

Heinz J. Rausch
Fortrac AG, Szwajcaria

SYSTEMY IMPREGNACJI – PORÓWNANIE LAKIERÓW I ŻYWIC POD WZGLĘDEM EKONOMICZNYM, EKOLOGICZNYM I TECHNICZNYM

IMPREGNATION SYSTEM – ECONOMICAL, ECOLOGICAL AND TECHNICAL COMPARISON BETWEEN VARNISHES AND RESINS

Abstract: the reason why nowadays the use and consumption of varnish or solvent-cut resins has drastically decreased since 1998 in the industry. This elaboration will bring answers for such a questions like: why varnishes do not meet anymore the technical, economical and ecological standards imposed today by Industry? What is the difference between varnish and resin? How are the results of impregnation with a field coil between a varnish and 1-component polyester resin? How much resin will stay in above of cases between the windings?

1. Wstęp

W ostatnich 40 latach żywice poliestrowe oraz epoksydowe nabierały coraz większego znaczenia w przemyśle, a dziś stały się najważniejszymi materiałami na rynku produkcji silników elektrycznych. Rozpatrując specyfikę obu tych grup, można zauważyć, iż poliestrowe doskonale sprawdzają się w silnikach niskiego napięcia, a epoksydowe wysokiego napięcia w technologii próżniowo-ciśnieniowej (Vacuum-pressure Technology VPI). Na początku lat 70-tych najczęściej stosowanym materiałem w przemyśle był lakier z ograniczoną zawartością rozpuszczalników, powstały na bazie żywic alkiadowych, stosowany do impregnacji w metodzie zanurzeniowej lub w próżni. W tym czasie jednak małą uwagę przywiązywano do problemu ochrony środowiska i warunków pracy. Wspomniane lakiery były stosunkowo wysoko stężone, po wyschnięciu tworzyły grubą warstwę pokrywającą uzwojenie zapewniającą głównie ochronę przeciw wilgoci. Wydawałoby się, iż spełniały one wymagania producentów silników elektrycznych, a przez długi czas nikt nie zastanawiał się co tak naprawdę znajduje się pod grubą warstwą zaschniętego lakieru naniesionego na uzwojenie. Sytuacja różniła się w przypadku żywic dwu i trzy-komponentowych poliestrowych lub epoksydowych, wykorzystywanych w nowo powstałej w USA metodzie kropłowej, używanych do masowych produkcji. W tym przypadku wykorzystywano już bezrozpuszczalnikowe żywice, jednakże ten system nie nadawał się do technologii zanurzeniowej. Tematem niniejszego opracowania jest wyja-

śnienie powodu, z jakiego od 1988 roku w przemyśle odnotowuje się zdecydowany spadek popytu na lakiery oraz żywice ze zmniejszoną zawartością rozpuszczalnika.

Ta zmiana została zainicjowana nowymi, międzynarodowymi zarządzeniami ekologicznymi (Kalifornia Act) oraz przez potrzebę produkcji silników o małych gabarytach, dużej mocy i wyższych wartościach temperaturowych. Lakiery nie spełniały już technicznych, ekologicznych i ekonomicznych norm narzuconych przez dzisiejsze potrzeby, jak również przez wymagania dzisiejszych rozporządzeń odnośnie warunków pracy i ochrony środowiska.

2. Lakiery kontra żywice

Lakiery składają się z żywicy jako masy stałej (są to żywice poliestrowe lub epoksydowe), utwardzaczy oraz rozpuszczalnika lub wody. Zawartość masy stałej, czyli żywicy waha się w granicy 15% do 50%, a całą resztę stanowi uzupełnienie, które ulega odparowaniu w procesie suszenia w piecu. Co za tym idzie, część ta jest stratą materiałową. Cena lakieru na bazie żywicy epoksydowej lub poliestrowej waha się między 2.80 a 5.00 EUR za litr.

Biorąc pod uwagę własności fizyczne, a w szczególności poziom lepkości lakierów, (dość niski w warunkach temperatury pokojowej) rzeczywiście można uznać za technicznie właściwy przy wyborze go do impregnacji uzwojeń, jednak wnikliwe badania i analizy wykazały jak bardzo rozumowanie to jest niewłaściwe.

