УДК 621.98

X . *H. FboZceh* , доктор технических наук, профессор;
>. =. *j>kyggbdh* , кандидат технических наук, доцент;
K. *G. Dgya_*, магистрант
Ижевский государственный технический университет

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ВЫТЯЖКИ ИЗ ЛИСТОВЫХ ЗАГОТОВОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЖИДКОСТНОЙ И ЭЛАСТИЧНОЙ СРЕД*

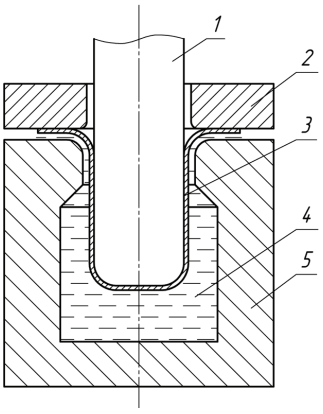
JKkfhlj_gu *kihkhl mf_gvr_gby jZaghlhesbgghklb ebklhuo ^lZe_c , ihemqZ_fuo emhdhc ulydhc .*

Ключевые слова: гидромеханическая вытяжка, гидроэластичная вытяжка, глубокая вытяжка, утонение, листовая заготовка

Прогрессивными способами листовой штамповки, позволяющими уменьшить разнотолщинность изготавливаемых деталей, являются гидромеханическая вытяжка (ГМВ) и гидроэластичная вытяжка (ГЭВ). Утонение стенки полуфабриката, полученного вытяжкой, является одним из основных показателей его качества: чем меньше отклонение толщины стенки полуфабриката от толщины исходной листовой заготовки, тем более качественным он является.

При гидромеханической вытяжке заготовка и матрица разделены рабочей жидкостью. Это обеспечивает снижение потерь на трение между матрицей и заготовкой и увеличение полезных сил трения по пуансону, что позволяет изготавливать по сравнению с вытяжкой в жестких штампах более точные и качественные детали сложных форм.

При гидромеханической вытяжке с отводом рабочей жидкости через вытяжной зазор (рис. 1), предложенной В. И. Казаченком, осуществляется автоматическое регулирование давления смазки в полости матрицы в зависимости от вытяжного зазора и усилия прижима.



Jbk. *1.* Схема ГМВ из плоской заготовки с вытеснением рабочей жидкости через вытяжной зазор: *1* – пуансон; *2* – прижим; *3* – деталь; *4* – рабочая жидкость; *5* – матрица

© Михайлов Ю. О., Дресвянников Д. Г., Князев С. Н., 2011

* Статья подготовлена при выполнении работ по государственному контракту (шифр 1010-218-02-259) «Организация высокотехнологичного производства конденсаторов нового поколения».

Данная схема вытяжки способствует снижению растягивающих напряжений в опасном сечении заготовки за счет блокирования боковой стенки от деформации растяжения; при этом повышаются точность и качество вытягиваемых деталей. Использование данного процесса для изготовления высоких цилиндрических деталей и деталей сложной формы позволяет сократить число штамповочных операций в 2–4 раза по сравнению с обычной вытяжкой.

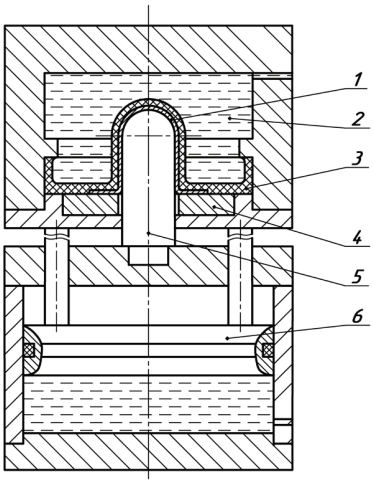
Кроме того, отсутствует уплотнение между фланцем заготовки и зеркалом матрицы, жидкость полностью разделяет поверхности матрицы и заготовки, что способствует еще большему снижению растягивающих напряжений и деформаций утонения в опасном сечении вытягиваемой детали.

