

3. Тітов В. А. Обґрунтування та реалізація дослідного процесу виготовлення біметалевих трубчастих елементів. / Тітов В. А., Борис Р. С., Вишневський П. С., Лук'яненко О. О. // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», серія «Машинобудування». – Київ. – 2010. – № 59. – С. 13–18.
4. Алексеев Ю. Н. Вопросы пластического течения металлов / Ю. Н. Алексеев. – Харьков, изд-во ХГУ, 1958. – 188 с.
5. Тітов В. А. Розрахунок напружено-деформованого стану витягування з потоншенням ідеальнопластичного двошарового металу / Тітов В. А., Борис Р. С. // Обробка матеріалів тиском. – 2012. – № 1(30). – С. 45–52.
6. Борис Р. С. Особливості врахування сил тертя при витягуванні з потоншенням двошарових заготовок / Борис Р. С., Тітов В. А., Вишневський П. С. // Обработка материалов давлением. – 2012. – № 2(31). – С. 22–29.
7. Лимберг Э. А. Определение удельных давлений заполнения радиусов сопряжения в инструменте для объемной штамповки / Э. А. Лимберг, Г. Д. Селиванов // Обработка металлов давлением в машиностроении. – Вып. 17. – 1981. – С. 22–27.

УДК 621.7.011, 621.757.06

ФРОЛОВ Е. А., д.т.н., профессор  
АГАРКОВ В. В.\*, к.т.н.  
КРАВЧЕНКО С. И., к.т.н., доцент  
ЯСЬКО С. Г., ст. преподаватель

Полтавский национальный технический университет им. Юрия Кондратюка,  
г. Полтава, Украина

\*Г. П. Харьковстандартметрология г. Харьков, Украина

### **ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ ОБРАТИМЫХ ШТАМПОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ТОЧНОСТИ ШТАМПУЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ**

**Введение.** Появление и развитие новых видов прогрессивной, высокопроизводительной штамповой оснастки поставили перед наукой и производством ряд новых проблем. Одной из таких проблем является повышение надежности и долговечности штампов применительно к новым задачам и эксплуатационным условиям.

К настоящему времени успешно зарекомендовали себя на практике и широко эксплуатируются универсально-сборные штампы с пазами 8 и 16 мм, переналаживаемые штампы для поэлементной штамповки, универсальные штампы блочно-пакетного типа и др., позволяющих отказаться от традиционных способов крепления пуансонов, матриц и других деталей штампов. Причем каждому из перечисленных видов технологического оснащения соответствует своя экономически целесообразная область применения в многономенклатурном производстве при дискретно нестабильных программах выпуска изделий.

**Постановка задачи.** Как показала практика, подкрепленная серьезными теоретическими и экспериментальными исследованиями, хорошо зарекомендовали себя переналаживаемые штампы с использованием композиционных материалов на основе акриловых самоотвердеющих пластмасс, типа АСТ-Т [1-6] для закрепления рабочих элементов в них. Однако в существующей технической литературе недостаточно сведений по оценке надежности системы обратимых штампов для разделительных операций.

Существующие традиционные методы анализа и оценки надежности штампов ориентированные на простые сочетания элементов и узлов, не могут в полной мере удовлетворить потребности анализа надежности и долговечности системы обратимых штампов для листоштамповочного производства [7-10]. Необходимо развитие методов оценки, анализа обеспечения надежности обратимых штампов с учетом их специфики (возможность перестроения структуры, сокращение работоспособности при экстремальных условиях эксплуатации, изменении в широких пределах параметров штампуемых деталей и серийности производства), основанных на современных положениях и математических методах теории надежности и использовании статистических методов исследования.

Целью данных исследований является аналитическая оценка надежности системы обратимых штампов и точностных параметров деталей получаемых в них при разделительных операциях (пробивка, вырубка).

**Результаты работы.** Количественные характеристики надежности системы обратимых штампов оценивали на основании экспериментальных данных и аналитического расчета. Испытаниям подвергались выборки из генеральной совокупности, по их результатам делался вывод о надежности всей генеральной совокупности.

