

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ КОЛЛЕКТОРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Климченкова Н.В., Климченков В.Т.

Донбасская государственная машиностроительная академия

Ket@dgma.donetsk.ua

Regularities of temperature, pressure, shrinkage changes of insulating parts in production transitional regimes are considered. Recommendations on improvement of the production process are given.

Повышение мощности тяговых электродвигателей и интенсивности их эксплуатации привело к повышению степени использования материалов конструкции. Выросли нагрузки деталей коллекторного узла. Несовершенство технологии является основной причиной большого процента отказов двигателей в условиях эксплуатации из-за неисправности коллектора [1].

Процесс изготовления коллектора включает статическую формовку собранного коллекторного кольца, статическую формовку собранного коллектора, динамическую формовку коллектора. Каждая из формовок разделена по времени на несколько одинаковых циклов, а цикл – на одинаковые этапы. Этапы цикла: прогревание конструкции, выпекание изоляционных деталей, подпрессовка, охлаждение конструкции, подпрессовка [2]. Динамическая формовка отличается воздействием центробежных сил.

Характерными параметрами процесса изготовления являются: усилие запрессовки при сборке; температура деталей; упругая деформация деталей; пластическая деформация (усадка) изоляционных деталей; давление на поверхности изоляционных деталей; интервал времени между очередными подпрессовками конструкции; усилие подпрессовки; механические напряжения в материале деталей; длительность этапа; длительность цикла; количество циклов. На этапах цикла термомеханические параметры изменяются по времени. Поэтому рационально построить техпроцесс по времени и эффективно управлять им можно только с учетом влияния параметров на состояние материалов и конструкции.

Основные недостатки традиционной технологии изготовления коллекторов заключены в следующем:

- деление процесса формовки по времени на одинаковые циклы, а цикла на одинаковые этапы удобно для практики, но не согласуется с закономерностями изменения параметров, что приводит к значительным отклонениям давления от заданного;
- колебания давления на этапах цикла снижают качественные показатели выпекаемых изоляционных деталей, что отражается на эксплуатационной надежности выпускаемых коллекторов;
- динамическая формовка проводится после двух статических формовок, закрепляющих детали в случайных неустойчивых положениях, полученных ими при сборке конструкции, поэтому смещение деталей под действием повышенных центробежных сил в более устойчивые положения, соответствующие режимам работы двигателя, может продолжаться уже в условиях их эксплуатации;
- процесс регулирования давления на изоляционные детали ограничен возможностями технологического оборудования, требует перемещений конструкции к прессу и обратно, что приводит к существенным отклонениям давления от расчетного и ухудшению качественных показателей этих деталей.

В работе проведено исследование параметров при изготовлении коллектора тягового электродвигателя типа НБ-418К6, устанавливаемого на магистральные электровозы типа ВЛ-80. Сведения о коллекторе: диаметр рабочей поверхности-520 [мм]; длина рабочей поверхности-121 [мм]; количество пластин-348 [шт]; рабочее напряжение-950 [В]; толщина манжеты-2.4 [мм]; толщина прокладки-1.27 [мм]; испытательная частота вращения-2800 [мин⁻¹]. Параметры статической формовки собранного коллектора: усилие запрессовки-110 тонн; три цикла; длительность одного цикла-13 часов; длительность этапов прогревания-5 часов, выпекания-3 часа, охлаждения-5 часов; заданное превышение температуры деталей после прогрева-150 градусов. Манжеты изготовлены из формовочного миканита, содержащего слюду (по массе около 80%) и связующее вещество (смола, по массе около 20%). Полная усадка манжет за время выпекания составляет 2% от первоначальной толщины. Для исследования применена теоретическая база, разработанная в [1].

На этапе прогревания конструкции в электропечи кривая нагрева деталей выражается экспонентой вида:

$$\Theta(t) = \Theta_y (1 - e^{-kt}), \quad (1)$$

где Θ, Θ_y – текущее и установившееся превышения температуры детали над температурой воздуха в цехе, град.

На рис.1 приведена кривая нагрева коллекторной пластины. В результате расчета температур установлено:

коллекторные пластины прогреваются быстрее, чем корпус, имеющий большую массу; темп роста температуры деталей вначале высок, а по мере прогрева падает; разница в удлинениях пластин и стяжных болтов приводит к возникновению температурного усилия. Расчеты усилий показывают: темп роста температурного усилия вначале высок, а затем падает; за первые 10 минут прирост усилия составил 17% от

начального, за вторые 10 минут-10%, далее темп падает; за время прогрева осевое усилие возросло почти на 50%. Быстрое увеличение осевого усилия неблагоприятно для материала манжет: ведет к выдавливанию связующего, смятию слоев, неоднородности свойств. Для исключения негативных последствий прогревания необходимо снижать начальное усилие запрессовки или периодически с разным интервалом времени компенсировать прирост температурного усилия.

