

ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ОТВЕРСТИЙ ПОД РЕЗЬБУ ВРАЩАЮЩИМСЯ ПУАНСОНОМ В ТОНКОЛИСТОВЫХ ЗАГОТОВКАХ С ПРИНУДИТЕЛЬНОЙ ПОДАЧЕЙ

П.В. Шаламов, Д.А. Савельев, Н.Д. Миронова, Ю.В. Казанцева

Для обеспечения достаточной прочности резьбового соединения необходимо образование не менее трех витков резьбы. В заготовках толщиной менее 2 мм длина свинчивания обеспечивается за счет гибки листа, запрессовочного крепежа, холодной штамповкой и другими методами, которые требуют затрат времени, дополнительных операций, технологической оснастки, оборудования, рабочей силы. В статье рассмотрен способ получения отверстий под резьбу вращающимся пуансоном в тонколистовых заготовках. Метод безотходен и не требует применения специального оборудования, а длина свинчивания обеспечивается образованием отбортовок вокруг отверстия. По характеру образования отверстия установлены пять стадий протекания процесса. Указанные стадии образования отверстия наблюдаются при различных схемах формообразования: при постоянной нагрузке и принудительной подаче. Рассмотрено влияние толщины заготовки и принудительной подачи на геометрию получаемых отбортовок: высоту и толщину основания верхней и нижней отбортовки. Из экспериментальных данных видно, что с уменьшением толщины заготовки уменьшаются высоты и толщины оснований нижней и верхней отбортовок. При этом на заготовках толщиной 0,5 мм верхняя отбортовка не образуется. С увеличением подачи уменьшаются высоты и увеличиваются толщины верхней и нижней отбортовок. Это наблюдается на заготовках всех рассматриваемых толщин (0,5...2,0 мм). Приведена расчётная и фактическая прочность полученного резьбового соединения на срез. Показано, что фактическая прочность получаемого резьбового соединения выше расчётной за счёт повышения микротвёрдости в зоне образования резьбы. Приведены результаты измерений микротвёрдости. Для определения возможности применения данного метода в производстве было определено поле рассеивания получаемого диаметра отверстия для сравнения с допуском по ГОСТ 16093-2004. Показано, что полученное отверстие соответствует допуску внутреннего диаметра резьбы 7 степени точности, что позволяет использовать метод в производстве.

Ключевые слова: тонколистовая заготовка, пуансон, прочность, микротвёрдость, заданная нагрузка, принудительная подача.

В машиностроении широко применяются изделия из тонколистовых заготовок толщиной менее 2,0 мм (кожухи, кузова, крышки, ёмкости, задвижки, поддоны, коллекторы, теплообменники и др.), которые предусматривают резьбовое крепление к ним различных комплектующих деталей. Для обеспечения достаточной прочности резьбового соединения необходимо образование не менее трех витков резьбы [2]. Длина свинчивания обеспечивается за счет гибки листа, запрессовочного крепежа, холодной штамповкой и другими методами, которые требуют затрат времени, дополнительных операций, технологической оснастки, оборудования, рабочей силы [11].

Решением данной проблемы может стать способ увеличения длины свинчивания за счёт пластического деформирования тонколистовой заготовки вращающимся пуансоном. Метод безотходен, не требует применения специального оборудования [3, 4, 9, 10].

По характеру образования отверстия установлены пять стадий протекания процесса (рис. 1). На первой стадии наблюдается внедрение предохранительного конуса инструмента в заготовку и начало образования верхней отбортовки отверстия. На второй стадии – внедрение конусной час-

ти инструмента и начало образования нижней отбортовки. На третьей стадии – разрыв нижней кромки заготовки. На четвертой стадии – начало внедрения цилиндрической части инструмента в заготовку. На пятой стадии – выход цилиндрической части инструмента из заготовки и окончательное формирование отверстия в заготовке.

Указанные стадии образования отверстия наблюдаются при различных схемах формообразования: при постоянной нагрузке и принудительной подаче. Схема с постоянной нагрузкой рассмотрена в работе [4].

Рассмотрены особенности принудительной подачи. Для этого проведен ряд экспериментов с заготовками различных толщин (0,5; 1; 1,5; 2 мм). Подача принималась 0,1 мм/об, 0,2 мм/об и 0,4 мм/об. Измеряемые параметры отбортовок приведены на рис. 2, а результаты измерений сведены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что с уменьшением толщины заготовки уменьшаются высоты (h_1 , h_2) и толщины (b_0 , b_b) оснований нижней и верхней отбортовок. При этом увеличиваются соотношения h_1/h_2 и b_0/b_b , а на заготовках толщиной 0,5 мм верхняя отбортовка не образуется. При увеличении подачи уменьшаются высоты и увеличиваются толщины верхней и нижней отбортовок. Это наблюдается на заготовках всех рассматриваемых толщин.