Данный вид вытяжки позволяет изготавливать детали специзделий небольших габаритов, с максимальным размером заготовки 300 мм. Изготовление крупногабаритных деталей из заготовок до 1 000 мм позволяет осуществить гидроэластичная штамповка.

Гидроэластичная штамповка при высоком давлении требует только одной жесткой части штампа. Специальная диафрагма, состоящая из трех слоев, одновременно служит и прижимом листовой заготовки, и гибким элементом штампа. Под влиянием передаваемого диафрагмой гидростатического давления жидкости заготовка деформируется, принимая форму жесткой части штампа.

Разновидностью гидроэластичной штамповки является «метод пуансона» – штамповочный узел служит в качестве матрицы и прижима с непрерывным регулированием давления в течение всего процесса формообразования (рис. 2).

При вытяжке гидроэластичной матрицей по жесткому пуансону силы трения, действующие по поверхности контакта мембраны и заготовки, оказывают положительное влияние, а силы трения, действующие по поверхности контакта заготовки и прижима – отрицательное. Поэтому высокие технологические показатели этого процесса вытяжки возможны только при наличии интенсивных сил трения внешнего трения, действующих по поверхности контакта заготовки и пуансона, и одновременно при наличии наиболее эффективной смазки между фланцем заготовки и прижимом.



Jbk. *2.* Штамповочный узел пресса компании ASEA: *1* – деталь; *2* – рабочая камера; *3* – диафрагма; *4* – прижимное кольцо; *5* – пуансон; *6* – плунжер возвратного хода пуансона

Большое значение при любом методе листовой штамповки имеет вопрос радиуса вытяжки. При штамповке «методом пуансона» радиус вытяжки зависит от формоизменяющего давления. Таким образом, путем регулирования давления можно обеспечивать большой радиус вытяжки в начале процесса формообразования и постепенно уменьшать этот радиус в ходе процесса.

Гидромеханическая вытяжка и вытяжка жестким пуансоном по эластичной матрице обладают рядом преимуществ по сравнению с обычной вытяжкой в жестких штампах, так как характеризуются отсутствием значительных сил трения между заготовкой и матрицей и наличием полезных сил трения между пуансоном и заготовкой, возникающих при деформировании заготовки давлением жидкости или диафрагмы, обжимающей заготовку по жесткому пуансону.

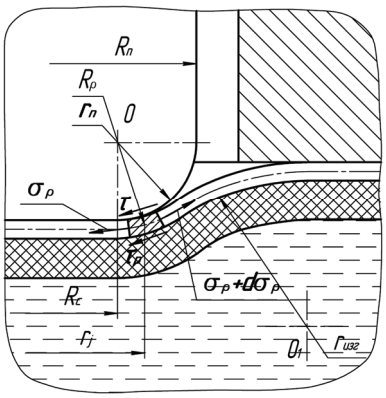
При этом достигается высокая точность штампуемых деталей, повышается качество их поверхности. При оптимальном законе изменения давления по ходу процесса максимальное утонение находится в пределах 15 % от исходной толщины заготовки.

Использование гидромеханической вытяжки и гидроэластиной вытяжки в процессах листовой штамповки позволяет повысить допустимые степени деформации за переход (предельный коэффициент вытяжки 0,42), сократить число штамповочных (для изготовления высоких цилиндрических деталей и деталей сложной формы позволяет сократить число штамповочных операций в 2–4 раза по сравнению с обычной вытяжкой), термических, вспомогательных операций и повысить качество вытягиваемых изделий.