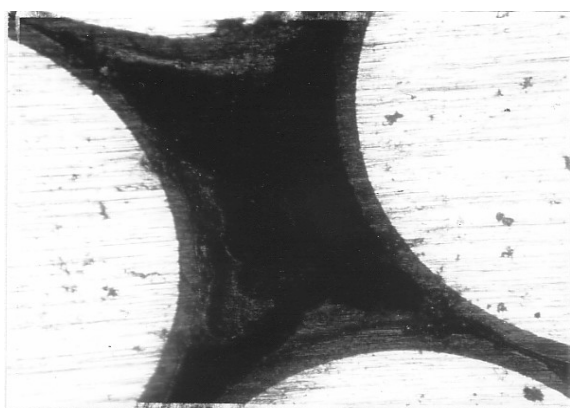


Fig. 1

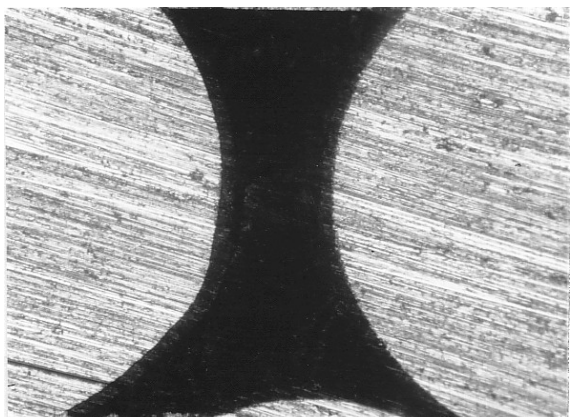
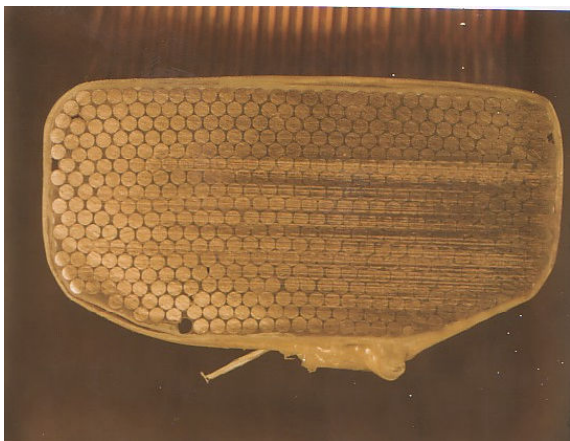


Fig. 2

Kiedy porównujemy rezultaty impregnacji cewki magnetycznej za pomocą nawet bardzo dobrego lakieru (po dwukrotnej impregnacji lakierem z zawartością aż 44% żywicy), a czystą, jedno-komponentową żywicą poliestrową, w pełni reaktywną (jednorazowa impregnacja) zauważymy gołym okiem jak znacząco różni się efekt końcowy.

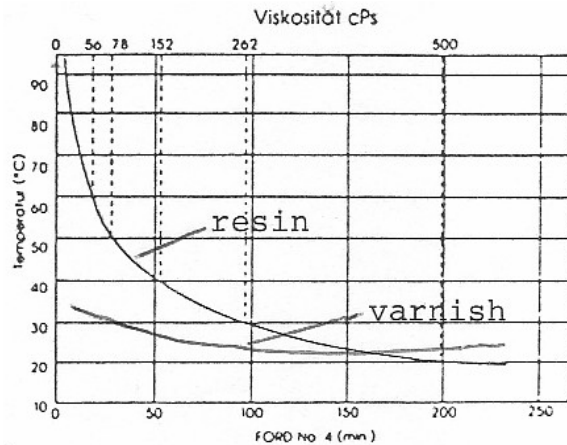
Cewka impregnowana lakierem patrz zdjęcie 1, jest wypełniona zaledwie w 10% żywicą podczas gdy cewka impregnowana żywicą – wypełniona jest aż w 90% - zdjęcie 2.

3. Rzeczywista różnica między uzwojeniem wypełnionym żywicą w 10% i tym w 90%

Zupełnie bez znaczenia jest teraz fakt, czy zastosowano metodę impregnacji próżniowej, czy uprzednio podgrzanych uzwojeń. Wstępny poziom lepkości jest ważny do zapewnienia jak najlepszego wypełnienia materiałem przestrzeni między zwojowej, przy zastosowaniu sił kapilarnych lub próżni. Próżnia jest pomocna, przy zwojach nawiniętych koncentrycznie, jak w przypadku transformatorów lub w uzwojeniu płaskim w urządzeniach prądu stałego.

