

Принципи на импрегнацијата како компонента во системите на изолација на електричните вртливи машини

1.1 Цел и значење на импрегнацијата во изолационите системи

Во својата функција на меѓусебно електрично изолирање во некои делови од електрични уреди се вградени *изолациони материјали* подложени не само во случај кога протекува електрично поле во кое се наоѓа, туку и во низа други случаи кои произлегуваат од општите услови за работата на уредот, режимот на работа, амбиентот итн.

Воопшто сите овие додатни случаи може да се сведат на механички, топлински и хемиски. Напрегањата кои произлегуваат од нив, одлучуваат за нивниот живот т.е за трајноста на изолацијата, се многу сложени. Во поглед на трајноста на изолацијата овие напрегања мораат да се разгледуваат како комплекс од меѓусебно поврзани и обично деструктивни делувања кои содејствуваат, кои во одреден случај доведуваат до деградација на изолацијата во толкава мера да настапи *дефект*.

Праксата покажува дека дефектот-најчесто во облик на *електричен пробив на електричната изолација*-настанува редовно, како секундарна последица на промена на обликот или структурни промени кои настануваат поради механички, хемиски или топлински фактори. Во постојан работен напон доаѓа или до нагли појачувања на електричното поле на одделни *значајни места* или *трајно и потполно оштетување на слоевите од изолацијата* (кратери, пукнатини, итн), или доаѓа до слабеење на диелектричните својства поради *криливост или потполна декомпактизација или структурно разградување*, која може значително да ги промени физичките и посебно електричните својства. Во двата случаи *влагата* која редовно ја има во помали или поголеми количини во материјалот, може електричниот пробив значително да го забрза.

Со цел да се задоволат основните електрични закони и оние погоре наведени случаи т.е. да се задржи функционалноста која одговара на друг временски период, концепција, избор и изведба на изолацијата во електричните производи им се оддава важно значење. Од бројните постоечки материјали кои стојат на располагање за изолациона цел, ретко постои можност да еден од нив ги задоволи сите закони и критериуми. Оптимално решение се постигнува редовно со едноставни или сложени комбинирања на некои одбрани материјали така да претставува *изолационен систем* во кој секоја компонента на потребен начин придонесува за функционалност и техничко сложување.

Иако по правило, сите врсти готови конструкции на електрични ротациони уреди придонесуваат да изолационите системи во електричните уреди кои во својата крајна состојба се во цврста агрегатна состојба со дефиниран облик, изолациониот систем и технологијата потребна за постигнување на овие функционалности условуваат, да почетната состојба да некои од компонентите кои влегуваат во системот во помала или

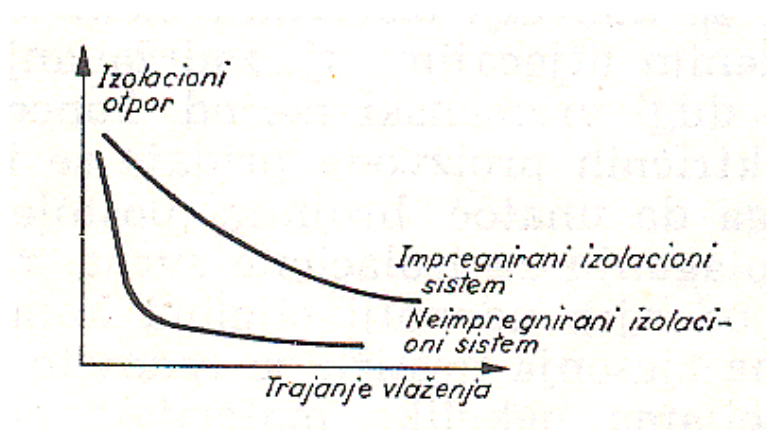
поголема мера отстапуваат од класичната крута агрегатна состојба, вклучувајќи ги и техничките одредени услови. Овие компоненти мораат во тој случај да бидат способни да ги издржат третирањата во процесот на производство за да преминат во цврста состојба.

Причината за употреба на вакви компоненти за создавање изолациони системи лежи во природата на расположливи компоненти изворно во цврста состојба, како и во технички можни облици од конструкцијата на намотката и останатите делови од електричните производи за кои е потребно да се изолираат. Факт е дека секој *цврст изолационен материјал во помала или поголема мера е порозен*, за кого порозноста не зависи само од видот на материјалот туку и од технологијата на изработка. Како компонент од изолациониот систем цврстите изолациони материјали многу често се вградуваат во слоевите (сл.1) па покрај примарната порозност, треба да се води сметка и за секундарната, за која многу често постои голема порозност помеѓу слоевите.



СЛИКА 1. Видови пори кај изолационите материјали и системи на изолација

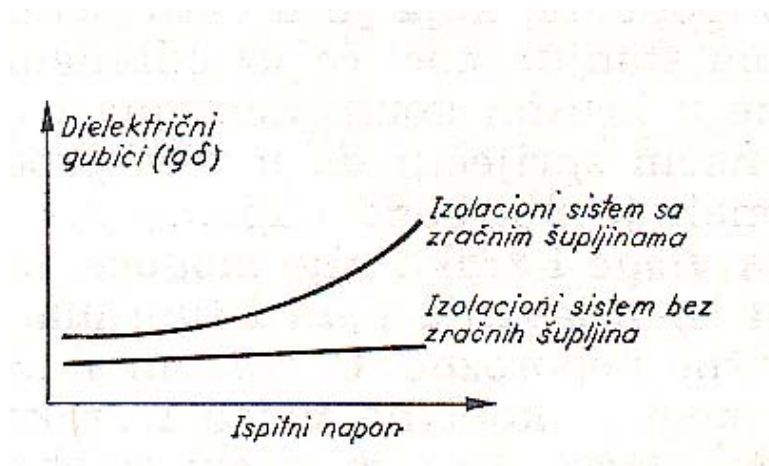
Доколку се работи на пример за намотка составена од повеќе проводници, што е чест случај, доаѓа и до порозности - всушност до шуплини-помеѓу одделни проводници изолирани со цврст изолационен материјал.



СЛИКА 2. Споредба на влијанието на влагата кај неимпрегниран и импрегниран изолационен систем

Сите наведени видови на порозност, без разлика дали се работи за отворени, полуотворени или затворени типови пори и шуплини во цврстите компоненти од изолациониот систем, овозможуваат во системот да се појави и непожелна гасовита компонента-воздух, која содржи влага или евентуално други пареи. Воздухот и влагата

имаат повеќе негативни влијанија на функционалноста и векот на трајноста на изолациониот систем.



СЛИКА 3. Споредба на диелектричните загуби во зависност од напонот кај неимпрегниран и импрегниран изолационен систем

Продирањето и промената на количината на влагата во изолациониот систем, кои ја следат промената на релативната влажност од атмосферата, доведува до пораст на електричната проводливост во влажна атмосфера, што во екстремни случаи може да доведе до одводи кои можат да претставуваат кратки врски. Кондензираната влага придонесува на повеќето материјали да настане површинска ползечка патека, а тие се причина да настане површински пробив.

Диелектричната цврстина значително опаѓа со порастот на количината на влага во материјалот. Поради влијанијата на електричните својства потребно е да се нагласи и појавата набабрување на изолациониот материјал, што учествува во природниот циклус на урамнотежување на количеството влага во материјалот со влажноста од атмосферата и доведува до неурамнотеженост на материјалот односно на изолациониот систем.

