

doi:10.32620/oikit.2018.82.06

УДК 621.835

Е. А. Фролов, В. В. Агарков, С.Г.Ясько, С. И. Кравченко

Исследование функциональной зависимости прочности клеевого соединения направляющих элементов УСПШ

*Полтавский национальный технический университет
имени Юрия Кондратюка*

Государственное предприятие «Харьковстандартметрология»

Данная работа посвящена экспериментальным исследованиям прочностных и точностных характеристик клеевого соединения направляющих элементов с базовыми элементами штампа в универсальных сборных переналаживаемых штампах (УСПШ). Конструкция этих штампов позволяет производить установку направляющих элементов в необходимых с технологической и конструктивной точек зрения местах базовых элементов. Особенностью данной автономной системы направления является способ ее закрепления, который обуславливает достижимые точностные и силовые характеристики УСПШ. В отличие от закрепления направляющих элементов по прессовой посадке в специальных штампах в исследуемых конструкциях штампов применен способ закрепления и точного центрирования посадочных частей направляющих колонок и втулок при помощи клеевых материалов на основе эпоксидных смол. Такой способ закрепления существенно влияет точность исполнения и установки направляющего блока, поскольку он играет особо важную роль в системе «пресс – направляющий блок – режущие части штампа». Проведенные исследования по результатам математической обработки экспериментов позволили определить функциональную зависимость прочности клеевого соединения на основе эпоксидных смол направляющей колонки, в базовых плитах универсально-сборных переналаживаемых штампов. В качестве переменных величин рассматривались усилие выпрессовки: диаметр и длина насадочной части направляющих элементов в базовых элементах штампов. Сопоставление всех полученных результатов показало, что величины усилия выпрессовки и длина насадочной части при фиксированных значениях диаметра связаны между собой такой зависимостью, что функцию можно принять как пропорциональную. Изменение усилия выпрессовки при увеличении диаметра и фиксированных значениях длина насадочной части имеет малую интенсивность. Установлено, что теоретические результаты по определению функциональной зависимости прочности клеевого соединения отличаются не более, чем на 5 %, причем прочность клеевого соединения выше в 2,2 – 2,4 раза по сравнению с прессовой посадкой направляющих колонок и значительно выше точность их установки в базовых плитах.

Ключевые слова: направляющие колонки, базовая плита, универсальный, сборный, переналаживаемый, штамп, прочность, клеевое соединение, точность установки.

Введение

В настоящее время для технологического оснащения операций листовой штамповки разработаны, внедрены и успешно эксплуатируются универсально-сборные переналаживаемые штампы (УСПШ), в которых заложена автономная система направления, позволяющая производить установку направляющих элементов в нужных, с технологической и конструктивной точек зрения, местах базовых или [1-4] следующей особенностью системы направления является способ ее закрепления. Постановка задачи исследования по прессовой посадке в отличие от закрепления направляющих элементов в специальных штампах в

данных конструкциях применен способ закрепления и точного центрирования посадочных частей направляющих колонок и втулок при помощи клеевых материалов на основе эпоксидных смол [5-7], что значительно сокращает точность исполнения и установки направляющего блока, т. к. он играет особо важную роль в системе пресс-направляющий блок-режущие части штампа.

