

ЭФФЕКТИВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ МИКРОСВЁРЛ ДЛЯ ГЛУБОКОГО СВЕРЛЕНИЯ ПАКЕТА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

*Effective designs of hardmetall microdrills for deep drilling
of the package of printed-circuit boards*

*Efektywne konstrukcje mikrowiertel z węglików spiekanych
do głębokiego wiercenia pakietów płytek drukowanych*

Raul TURMANIDZE, Vasili BACHANADZE, Giorgi POPKHADZE

Резюме: В представленной работе даются результаты исследования силовых характеристик процесса глубокого сверления пакета печатных плат для микроэлектронной аппаратуры, в том числе для изготовления отдельных узлов управления мехатронных систем твердосплавными микросвёрлами в зависимости от глубины сверления, режимов резания и геометрии сверла. В частности изучены характер изменения показателей осевого усилия и крутящего момента в зависимости от глубины сверления для свёрл с разными углами наклона спиральной канавки с помощью специально сконструированных высокочувствительных приборов, дающих возможность измерения прямым методом. На основе анализа результатов исследования внесены изменения в геометрии существующих стандартных сверл. Предложена новая конструкция микросвёрл с переменным углом наклона спиральной канавки, таким образом, что величина угла имеет максимальное значение у вершины сверла и равномерно уменьшается в сторону конца рабочей части. Изготовлены свёрла такой конструкции с разными углами наклона спиральной канавки. На основе экспериментов из них выбран более близкий по своим силовым показателям к стандартному сверлу и проведено его сравнительное испытание со стандартным сверлом, доводя их до поломки, благодаря чему доказано преимущество свёрл новой конструкции. Учитывая результаты экспериментов предложены свёрла удлиненной конструкции с целью повышения производительности обработки путем увеличения глубины сверления и соответственно количества пластин в обрабатываемом пакете печатных плат.

Ключевые слова: Печатная плата, глубокое сверление, сверло, переменный угол наклона.

Summary: In this work are given the results of the study of power characteristics of the process of deep drilling printed circuit boards package for microelectronic devices, including for the production of individual control units mechanistic systems carbide micro drills depending on the depth of drilling, cutting conditions and the geometry of the drill. In particular, we studied the behavior of the indicators of axial force and torque, depending on the drilling depth for drill bits with different angles of inclination of the spiral groove with the help of specially designed high-sensitivity instrumentation, enabling the direct method of measurement. Based on the analysis results of the study changes in the geometry of the existing standard drills. A new design micro drills variable angle of the spiral groove, so that the angle has a maximum value at the tip of the drill, and decreases uniformly towards the end of the working part. Drill bits made this design with different angles of inclination of the spiral grooves. On the basis of these experiments is selected over near standing on their athletic performance to a standard drill and held it a comparative test with a standard drill, bringing them to failure, because of what proved drills Advantages of the new design. Considering the results of the experiments proposed drills elongated structures to improve processing performance by increasing the drilling depth and number of plates, respectively, in the processed packet of printed circuit boards.

Keywords: Printed circuit board, deep drilling, drill, variable angle of inclination

Streszczenie: W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań charakterystyk siłowych procesu głębokiego wiercenia pakietów płytek drukowanych do aparatury mikroelektronicznej, w tym również dla wykonywania odrębnych zespołów sterowania systemami mechatronicznymi spiekanymi mikrowiertłami w zależności od głębokości wiercenia warunków skrawania i geometrii wiertła. W szczególności zbadano charakter zmian wskaźników siły osiowej i momentu skrętnego w zależności od głębokości wiercenia dla wiertel o różnych kątach nachylenia rowka spiralnego, za pomocą specjalnie skonstruowanych wysokoczułych przyrządów, umożliwiających pomiary bezpośrednie. Na podstawie analizy wyników badań wprowadzono zmiany w geometrii istniejących standardowych wiertel. Zaproponowano nową konstrukcję mikrowiertel ze zmiennym kątem pochylenia rowka spiralnego w taki sposób, że wielkość kąta ma maksymalną wartość przy wierzchołku wiertła i równomiernie zmniejsza się w stronę końca części roboczej. Wiertła wykonano o takiej konstrukcji z różnymi kątami nachylenia spiralnego rowka. Na podstawie badań wybrano wariant najbliższy pod względem wytrzymałościowym do wiertel standardowych i przeprowadzono procentowe badania porównawcze ze standardowym wiertłem, doprowadzając do ich zniszczenia (złamania), co wykazało przewagę nowej konstrukcji. Uwzględniając wyniki badań zaproponowano wiertło o wydłużonej konstrukcji w celu zwiększenia wydajności obróbki przez zwiększenie głębokości wiercenia i odpowiednio liczby płytek w obrabianym pakiecie płytek drukowanych.