Зная геометрические параметры отбортовки, можно провести расчет прочности резьбового соединения на срез по известной формуле [5]:

$$F_{cp} = \pi d L_{св} K_r K_m \tau_{ср}, \quad (1)$$

где d – внутренний диаметр резьбы гайки, мм; $L_{св}$ – длина свинчивания, мм; K_r – коэффициент полноты резьбы, характеризующий длину контакта (перекрывание) витков резьбы болта и гайки. Для метрической резьбы $K_r = 0,8$ [5]; K_m – коэффициент, учитывающий неравномерность деформирования витков по высоте гайки при наличии пластической деформации, $K_m = 0,75$ [5]; $\tau_{в,г}$ – предел прочности на срез, МПа. Сталь 08кп $\tau_{в,г} = 200$ МПа [6].

Для сравнения фактической и расчетной прочности резьбы на срез проводились эксперименты по разрушению полученных резьбовых соединений. Результаты приведены в табл. 2.

Рис. 2. Измеряемые параметры: h – толщина заготовки, мм; h_1 – высота нижней отбортовки, мм; h_2 – высота верхней отбортовки, мм; b_0 – толщина основания нижней отбортовки, мм; b_b – толщина основания верхней отбортовки, мм; b_1 , b_2 , b_3 – толщины нижней отбортовки в трех сечениях, мм

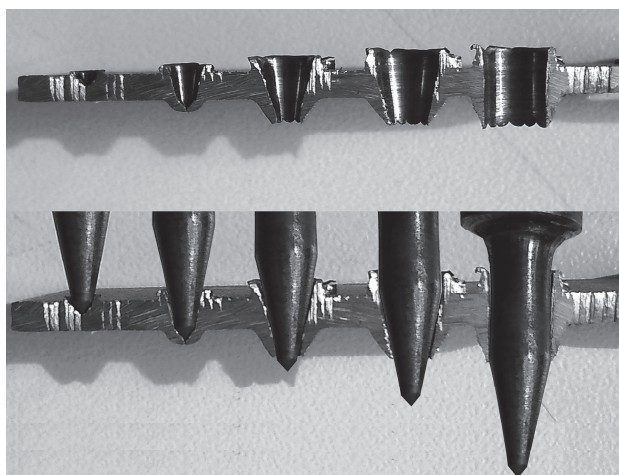
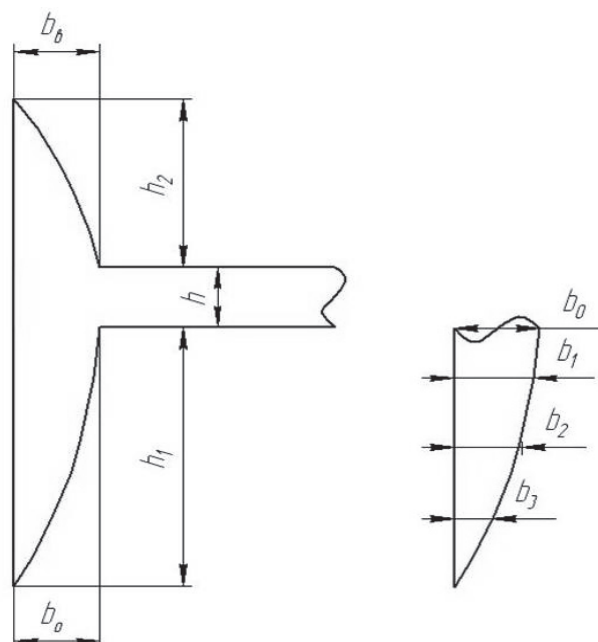


Рис. 1. Стадии протекания процесса



Видно, что в отверстиях, образованных с принудительной подачей, значения расчетной прочности резьбы на срез отличаются не более чем на 2%. Аналогично и с фактической прочностью. Фактическая прочность резьбы на срез значительно выше расчетной независимо от характера образования отверстия. Было сделано предположение, что это происходит из-за упрочнения материала в зоне образования отверстия. Для подтверждения этого предположения сравнивали

Технология

значения прочности резьбы в отверстиях, образованных сверлением и вращающимся пуансоном. Для обеспечения одинаковой длины свинчивания отбортовки отверстия, образованного вращающимся пуансоном срезались. Фактическая сила среза резьбового соединения в отверстиях, образованных вращающимся пуансоном, выше в 1,5 раза, чем в образованных сверлением. Повышение прочности связано с увеличением твердости материала. Для проверки этого предположения провели измерения микротвердости (14 измерений на расстоянии 0,1 мм друг от друга, рис. 3, а).

