

Канд. техн. наук Н. А. МАСЛЕННИКОВ

ГЛУБОКАЯ ВЫТЯЖКА ТОНКОЛИСТОВЫХ МЕТАЛЛОВ ТРЕНИЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПУАНСОНА

Новый технологический процесс беспуансонной глубокой вытяжки тонколистовых металлов силами трения основан на изменении силовой схемы обычной штамповки-вытяжки. Изменение было осуществлено за счет сил трения, путем превращения в плоскости прижим-заготовка реактивных сил трения в активные положительные.

В процессе экспериментального исследования беспуансонной вытяжки трением были изготовлены в один первый переход детали из алюминиевых заготовок с исходным коэффициентом вытяжки, равным $6,5 \div 7,0$, вместо максимально получаемых $2 \div 2,5$ при обычной вытяжке. Это позволило значительно сократить число переходов, например, для сплавов алюминия число переходов было сокращено с восьми до одного.

Качество готовых изделий при глубокой беспуансонной вытяжке трением всегда будет удовлетворительным, если правильно выбраны сорт резины, геометрия упруго-фрикционного элемента и давление пресса. Но

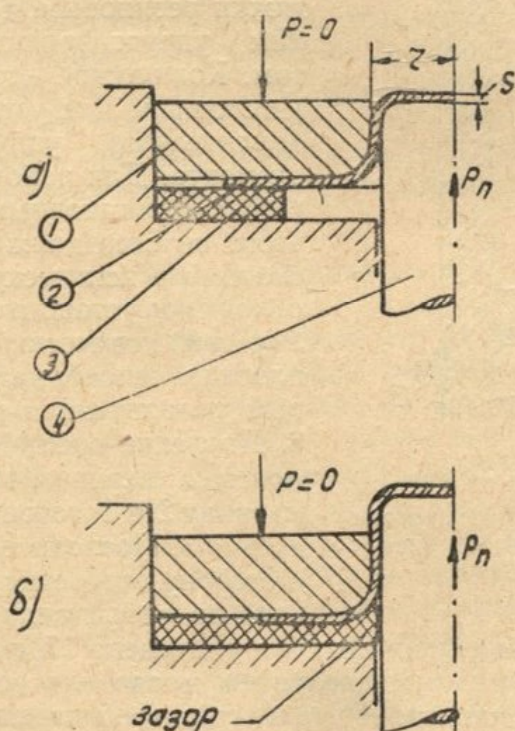


Рис. 1. Схема вытяжки трением с участием пуансона.

неоднородность механических свойств обычной технической резины или ее местные ослабления приводят к тому, что изделия, изготовленные беспуансонной штамповкой трением, получают небольшой перекося, а для тол-

щин металла, меньших 0,5 мм, возможны и следы гофра на поверхности изделия. Поэтому, чтобы предотвратить эти недостатки, необходимо провести либо дополнительную операцию калибровки или ввести в закрытый штамп дополнительное действие пуансона. Этим обеспечивается высокое качество изделий, но введение действия пуансона в схему беспуансонной вытяжки трением резиновым упруго-фрикционным элементом желательно еще и потому, что с помощью пуансона в схему вводится дополнительное усилие, облегчающее работу упруго-фрикционного элемента.

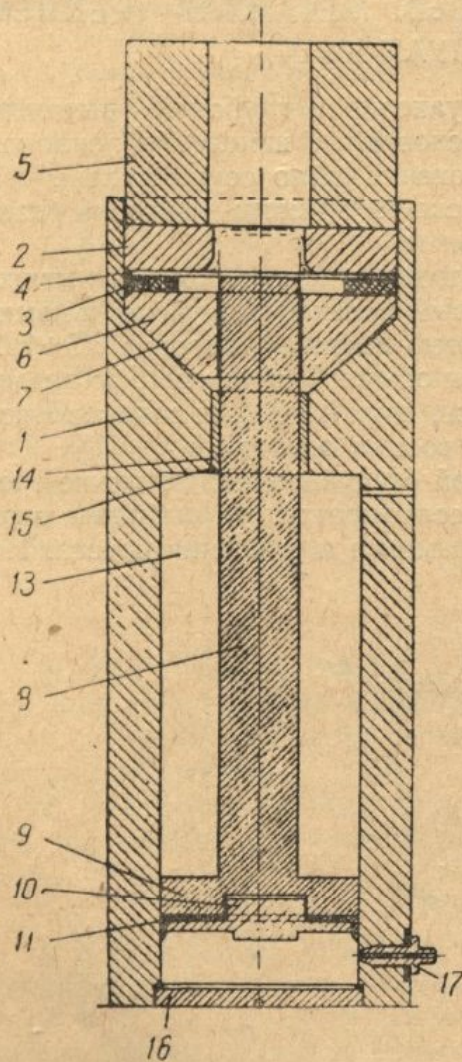


Рис. 2. Разрез закрытого комбинированного штампа для вытяжки трением с участием пуансона