Słowa kluczowe: płytka drukowana, głębokie wiercenie, wiertło, zmienny kąt nachylenia (rowka specjalnego)

Введение и постановка задачи

Современную технику, начиная от бытовой и заканчивая космической аппаратурой, невозможно представить без электронных узлов. Производство базовых деталей электронной аппаратуры – печатных плат, связано с процессом сверления огромного количества отверстий малого диаметра (около 1 мм и меньше). Сверление осуществляют разными методами, но самым эффективным является сверление микросвёрлами из твёрдого сплава, геометрические параметры которого установлены исследователями разных стран на основе многократных экспериментов в соответствующих лабораториях и предприятиях. В частности установлено, что оптимальный передний угол и соответственно угол наклона спиральной канавки составляет примерно 30° , а задний угол 18° . Их перетачивают через каждое 1000 отверстие и рассчитаны на 3–4 переточку.

Производство печатных плат это массовое производство, где с целью увеличения производительности осуществляется сверление пакета, составленной из несколько пластин, то есть имеет место глубокое сверление, где глубина сверления превышает размера диаметра 8÷10 раз.

В производстве печатных плат простой дорогостоящего технологического оборудования связан не только с предусмотренной заменой инструмента с целью их переточки, но и с непредусмотренной, вызванной хрупким разрушением даже до первой переточки, что связаны со значительными экономическими потерями. Вероятность хрупкого разрушения значительно растет при глубоком сверлении пакета печатных плат. При этом зона разрушения находится в близости конца спиральной канавки.

Учитывая массовость производственных процессов изготовления печатных плат, можно сказать, что хотя бы незначительное повышение стойкости

и хрупкой прочности микросвёрл и соответственно производительности процессов сверления, может дать существенный экономический эффект.

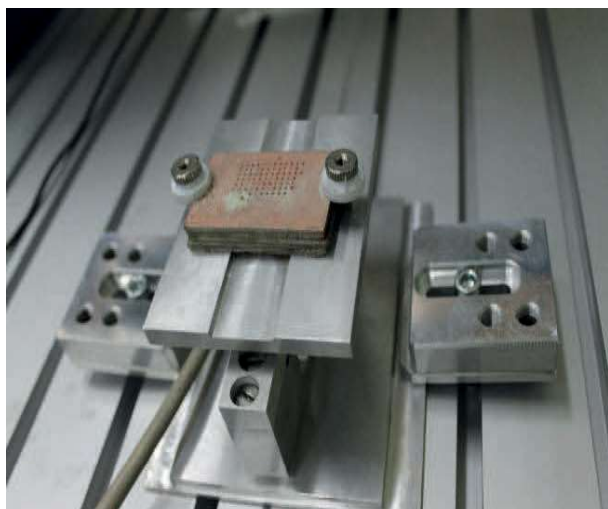
Методика и результаты исследования

Исследовательские работы с целью повышения стойкости твердосплавных микросверл и производительности процесса глубокого сверления пакета печатных плат были проведены в лаборатории прецизионных микроинструментов департамента «Производственные технологий инженерии механики» Грузинского технического университета в тесном сотрудничестве со специалистами Магдебургского технического университета им. Отто Фон Гурике (Германия) в рамках совместного международного проекта.

