

Mariusz Niekurzak, Ewa Kubińska-Jabcoń

Wpływ procesu produkcji na jakość płytek drukowanych PCB dla branży motoryzacyjnej

JEL: L62. DOI: 10.24136/atest.2019.213.

Data zgłoszenia: 07.01.2020. Data akceptacji: 08.01.2020.

W artykule omówione zostały zastosowania oraz charakterystyka płytek drukowanych, a także zasady ich projektowania oraz ograniczenia technologiczne. Wykorzystanie zamieszczonych informacji pozwoli na wyeliminowanie wyjaśniania projektów na etapie przygotowywania dokumentacji produkcyjnej oraz optymalizację kosztów produkcji PCB przy zachowaniu niezawodności i stałej wysokiej jakości. Ponadto w artykule, przedstawiono zależności kosztów produkcji od ilości zastosowanych warstw oraz wskazano przyszłościowe metody produkcji płytek PCB.

Słowa kluczowe: płytka drukowana, proces produkcyjny, motoryzacja.

Wstęp

Współcześnie każde przedsiębiorstwo produkcyjne zorientowane jest na wytwarzanie produktów o wysokiej jakości zachowując przy tym akceptowalną przez klienta cenę. Wynika to z nieustannie zmieniającego się rynku oraz rosnącej konkurencji. Potrzeby użytkowników wraz z upływem czasu ulegają zmianom, zatem należy świadczyć produkty dopasowane pod względem wartości do aktualnych oczekiwań nabywców. W związku z zachodzącymi przemianami w przedsiębiorstwach podejmowane działania mają na celu nieustanne doskonalenie każdego działu w firmie. Wdrażane usprawnienia są możliwe do uzyskania tylko dzięki zastosowaniu szeregu nowoczesnych metod sprzyjających poprawie jakości oraz udoskonaleniu metod zarządzania. Istotne są regularnie podejmowane działania mające przyczynić się do usprawnienia procesu produkcyjnego, co przekłada się na zyski w firmie.

W płytkach drukowanych wykorzystywanych w motoryzacji, szczególną uwagę należy zwrócić na jej niezawodność, usterki spowodowane błędami w procesie produkcji są niedopuszczalne. W dzisiejszych czasach liczba zamawianych płytek dla tej branży nieustannie wzrasta, ze względu na ilość elektroniki znajdującą się na wyposażeniu nowoczesnych aut. W artykule przeprowadzono badania dotyczące jakości płytek, które będą miały na celu poprawę niezawodności opisywanego produktu. Szczególna uwaga została skupiona na procesie produkcyjnym obwodów drukowanych. Przeprowadzone zostały analizy porównujące płytki o różnej ilości warstw opisujące ich charakterystykę oraz zastosowanie.

1. Budowa i korzyści z zastosowania płytek PCB

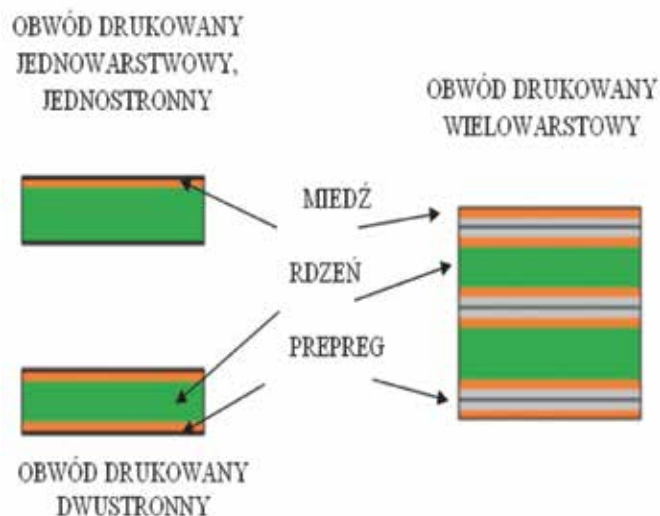
Płytkę PCB (z ang. *Printed Circuit Board*), to płytka obwodu drukowanego wykonana z materiału izolacyjnego, dzięki której istnieje możliwość wykonania połączeń elektrycznych. Wykonanie płytki PCB służy do otrzymania układów scalonych oraz innych elementów elektronicznych [1]. Praktycznie każde urządzenie elektryczne wykorzystuje zieloną płytkę ukrytą w obudowie. Proces produkcji płytek PCB rozpoczyna się od odpowiedniego zaprojektowania rozmieszczenia ścieżek przez wyspecjalizowanych inżynierów, dopiero w kolejnych etapach można przystąpić do ich

wytworzenia i testów. Płytki drukowane pełnią kilka różnych funkcji, jednak do najważniejszych można zaliczyć mocowanie elektronicznych podzespołów oraz realizację połączeń elektrycznych pomiędzy poszczególnymi podzespołami. Na rysunku 1 przedstawiono przykładowy obwód drukowany płytki PCB, a na rysunku 2 jego budowę w zależności od ilości zastosowanych warstw.