Воздухот во порите и шуплините на изолациониот систем придонесува да дојде до дисконтинуитет на својствата. Овој дисконтинуитет во зависност од својствата на употребените цврсти компоненти, доведува до смалување на компактоста, механичката цврстина и способноста за предавање на топлина во активните делови на изолациониот систем. Присуството на уклучоци воздух во изолационите системи изложени на доволно висок напон може заради битно повисоките диелектрични константи на цврстите компоненти да биде проследен со значително зголемено ел. поле во уклучоците, за да настане јонизација на воздухот.

Секунадарните топлински и хемиски ефекти кои се развиваат како последица на јонизацијата значително ја забрзува деградацијата на изолациониот систем и доведува до пробив.

Многу важна последица на делувањето на воздухот е забрзаното топлинско стареење на низа органски изолациони материјали кои механизмот на стареење го базираат на примарниот ефект од процесот на оксидација. При постоењето на пори и шуплини на оваа реакција е директно изложена значително поголема површина од материјалот. Исто така треба да се спомни дека со воздухот и влагата во порите и шуплините влегуваат и различни други често хемиски многу агресивни состојки

кои со својата електролитска природа штети на електричните својства, а директното хемиско влијание доведува до забрзано разрушување на компонентите во изолациониот систем.

Соодватната компонента, која во моментот кога се применува е во течна или доволно пластична состојба, овозможува со одредена технологија да ги исполни порите, шуплините во цврстите компоненти во целиот изолационен систем, и на тој начин да го спречи продирањето на воздухот, а првенствено влагата. Исто така потребно е да се напомене дека апсолутното спречување на продирањето на влагата и воздухот не е можно, бидејќи не постои идеална можност да се исполнат порите и шуплините, а и компонентите за исполнување не се апсолутно непорозни. Во секој случај се постигнува намалување на апсолутната можна количина влага и воздух, а посебно забавување на продорот на влага. Ако се земат во обзир погоре наведените влијанија на пори и шуплини може да се заклучи дека нивното исполнување подобро влијае доколку компонентите за исполнување поседуваат одредени својства, ќе имаат поволно влијание на функционалноста и трајноста на изолациониот систем. Ова влијание се однесува на:

- Зголемување на изолациониот отпор во влажна атмосфера и атмосфера која ја зголемува електролитската контаминација
- Зголемување на диелектричната цврстина
- Намалување на јонизацијата и нејзините штетни последици
- Зголемување на топлинската спроводливост
- Зголемување на компактоста и механичката цврстина
- Забавување на процесот на топлинско стареење
- Забавување на процесот на хемиска деструкција од влијанието на атмосферата.

Доколку секој од наведените се разгледува поединечно зависат од низа фактори. Најпрво видот, својствата и технолошките способности на материјалите употребени за исполнување а исто така и квалитетот во постапката на исполнување. Искуството покажува исто така дека е неопходно сестрано усогласеност на средствата за исполнување со останатите компоненти од изолациониот систем, видот на намотката, технологијата итн.

Благодарение на извонредните технолошки достигнувања на вештачките маси, а исто така и на технологијата на преработка на природните сировини, денес електротехничарите имаат на располагање средства со кои се овозможува исполнување на порите и шуплините во различни изолациони материјали односно компоненти на изолациони системи како и во изолационите системи на сите врсти производи.

Класификација на материјалите за исполнување

Материјалите кои имаат способност да со соодветни физичките или хемиските промени преминуваат во цврста состојба, а служат за исполнување на шуплините во изолационите системи на електричните изолациони постројки, како и други производи, можно е да се класифицираат користејќи разни критериуми, на пример составот, начинот на стврднување, агрегатната состојба во моментот на испорака и др. При

тоа некои од овие критериуми како на пример составот и начинот на стврднување можат да се постават на различни гледишта. Во класификацијата од “енциклопедија на електрични изолациони материјали” која ја изработил Швајцарскиот електротехнички комитет за потреба на Меѓународната електротехничка комисија (IEC) содржат - во крајна состојба цврсти, во моментот на примена течни или пастести изолациони материјали за исполнување, импрегнација, покривање или лепење.

Прва подгрупа - Изолациони материјали кои во цврста состојба ги променуваат физичките својства (цврстината, испарување на разредувачот, желирање)

Втора подгрупа - Изолациони материјали кои во цврста состојба ги променуваат хемиските својства (полимеризација, поликондензација или полиадиција)

Трета подгрупа - Изолациони материјали кои во цврста состојба ги променуваат физичките и хемиските својства (испарување на разредувачот и дополнителна оксидација, полимеризација, поликондензација или полиадиција).

Понатаму поделбата е извршена внатре во горенаведените подгрупи во групи од кои за исполнување на порите и шуплините во системите на електричните ротациони уреди доаѓа во обзир следното:

изолациони лакови со разредувачи кои стврднуваат со испарување на разредувачот (група 513 – прва подгрупа);

изолациони лакови со растворувачи кои стврднуваат со испарување на разредувачот и дополнителна оксидација, полимеризација, поликондензација или полиадиција (група 531 – трета подгрупа);

термореактивни импрегнациони или наливни смоли без разредувачи, без полнители, који се стврднуваат со полимеризација, поликондензација или полиадиција на собна или повишена температура (група 521 – друга подгрупа);

термореактивни импрегнациони или наливни смоли без разредувачи, со фино зрнести полнители, кои стврднуваат со полимеризација, поликондензација или полиадиција на собна или повишена температура (група 522 – друга подгрупа);

Растопливи изолациони маси без разредувачи кои стврднуваат во текот на ладењето на собна температура (група 511 – прва подгрупа);

Изолациони китови со разредувачи кои стврднуваат со испарување на разредувачот (група 516 – прва подгрупа);

Изолациони китови со разредувачи кои стврднуваат со испарување на разредувачот и дополнителна оксидација, полимеризација, поликондензација или полиадиција (група 534 – трета подгрупа);

термореактивни изолациони китови со разредувачи кои стврднуваат со полимеризација, поликондензација или полиадиција (група 523 – втора подгрупа);

Останатите групи на оваа група материјали опфаќаат лакови за површинско премачкување, лакови за лазирање водови и лимови, сврзувачки лакови итн. Тоа во овие рамки нема да биде посебно разгледувано.

Во сурова состојба овие материјали за исполнување можат да бидат:

- ✓ течни на собна и повишена температура (групи 513, 531, 521, 522),
- ✓ цврсти или пастасти на собна, а течни на повишена температура (групи 511, 521, 522)
- ✓ пастасти на собна и повишена температура (групи 516, 523, 534).

Во технологијата за изолација на електрични ротациони уреди доста се користи поделба на практични употребувани материјали за исполнување пори и шуплини во изолационите системи на намотките и останатите делови на следните групи:

- ✓ импрегнациони лакови (со разредавачи) – материјали од групите 513, 531,
- ✓ импрегнациони смоли(импрегнациски лакови без разредавачи) – материјали од групата 521,
- ✓ компаунди, – материјали од групата 511,
- ✓ наливни маси, – материјали од групата 522
- ✓ изолациони китови – материјали од групата 516, 523, 534.

Како Што се гледа, оваа поделба доаѓа од практичната примена на овие материјали, не водејќи сметка за промената која се одвива во материјалот во процесот на стврднување.

Според праксата со соодветно стврднување материјалите за исполнување можеме да ги поделиме на:

- ✓ материјали кои стврднуваат само на повишена температура
- ✓ материјали кои стврднуваат на собна температура
- ✓ материјали кои стврднуваат со ладење на собна температура

Со технолошката постапка на импрегнацијата, која ќе биде опишана во наредниот текст, во изолационите системи на електрични ротациони уреди се внесуваат импрегнациони лакови и импрегнациони смоли (групи 513, 521, 531) како и компаунди (група 511).

