

меньше суммарной глубины прошитых полостей $h_2 < h + h_1$.

Отрезанную заготовку многогранного сечения с целью устранения возможных при отрезке искажений формы подвергают калибровке путем редуцирования через матрицу многогранного сечения с последующей осадкой торцевой части, на которой выполнено отверстие малого диаметра. В результате калибровки формируют окончательный размер многогранника под ключ и образуют наружную фаску.

Способ позволяет сэкономить на каждой гайке до 8% металла за счет устранения отхода при образовании на торце гайки отверстия малого диаметра и снизить себестоимость накидных гаек вследствие снижения нормы расхода металла.

Предложенные процессы позволяют избавиться от отходов металла, связанных с образованием «перемычки» и штамповочных уклонов. Коэффициент использования металла при этом возрастает до 0,85-0,95.

Приведенные способы отличаются новизной и защищены патентами РФ.

Теоретические и экспериментальные исследования операции горячей штамповки в разъемных матрицах

д.т.н. проф. Яковлев С.С., к.т.н. Пасынков А.А.
ФГБОУ ВПО «Тульский государственный университет»
8 (4872) 35-14-82, mpf-tula@rambler.ru

Аннотация. Разработана математическая модель штамповки изделий в разъемных матрицах на универсальном гидропрессовом оборудовании из высокопрочных материалов. Выполнены расчеты давлений материалов при штамповке в разъемных матрицах заготовки крестовины из алюминиевого АМгб и титанового ВТ6С сплавов. Произведено сравнение экспериментальных результатов исследований с теоретическими.

Ключевые слова: выдавливание, разъемные матрицы, сила, пластичность, трение.

При штамповке существенна зависимость режимов технологии и, следовательно, качества изделий от скорости, т.к. деформируемый горячий металл проявляет вязкие свойства. Кроме того, деформирование сопровождается изменениями механической сплошности материала, что определяет качество изделия. Влияние совокупности этих факторов на состояние деформируемого материала будем определять уравнением [1, 2]

$$\sigma_e = A \varepsilon_e^m \xi_e^n (1 - \omega)^p, \quad (1)$$

где $\sigma_e, \varepsilon_e, \xi_e$ - соответственно эквивалентные напряжения, деформации и скорости деформаций; ω - повреждаемость материала заготовки; $0 \leq \omega \leq 1$; A, m, n, p - константы упрочнения материала.

Влияние деформационного и скоростного упрочнения, а также кинетика повреждаемости материала должны учитываться при проектировании технологии изотермической штамповки. В дальнейшем воспользуемся верхнеграничным методом расчета применительно к жесткоблочным полям скоростей перемещений. При плоской схеме деформаций справедливо энергетическое неравенство

$$qLV_0 \leq \sum \left(\frac{1}{\sqrt{3}} (\sigma_e)_p V_p l_p + \mu \sigma_k V_k l_k \right). \quad (2)$$

Здесь q - внешнее давление, приложенное на контуре L заготовки; $(\sigma_e)_p, \sigma_k$ - эквивалентные напряжения на линиях разрыва скоростей l_p и на контактных границах трения l_k ; V_0, V_p, V_k - скорости перемещения материала на внешнем контуре заготовки, на линиях разрыва и на границах трения соответственно; μ - коэффициент трения.

Рассмотрим выдавливание заготовки с четырьмя ортогональными отрезками – крестовины. Обработка производится на одной позиции штамповки за два этапа. На первом этапе осуществляется торцевое сжатие заготовки до контакта материала с центральными пуансонами и выдавливание его в закрытые полости боковых матриц. Рассмотрим этот этап. Здесь реализуется разрывное поле скоростей перемещений, показанное на рисунке 1, а. Оно состоит из жестких блоков, разделенных линиями разрыва скоростей перемещений (показаны пунктирными линиями). Годограф поля скоростей приведен на рисунке 1, б.