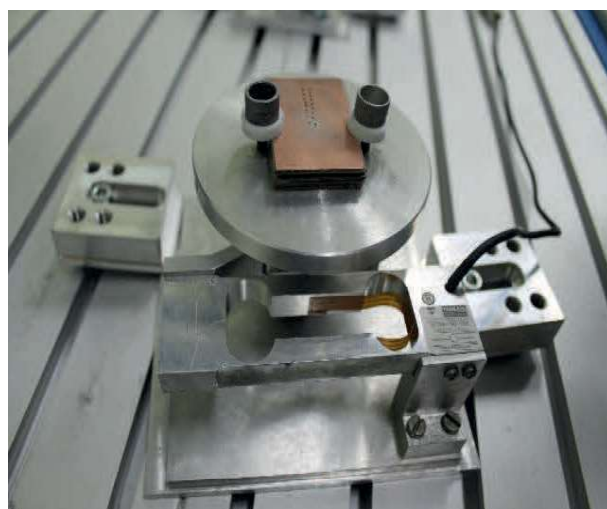
Исследования были начаты изучением характера изменения силовых показателей – крутящего момента и осевого усилия в зависимости от глубины и режимов резания сверления пакета печатных плат из стеклотекстолита.

Для измерения осевого усилия был изготовлен прибор на основе известных методов и существующих аналогов, измеряющим элементом, которого является система тензодатчиков, смонтированная на упругом корпусе (см. фиг. 1).

Что касается измерения крутящего момента, то в нашем случае существующие разные методы, в том числе и косвенный метод при котором измерение осуществляют с помощью измерения мощности процесса резания непригоден, так как дело имеем с очень низкими величинами показателей. Поэтому нужно использовать такой метод, который даст возможность измерить непосредственно крутящий момент, при этом с высокой точностью. С этой целью нами был спроектирован и изготовлен специальный прибор (см. фиг. 2), в котором стол заготовок для сверления оснащен вращающим высокоточным и высокочувствительным



Фиг. 1. Прибор для измерения осевого усилия
Fig. 1. Instrument for measuring axial efforts



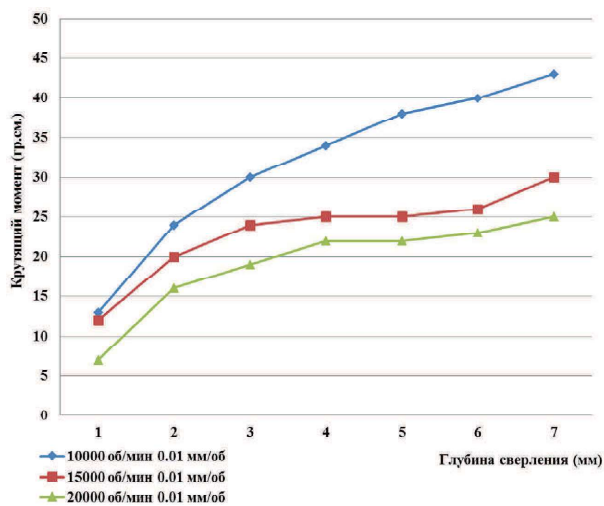
Фиг. 2. Прибор для измерения крутящего момента
Fig. 2. The device for measurement of torque

рычажным механизмом. В качестве измерительного элемента здесь тоже применяется упругий элемент с системой тензодатчиков, только более высокой точности измерения (0,12 грамм).

Эксперименты проводились сверлами из твердого сплава марки ВК60М диаметром ϕ 0,9 мм длиной спиральной канавки $l = 10$ мм. Передний угол и соответственно угол наклона спиральной канавки $\omega = 30^\circ$, задний угол составлял 18° .

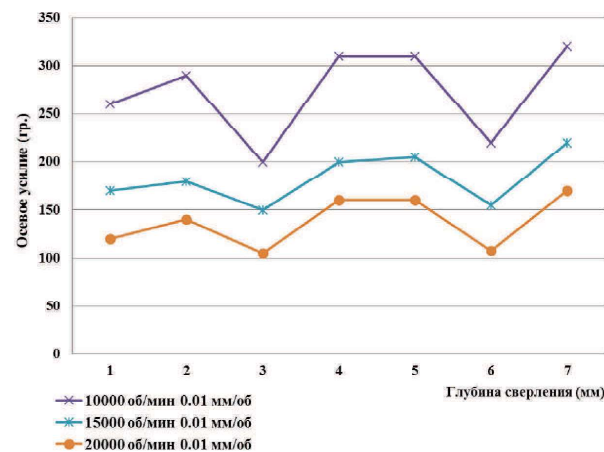
Осуществлялось сверление пакета печатных плат из стеклотекстолита толщиной 1,6 мм составленной из 5 пластин с общей толщиной 8 мм.