Исчерпывающей характеристикой надежности системы обратимых штампов, для которых характерна непрерывная работа в течение длительного промежутка времени, служит закон распределения времени безотказной работы. Если известен вид закона и его параметры, то можно легко определить любую интересующую нас характеристику надежности.

Испытания на надежность проводили в производственных условиях при штамповке деталей на годовую программу. В процессе экспериментов в качестве штампуемого материала применяли стали марок Ст3, Ст5, 45, 1X18H10T толщиной от 1 до 10 мм.

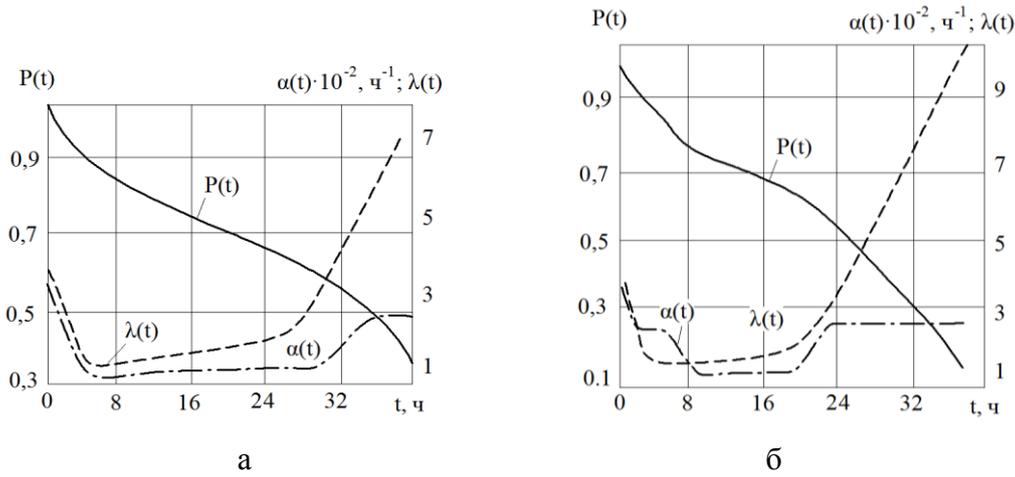
В испытаниях на надежность использовали 80 компоновок универсально-сборных штампов для однооперационной вырубке пробивки (по 40 компоновок каждого вида). В качестве материала для изготовления рабочих частей обратимых штампов применяли сталь X12M, термообработанную до твердости 58-62 HRC<sub>3</sub>.

Каждому диапазону толщин соответствовало 10 компоновок. При этом компоновки универсально-сборных штампов испытывали в диапазоне толщин 4–10 мм. Продолжительность испытаний на надежность составляла для универсально-сборных штампов 40 ч, что соответствовало в среднем 16–20 тыс. отштампованных деталей. Время испытаний выбрано исходя из стойкости рабочих элементов и определялось из реальных условий эксплуатации системы обратимых штампов на предприятиях отрасли при серийном изготовлении листовых деталей.

Работа компоновок считалась надежной, а компоновка работоспособной до момента выхода из строя какого-либо из элементов агрегатных узлов или модулей, либо потери точностных параметров штамповки.

Испытания были организованы по схеме N, Б, Т, где N – число испытываемых компоновок, Б – означает, что отказавшие элементы или узлы не восстанавливались, Т – испытания проводили в течение фиксированного промежутка времени. В процессе испытаний определялось распределение времени не только до всех возможных отказов, но и отдельно – до отказов каждого вида функциональных единиц системы. Полученные в результате экспериментов данные графически изображены на рис. 1.

Кривые  $P(t)$ , характеризующие безотказность работы компоновок системы обратимых штампов, позволяют определить  $t(P)$ , т.е. время безотказной работы с вероятностью  $P$ , в течение которого откажет в среднем  $P \cdot 100$  % работающих компоновок. При этом надежность компоновок универсально-сборных штампов для вырубке выше, чем у пробивных штампов. Так, для вероятности 0,5 время безотказной работы вырубных компоновок в 1,5 раза больше, чем у пробивных при прочих равных условиях.