Вообичаено во пракса е да овие материјали се нарекуваат *импрегнанти*. Заливните маси (група 522), изолациони китови (групите 516, 523, 534), служат за исполнување крупни шуплини или за потполно обложување на намотките или други делови од ротационите уреди.

Како и сите останати изолациони материјали, така и материјалите за исполнување спрема својата топлинска постојаност се сврзани во топлински класи (Публикацијате ИЕС од 1957г). Притоа треба да се има во предвид дека практичната примена во електричните ротациони уреди одлучувачка е топлинската постојаност, во која материјалот за исполнување претставува само еден од компонентите.

1.3 Основни принципи на импрегнацијата

Импрегнацијата претставува најчеста употребувана постапка за исполнување на порите и шуплините во изолационите системи на електричните ротациони уреди. Бројни разлики во составот и својствата на импрегнантите, видови карактеристики на изолационите системи, како и специфичната опрема довело до цела низа технолошки постапки на импрегнација кои меѓусебно се разликуваат во концептот и во многуте технички постапки. Меѓутоа сите овие постапки, се засновуваат на одредени основни принципи.

Ако се појде од претпоставката дека е исполнет првиот основен услов за целисходна импрегнација, а тоа е правилен избор и оптимална ускладеност на цврстите компоненти од изолационите системи и импрегнанти, можат да се утврдат елементите кои мораат да бидат составен дел во техничката постапка на импрегнација, за да се оствари единствен комплетен изолационен систем и на тој начин да се посигнат целите за кои говоревме во претходниот текст. Во најопшт случај постапката на импрегнација ги содржи следните основни елементи:

- отстранување на влага и други испарливи материи од крутите компоненти во изолациониот систем
- отстранување на воздух од крутите компоненти во изолациониот систем
- внесување импрегнанти во порите и шуплините
- отстранување од разредувачи од импрегнантата внесена во изолациониот систем
- стврдување на импрегнантот во изолациониот систем.

Обединувањето на наведените елементи, нивното меѓусебно ускладување и прилагодување на критериумите кои произлагуваат од карактерот на крутите компоненти од изолационите системи и видовите импрегнанти, претставува исто така важен основен услов за она што најмногу одговара за добрата импрегнација. Од овој услов произлегува истовремено и критериум за избор на опрема за понатамошната постапка.

Отстранувањето на влагата од порозните цврсти компоненти на изолациониот систем, всушност е сушење на крутите изолациони компоненти кои бидејќи е претходница на останатите операции во постапката на импрегнација, кое се нарекува *предсушење*, претставува процес кој се темели на реверзибилни појави во порозните системи изложени на непосредни влијанија на амбиентот. Веќе порано спомнатото урамнотежување на содржината на влага во материјалот со околната атмосфера, доведува да, во случај потполно сува околина практично бесконечен капацитет, сепак потребно е доволно долго време за да настане потполно отстранување на влагата од материјалот т.е до негово сушење. Вакво природно сушење е доста долготрајно и технички неприфатливо, па поради тоа се користи присилно (форсирано) сушење. За таа цел се користи можноста со загревање за да се убрза испарувањето на влагата од материјалот или објектот, како и *забрзано струење на сув воздух*, кое придонесува за ефикасно одвојување на испарената влага. Како наједноставен пример за присилно сушење може да се наведе плакнење на објектот со загреан сув воздух. Во тој случај доаѓа до забрзано испарување на влагата првенствено од површинските слоеви од порозните изолациони системи или материјали, каде помеѓу внатрешноста и

Импрегнација на намотките во електричните производи

површината на некој начин станува се помалку влажна и доаѓа до разлика на влажности (опаѓање на влажноста). Заради капиларното делување и дифузија доаѓа до прилив на одредена количина влага од внатрешноста на површината, и после одредено време до практично потполно ослободување од влагата.

Брзината на сушење зависи од висината на температурата и брзината на струење на сувите воздушни маси. За повисока температура и брзина на струење толку повеќе количина на влага ќе испарува и ќе биде отстранета во просторот. Меѓутоа, висината на температурата за сушењето е ограничена од неколку фактори. Како прво треба да се води сметка дека со превисока температура може да дојде до прекин на капиларните процепи кои осигуруваат постојан доток на влага од внатрешноста на површината, која ќе доведе до успорување на процесот на сушење. Исто така потребно е да се води сметка и за топлинската постојаност на крутите компоненти од изолациониот систем подложен на сушење, кога во случај на превисока температура, спрема времетраењето на неговото делување, може да биде хемиски или физички деградиран. Практично за отстранување на влагата се користи температура во подрачје од 60 °C и нешто повеќе.

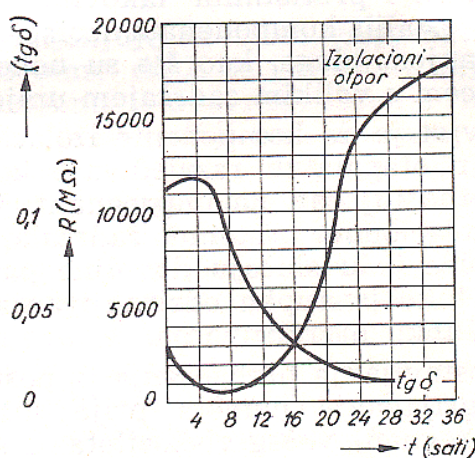
Брзината на струење на сувиот воздух ограничени се со технички и економски фактори, така да во пракса се движи до 2 м/с. Доколку цврстите компоненти на изолациониот систем кои се ставаат под дејство на сушење содржат и други испарливи течности, како што се разредувачи, или разредувачи како составен дел на врзивните материјали со цел да се постигне што поголема флексибилност на материјалот, во моментот на вградување во изолациониот систем, обично е потребно да во сите овие случаи на предсушење е потребно исто така да се отстранат од системот, за да не би дошло до непосакуваната реакција со импрегантот. Во таков случај потребно е детално познавање на составот на цврстите компоненти и одредување на програма за предсушење која осигурува-испрување растворувачи односно разредувачи. Во праксата во најчести случаи се задоволени со програмот утврден за отстранување на влагата.

При одредувањето на програмот, т.е температурата и траењето на процесот пред сушење, често е потребно при изолациони системи од топлинска класа В, F и H, треба да се води сметка за причината да производителите на изолационите материјали кои ги испорачуваат, за да многу од нив ги работат со што поголема флексибилност во моментот на вградувањето во состојба во која хемиските процеси (поликондензација, полиадиција) не се во целост завршени.

Бидејќи импрегантот при внесувањето во системот не треба да внесе одредени разорливи компоненти, кои во непотполна стабилизирана состојба може да биде малку отпорна на хемиски влијанија, често е потребно да во текот на предсушењето во потполност, или практично во потполност, да се заврши хемискиот процес во цврстите компоненти, т.е нивните врзивни материјали. Температурата потребна за овој процес, зависи од видот на вградениот материјал, се движи до подрачје од 120°C, за некои врсти лак-жица, до околу 200 °C, за некои силиконски изолации. Меѓутоа потребно е да се внимава програмата на предсушење да не се примени прерано така да ни една од неговата цел не биде доведена во прашање. Поради зависноста од висината на температурата и брзината на струење на воздухот траењето на сушење зависи и од низа други фактори. Како најважно потребно е да се напомене видот и карактерот

на компонентите содржани во изолациониот систем, просторно геометрискиот распоред и вкупната количина на вакви компоненти, првенствено ефективната површина на испарувањето во однос на волуменот на изолациониот систем, а исто така и влажноста на сушениот објект. Важна улога има и функцијата на изолациониот систем.

