdot \varepsilon_i \, dV + \iint_F \tau_к \cdot U_{кр} \cdot dF$$

Решением уравнения (I) с учетом известных допущений и несложных математических преобразований получено выражение для удельного усилия, вызывающего деформирование выступающего элемента поковки

$$P_п = \left[P_\alpha - \left(\frac{\tau_к}{\sin\gamma} + \frac{2\beta\sigma_т}{1+\cos\gamma}\right) \ln\frac{F_2}{f}\right] \cdot \frac{f}{F_2} \qquad (2)$$

Теоретический анализ пластического формоизменения основан на предположении, что опережение металла возникает в результате вытяжки наиболее обжимаемых элементов поковки. Менее обжимаемые элементы являются источниками торможения опережения, то есть создают противодавление, позволяющее уменьшить или полностью исключить скорость прямого течения металла. Это противодавление определено вторым членом правой части уравнения (2).

Давление P_α, возникающее при деформировании гладкой части поковки, найдено из условия штамповки прокаткой без опережающего течения металла. С этой целью для данной схемы деформирования составлено дифференциальное уравнение равновесия и условие пластичности

$$\frac{\partial\sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial\tau_{xz}}{\partial z} = 0; \quad \frac{\partial\sigma_z}{\partial z} = 0; \quad \sigma_x - \sigma_z = \beta\sigma_т \qquad (3)$$

Закон изменения касательных напряжений принят в виде

$$\tau_{xz} = \tau_0 \frac{2z}{h_x}; \quad \frac{1}{2} h_x = h_н - x\,tg\frac{\alpha_0}{2}; \quad h_н = \frac{h_0}{2}$$

Для определения τ_0 использовано условие на контактной поверхности заготовки и валков и составлена система уравнений равновесия

$$\begin{cases} \tau_0 \cdot dx + \sigma_x \cdot dx \cdot tg\frac{\alpha_0}{2} - P_y\,dx\,tg\frac{\alpha_0}{2} + \mu P_y\,dx = 0; \\ \tau_0 \cdot dx\,tg\frac{\alpha_0}{2} + \sigma_x \cdot dx - P_y dx - \mu P_y\,dx\,tg\frac{\alpha_0}{2} = 0; \end{cases}$$

После упрощения и решения данной системы уравнений получено выражение, определяющее закон изменения τ_0

$$\tau_0 = \frac{\sigma_z\left(tg\frac{\alpha_0}{2} - \mu\right) - \sigma_x\left(1+\mu tg\frac{\alpha_0}{2}\right)tg\frac{\alpha_0}{2}}{\left(1+2\mu tg\frac{\alpha_0}{2} - tg^2\frac{\alpha_0}{2}\right)}$$

В уравнении равновесия (3) с учетом условия пластичности $\frac{\partial\sigma_x}{\partial x} = \frac{\partial\sigma_z}{\partial x}$ проведена замена $\frac{\partial\tau_{xz}}{\partial z} = \frac{2\tau_0}{h_x}$, после чего получено дифференциальное уравнение

$$\frac{\partial\sigma_z}{\partial x} = \frac{\mu\sigma_z\left(1+tg^2\frac{\alpha_0}{2}\right) + \beta\sigma_T\left(1+\mu tg\frac{\alpha_0}{2}\right)}{\left(1+2\mu tg\frac{\alpha_0}{2} - tg^2\frac{\alpha_0}{2}\right)\left(h_H - x tg\frac{\alpha_0}{2}\right)},$$