Для глубокой вытяжки трением с участием пуансона был спроектирован специальный закрытый комбинированный штамп (рис. 2), который может быть использован как для вытяжки резиновым, так и металлическим упруго-фрикционным элементом. Коническое дно 7 этого штампа изготовлено для установки в нем металлического упруго-фрикционного элемента. Для работы же резиновым упруго-фрикционным элементом дно этого штампа должно быть плоским, поэтому в коническую выточку 7 необходимо установить целый металлический конический диск 6 широким плоским основанием вверх, на который укладывается резиновое кольцо 3. Давление прессы передается через приемно-передаточный цилиндр 5, матрицу 2 и заготовку 4 на резиновое кольцо 3. Последнее, сжимаясь, течет в сторону отверстия матрицы и увлекает за собой силами трения заготовку. Одновременно, открывая краники у штуцера 17, под поршень пуансона подается под постоянным давлением масло или воздух. Пуансон 4 давит на заготовку 4 и направляет ее в отверстие матрицы, предотвращая перекося изделия. На рис. 3 представлены изделия, полученные в вышеописанном комбинированном штампе и изготовленные из алюминиевых заготовок с исходными коэффициентами (слева направо): 2,5; 2,67; 2,83; 3,0; 3,17; 3,33 и 3,5.

В результате экспериментального исследования было установлено, что для резинового упруго-фрикционного элемента лучшими сортами резины

Принципиальная схема штамповки-вытяжки трением резиновым упруго-фрикционным элементом с применением пуансона представлена на рис. 1. Давление прессы P через матрицу 1 и заготовку 2 сжимает резиновое кольцо 3, которое и увлекает силами трения заготовку в сторону отверстия матрицы. Одновременно на заготовку действует под постоянным давлением P_n пуансон 4, увлекающий металл в отверстие матрицы и облегчающий процесс.

Для глубокой вытяжки трением с участием пуансона был спроектирован специальный закрытый комбинированный штамп (рис. 2), который может быть использован как для вытяжки резиновым, так и металлическим упруго-фрикционным элементом. Коническое дно 7 этого штампа изготовлено для установки в нем металлического упруго-фрикционного элемента. Для работы же резиновым упруго-фрикционным элементом дно этого штампа должно быть плоским, поэтому в коническую выточку 7 необходимо установить целый металлический конический диск 6 широким плоским основанием вверх, на который укладывается резиновое кольцо 3. Давление прессы передается через приемно-передаточный цилиндр 5, матрицу 2 и заготовку 4 на резиновое кольцо 3. Последнее, сжимаясь, течет в сторону отверстия матрицы и увлекает за собой силами трения заготовку.

по ее твердости, фрикционным свойствам, износостойкости и величине остаточных деформаций являются сорта резины повышенной твердости. Кроме того, опыты показали существование оптимальной геометрии ре-

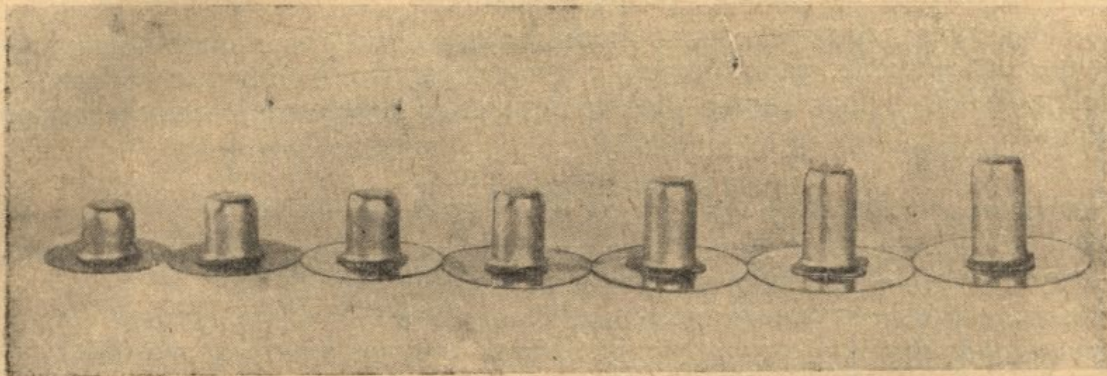


Рис. 3. Стаканчики, полученные штамповкой трением с участием пуансона

зинового кольца (толщина и внутренний диаметр), при которой глубокая вытяжка трением осуществляется наиболее эффективно и высококачественно.

