

УДК 621.382

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ СВЕРЛ МЕТОДОМ АМПЛИТУДО-СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ЗВУКА РЕЗАНИЯ

Кудрявцев Михаил Евгеньевич

студент 4 курса, очная форма

Российская Федерация, г. Москва, МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра

«Электронные технологии»

Научный руководитель: Р.Ш. Тахаутдинов

Ассистент кафедры, «Электронные технологии»

Аннотация

Для повышения стойкости сверл, используемых в производстве печатных плат, постоянно совершенствуются материалы и технологии изготовления режущего инструмента. Для того, чтобы объективно оценить преимущества и недостатки новых технологий и материалов без применения дорогостоящего оборудования, был предложен метод определения степени износа режущих кромок инструмента путем амплитудно-спектрального анализа акустического сигнала при сверлении. С помощью данного метода была оценена эффективность тестового покрытия сверла

Введение. Формирование отверстий – один из наиболее трудоемких и ответственных технологических процессов при производстве печатных плат. Точность позиционирования, качество стенок отверстий, производительность напрямую зависят от точности геометрии режущей кромки сверл. Для увеличения продуктивности производства и выхода годных, а также снижения стоимости отверстия постоянно ведутся исследования по увеличению стойкости сверл к абразивному износу. Происходит совершенствование материалов и технологий изготовления режущего инструмента. Относительно недавно в машиностроении получило распространение использование однослойных и многослойных тонкопленочных покрытий для повышения тепло- и износостойкости и снижения трения при резании. Скорость процесса изнашивания инструмента также зависит от состава и структуры материалов оснований печатных плат. Поэтому внедрение новых базовых материалов требует исследования влияния их на режущий инструмент.

Обзор методов определения качества отверстий и инструмента. Для исследования эффективности применения новых технологий и материалов, а также для контроля операции сверления в процессе производства могут быть предложены различные методы определения степени износа режущего инструмента и качества получаемых отверстий. Условно их можно разделить на две группы: *прямые* и *косвенные*.

Примером прямого метода является анализ микрошлифа получаемых отверстий. При этом сравниваются два отверстия, одно из которых просверливается вначале, а второе в - конце партии. Сравнивая их по определенным критериям, можно судить о качестве всей партии просверленных отверстий. По внешним признакам просверленной платы также можно увидеть характерные дефекты (например, смещение центра отверстия, наличие заусенцев, сколы и ореолы) и своевременно принять меры по их устранению[1]. Анализ состояния сверла может производиться с использованием специализированных оптических, лазерных систем. Но, как правило, для обеспечения необходимого качества отверстий ресурс используемых сверл ограничивается количеством отверстий или суммарной просверленной глубиной, имеющими номинальную величину.

В основе косвенной оценки лежит определение изменения параметров системы, которые косвенно могут отражать состояние режущего инструмента. Например, с увеличением износа инструмента увеличивается и момент сопротивления сверлению. Увеличение момента сопротивления сверлению может отражаться в изменении ряда параметров, таких как изменение интенсивности виброакустического сигнала в зоне резания и мощности, потребляемой двигателем вращения шпинделя при фиксированном усилии подачи[3]. Данные способы требуют использования специализированных датчиков, которые могут уже иметься в составе конструкции станка, а также могут устанавливаться дополнительно. В прототипном производстве печатных плат (а именно в этом производстве происходят испытания новых материалов и технологий) используются, как правило, станки с малой мощностью двигателя вращения шпинделя (для станка BUNGARD CCD – 150Вт). Поэтому возникновение момента сопротивления резанию ведет к заметному замедлению частоты вращения шпинделя. Способ определения величины падения частоты вращения может также использоваться при качественной и количественной оценке степени износа сверла.

Реальную частоту вращения шпинделя можно определить несколькими различными способами. Датчики контроля частоты вращения могут быть уже встроены в электрическую схему станка - в таком случае получить необходимые значения относительно легко. При отсутствии подобных датчиков существует возможность дополнительного их внедрения. Однако это требует изменения электрической схемы, что может привести к сбоям работы станка. Измерение частоты вращения может производиться и оптическими методами с использованием лазера или стробоскопа. Однако использование оптической аппаратуры в силу специфики производства не желательно.

