

**Paweł Zieliński**  
**3M Poland Sp. z o. o., Nadarzyn**

## **INNOWACYJNY SPOSÓB MONTAŻU MAGNESÓW TRWAŁYCH WRAZ Z UŻYCIEM SYSTEMU IZOLACJI FIRMY 3M METODĄ DO UZYSKANIA WYSOKOSPRAWNYCH SILNIKÓW ELEKTRYCZNYCH**

### **INNOVATIVE ASSEMBLY OF PERMANENT MAGNETS ALONG WITH APPLICATION OF 3M INSULATION SYSTEM A WAY TO OBTAIN HIGH EFFICIENCY ELECTRIC MOTORS**

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono przykłady klejenia magnesów trwałych za pomocą samoprzylepnej folii, zamiast tradycyjnie używanych dwu- lub jednoskładnikowych klejów płynnych. To rozwiązanie jest bardzo korzystne dla producentów, ponieważ nie wymaga specjalnych mieszalników oraz redukuje czynności związane z repozycjonowaniem magnesów. Elastyczna izolacja o wysokiej przewodności cieplnej i dłuższej wytrzymałości napięcia poprawia jednocześnie efektywność silników.

**Abstract:** This article presents the method of bonding of permanent magnets by using adhesive film instead of traditionally used two part or one part liquid adhesives. This solution is very beneficial for manufacturers, because it does not require special metered mixing equipment and reduces need of operators work with magnet repositioning. Flexible insulation with high thermal conductivity and longer voltage endurance improve motors efficiency.

**Słowa kluczowe:** silniki elektryczne, magnesy trwałe, systemy izolacji  
**Keywords:** electric motors, permanent magnets, insulation systems

### **1. Wprowadzenie**

Zwiększające się zapotrzebowanie na energię elektryczną, powinno iść w parze z innowacjami, które pozwolą produkować bardziej energooszczędne maszyny. Przewiduje się wzrost wytwarzanej energii elektrycznej z 20200 TWh (2010) do 39000 TWh (2040) [1]. Szacowana globalna konsumpcja energii elektrycznej przez silniki wynosi około 46 % [2]. W wyniku analiz ekonomicznych oraz klimatycznych, zostały przyjęte normy ogólnoświatowe IEC dotyczące sprawności silników oraz etapowego wprowadzania wyższych klas sprawności. Zastosowanie magnesów trwałych daje widoczne korzyści w sprawności silników elektrycznych, tym samym ich odpowiednie, efektywne mocowanie będzie miało znaczenie dla producentów.

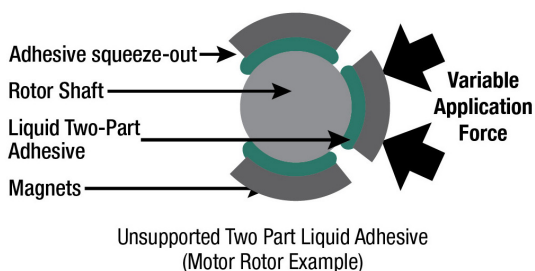
### **2. Mocowanie magnesów trwałych**

Obserwowanym zjawiskiem jest nasilenie procesu przechodzenia na maszyny z magnesami trwałymi, jako najlepszego sposobu spełnienia wymogów IE4 (super-premium efficiency). Produkcja silników z magnesami trwałymi również, powinno za tym iść usprawnianie ich pro-

dukcji oraz powtarzalność cyklu mocowania magnesów trwałych. Poniżej podano specyfikację i wymogi dotyczące typowej, najczęściej spotykanej metody mocowania za pomocą jedno lub dwuskładnikowych systemów adhezyjnych.

- kontrolowanie ilości dozowanego kleju,
- poprawne umiejscowienie magnesów,
- utrzymanie poprawnego ułożenia,
- zachowanie równej grubości spoiny,
- potrzeba poprawek, repozycjonowania,
- odrzuty produkcyjne,
- sprzęt pomiarowo, mieszający do kleju.

Jak widzimy, kilka czynników ma wpływ na odpowiednią aplikację magnesów za pomocą kleju, który jest dawkowy przez dość skomplikowany park maszynowy. Maszyna ta musi być odpowiednio dokładnie czyszczona i przygotowywana, by uzyskać powtarzalność procesu oraz aby zachować wytyczone parametry spoiny. Dodajmy jeszcze informacje o szkodliwości dla zdrowia człowieka takich systemów adhezyjnych i wynikającej z tego, potrzebie zastosowania środków ochrony indywidualnej.