Характер деформируемости резины в закрытом штампе по ее толщине сложный. Частицы резины во всех слоях находятся в различном напряженном и деформированном состоянии, что и влияет на выбор величины толщины кольца резины. При увеличении толщины кольца резины будет увеличиваться разность степени деформации в различных ее слоях по толщине. Деформация будет большей в средних слоях и меньшей в слоях, приближающихся к плоскостям трения, ибо в меньших толщинах влияние сил трения на средние слои резинового кольца сказывается больше, чем влияние сил трения на средние слои больших толщин. Это объясняется тем, что величина деформации средних слоев резины определяется в большей мере целостностью деформированного объема, чем влиянием сил трения.

Таким образом, условия технологического процесса вытяжки силами трения требуют от резинового кольца, исходя из повышения его стойкости, равномерного деформирования по всей его толщине. Это требование выполняется в первую очередь подбором оптимальных толщин резинового кольца. Опытами установлено, что оптимальными толщинами резины для испытываемой геометрии штампа являются все толщины, находящиеся в пределах от 5 до 7 мм. Это хорошо видно из диаграммы зависимости коэффициента вытяжки от толщины резинового кольца (рис. 4), которая показывает, что с увеличением толщины резины ($S_{рез}$) до 5 мм текущий коэффициент вытяжки K уменьшается до единицы, а в зоне оптимальных толщин (5÷7 мм) остается неизменным и равным своей минимальной величине — единице. Затем, по мере увеличения толщины резины, начинает увеличиваться и коэффициент вытяжки. Вначале этого рост идет интенсивно, а затем прирост коэффициента вытяжки все уменьшается и, достигнув определенной величины, остается постоянным достаточно высоким, но всегда меньшим величины исходного начального коэффициента вытяжки заготовки.

Важное значение имеет и правильный выбор внутреннего диаметра резинового кольца, так как от этого зависит не только полное использование для трения, но и качество изделия. Внутренний диаметр резинового кольца

должен быть таким, чтобы даже при предельной его деформации резина доходила до пуансона, но не упиралась в него, ибо в противном случае будут сниматься силы трения. Если же диаметр отверстия резинового кольца будет больше найденного оптимального размера, то образуется гофр по закруглению протяжного ребра матрицы.

Формула для определения диаметра отверстия резинового кольца для закрытого штампа, работающего с пуансоном, была получена из условия приближенного постоянства объема резины до деформации и после деформации

$$d_p = \sqrt{D_k^2 \delta + d_n^2 (1 - \delta)}, \quad (1)$$

где D_k — диаметр корпуса штампа или диаметр резинового кольца,
 d_p — диаметр отверстия резинового кольца,
 d_n — диаметр пуансона,
 $\delta = \frac{h_0 - h}{h_0}$ — степень обжатия.

Приведенная формула для нахождения оптимального диаметра отверстия резинового кольца соответствует результатам опытов.

Важное значение для вытяжки трением имеет правильный выбор смазки, которая должна обеспечить получение наибольших активных сил трения и создать наиболее благоприятные условия для повышения стойкости резины. Опытным путем были найдены оптимальные сорта смазок: смазка № 7 (70% канифоли и 30% касторового масла) для плоскости контакта резины о дно корпуса штампа, смазка № 5 (50% канифоли и 50% касторового масла) для плоскости контакта заготовки о зеркало матрицы и смазка порошок канифоли для плоскости контакта резины о заготовку.