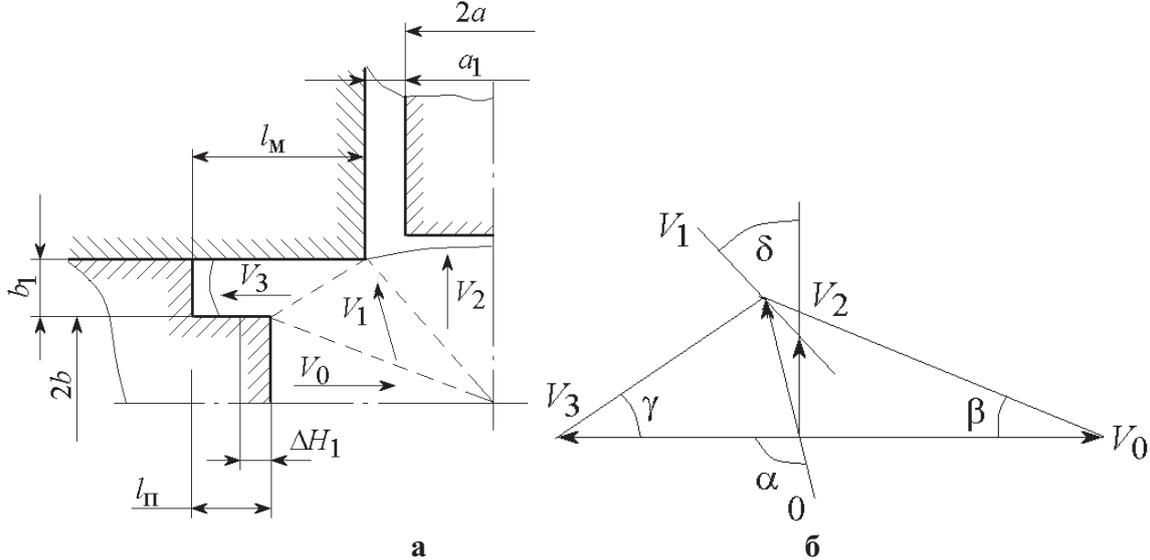


Рисунок 1. Схема 1-го этапа штамповки: поле скоростей (а) и годограф (б)

В соответствии с энергетическим неравенством (2) получим зависимость для удельной силы первого этапа операции:

$$q \leq \frac{A}{bV_0} \left[\frac{2^{m+n}}{(\sqrt{3})^{1+m+n}} \left(\frac{\Delta H_1}{V_0} \right)^m \sum_1^3 (1-\omega)^p V_p^{1+m+n} l_p^{1-m-n} + \mu \left(\frac{1}{\Delta H_1} \right)^n \left(\frac{b_1}{b+b_1} \right)^{m+n} \sum_1^2 \psi_p V_k^{1+n} l_k \right].$$

На втором этапе операции происходит выдавливание материала в зазор между матрицей и центральным пуансоном. Схема этого этапа и поле скоростей и годограф показаны на рисунке 2.