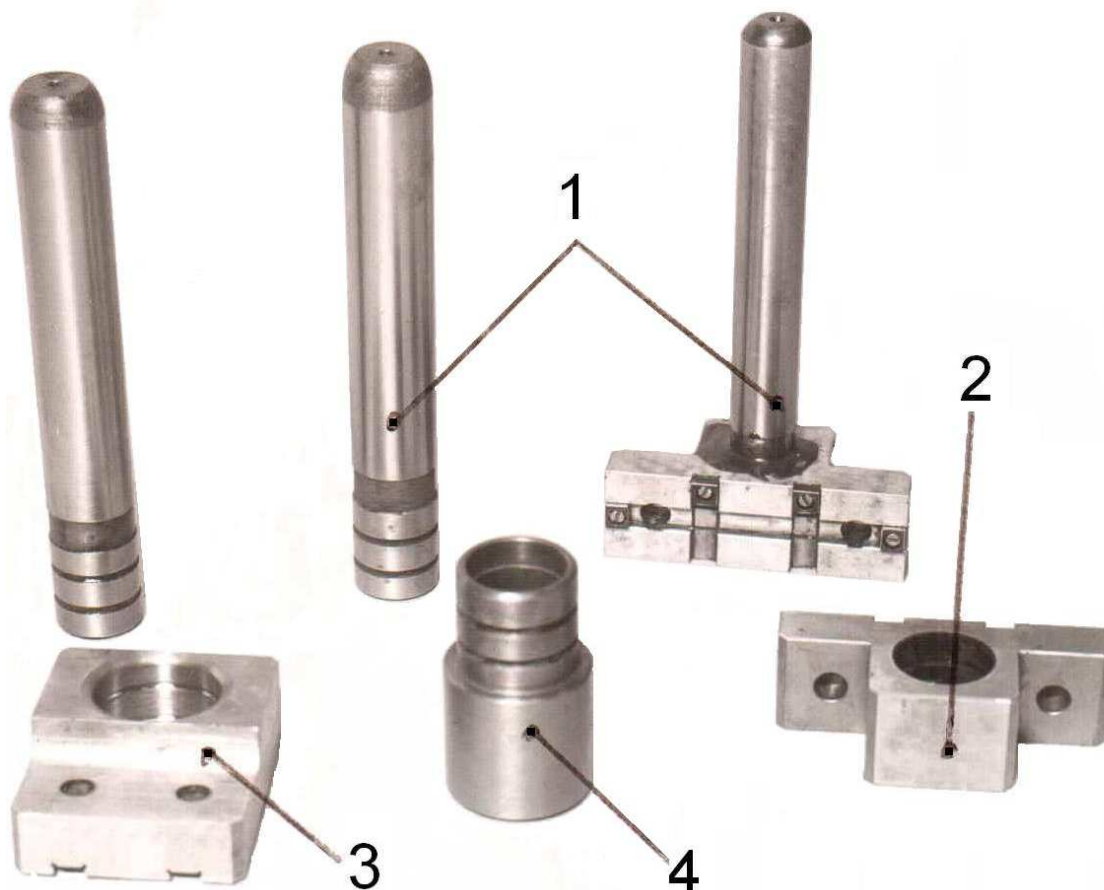


Рис. 1. Направляющие элементы: а – УСПШ-16; б – УСПШ-8; 1 – направляющая колонка; 2 – нижняя обойма; 3 – верхняя обойма; 4 – направляющая втулка

Однако в технологической литературе по этому вопросу отсутствуют какие-либо нормативные материалы и рекомендации по выбору параметров клеевого соединения направляющих элементов.

Цель работы: экспериментально исследовать прочностные и точностные характеристики клеевого соединения направляющих элементов с базовыми штампами УСПШ.

Основной материал

Функциональная зависимость прочности клеевого соединения выведена путём математической обработки результатов экспериментов.

В качестве переменных величин рассматривались усилие выпрессовки (P_k), диаметр (D) и длина посадочной части (H) направлявших элементов.

Для облегчения определения функциональной зависимости между величинами данные экспериментов представлены в графическом виде (рис. 2).

Сопоставление всех полученных результатов показало, что переменные величины P_k и H при фиксированных значениях D связаны между собой такой

зависимостью, что функцию можно принять как пропорциональную.