Эксперименты показали, что резина в виде шайбы, сжимаемая в закрытом штампе, имеет ограниченные возможности для перемещения ее частиц, поэтому значительные усилия сжатия вызывают сравнительно небольшие величины относительной деформации. Перемещение частиц резины к центру штампа вызывает дополнительные тангенциальные усилия сжатия, препятствующие разрушению резины даже при очень больших удельных давлениях, т. е. характер напряженного состояния резины в закрытом штампе резко повышает ее стойкость, что в свою очередь позволяет применять повышенные давления на резину при штамповке трением, а повышенные давления необходимы как для получения больших сил трения, так и для предотвращения складкообразования на фланце заготовки. С учетом этой благоприятной схемы напряженного состояния нагрузка, испытываемая резиной при ее деформации, в производственных условиях может быть доведена до $7 \div 9 \text{ кг/мм}^2$.

Удельное давление на резину q , потребное для штамповки трением, определяется по формуле

$$q = \frac{\theta s}{\mu r}, \quad (2)$$

где r — радиус протяжного отверстия матрицы,

s — толщина штампуемого материала,

μ — $0,2 \div 0,3$ — суммарный коэффициент трения (под суммарным коэффициентом трения μ понимается разность между коэффициентом трения резины о заготовку и заготовки о матрицу), причем большую величину μ дает резина повышенной твердости.

Наибольшая величина Θ (штамповка «напровал») определяется по уравнению

$$\Theta = 1,2 B (\ln k_0)^\alpha,$$

где k_0 — исходный коэффициент вытяжки штампуемой заготовки, α и B — константы материала, причем константа α численно равна действительной деформации разрывного образца в момент образования шейки $\alpha = \varepsilon_{ш}$, а константа B определяется уравнением (по Большаниной) $B = \sigma_B \frac{e^\alpha}{\alpha^2}$, у которого σ_B — предел прочности металла, e — основание натуральных логарифмов.

Количество обжатий приблизительно такое же как и при беспуансонной глубокой вытяжке трением и подсчитывается по тем же формулам. Для обеспечения нормального протекания описываемого процесса важно знать необходимую величину давления пуансона. Величина давления пуансона не должна превышать предельную прочность цилиндрической части штампуемой заготовки. Если пуансон дает слишком большое давление, то неизбежен обрыв дна стакана. Если дается слишком малое давление пуансона, то оно не выравнивает гофр. Поэтому выгоднее давать давление пуансона, близкое к предельному.

Расчет предельного давления пуансона производится по формуле

$$P_n = \pi (d_n + s) s \sigma_B, \quad (3)$$

где P_n — допускаемое давление на пуансон,
 d_n — диаметр пуансона,
 s — толщина штампуемого материала,
 σ_B — предел прочности штампуемого материала.

Давление пуансона, отнесенное к цилиндрической части заготовки, создает в последней активное напряжение $\sigma_n = \frac{P_n}{2\pi r s}$, которое во избежание обрыва дна заготовки может лишь незначительно превышать предел прочности штампуемого материала.

Тогда $\sigma_n \approx \sigma_B$.

Можно приближенно принять, что напряжение в цилиндрической части заготовки, вызванное давлением пуансона, передается на фланец по закону Эйлера

$$\sigma_\phi = \frac{\sigma_n}{e^{\mu\gamma}} \approx \frac{\sigma_B}{e^{\mu\gamma}},$$

где σ_ϕ — активное напряжение, деформирующее фланец заготовки, вызываемое давлением пуансона,

e — основание натуральных логарифмов,

μ — коэффициент трения заготовки о протяжное ребро матрицы,

γ — угол охвата материалом заготовки протяжного ребра матрицы.

В процессе штамповки угол охвата весьма быстро приближается к $\gamma = \frac{\pi}{2}$.

С учетом давления пуансона равновесие активных и реактивных сил, отнесенных к единичной площади поперечного сечения цилиндричес-

кой части штампуемой заготовки, выразится уравнением $\sigma'_d = \sigma_t + \sigma_\phi$ и процесс штамповки возможен при

$$\sigma'_d \leq \sigma_t + \sigma_\phi, \quad (4)$$

где σ'_d — напряжение, вызванное сопротивлением деформированию фланца заготовки с учетом потерь,

σ_t — напряжение, создаваемое активными силами трения, втягивающими заготовку в отверстие матрицы.