а – вирубка; б – пробивка

Рисунок 1 – Характеристики надежности работы компоновок однооперационных универсально-сборных штампов

Анализируя характер изменения интенсивности  $\lambda(t)$  и частоты отказов  $a(t)$ , видим, что повышение  $t(P)$  достигнуто, главным образом, за счет уменьшения отказов износного вида, т.е. является следствием повышенной стойкости вырубных компоновок системы обратимых штампов. Интенсивность отказов, а следовательно, и безотказности системы обратимых штампов зависят от надежности шпоночно-болтового соединения элементов и модулей конструкции.

Испытывали по 20 компоновок универсально-сборных штампов для каждого диапазона усилия затяжки шпоночно-болтового соединения.

На рис. 2 показана графическая зависимость безотказности работы компоновок обратимых штампов от усилия  $P_3$  и времени работы  $t$ . Как видно из графиков, при недостаточном усилии затяжки интенсивность отказов резко возрастает, что приводит к снижению надежности компоновок системы обратимых штампов. Время между соседними отказами в системе обратимых штампов является непрерывной случайной величиной. Эта случайная величина будет полностью определена, если известна ее функция распределения.

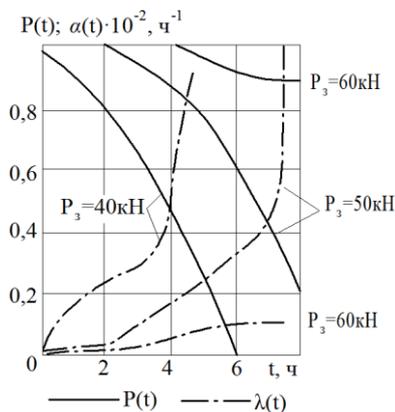


Рисунок 2 – Изменение интенсивности отказов  $\lambda(t)$  и безотказности работы  $P(t)$  компоновок обратимых штампов в зависимости от усилия затяжки  $P_3$  шпоночно-болтового соединения

Статистическая оценка внезапных отказов компоновок однооперационных универсально-сборных штампов для вырубки-пробивки при различных значениях усилия затяжки шпоночно-болтового соединения приведена в табл. 1.

Поскольку одна из количественных характеристик надежности системы обратимых штампов, а именно частота отказов, является дифференциальным законом распределения времени между соседними отказами, то время между ними наиболее целесообразно характеризовать производной от функции распределения, т.е. дифференциальным законом распределения.

Таблица 1 – Статистическая оценка внезапных отказов

Усилие затяжки, кН	Количество внезапных отказов в интервале времени, ч							
	0–1	1–2	2–3	3–4	4–5	5–6	6–7	7–8
40	2	3	3	3	4	5	–	–
50	–	–	1	2	2	3	4	4
60	–	–	–	–	1	1	–	1

Так как закон распределения времени между отказами позволяет определить все основные количественные характеристики надежности, то он является важнейшей характеристикой потока отказов.

Из анализа экспериментов вытекает, что при работе компонок системы обратимых штампов для разделительных операций листовой штамповки имеют место приработочные, внезапные и износные отказы. Приработочные отказы связаны, главным образом, со скрытыми дефектами конструктивных элементов обратимых штампов. Их действие проявляется в течение 2–4 ч работы компонок. Внезапные отказы возникают в результате действия пиковых нагрузок приводя к различного рода поломкам и нарушению взаимного расположения элементов системы. В то же время, по мере возрастания времени работы компонок системы обратимых штампов, происходят процессы старения и износа режущих элементов, которые приводят к износным отказам.