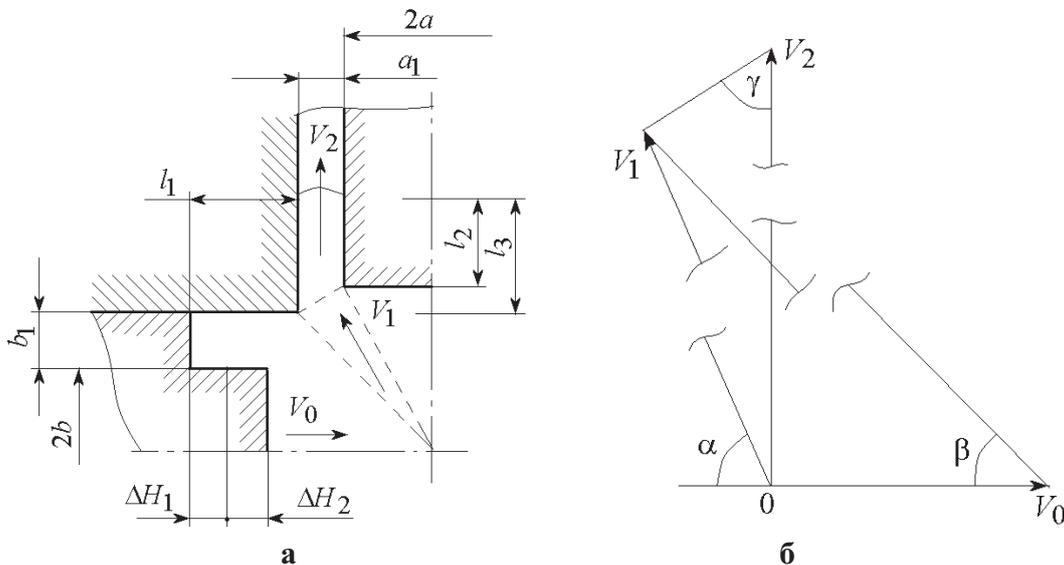


Рисунок 2. Схема 2-го этапа штамповки: поле скоростей (а) и годограф (б)

Для второго этапа штамповки получено следующее соотношение для расчета давления:

$$q \leq \frac{A}{(b+b_1)V_0} \left[\frac{2^{m+n}}{(\sqrt{3})^{1+m+n}} \left(\frac{\Delta H_2}{V_0} \right)^m \sum_1^3 (1-\omega)^p V_p^{1+m+n} l_p^{1-m-n} + \right. \\ \left. + \mu \left(\frac{1}{\Delta H_2} \right)^n \left(1 - \frac{2a_1}{b+b_1} \right)^{m+n} \sum_1^3 (1-\omega)^p V_k^{1+n} l_k \right].$$

На основе приведенных выше соотношений выполнены теоретические исследования влияния скорости перемещения инструмента и условий трения на величину относительного давления при ортогональном горячем выдавливании элементов трубопроводов. Исследования выполнены для алюминиевого АМг6 и титанового ВТ6С сплавов, поведение которых описывается энергетической и кинетической теориями прочности соответственно. Расчеты выполнены при следующих геометрических характеристиках заготовки: $a = 25$ мм; $a_1 = 3$ мм; $b = 35$ мм; $b_1 = 5$ мм; $\Delta H_1 = \Delta H_2 = 5$ мм. Границы трения: $l_n = 10$ мм; $l_M = 25$ мм; $l_1 = l_2 = 20$ мм, $l_3 = 25$ мм; коэффициент трения $\mu = 0,1$.

На рисунке 3 представлены зависимости относительного давления $\bar{q} = q/\sigma_{e0}$ от скорости перемещения инструмента V при фиксированных значениях коэффициента трения μ на контактных поверхностях инструмента и заготовки.

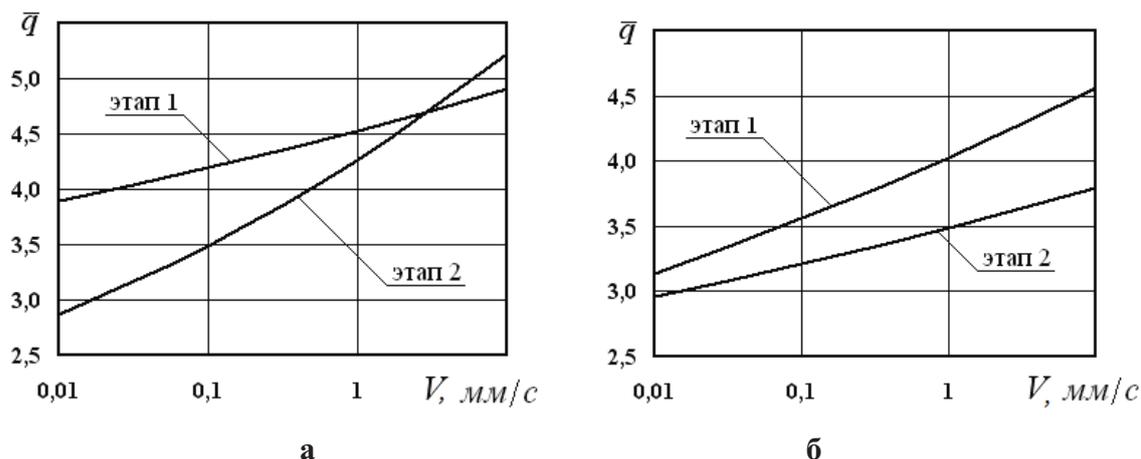


Рисунок 3. Зависимости изменения \bar{q} от V при ортогональном выдавливании заготовок из сплавов АМг6 (а) и ВТ6С (б)

Анализ зависимостей показывает, что при ортогональном выдавливании с нагревом относительное давление падает при увеличении длительности операции, т.е. при уменьшении скорости штамповки. Наиболее существенна эта зависимость при малых скоростях, когда значительно проявляется вязкости горячего металла.