решением которого с использованием граничных условий на входе в очаг деформации найдены выражения для главных нормальных напряжений

$$\sigma_z = -\frac{\beta\sigma_T}{\left(1+tg^2\frac{\alpha_0}{2}\right)}\left\{\left(\frac{1}{\mu}+tg\frac{\alpha_0}{2}\right)tg\frac{\alpha_0}{2} - \left(\frac{tg\frac{\alpha_0}{2}}{\mu}-1\right)\left(\frac{h_H}{h_H - x tg\frac{\alpha_0}{2}}\right)^{\frac{\mu\left(1+tg^2\frac{\alpha_0}{2}\right)\cdot tg^{-1}\frac{\alpha_0}{2}}{\left(1+2\mu tg\frac{\alpha_0}{2} - tg^2\frac{\alpha_0}{2}\right)}}\right\}$$

$$\sigma_x = -\frac{\beta\sigma_T}{\left(1+tg^2\frac{\alpha_0}{2}\right)}\left\{\left(\frac{1}{\mu}+tg\frac{\alpha_0}{2}\right)tg\frac{\alpha_0}{2} - \left(1+tg^2\frac{\alpha_0}{2}\right) - \left(\frac{tg\frac{\alpha_0}{2}}{\mu}-1\right)\left(\frac{h_H}{h_H - x tg\frac{\alpha_0}{2}}\right)^{\frac{\mu\left(1+tg^2\frac{\alpha_0}{2}\right)\cdot tg^{-1}\frac{\alpha_0}{2}}{\left(1+2\mu tg\frac{\alpha_0}{2} - tg^2\frac{\alpha_0}{2}\right)}}\right\} \quad (4)$$

Полное деформирующее усилие на единицу ширины получено интегрированием уравнения

$$P = \left(\frac{1}{\cos\frac{\alpha_0}{2}} + \mu tg\frac{\alpha_0}{2}\right)\int_0^{\ell} P_y\,dx \quad (5)$$

где

$$P_y = \frac{\sigma_z - \sigma_x\cdot tg^2\frac{\alpha_0}{2}}{\left(1+2\mu tg\frac{\alpha_0}{2} - tg^2\frac{\alpha_0}{2}\right)} \approx \sigma_z \quad (6)$$

Решением уравнения (5) с учетом допущений (6) найдены полное и среднее удельное деформирующие усилия

$$P = \beta\sigma_T\ell\left(\frac{1}{\cos\frac{\alpha_0}{2}} + \mu tg\frac{\alpha_0}{2}\right)\left\{\left(1+\frac{tg\frac{\alpha_0}{2}-\mu}{\mu\left(1+tg^2\frac{\alpha_0}{2}\right)}\right)\left[1+\frac{h_0}{2\Delta h(1-\delta)}\left\{\left(\frac{h_0}{h_1}\right)^{\delta+1}-1\right\}\right]\right\}$$

$$P_{cp} = \beta\sigma_T\left(\frac{1}{\cos\frac{\alpha_0}{2}} + \mu tg\frac{\alpha_0}{2}\right)\left\{\left(1+\frac{tg\frac{\alpha_0}{2}-\mu}{\mu\left(1+tg^2\frac{\alpha_0}{2}\right)}\right)\left[1+\frac{h_0}{2\Delta h(1-\delta)}\left\{\left(\frac{h_0}{h_1}\right)^{\delta+1}-1\right\}\right]\right\}$$

где $\delta = \frac{\mu\left(1+tg^2\frac{\alpha_0}{2}\right)\cdot tg^{-1}\frac{\alpha_0}{2}}{\left(1+2\mu tg\frac{\alpha_0}{2} - tg^2\frac{\alpha_0}{2}\right)}$

Используя уравнение (4) определено усилие противодавления, необходимое для исключения опережающего течения металла

$$Q = \sigma_x\Big|_{x=\ell}\cdot F_1 = \frac{\beta\sigma_T\left(tg\frac{\alpha_0}{2}-\mu\right)}{\mu\left(1+tg^2\frac{\alpha_0}{2}\right)}\left[1-\left(\frac{h_0}{h_1}\right)^{\delta}\right]\cdot F_1$$

На основании усилия противодавления получена зависимость для

определения давления, воспринимаемого бобышкой от воздействия продольной силы

$$P_a = \beta\sigma_T \frac{tg\frac{\alpha_0}{2} - \mu}{\mu\left(1 + tg\frac{2\alpha_0}{2}\right)}\left[1 - \left(\frac{h_0}{h_1}\right)^{\delta}\right]\frac{F_1}{F_2}$$

