

## СЪВРЕМЕННИ ЕЛЕКТРОИЗОЛАЦИОННИ МАТЕРИАЛИ И ТЕХНОЛОГИИ, ИЗПОЛЗВАНИ ПРИ РЕМОНТ НА ВИСОКОВОЛТОВИ ДВИГАТЕЛИ

**Константин Тричков<sup>1</sup>, Константин Костов<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София

**РЕЗЮМЕ.** Направен е анализ на нови "богати на смола" изолационни материали, производство на фирмата ISOVOLTA - Австрия използвани при производство и ремонт на високоволтови двигатели. Разработена е технология за изработване на главна изолация при ремонта на асинхронни двигатели 6 kV в условията на "РЕМОТЕКС - РАДНЕВО" ЕАД. Полупромишлените изпитания на изработените образци са проведени във високоволтовата изпитвателна лаборатория на Завод за електрически машини ЕЛПРОМ-ЗЕМ, гр. София.

### CONTEMPORARY INSULATING MATERIALS AND TECHNOLOGIES USED TO REPAIR HIGH-VOLTAGE MOTORS

**Konstantin Trichkov<sup>1</sup>, Konstantin Kostov<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, Bulgaria

**ABSTRACT.** The present paper considers the analysis of modern resinous insulating materials made by ISOVOLTA, Austria and used in the production and repair of high-voltage motors. A technology was developed to produce the main insulation in the repair of 6kV induction motors performed by Remotex-Radnevo. The semi-industrial tests of the samples were conducted in the high-voltage testing laboratory of ELPROM-ZEM, Sofia.

Качеството на ремонта на електрическите машини в много голяма степен се определя от качеството на ел. изолацията. Производителите на ел.изолационни материали непрекъснато разработват нови по-качествени материали с по-високо пробивно напрежение, по-висок топлинен клас, за да могат да изпълняват изискванията на производителите на електрически машини.

В мини „Марица-изток“ АД, гр. Раднево в експлоатация се намират няколко хиляди електрически машини от над 400 типа. Мощностите на ел.машини също са с твърде широк диапазон от няколко десетки вата до 1000 kW. В таблица 1 са дадени количеството асинхронни двигатели В.Н. отремонтирани за периода от 1996 г. до 2002 г.

Таблица 1.

Година	до 280 kW	над 280 kW	над 550 kW	над 560 kW	Общо
1996 г.	2	25	10	6	43
1997 г.	0	25	18	11	54
1998 г.	3	25	32	7	67
1999 г.	7	15	31	13	66
2000 г.	3	15	35	13	66
2001 г.	0	23	16	5	44
2002 г.	7	23	35	15	80
Общо:	22	151	177	70	420

Електрическите машини в мини „Марица-изток“ АД работят при това в много тежки условия. режимът на работа е непрекъснат, машините работят в силно запрашена среда. Поради особения характер на

рудничната конфигурация, температурите през лятото надминават 40°C, а през зимата влажността е твърде висока. Пред вид мобилността на задвижваните съоръжения, електрическите машини работят в условия на повишени вибрации. В захранващата мрежа на рудниците съществуват твърде високи пренапрежения. В някои случаи електрическите машини се претоварват за определени периоди от време. Всичко това води до повишената аварийност на оборудването, а в частност - на електрическите машини. (Отчет по..., 74-76)

Голямото разнообразие на електрическите машини и тежките условия на експлоатация водят до определени затруднения при ремонта им в "РЕМОТЕКС-РАДНЕВО" ЕАД, гр. Раднево. Използуваната в момента изолационна система на базата на Микафолий МХШ е недостатъчно надеждна при такива натоварвания. Ниската пробивна якост е причина за една част от пробивите. Проблеми създава и високата влажност в рудниците съчетана с високата хигроскопичност на Микафолий МХШ. Наличието на периодични претоварвания и високите температури на работа водят до превишаване на допустимите за тази изолация температури.

Доставените в последните години и пуснати в експлоатация електрически машини са почти всички с топлинен клас F (155°C). Такива електрически машини, отремонтирани в "РЕМОТЕКС-РАДНЕВО" ЕАД със съществуващата технология стават вече с топлинен клас В (130°C) и понеже са рационално конструирани, превишаването на работната им температура е често пъти фатално.

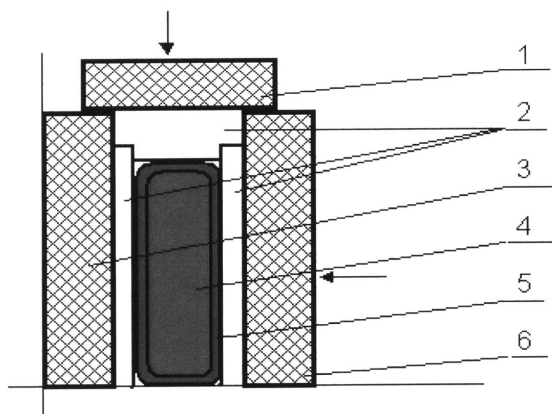
Всичко изложено до тук показва, че използването на изолационна система на основата на Микафолей МХШ при ремонта на електрическите машини в "РЕМОТЕКС-РАДНЕВО" ЕАД не отговаря на изискването за висока надеждност при много тежки условия на работа. Необходимо е внедряване на нова изолационна система, отстраняваща горепосочените недостатъци.