Jednakże lakiery oraz żywice zachowują się zupełnie inaczej w środowisku podwyższonych temperatur. Lepkość żadnego z lakierów nie zmienia się drastycznie wraz ze wzrostem temperatury, w przypadku żywic jest jednak inaczej, poziom lepkości znacząco się obniża. Prosty zabieg podniesienia temperatury uzwojenia (nie żywicy!) pozwala na uzyskanie optymalnie niskiego poziomu lepkości żywicy w obrębie uzwojenia, czego nie da się uzyskać w przypadku lakierów. Penetracja żywicy w głąb uzwojenia zostanie osiągnięta poprzez prostą wymianę powietrza wywołaną siłami kapilarnymi. W przypadku lakierów możliwe jest uzyskanie optymalnej penetracji jedynie w temperaturze otoczenia.

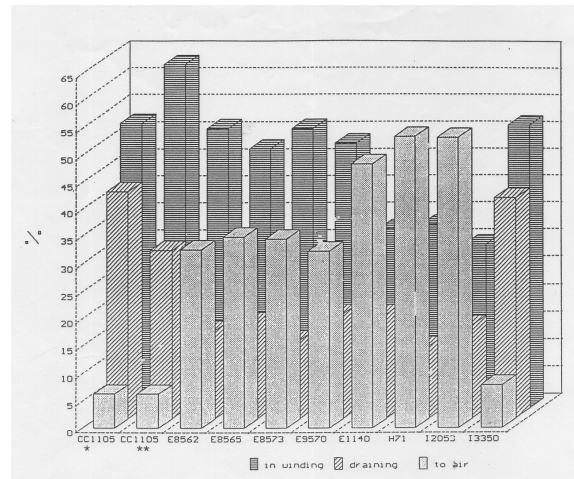
W przypadku lakierów zabieg podniesienia temperatury uzwojenia spowoduje natychmiastową reakcję odparowania rozpuszczalnika, w rezultacie poziom lepkości drastycznie wzrośnie, a proces penetracji w głąb zwojów zostanie wprawdzie utrudniony, a potem zupełnie zatrzymany. Zastosowanie próżni w przypadku lakierów - wciąż jeszcze zalecane przez wielu producentów, zupełnie mija się z sensem z punktu widzenia ekonomicznego i technicznego.



Biorąc pod uwagę dodatkowo kosztowne naprawy zniszczonych pomp próżniowych przy zupełnym braku polepszenia efektu impregnacji, zabieg ten wydaje się zupełnie bezsensowny. Podsumujmy, dla przykładu zaimpregnowaliśmy dwa uzwojenia, jeden za pomocą lakieru oraz drugi - żywicy, pozostawiliśmy oba elementy do obcieknięcia oraz zgodnie z instrukcjami producenta wstawiliśmy do pieca, uprzednio rozgrzanego do temperatury zalecanej dla danego materiału. Rozpuszczalnik zawarty w lakierze zacznie gwałtownie parować na całej zewnętrznej powierzchni uzwojenia. Lakier na powierzchni uzwojenia zacznie polimeryzować dopiero wtedy, gdy zawartość rozpuszczalnika w nim będzie mniejsza niż 5%!

Ciężar odparowanego materiału (gazu) będzie więc stanowił aż 79% wielkości powłoki uzwojenia – teoretycznie. Niestety wartość ta dodatkowo zwiększy się jeszcze poprzez efekt tak zwanego zasysania ulatniających się w powietrze oparów, które pochłoną dodatkową ilość żywicy. Mając na uwadze uderzenie ciepła po włożeniu elementu do pieca zrozumiałym jest, że efekt parowania rozpuszczalnika oraz polimeryzacja rozpocznie się wpierw na powierzchni zewnętrznej uzwojenia. Wewnątrz zwojów proces ten zacznie przebiegać z nieznanym opróżnieniem. Nieznacznym – lecz bardzo istotnym. Opary rozpuszczalnika z wewnątrz, chcąc wydostać się napotkają na drodze bariery gęstniejącej i zamykającej się z czasem skorupy lakieru po zewnętrznej stronie uzwojenia, który zaczął polimeryzować wcześniej. Opary będą mogły wydostać się jedynie przez małe otworki powstałe w skorupie z czasem z coraz to większym ciśnieniem. Wydostając się przez takie kominy będą zasysały dodatkowe ilości żywicy i to w zdecydowanie większych

jeszcze ilościach, niż działo się to na powierzchni uzwojenia. W rezultacie ilość pozostałej w uzwojeniu żywicy będzie równa około 5%, a 95% lakieru wydostanie się do atmosfery w postaci zanieczyszczenia. Ponowna impregnacja w lakierze nie zmieni znacząco tego wyniku.