Из анализа полученных результатов (рис. 3) видно, что отклонение интенсивностей внезапных отказов от их средних значений незначительные, и с достаточной для практики точностью можно считать интенсивности внезапных отказов величинами постоянными и равными их средним значениям:

$$\lambda_{\text{в}} = 0,0169 = \text{const}; \quad \lambda_{\text{и}} = 0,0167 = \text{const}.$$

Из теории надежности известно, что условие  $\lambda(t) - \lambda = \text{const}$  справедливо при экспоненциальном законе распределения времени возникновения отказов. По этому закону зависимости между основными количественными характеристиками надежности следующие:

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} = e^{-\lambda t}; \tag{1}$$

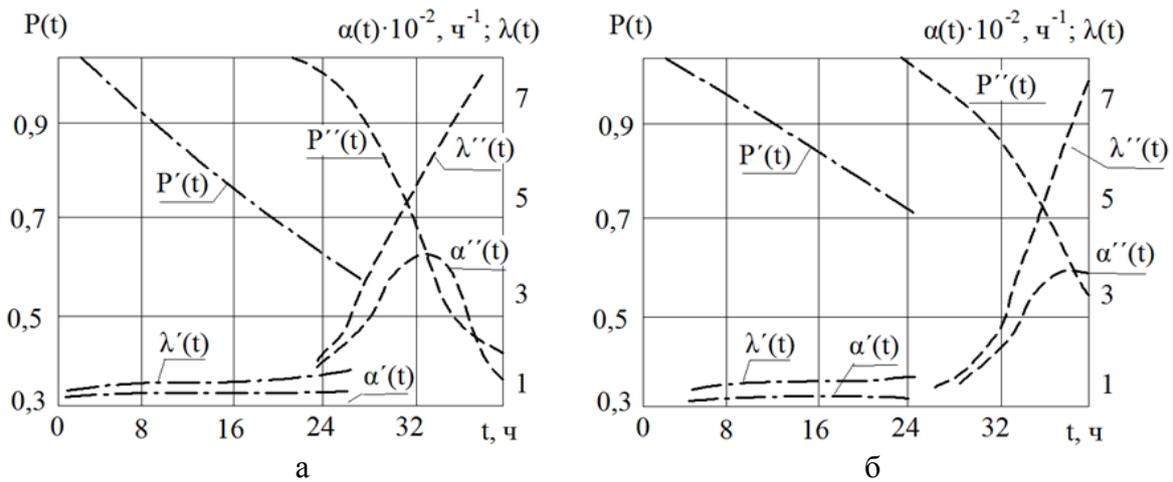
$$Q(t) = 1 - e^{-\lambda t}; \tag{2}$$

$$a(t) = \lambda e^{-\lambda t}; \tag{3}$$

$$T = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = -\frac{1}{\lambda} e^{-\lambda t} \Big|_0^{\infty} = \frac{1}{\lambda}. \tag{4}$$

Из рис. 3 следует, что по мере увеличения общей продолжительности работы компонок к внезапным отказам начинают добавляться отказы износного характера. При этом интенсивность отказа начинается с нуля и с течением времени возрастает. Это означает, что поток отказов не является стационарным и имеет место износ элементов, для которых справедлив закон усеченного нормального распределения времени возникновения отказов.

Таким образом, при эксплуатации компонок однооперационных универсально-сборных штампов для вырубки-пробивки наблюдается совместное действие экспоненциального и нормального распределений. Физически это соответствует комбинации двух типов отказов: внезапных и износных.



а – пробивка; б – вырубка; (— · —) – внезапный отказ; (---) – износный отказ

Рисунок 3 – Кривые вероятности безотказной работы

При совместном рассмотрении внезапных и износных отказов будут иметь место следующие зависимости:

$$P(t) = P'(t)P''(t), \quad (5)$$

$$\lambda(t) = \lambda' + \lambda''(t), \quad (6)$$

где  $P'(t)$ ,  $\lambda'$ ,  $P''(t)$ ,  $\lambda''(t)$  – вероятность безотказной работы и интенсивность отказов при экспоненциальном и нормальном распределении.

Полученные зависимости  $P(t)$  и  $\lambda(t)$  позволяют оценить вероятность того, что в пределах заданного времени  $t = T$  при регламентированных режимах работ и условиях эксплуатации компоновок отказов не возникает.