Так же, как и при беспуансонной вытяжке силами трения, и в данном случае расчет режима штамповки с применением пуансона сводится к определению для каждого конкретного случая величины Θ — тангенса угла наклона прямой, выражающей напряжения активных сил трения, с той только разницей, что эта прямая будет смещена на постоянную величину σ_ϕ (рис. 5) активного напряжения, вызываемого давлением пуансо-

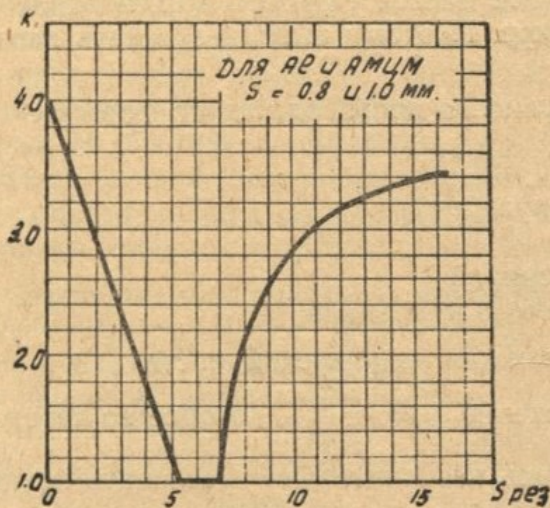


Рис. 4. Диаграмма зависимости коэффициента вытяжки от толщины резинового кольца.

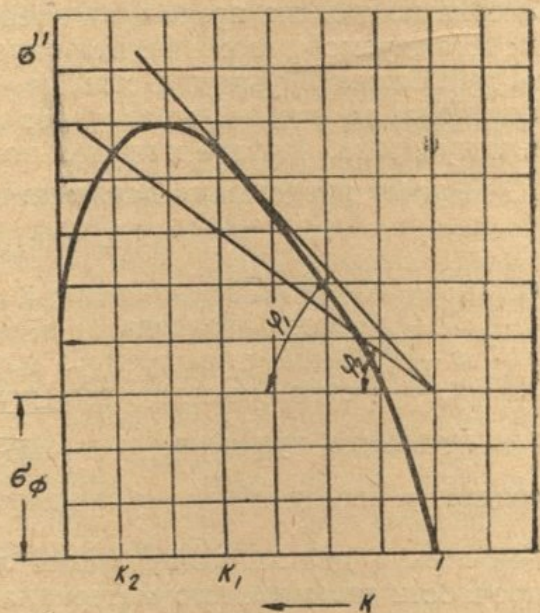


Рис. 5. График изменения σ'_d и σ_t при штамповке трением с участием пуансона.

на, деформирующего фланец. При недостаточно большом угле φ_2 ($\operatorname{tg} \varphi = \Theta$) подъема прямой $\sigma_t = f(\kappa)$ обязательно образование фланца величины $D_2 = 2r\kappa_2$.

Исходным уравнением для расчета потребного значения Θ будет служить уравнение беспуансонной штамповки трением с добавлением к правой части величины σ_ϕ :

$$\sigma' = 1,2 B \left(\frac{\kappa_0 - \kappa}{\kappa_0 - 1} \ln \kappa_0 \right)^\alpha \ln \kappa = \Theta (\kappa - 1) + \frac{\sigma_b}{e^{\frac{\pi}{2} \mu}}. \quad (5)$$

Аналитическое определение величины Θ сводится к решению системы уравнений

$$\sigma' = 1,2 B \left(\frac{\kappa_0 - \kappa}{\kappa_0 - 1} \ln \kappa_0 \right)^\alpha \ln \kappa; \quad (6)$$

$$\Theta = \operatorname{tg} \varphi = \frac{d\sigma'}{d\kappa} = 1,2B \left(\frac{\kappa_0 - \kappa}{\kappa_0 - 1} \ln \kappa_0 \right)^\alpha \ln \kappa \left(\frac{1}{\kappa \ln \kappa} - \frac{\alpha}{\kappa_0 - \kappa} \right); \quad (7)$$

$$\Theta = \operatorname{tg} \varphi = \frac{\sigma' - \sigma_\Phi}{\kappa - 1} \quad (8)$$

и приводит к весьма громоздкому выражению для $\Theta = f(\kappa_0)$, неудобному для расчетов.

Значительно проще применить графоаналитический метод, построив по уравнению 6 серию кривых $\sigma' = f(\kappa)$ для различных K_0 и проведя к ним касательные из точки $\sigma_\Phi = 1$. Тогда величину Θ легко определить по уравнению 8, взяв из графика значения σ' и κ (рис. 6).