Nowoczesny sprzęt elektroniczny nie może istnieć bez płytek PCB. Stosowanie ich jest bardzo popularne, ponieważ niesie za sobą szereg zalet płynących z użytkowania. Produkt ten nie posiada aktualnie alternatywy oraz w najbliższej przyszłości nie jest planowane zastąpienie płytek PCB innym podzespołem, który pozwoliłby spełnić te same funkcje. Do głównych zalet płytek PCB można zaliczyć m.in.: optymalne wykorzystanie przestrzeni, bardzo łatwą identyfikację poszczególnych elementów, redukcję ciężaru



Rys. 1. Płytkę PCB [1]



Rys. 2. Budowa płytki PCB [1]

przedmiotu, uproszczenie analiz diagnostycznych, niskie koszty wyprodukowania, zmniejszenie czasu kontroli i testowania obwodów oraz masową produkcję. Pomimo licznych pozytywnych aspektów, płytki drukowane posiadają również wady, m.in.: trudność w ich naprawie, duże skupienie elementów na małej przestrzeni, podatność na udary w przypadku płaskiego kształtu. Współcześnie nieustannie prowadzi się działania mające na celu skuteczne i długotrwałe eliminowanie wad w celu zwiększenia niezawodności obwodów drukowanych.

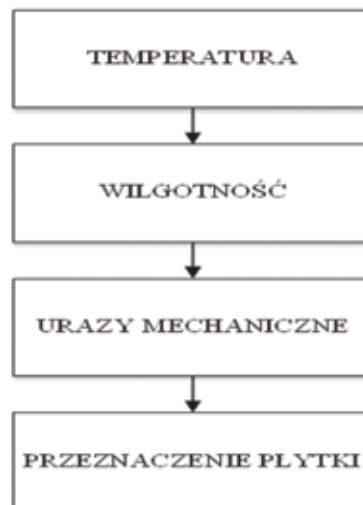
2. Proces produkcji płytek PCB i kryteria doboru rozwiązań konstrukcyjnych

Proces produkcji płytek PCB jest złożony i obejmuje bardzo wiele etapów w zależności od rodzaju płytki. Na rysunku 3 przedstawiono schemat procesu produkcji płytek PCB stosowanych w przemyśle motoryzacyjnym.

Pierwszym i podstawowym krokiem w procesie wytwarzania PCB jest przygotowanie dokumentacji technicznej, dobór materiału na płytkę i zaprojektowanie obwodu w specjalnie do tego przeznaczonych programach komputerowych. Po konsultacji z wykonawcą obwodów oraz redukcji ewentualnych błędów można przystąpić do ich produkcji. Proces ten rozpoczyna się od przygotowania powierzchni laminatu. W tym celu należy dokładnie go oczyścić i odtłuścić z wszelkich zanieczyszczeń, po czym nawierca się w nim otwory pod podzespoły elektryczne. Dokładne wykonanie tego kroku pozwoli na wyeliminowanie wielu potencjalnych wad w dalszych etapach produkcji. Kolejno obwody drukowane poddaje się metalizacji i kąpielom chemicznym, dzięki czemu na płytce uzyskuje



Rys. 3. Schemat procesu produkcji PCB [2]



Rys. 4. Kryteria wyboru rozwiązania konstrukcyjnego płytki drukowanej

się wymaganą sprawność elektryczną. Podstawowym składnikiem nanoszonym na laminat niezależnie od jego przeznaczenia jest miedź, jako materiał przewodzący o wysokiej konduktywności. Równoległe z procesem metalizacji wykonywane są klisze, które mają za zadanie odzwierciedlić poszczególne warstwy obwodu na powierzchni płytki. W dalszych etapach płytki ponownie poddaje się kąpielom chemicznym celem uzyskania wyższej sprawności, po czym wszelkie warstwy obwodu łączy się w prasie hydraulicznej i poddaje obróbce wykończeniowej w celu utworzenia płytki wielowarstwowej, tj. frezowaniu i rylowaniu. Ostatnim etapem procesu produkcji jest nanoszenie za pomocą sitodruku obrazu z wcześniej wywołanych klisz. Po otrzymaniu gotowej płytki następuje sprawdzenie jakości otrzymanego komponentu. Wyrób tylko w pełni sprawny może trafić do zamawiającego.

Wybór optymalnego laminatu zależy od wielu czynników (rys. 4), na jakie narażona może być płytka PCB w dalszym jej zastosowaniu.

Dobierając materiał podłoża płytki należy zwrócić uwagę na warunki w jakich komponent będzie eksploatowany, a także wymagania odnośnie jego parametrów i sposobu montażu. Powszechnie używa się laminatów standardowych oraz laminatów poliestrowych. Jeżeli płytka będzie użytkowana długotrwałe w warunkach wysokiej wilgotności czy temperatury należy dobrać laminaty np. poliamidowo szklane G-10 czy FR-6 z metalowym podłożem lub rdzeniem umożliwiające pracę w temperaturze do 200 °C. Gdy warunki pracy będą szczególnie wymagające należy na płytce wykonać powłokę zabezpieczającą w celu poprawienia jej wydajności. Minimalny czas produkcji prototypów płytki wynosi 3 dni, natomiast standardowy czas produkcji średnio-zaawansowanych obwodów drukowanych to 4-6 tygodni.