Давление, под действием которого возможно деформирование выступающего элемента поковки, определено уравнением

$$P_n = \left\{\beta\sigma_T \frac{\left(tg\frac{\alpha_0}{2} - \mu\right)}{\mu\left(1 + tg^2\frac{\alpha_0}{2}\right)}\left[1 - \left(\frac{h_0}{h_1}\right)^{\delta}\right]\frac{F_1}{F_2} - \left(\frac{\tau_K}{\sin\gamma} + \frac{2\beta\sigma_T}{1+\cos\gamma}\ln\frac{F_2}{f}\right)\frac{f}{F_2}\right. \qquad (7)$$

Первый член уравнения (7) характеризует продольное напряжение, действующее на выступающий элемент поковки P_a , второй - напряжение сопротивления, воспринимаемое выступающим элементом поковки P_c .

Таким образом, критерием, определяющим устойчивость выступающего элемента поковки по уравнению (7), является величина P_n . Если значение P_n превысит предел текучести металла $\beta\sigma_T$, то выступающий элемент поковки потеряет устойчивость. В результате этого торможение продольному течению металла исключается, что приводит к возникновению опережающего течения.

Известно, что при прокатке в условиях плоской деформации в зоне очага деформации действуют продольные сжимающие напряжения. Данное условие заложено и в уравнение пластичности, принятое для определения главных нормальных напряжений. Однако на основании теоретического анализа уравнения (4) нами сделан вывод о возможном уменьшении продольных подпирающих напряжений, возникающем при определенных степенях деформации. В диссертации показано, что причиной этого является отсутствие опережающего течения, которое может привести к такому состоянию, когда скорость перемещения заготовки в обратном направлении становится равной и большей линейной скорости валков.

С целью определения возможности превышения скорости обратного течения металла по отношению к линейной скорости валков, в данной работе проведен теоретический анализ продольного течения металла. Этот анализ основан на предположении об отсутствии опережающего течения в зоне очага деформации, что позволило определить величину и направление продольного скольжения по следующей зависимости

$$S = \frac{V_{x.m.} - V_B \cdot \cos\alpha_x}{V_B \cdot \cos\alpha_x}$$

Скорость перемещения металла найдена из выражения

$$V_{x.м.} = V_в \cdot \cos\alpha_x - U_{x.м} \qquad (8)$$

На основании теории пластического течения принято

$$U_{x.м.} = \int \dot{\varepsilon}_x dx \; ; \quad \dot{\varepsilon}_x = -\dot{\varepsilon}_z = \frac{\partial V_z}{\partial z} \; ;$$

где $$V_z = 2V_в \frac{z}{h_x} \cdot \sin\alpha_x \; ; \quad h_x = h_1 + 2R(1-\cos\alpha_x)$$

Соответствующей подстановкой и дифференцированием выражения $\frac{\partial V_z}{\partial z}$ получено уравнение для определения горизонтальной скорости течения металла

$$U_{x.м.} = 2V_в \cdot R \int_0^{\alpha_x} \frac{\sin\alpha_x \cdot \cos\alpha_x}{h_1 + 2R(1-\cos\alpha_x)} d\alpha_x \qquad (9)$$

Посредством замены уравнения дуги окружности $h_x = h_1 + 2R(1-\cos\alpha_x)$ параболой вида $h_x = h_1 + \frac{x^2}{R}$ (допущение Надаи) уравнение продольной скорости деформационного перемещения металла выражено через логарифмическую степень деформации

$$U_{x.м.} = V_в \cdot \ln \frac{h_x}{h_1}$$

Скорость абсолютного перемещения металла при условии полного прилипания определена выражением

$$V_{x.м.} = V_в \cdot \cos\alpha_x - V_в \ln \frac{h_x}{h_1} \qquad (10)$$

Решением дифференциального уравнения $-V_1 \cos\alpha_x dh_x = h_x dV_x$, составленного на основании закона неразрывности сплошной среды при перемещении ее с переменной скоростью, получено выражение

$$V_{x.м.} = V_1 - V_в \ln \frac{h_x}{h_1} \; , \qquad (11)$$

характеризующее абсолютную скорость перемещения металла в условиях полного скольжения.