Так, с уменьшением скорости перемещения инструмента V от 10 до 0,01 мм/с относительное давление ортогонального выдавливания падает на 25...80 % для алюминиевого АМг6 и на 30...45 % для титанового ВТ6С сплавов. На втором этапе деформирования наблюдаются меньшие значения давления по сравнению с первым.

На величины давления также влияет трение. Результаты исследования влияния коэффициента трения μ на величину относительного давления представлены на рисунке 4. Показано, что при уменьшении трения наблюдается существенное снижение давления. Так, снижение коэффициента трения μ от 0,4 до 0,1 приводит к уменьшению относительного давления на 30...40 % для сплавов АМг6 и ВТ6С на первом этапе и в 3...3,5 раза на втором этапе.

Штамповка в разъемных матрицах на универсальном гидропрессовом оборудовании предназначена для изготовления сложных заготовок арматуры трубопроводов двигательных установок: патрубков, тройников, крестовин - обеспечивающих прочность, герметичность

при высоком давлении агрессивных компонентов топлива. Применяемые материалы: алюминиевые сплавы АМг6, стали 12Х18Н10Т и другие хромоникелевые сплавы, различные сплавы титана. Для обеспечения форм изделий процесс проводят обычно за 2...3 операции: выдавливание отростков, прошивка отверстий [1, 2].

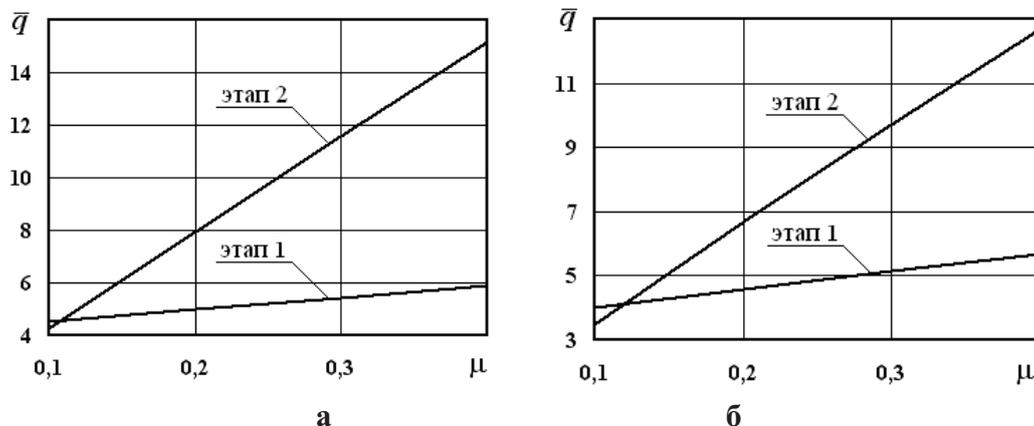


Рисунок 4. Зависимости изменения \bar{q} от μ при ортогональном выдавливании заготовок из сплавов АМг6 (а) и ВТ6С (б)

На рисунке 5 представлены образцы изделий, получаемых горячей штамповкой в разъемных матрицах. Выполнено сопоставление расчетных и экспериментальных данных для штамповки крестовины из алюминиевого сплава АМг6 при 450 °С в режиме кратковременной ползучести.



Рисунок 5. Образцы изделий из алюминиевого АМг6 и титанового ВТ6С сплавов

Величины давлений на боковом пуансоне для первого и второго этапов операции приведены в таблице 1 в зависимости от времени штамповки при конечном рабочем ходе пуансона.

Давление падает при увеличении длительности операции, т.е. при уменьшении скорости штамповки. Наиболее существенна эта зависимость при малых скоростях, когда значительно проявляется вязкость горячего металла. На величины давления также влияет трение.