Таблица 1

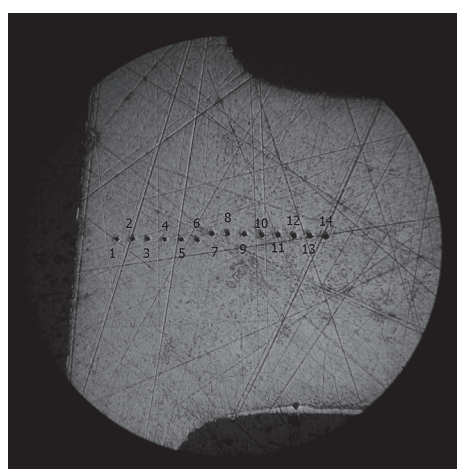
Средние значения параметров геометрии отбортовок

Толщина пластинки, мм	Подача, мм/об	h_1 , мм	h_2 , мм	$L_{св} = h_1 + h_2 + h$, мм	b_0 , мм	b_B , мм	b_{01} , мм	b_{02} , мм	b_{03} , мм
2	0,1	2,34	1,06	5,4	0,91	0,78	0,76	0,66	0,42
	0,2	2,35	1,01	5,35	0,98	0,73	0,79	0,65	0,39
	0,4	2,12	0,88	4,99	1,13	0,8	1	0,86	0,48
1,5	0,1	2	0,79	4,1	0,71	0,48	0,64	0,56	0,28
	0,2	1,84	0,73	4,11	0,95	0,51	0,93	0,69	0,37
	0,4	1,94	0,49	3,89	0,88	0,43	0,86	0,58	0,47
1	0,1	2,09	0,6	3,69	0,78	0,42	0,69	0,51	0,37
	0,2	1,79	0,45	3,24	0,9	0,48	0,75	0,52	0,33
	0,4	1,76	–	2,88	1,01	–	0,72	0,64	0,44
0,5	0,1	1,54	–	2,04	0,72	–	0,47	0,37	0,26
	0,2	1,47	–	1,97	0,53	–	0,44	0,42	0,33
	0,4	1,46	–	2,18	0,59	–	0,5	0,39	0,3

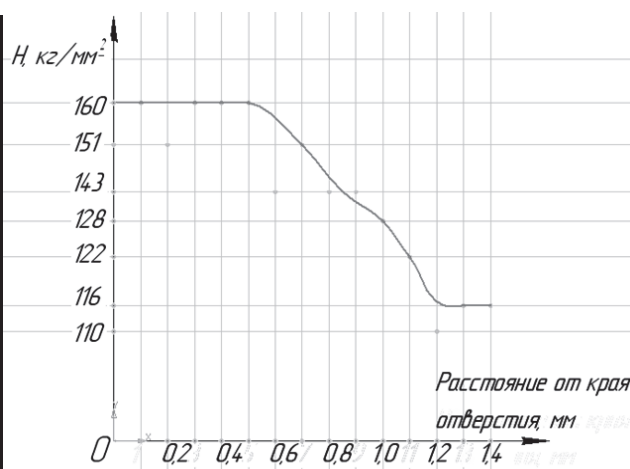
Таблица 2

Результаты расчетной и фактической прочности резьбового соединения на срез

Характер образования отверстия	Расчетная сила среза $F_{ср}$, Н	Фактическая сила среза $F_{ср}$, Н
Сверление	3165,1	4210
При нагрузке 50 Н со срезанными отбортовками	3165,1	6320
Принудительная подача $S = 0,1$ мм/об, с отбортовками	5563,7	8650
Принудительная подача $S = 0,2$ мм/об, с отбортовками	5495,4	8620
Принудительная подача $S = 0,4$ мм/об, с отбортовками	5035,5	8630



а)



б)

Рис. 3. Исследование микротвердости: а – фотография отпечатков из микротвердомера; б – изменение твердости H , кг/мм², по сечению образца

Твердость материала H в зоне образования отверстия определяется в зависимости от диагонали отпечатка C с учетом прикладываемой нагрузки (в данном случае $P = 1H$) по формуле [7]:

$$H = \frac{1,851 \cdot P}{C}. \quad (2)$$

Результаты измерений представлены на графике (рис. 3, б).