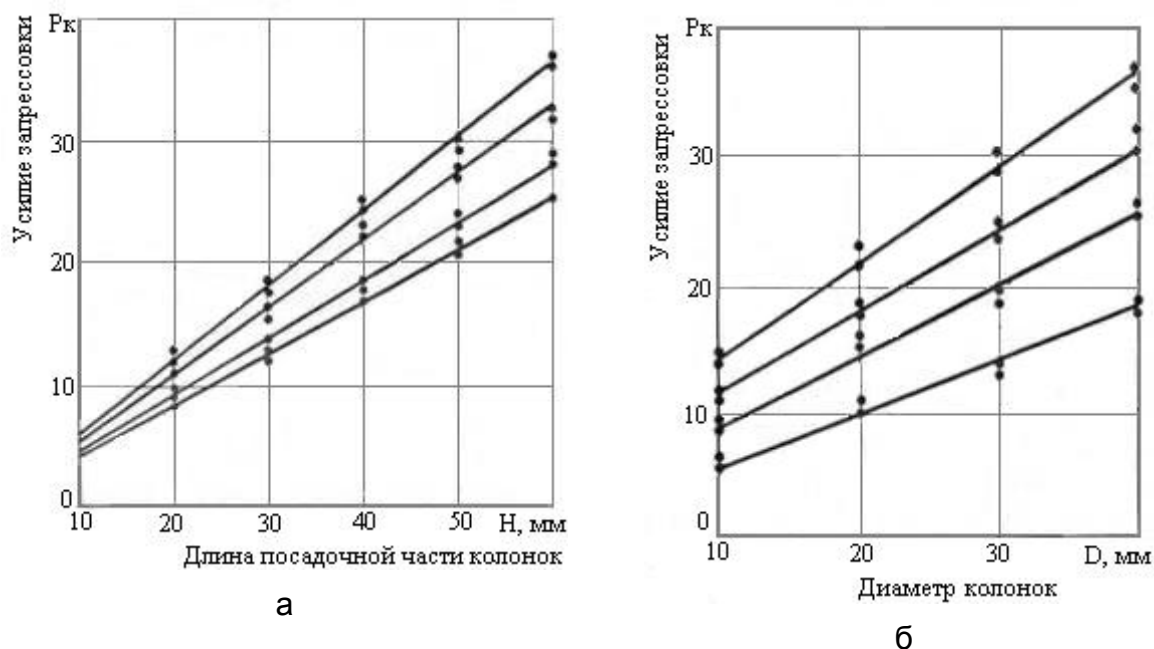


Рис. 2. Зависимость усилия выпрессовки от длины посадочной части H (а) и диаметра D (б) направляющих элементов

Изменение P_k при увеличении D и фиксированных значениях H не интенсивно. Поэтому функциональная зависимость переменной P_k от переменных D и H была выбрана в виде:

$$P_k = a \cdot D^m \cdot H^n, \quad (1)$$

где значения величин P_k , D и H получены экспериментальным путём.

Неизвестные параметры: коэффициент a и степенные показатели m и n определялись следующим образом.

Прологарифмируем выражение (1) $\lg P_k = \lg a + m \lg D + n \lg H$ и, обозначив $\lg P_k = z$; $\lg a = b$; $\lg D = x$; $\lg H = y$ получим линейную функцию z относительно 3-х неизвестных параметров: b , m , n .

$$z = b + mx_i + ny_i, \quad (2)$$

где

$$\bar{z}_i = \lg D_i; \quad y_i = \lg H_i; \quad (3)$$

D_i , H_i – значение аргументов D и H при i -том эксперименте, $i = 1, 2, 3, \dots, 48$.

Для определения параметров b , m , n имеем систему 48 линейных уравнений с тремя неизвестными.

$$b + mx_i + ny_i = z_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, 48, \quad (4)$$

Обозначим матрицу этой системы через A столбец правых частей через Z тогда система (4) в матричном виде запишется так:

$$A \begin{pmatrix} b \\ m \\ n \end{pmatrix} = Z, \quad (5)$$

Для определения наиболее вероятных значений параметров применим метод наименьших квадратов, т.е. минимизируем функцию

$$f(b, m, n) = \sum_{i=1}^{48} (Z_i - b - mx_i - ny_i)^2.$$

В силу необходимого условия экстремума функции, получаем нормальную систему:

$$\begin{cases} \frac{df}{db} = 0 \\ \frac{df}{dm} = 0, \\ \frac{df}{dn} = 0 \end{cases} \quad (6)$$

которую легко получить из системы (5) умножением слева на матрицу A' (A' – трансформированная матрица матрицы A)

$$(A' \cdot A) \cdot \begin{pmatrix} b \\ m \\ n \end{pmatrix} = A' \cdot Z. \quad (7)$$

