

## Summary

Prihodko I., Isabekov R.

### Electrohydroimpulse technology and equipment for foundry needs

The conveyance of series of universal Electrohydroimpulse (EHI) installations for rods knockout from castings, EHI equipment for knocking out cores from castings that were poured by investment casting method and aluminum castings, also equipment for inner cavities scouring (and inducers of induction melting furnaces) of scaling, EHI equipment for metallurgical salvage dressing and spare parts for all EHI equipment, proved in industrial conditions, is proceeded (Scientific and Technological Centre «Vega» at the Institute of Pulse Processes and Technologies NAS of Ukraine perform development, PPCSF «Radiant» carries out manufacturing). Technical assistance during installation, adjusting and putting the equipment into operation, trainings of the attendants is provided.

## Keywords

electrohydroimpulse equipment, core knockout from castings, scouring inner cavities, scaling, scrap, slag

Поступила 31.08.10

УДК 621.74

**О. А. Чибичик, В. Ф. Мартыненко, О. В. Акимов, А. Е. Шишко**

Национальный технический университет «ХПИ», Харьков

## Методология конструкторско-технологического проектирования и изготовления короткозамкнутого литого ротора для асинхронных электродвигателей\*

Рассмотрена методология модернизации конструкции короткозамкнутого литого ротора для изготовления асинхронных электродвигателей мощностью до 400 кВт. Проанализированы основные виды брака, возникающие в результате заливки «беличьей клетки», и определено их воздействие на эксплуатационные характеристики ротора. Дано описание конструкторско-технологических способов проектирования ротора и приведены рекомендации по повышению качества заливки.

**Ключевые слова:** короткозамкнутый ротор, асинхронный электродвигатель, «беличья клетка», дефекты

Электромашиностроительные предприятия Украины на сегодняшний день занимают одно из ведущих мест среди стран СНГ по выпуску широкого спектра силового электрооборудования, которое успешно эксплуатируется в Украине и странах ближнего и дальнего зарубежья. Высокие темпы развития отрасли и стремление предприятий Украины представлять свою продукцию на мировом рынке и быть при этом конкурентоспособными, стимулирует их постоянно работать над усовершенствованием, модернизацией и повышением качества выпускаемой продукции.

Асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором являются в настоящее время наиболее рас-

пространенными электрическими машинами. Такое широкое распространение они получили из-за своей конструктивной простоты, сравнительно низкой стоимости и высокой эксплуатационной надежности.

Асинхронный двигатель состоит из двух основных частей, разделенных воздушным зазором: неподвижного статора и вращающегося ротора. Основной деталью, входящей в конструкцию электродвигателя, является ротор.

По конструкции и технологии изготовления короткозамкнутые обмотки роторов асинхронных двигателей делятся на два типа: сварные и литые.

Главным способом изготовления обмотки ротора в современных асинхронных короткозамкнутых

\* По материалам VI Международной научно-практической конференции «ЛИТЬЕ-2010», состоявшейся 21-23 апреля 2010 г. в Запорожье

двигателях мощностью до 400 кВт является ее заливка алюминием. Залитая цельнолитая обмотка состоит из стержней и короткозамыкающих колец с отлитыми вентиляционными лопатками, образующими так называемую «беличью клетку» (рис.1) [2].

Согласно конструктивному исполнению короткозамкнутой литой ротор состоит из пакета и «беличьей клетки». Пакет представляет собой набор листов электротехнической стали с отштампованными пазами, являющийся частью литейной формы и использующийся для отливки стержней и торцевых частей короткозамыкающих колец.

Основным показателем работы любого электродвигателя является электропроводность, которая напрямую влияет на его эксплуатационные характеристики. Резервы дальнейшего увеличения их полезной мощности, надежности, энергоэффективности, способности хорошо переносить перегрузку кроются не в конструкторских методах и усовершенствовании пускорегулировочных свойств, а в совершенствовании технологии изготовления и инженерных методов проектирования с учетом условий эксплуатации и режимов нагрузки асинхронных двигателей.