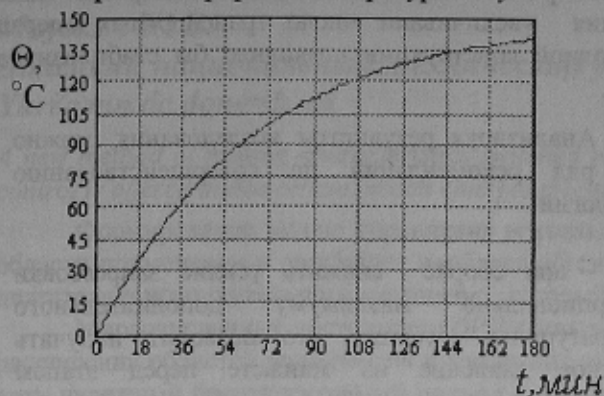


Рисунок 1 - Кривая нагрева коллекторной пластины.

$$\Delta Q = (\alpha_M l_M \Delta \Theta_M + \alpha_U l_U \Delta \Theta_U - \alpha_C l_C \Delta \Theta_C - \Delta l_Y) / \left(\frac{l_M}{E_M F_M} + \frac{l_U}{E_U F_U} + \frac{l_C}{E_C F_C} \right), \quad (2)$$

где $\alpha_M, \alpha_U, \alpha_C$ - коэффициенты температурного расширения материала пластин, манжет и болтов, 1/град; l_M, l_U, l_C - расчетные осевые размеры деталей, м; $\Delta \Theta_M, \Delta \Theta_U, \Delta \Theta_C$ - изменение температуры деталей, град; Δl_Y суммарная усадка обеих манжет, м; E_M, E_U, E_C - модули упругости материала деталей, Н/м²; F_M, F_U, F_C - расчетные площади сечения деталей, м².

Выражение (2) отличается от известного для эксплуатационных режимов учетом текущей усадки изоляционных деталей. Закономерность усадки материала изоляционных деталей по времени их выпекания имеет следующий вид:

$$\Delta l_Y = l_Y e^{-kt} \quad (3)$$

где l_Y - полная усадка обеих манжет за время их выпекания, мм.

Для рассматриваемого коллектора экспериментально получено выражение:

$$\Delta l_Y = 0,096 e^{-0,51886 t} \quad (4)$$

На рис. 2 приведена кривая усадки манжет

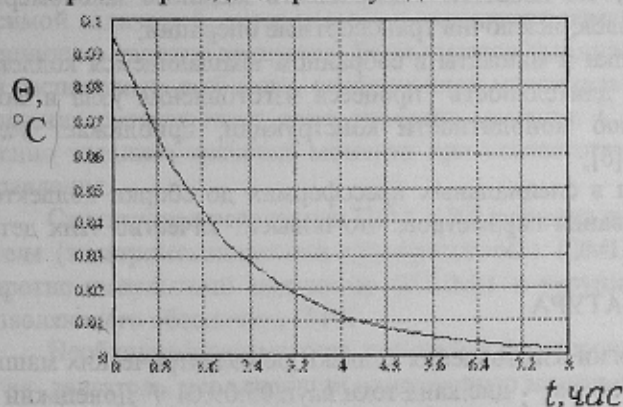


Рисунок 2 - Кривая усадки манжет.

позволило бы стабилизировать давление и исключить транспортные операции; за вторые 1.5 часа давление падает на 17%, что потребовало бы 3 подпрессовки; за второй цикл формовки давление падает всего на 11%, что требует всего 2 подпрессовки. Проведение подпрессовок через равные интервалы времени не соответствует закономерности усадки манжет и ведет к ухудшению их качественных показателей.

На этапе охлаждения конструкции в холодильной камере кривая охлаждения деталей выражается экспонентой вида:

$$\Theta(t) = \Theta_{нач} e^{-kt} \text{ [град]}, \quad (5)$$

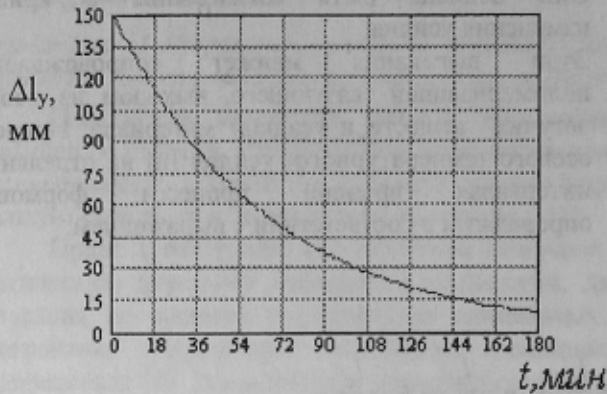
где $\Theta_{нач}$, $\Theta_{текущ}$, Θ - начальное и текущее превышения температуры детали, град.