Сверление заготовок осуществлялось при разных режимах резания глубиной до 7 мм и через каждый 1 мм глубины фиксировались показания измерительных приборов. Для получения каждого показателя эксперименты повторялись 8 раз. Усредненные результаты экспериментов показаны на фиг. 3 и 4.



Фиг. 3. График крутящего момента для стандартных свёрл $\omega = 30^\circ$

Fig. 3. The chart for standard drills $\omega = 30^\circ$



Фиг. 4. График осевого усилия для стандартных свёрл $\omega = 30^\circ$

Fig. 4. The chart of axial efforts for standard drill $\omega = 30^\circ$

Из этих результатов явно видно, что, как и ожидалось, силовые нагрузки с увеличением глубины прогрессивно растут. При этом если осевое усилие растет приблизительно 1,5 раза, то величина крутящего момента увеличивается 3÷4 раза.

Ставится вопрос, чем вызван такой рост силовых показателей? Условия резания у режущей кромки сверла с увеличением глубины не меняется. Единственной причиной этого может быть увеличение площади контакта абразивной стружки с поверхностью обработанного отверстия и возникшего от него сил трения.

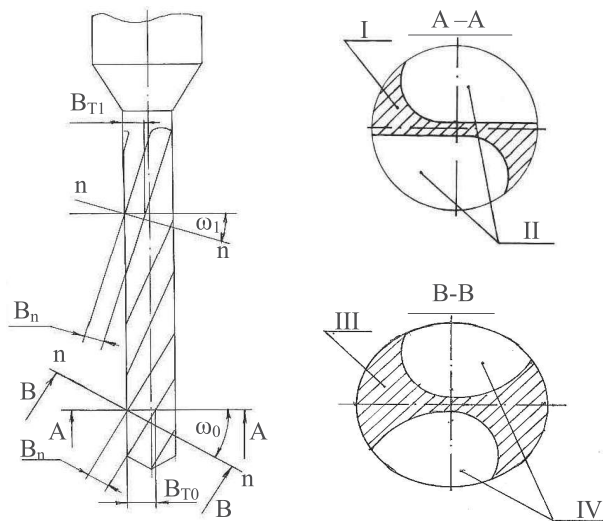
Нужно отметить, что резкое падение осевого усилия на участках глубины 2–3 и 5–6 (см. фиг. 4) обусловлено отсутствием на этих участках обрабатываемой заготовки медного слоя.

Главным фактором повышения вероятности хрупкого разрушения режущего инструмента из этих двух силовых показателей может стать не рост осевого усилия, а более прогрессивное увеличение крутящего момента, так как прочностные показатели твердосплавных материалов на сжатие значительно превышают показателей на кручение.

Улучшение процесса стружкоудаления из зоны резания способствовало бы уменьшению сил трения и соответственно повышению надежности процесса сверления. Проблему удаления стружки при сверлении глубоких отверстий в разных случаях решают разными путями. Например, при сверлении сверлами крупных размеров это осуществляют методом вымывания с помощью смазочно-охлаждающей жидкости, который подается в отверстие через каналы, выполненной в самом теле сверла. В других случаях, когда размеры сверл не дают возможность подачи охлаждающей жидкости вышеуказанным методом, с целью удаления стружки применяют прерывистый метод сверления, при котором после просверления определенной глубины периодически осуществляется отвод сверла из отверстия быстрым ходом.

Применение этих методов в нашем случае невозможно т.к. во первых дело имеем с микросверлами, во вторых применение смазочно-охлаждающей жидкости в производстве печатных плат не допустимо. Нецелесообразен и метод прерывистого сверления, так как это привело бы сильному падению производительности процесса. При обработке глубоких отверстий микросверлами ускоряющим фактором удаления стружки может стать увеличение шага спиральной канавки, то есть уменьшение угла наклона, но это привело бы к ухудшению условий резания, так – как уменьшится передний угол сверла.