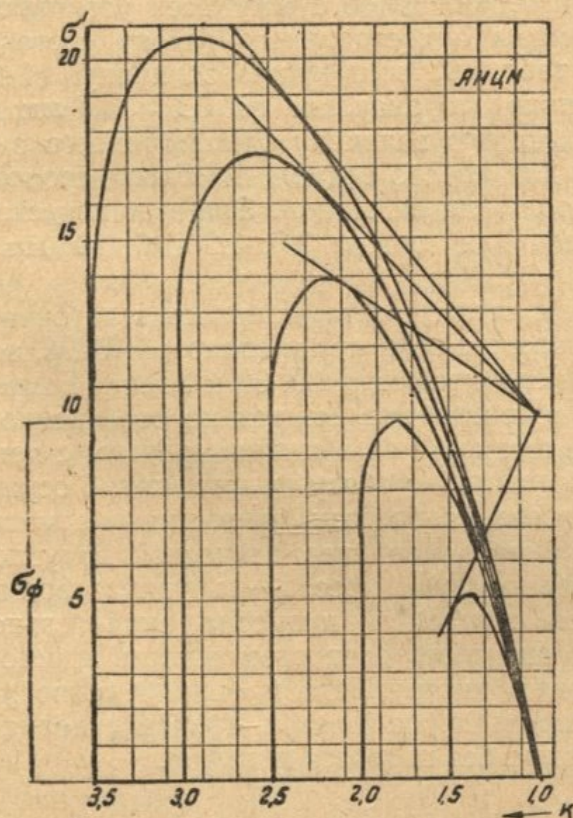


Рис. 6. График изменения σ_d и σ_t при штамповке трением с пуансоном для различных K_0 .

Глубокая вытяжка трением осуществлялась на инструменте общепринятой геометрии, за исключением зазоров между матрицей и пуансоном, которые для штамповки трением брались несколько большими, чем зазоры, принимаемые при обычной штамповке. Это объясняется тем, что при штамповке трением материал не только вытягивается в протяжное отверстие матрицы, как при обычной вытяжке, но и одновременно и втапливается. Зазоры брались такой же величины, как и для обычной вытяжки без прижима, потому что резиновый упруго-фрикционный элемент, выполняющий роль прижима, не оказывает влияния на процесс утолщения металла и приближенно можно считать, что при штамповке трением утолщение идет без прижима. Поэтому за исходные зазоры взяты общепринятые односторонние зазоры для обычной вытяжки без прижима, указанные в таблице.

№ п/п	Материал	Величина зазоров		
		для 1 вытяжки	для промежуточной вытяжки	для калибровки
1	Сталь мягкая	$(1,4 \div 1,5) s$	1,3 s	1,1 s
2	Латунь, алюминий	$(1,3 \div 1,4) s$	1,2 s	1,1 s

Так как новый технологический процесс включает в себя и первый и промежуточные переходы обычной штамповки, то подбираемый для него зазор между пуансоном и матрицей должен содержать в себе единицу исходной толщины заготовки плюс сумму всех утолщений на каждом переходе. Тогда размеры одностороннего зазора составят, например для № 2 приведенной таблицы, следующую величину: $(1 + 0,4 + 0,2 + 0,1) s = 1,7 s$ мм. Увеличивая это значение на $0,1 \div 0,2$ мм или в среднем на $0,15$ мм, получим искомую величину одностороннего зазора между пуансоном и матрицей для нового технологического процесса, равную $1,85 s$, где s — исходная толщина заготовки. Эта эмпирическая зависимость хорошо себя оправдала для толщин $0,5; 0,8; 1,0; 1,2$ мм штампуемого материала.

В предложенном штампе штамповались заготовки диаметром от 60 до 105 мм, из листового алюминия и сплава АМЦМ, толщиной от 0,8 до 1,2 мм. Изделия имели диаметры 20, 30 и 35 мм. Были так же опробованы СТ-1 и латунь, но потребовалась резина повышенного качества.

Предложенные штампы для вытяжки трением с применением пуансона просты по конструкции и работу на них можно осуществить на любом прессе, а удобнее всего на прессах, имеющих пневматическую подушку. В последнем случае давление пневматической подушки передается на пуансон, а давление ползуна прессы — на упруго-фрикционный элемент. Штамповка трением с участием пуансона, значительно сокращая количество переходных штампов, дает возможность намного сократить расходы по изготовлению инструмента и одновременно устраняет межоперационный отжиг, прерывающий поток, причем изделия получают только высококачественные без перекося и гофра.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. А. Масленников. Беспуансонная глубокая вытяжка тонколистового металла силами трения. «Вестник машиностроения», 1956, № 5.