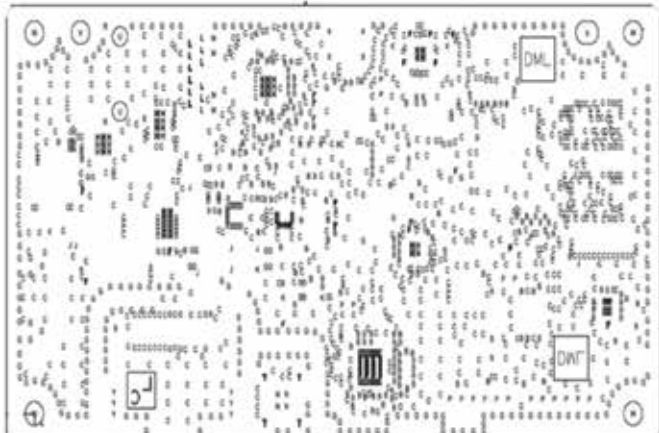
3. Zastosowanie płytek PCB w branży motoryzacyjnej

Rzeczywisty rozwój technologii multimedialnych, jak i względy bezpieczeństwa zapewniane przez nowoczesne koncerny samochodowe jest bardzo znaczący. Większość samochodów posiada w dzisiejszych czasach wiele multimedii, bardzo bogate wyposażenia oraz wiele czujników bezpieczeństwa itp. Idealnym przykładem są samochody autonomiczne zdolne do bezpiecznego przemieszczania się, pozbawione osoby pełniącej kontrolę nad samochodem, tj. kierowcy. Testy wykazują, iż samochody autonomiczne sterowane przez komputery powodują zdecydowanie mniej wypadków w porównaniu z samochodami prowadzonymi przez kierowców, którzy ulegają zmęczeniu i popełniają błędy [4]. Istotne,

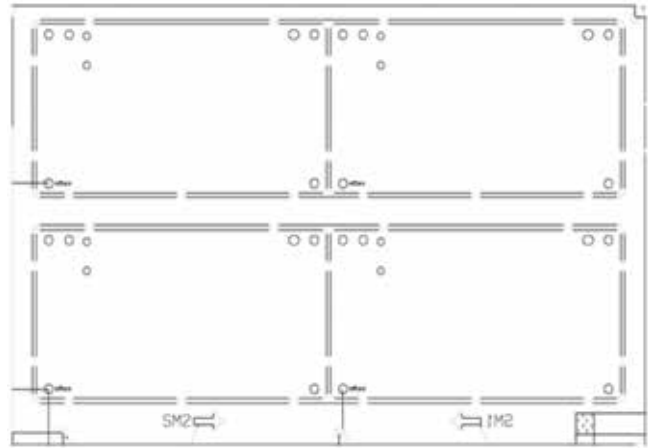
jest więc, że przy wyborze dostawców dla części samochodowych bardzo ważna jest kwestia niezawodności oraz spełnienia wszelkich norm jakościowych. Do prawidłowego przekazywania danych oraz połączeń elektrycznych z kolei niezbędne są płytki PCB. Dla uzyskania wysokiej gwarancji jakości producent płytek PCB w branży motoryzacyjnej powinien posiadać certyfikat ISO/TS 16949 - ISO/TS 16949:2002, tj. specyfikacja techniczna ISO, która ujednoliciła istniejące amerykańskie (QS-9000), niemieckie (VDA6.1), francuskie (EAQF) i włoskie (AVSQ) normy systemów jakości dla branży motoryzacyjnej. Normy te wraz z normą PN-EN ISO 9001:2015-10, ISO/TS 16949:2009 określają wymagania wobec systemu jakości dla produktów z zakresu projektowania i/lub opracowywania, produkcji, instalacji i serwisowania w przemyśle motoryzacyjnym. Poza tym istnieją także indywidualne wymagania klienta, które muszą zostać spełnione.

Podstawowe korzyści płynące z wdrożenia wymagań systemu ISO/TS 16949 to przede wszystkim elastyczne dopasowanie do wymogów koncernów z branży motoryzacyjnej. Ponadto, ma to pozytywny wpływ na wizerunek; tylko nieliczne przedsiębiorstwa spełniające rygorystyczne wymagania mogą posiadać dany certyfikat, co ma pozytywny wpływ przy wyborze dostawcy [12-14]. Kolejnym aspektem jest budowanie świadomości wśród pracowników na temat wpływu ich indywidualnych działań na system zarządzania jakością i łańcuch dostaw w przedsiębiorstwie. Tylko komponenty produkowane przez firmy spełniające wymogi standardów międzynarodowych wytwarzają swoje produkty o najwyższej klasie jakości, co pozytywnie wpływa na efektywność i rentowność przedsiębiorstwa, unikając tym samym pojawiających się defektów swoich produktów i reklamacji.