В настоящата статия се анализират качествата на съвременните електроизолационни материали с цел разработване на технология на нова изолационна система, приложена при ремонта на асинхронни двигатели В.Н. в „РЕМОТЕКС-РАДНЕВО“ ЕАД. (Каталожни ....)

В световната практика при производството на ремонта на високоволтови двигатели се използват две основни системи (Тодорова, Дюстабанов, 2003):

- RESIN RICH – (богата на смола) изолационна система;
- VPI – (вакуумиране и пресоване) изолационна система.

RESIN RICH системата е най-широко разпространена за производство и ремонт на секции на двигатели В.Н. Използваният електроизолационен материал съдържа относително висок процент (около 40%) термореактивна смола, който се подлага едновременно на пресоване и изпичане в специални преси. Не се налага допълнително импрегниране със смола (фиг. 1).



Фиг. 1. Принципна схема на преса за Resin Rich  
 1. Подвижна притискаща плоскост; 2. Метални клинове;  
 3. Неподвижна нагревателна плоскост; 4. Секция за пресоване и изпичане; 5. Изолация; 6. Подвижна притискаща и нагревателна плоскост.

Основни предимства на RESIN RICH изолационна система са следните:

- Топлинен клас на изолацията - клас F;
- Висока пробивната якост на изолацията - над 50 kV/mm;
- Ниска хигроскопичност на системата - практически отсъства;
- Малки диелектричните загуби - нисък  $\text{tg}\delta (< 0,01)$ ;
- Ниска себестойност на ремонтите;
- Не много сложен технологичен процес и оборудване, но сравнително скъпо оборудване за условията в България;
- Изолация на основа слюда за висока устойчивост на частични разряди

- Основно предимство е ремонтнопригодността, т.е. всяка една повредена секция може да бъде демонтирана от статора и на нейно място може да бъде поставена нова, с минимална себестойност на ремонта.

В табличен вид (табл. 2) са дадени възможностите за избор на съвременни изолационни материали според специфичните изисквания, приложими за RESIN RICH системата.

VPI системата използва сухи (4 ÷ 8% слепващо вещество) изолационни материали. При тази система секциите или целия статор се вкарват в автоклав, подлагат се на вакуумиране, импрегниране чрез заливане със смола под налягане и последващо изпичане в пещ.

При изработване на секциите, за изолация на единичните проводници препоръчваме CONDUCTOFOL 0264 с дебелина 0,09 mm. Представява гъвкава суха лента състояща се от слюденитова хартия на основата на калциниран мусковит, импрегнирана с епоксидна смола и PET-филм. PET-филмът е допълнително покрит със специално топящо се лепило и по тази причина проводниците могат да бъдат слепвани заедно чрез кратък натиск при температура 160°C. CONDUCTOFOL 0264 е лентов материал и се нанася ръчно или машинно с ½ припокриване.

За слепване на проводниците и оформяне на геометрията на правата част от секцията, препоръчваме използването на термосвиваем разделителен филм VOTAFILM 2645. За основна изолация препоръчваме материала POROFOL 0546, под формата на ленти. Той се състои от високо абсорбираща слюденитова хартия на основа некалциран мусковит, PET-филм като носител и PET-мат от страна на слюденитовата хартия. Като свързващо вещество е използвана епоксидна смола без втвърдител. Лентата е гъвкава, мека и много пореста и позволява навлизането на импрегнационна смола през голям брой слоеве. Изолираните по този начин секции се монтират в статора и се укрепват.

При полагане на намотката в статорния пакет, за канална и междуслойна изолация препоръчваме стъклотекстолит с температурен клас H (180°C) ISOVAL® TM. Последният се състои от стъклотъкан импрегнирана с епоксидна система. Притежава отлична термична и химична устойчивост, както и висока механична якост при повишена температура.

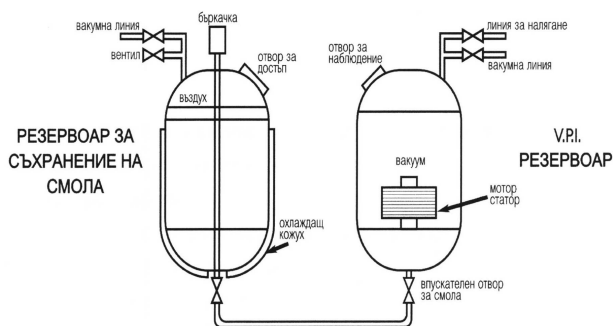
За укрепване на челните части в статорния пакет препоръчваме PROMAT ME 2242, състоящ се от стъкло-мат и много малко количество епоксидна смола. PROMAT ME 2242 при импрегниране със смола увеличава обема си до 200% и по този начин уплътнява много добре „празните пространства“.