Во время наблюдения за работой станка было замечено, что с изменением скорости вращения шпинделя изменяется и характер звукового сигнала

работы двигателя вращения шпинделя. На основании этих наблюдений был предложен метод амплитудно-спектрального анализа звука резания.

Описание предложенного метода. Преимуществом метода амплитудно-спектрального анализа акустического сигнала при сверлении является его простота и доступность. Данный метод не требует использования дорогостоящего оборудования, необходимыми являются микрофон и персональный компьютер со звуковой картой и установленным программным обеспечением для обработки звука.

Сущность метода заключается в определении падения частоты вращения шпинделя станка (ΔF , об/мин).

$$\Delta F = F_{\text{хх}} - F_{\text{мин}},$$

где $F_{\text{хх}}$ – частота вращения холостого хода шпинделя, об/мин;

$F_{\text{мин}}$ – минимальная частота вращения в момент сверления, об/мин.

Вследствие возникновения момента сопротивления резанию частота вращения шпинделя станка уменьшается при входе сверла в материал. С увеличением износа сверла увеличивается и момент сопротивления резанию. При ограниченной мощности мотора станка (150 Вт) увеличение момента сопротивления резанию приводит к увеличению падения частоты вращения шпинделя.

Во время работы станка производится регистрация звука резания с помощью микрофона. Звуковой сигнал можно либо обрабатывать в режиме реального времени, либо записывать на носитель и проводить последующую обработку файла.

Анализ регистрируемого звукового сигнала производится в специализированной программе SpectraPLUS 5.0, предназначенной для комплексного амплитудно-частотного анализа звуковой информации, а также документирования полученных данных.

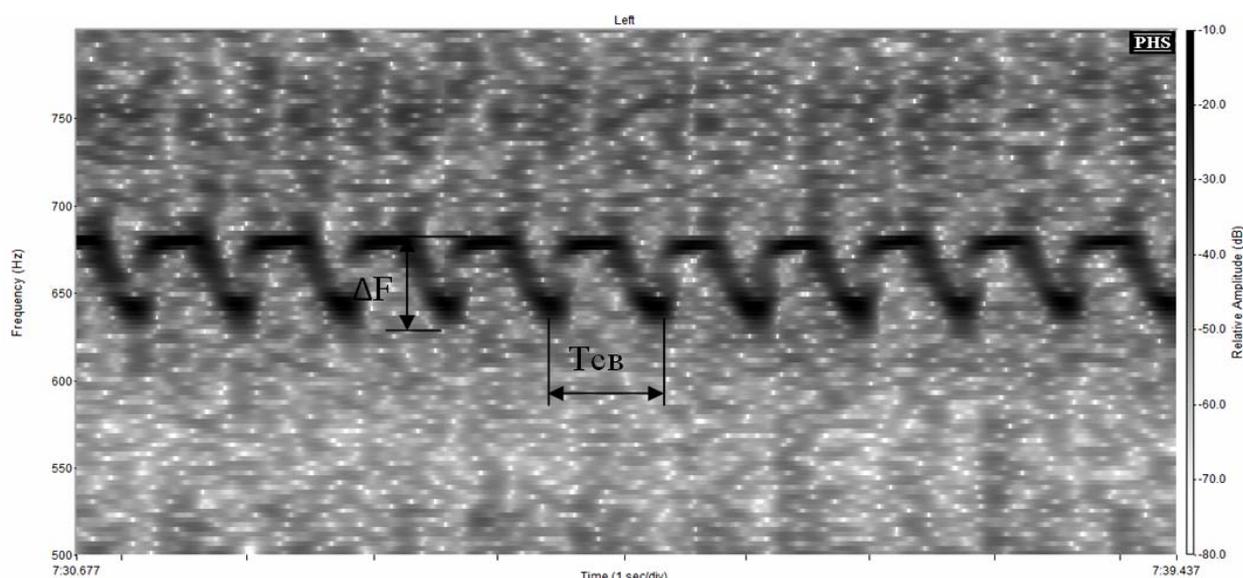


Рис. 1. Окно спектрального анализа программы SpectraPLUS 5.0

Поскольку шпиндель вращается с определенной частотой (примерно 700 об/сек), то максимальная амплитуда звукового сигнала при работе станка в диапазоне частот 500-800Гц будет приходиться именно на частоту, соответствующую частоте вращения шпинделя F_{xx} . При падении частоты вращения шпинделя на ΔF в период сверления одного отверстия ($T_{св}$, с) максимальная амплитуда звукового сигнала смещается на соответствующую величину (Рис.1). С помощью программы SpectraPLUS 5.0 в диапазоне частот 500-800Гц выделяется частота с максимальной амплитудой, полученные результаты с привязкой к временной шкале с шагом 0,05 с записываются в файл формата «.txt» :