Produkcję części motoryzacyjnych klasyfikuje się w dwóch kategoriach. Pierwsza z nich odpowiada za bezpieczeństwo, np. za automatyczne zatrzymanie pojazdu w razie niebezpiecznej sytuacji, systemy związane z układem kierowniczym, mechanizmy poduszek powietrznych lub wspomaganie parkowania pojazdu itp. Drugą kategorię stanowi rozrywka, podzespoły takie jak radia, kamery, dodatkowe wyświetlacze oraz inne komponenty wchodzące w skład wyposażenia pojazdu, które są dodatkami nieodpowiadającymi bezpośrednio za bezpieczeństwo podróżnych, lecz przyczyniają się do przyjemniejszej podróży. W przypadku obu kategorii inżynierowie projektujący rysunek płytki oraz określający materiały wykonania, a także rodzaj wykończenia dobierają substraty o najwyższej trwałości i niezawodności. Na rysunku 5 przedstawiono przykładowy rysunek techniczny płytki PCB produkowanej dla samochodu Land Rover L663 zastosowanej w kamerze rozpoznawania gestów. Na jednym panelu występują 4 jednakowe płytki ułożone w układzie



Rys. 5. Rysunek techniczny płytki PCB [5]



Rys. 6. Rysunek techniczny złożenia panelu z 4 płytek PCB [6]

widocznym (rys. 6). Bardzo często np. w radiach samochodowych występują dwie płytki PCB – główna oraz mniejsza pomocnicza.

Do tego typu zastosowań wykorzystuje się płytki ośmiowarstwowe z materiału FR-4, które posiadają wiele połączeń i otworów między warstwami. Dzięki tym otworom możliwy jest montaż np. kondensatorów oraz innych podzespołów. Koszt wykonania jednej gotowej płytki przy masowej produkcji wynosi ponad 4 USD.

4. Badanie jakości płytek PCB

Dzięki pełnej komputeryzacji płytki PCB mogą być poddawane ciągłym kontrolom podczas procesu produkcji, a wyniki testów każdej partii mogą być przekazywane do zleceniodawcy. Płytki stosowane w przemyśle motoryzacyjnym muszą być niezawodne, czyli w pełni sprawne elektrycznie oraz spełniać zaawansowane normy jakościowe. Oczywiście jest, że muszą spełniać założone w projektach wymiary i podstawowe wymagania techniczne. Przedstawiciele firm zlecających produkcję płytek PCB podwykonawcom przeprowadzają okresowe audyty, sprawdzając warunki produkcji oraz spełnianie ustalonych założeń. Bieżąca kontrola jakości przeprowadzana na każdym etapie produkcji pozwala na duże oszczędności [7]. Łatwiej i taniej wyeliminować wady dostrzeżone na poszczególnych etapach produkcji, niż po jej zakończeniu, kiedy to zniszczeniu może ulec cała partia wyprodukowanego materiału. Badania jakości przeprowadzane są zarówno u producenta, jak i u podmiotu zamawiającego. Jakość wyrobu końcowego szczególnie zależy od poprawności przeprowadzonego procesu produkcji oraz skuteczności kontroli międzyoperacyjnych. Do podstawowych badań jakości płytki należy m.in. [8]:

- ♦ badania termiczne – poprzez narażenia płytek na wilgoć, szoki termiczne, pomiary rezystancji powierzchniowej izolacji (SIR) w komorze klimatycznej;
- ♦ badania zgodności z dyrektywą RoHS2 – sprawdzenie czy płytki nie zawierają szkodliwych substancji zakazanych;
- ♦ badanie zawartości zanieczyszczeń jonowych;
- ♦ badanie odporności na udar cieplny;
- ♦ badania optyczne na różnych etapach produkcji.
- ♦ zgład (mikrosekcja) – niszczące mikroskopowe badanie jakości nałożonych na siebie powłok. Może być wykonany np. dla konkretnego otworu;
- ♦ badanie odporności na rozwarstwienie płytek drukowanych;
- ♦ sprawdzenie poprawności wykonania połączeń lutowanych;
- ♦ analiza struktury wewnętrznej płytek PCB na zgładach metalograficznych;
- ♦ analizy rentgenowskie;

- ♦ pomiary grubości warstw;
- ♦ analiza jakości stopów lutowniczych biorąc pod uwagę zwilżalność i napięcie powierzchniowe.

4.1. Kontrola jakości materiałów podłożowych (laminatów)

Główną wadą płytek PCB są defekty wynikające z błędów zastosowanego laminatu, należą do nich m.in. [9]:

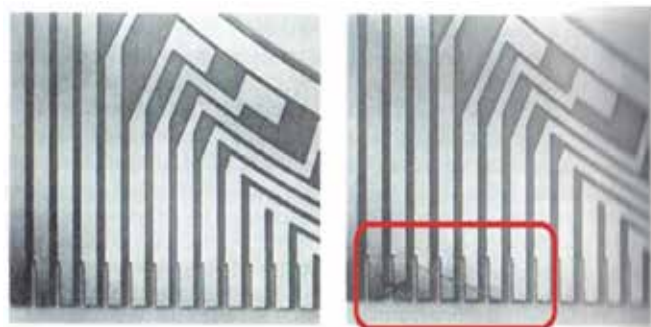
- ♦ znaczne odkształcanie płytek PCB podczas lutowania na fali lub przetapiania;
- ♦ rozwarstwienie laminatu podczas cięcia oraz wiercenia;
- ♦ nieodpowiednia jakość otworów po wierceniu (np. za duża chropowatość oraz smugi żywicy wewnątrz otworów);
- ♦ nieodpowiednia przyczepność miedzi w otworach, którą zwykle można dostrzec dopiero podczas przetapiania lub lutowania;
- ♦ nieodpowiednia przyczepność folii miedzianej do podłoża;
- ♦ dziury lub pęcherze gazowe w laminacie;
- ♦ nierównomierne wytrawianie miedzi na fragmentach powierzchni laminatu;
- ♦ nieodpowiednie własności izolacyjne gotowej płytki drukowanej.

Dzięki rozwojowi w zakresie laminatów wymienione wyżej wady są minimalizowane poprzez dobieranie jak najlepszych materiałów oraz spełnienie wszelkich wymagań warunków produkcyjnych. W laminatach epoksydowo-szklanych główną przyczyną nadmiernego odkształcenia płytek i rozwarstwiania laminatów w czasie wiercenia lub cięcia jest niedostateczne zwilżenie włókien szklanych przez żywicę. Może ono również powodować powstawanie w laminacie dziur i pęcherzy oraz stanowić główną przyczynę złej jakości otworów i niskiej przyczepności miedzi. Pęcherze powstają również w przypadku niedostatecznego utwardzenia żywicy oraz rozkładu w temperaturze lutowania związków zmniejszających palność laminatu. Smugi żywicy w otworach zazwyczaj są spowodowane nadmiarem stosowanej żywicy. Zła przyczepność folii miedzianej najczęściej wynika z niewłaściwej obróbki jej powierzchni lub ze zbyt małej ilości żywicy na powierzchni. Jeżeli złe własności izolacyjne laminatów występują przed ich obróbką chemiczną, to jest to zazwyczaj wada użytych materiałów albo procesu ich utwardzania (pozostawienie w laminacie nadmiaru zjonizowanych składników, które nie wzięły udziału w reakcji). Jeśli natomiast uwidaczniają się one w gotowej płytce drukowanej, to jest to spowodowane najczęściej absorpcją roztworów wodnych w czasie procesu technologicznego. Dzieje się to wówczas, gdy włókno szklane nie zostało dostatecznie zwilżone przez żywicę. Nierównomierne wytrawienie miedzi, występujące na niektórych obszarach płytki, może być spowodowane złą jakością folii miedzianej (folia porowata) [10]. W czasie laminowania folii z podłożem pewna, nawet niewielka ilość żywicy, może przecisnąć się przez pory, a następnie może być rozprowadzona po jej powierzchni podczas szrotkowania. Wyeliminowanie wszelkich przyczyn powstających wad oraz poszukiwanie alternatyw pozwoli na oszczędności finansowe przedsiębiorstw i oferowanie wyrobów gotowych o jak najwyższej jakości.

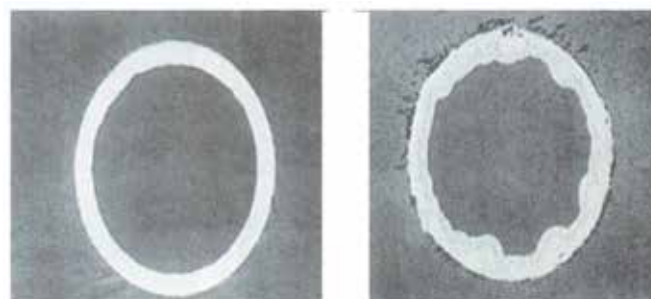
4.2. Kontrola jakości płytek drukowanych

Poniżej przedstawiono kilka podstawowych zasad jakie powinna spełniać płytka przeznaczona do użytkowania [11]:

- ♦ płytka nie może być zanieczyszczona np. poprzez kurz lub inne pyły,
- ♦ dodatkowo płytka nie powinna być zanieczyszczona np. poprzez smary epoksydowe stosowane przy produkcji, znajdujące się w niepożądanych miejscach;
- ♦ pola kontaktowe czyli pady nie mogą zawierać odcisków palców;



Rys. 7. Przykład wady mechanicznej [15]



Rys. 8. Wada powstała na skutek niedokładnej metalizacji [15]

- ♦ krawędzie płytki powinny być gładkie bez zadziorów itd.;
- ♦ warstwa opisowa na płytce powinna być czytelna i przejrzysta,
- ♦ wszelkie powłoki padów jak HASL (zanurzeniowe cynowanie) czy ENIG (złocenie chemiczne) powinny całkowicie zwilżać powierzchnie przewodzące bez luk czy zgrubień.

Na rysunku 7 i 8 przedstawiono przykładową wadę mechaniczną, tj. wgłębienie i chropowatość. Wady te powstały przez nie odpowiednio przeprowadzoną mineralizację i wskutek otarcia o część obcą podczas procesu produkcji.