Подставляя численные значения и произведя вычисления, получаем нормальную систему уравнений:

$$48 \cdot b + 72,942 \cdot m + 79,290 \cdot n = 209,5297;$$

$$72,942 \cdot b + 111,100 \cdot m + 120,491 \cdot n = 318,5676;$$

$$72,290 \cdot b + 120,491 \cdot m + 131,562 \cdot n = 346,7003.$$

Решая эту систему, имеем

$$b = \lg a = 1,7649; \quad a = 58,2,$$

$$m = 0,62, \quad n = 1.$$

Окончательное выражение усилия выпрессовки:

$$P_e = 58,2 D^{0,62} \cdot H. \quad (8)$$

Вычисление усилий P_k при значениях D_i и H_i по формуле (8) показало, что максимальная относительная ошибка отклонений значения P_k , полученных экспериментальным путём, не превышает 5%. Для практических расчётов формулу (8) удобнее представить в логарифмическом виде:

$$\lg P_k = 1,7649 + 0,62 \lg D + \lg H$$

Установлено, что изменение прочности клеевого соединения происходит прямопропорционально увеличению боковой поверхности соединяемых деталей. Так, при изменении боковой поверхности направляющей колонки

с 1884 мм² на 3768 и 7536 мм² усилие выпрессовки увеличивается от 18,5 до 37,0 тс.

Функциональная зависимость усилия выпрессовки направляющих элементов от величины их боковой поверхности выведена путём математической обработки результатов экспериментов, полученных при следующих условиях: толщина клеевой плёнки 0,2 мм, шероховатость поверхности Rz 215, поверхность направляющих элементов без канавок. Данные экспериментов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Экспериментальные данные усилия выпрессовки (P_k) в зависимости от площади боковой поверхности (F)

№п/п	F, мм ²	P _к , кгс	№ п/п	F, мм ²	P _к , кгс
1	1884,0	9000	9	5086,0	24562
2	2834,0	13560	10	5652,0	27082
3	3014,0	14612	11	5682,0	27291
4	3391,2	16375	12	6028,8	29252
5	3673,8	18250	13	6280,0	30080
6	3768,0	18055	14	6782,4	32749
7	4521,6	22110	15	7536,0	36109
8	5024,0	24350			

На рис. 3. представлена графически зависимость усилия выпрессовки P_k от величины боковой поверхности направляющей колонки F .

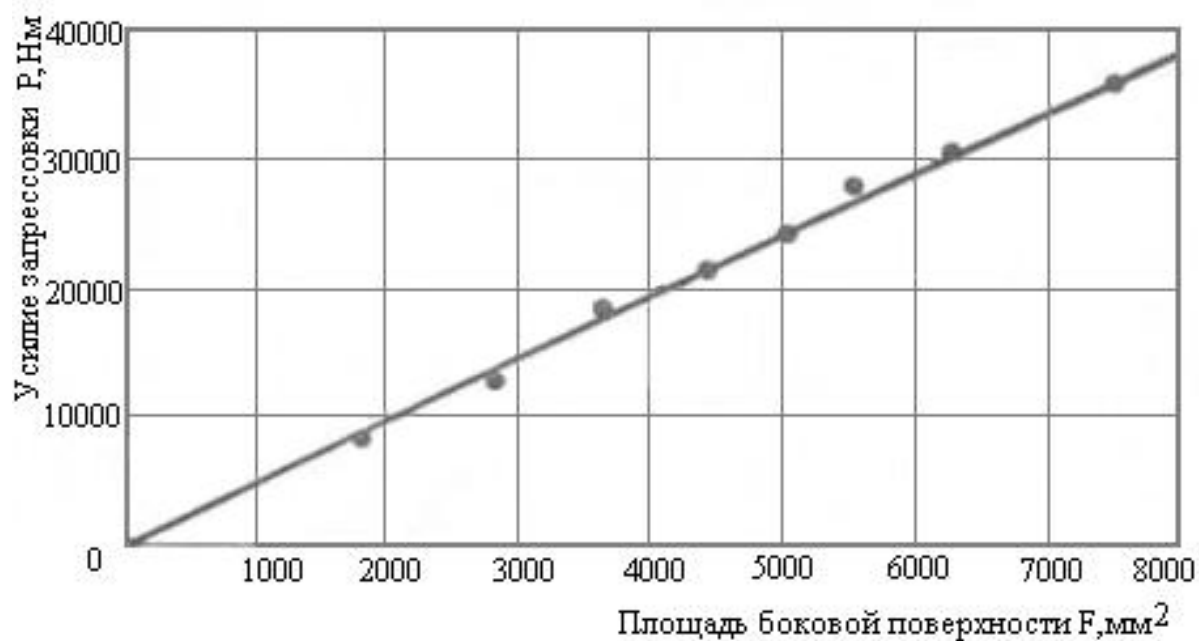


Рис. 3. Зависимость усилия выпрессовки от площади боковой поверхности

Из графика следует, что эмпирическая формула зависимости $P = f(F)$ может быть принята

$$P = a \cdot F^{\alpha}. \quad (9)$$

где a и α – неизвестные параметры, которые необходимо определить.