Проблема высокого уровня брака, возникающего в результате заливки, связана со сложными условиями кристаллизации алюминиевого сплава «беличьей клетки», которая приводит к образованию внутренних дефектов и удовлетворительному заполнению пазов ротора [5].

Свободной усадке «беличьей клетки» препятствует стальной пакет, расположенный между двумя короткозамкнутыми кольцами, вследствие чего в этих стержнях возникают внутренние напряжения, способствующие образованию трещин и обрыву стержней. Внутренние напряжения в стержнях будут пропорциональны плотности запрессовки листов

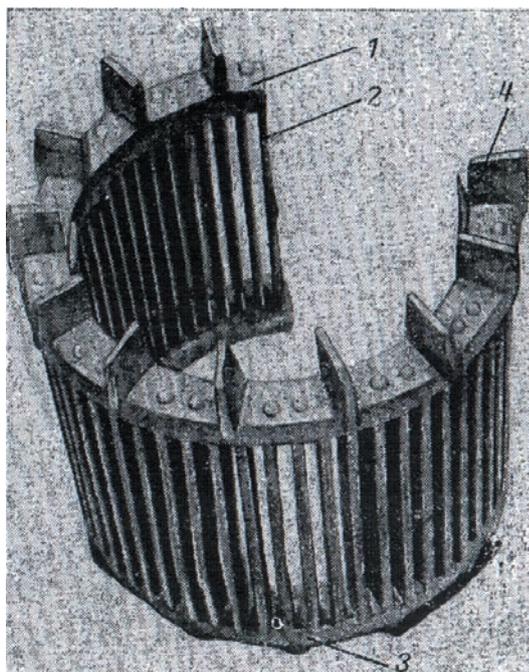
электротехнической стали. Наличие неравномерных сечений стержня, кольца и лопатки в конструкции ротора также способствует образованию внутренних напряжений в отливке [1].

Значительно ухудшают параметры и снижают надежность роторной обмотки и такие литейные дефекты как недоливы, спаи, газовые раковины в стержнях и короткозамкнутых кольцах, пористость, утонение стержней и т. д. Бракованная «беличья клетка» представлена на рис. 2, из которого видно, что «беличья клетка» имеет спаи, недоливы, окислы и обрыв стержней.

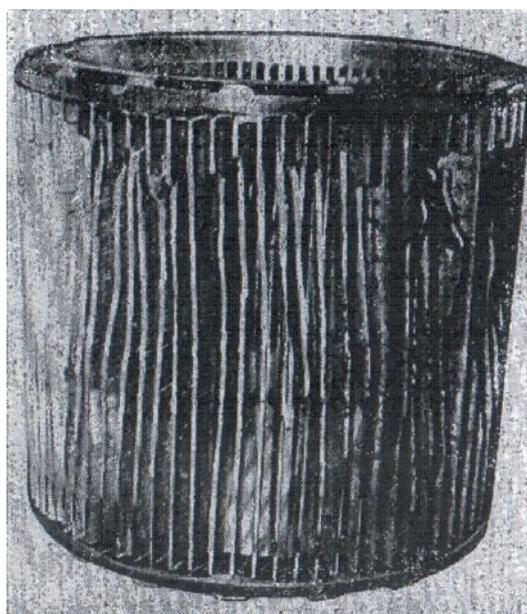
Оценивая основные факторы, воздействующие на процесс заливки «беличьей клетки» установлено, что на качество заполнения оказывают влияние следующие причины: способ заливки, температура нагрева кокилей, сечение паза, температура металла, скорость заливки, высота ротора, качество шихтовки пакета, конструкция литейной формы.

Проанализируем основные виды брака, возникающие при заливке «беличьей клетки». Из перечисленных факторов, влияющих на заполнение формы, особое значение имеет сечение паза. Паза ротора по существу являются питателями литниковой системы. Металл через литниковую чашу и затем через паза заполняет нижнее кольцо и лопатки ротора. Понятно, что чем больше будет сечение паза, тем легче будут условия заполнения формы. Однако данное обстоятельство ведет к ухудшению электрических характеристик из-за увеличения сопротивления. Поэтому условие заполнения формы связывают еще и с пропускной способностью сплава. Если пропускная способность жидкого металла через паза будет достаточной, то такого дефекта как недолив на нижнем кольце наблюдаться не будет. При недостаточной пропускной способности – тогда металл застынет в пазах ротора раньше, чем полностью заполнится кольцо (рис. 3) [3].