Одновременно с исследованиями надежности обратимых штампов были проведены исследования точностных параметров деталей получаемых в них при разделительных операциях.

Известно, что отклонение фактических размеров деталей от номинальных и действительной формы от геометрически правильной называются производственными погрешностями, которые по характеру своего воздействия на точность деталей разделяются на систематические и случайные.

Случайные и систематические погрешности действуют совместно и влияют на точность изготовления детали, что выражается в так называемом «рассеивании размеров»: снятые с одного штампа детали отличаются одна от другой по форме и размерам. Чем больше величина рассеивания, тем меньше точность соответствующего размера.

Очевидно, что точность деталей, изготовленных посредством вырубки, определится в результате суммирования погрешностей: изготовления контура матрицы, величины ее износа и затупления, а также рассеивания размеров при вырубке. При точной штамповке учет этих факторов необходим. Поэтому рассмотрим их более подробно.

Величина допусков на изготовление рабочих частей штампов зависит от точностных параметров штампуемых деталей. Величина рассеивания размеров при вырубке в штампах с использованием композиционных материалов зависит от жесткости базовых плит. При недостаточной жесткости происходит быстрое затупление режущих кромок вырубных матриц.

Как показали исследования, по мере затупления матрицы величина рассеивания возрастает, причем, как указывалось, с момента образования заусенца рассеивание начинает увеличиваться значительно быстрее. В среднем рассеивание размеров под влиянием износа и затупления матрицы возрастает к моменту появления заусенца примерно в два раза.

Смещение центра группирования под влиянием износа режущих кромок матрицы для деталей с габаритами, вписывающимися в квадрат 200×200мм в среднем составляют 15–20 % от толщины штампуемого материала.

Что касается влияния переточек матрицы, то изменение ее размеров определяется из следующего выражения:

$$\Delta_1 = 2h \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (7)$$

где  $\Delta_1$  – увеличение размеров матрицы после переточки;  $h$  – величина сошлифованного слоя;  $\alpha$  – угол уклона стенок матрицы.

Для вырубных штампов с использованием композиционных материалов величина  $h$  находится в пределах 0,1–0,5 мм, а величина  $\Delta_1$ , соответственно 0,0004–0,12 мм.

На основании полученных данных можно вычислить в первом приближении величину поля рассеивания при вырубке на провал и совмещенной вырубке деталей малых и средних размеров (до 120–200 мм).

При вырубке на совмещенных штампах полное поле рассеивания  $\delta_c$  образуется суммированием, погрешности изготовления матрицы штампа  $\delta_u$  величины смещения центра группирования  $l_k$  и половины поля рассеивания, возникающего под действием случайных факторов совместно с износом и затуплением  $R_k$ :

$$\delta_c = \delta_u + l_k + R_k. \quad (8)$$

При вырубке на провал поле рассеивания возрастает на  $\Delta_1$  (увеличение размера матрицы за счет переточек).

Как видно из приведенных схем, точность вырубленных деталей тем выше, чем меньшее количество их снято со штампа.

Поле рассеивания  $\delta_{C_0}$  для любого промежуточного момента штамповки нетрудно вычислить по формуле, полученной из очевидных геометрических соотношений:

$$\delta_{C_0} = \delta_u + l_0 + R_0, \quad (9)$$

где:

$$l_0 = l_k \frac{N_0}{N_k} \quad \text{и} \quad R_0 = R_H \left( 1 + \frac{N_0}{N_k} \right),$$

$N_0$  – количество деталей, вырубленных на штампе к моменту определения поля рассеивания;  $N_k$  – количество деталей, вырубленных на штампе до момента появления допустимого заусенца;  $R_H$  – половина поля рассеивания в начальный момент штамповки.

Точность при пробивке, как было указано, значительно выше, чем при вырубке; в особенности это относится к небольшим отверстиям (диаметром до 15–20 мм).

При пробивке групп отверстий достигается особенно высокая устойчивость размеров, определяющих их взаимное расположение, так как износ самих пуансонов практически не сказывается на изменении этих размеров.