4.3. Dokumentacja i testy u zamawiającego

Płytki PCB dostarczona do dostawcy powinna zawierać dokumentację w postaci raportu z przeprowadzonej kontroli jakości. Przykładowy wynik testów z kontroli jakości zamieszczono

Tab. 1. Wyniki badań wyprodukowanej płytki PCB

Lp.	Specyfikacja [mm]	Tolerancja [mm]	Aktualna wartość	Wynik
1	0,2	±0,08	0,17	Zaliczony
2	0,33	±0,08	0,325	Zaliczony
3	0,4	±0,08	0,37	Zaliczony
4	0,5	±0,08	0,525	Zaliczony
5	0,65	±0,08	0,65	Zaliczony
6	0,7	±0,08	0,736	Zaliczony
7	4,1	±0,08	4,104	Zaliczony

Tab. 2. Wyniki badań wyprodukowanej płytki PCB

Własność	Specyfikacja	Pomiar
Inspekcja wizualna	Brak obcych ciał, powierzchnie wolne od maski lutowniczej,	100 % sprawdzenia, brak defektów
Grubość	1,63 + 0,17/-0,23 mm	1,702 mm
Grubość miedzi	min. 11,4 μm	15,0 μm
Grubość cyny	min. 1,0 μm	1,062 μm

w tabelach 1 i 2. Całościowy raport zawiera zdecydowanie więcej wyników oraz pomiarów.

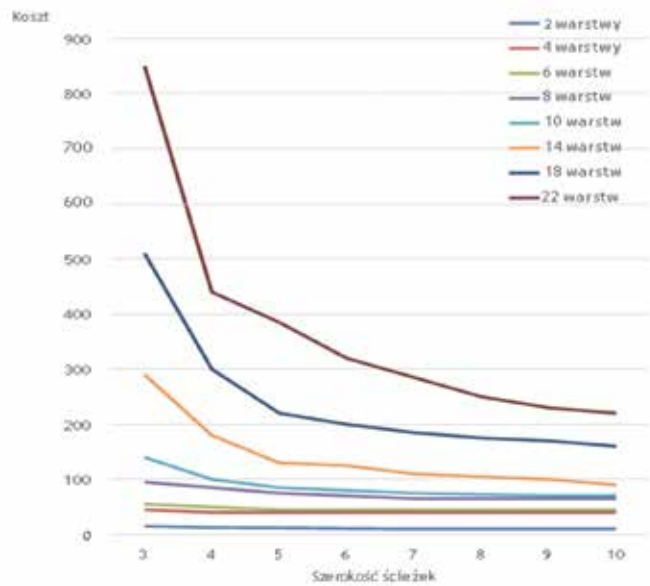
Obwody drukowane stosowane w przemyśle motoryzacyjnym poza spełnieniem podstawowych wymagań jakościowych muszą dodatkowo pozytywnie przejść testy na zamontowanym konkretnym podzespolu. Podstawowym kryterium oceny jest PPAP (ang. *Production Part Approval Process*). Nie tylko obwody drukowane, lecz każda część musi uzyskać PPAP w przemyśle motoryzacyjnym, który wydawany jest na podstawie opinii inżynierów elektrycznych oraz jakościowych. Uzyskanie PPAP oznacza dopuszczenie części do produkcji seryjnej. Dostawca (producent) potwierdza w ten sposób, że dokładnie zrozumiał wszelkie wymagania oraz zobowiązuje się dostarczać wyroby do seryjnej produkcji o jednakowej jakości. Dodatkowo dostawca podpisuje Gwarancję Przedłożonej Części – PSW (z ang. *Part Submission Warrant*), który oznacza oficjalną akceptację wszelkich wymagań klienta. Dokumentacja PPAP jest bardzo rozbudowana i składa się z następujących elementów [16]:

- ♦ zapis projektowy (rysunek techniczny) – zawierający numer części, datę, nazwę organizacji,
 - ♦ dokumenty dotyczące zmian technicznych,
 - ♦ zatwierdzenie techniczne klienta,
 - ♦ FMEA (z ang. *Failure mode and effects analysis*) projektu,
 - ♦ schematy przebiegu procesu,
 - ♦ FMEA procesu,
 - ♦ wyniki pomiarowe,
 - ♦ wyniki badań materiałów i osiągnięć,
 - ♦ wstępne badania procesu,
 - ♦ badania analizy systemów pomiarowych,
 - ♦ dokumentacja laboratorium akredytowanego,
 - ♦ plan kontroli,
 - ♦ dowód przedłożenia części PSW,
 - ♦ raport zatwierdzenia wyglądu,
 - ♦ lista kontrolna wymogów materiałów masowych,
 - ♦ próbka wyrobu, wzorzec odniesienia,
 - ♦ specyficzne wymagania klienta.
- Ponadto, PPAP składa się z pięciu poziomów:
- ♦ poziom pierwszy – polega na przedstawieniu klientowi wyłącznie gwarancji PSW oraz ewentualnego raportu zgodności wyglądu ze wzorcem,
 - ♦ poziom drugi – do dokumentu PSW dołączane są próbki produktu oraz wybrane dokumenty dotyczące przedstawionych wymagań,
 - ♦ poziom trzeci – jest poziomem domyślnym oraz oznacza kompletną dokumentację,
 - ♦ poziom czwarty – oznacza przekazanie gwarancji PSW, a pozostałe elementy są kompletowane zgodnie z wymaganiami klienta,
 - ♦ poziom piąty – oznacza dostarczenie gwarancji PSW, próbek produktu oraz kompletnych danych potwierdzonych przez oddział produkcyjny.