Из графика видно, что в зоне образования отверстия микротвердость материала выше, что и объясняет повышение прочности резьбового соединения.

Для определения возможности применения данного метода в производстве было определено поле рассеивания получаемого диаметра отверстия для сравнения с допуском по ГОСТ 16093–2004 [7]. На заготовке толщиной 2 мм были образованы 10 отверстий и измерены внутренние диаметры верхних и нижних отбортовок по двум взаимно перпендикулярным осям. Для определения поля рассеивания получаемого диаметра рассчитывалось среднее значение показателя выборочной совокупности диаметров отверстий [9] по формуле:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (3)$$

где n – количество экспериментов; x_i – средний диаметр отверстия в каждом эксперименте по двум координатным осям, мм.

Среднее значение недостаточно полно характеризует выборку. Для оценки степени разброса (отклонения) показателей диаметров верхней и нижней отбортовок от его среднего значения использовали понятие среднеквадратического отклонения, которое рассчитывается по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (4)$$

Величина доверительного интервала и доверительной вероятности зависит от числа измерений. При малом числе опытов используется распределение Стьюдента. При доверительной вероятности 0,95 коэффициент Стьюдента $t_\lambda = 2,3$. Тогда доверительный интервал рассчитывается по формуле:

$$\Delta = t_\lambda \sigma. \quad (5)$$

Доверительный интервал разброса диаметров отверстий составил 0,248 мм для верхней отбортовки и 0,282 мм для нижней отбортовки отверстий. Таким образом, можно сказать, что диаметр верхней отбортовки отверстия будет составлять $4,425 \pm 0,12$ мм, а нижней – $4,268 \pm 0,14$ мм.

Из полученных результатов видно, что диаметр нижней отбортовки меньше. Это связано с усадкой металла в процессе его остывания. Отклонение в размерах составляет не более 4 %, что означает достаточную сходимость. Полученное отверстие соответствует допуску внутреннего диаметра резьбы 7 степени точности, что позволяет использовать метод в производстве.

Литература

1. ГОСТ 16093-2004 Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба метрическая. Допуски. Посадки с зазором. – М.: Стандартинформ, 2005. – 39 с.
2. Иванов, М.Н. Детали машин: учеб. для вузов / М.Н. Иванов; под ред. В.А. Финогенова. – М.: Высш. шк., 2000. – 382 с.
3. Шаламов, П.В. Формирование отверстий вращающимся пуансоном в листовой заготовке / П.В. Шаламов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2011. – Вып. 18. – № 31 (248). – С. 81–84.
4. Шаламов, П.В. Формообразование отверстий под резьбу вращающимся пуансоном в тонколистовых заготовках: дис. ... канд. техн. наук / П.В. Шаламов. – Челябинск, 2012. – С. 153.
5. Verbindungsbochsen durch neuartige Fließlochtechnik // Metallhandwerk + Techn. – 1980. – № 3.
6. Хренов, К.К. Сварка, резка и пайка металлов / К.К. Хренов. – М.: Машиностроение, 1994. – 405 с.
7. Мощенок, В.И. Измерение микротвердости с наноточностью / В.И. Мощенок, Н.А. Лалазарова, О.Н. Тимченко // Вестник Харьков. нац. автомобильно-дорож. ун-та. Приборостроение. – 2008. – Вып. 42. – № 9 (45). – С. 35–37.

8. Гузеев, В.И. *Определение геометрических размеров отбортовки, полученной методом термического сверления в тонколистовом металле / В.И. Гузеев, П.В. Шаламов, Э.Е. Шульц // Прогрессивные технологии в машиностроении: сб. науч. тр. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. – С. 175–178.*

9. FormDrill, 2014. – <http://formdrill.com/english/formdrill.htm>.

10. Centredrill, 2014. – <http://www.centerdrill.de/>.

11. Nanyang Technological University, School of Mechanical and Aerospace Engineering, *On the influence of workpiece material on friction in microforming and lubricant effectiveness // Journal of Materials Processing Technology. – 2014. – April. – P. 998–1007.*

Шаламов Павел Викторович. Доцент кафедры «Технология машиностроения», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), traktor1977@mail.ru.

Савельев Данил Алексеевич. Инженер кафедры «Технология машиностроения», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), savelevda@susu.ac.ru.

Миронова Наталья Дмитриевна. Студент кафедры «Технология машиностроения», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), natalia-4774@mail.ru.

Казанцева Юлия Валерьевна. Студент кафедры «Технология машиностроения», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), juliakzntsv@mail.ru.