В начале прогрева интервалы времени должны быть меньшими, затем увеличиваются. Они должны быть согласованы с кривой изменения усилия.

Этап выпекания манжет сопровождается полимеризацией связующего, выходом из смолы летучих веществ и усадкой материала. Прирост осевого температурного усилия [н] на отдельных интервалах времени процесса формовки определялся в соответствии с выражением:

Установлено: скорость усадки различна по интервалам времени выпекания; наибольший темп усадки наблюдается в первые 2 часа, а далее он падает. Если к началу процесса выпекания давление было расчетным, то изменение давления и его регулирование можно охарактеризовать так: за первые 1.5 часа давление снизилось на 32%; при допустимом пределе отклонения давления в 5% за этот период следует провести 6 подпрессовок с транспортировкой коллектора к прессу и обратно; совмещение функций электропечи и пресса в одной конструкции

На рис. 3 приведена кривая охлаждения коллекторной пластины. Расчетом температур установлено: пластина охлаждается быстрее, чем корпус; темп снижения температуры вначале высок, а затем падает. Расчеты осевого усилия показывают: за первые 10 минут усилие снижается на 17%, за вторые 10 минут – на 10%, далее падение замедляется; за время охлаждения усилие снизилось почти на 50%. Проведение подпрессовок только после охлаждения конструкции неблагоприятно влияет на состояние материала манжет. Более частые подпрессовки в начале этапа охлаждения увеличивают число транспортных операций. Совмещение функций холодильной камеры и пресса в одной конструкции позволило бы стабилизировать давление на манжеты и исключить транспортные операции.



Анализируя результаты исследования, можно дать ряд рекомендаций по совершенствованию технологии:

- при сборке снижать усилие запрессовки пропорционально максимуму дополнительного температурного усилия, что позволит получать расчетное давление на манжете перед этапом выпекания;

Рисунок 3 - Кривая охлаждения коллекторной пластины.

- на этапе прогрева конструкции периодически, в соответствии с кривой роста давления, ослаблять степень затяга коллекторных болтов и компенсировать тепловое удлинение коллекторного кольца, исключая неблагоприятное воздействие температурного усилия [3];

- прогревать корпус от более интенсивного источника тепла, разделив источники для нагрева коллекторного кольца и корпуса, и поддерживать такое соотношение между температурами этих деталей, при котором температурное усилие не возникает [4];

- при разработке конструкции задавать такое соотношение между осевой длиной пластин и стяжных болтов, при котором тепловое удлинение болтов компенсирует тепловое удлинение коллекторного кольца [5];

- на этапе выпекания манжет периодичность подпрессовок согласовывать с закономерностью усадки примененного изоляционного материала, что позволит выдерживать допустимый предел отклонения давления, повысить качественные показатели изоляционных деталей и эксплуатационную надежность выпускаемых коллекторов;

- модернизировать технологическое оборудование путем совмещения в одной конструкции функций пресса и электропечи, пресса и холодильной камеры, что позволит выдерживать заданные закономерности регулирования параметров на всех этапах цикла формовок, исключив транспортные операции;

- одновременно выпекать изоляционные прокладки и манжеты в собранном вращающемся коллекторе, что исключает обе статические формовки, сокращает длительность процесса изготовления узла и затраты энергии на его проведение, способствует повышению монолитности конструкции, приближает условия выпекания изоляционных деталей к эксплуатационным [6];

- выпекать изоляционные прокладки и манжеты в специальных прессформах до сборки коллектора с соблюдением необходимых закономерностей регулирования параметров, что повысит качество этих деталей, сократит процесс до одной динамической формовки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Климченкова Н.В. Совершенствование технологии изготовления коллекторов электрических машин на основе анализа неустановившихся параметров: Автореферат дис.канд.техн.наук:05.09.01 / Донецкий нац. техн. ун-т.-Донецк.-2001. - 20с.
2. Магистральные электровозы. Технологические основы производства / Под общей ред. В.И.Бочарова и А.А.Сурикова. - М.:Машиностроение,1992. - 256 с.
3. Спосіб динамічної формовки колектора електричної машини / Н.В.Клімченкова, В.Т.Клімченков (Україна); Патент №40121А; Опубл. 16.07.2001. Бюл. №6.
4. Спосіб динамічної формовки колектора / В.Т.Клімченков, Н.В.Клімченкова (Україна); №93006415; Опубл. 26.12.1995. Бюл. №4.
5. Колектор електричної машини / Н.В.Клімченкова, В.Т.Клімченков (Україна); Патент №40827А; Опубл. 15.08.2001. Бюл. №7.
6. Спосіб виробництва колектора електричної машини / Н.В.Клімченкова, В.Т.Клімченков (Україна); Заявл. 08.07.2000; Позитив. рішення от 11.07.2001.