Сите овие фактори кои во пракса се неостварливи за проектантите по пресметковен пат, за постапката за импрегнација се засноваат на искуствени знаења и експерименти. За таа цел, за утврдувањето на потребното траење за сушењето се користат различни експериментални методи. Наједноставна е методата на континуирано пратење на изолациониот отпор на изолираниот активен дел на намотката т.е. према видот на роторот односно статорот. Карактеристична зависност на изолациониот отпор во однос на времето на сушење е прикажана на дијаграмот на сл. 4



Сл. 4. Временска зависност на изолациониот отпор и аголот на загубите за време на сушењето на електричната машина

Во првиот дел од кривата, из. отпор опаѓа заради загревањето на изолацијата која е сеуште влажна, а потоа расте како процесот на сушење се одвива, односно напредува отстранувањето на влагата. Како обавезно траењето на сушењето се зема времето потребно да вредноста на изолациониот отпор се стабилизира. Ако изолациониот систем се темели на компонентите од кои некои се неосетливи на влијанието од влагата, како што е на пример случај со некои фолии, обликот на кривата на сушењето станува значително малку карактеристичен и не овозможува доволно точно одредување за потребното траење на сушењето. Со цел да се утврдат процесите во изолациониот систем во текот на сушењето се користат и низ други експериментални методи како на пример *мерење на загубите*, кое во овој дел нема да биде спомнато.

Од искуството во пракса може да се заклучи дека е потребно траењето на сушењето на намотките на нисконапонските електрични уреди со ниски и средни моќности и во случај на примена на современи изолациони материјали во изолациониот систем, да трае еден до осум саати при кое што времето за загревањето не е пресметано.

Од практична гледна точка многу е интересно прашањето дали пред сушењето на изолацијата на електричните производи во процесот на импрегнација може да се изостави а сепак да се добие еквивалентен или барем задоволувачки резултат. На ова не е можно да се даде категоричен одговор бидејќи во прашање се околностите, кои повешето се спомнати во претходното разгледување за висината на температурата и таењето на сушењето. Искуството покажуваат да кај едноставните намотки за помали електрични уреди на низок напон со мала вкупна количина изолација, пред се кај ‘усипни’ и ‘провлечни’ намотки, може да се постигне добра импрегнација и без претходно сушење. Предуслов за тоа е употреба на доста отпорни на влага од вештачка смола лак-жица или со стакло – изолирани и потопени во соодветен лак жици за изработка на намотката, и останати компоненти од изолациониот систем со занемарлива моќ на впивање влага како што се некои вештачки фолии или комбинации со момирок со голема содржина сврзувачи од вештачки смоли.

Понатамошен предуслов е да компонентите на изолациониот ситем практички не содржат растворувачи или разредувачи кои би можеле во било кој поглед штетно да влијаат на импрегнатот. Влагата која е во не предсушениот систем се задржала и во моментот на пренесување на импрегнатот, можно е во случај на доволно пазење практички потполно да се отстрани во текот на постапката за отстранување на разредувачот од импрегнатот односно во текот на стврднувањето.

И во случај на изоставање на пред сушењето со постака на импрегнација се препорачува загревање на намотката пред сушењето на импрегнатот, особено ако импрегнатот е повеќе вискозен, во врска со подобро продирање во изолациониот систем и мала зависност на едноликоста на производството од температурата на амбиентот.

Во никој случај не може да се постигне задоволувачки квалитет на импрегнацијата без пред сушење кај голем број на примени. Тоа од различни причини се однесува првенствено на изолационите системи со поголема количина на органски влакнести компоненти (првенствено хартија) или нивна преработки на изолационите системи кои во својата функција се изложени на високи напрегања (високо напонски електрични уреди), како и на изолационите системи наменети за тешки климатски услови. Во вакви примени се покажува потребата да изолациониот систем биде во толкава мера компактиран, да освен компонентите на изолациониот систем и импрегнатот не содржи никакви други состојки (влага, разредувачи, воздух и слично). Пред сушењето во тие случаи е неизбежно но често и недоволно, па се применува вакуумска техника.

Примена на вакуумската техника, назначена е во претходниот текст како метод за *отстранување на воздухот*, во оваа фаза постапката за импрегнација има всушност двојна улога. Од познати причини дека точката на вриење се намалува со намален притисок на воздухот, произлегува дека со примената на вакуумот може да се овозможи брзо и постепено отстранување на влагата од изолациониот систем. При таа температурата на пред суењето може да биде пониска количини од оние кои се применуваат кај пред сушење со нормален атмосферски притисок.

и покрај предноста која ја овозможува предсушењето во вакуум тоа од економски причини се применува само во случај каде е потребно остварување и на други функции на евакуирањето т.е. отстранување на воздухот на изолациониот систем со цел да се постигне што попотполно и длабоко проникнување на импрегнатот во изолациониот систем. Ова е потребно кај сите практични изолациони системи со намотки за високо напонски електрични уреди кои се импрегнираат со лакови без разредувачи, каде изолационите системи со многу намотки со танки жици, кај изолационите системи на електрични ниско напонски уреди наменети за работа во тешки климатски услови, како и други специјални примени.

Во пракса се употребуваат неколку варијанти на постапки на евакуација во зависност од тоа дали и во која мера оваа постапка сакаме да ја искористиме исто така и во цел за сушење на изолационите системи, како и во тоа каква опрема ни стои на располагање. Во случај кога сакаме вакуумот да го искористиме за сушење и отстранување на воздухот најповолно е целата постапка да се изврши во вакуумски котел кој служи за внесување импрегнантот. Во ваков случај, овој котел мора да биде снабден со сложен систем за греење и ладење кој мора да овозможи рационално загревање и ладење на објектите. Најчесто наместо тоа, загревањето се изведува и делимично предсушење на објекти во посебни сушални на нормален атмосферски притосок (со топол сув воздух), а потоа објектот се става во вакуумски котел каде се врши евакуирање. Ова евакуирање причинува уште и потполно сушење на изолациониот систем низ истовремено отстранување на воздухот.

Ако евакуирањето се врши исклучително со цел за предсушење, се користат специјални вакуум сушални кои овозможуваат загревање на намотките со топол сув воздух, а потоа потполно сушење со примена на вакуум. За целите на предсушење и отстранување на воздухот во процесот на импрегнација на намотката на ротационите машини вакууми со среден износ (1 - 100 ммHg) и фин износ (од 10^{-3} до 1 ммHg). Средниот вакуум се применува кај нисконапонските изолациони системи, а финиот вакуум кај високо напонски изолациони системи.

Спрема времетраењето на процесот на евакуација и постогнатиот вакуумски степен во порите и шуплините на изолациониот систем можно е практично да се дојде до посакуваната мера да се отстранат *воздушните меурчиња* кои спречуваат продирање на импрегнатот. Ова е особено важно во случаи при постоење на полузатворени пори и шуплини во изолационите системи каде најчесто ги среќаваме во праксата.

Внесување на импрегнантот во изолациони системи претставува централна и битна фаза од постапката на импрегнација. Сите претходни и сите понатамошни фази од процесот можат да се посматраат само како средство со кои оваа фаза потполно би се остварила. Како што претходо кажавме цел на оваа операција е *исполнување на сите постоечки пори и шуплини на изолациониот систем* во кои претходно се наоѓал воздух, или други непосакувани течности или гасни состојки, со импрегнација со своите поволни својства и која во подоцнежната фаза ќе премине во цврста состојба и ќе ги припои и останатите компоненти и активни делови кои ќе дадат компактен

174 изолационен систем. И према тоа какви се останатите компоненти од изолациониот

Импрегнација на намотките во електричните производи

систем, какви се импрегнантите и во која мера сакаме да се исполнат постоечките пори и шуплини, ќе биде потребно да се изберат најповолните од неколкуте технички и економски прифатливи методи кои за ова цел ни стојат на располагање. Бидејќи и за одбирање на претходните постапки (предсушење, евакуирање) со поставени исти критериуми, потребно е и начинот на внесување на импрегнантот да биде во врска со следните и претходните операции. Од правилното и складно применетите начини на воведувањето на импрегнантот, ќе зависи и искористувањето на предностите кои за импрегнацијата ги даваат претходно извршените пред сушење и евакуирање.