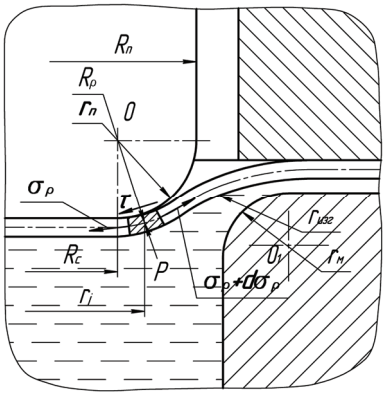
Гидромеханическая вытяжка и гидроэластиная вытяжка широко применяются при изготовлении ответственных деталей из высоколегированных сталей (типа 30ХГСА), алюминиевых сплавов (типа АМг5М), танталовых сплавов и жаропрочных сталей. К таким деталям предъявляются высокие технические требования по точности, равнопрочности, структуре материала и качеству поверхности.

Деформирование элементов очага деформации на начальном этапе гидромеханической вытяжки и гидроэластичной вытяжки характеризуется изменением толщины заготовки, а также изменением кривизны срединной поверхности. Процесс деформирования носит нестационарный характер, так как соотношения между силами и моментами переменны как во времени, так и в пространстве. Рост давления жидкости в полости матрицы вносит дополнительные изменения в картину деформированного состояния заготовки.

Для анализа напряженно-деформированного состояния заготовки на начальном этапе вытяжки рассматривалась стадия, когда заготовка контактирует с радиусом скругления пуансона (рис. 3, 4). На этой стадии, когда усилие на пуансоне создает напряжения во фланце заготовки, равные величине сопротивления материала пластическому деформированию и контактным напряжениям от трения, начинается вытягивание заготовки в отверстие матрицы и охват радиуса пуансона. Опыты показывают, что наибольшее утонение (16–17 %) наблюдается на границе перехода радиусной кромки пуансона в цилиндрическую стенку изделия. При достижении относительной глубины вытяжки H/d_n = 0,2–0,3, что соответствует полному охвату радиуса пуансона заготовкой, дальнейшее утонение этого сечения прекращается.



Jłk. *3*. Напряженно-деформированное состояние заготовки на начальном этапе гидроэластичной вытяжки



Jłk. *4*. Напряженно-деформированное состояние заготовки на начальном этапе гидромеханической вытяжки

Решая совместно уравнение равновесия для начального этапа вытяжки, уравнение Лапласа и уравнение связи, можно получить систему уравнений, определяющих изменение толщины заготовки и описывающих процесс деформирования металла на начальном этапе гидроэластичной вытяжки. Представленная математическая модель позволяет проанализировать особенности формоизменения и выявить основные технологические параметры, влияющие на процесс утонения заготовки при гидроэластичной вытяжке. Аналогичная система уравнений получена и для гидромеханической вытяжки.

Анализируя уравнение (11) видим, что на изменение толщины влияет напряжение, действующее в меридиональном направлении, которое будет определяться давлением жидкости J в полости матрицы, равным давлению прижима *q*.

$$h_j = \left(r_i + r_{\text{изг}}\right)\left(1 - \cos\theta_j\right); \qquad (1)$$

$$\varepsilon_{l\,j} = 1 - \frac{R_k + R_{\rho_j} \sin\theta_j}{R_k + R_{\rho_j} \Delta\theta_j}; \tag{2}$$

$$R_{фj} = R_з \sqrt{1 - \frac{2\left(R_{i} + \frac{S_0}{2}\right) h_j}{R_з^2}}; \tag{3}$$

$$\sigma_{s_j} = \frac{\sigma_в}{1 - \psi_ш} \left(\frac{\varepsilon_l}{\psi_ш}\right)^{\frac{\psi_ш}{1-\psi_ш}}; \tag{4}$$

$$R_{\rho_j} = r_i + \frac{S_0}{2}; \;\; R_c = R \;\; - r_i; \tag{5}$$

$$\sigma_\rho^{II} = :_i + j \cdot B_i; \tag{6}$$

$$A_i = \frac{\sigma_в}{1 - \psi_ш} \left(\frac{\varepsilon_\theta}{\psi_ш}\right)^{\frac{\psi_{r}}{1-\psi_{r}}} \left[\ln \frac{R_{фi}}{R_n + S_0/2} + \frac{S_0}{4 r_{изг}}\right]; \tag{7}$$