Data Logging On: Wed Oct 01 00:29:02 2008

Time Peak Freq(Hz)

Time	Peak Freq(Hz)
00:03:48.217	672.9126
00:03:48.266	675.6042
00:03:48.317	678.2959
00:03:48.367	635.2295

На графике 1 представлен результат обработки звукового сигнала при сверлении нескольких отверстий.

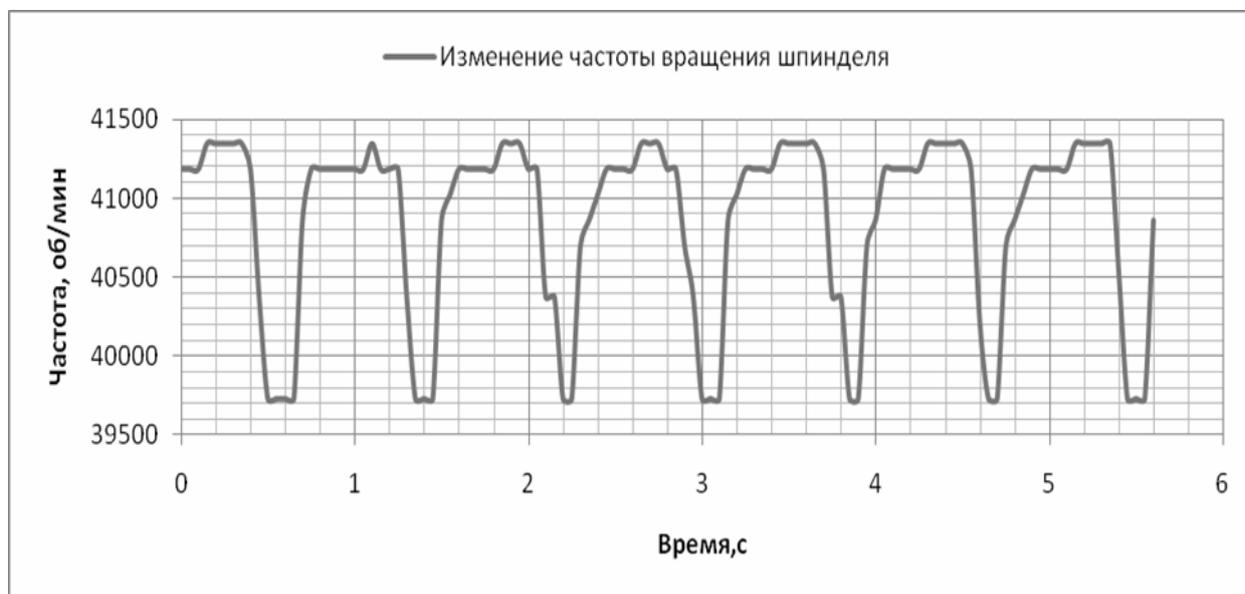


График 1. Изменение частоты вращения шпинделя

Для проверки эффективности предложенного метода был проведен ряд экспериментов, целью которых было сравнение стойкости сверла с тестовым покрытием и такого же сверла без покрытия.

Использование упрочняющих покрытий. Применение различных покрытий для повышения тепло- и износостойкости, стойкости к

окислительному износу инструмента – не редкое явление в различных областях промышленности. Наиболее распространенным в промышленности видом покрытия является TiN золотисто-желтого цвета, которое увеличивает стойкость инструмента для обработки резанием, давлением в 2-3 раза. Существует также множество других как однослойных, так и многослойных покрытий (например: TiCN, AlTiN, TiAlCN-G, CrN, MoS₂ (MOVIC®), nACRo®, nACVIs и др.), применение которых обусловлено определенными технологическими, экономическими и другими факторами. В производстве печатных плат использование упрочняющих покрытий для сверл и фрез можно встретить очень редко. Английская фирма Nanofilm, например, предлагает сверла с алмазным напылением (ta-C), повышающим твердость до 3000-6000 НВ и увеличивающим долговечность сверла в 4 раза. Использование сверл с упрочняющим покрытием в России требует проведения анализа на экономическую целесообразность.