Внесувањето на импрегнантот т.е пополнување на изолациониот систем со импрегнант, може да се подели на два начина, и тоа *натопување при нормални атмосферски притисок, или натопување во вакуум* (котел за евакуирање).

Натопувањето во нормален атмосферски притисок претставува во техничка смисла доста едноставна постапка која може да се реализира со едноставна и евтина опрема. Од основната постапка која се состои да предметот со одредена брзина се потопи во сад кој содржи доволна количина импрегнант, во пракса се развиени и некои други варијанти.

За да се избегне потребата од строго контролирана манипулација на предметот во текот на извлекувањето од импрегнантот, која во случај на тешки предмети потребни се специјални дигалки, а во случај големосериско производство на мали предмети се користат прикладни конвеери (подвижни ленти), и често наместо внесување на предметот импрегнантот се става во празен сад кој одговара на големината и обликот, каде на садовите се вградени систем од пумпи или најмногу од нив исто така содржат централен отвор преку кој се доведува импрегнантот така што нивото на импрегнантот се подигнува се константна брзина до висина на највисоката точка од предметот кој е потребна да се потопи.

Во случај кога имаме многу големи предмети, за кое не постојат или не е оправдано да се градат садови со потребната големина, како единствен начин за натопување преостанува само внимателно поливање на одредени делови со импрегнантот. Посебно интересено големосериското производство на многу мали или помали електрични машини со различни изведби, постапка развиена врз основата на класичното полевање, која во праксата е познато уште како *постапка на прокапување*. Во оваа постапка со прокапување, капките или фин контролиран млаз со импрегнант паѓа на едно или повеќе одредени пристапни места на оние делови за кои е потребно да се натопат. Со завртување на предметот се постигнува така да со непосредното прокапувањето да се постигне во релативно кратко време на целата пристапна површина, а со навалувањето на предметот цедење на импрегнантот од заситените пристапни делови за прокапување до непристапните делови од системот. Оваа постапка е доста интересна затоа што импрегнантот на база на вештачки смоли без разредувачи за многу кратко време на употреба се стврднува.

Натопувањето при атмосферски притисок може да даде задоволителни резултати и се применува првенствено онаму каде што се работи за пори и шуплини претежно од отворен тип, т.е каде што постои делимичен континуитет на порите и шуплините барем во некоја насока од целиот изолационен систем. Во тој случај се овозможува да импрегнантот да го истисне воздухот од порите и шуплините,¹⁷⁵

Импрегнација на намотките во електричните производи

проникнува од еден крај на системот на другиот. Идеално и потполно натопување, особено на фините структури од изолациониот систем, не е можно на овој начин да се постигне, па заради тоа во концепцијата на изолациониот систем кај ротационите машини, за кои се избира да се импрегнира во нормален атмосферски притисок, за тоа мора да се води сметка. За да овој начин начин на натопување постигни максимален ефект, потребно е, без обзир на технолошките варијанти за натопување, да се задоволат одредени основните критериуми. Потребно е првенствено да се одреди правецот на потопување на порозните објекти од изолациониот систем бидејќи таков, што при споменатото потискање на воздухот и продирање на импрегнантот во порите бидејќи е осигурано. Кај електричните уреди кои ротираат тоа значи дека е потребно да потопувањето треба да се изврши со подолжната оска од роторот односно статорот нормално на нивото на импрегнантот.

Брзината на потопување треба да се прилагоди према степенот на порозноста и величината на содржани пори и шуплини, така да во текот на потопување не останат блокирани воздушни уключоци во самиот изолационен систем кои веќе се наоѓаат испод нивото на импрегнантот. Обично брзината на потопување или подигање на нивото на импрегнантот треба да биде исклучително мала, во извесен случај и до 2 см/мин.

Како контрола за одстранување на воздухот служи престанокот на појавување на воздушни меурчиња на површината од импрегнантот, па вообичаено е да се чува објектот во импрегнантот до време кога меурчињата ќе престанат да се појавуваат. Меѓутоа, тоа не значи дека воздухот во системот е потполно одстранет. Тој останува во секоја полузатворена и затворена микропора (капилари, и сл.), каде покасно со стврднувањето на импрегнантот ќе остане трајно блокиран. За да се избегне ова постапката за потопување се одвива во вакуум.

Постапката за *натопување во вакуум* се состои во тоа што предметот кој е потребно да се натопи треба непосредно после сушењето да се стави во вакуумски котел, каде во него се евакуира до посакуваниот степен, па потоа и под вакуум во котелот се внесува импрегнант. Во таков случај при доволно долго евакуирање, при доволно висок вакуум, воздухот ќе биде одстранет така што е осигурано продирањето на импрегнантот и во најфините структури од изолациониот систем. Секако под претпоставка да е одбран соодветен импрегнант.

Во праксата, евакуирањето е со цел да се отстрани воздухот, како што веќе спомнавме, редовно се користи и за истовремено попотполно предсушење. Потребно е да се напомене дека кога ја избираме големината на вакуумот, која се подесува непосредно пред внесување на импрегнантот во котелот, потребно е да се води сметка и за составот на импрегнантот, т.е. за можноста од испарување на некои негови составни делови.

Доста често после натопувањето, без оглед дали се работи за натопување во нормален атмосферски притисок или во вакуум, се користи постапка за делување на натопениот предмет со зголемен притисок. Ова се врши така што на површината на импрегнантот во котелот во кој е потопен објектот за натопување се делува за кратко време со копримиран воздух или со некој од инертните гасови под одреден притисок. Со оваа постапка се забрзува процесот за натопување на структурата на изолациониот систем.о импрегнантот. Меѓутоа треба да се има на памет дека воздухот кој

Импрегнација на намотките во електричните производи

останал во шуплините на изолациониот систем, кој преку надворешниот надпритисок притиснат со помош на импрегнантот, после отсртранувањето на надворешниот надпритисок, повторно да се експандира и делимично да се потисни сеуште течниот импрегнант од шуплините.

При спроведената операција за натопување на изолациониот систем со импрегнант, доста важна улога игра температурата на натопениот објект и самиот импрегнант. Од аспект на спообноста за продирање во порите и шуплините во изолациониот систем потребно е, а за некои видови импрегнант и нужно, да натопениот систем или импрегнантот биде загреан во текот на натопувањето во толкава мера да вискозноста на импрегнантот, доколку на собна температура е превисока, да дојде до потребната пониска вредност за да ја изврши потребната функција. Како што претходно кажавме, кај некои постапки на импрегнирање токму затоа се врши претходно загревање на објектот. Ако во претходниот третман врши сушење со цел да се одстрани влагата, објектот во тој момент е сеуште топол така да нема потреба од негово дополнително загревање.