Если конструкцию сверла выполнять таким образом, что у вершины сохранить нужный передний угол, а в направлении конца спиральной канавки постепенно уменьшить его угол наклона, то есть спиральную канавку нарезать с переменным углом и постепенно увеличить его шаг, это привело бы к ускорению процесса стружкоудаления и облегчило бы условия сверления [1, 2, 3, 4].



Фиг. 5.

Fig. 5. Drill scheme with vari-angle spiral grooves, I – The useful mechanical section of the drill, II – Face section of the groove, III – Useful normal section of the drill, IV – Normal section of the groove.

На фиг. 5 показана схема сверла с переменным углом наклона спиральной канавки, где угол наклона канавки у вершины сверла ω_0 , а в конце рабочей части ω_1 . Ширина канавки в нормальном сечении B_n по всей длине не меняется, но меняется в торцевом

сечении и у вершины составляет: $B_{T0} = \frac{B_n}{\cos \omega_0}$,

а в конце рабочей части – $B_{T1} = \frac{B_n}{\cos \omega_1}$.

Меняется и полезное торцевое сечение сверла.

Полезное сечение у вершины – $S_o = \frac{\Pi d^2}{4} - \frac{2S_n}{\cos \omega_0}$,

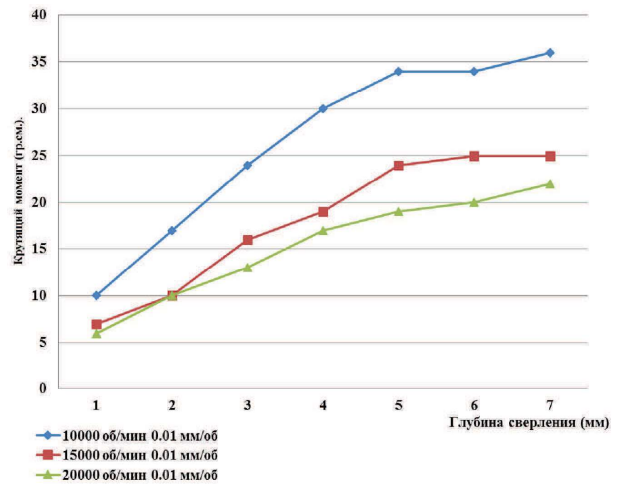
а в конце рабочей части – $S_1 = \frac{\Pi d^2}{4} - \frac{2S_n}{\cos \omega_1}$,

где B_n – площадь канавки в нормальном сечении, d – диаметр сверла.

Если учтём, что $\omega_0 > \omega_1$, то получается, что в направлении конца рабочей части полезное сечение сверла увеличивается. То есть такие сверла по сравнению с стандартными должны выдержать повышенные нагрузки.

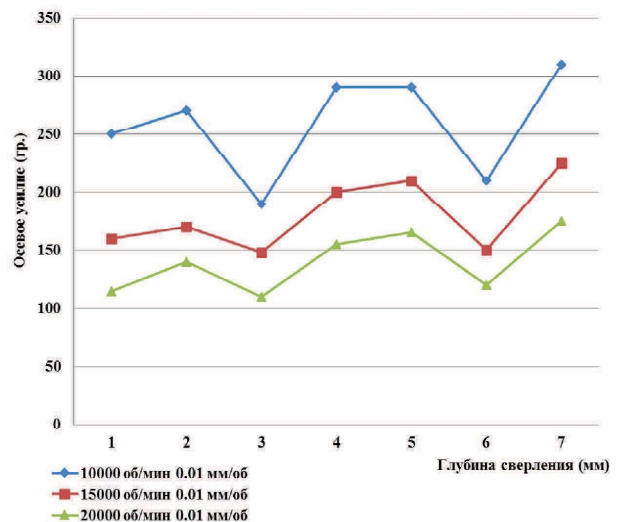
Нами были сконструированы и изготовлены опытные образцы сверл с переменным углом наклона $\omega = 30 - 17^\circ$, $\omega = 35 - 20^\circ$, $\omega = 40 - 22^\circ$ и $\omega = 43 - 23^\circ$.