Логарифмируя функцию (9), получим линейную зависимость

$$\lg P = \lg a + \alpha \lg F$$

Обозначив $\lg a = x$, получим

$$\lg P = x + \alpha \lg F$$

Используя результаты экспериментов, число которых равно 15, составим систему 15-ти уравнений с двумя неизвестными:

$$x + \alpha \cdot \lg F_i = \lg P_i, \quad i = 1, 2, \dots, 15 \quad (10)$$

Наиболее вероятные значения искомых параметров найдём методом наименьших квадратов.

Запишем систему (10) в матричном виде, обозначив через A матрицу системы, Y – матрицу-столбец неизвестных, B – матрицу - столбец правых частей уравнений системы.

$$A \cdot Y = B \quad (11)$$

Для нормализации системы методом наименьших квадратов умножим матричное уравнение (11) слева на матрицу A^T транспонированную матрице A .

Получим, в нашем случае, систему двух уравнений с двумя неизвестными $(A^T \cdot A) \cdot y = (A^T \cdot B)$,

которая окончательно имеет вид

$$\begin{cases} 15x + 54,7322\alpha = 64,9906; \\ 54,7322\alpha + 200,0932\alpha = 237,5245. \end{cases}$$

Решение этой системы даёт следующие результаты

$$x = \lg a = 0,68093;$$

$$a = 4,96 = 4,8;$$

$$\alpha = 1,0008 = 1;$$

и функциональная зависимость (9) имеет вид

$$P = 4,8 \cdot F \quad (12)$$

Результаты вычислений значения P по формуле (12) представлены в табл. 4 и отличаются от экспериментально полученных не более чем на 5%.

Таблица 4

Аналитические данные усилия выпрессовки (P_k) в зависимости от площади боковой поверхности (F)

№ п/п	F , мм ²	P_k , кгс	№ п/п	F , мм ²	P_k , кгс
1	1884,0	9043	9	5086,8	24412
2	2834,0	13603	10	5652,0	27130
3	3014,0	14467	11	5682,0	27274
4	3391,2	16276	12	6028,8	28934
5	3673,8	17630	13	6280,0	30134
6	3768,0	18086	14	6782,4	32554
7	4521,6	21700	15	7536,0	36173
8	5024,0	24115			

Для определения необходимого усилия выпрессовки при соединении направляющих элементов штампов по прессовой посадке была выполнена серия экспериментов с направляющими колонками $\varnothing 26$ мм, изготовленными по 2-ому классу точности. Длина посадочной части составляла 30 мм. Величина натяга изменялась в широких пределах от 0,002 до 0,2 мм за счёт уменьшения диаметра посадочной части колонок. Результаты экспериментов показаны на рис. 4.