Меѓутоа потребно внимание треба да се посвети на висината на температурата која треба и смее да ја има импрегнирачки објект во моментот на контакт со импрегнантот. Изборот на висината на температурата треба да претставува компромис за што поуспешно продирање на импрегнантот, за што е потребно што повисока температура и потребата да купатилото на импрегнантот да се одржува на што пониска температура за да се спречи постепеното отврднување на импрегнантот во садот, за да може да се натопува и да овозможи што подолга употреба. Сето ова зависи од траењето на контактите на импрегнантот за загреани објекти, од вкупната количина импрегнант и масата на натопувани објекти, како и за потрошувачката и можноста за долевање на свеж импрегнант.

За вообичаените импрегнанти со растворувачи т.е импрегнациони лакови, поволно е да температурата во моментот на натопувањето да биде во границите од 40-50 °C.

Во специјални случаи, како на пример во постапката на *прокапување*, каде во допирот со натопуваните објекти доаѓа само онаа количина импрегнант која и ќе остане во него, можно е и потребно е, со оглед на карактеристиките на импрегнантот и постапката, да се предзагрева предметот за импрегнирање на температура која достигнува значително високи износи.

Ако натопувањето се врши во просторија во која температурата (на пример во зимски периоди) значително паѓа под 25°C, потребно е температурата на импрегнантот со системот за греење да се одржува. После извршеното натопување, обично на затоплените објекти за наоѓа вишок од импрегнант кој е потребно да се отстрани. Во тој случај се врши *откапување*. За да се спречи насобирање на уште течен импрегнант во долните делови и осиромашување во горни делови, често откапувањето се врши со повеќекратно движење на објектот. Откапувањето нормално се врши на собна температура.

Ако внесениот импрегнант содржи разредувачи или други помошни состојки кои штетно влијаат на процесот отврднување или на својствата за отврднатиот импрегнант, потребно пред процесот на отврднување овие состојки да се одстранат со

Импрегнација на намотките во електричните производи

испарување. Треба да се спомне дека во претходните операции на цедење доаѓа само до минимално испарување на разредувачите и тоа само од површината. Во оние случаи каде сите состојки се содржани во течниот импрегнант патем сите хемиски реакции во моментот на стврднување мораат и можат да влезат во структурата на стврднатиот импрегнант и ги даваат оние посакувани својства, потребно е постапката да се нарегулира така да не дојди до нивно испарување.

Испарувањето на растворувачите и разредувачите кои обично се содржани во импрегнационите лакови кои со натопување се внесени во некој изолационен систем, претставува доста деликатна задача. За разлика од постапката за отстранување на влага (предсушење) овде постојат и се појавуваат додатни отежнувачки околности. Како и кај одстранувањето на влага и овде за забрзување на процесот се користи повишена температура, односно загревање. Бидејќи при загревањето во импрегнантот во истиот момент се случуваат и хемиските реакции за стврднување, потребно е траењето и висината на температурата да се подеси така да внесениот импрегнант остане доволно течен и од овозможува пропуштање на пареата со растворувачи и разредувачи толку долго додека сите испарливи состојки не испливаат надвор во околната атмосфера и од најдлабоките места од изолациониот систем.

Овие услови во потполност е тешко да се задоволат, бидејќи е тешко да се постигне постепено испарување на растворувачите, а температурата која се користи за таа цел доведува и до побрзо одвивање на хемиските реакции и до стврднување на импрегнантот.

Ако загревањето на натопениот предмет се врши со оплакнување со топол воздух, а тоа е редовен случај, на високи температури најмногу ќе бидат изложени површинските делови. т.е слој од импрегнантот на површината. Со недоволно ускладен програм за испарувањето може многу лесно да дојди до нагло испарување и отврдување само на надворешниот слој кој подоцна го отежнува или целосно не ги пропушта да испарат останатите количини на растворувач од внатрешноста на системот. При покасно повишувањето на температурата со цел да дојде до целосно стврднување на импрегнантот би дошло до значително повишување на притисокот во парите од растворувачот, и ова може ќе доведе до локални микроексплозии заради кои ќе се јави разорување во веќе цврстиот или полустврднатиот импрегнант од изолациониот систем. Конечниот резултат од така спроведената импрегнација останува порозен за влагата и механички не доволно компактен и цврст.

Најповолни резултати и најпотполно испарување на растворувачот се постигнуваат така да отцедените натопени објекти се ставаат да се сушат со топол и сув воздух, чија температура постепено и полека расте. Количината на топлинската енергија доведена со топлиот воздух мора да биде таква да не доведе до повеќе испарување на растворувачот од површинските делови, отколку од внатрешноста која до површината доаѓа по пат на дифузија.

За да се спречи стврднувањето на површината од импрегнантот, поволно е во првиот дел од испарувањето да се допушти топлиот и сув воздух се засити од парите на растворувачот. Бидејќи количината на испарени растворувачи е функција на разликата од притисокот на парите на растворувачот во изолациониот систем и притисокот на парите на растворувачот во натопениот изолационен систем, и

Импрегнација на намотките во електричните производи

притисокот на пареите на растворувачот испарени и содржани во околната атмосфера, попрецизно на површината на лакот и топлиот воздух, ќе дојде во споменатиот случај, ако температурата не се промени, ќе дојде до успорување на испарувањето. Меѓутоа, ако континуирано се зголемува температурата, испарувањето ќе продолжи.

Во втората фаза потребно е да се одржува постојана концентрација на пари од растворувачот во околната атмосфера, за да постепено се дојде до проветрување на овие пари надвор од сушалната. Практично оваа постапка се состои во тоа што во првата фаза на се врши оплакнува предметот со воздух кој циркулира во сушницата, без довод на свеж воздух, а втората фаза се воведуваат во сушилницата се поголеми количини свеж воздух со постојаниот пораст на температурата. Процесот на испарување во случајов на импрегнантот базиран на природни и чисти органски вештачки смоли мора да биде извршен во температурни граници околу 100°C . Времето на испарување зависи од низа други околности, а во сложени случаи достигнува и преку 12 сати.

Желбата за побрзо и што попотполно испарување довела до низа различни специјални решенија. Меѓу овие е и испарувањето со топол воздух кој присилно циркулира во затворен круг, поминувајќи низ еден дел од својата циркулација преку пламеник кој го гори растворувачот.

Бидејќи оваа постапка е врзана со пролазниот сушилник во кој натопените предмети се движат со одредена брзина, може да се постигна таков тек на загреаниот воздух, да тој кога е потполно сув и најжежок доаѓа врз во голема мера на испарените објекти, одземајќи ја од нив и последната количина на растворувач, а потоа се повеќе заситен со пари од растворувачот и се поладен, но сепак сеуште доволно топол, на се помалку и помалку испарени натопени предмети - да притоа се движи во спротивен правец од правецот на движење на конвеерот.

Во многу случаи се користи и комбинирано греење на натопените предметите со инфра-црвено зрачење и плакнење со топли воздушни струи. Инфра-црвеното зрачење има таква предност што може да продри и во длабоките слоеви од импрегнантот, и на таков начин се забрзува испарувањето од внатрешноста.

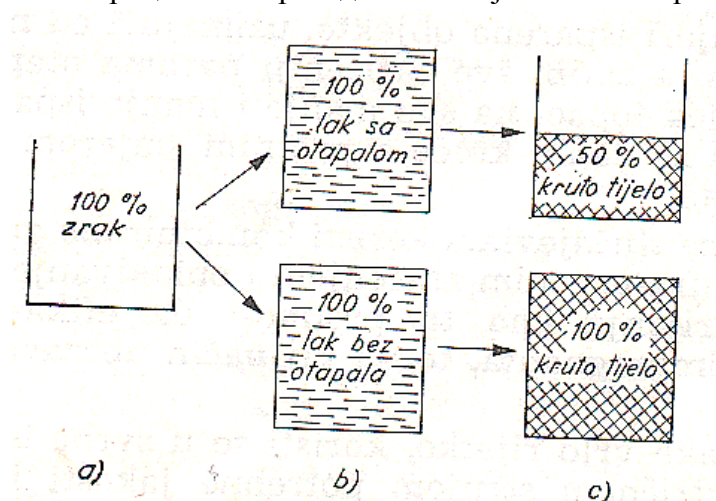
Понекогаш, иако е доста ретко, за испарувањето се користи и загревање со електрична струја со потребната јачина, која се пушта низ натопените намотки. Оваа постапка дава доста добри резултати ако се осигура измена на воздухот со околината, но за големи индустриски примени е непрактичен од технички и технолошки причини.