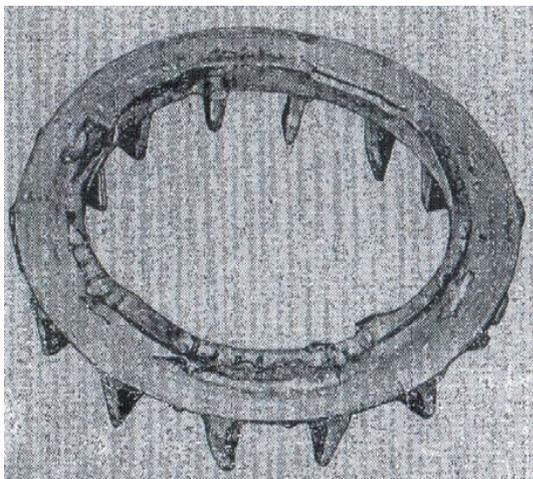
Размеры кольцевой усадки будут тем больше,



**Рис. 1.** «Беличья клетка». 1 – верхнее короткозамыкающее кольцо; 2 – стержень; 3 – нижнее короткозамыкающее кольцо; 4 – лопатка



**Рис. 2.** Брак «беличьей клетки»



**Рис. 3.** Усадка от неполного заполнения кольца

чем меньше будет пропускная способность металла через пазы ротора.

Процесс преждевременного остывания металла, который привел к образованию непоправимого брака роторной обмотки, можно увидеть на рис. 4.

Если сделать доступной видимость стержня, то на рис. 5 можно увидеть факт преждевременного застывания металла по закругленному радиусу стержня. Также причиной этого брака могла стать и некачественная шихтовка пакета. Сдвиги и шероховатая поверхность пакетов ротора оказывают сильное сопротивление прохождению металла, и стержни получают не полностью залитыми.

При любом способе заливки также возможен брак и на лопатках верхнего короткозамкнутого кольца. Верхние лопатки заполняются металлом при его подъеме снизу вверх после заполнения формы. Такое обстоятельство приводит к получению недоливов и спаев на верхних лопатках [6].

Проблему обеспечения качественной заливки

«беличьей клетки» ротора крупных габаритов на современном этапе развития электромашиностроительной отрасли пытаются решить путем апробации всевозможных известных в технологии литейного производства способов: статистическим, центробежным, литьем под низким давлением, под вакуумом, вибрацией формы при заливке и др.

Краткая характеристика основных способов заливки.

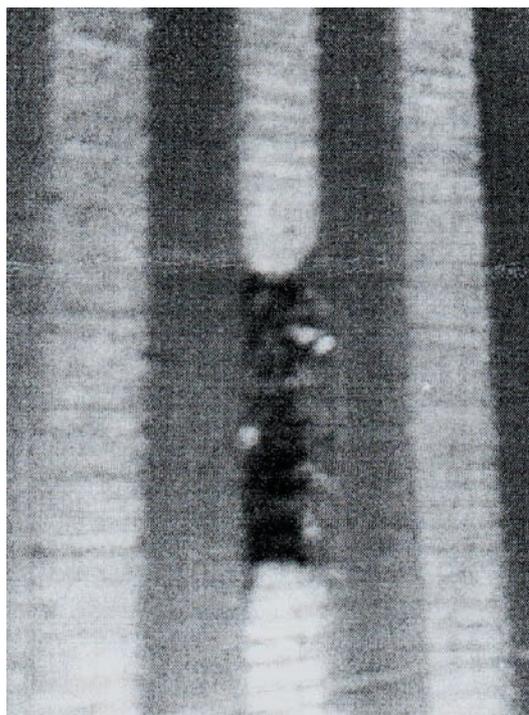
*Статистический способ заливки* применяют в мелкосерийном и единичном производстве. Достаточно высокая трудоемкость этого способа окупается простотой заливки, несложной оснасткой и небольшими площадями под оборудование. Такой способ применяют для заливки крупных роторов диаметром от 300 до 800 мм.