Из анализа уравнений (10) и (11) следует, что при значении логарифмической степени деформации, равном $\ln \frac{h_x}{h_1} > 1$, абсолютная скорость перемещения металла меняет знак на обратный. При этом учитывая допущение Надаи, принятое в выводе уравнения (10), установлено, что с увеличением коэффициента трения степень деформации, при которой имеет место изменение направления абсолютной скорости перемещения металла, увеличивается. Подобная закономерность наблюдается и в теоретическом анализе уравнения (4).

Таким образом, в результате анализа полученных в диссертации аналитических зависимостей показано, что математическая модель (4), построенная на основании деформационной теории пластичности, и модель (10,11), выведенная с учетом теории пластического течения, отображают одно физическое явление. На

основании этого можно утверждать, что сделанные в диссертации выводы о возможном уменьшении продольных подпирающих напряжений, возникающем при определенных степенях деформации, правомерны.

Вторым критерием, определяющим возможность штамповки прокаткой без опережающего течения металла, принято неравенство

$$\frac{h_0-h_1}{1-\cos\alpha_0} \geq D \geq \frac{\{l-R\sin 0{,}5[\alpha_0-\text{arc}\sin\sqrt{\frac{}{}}]^2+C^2}{C}, \quad (12)$$

характеризующее соотношение между геометрическими размерами инструмента и поковки. Правая часть неравенства (I2) определяет минимальный диаметр инструмента, обеспечивающий торможение опережающему течению металла посредством зацепления выступающего элемента поковки с впадиной инструмента. Минимальный диаметр инструмента найден из простых геометрических соотношений с учетом геометрической и физической зон торможения. Левая часть неравенства (I2) определяет максимальный диаметр инструмента, обеспечивающий устойчивость выступающего элемента поковки. Максимальный диаметр инструмента выражен через минимально допустимый, по условию устойчивости выступающего элемента поковки, угол захвата. Минимально допустимый угол захвата

$$\alpha_0 = 2\,\text{arc}\,\text{tg}\,\mu\ln\frac{h_0}{h_1}\left[\ln\left\{1-\mu A\frac{\left[1+\left(\frac{\mu\ln\frac{h_0}{h_1}}{\ln[1+A]}\right)^2\right]^{-1}}{\frac{\mu\ln\frac{h_0}{h_1}}{\ln[1+A]}}\right\}\right], \quad (13)$$

где

$$A = \frac{P_c+\beta\sigma_{01}\frac{F_2}{f}}{\beta\sigma_{01}}\cdot\frac{F_2}{F_1}$$

найден при решении уравнения (I4) методом итераций

$$\text{tg}\frac{\alpha_0}{2} = \frac{\mu\ln\frac{h_0}{h_1}}{\ln\left[1-\left(\frac{P_c+\beta\sigma_{01}\frac{F_2}{f}}{\beta\sigma_{01}}\right)\cdot\frac{\mu\Pi+\text{tg}\frac{\alpha_0}{2}}{\text{tg}\frac{\alpha_0}{2}-\mu}\right]} \quad (14)$$

В результате анализа пластического формоизменения металла в процессе деформирования выведено уравнение для определения оптимальной высоты заготовки

$$H_3 = \frac{0{,}25\pi\Delta^2\varphi H+B\cdot C^2(\text{tg}\Psi_1+\text{tg}\Psi_2)-\frac{B\cdot l_x}{2R}(l_x+2Rh_1)\ln\frac{2Rh_1}{l_x^2+2Rh_1}}{B\cdot L+2f} \quad (15)$$

где Ψ_1 и Ψ_2 – естественный угол контура отставания и опережения соответственно, B – ширина заготовки

Размеры оптимальной заготовки, сечение которой рассчитывается на основании уравнения (I5), могут быть пересчитаны на любую форму заготовки, в том числе и на круглую. По уравнению (I5) рассчитаны параметры заготовки для штамповки изделий типа звена цепи транспортера. Изделия, отличные от звена, требуют предварительного анализа процесса пластического формоизменения по предложенной в диссертации методике.