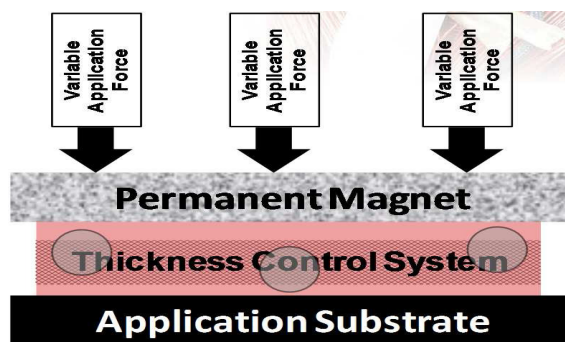
Rys. 1. Przykład użycia dwuskładnikowego kleju

Analizując powyższe wymagania, innowacyjną odpowiedzią i rozwiązaniem jednocześnie, jest zastosowanie filmu z naniesioną żywicą epoksydową B-stage, budową zbliżoną do taśmy dwustronnie klejącej. Rozwiązanie to znacznie usprawnia proces mocowania magnesów trwałych przy produkcji silników. W porównaniu do niedogodności systemów adhezyjnych, w przypadku zastosowania wspomnianego filmu otrzymujemy przeciwstawne aspekty, czyli zalety. Podsumowując, jest to solidny, trwały sposób mocowania magnesów trwałych przez cały okres użytkowania silnika. Korzyści są następujące:

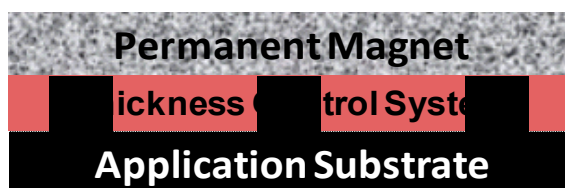
- nie jest wymagany skomplikowany park maszynowy,
- prosta aplikacja manualna, lub maszynowa,
- postać rolki taśmy,
- docięte die-cut pod wymiar,
- przechowywanie w temperaturze otoczenia,
- niwelowanie małych niedoskonałości powierzchni,
- utwardzanie w typowym procesie produkcji,
- utrzymywanie zakresu mocowania,
- system wysokiej lepkości,
- nieszkodliwość zdrowotna,
- minimalny odpad,
- kontrola grubości na całej powierzchni.

Do utwardzenia wymagane jest zastosowanie podwyższonej temperatury, by uzyskać maksymalną odporność na siły ścinające.

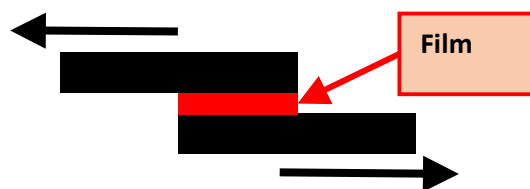
Kleje, systemy adhezyjne są klasyfikowane jako strukturalne i są stosowane tam, gdzie wymagana jest znaczna wytrzymałość mechaniczna złącza, osiągająca 1000 psi wartości siły ścinającej.



Utwardzanie

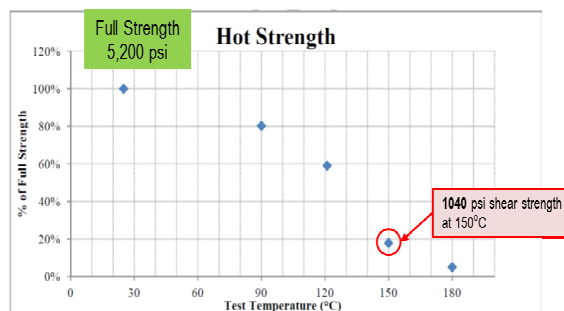


Rys. 2. Proces utwardzenia i kontroli grubości



Rys. 3. Siła ścinająca działająca na film

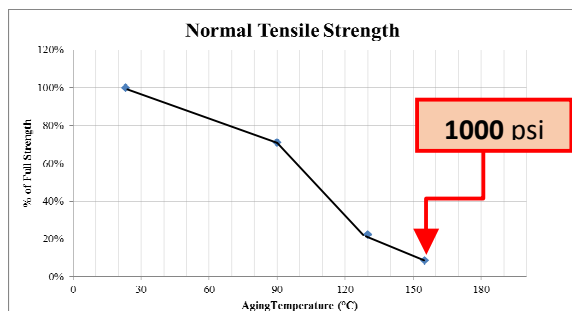
Na rysunkach widać, że maksymalna, działająca na film siła ścinająca wynosi 5200 psi, wraz ze wzrostem temperatury siła ścinająca maleje do 1040 psi przy 150°C, tym samym cały czas zapewnione jest stabilne mocne połączenie powierzchni.



Percentage of full overlap shear strength is reduced when tested at elevated temperatures. Full strength overlap shear strength on steel at room temperature (23°C) is ~5,200 psi.

Rys. 4. Siła ścinająca w zależności od temperatury

Poddając film typowym badaniom na wytrzymałość na zrywanie, otrzymujemy wartość siły zrywającej 1000 psi przy temperaturze około 150°C.