Co dzieje się z żywicą w uzwojeniu podczas impregnacji za pomocą żywicy? Zacznie natychmiast polimeryzować, od chwili osiągnięcia odpowiedniej dla niej temperatury, a proces będzie trwał nieprzerwanie i bez zakłóceń aż do momentu pełnego zakończenia procesu suszenia. Wielkość odparowanego materiału będzie wahała się między 3, a 5% .

W przypadku żywic ważnym czynnikiem jest czas, który upłynie od momentu włożenia uzwojenia do uprzednio rozgrzanego pieca, aż do uzyskania w nim temperatury właściwej do rozpoczęcia procesu żelowania i polimeryzacji. Czym bardziej rozgrzane uprzednio uzwojenie tym krótszy czas do uzyskania odpowiednio wysokiej temperatury w piecu i rozpoczęcia procesu żelowania, czyli tym samym krótszy czas, kiedy żywica będzie w stanie ciekłym i będzie odciekać. Łatwo zrozumieć więc, że czym krótszy ten czas, tym więcej żywicy pozostanie na uzwojeniu. Dla zilustrowania przedstawiamy diagram, który obrazuje procentową ilość utraty ulatniającego się materiału w procesie impregnacji za pomocą lakierów i żywic. Dla przeprowadzenia tego testu zastosowano standardowe uzwojenie otwarte. Wyniki te mogą się zmieniać przy zastosowaniu różnych materiałów i różnych uzwojeń. Przy zastosowaniu lakierów – w uzwojeniu pozostaje 10-12% żywicy, w przypadku żywic ze styrenem – 25-35%, a żywica z ftalanem allilu DAP – aż 50-

65%. Reszta stanowi stratę materiału i pieniędzy. Dodatkowo należy wiedzieć, iż prawie 80% odciekniętej żywicy poliestrowej lub tej z ftalanem allilu lub akrylanem jako monomerem – może być odzyskana z pieca zanim rozpocznie się proces żelowania.

Zestawiając wszystkie dane, poniżej przedstawione są straty materiałowe podstawowych typów materiałów:

Lakiery 200%

200%

Żywice ze styrenem 100%

100%

Żywice z DAP lub Akrylanem 10%-15%

4. Podsumowanie

ASPEKT EKONOMICZNY:

użycie tanich lakierów jest w efekcie najdroższym rozwiązaniem. Zużycie lakierów jest około 40-50% większe niż żywic – w zależności od wielkości impregnowanych elementów.

ASPEKT EKOLOGICZNY:

Biorąc pod uwagę przepisy europejskie nie jest możliwe użycie lakierów bez kosztownych, specjalnych instalacji dopalaczy, redukujących zanieczyszczenia wydostające się podczas suszenia. Instalacje te operują w temp. 900°C i pochłaniają około 100'000kcal/godz.

ASPEKT TECHNICZNY:

Głównym powodem impregnacji uzwojenia jest techniczne wzmocnienie przewodów poprzez jednolite ich scalenie. Wykorzystując w tym celu lakiery, nie uzyskamy zadowalającego efektu. Z technicznego punktu widzenia jest to po prostu niewykonalne. Żywice natomiast z zawartością związków utwardzaczy lub monomerami ftalanu allilu czy Akrylanu spełniają wszelkie dzisiejsze i przyszłościowe wymogi pod względem ekologicznym, technicznym i ekonomicznym. Zapewniają wysoką jakość impregnacji minimalizując potrzebę kontroli materiałów i parametrów dlatego biorąc pod uwagę wszystkie powyższe aspekty, można prognozować, iż użycie nawet wysokiej jakości lakierów będzie wciąż ograniczane w przyszłości.