Поскольку в промышленности большее распространение получила штамповка на ковочных вальцах в открытых штампах, то поперечное сечение заготовки, рассчитанное на основании уравнения (I5), необходимо увеличить на площадь сечения заусенца. Для определения оптимальной ширины заусенца предложено скорректированное, с учетом отсутствия опережающего течения металла, уравнение В.Н.Мартынова

$$B = \frac{2\frac{V_{ст}}{\lambda_{ср}} + (F_0 - F_к)\cdot F_0}{\Delta_{ср}\cdot f_з \cdot F_к}\cdot K_1 \qquad (I6)$$

Используя уравнения Экелунда, характеризующие изменение предела текучести и удельного усилия деформирования в зависимости от температуры штамповки, в данной работе приведена методика определения оптимального температурного режима, обеспечивающего устойчивость выступающих элементов поковки.

Для подтверждения приемлемости принятых допущений и правомерности сделанных в диссертации выводов проведена экспериментальная и экспериментально-аналитическая проверка технологических, силовых и кинематических параметров, рассчитанных на основании выведенных нами аналитических зависимостей.

III. Экспериментальные исследования процесса штамповки прокаткой без опережающего течения металла

Задачами экспериментального исследования являются: определение характера течения металла в процессе формоизменения заготовки при штамповке прокаткой на ковочных вальцах поковок с вертикальными выступами и впадинами; определение кинематических и силовых параметров процесса штамповки прокаткой без опережающего течения металла; оценка влияния некоторых технологических параметров на качество заполнения выступающих элементов поковки и коэффициент использования металла.

Для определения характера течения металла в процессе формоизменения заготовки проведены испытания на сплошных и раз-

резных образцах с нанесенными на исследуемую поверхность линейной и координатной сетками. Изменение характера течения металла в процессе заполнения очага пластической деформации определялось по искажению сетки при поэтапном деформировании образцов.

С целью исключения погрешностей, которые могут быть внесены дискретностью процесса поэтапного деформирования, искажение сетки фиксировалось без прерывания деформирования. После каждого этапа деформирования недокат из ручья штампа извлекался посредством реверса валков. Заготовку устанавливали вновь точно в таком же исходном положении, как и предыдущую и деформировали на большую величину. Характер течения металла определялся сравнением картин искажения сетки на предыдущих и последующих этапах деформирования. Таким образом, изменение сетки во время деформирования заготовки фиксировалось без прерывания процесса.

Стабильность продольных размеров между выступающими элементами поковки проверена измерением межосевых расстояний и наложением поковок, снятых с одной и той же гравюры штампа.

Для определения величины деформационного перемещения в процессе поворота валков экспериментально-теоретическим методом муар получены линии равных перемещений. Скорость течения металла определена графическим дифференцированием.

В данном исследовании мы ограничились измерением общего деформирующего усилия и использовали его в качестве косвенной проверки правильности теоретического определения величины нормальных контактных напряжений.

Проверка приемлемости выведенных аналитических зависимостей по выбору силовых параметров для промышленного использования основана на результатах штамповки прокаткой свинцовых, алюминиевых и стальных образцов.

Влияние температуры штамповки на характер продольно-поперечного течения металла и величину контура отставания определено на стальных поковках при штамповке звена цепи трансопртера. Промышленные заготовки длиной 288 мм и диаметром 20 мм нагревались индукционным нагревателем неравномерно по длине. Передний по направлению штамповки конец заготовки нагревался до температуры 1200$\pm$ 20^{o}C, задний - до темпепатуры 1000$\pm$20^{o}C. Затем передний конец заготовки нагревался до более низкой температуры, чем задний. После штамповки визуально фиксировалось

качество заполнения и замерялась ширина заусенца в зоне бобышек.