Рассеивание размеров между центрами отверстий выражается зависимостью:

$$\Delta_{ц} = \pm 0,003L \cdot t \quad \text{мм}, \quad (10)$$

где  $\Delta_{ц}$  – рассеивание размеров на межцентровом расстоянии, мм;  $L$  – межцентровое расстояние, мм;  $t$  – толщина материала, мм.

Зачистные операции в целом обеспечивают значительное повышение точности формы и размеров штампованных деталей по сравнению с вырубкой. Рассеивание размеров деталей, зачищенных по контуру, лежит в пределах 0,01–0,045 мм для деталей с габаритами до 40–150 мм. Затупление матрицы в случае зачистки острыми режущими кромками увеличивает упругие деформации детали и матрицы, в результате чего зачищенная деталь имеет размеры, превышающие соответствующие размеры матрицы на 0,02–0,03 мм, причем погрешности зачищенных отверстий зависят не только от погрешностей изготовления и упругих деформаций заготовки, но и от изгиба зачистных пуансонов. Поэтому особое внимание следует обращать на обеспечение их жесткости и прочности.

#### **Выводы.**

1. На основании проведенных исследований по оценке надежности переналаживаемых штампов с использованием композиционных материалов для закрепления рабочих элементов путем экспериментов и аналитических расчетов установлено, что безотказность работы их зависит только от надежности шпоночно-болтового соединения элементов и модулей конструкции.

2. Из анализа экспериментов получено, что при работе обратимых штампов имеет место совместное действие экспоненциального и нормального времени возникновения отказов, что соответствует комбинации двух видов: внезапных и износных.

3. Получены количественные характеристики точности разделительных операций, а именно величины погрешностей в зависимости от износа и затупления матрицы, а также рассеивания размеров при вырубке.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Мовшович А. Я. Особенности конструирования и сборки штампов из композиционных материалов для разделительных операций листовой штамповки [Текст] / А. Я. Мовшович, О. П. Семенова, А. Л. Горницкий // Кузнечно-штамповочное производство. – № 6. – 1997. – С. 24–27.
2. Мовшович, А. Я. Универсально-переналаживаемые штампы для поэлементной штамповки [Текст] / А. Я. Мовшович, Н. Д. Жолткевич, В. И. Денисов // Кузнечно-штамповочное производство. – 1977. – № 2. – С. 25–29.
3. Мовшович А. Я. Исследование надежности и долговечности универсально-сборных штампов: дисс. канд. техн. наук. – Краматорск, 1969. – 217 с.
4. Буденный М. М. Конструктивно-технологические основы создания штампов из композиционных материалов для разделительных операций листовой штамповки [Текст] / М. М. Буденный, А. Я. Горницкий // Вісник Харківського державного політехнічного університету : зб. наук. пр. Харк. держ. пол-техн. ун-ту. – Вип. 63. – Х., 1999. – С. 23–29.
5. Ахмечет Л. С. Применение пластических масс в технологической оснастке [Текст] / Л. С. Ахмечет, Л. В. Вайсер, А. Р. Чудновский. – М. : Машгиз, 1962. – 158 с. с ил.
6. Агарков В. В. Совершенствование универсально-сборных переналаживаемых штампов путем оптимизации конструктивных параметров компоновок в условиях машиностроительного производства: дисс. канд. техн. наук. – Харьков, 2013. – 220 с.
7. Барлоу Р. Математическая теория надежности [Текст] / Р. Барлоу, Ф. Прошан. – М. : Советское радио, 1969. – 488 с.
8. Болотин В. В. Статистические методы в строительной механике [Текст] / В. В. Болотин. – М. : Стройиздат, 1965. – 279 с.
9. Вагнер И. В. Методы расчета погрешностей элементов и систем / И. В. Вагнер // «Знание». – Киев, 1969. – 240 с
10. Базовский И. Надежность. Теория и практика / И. Базовский. – М. : Мир, 1965. – 373 с.