Można stwierdzić, iż spełnienie wszelkich wymagań przez dostawcę dla branży motoryzacyjnej jest czasochłonne i skomplikowane. Każda pojedyncza część musi zawierać rozbudowaną dokumentację, potwierdzającą jej jakość.

5. Zależność kosztu produkcji od ilości warstw

Element, który odgrywa najistotniejszą rolę w koszcie produkcji płytek PCB to ilość warstw. Zależna jest ona od stopnia skomplikowania obwodu drukowanego oraz występujących na niej połączeń. Na rysunku 9 przedstawiono zależność kosztu produkcji od



Rys. 9. Zależność kosztu produkcji od ilości warstw i szerokości ścieżek

ilości warstw oraz szerokości ścieżek. Z rys. 9 wynika, że koszt bardzo szybko rośnie zwiększając ilość warstw oraz zmniejszając szerokość ścieżek. Zależności te są ze sobą ściśle związane, ponieważ zmniejszając szerokość ścieżek na danej warstwie, można zastosować większą ilość połączeń, tj. zmniejszyć ilość zastosowanych warstw. W przemyśle motoryzacyjnych powszechnie stosowaną techniką jest modyfikacja projektu istniejącej w produkcji płytki PCB, celem oszczędności. Konstruktorzy mogą modyfikować przede wszystkim połączenia, ponieważ trudno jest zmniejszyć ilość zastosowanych warstw. Odchylenia te z biegiem czasu ulegają zmianie poprzez postęp technologiczny, jednak zależności pomiędzy nimi pozostają niezmiennie.

6. Kierunki przyszłościowe w produkcji płytek PCB

Powszechność stosowania obwodów drukowanych we wszelkich urządzeniach elektrycznych oraz duża wartość rynku niesie za sobą poszukiwanie nowoczesnych technologii, które wykorzystane w produkcji pozwolą obniżyć koszty oraz ulepszyć ich jakość. Te dwa czynniki są kluczowe przy poszukiwaniu dostawcy płytek PCB. Według danych raportu organizacji branżowej IPC z 2017 r. wartość rynku PCB wyniosła około 60 mld dolarów, a 90 % płytek PCB na świecie zostało wyprodukowanych w Azji. Według aktualnych trendów wymagania dotyczące płytek skupiają się na minimalizacji ich wielkości przy umiejscowieniu możliwie największej ilości ścieżek. Biorąc pod uwagę, iż ważnym kryterium przy wyborze dostawcy jest termin realizacji oraz fakt, iż na przełomie ostatnich lat ceny produktów z Azji i Europy się zbliżyły, coraz częściej wybierani zostają regionalni dostawcy. Efektywne zastosowanie narzędzi Lean może znacząco wspierać proces produkcji PCB poprzez zwiększenie wydajności, produktywności oraz zmniejszenie strat. Optymalny rozkład maszyn jest podstawowym elementem w celu uzyskania jak najlepszych wyników [17]. Zależne jest to od strategii przedsiębiorstwa tzn. czy jest nastawione na produkcję seryjną czy pojedyncze prototypy. Wiele największych na świecie firm dodatkowo specjalizuje się w płytkach prostych jedno i dwuwarstwowych, inne natomiast wykonują wyłącznie zaawansowane obwody wielowarstwowe. Podejście Lean promuje systematyczne doskonalenie w celu eliminacji takich strat. Zmniejszenie zapasów, poprawa efektywności

przepływu materiałów i optymalizacja stanowisk pracy może się przełożyć na redukcję potrzebnej powierzchni nawet o 50 %. W przypadku działalności nastawionej na mniejsze lub średnie partie dochodzi zagadnienie odpowiedniej elastyczności produkcji. W takim przypadku nieopłacalne jest wprowadzanie znaczących zmian na linii na potrzeby każdego zamówienia. Efektywną pracą maszyn i przepływ produktu można wtedy uzyskać, łącząc wiele zamówień w tym samym standardzie w jednej partii. Dodatkowo, nowoczesne urządzenia zawierają szereg narzędzi i opcji pozwalających w szybki i efektywny sposób dostosować proces do wymagań różnych projektów. Dzięki temu łatwiej jest uzyskać elastyczność operacji bez czasochłonnych przebrojeń. Poprzez postęp technologiczny na obwodach drukowanych będzie znajdowało się coraz więcej elementów. Więcej elementów oznacza więcej warstw, czyli wyższe koszty wytworzenia. Zatem w przyszłości możemy spodziewać się kilku usprawnień dotyczących produkcji PCB m.in. [18]:

- ♦ laserowego wykonywania otworów,
- ♦ mniejszych szerokości ścieżek oraz większego zagęszczenia połączeń na warstwach,
- ♦ laminatów o lepszych właściwościach fizycznych,
- ♦ szybszych terminów realizacji, również prototypów,
- ♦ ulepszonej kontroli jakości sprawdzających zawsze 100% połączeń,
- ♦ masowego zastosowania płytek giętkich.