На всех этих свёрлах были проведены такие же эксперименты, как на стандартных свёрлах. Из



Фиг. 6. График изменения крутящего момента для свёрл $\omega = 30 - 17^\circ$

Fig. 6. The chart of change of a torque for drills $\omega = 30 - 17^\circ$



Фиг. 7. График изменения осевого усилия для свёрл $\omega = 30 - 17^\circ$

Fig. 7. The chart of changes of axial efforts for drills $\omega = 30 - 17^\circ$

них самые лучшие результаты показали свёрла $\omega = 30 - 17^\circ$ (см. фиг. 6–7).

Анализ результатов

Анализ этих графиков показывает что: для свёрл $\omega = 30 - 17^\circ$ показатели осевого усилия почти не отличаются от стандартного сверла $\omega = 30^\circ$, что так и ожидалось, так как у этих сверл одинаковый передний угол и соответственно, условия резания у режущей кромки. Что касается показателей крутящего момента, они на сверле $\omega = 30 - 17^\circ$ в зависимости от режимов резания занижены на 12–16%-ов.

С целью сравнения стандартных свёрл $\omega = 30^\circ$ и свёрл с переменным углом наклона спиральной

канавки $\omega = 30 - 17^\circ$ эксперименты продолжались до их поломки.

Статистика показала, что поломка стандартных свёрл $\omega = 30^\circ$ происходит в диапазоне от 1150 до 1300 отверстий, а свёрл с переменным углом $\omega = 30 - 17^\circ$ от – 1400 до – 1600.

Выводы

1. Твердосплавные микросверла с переменным углом наклона спиральной канавки при глубоком сверлении пакета печатных плат обеспечивают улучшение интенсивности процесса стружкоудаления из обработанного отверстия, способствуя этим занижению сил трения и соответственно крутящего момента на оси сверла.
2. Выполнение спиральных канавок с постепенным занижением угла наклона ω – от вершины сверла в сторону конца рабочей части, обеспечивает увеличение полезного сечения сверла, занижая этим вероятность хрупкого разрушения.
3. Исходя из вышесказанного, появляется возможность изготовить сверла с удлинённой рабочей частью на 2–2,5 мм и в обрабатываемом пакете печатных плат добавить еще одну пластину, что даст возможность увеличить количество одновременно обрабатываемых плат и соответственно количество просверленных отверстий между переточками на 20%-ов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. R. Turmanidze, D. Adamia, M. Amiridze. Influence of the Gradient Angle of the Screw Groove on Wear-Resistant of Fine-Sized Spiral Drills. Transactions of the Academy of Sciences of Georgia «Science and Technologies». Tbilisi, №10–12, 2002, 2 pages.
2. D. Adamia, V. Bachanadze, Z. Gviniashvili. Peculiarities of formation of shavings grooves of spiral drill of alloy with variable inclination. Transport and Machinebuilding. Tbilisi, #3(15), 2009.
3. R. Turmanidze, O. Kushnarenko, D. Adamia, Z. Gviniashvili. Fine-sized hardmetal spiral drills with variable setting angle of chip grooves. 10th International scientific conference “New Ways in Manufacturing Technologies”. NWMT-2010. 17–19 June 2010. Prešov, Slovak Republic. Pages 217–226.
4. R. Turmanidze, Z. Gviniashvili. Peculiarities of manufacture of fine-sized spiral drills with variable inclination angle of chip grooves and results of their tests. The 66th International Congress of Precision Machining ICPM 2011. Liverpool John Moores University, 13th–15th September 2011. Day 1. Liverpool. Pages 253–258.

Raul Turmanidze – Doctor of science, Prof., Head of the Department, Production Technologies of Mechanical Engineering department, Georgian Technical University, Tbilisi 0175, Georgia, e-mail: inform@gtu.ge

Vasili Bachanadze – Senior laboratory, Production Technologies of Mechanical Engineering department, Georgian Technical University

Giorgi Popkhadze – Undergraduate student, Faculty of Transportation and Mechanical Engineering, Georgian Technical University