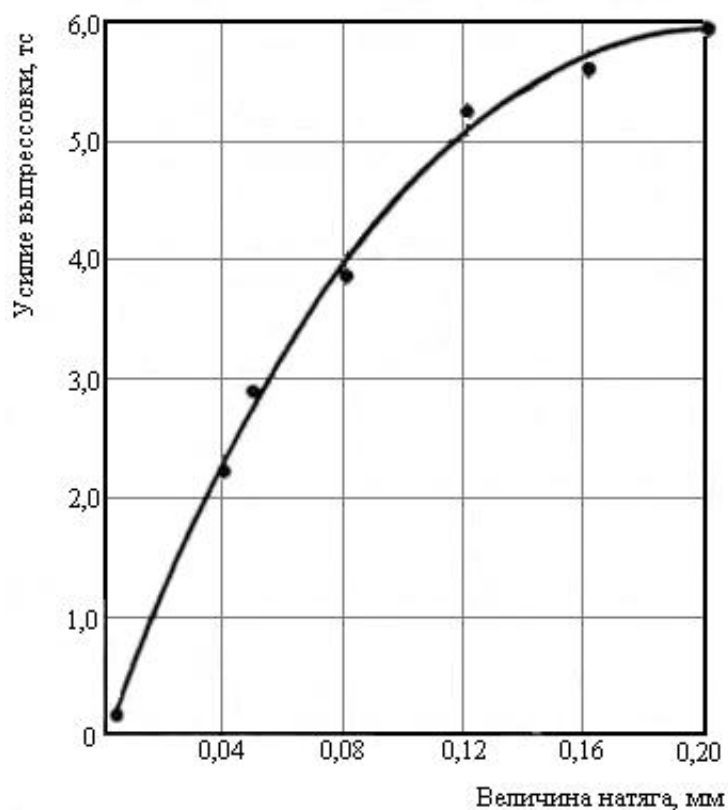


Рис. 4. Зависимость усилия выпрессовки от величины натяга

Сравнение полученных данных с результатами экспериментов по закреплению направляющих колонок Ø 26 мм заливкой эпоксидным компаундом показало, что усилие выпрессовки при клеевом соединении повышалось в 2,2 -2,4 раза.

Представляет практический интерес вопрос о точности расположения направляющих колонок. При их запрессовке в базовые плиты отклонение от перпендикулярности последних к рабочей поверхности плиты составляло от 0,1 до 0,15 мм на длине 100 мм, а в аналогичном случае при клеевом соединении 0,05-0,08 мм на длине 200 мм.

Выводы

1. Теоретически определена функциональная зависимость прочности клеевого соединения и направляющих элементов.
2. Экспериментально установлено, что при следующих условиях: толщине клеевой пленки 0,2 мм, шероховатости поверхности Rz 215 теоретические результаты от экспериментальных не более чем на 5 %.
3. Усилие выпрессовки при клеевом соединении по сравнению с прессовой посадкой колонок повышалось в 2,2 – 2,4 раза при значительном уменьшении от перпендикулярности направляющей колонки к рабочей поверхности плиты УСПШ, что составляет не более 0,05 – 0,08 мм на длине 200 мм.

Список литературы

1. Романовский, В. П. Надежность и долговечность системы универсально-сборных штампов [Текст] / В. П. Романовский, А. Я. Мовшович // Вестник машиностроения. – 1972. – № 6. – С. 61-64.
2. Буденный, М. М. Перспективы развития исследований и разработка новых конструкций штамповой оснастки на основе композитов [Текст] / М. М. Буденный // Резание и инструмент в технологических системах. Сборник научных трудов Харьковского государственного политехнического университета «ХПИ». – Вып. 58 – X., 2005. – С. 25-28.
3. Мовшович, А. Я. Оценка надежности универсально-сборных штампов в условиях дискретно-нестабильных программ выпуска изделий [Текст] / А. Я. Мовшович, Н. К. Резниченко, Г. И. Ищенко, В. В. Агарков // Машинобудування. Збірник наукових праць Української інженерно-педагогічної академії «УІПА». – Вип. 6. – X., 2010. – С. 133 – 142.
4. Агарков, В. В. Универсально-сборные переналаживаемые штампы для листовой штамповки [Текст] / Н. К. Резниченко, Г. И. Ищенко, В. В. Агарков, А. Я. Мовшович // Вісник інженерної академії України. – Київ: ІАУ. – Вип. 3. – 2011. – С. 95 – 98.
5. Чижиков, Н. В. Аналитическая оценка надежности систем обратимых штампов [Текст] / Н. В. Чижиков, М. М. Буденный // Технічний прогресс та ефективність виробництва: зб. наук. пр. Нац. техн. у-ту «ХПИ». – Вип. 91. – X., 2009. – С. 83 – 89.
6. Дебройн, Н. А. Адгезия, клеи, цементы, припои Перевод с английского / Н. А. Дебройн. – М.: Изд. иностр. литературы. – 1954. – С. 584.
7. Дерягин, Б. В. Исследования в области прилипания и клеящего действия [Текст] / Б. В. Дерягин. – М. – Л.: Изд. Ан СССР, 1979. – 244 с.

8. Жолткевич, Н. Д. Применение эпоксидных компаундов для закрепления направляющих элементов штампов / Н. Д. Жолткевич, В. И. Денисов, А. Я. Мовшович, А. Л. Хаетович. – Киев: Технология и организация производства. – 1978. – № 4. – С. 31 – 34.