Натамошна можноста за испарување на растворувачот претставува метода на евакуирање. Постапката се состои во тоа да на затоплениот предмет во атмосферски притисок се загрее во вакуумска сушница на температура нешто над собната (50 до 60°C), а потоа сушалната наизменично се евакуира и проветрува со загреан сув воздух, при што секој циклус на проветрување топлиот и сув воздух има се повисока температура така што на крајот би постигнал околу 80 до 100°C . Проветрувањето со загреан воздух служи да се доведе топлинска енергија потребна за испарување и да овозможи негов континуитет а исто така и оневозможување на кондензирање на пареа од растворувачот. Во секој циклус од евакуирањето, вакуумот постепено се

Импрегнација на намотките во електричните производи

зголемува, така што во првиот циклус се применува груб вакуум од неколку стотини mmHg. И кај испарувањето со помош на вакуум потребно е да се води сметка за појавите опишани во врска со испарувањето со топол воздух во нормален атмосферски притисок.

Деликатноста и сложеноста, а исто така и големата важност на испарувањето во постапката на импрегнација, укажува на предноста од импрегнант без растворувачи, токму заради тоа што кај такви импрегнанти отпаѓа постојаната потенцијална опасност да еден дел од тие растворувачи остане во системот, и во него да предизвика несовршености какви што токму со импрегнантот се посакува да се отстранат. Самиот факт што типичните импрегнациони лакови со растворувачи содржат во себе околу 50 % растворувачи и разредувачи за кое во процесот на испарување потребно е да се одстранат од системот, јасно укажува да со едно натопување со овие лакови, во системот остава после стврднувањето само еден дел од од внесената материја (таканаречени *цврсти тела или смолни компоненти*), кои заради тоа што имаат помал волумен заради волуменот кој го имал лакот, тој не е во состојба да ги потполни сите пори и шуплини. Затоа треба да се има во предвид дека изолациониот систем импрегниран со импрегнант кој содржи испарувачки компоненти никогаш нема да биде идеален, па ни тогаш кога процесот е спроведен и по најоптимална програма.



слика.5. Споредба на исполнување на шуплините со импрегнациски лак со растворувачи и без растворувачи: а) потполно сува евакуирана изолација пред натопувањето; б) натопена изолација; ц) после стврднување на импрегнантот.

На ова место е потребно да се спомни дека во процесот на испарување на растворувачите може исто така да послужи и испарување на влагата од системот доколку таа во процесот на предсушење не била одстранета. Бидејќи процесот на испарување трае прилично кратко време, можно ќе биде во оваа прилика да се исушат само релативни суви системи, со едноставна структура. Оваа можност е причина да технологот кој го проектира процесот на импрегнација на едноставни електрични машини биде без претходно сушење. Ако од системот не се бараат екстремни способности, оваа постапка дава значителни резултати.

Целта на отврднувањето, која претставува последна фаза од процесот на импрегнација, е да основните компоненти од импрегнантот кои останале после испарувањето на помошните испарливи компоненти, бидат во *целост* или практично *потполно стврdatenи*. Ова стврдување се остварува со хемиски реакции во смолните компоненти, и према нивните видови се работи за оксидација, полимеризација, поликондензација или полиадиција. Првата од наведените реакции се одвива за постари импрегнанти на база од сушиви масла, или кај некои со сушиви масла модифицирани синтетички импрегнанти, додека кај синтетичките импрегнанти, се појавува една од последните три реакции.

Како што веќе кажавме, пожелно е да хемиските реакции на стврдувањето, да се одвиваат после испарувањето на растворувачите и разредувачите. За таа цел во процесот на испарување се користат доволно ниски температури. Дури после тоа се преоѓа на повишени температури кои одговараат за конкретниот импрегнант, па крајната фаза на импрегнацијата - стврдувањето. Бидејќи за да настапи стврдување, т.е завршување на сите хемиски реакции кои тоа го предизвикуваат, битно влијаат на својствата на импрегнантот, па према тоа и на својствата на целиот импрегниран изолационен систем, потребно е да се преземат мерки за целиот импрегнант стврдне во целата структура на импрегнираниот изолациониот систем. Со оглед на фактот дека стврдувањето редовно се врши со доведена топлина преку надворешната површина, така што доведената топлина е во правец од изворот према внатрешноста, потребно е посебно да се внимава на стврдувањето на подлабоките т.е во внатрешноста од деловите на изолациониот систем, како што се каналите на ротационите уреди, или внатрешните слоеви на намотки кај трансформаторите, пригушниците итн.

Посебно треба да се внимава во стврдувањето на импрегнантот изолационите системи во ротирачките делови, каде постои опасност центрифугалните сили да ги разорат танките површински слоеви со стврдат импрегнант, така што нестврднатите длабински слоеви едноставно истечат од системот.

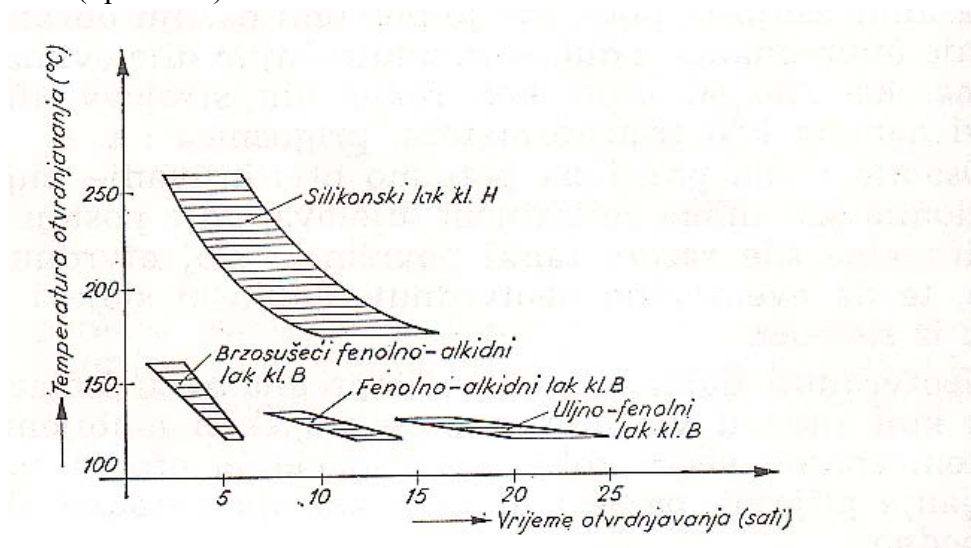
Нестврднатите длабински слоеви со импрегнант во изолациониот систем кои работи во влажни, па и во топлински амбиент, ќе доведе до значително колебање на отпорот во изолациониот систем, како и настанување на мувли, па и во овој случај е потребно потполно стврдување.