В качестве исследуемого тестового покрытия было взята пленка TiV толщиной 1 мкм полученная методом ионного распыления. Теоретически характеристики данной пленки на износостойкость ниже, чем у пленки TiN.

Проведение эксперимента.

Методика испытаний. Для проведения опыта берется новое сверло без напыления диаметром 2.3 мм. Производится сверление 4000 отверстий. При этом ведется запись звука резания на фиксированном расстоянии от точки контакта сверла с поверхностью платы.

Параметры проведения эксперимента:

- происходит сверление пакета из 4-х плат из материала FR4 толщиной 1мм каждая;
- диаметр сверла ($D_{\text{сверла}}$) : 2.3 мм
- Частота (номинальная) : 40000 об/мин (666,7 об/сек)
- Скорость резания ($V_{\text{рез}}$) : 288,9 м/мин
- Подача: 1000 мм/мин
- Подача на один оборот (f): 0,025 мм/об

В аналогичных условиях производится эксперимент над сверлом с тестовым покрытием.

При сверлении 4000 отверстий происходит значительный износ режущих кромок сверла. Данный износ можно зафиксировать с помощью микроскопа (Рис.2,3). Изменение геометрии, нарушение симметрии режущих кромок является причиной увеличения момента сопротивления резанию и, как следствие, увеличивает значение падения частоты вращения шпинделя ΔF .

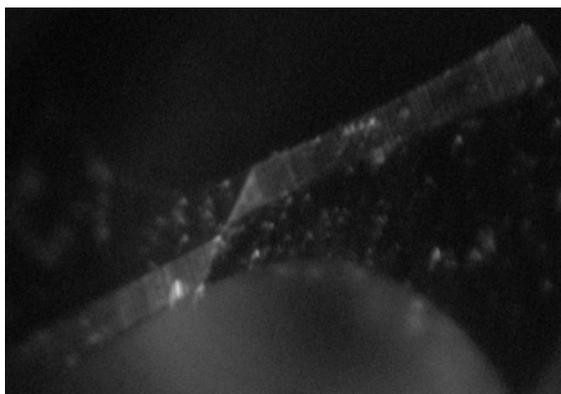


Рис.2 Новое сверло

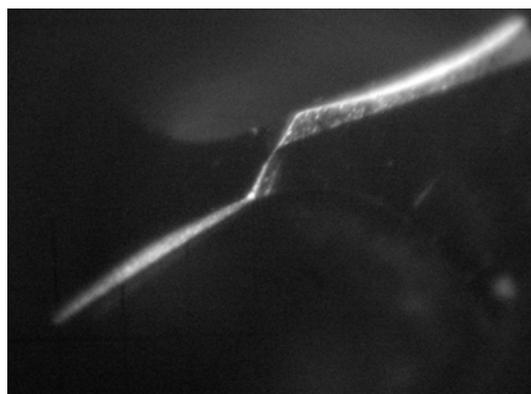


Рис.3 Сверло после 4000 отверстий

При обработке полученных звуковых файлов были получены значения параметров F_{xx} , $F_{мин}$, ΔF для каждого просверленного отверстия. Результаты записываются в таблицы. Находятся средние значения данных параметров F^*_{xx} , $F^*_{мин}$, ΔF^* для каждой сотни отверстий.

$$F^*_{xx} = \frac{\sum_{i=1}^n F_{xxi}}{n};$$

$$F^*_{мин} = \frac{\sum_{i=1}^n F_{мини}}{n};$$

$$\Delta F^*_{мин} = F^*_{xx} - F^*_{мин}.$$

Полученные результаты представлены в таблицах 1 и 2.

Табл.1.Результаты эксперимента для сверла без покрытия.

Кол-во отверстий	0	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
F^*_{xx} , об/мин	41344	41021	40536	40859	41021	40536	41021	41021	41182
$F^*_{мин}$, об/мин	39694	39058	38728	39319	39342	38278	38457	38916	38066
ΔF^* , об/мин	1650	1963	1808	1540	1679	2258	2564	2105	3116

Табл.2.Результаты эксперимента для сверла с тестовым покрытием.