Таблица 1

Величины давлений на боковом пуансоне для первого и второго этапов операции в зависимости от времени штамповки

Этап	Время t , мин	Давление q , МПа	
		расчет.	экспер.
1	1	125	130
	5	67	72
2	1	153	161
	5	80	85

Экспериментальные значения давлений превосходят расчетные на 15 %. Учет повреждаемости сближает расчетные и экспериментальные данные.

Результаты исследований использованы в опытном производстве. Существовавший технологический процесс предусматривал изготовление детали «крестовина» резанием из поковок. Предлагаемый технологический процесс обеспечивает уменьшение трудоемкости изготовления заготовок крестовины в 2 раза, повышение коэффициента использования

металла с 0,6 до 0,9, сокращение сроков подготовки производства новых изделий в 1,5 раза.

Заключение

Разработанная математическая модель позволяет объективно оценить влияние скоростных и деформационных параметров на силовые режимы штамповки изделий в разъемных матрицах из алюминиевого АМг6 и титанового ВТ6С сплавов. Сравнение экспериментальных результатов исследований с теоретическими показывает удовлетворительную сходимость.

Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», государственного задания Министерства образования и науки Российской Федерации на 2012-2014 годы и грантов РФФИ.

Литература

1. Изотермическое формоизменение анизотропных материалов жестким инструментом в режиме кратковременной ползучести / С.С. Яковлев, С.П. Яковлев, В.Н. Чудин, В.И. Трегубов, А.В. Черняев. М.: Машиностроение, 2009. 412 с.
2. Изотермическое деформирование высокопрочных анизотропных металлов / С.П. Яковлев, В.Н. Чудин, С.С. Яковлев, Я.А. Соболев. М: Машиностроение, 2004. 427 с.

Протяжка коротких заготовок без образования дефекта зажим

д. т. н. проф. Алиев И.С., Кальченко П.П., Швец А.А., к.т.н. Жбанков Я.Г., Таган Л.В.
Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.
E-mail: vzhbankov@gmail.com

В тяжелом машиностроении значительное место занимают крупногабаритные детали ответственного назначения типа валов и роторов. Основным способом их изготовления является ковка протяжкой [1, 2]. Проанализировав технологические процессы, применяемые на отечественных предприятиях, можно прийти к выводу, что основная масса технологических процессов получения таких деталей включает в себя осадку и протяжку, в случае применения обычных кузнечных слитков, и просто протяжку, в случае применения коротких слитков [3, 4]. Осадка обычных кузнечных слитков применяется для получения высоких значений улова в изделии, что обеспечивает высокий уровень его механических свойств [5, 6]. Протяжка применяется также как формообразующая операция.

После осадки заготовка, как правило, имеет незначительную высоту. Протяжка осажженной или короткой исходной заготовки осуществляется с малыми относительными обжатиями и подачами. Это обуславливает деформирование только лишь периферийных слоев заготовки, в результате, как следствие, образуются наплывы на торцы заготовки [7], которые при дальнейшей протяжке трансформируются сначала в утяжину, а после при больших уловах могут трансформироваться в свищи на торцах поковки, что является неисправим браком и требует при создании технологии предусматривать дополнительные напуски на торец поковки.

В производстве с таким явлением могут бороться использованием специальных вогнутых сферических осадочных плит [8]. Торцы заготовки после осадки такими плитами будут выпуклыми, что будет компенсировать при протяжке наплыв металла в периферийных слоях заготовки. Однако не всегда в инструментальном парке кузнечных цехов машиностроительных предприятий имеются такие осадочные плиты, кроме того протяжку могут осуществлять без применения операции осадки, в случае использования коротких слитков и слитков ЭШП. Таким образом, исследование влияния параметров ковки на образование утяжины на торцах заготовки и разработка режима ковки, позволяющего исключить данный дефект, является актуальным.

Целью данной работы является исследование механизма образования торцевой утяжины в процессе протяжки, влияния параметров механического режима ковки на ее величину и разработка нового режима протяжки, позволяющего избежать образования данного дефекта.

Методом конечных элементов проведено моделирование процесса ковки протяжкой за-