References

1. Romanovskii V. P., Movshovich A. Ya. Nadezhnost' i dolgovechnost' sistemy universal'no-sbornykh shtampov [Reliability and durability of the universal dies system]. *Vestnik mashinostroeniya*. 1972. No 6. pp. 61–64.
2. Budennyi M. M. Perspektivy razvitiya issledovaniy i razrabotka novykh konstruksii shtampovoi osnastki na osnove kompozitov [Prospects for the development of research and the development of new designs of die tooling based on composites]. *Rezanie i instrument v tekhnologicheskikh sistemakh* [Cutting and tooling in technological systems]. *Collection of scientific works of the Kharkov State Polytechnic University «KhPI»*. No. 58. Khar'kov; KhPI. 2005. pp. 25-28.
3. Movshovich A. Ya. , Reznichenko N. K., Ishchenko G. I., Agarkov V. V. Otsenka nadezhnosti universal'no-sbornykh shtampov v usloviyakh diskretno-nestabil'nykh programm vypuska izdelii Mashinobuduvannya [Evaluation of the reliability of universally-assembled dies in the conditions of discretely unstable product release programs]. *Engineering. Collection of scientific works of the Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy "UIPA"*. No. 6. Khar'kov: UIPA, 2010. pp. 133 – 142.
4. Reznichenko N. K., Ishchenko G. I., Agarkov V. V., Movshovich A. Ya. Universal'no-sbornye perenalazhivaemye shtampy dlya listovoi shtampovki [Universal prefabricated sheet stamping dies]. *Vestnik inzhenernoi akademii Ukrainy* [Bulletin of the Engineering Academy of Ukraine]. Kyiv:EAU. No. 3. 2011. pp. 95 – 98.
5. Chizhikov N. V., Budennyi M. M. Analiticheskaya otsenka nadezhnosti sistem obratimyykh shtampov [Analytical assessment of the reliability of reversible die systems]. *Tekhnichnyj progress ta efektyvnist' vyrobnyctva: zbirnyk naukovykh prac' Nacional'nogo tekhnichnogo universytetu «KhPI»* [Technical progress and production efficiency: a collection of scientific works of the National Technical University "KhPI"] no. 91. Kharkiv, 2009. pp. 83 – 89.
6. Debroin N. A. Adgeziya, klei, tsementy, pripoi [Adhesion, adhesives, cements, solders]. Moscow: Foreign Literature Publishing House. 1954. 584 p.
7. Deryagin B. V. Issledovaniya v oblasti prilipaniya i kleyashchego deistviya [Research in the field of adhesion and adhesive action]. Moscow – Leningrad: Pub. An USSR, 1979. 244 p.].
8. Zholtkevich N. D. , Denisov V. I., Movshovich A. Ya., Khaetovich A. L. Primenenie epoksidnykh kompaundov dlya zakrepleniya napravlyayushchikh elementov shtampov [The use of epoxy compounds for fastening the guide elements stamps]. Kiev: Technology and organization of production. 1978. No. 4. P. 31 – 34

Поступила в редакцию 10.12.2018, рассмотрена на редколлегии 14.12.2018.

Дослідження функціональної залежності міцності клейового з'єднання напрямних елементів УСПШ

Дана робота присвячена експериментальним дослідженням міцнісних і точностних характеристик клейового з'єднання напрямних елементів з базовими елементами штампа в універсальних збірних переналагоджуваних штампах (УЗПШ). Конструкція цих штампів дозволяє проводити встановлення напрямних елементів в необхідних (з технологічної і конструктивної точок зору) місцях базових елементів. Особливістю даної автономної системи напрямку є спосіб її закріплення, який обумовлює досягні точності і силові характеристики УСПШ. На відміну від закріплення напрямних елементів по пресовій посадці в спеціальних штампах в досліджуваних конструкціях штампів застосований спосіб закріплення і точного центрування посадочних частин напрямних колонок і втулок за допомогою клейових матеріалів на основі епоксидних смол. Такий спосіб закріплення істотно впливає точність виконання і установки направляючого блоку, оскільки він грає особливо важливу роль в системі «прес – направляючий блок – ріжучі частини штампа». Проведені дослідження за результатами математичної обробки експериментів дозволили визначити функціональну залежність міцності клейового з'єднання на основі епоксидних смол направляючої колонки, в базових плитах універсально-збірних переналагоджуваних штампів. В якості змінних величин розглядалися зусилля випресовування: діаметр і довжина насадок частини напрямних елементів в базових елементах штампів. Зіставлення всіх отриманих результатів показало, що величини зусилля випресовування і довжина насадок частини при фіксованих значеннях діаметра пов'язані між собою такою залежністю, що функцію можна прийняти як пропорційну. Зміна зусилля випресовування при збільшенні діаметру і фіксованих значеннях довжина насадок частини має малу інтенсивність. Встановлено, що теоретичні результати по визначенню функціональної залежності міцності клейового з'єднання відрізняються не більше, ніж на 5%, причому міцність клейового з'єднання вище в 2,2 – 2,4 рази в порівнянні з пресовою насадкою напрямних колонок і значно вище точність їх встановлення в базових плитах.