Заливку производят в специальную форму – кокиль, состоящий из нижней, разъемной средней и верхней частей. Пред заливкой форму помещают в гидравлический пресс, предварительно нагрев до температуры 400-500 °С. Заполнение пазов ротора происходит под действием собственной массы расплавленного металла. Статистический способ относится к числу самых несовершенных, так как не обеспечивает получение роторов должного качества из-за образующегося при заливке металлостатического давления, недостаточного для размельчения оксидной пленки, которая, попадая в паз ротора, снижает электропроводность стержня обмотки ротора.

*Центробежный способ заливки* заключается в том, что кокиль при заливке и кристаллизации металла вращается вокруг вертикальной оси, а жидкий алюминий заливается через центральное отверстие. При центробежном способе не обеспечивается направленной кристаллизации алюминия при остывании, что приводит к образованию скрытых усадочных раковин в нижнем замыкающем кольце. В стержнях



**Рис. 4.** Брак роторной обмотки



**Рис. 5.** Брак стержня «беличьей клетки»

ротора образуется неравномерная плотность металла, которая увеличивается к периферии сердечника.

При вибрационном способе заливки заполнение отливки и ее кристаллизация происходят в вибрирующую форму, установленную на вибрационной машине. Вибрация позволяет значительно уменьшить наиболее распространенные дефекты строения отливки, способствует выделению газов и неметаллических включений из расплава, образованию мелкой и однородной структуры. Воздействие вибрации на кристаллизацию металла проявляется также в изменении формы и объема усадочной раковины, пористости металла. При заливке роторов вибрационным способом их качество получается более высоким, чем при заливке статистическим способом. Вибрация позволяет измельчать оксидную пленку, что способствует уплотнению стержней.

Заливка роторов под низким давлением является одной из наиболее прогрессивных технологий в настоящее время, которая нашла широкое применение в производстве роторов больших габаритов. Сущность способа заключается в том, что заливка осуществляется непосредственно из печи через металлопровод, под действием давления сжатого воздуха металл поднимается и через нижний кокиль заполняет форму. При этом происходит охлаждение поднимающегося алюминия и подогрев формы, чем обеспечивается температурный режим направленного затвердевания. Еще одним положительным моментом заливки снизу является возможность исключения попадания в форму окислов с поверхности расплава, захвата воздуха и образования в отливке газовых раковин. По сравнению с другими литейными способами литье под низким давлением дает наименьшую и более равномерную пористость по длине отливки, что увеличивает процент выхода качественного литья и улучшает характеристики асинхронных двигателей. Необходимое оборудование для заливки роторов под низким давлением несложно и имеет сравнительно низкую стоимость [2].

## Выводы

Анализируя приведенные в статье данные по изготовлению роторной обмотки установлено, что эксплуатационные характеристики, и главная – электропроводность, зависят от качества заливки «беличьей клетки». Решение проблемы по повышению качества заливки возможно за счет

1. Модернизации конструкции литниковой и вентиляционной систем, а именно для:

– увеличения напора расплава и предотвращения недоливов металла увеличить высоту литниковой чаши;

– уменьшения переохлаждения металла в пазах и усадки по нижнему кольцу в чаше выполнить рассекатель, который позволит падающему из ковша и разбивающемуся о рассекатель металлу равномерно распределяться по всем питателям;

– улучшения питания отливки увеличить количество питателей;

– более интенсивного вывода газов из формы при заливке, с целью уменьшения брака по газовым раковинам увеличить глубину газоотводящих каналов.

Суммарная площадь вентиляционной системы кокиля предлагается не менее 1,25 суммарной площади сечения питателей.

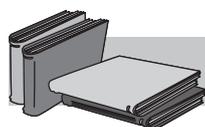
2. Оптимизации технологических режимов заливки, для этого:

– обеспечить чистоту шихтовых материалов; суммарное количество примесей железа и кремния в химическом составе не должно превышать 1 %, иначе не будет обеспечена требуемая электропроводность, так как железо и кремний являются вредными примесями;

– предотвратить попадание в расплав неметаллических включений;

– контролировать температуру нагрева кокиля перед заливкой, оптимальная температура нагрева ~ 550-650 °С.