Кол-во отверстий	0	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
F^*_{xx} , об/мин	41227	40505	40375	41220	41505	41405	41344	41505	41514
$F^*_{мин}$, об/мин	38476	37413	36911	37858	37698	37603	37083	37477	37245
ΔF^* , об/мин	2750	3091	3464	3362	3807	2933	4260	4028	4269

По с использованием полученных средних значений были построены графики (График 2.) динамики изменения величины ΔF с возрастанием количества просверленных отверстий.

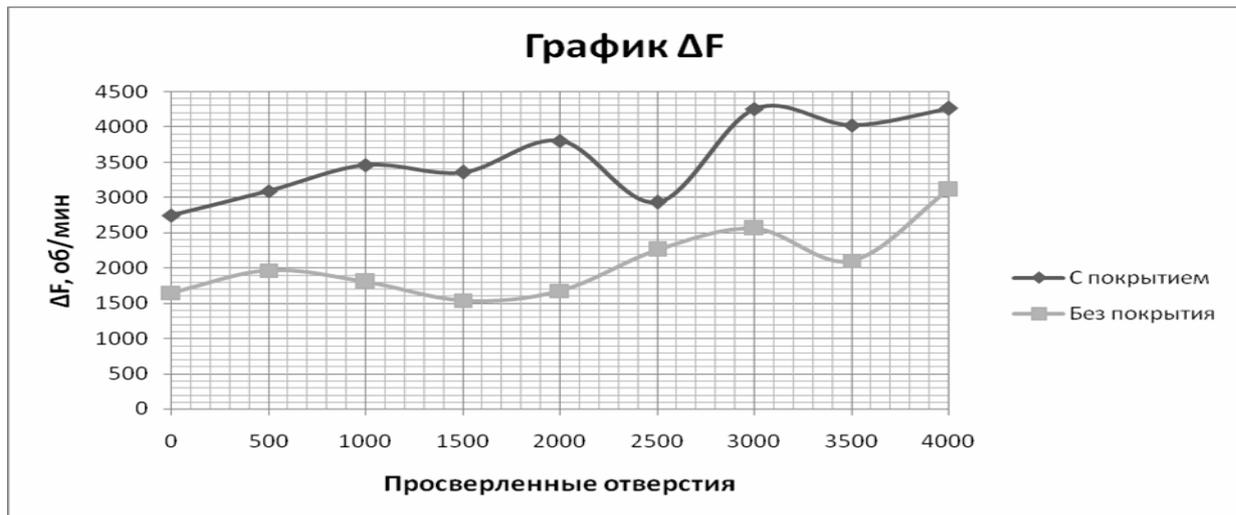


График 2. Зависимость падения частоты вращения шпинделя ΔF от количества просверленных отверстий.

Вывод. Исходя из предположения, что значение ΔF пропорционально моменту резания (M_p , Н/м), а момент резания зависит от степени износа инструмента, было определено, что это покрытие увеличивает момент сопротивления резанию в два раза и в 1,5 раза сокращает скорость износа V_i инструмента по сравнению со сверлом без покрытия.

$$M_p \propto \Delta F$$

$$\frac{M_{p1}}{M_{p2}} = \frac{\Delta F_1}{\Delta F_2} \approx 2$$

$$V_u = \frac{M_{p4000} - M_{p0}}{M_{p0}}$$

$$\frac{V_{u1}}{V_{u2}} \approx 1.5$$

где M_{p1} , M_{p2} – моменты резания для сверла без покрытия и с покрытием соответственно;

M_{p0} , M_{p4000} - моменты резания для нового сверла и сверла после 4000 отверстий соответственно.

Полученные результаты могут служить критерием при определении целесообразности использования упрочняющих покрытий, материалов, режимов резания.

Список литературы:

1. Семенов П.В. Технологии в производстве электроники: Справочник. - М.: Технологии, 2007. - С.377-410.
2. Clyde F., Coombs. Jr. Printed circuits handbook. – New York: McGraw-Hill, 1995. – С.18.1-18.29.
3. Макарьян Ю.А. Измерение износа режущего инструмента в автоматизированном процессе сверления// Вестник ДГТУ: Том 7, номер, 2007-6.