Поступила в редакцию 29 мая 2014 г.

**Bulletin of the South Ural State University
Series “Mechanical Engineering Industry”
2014, vol. 14, no. 3, pp. 62–67**

FORMING OF TAP HOLES BY ROTATING PUNCH MADE BY FORCE-FED IN THIN SHEET WORKPIECES

*P.V. Shalamov, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, traktor1977@mail.ru,
D.A. Saveliev, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, savelevda@susu.ac.ru,
N.D. Mironova, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, natalia-4774@mail.ru,
J.V. Kazantseva, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, juliakzntsv@mail.ru*

For reaching the sufficient strength of threaded connection it is necessary to make 3 or more turns of thread. In bars with thickness less than 2 mm the length of screwing is reaching by bending of sheet, pressing connection, cold stamping and other ways, which demand the time requirements, additional operations, technical equipment, workforce. The article shows the way of making holes for thread by rotating punch in sheet blanks. There are five steps of process being held. The following steps of forming the holes are used in following ways: with constant load and forced feed. Considered the influence of bar thickness and forced feed on geometry of resulting extractings: height and thickness of upper and lower bases of extracting. From experiment data it's clear that reducing of bar thickness, the height and thickness of upper and lower extractings bases. Herewith on bars with 5 mm thickness upper extracting is not being formed. Feed increasing causes the reduction of height and increasing the thickness of upper and lower extractings. It can be seen on bars with all kinds of thickness (0,5...2,0 mm). Calculated and actual strength of gained threaded connection on slice is submitted. Also there is submitted that actual strength of gained threaded connection is higher than calculated, because of increasing micro hardness in threading zone. The result of micro hardness measuring are assumed. To identify the opportunity of using this method in industry the field of dissipation of gained diameter was spotted in comparison with limit by GOST 16093-2004. Also the gained hole corresponds the

7th limit of accuracy of inner diameter of thread, what allows to use this method in industry.

Keywords: thin sheet workpiece, punch, connection, micro hardness, transmission set, force-fed.

References

1. GOST 16093–2004 *Osnovnye normy vzaimozamenyaemosti. Rez'ba metricheskaya. Dopuski. Posadki s zazorom* [State Standard 16093–2004. Basic rules of interchangeability. Metric thread. Tolerances. Landing with a Backlash]. Moscow, Standartinform, 2005. 39 p.
2. Ivanov M.N. *Detali mashin: Uchebnik dlya vuzov* [Machine Parts: Textbook for High Schools]. Moscow Vysshaja shkola Publ., 2000. 382 p.
3. Shalamov P.V. [Manufacturing of the Hole Made by Rotating Tool in Sheet Blank]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical Engineering Industry*, 2011, iss. 18, no. 31 (248), pp. 81–84. (in Russ.)
4. Shalamov P.V. *Formoobrazovanie otverstiy pod rez'bu vrashchayushchimsya puansonom v tonkolistovykh zagotovkakh. Dis. kand. tekhn. nauk* [Manufacturing of The Hole Made by Rotating Tool in Thin Sheet Blank. Cand. Sci. Diss.]. Chelyabinsk, 2012. 153 p.
5. Verbindungs Buchsen Durch Neuartige Fließlochtechnik. *Metallhandwerk + Techn.*, 1980, no. № 3 (82).
6. Hrenov K.K. *Svarka, rezka i payka metallov* [Welding, Cutting and Soldering Metals]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1994. 405 p.
7. Moshchenok V.I., Lalazarova N.A., Timchenko O.N. [Microhadness Testing with Nanoaccuracy], *Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University*, 2008, iss. 42, no. 9 (45), pp. 35–37. (in Russ.)
8. Guzeev V.I., Shalamov P.V., Shul'tc E.E. [Calculation Geometry of Heading Made by Technical Welding in thin Sheet Metal]. *Progressivnye tehnologii v mashinostroenii: sb. nauch. tr.* [Progressiv Tehnology in Engineering: Collected Papers]. Cheljabinsk, South Ural St. Univ. Publ., 2006. pp. 175–178. (in Russ.)
9. FormDrill. Available at: <http://formdrill.com/english/formdrill.htm> (accessed 23.06.2014).
10. Centerdrill. Available at: <http://www.centerdrill.de/> (accessed 16.06.2014).
11. Nanyang Technological University, School of Mechanical and Aerospace Engineering, on the Influence of Workpiece Material on Friction in Microforming and Lubricant Effectiveness. *Journal of Materials Processing Technology*, April, 2014. pp. 998–1007.

Received 29 May 2014