$$B_i = \frac{\mu - \mu_j}{S_0} \left(R_ф - \left(R_i + \frac{S_0}{2}\right)\right) - r_{изг} \left(\frac{\mu + (\mu - \mu_j) \sin\alpha}{S_0}\right); \tag{8}$$

$$\sigma_\rho^{III} = \sigma_\rho^{II} \left[1 - \frac{\mu + \mu_р}{r_{изг}} \left(\rho - \left(R_п + \frac{S_0}{2}\right)\right)\right] + \sigma_s \ln\left(\frac{R_п + \frac{S_0}{2}}{\rho}\right); \tag{9}$$

$$\rho_j = R_0 + \left(R_i + \frac{S_0}{2}\right) \sin\theta; \tag{10}$$

$$S_i = S_0 \left(\frac{R_c}{\rho_i}\right)^{\left(\frac{2\sigma_{\rho i}^{III} - \sigma_s}{2\sigma_s - \sigma_{\rho i}^{III}}\right)}. \tag{11}$$

Завышенное значение этого давления ведет к нежелательному увеличению радиальных (меридиональных) растягивающих напряжений и утонению материала в опасном сечении детали. При недостаточном усилии прижима фланец теряет устойчивость, и образовавшиеся гофры, как отмечалось выше, могут сложиться в складки, что приводит к снижению качества деталей или к неисправимому браку. Значит, для уменьшения утонения на начальном этапе вытяжки необходимо оптимизировать закон изменения давления в полости матрицы. При гидромеханической вытяжке осуществляется автоматическое регулирование давления смазки в полости матрицы в зависимости от вытяжного зазора и усилия прижима, а при гидроэластичной вытяжке есть возможность задать закон изменения давления жидкости гидроаппаратурой.

Решая уравнение равновесия участка фланца и уравнение устойчивости для участка фланца, получим следующее уравнение оптимального закона изменения давления в полости матрицы:

$$J_0 = \frac{1}{L_{4ф}} \sqrt{L_{5ф}\left(\frac{L_{2ф}^2}{L_{1ф}} - L_{3ф}\right)}. \qquad (12)$$

$$L_{1ф} = \frac{1}{6} J_{2ф}(1 - m_{cx}^2)^2 ; \qquad (13)$$

$$L_{5ф} = \frac{9<}{4?\overline{S}^2} m_o^2 m_c^2 \varepsilon_{iф}^{1+n} ; \qquad (14)$$

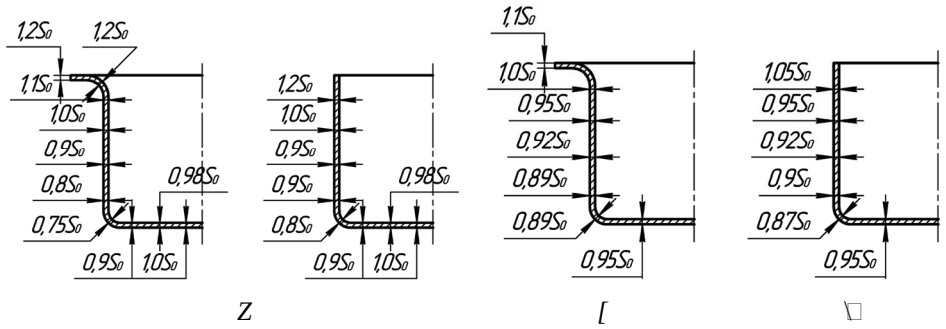
$$L_{4ф} = \frac{9m_x^2\lambda}{2B\overline{S}^3} m_c^2 \varepsilon_{iф}^{1-n}(1 - m_{cx}^2) ; \qquad (15)$$

$$m_x = \frac{R_x}{R_0} = \frac{R_{фi}}{R_з} , \; m_c = \frac{R_c}{R_0} = \frac{R_c}{R_з} ; \qquad (16)$$