Само во некои едноставни случаи може да се смета дека процесот на стврдување ќе биде потполно завршен со загревање во текот на првата периода од погонот, па ако внатрешните погонски напрегања и напрегањата од надворешни влијаниа се толку мали, што и не потполно стврдат импрегнат би можел да ги издржи, фазата на стврдување во процесот на импрегнација може нешто и да се скрати. Меѓутоа, во такви конкретни случаи е потребни се најсовесни анализи.

Вообичаени температури потребни за стврдување за најчесто употребувани импрегнанти од топлински класи A, E, B и F се движат во подрачје од 120 до 160⁰C, а за силиконски лакови во подрачје од 150 до 250⁰C во траење од 1 до 24 сата, кое зависи од видот на импрегнантот. Важно е да се спомене да под траење на стврдувањето се подразбира времето на престој на дадена температура. Времето потребно за постигнување на оваа температура е различно за различни импрегнирани објекти, кое е потребно да се пресмета.

Над одредени минимални температури потребни за успешно стврдување на импрегнантот, температурата и времето на стврдување се во меѓусебна врска која се базира на законите за брзината на хемиските реакции. Со повисока температура можно е да се скрати времето на стврдување со постигнување на ист ефект. Меѓутоа, температурите не можеме по желба да ги одбереме високи, бидејќи превисоки температури би придонесат за големи разлика на температури помеѓу надворешните и внатрешните површини, а со тоа и нееднолично стврдување и создавање пукнатини во импрегнантот, и би предизвикале прекумерно стареење на топлински недоволно крути компоненти од изолациониот систем. Па према тоа, температурата на отврдување треба да се избере према видот на импрегнантот, од основа на податоци од производителот и спрема топлинската постојаност на изолациониот систем.

Мноштво извршените експерименти покажуваат дека со цел за забрзување на процесот на стврдување, изолациониот систем смее за релативно кратко време да се подложи на температура значително повисока од трајната температурна топлинска постојаност. Така на пример, изолационен систем со топлинска класа Е во текот на стврдувањето смее да биде подложена неколку часа на температура од 150 до 160°C, или алтернативно неколку десетина минути на температура од околу 170°C. Оваа можност е од посебно значење во современиот континуиран процес на импрегнација со тунелски печки (пролазни).



Слика 6. Времето потребно за стврдување на лакот во зависност од температурата на стврдување (утврдено за намотки со помали и средни електрични машини)

Кај изолационите лакови на база од сушививи масла, кои стврдуваат со хемиски реакции на оксидација, потребно е во текот на стврдувањето во сушалната да се донесе свеж воздух за да се осигура потребната количина од кислород потребен за реакцијата. Потребна е доста богата вентилација.

Кај синтетичките импрегнанти не е потребно да се донесе кислород, но вентилацијата сепак мора да се врши за се отсреанат евентуално нузпроизводи од хемиска реакција на стврдување кои може да биде непожелна и штетна од различни причини.

Доколку во импрегнацијата се употреби лак кој ја има способноста за стврднување на собна температура, процесот на испарување на растворувачите и разредувачите, како и процесот на стврднување се врши во соодветно време на собна температура. Во индустриското производство на електрични машини денес не се употребуваат такви импрегнанти поради нивните скромни својства, па горната напомена се однесува во прв ред на случаи какви сеуште се наоѓаат во ремонтни работилници.

Веќе кажавме дека импрегнантите со растворувачи, значи, изолациони лакови во класична смисла, оставаат во изолациониот систем после испарувањето на растворувачите и разредувачите во идеален случај онолку стврднат дел колку што има содржано импрегнационен лак во себе, максимално околу 50%. За многу и малку поделикатни функции во изолациони системи каде само 50% од порите и шуплините се исполнети со стврднат импрегнант, не се доволно сигурни од електрични, механички, топлински, климатски или други причини. Во сите вакви случаи се настојува да се исполнат шуплините со повторување на постапката на импрегнација, двократно или повеќе кратно.

Засега не навлегувајќи во критериумот за изборот на начинот и бројот на импрегнациите на кои треба да се подложи некој систем, значи, дел од одредени електричен производ, потребно е да се констатираат некои темелни правила за повеќекратната импрегнација, која е потребна за постигнување на квалитетите и оптимални резултати. Првенствено треба да се констатира дека максималниот ефект на повеќекратната импрегнација е условен од правилна и потполно спроведена претходната импрегнација. Тоа значи дека во секоја претходна импрегнација, а посебно во првата, во која во системот се внесува најголема количина импрегнант, треба да се почитуваат принципите кои претходно ги разгледувавме.

Доколку постапката на импрегнација се врши континуирано, т.е. без временски застој, во следните импрегнации нема да биде потребно предсушење, туку после стврднувањето објектот ќе биде изладен и одма подложен на натопување, но доколку се работи во вакуумска постапка ќе биде евакуиран и натопен во вакуум. Откапувањето на импрегнантот и испарувањето на растворувачите треба да се спроведи како што е изнесено. Со оглед на помалите количини импрегнант во втората, третата или следните импрегнација, може да се скрати на времето.

Во однос на стврднувањето, постојат различни гледишта во праксата, од кои едно поаѓа од претпоставката дека во случајот со повеќекратната импрегнација во текот на претходната отврднување не треба да се изврши до крај, бидејќи потполното стврднување на импрегнантот внесен во системот во првата, втората и останатите постапки ќе биде задоволувачки ако во последната постапка се спроведе целосен температурно-временска програма. Со оглед на приличниот ризик кој произлегува од можноста дека одредени растворувачи внесени во системот во текот на **натопувањето** во другата постапка врз недоволно стврднат импрегнантот од првата постапка и така со ред, како и последователните тешкотии за целосно испарување на растворувачите од целокупно внесениот импрегнант неговото стврднување, ваквото гледиште не е препорачливо. Со цел за постигнување на што помаксимални својства се препорачува што попотполно стврднување во претходната постапка. Доколку од било која причина сакаме да отстапиме од ова, потребно е да се консултираме со производителот на

импрегнантот, кој го познава неговиот состав, или треба да се спроведат потребните експериментални испитувања.

Со оглед на одредени предности, се поставува прашањето која е ефикасната бројка на постапките за импрегнирање во вакуум импрегнација или вакуум-притисочна импрегнација т.е до колкав број на импрегнации треба да се употреби доколку се употребува вакуум импрегнирање или вакуум-притисочно импрегнирање, за да потоа без последици може да се примени постапката на импрегнација во нормален атмосферски притисок. Иако теоретски можно е да се очекува предност ако во случај на макар и колку импрегнирања, системот секој пат да се импрегнира во вакуум, сепак праксата покажува дека после четвртата импрегнација, без оглед дали е извршена во вакуум или на нормален атмосферски притисок, покрај предходните три во вакуум, се постигнуваат скоро исти својства. Вакуум импрегнацијата спрема овие погледи за својствата на импрегнациониот систем не е потребно да се изврши повеќе од три пати. Земајќи ги во преглед и економските моменти, обично не се извршуваат повеќе од две вакуум-импрегнации, а додека внесувањето на понатамошните количини импрегнант се врши со еднократна или повеќекратна импрегнација во нормален атмосферски притисок. На овој начин можно е да се постигнат задоволителни резултати за сите практични примени. Понатаму, ако се земе во обзир додатните подобрувања, кои на импрегнациониот систем му ги дава вообичаена примена со површински заштитни премачкувања.

Кај импрегнанти без растворувачи ситуацијата е значително поповолна, поради тоа што во сите практични примени може да бидат задоволени својствата со една до две импрегнации, од кои вториот практично секогаш е доволно да се изврши во нормален атмосферски притисок. За посебни деликатни примени можно е и со една постапка да се изврши импрегнацијата а исто така и заливање на системот со дебели слоеви од импрегнант без растворувачи.