Для определения оптимального температурного интервала штамповки выбрана программа испытаний, составляющая 6 последовательных опытов, исходя из 6-ти ступеней нагрева: T =950, 1000, 1050, 1100, 1150, 1200°С. Ступени нагрева приняты в зависимости от разрешающей способности пирометра, точность измерений которого находится в пределах ±20°С. Оптимальный температурный интервал штамповки установлен по качеству заполнения выступающих элементов поковки и величине заусенца в зоне бобышек звена.

В эксперим нтальных исследованиях использована промышленная оснастка для штамповки звена цепи транспортера в открытых и экспериментальная оснастка для штамповки в закрытых штампах. В качестве оборудования использованы ковочные вальцы модели С 162, А-228, КВ-40М. В качестве регистрирующей, измерительной и усилительной аппаратуры использованы струнный ходограф, отметчик угла поворота, проволочные тензодатчики, усилитель сигналов 8АНЧ-7М и светолучевой осциллограф Н-105.

Экспериментальные исследования подтвердили приемлемость принятых в теоретическом анализе допущений о возможности стабилизации продольных размеров поковок исключением опережающего течения металла, а также удовлетворительную точность аналитических решений и позволили оценить влияние некоторых технологических параметров процесса на качество оформления выступающих элементов и коэффициент использования металла.

IУ. Внедрение результатов исследования в производство

Представленные в работе результаты теоретического и экспериментального исследования позволили усовершенствовать действующую технологию штамповки звена цепи транспортера на ковочных вальцах.

В результате теоретического анализа пластического формоизменения и исследования характера и кинематики течения металла установлено, что для изготавливаемой на РКЗ поковки звена цепи транспортера с высотой выступающих элементов 6,5 мм и межцентровым расстоянием 41,3 мм диаметр инструмента должен находиться в пределах 300 мм $\leq D \leq$ 600 мм.

На Рязанском комбайновом заводе звено штампуется на ковочных вальцах с межцентровым расстоянием 560 мм. Однако в усло-

виях массового производства штамповка звена из заготовки ∅ 20х288 при температуре 1200-1250°С и высоте заусенца 2 - 2,5 мм не обеспечивала постоянства расстояний между осями выступающих элементов и качественного их заполнения.

Снижение температуры штамповки до 1000-1100°С несколько улучшило заполнение выступающих элементов, но значительно снизило вытяжку и привело к меньшему количеству звеньев, расположенных в поковке. В связи с этим норма расхода металла увеличилась. Поэтому сечение заготовки, размеры заусенца и температура штамповки для звена цепи транспортера рассчитаны по выведенным в данном исследовании зависимостям. Соблюдение рекомендуемых технологических режимов позволило в условиях действующего производства осуществить штамповку звена цепи транспортера при температуре 1000-1100°С из заготовки ∅ 19х285 при высоте заусенца 1-1,5 мм. При этом улучшились качество оформления выступающих элементов поковки и стабилизация их межосевых расстояний, что создало надежные предпосылки для механизации и автоматизации последующих разделительных операций.

Таким образом, внедрение некоторых результатов исследования привело к снижению нормы расхода металла и повышению производительности труда, а также уменьшению расхода электроэнергии. Реальный экономический эффект только за счет экономии металла составил 75 тыс.рублей в год.

Выполнение мероприятий, предложенных заводу по дальнейшему совершенствованию технологического процесса штамповки звена цепи транспортера даст дополнительный экономический эффект по экономии металла и повышению производительности труда.

Разработанный в результате проведенных исследований новый технологический процесс штамповки прокаткой без опережающего течения металла в закрытых штампах опробован в лаборатории горячей объемной штамповки НИИТРАКТОРОСЕЛЬХОЗМАШ, на Рязанском комбайновом заводе в специализированном цехе горячей штамповки звена и передан заводу для внедрения.