$$L_{2ф} = \frac{1}{2}\left[\frac{9\lambda}{2S^2}\overline{\sigma}_\theta \varepsilon_{iф} m_c^2 \left(\frac{3 - m_{cx}^2}{4} - \frac{\ln m_{cx}}{1 - m_{cx}^2}\right) - \frac{1}{3}(1 + m_{cx}^2 - 2m_{cx}^4)(3P_{3ф} - 2P_{2ф}) - 1 - 3m_{cx}^4\right]; \qquad (17)$$

$$L_{3ф} = \frac{27\lambda}{8\overline{S}^2} m_c^2 \varepsilon_{iф}(1 - m_{cx}^2)(3\overline{\sigma}_\rho - \overline{\sigma}_\theta) + 2(1 + m_{cx}^2 + m_{cx}^4)(9 \;\; {}_{1ф} + J \;\; {}_{2ф} - 3 \; J_{3ф}) . \qquad (18)$$

Эксперименты по определению утонения при гидромеханической вытяжке и гидроэластичной вытяжке показывают, что оптимальный закон изменения давления при гидроэластичной штамповке приводит к более равномерному распределению напряжений и, как следствие, меньшему утонению (рис. 5).



Jbk. 5. Изменение толщины стенок детали, осредненное для различных материалов (S_0 – толщина заготовки): Z– при вытяжке в жестком штампе; [– при гидроэластичной вытяжке; \□– при гидромеханической вытяжке

***

Yu. O. Mikhailov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Izhevsk State Technical University
D. G. Dresvyannikov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Izhevsk State Technical University
S. N. Knyazev, Magistrand, Izhevsk State Technical University

Intensification of Drawing Process of Sheet Billets with Use of Liquid and Elastic Medium

Methods of decrease of variation in thickness of sheet articles produced by deep drawing are considered.

Keywords: hydromechanical drawing, hydroelastic drawing, deep drawing, sheet stamping, sheet billet, metal thickness reduction

Получено: 25.04.11

УДК 621.091

J. *K. FmaZnZjh* , кандидат технических наук, профессор;
. *N. Fdjlqyg* , старший преподаватель;
F. *H. Rdey_Z* , аспирант
Ижевский государственный технический университет

ПРИСПОСОБЛЕНИЕ ДЛЯ ТОЧЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ИЛИ ОБЛИЦОВАННЫХ УПРУГО-ВЯЗКИМИ МАТЕРИАЛАМИ

Hibkgh *ijbkihkhe_gb_ ey f_oZgbq_kdhc hZhldb ^lZe_c , bahlhe_gguo beb hebphZgguo mijmh -yadbfb fZl_jbZeZfb .*

Ключевые слова: качество, повышение эффективности, снижение теплового напряжения, обработка резины

В результате анализа литературных источников [1–3] можно отметить ряд специфических особенностей, сопутствующих процессу обработки неметаллических упруго-вязких материалов: ярко выраженная изотропия свойств материала; относительная сложность получения высокого качества поверхности точением вследствие быстрого затупления режущих кромок инструмента; низкая теплопроводность, существенно влияющая на соотношение составляющих общего теплового баланса; высокие упругие свойства материала, приводящие к увеличенным площадкам контакта и, как следствие, к повышенным значениям сил резания на задней поверхности; при обработке резины иначе, чем у металлов, происходит процесс стружкообразования.

На рис. 1 показаны зависимости вязкоупругих свойств (модуля сдвига) от температуры при фиксированных значениях деформации и частоты нагружения. С увеличением температуры модуль сдвига падает вплоть до температуры текучести. Этим объясняется эффект температурной неустойчивости, возникающий в резиновых конструкциях при экстремальных нагрузках, когда внешнее температурное поле вызывает повышение коэффициента поглощения энергии, что, в свою очередь, приводит к лавинообразному диссипативному разогреву и увеличению температуры вплоть до разрушения конструкции.

© Музафаров Р. С., Мкртчян А. Ф., Шкляева М. О., 2011