Ключові слова: напрямні колонки, базова плита, універсальний, збірний, переналагоджуваний, штамп, міцність, клейове з'єднання, точність встановлення.

The Study of the Functional Dependence of the Strength of Adhesive Bonding Guide Elements PURS

This work is devoted to experimental studies of the strength and accuracy characteristics of adhesive bonding guide elements with the basic elements of the stamp in the prefabricated universal readjusted stamps (PURS). The design of these stamps allows the installation of guide elements in the necessary from the technological and structural points of view, the points of the basic elements. A feature of this autonomous directional system is the method of its fixing, which determines the achievable accuracy and strength characteristics of the PURS. In contrast to the fixing of the guide elements on the press fit in special stamps in the studied structures of the stamps, a method of fixing and precise centring of the seating parts

of the guide columns and bushings using glue materials based on epoxy resins was applied. This method of fixing significantly affects the accuracy of execution and installation of the guide block, since it plays a particularly important role in the system "press - guide block - cutting parts of the stamp". Studies on the results of mathematical processing of experiments allowed us to determine the functional dependence of the strength of adhesive bonding based on epoxy resins of the guide column in the base plates of universal pre-adjustable re-dies. As variables, the force of extrusion was considered: the diameter and length of the nozzle portion of the guide elements in the base elements of the dies. Comparison of all the obtained results showed that the magnitude of the extrusion effort and the length of the nozzle portion at fixed diameter values are interconnected by such dependence that the function can be taken as proportional. The change in the force of extrusion with increasing diameter and fixed values of the length of the nozzle portion has a low intensity. It was established that the theoretical results on the definition of the functional dependence of the strength of adhesive bonding differ by no more than 5%, and the strength of adhesive bonding is 2.2 – 2.4 times higher than the press head of the guide columns and the accuracy of their installation in basic slabs.

Key words: Guiding column, base plate, versatile, prefabricated, universal, readjusted stamps, strength, adhesive bonding, precision installation.

Сведения об авторах:

Фролов Евгений Андреевич – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры технологии машиностроения ПНТУ, г. Полтава, Украина; e-mail: frolov.poltntu@gmail.com; ORCID:0000-0002-2691-5386.

Агарков Виктор Васильевич – канд. техн. наук, зам. директора, Государственное предприятие «Харьковстандартметрология», Украина; e-mail: 290@mtl.kharkov.ua.

Ясько Станислав Георгиевич – ст. преподаватель кафедры технологии машиностроения Полтавского Национального технического университета им. Ю. Кондратюка, г. Полтава, Украина; e-mail: s.g.yasko@gmail.com; ORCID:0000-0001-6228-705X.

Кравченко Сергей Иванович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры технологии машиностроения ПНТУ, г. Полтава, Украина; e-mail: 050Ser09@i.ua; ORCID: 0000-0003-3250-8645.

About the Authors:

Frolov Evgeniy Andreevych, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of mechanical engineering technology, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Poltava, Ukraine; e-mail: frolov.poltntu@gmail.com; ORCID:0000-0002-2691-5386.

Agarkov Victor Vasilyevich, PhD, Director, State Enterprise "Kharkivstandartmetrology", Ukraine; E-mail: 290@mtl.kharkov.ua.

Yasko Stanislav Georhyevych, postgraduate Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Poltava, Ukraine; e-mail: s.g.yasko@gmail.com; ORCID:0000-0001-6228-705X.

Kravchenko Sergiy, PhD, Associate Professor, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Poltava, Ukraine; e-mail: 050Ser09@i.ua; ORCID: 0000-0003-3250-8645.