Podsumowanie

Po analizie problemu można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Współcześnie produkowane płytki PCB nie posiadają zamienników spełniających tą samą funkcję. Rozwój skupia się na unowocześnieniu technologii produkcji, który pozwoli na zmniejszenie kosztów oraz zwiększenie precyzji celem uzyskania wyższej jakości. Doskonalenie odbywa się również przy poszukiwaniu nowych laminatów o lepszych właściwościach do produkcji obwodów drukowanych.
2. Ze względu na nienaprawialność obwodów drukowanych należy spełnić wszelkie wymagania podczas produkcji płytek PCB, aby uzyskać produkt finalny najwyższej jakości. Wszelkie niedociągnięcia w trakcie wytwarzania przynoszą dla firmy duże straty, dlatego bardzo ważną kwestią stanowi proces przygotowania oraz kontrola po poszczególnych etapach produkcji.
3. Poprawa jakości płytek PCB w najbliższej przyszłości skupi się głównie na ulepszeniu procesu wiercenia – zastąpienie wiertel techniką laserową. Pozwoli to na zwiększenie precyzji i jakości, wiercenie otworów o mniejszych średnicach oraz optymalizację kosztów.
4. Aktualnie w produkcji obwodów drukowanych dąży się do minimalizacji, która w produkcji oznacza zmniejszenie odległości między ścieżkami, zmniejszenie ilości warstw oraz zastosowanie jak największej liczby połączeń na mniejszej powierzchni.
5. Spełnienie wymagań jakościowych w branży motoryzacyjnej jest trudne i ogranicza większość producentów, którzy nie są w stanie spełnić wszelkich założeń z czego wynika niewielka ilość firm wykonujących zaawansowane płytki PCB o najwyższej jakości.
6. Producent obwodów drukowanych, jak i pozostałych komponentów elektrycznych powinien poszukiwać wszelkich usprawnień w celu wyprzedzenia konkurencji.

Bibliografia:

1. Antosz K., Lean Manufacturing doskonalenie produkcji, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2018.
2. Bugdol M., Systemy zarządzania jakością według normy ISO 9001:2015, Wydawnictwo Helion, Gliwice 2018.
3. Bukat K., Lutowanie bezołowiowe, Wydawnictwo BTC, Warszawa 2007.
4. Hadam P., Projektowanie systemów mikroprocesorowych, Wydawnictwo BTC, Warszawa 2004.
5. Hamrol A., Zarządzanie i inżynieria jakości, Wydawnictwo PWN, Warszawa 2017.
6. Kisiel R., Podstawy technologii montażu dla elektroników, wyd. 2, Wydawnictwo BTC, Legionowo 2012.
7. Kondarewicz J., Programowanie płytek obwodów drukowanych programem OrCAD – PCB, Lynx-SFT, Warszawa 1993.
8. Marks L., Caterina J., Printed Circuit Assembly Design. Wyd. 1. McGraw-Hill Professional, New York 2000.
9. Michalski J., Technologia i montaż płytek drukowanych, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1992.
10. Miller P., Systemowe zarządzanie jakością, Wydawnictwo Difin, Warszawa 2011.
11. Nawrocki W., Elektronika: układy elektroniczne, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2010.
12. Norma IPC-A-600H:2010 Kryteria dopuszczenia płyt drukowanych.
13. Norma PN-EN ISO 9001:2015-10, Systemy zarządzania jakością – Wymagania.
14. Polski Komitet Normalizacyjny, Systemy zarządzania jakością – Szczegółowe wymagania dotyczące stosowania ISO 9001:2000 w przemyśle motoryzacyjnym oraz w organizacjach produkujących części zamienne ISO/TS 16949, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2007.
15. Przybylski W., Inżynieria jakości w technologii maszyn, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2006.
16. Sałaciński T., Inżynieria jakości w technikach wytwarzania, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2016.
17. Siewiorek A., Kudyba A., Homa M., Sobczak N., Wpływ rodzaju pokrycia oraz stosowanego topnika na lutowalność płytek PCB stopem SAC305, Prace Instytutu Odlewnictwa, Kraków 2012.
18. Zieliński C., Podstawy projektowania układów cyfrowych, PWN, Warszawa 2012.

The impact of the production process on the quality of PCB in the automotive industry

The article discusses the applications and characteristics of printed circuit boards as well as design principles and technological limitations. The use of the information provided will eliminate the explanation of projects at the stage of preparation of production documentation and optimization of PCB production costs while maintaining reliability and constant high quality. In addition, the article presents the dependence of production costs on the number of applied layers and indicates the future methods of PCB production.

Keywords: tapped plate, production process, automotive.

Autorzy:

dr inż. **Mariusz Niekurzak** – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Zarządzania
dr inż. **Ewa Kubińska-Jabcoń** – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Zarządzania