ВЫВОДЫ

1. В результате проведенных исследований установлено, что исключение опережающего течения можно осуществить посредством зацепления выступающего элемента поковки с впадиной инстру-

мента, при этом надежное зацепление возможно только при качественном оформлении выступающих элементов. Поэтому основными критериями, определяющими возможность исключения опережающего течения металла, приняты устойчивость выступающих элементов и соотношение между геометрическими размерами поковки и инструмента, обеспечивающее зацепление. В качестве критерия устойчивости установлено условие $\rho_n < \beta \delta_T$.

2. Аналитические зависимости, определяющие силовые, кинематические и основные технологические параметры процесса штамповки прокаткой без опережающего течения металла, получены на основании исследования характера и кинематики течения в процессе формоизменения заготовки. Использование этих зависимостей при разработке процесса обеспечивает постоянство расстояния между осями выступающих элементов поковки и качественное их оформление при минимальном расходе металла.

3. Приведенный в диссертации теоретический анализ выведенных аналитических зависимостей, характеризующих силовые и кинематические параметры процесса, свидетельствует об идентичности решений, полученных на основании деформационной теории пластичности и теории пластического течения.

4. Достаточная сходимость представленных в работе результатов теоретического и экспериментального исследования позволяет считать правомерными допущения, принятые при составлении логико-математических моделей, описывающих физическое состояние металла в процессе его деформирования. В связи с этим аналитические зависимости, полученные в результате решения поставленных в данном исследовании задач, могут быть рекомендованы для практического использования.

5. Методика расчета силовых и основных технологических параметров (диаметр инструмента, размер заготовки и температура штамповки), разработанная в диссертации, использована при совершенствовании технологического процесса штамповки звена цепи транспортера прокаткой в открытых штампах и разработке нового технологического процесса штамповки звена прокаткой в закрытых штампах.

6. Реальный экономический эффект от внедрения некоторых результатов исследования на Рязанском комбайновом заводе составил 75 тыс.рублей в год и получен, в основном, за счет

экономии металла и улучшения качества оформления выступающих элементов поковки.

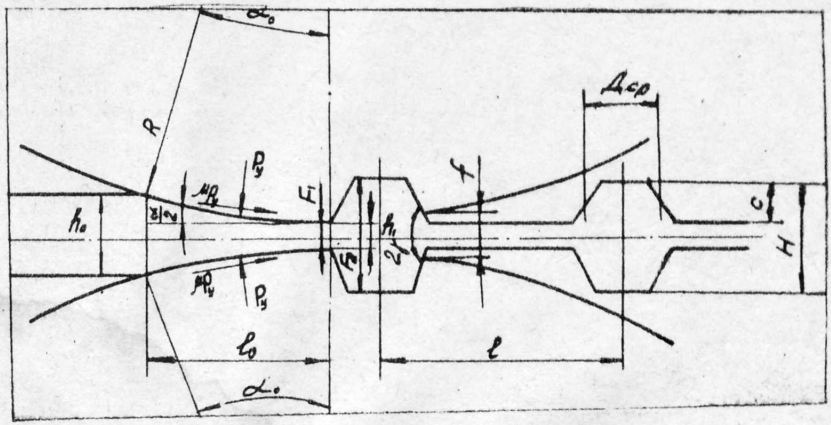
7. На основании вышеизложенного следует, что технологический процесс штамповки мелких и средних изделий сложной формы прокаткой в ковочных вальцах отвечает условиям комплексной автоматизации и механизации и является перспективным с точки зрения интенсификации производственных процессов.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах.

I. Смирнова Т.А. "Исследование процесса штамповки на ковочных вальцах", сборник "Технология машиностроения", изд-во ЦНИИТЭИЛЕГПИЩЕМАШ, 1975 г., №10.

2. Смирнова Т.А. "Штамповка в вальцах без опережающего течения металла", Известия ВУЗов "Машиностроение", 1975 г.,№12.

Схема процесса



Типография МВТУ Тираж 100 экз.
Л 71522 Подп. к печ. 16.03.78 г. Объем 1 п.л. Зак. 353