На фиг. 2 е показана технологичната схема на VPI инсталация. Трябва да се отбележи, че качествата на VPI системата, освен от използваните електроизолационни материали, до голяма степен се определят от качествата на импрегнационната смола и правилното протичане на процеса.



Таблица 2.

Приложение	Материал/ алтернатива Тип	Дименсия Дебелина x ширина (mm)	6,6 kV	10,5 kV	15 kV	Забележки
			Брой слоеве/дебелина на изолацията mm (след пресоване)			
Единична проводникова изолация	CONDUCTOFOL 2009	0,09x12 mm (0,06 mm пресовано)	3 x но застъпено на зиг-заг 30%	2 x 50% застъпено	2 x 50% застъпено	С лепило за преконсолидация
	CONDUCTOFOL 0264	0,09x12 mm (0,06 mm пресовано)				
	CONDUCTOFOL 2159	0,10x12 mm (0,07 mm пресовано)				
Прекоконсолидация (ако се изисква)	VOTAFIXE2102	0,15x25 mm	1 x но застъпено			Когато се използва Conductofol 2009
Основна изолация	CALMICAGLAS 0409(2005) (2005 с разделителен филм)	0,18x1000 mm 0,18x20(25)mm	12 слоя 6x50% =1,6mm	18 слоя 9x50% =2,4mm	26 слоя 13x50% =3,5mm	В-състояние, твърда основна изолация
	CALMICAGLAS 0409(2005) (2005 с разделителен филм)	0,21x1000 mm 0,21x20(25)mm		16 слоя 8x50% =2,4 mm	24 слоя 12x50% =3,5mm	
	CALMICAGLAS 0409	0,24x20(25)mm			10x50% =3,5mm	
	CALMICA 70 0900	0,16x1000mm 0,16x20(25)mm	10 слоя 5x50% =1,3mm	18 слоя 9x50% =2,2mm	26 слоя 13x50% =3,3mm	
Челна изолация	CALMICA-FLEX 0824	0,11x20 mm	4x50%			В-състояние, полугъвкава челна изолация
	CALMICA-FLEX0919	0,13x20 mm		5x50%	8x50%	
	FEINMICAGLAS 0986	0,13x20 mm	4x50%	5x50%	8x50%	Суша, гъвкава челна изолация
	FEINMICAGLAS 2128	0,13x20 mm	4x50%	5x50%	8x50%	
	CALMICAGLAS S 2008	0,18x20 mm	4x50%	5x50%	8x50%	В-състояние, свиваема, твърда челна изолация
	CALMICAS 100 0902	0,20x20 mm	4x50%	5x50%	8x50%	
Защита от корона ефект в каналната част	CONTAFEL H 0865	0,12x25 mm	1 x 50%			Сух, проводящ PET - мат
Полупроводяща лента в челната част	EGSB0413	0,24x20(25)mm	1x50% дължина= 60 mm	1x50% дължина = 100 mm	1-ви слой: 1x50% 150mm 2 -ри слой 1x50% 75mm	Полупроводяща, В-състояние
	EGSB 0483	0,28x20(25)mm				Полупроводяща, суха
Покривна лента в челната част	ISOSEALP0713	0,18x20(25)mm	1 x 50%			В-състояние., покривна лента, червено-кафяв цвят
Канални пълнители	ISOVAL 11	0,2 -20mm	Размери според нуждите			Съкло ламинат епоксидна смола, EP GC 203
	CONTAVAL2017	0,2 – 20mm				Проводящ съкло ламинат, епоксидна смола
Укрепване в челните части	ISOVAL 11	0,2 -20mm	Размери според нуждите			Съкло ламинат епоксидна смола, EP GC 203
	PREFILZ 2082	0,5; 1,0; 1,5mm				Полиестер филц с епоксидна смола в В-състояние



Фиг. 2. Технологична схема на VPI – инсталация

Основните предимства на VPI – изолационната система са следните:

- Топлинен клас на изолацията - клас F или H. Обикновено се определя от импрегнационната смола;
- Висока пробивната якост на изолацията - над 50 kV/mm;
- Ниска хигроскопичност на системата - практически отсъства, изпитание на т.н. "воден тест";
- Малки диелектричните загуби - нисък tgδ (< 0,01).

Препоръчана за публикуване от Катедра "Електротехника", МЕМФ

Вследствие на вакуумирането и последващо импрегниране под налягане;

- Изолация на основа слюда за висока устойчивост на частични разряди;
- Много добра топлопроводимост.

Като съществени недостатъци на системата могат да се отбележат: висока себестойност; скъпо технологично оборудване; неремонтнопригодност (при наличие на повредена секция, трябва да се демонтират всички секции от статора).

## Литература

- Отчет по НИС на ВМГИ 1974-76. "Разработване на гилзова изолация на тягови двигатели на електролокомотиви EL-2".
- Каталожни данни и разработки на фирма ISOVOLTA -Австрия.
- Тодорова А., Г. Дюстабанов. *Електротехнически материали.*, ТУ София, 2003.