Модернизация отмеченных выше конструкторско-технологических параметров позволит получить качественную деталь, отвечающую самым высоким техническим требованиям.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Макаров Л. С., Урецкий И. З. Заливка роторов электродвигателей больших габаритов. – М., Л.: Изд-во «Энергия», 1966. – 128 с.
2. Юхимчук В. Д. Технология производства электрических машин: Уч. пос. Кн. 2. – Харьков: Тимченко, 2006. – 592 с.
3. Антонов М. В. Технология производства электрических машин: Учеб. для вузов. – Изд. 2-е. – М.: Энергоатомиздат, 1993. – 592 с.
4. Гольдберг О. Д., Гурин Я. С., Свириденко И. С. Проектирование электрических машин. / Под ред. О. Д. Гольдберга, – Изд. 2-е. – М.: Высш. шк., 2001. – 430 с.
5. Любецкий Д. Г., Макаров Л. С., Урецкий И. З. Литые обмотки роторов асинхронных электродвигателей. – М.: Энергия, 1979. – 169 с.
6. Гудченко А. П., Васильева И. Н. Влияние состава сплава и скорости охлаждения на образование газовой пористости в отливках из алюминиевых сплавов / Исследование процессов литья алюминиевых, магниевых и титановых сплавов. – М.: Машиностроение, 1969. – 320 с.

## Анотація

Чибічик О. А., Мартиненко В.Ф., Акімов О. В., Шишко А. Є.

Методологія конструкторсько-технологічного проектування та виготовлення короткозамкнутого литого ротора для асинхронних електродвигунів

Розглянуто методологію модернізації конструкції короткозамкнутого литого ротора для виготовлення асинхронних електродвигунів потужністю до 400 кВт. Проаналізовано основні види браку, що виникають у результаті заливки «білячої клітини» і визначено їх вплив на експлуатаційні характеристики ротора. Також описано конструкторсько-технологічних способів проектування ротора та наведено рекомендації щодо підвищення якості заливки.

## Ключові слова

короткозамкнений ротор, асинхронний електродвигун, «біляча клітина», дефекти

## Summary

Chibichik O., Martynenko V., Akimov O., Shishko A.

Methodology of design-engineering planning and making of the shortcircuited cast rotor for asynchronous electric motors

The article deals with the methodology of the shortcircuited cast rotor construction modernization is considered for making of asynchronous electric motors power to 400 kW. The basic types of defects arising from pouring «squirrel cage» and determined their impact on the performance of the rotor are analyzed. Design research and technological methods of designing the rotor and recommendations to improve the quality of the fill are presented.

## Keywords

squirrel-cage rotor, induction motor, «squirrel cage», defects

Поступила 26.05.10

УДК 669.187.013

А. Ю. Жиглявский, Р. И. Величко, А. И. Шолков

МЗ «ООО «Днепросталь»», Днепропетровск

## Строительство электросталеплавильного комплекса для производства непрерывнолитой круглой заготовки в Днепропетровске

В основу проекта электросталеплавильного комплекса (ЭСПК) заложены современные технологии сталеплавильного производства, которые обеспечивают максимальную защиту окружающей среды. Высокий уровень автоматизации гарантирует высокую производительность и высокий уровень культуры производства. Все непрерывнолитые заготовки, производимые ЭСПК, будут использоваться для внутреннего потребления трубопрокатными заводами «Интерпайп».

**Ключевые слова:** сталеплавильное производство, дуговая сталеплавильная печь (ДСП), установка ковш-печь (УКП), машина непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), вакууматор, круглая заготовка

Между представителями компании «Интерпайп» и фирмой «Danieli» 13 сентября 2007 г. был подписан контракт на строительство в г. Днепропетровске электросталеплавильного комплекса (ЭСПК) производительностью 1 млн 320 тыс. т/год

трубных и колесных заготовок. Согласно условиям контракта фирма «Danieli» производит строительство ЭСПК по концепции «под ключ». Технико-экономическое обоснование (ТЭО) проекта выполнено ГП «Укрспромез».