Rys. 5. Siła zrywająca w zależności od temperatury

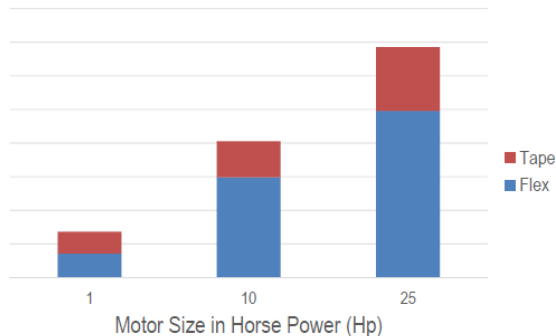
Dodatkowym atutem jest odporność opisanego systemu adhezyjnego na różne płyny agresywne jak benzyna, olej silnikowy, płyn niezamarzający, potwierdzona testem polegającym na zanurzeniu w owych fluidach przez 1000h, a następnie badaniu na siły ścinające. Wyniki siły ścinającej zamieszczono poniżej.

Tabela 1. Odporność na fluidy

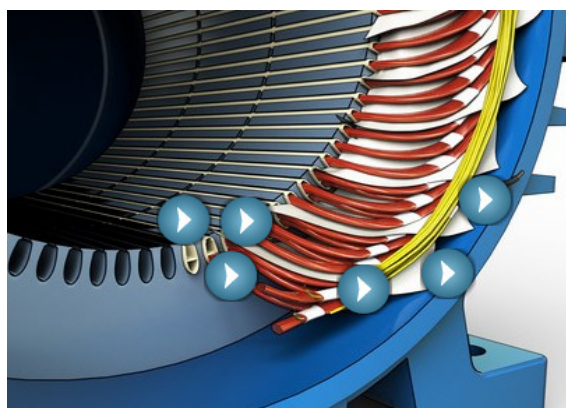
Benzyna	4692 psi
Olej Mobil 1®	5477 psi
Olej przekładni automatycznej	5344 psi
Olej silnikowy	4828 psi
Płyn niezamarzający	4085 psi

### 3. System izolacji w silnikach

Rynek silników elektrycznych i generatorów rozwija się bardzo szybko. Wymogi regulacyjne dotyczące efektywności i sprawności maszyn elektrycznych muszą iść w parze, ze zmianami projektowymi i produkcyjnymi. W odpowiedzi na zapotrzebowanie na silniki, mniejsze, lżejsze lub o wyższej sprawności należy zastosować materiały izolacyjne lepszej jakości. System izolacji o wysokiej przewodności cieplnej, większej odporności na wyładowania niezupełne, koronowe oraz klasyfikowany do pracy w wyższej temperaturze stanowi nieodzowny aspekt zbudowania energooszczędnej jednostki. W procesie produkcji istotnym jest również sposób stosowania, posługiwania się danym materiałem czyniąc owy proces bardziej efektywnym, czy to w aplikacji manualnej czy maszynowej. Zastosowanie w układach izolacyjnych silników papierów i laminatów o wysokiej zawartości części nieorganicznych, charakteryzujących się dobrą odpornością na wyładowania niezupełne. Typowe zastosowanie w silnikach to laminaty czystych papierów z folią PET, które wykazują się trwałością, niezawodną izolacją, doskonałą absorpcją lakieru.



Rys. 6. Stosunek ilości materiałów izolacyjnych w silnikach elektrycznych różnej mocy



Rys. 7. Przykłady użycia izolacji papierowej

### 4. Podsumowanie

Globalne ustalenia kierują się ku zmniejszeniu konsumpcji energii elektrycznej, gdzie prawie połowę zużywają właśnie różnego rodzaju silniki elektryczne. Proces budowy wysokosprawnych silników postępuje wraz ze zmianami projektowymi, produkcyjnymi, finalnie też ze wzrostem kosztów samych urządzeń. Już teraz priorytetem powinno być dobranie lepszej klasy materiałów do produkcji, które dzięki wysokim parametrom elektrycznym, mechanicznym sprawią, że silniki będą pracować dłużej, ciszej, sprawniej. Wybór pada na materiały, które usprawniają proces produkcji, są łatwo aplikowalne, oszczędzają czas. Dobór potwierdzony rzetelnymi badaniami pozwoli na sprawne odnalezienie się producentów silników elektrycznych w nowej sytuacji rynkowej.

### 5. Literatura

- [1].[http://www.eia.gov/forecasts/archive/ieo13/more\\_highlights.cfm](http://www.eia.gov/forecasts/archive/ieo13/more_highlights.cfm).
- [2].[http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/ee\\_for\\_electricsystems.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/ee_for_electricsystems.pdf)
- [3].[http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en\\_US/ElctricalOEM/Home/](http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en_US/ElctricalOEM/Home/).