

DOI 10.32820/2079-1747-2020-25-121-130

УДК 621.791

УПРАВЛЕНИЕ НАГРЕВОМ ДЕТАЛЕЙ СОЕДИНЕНИЙ ПОД СБОРКУ ИЛИ РАЗБОРКУ

©Резниченко Н.К., Резниченко Е.Н.

Украинская инженерно-педагогическая академия

Информация об авторах:

Резниченко Николай Кириллович: ORCID: 0000-0002-6989-0270; rezlynik@ukr.net; доктор технических наук, профессор кафедры интегрированных технологий в машиностроении и сварочном производстве; Украинская инженерно-педагогическая академия; ул. Университетская 16, г. Харьков, 61003, Украина.

Резниченко Елена Николаевна: ORCID: 0000-0001-9042-7355; rezlynik@ukr.net; кандидат педагогических наук, доцент кафедры педагогики, методики и менеджменту образования; Украинская инженерно-педагогическая академия; ул. Университетская 16, г. Харьков, 61003, Украина.

В статье рассмотрены вопросы управления индукционным нагревом при сборке и разборке прессовых соединений. Систематизированы схемы индукционного технологического нагрева деталей для сборки и разборки соединений, и предложена новая схема нагрева, обеспечивающая равномерное распределение температур по радиусу осесимметричной детали при ее нагреве под сборку.

Предложены принципы построения гибких устройств индукционными нагревателями на основе частотно-импульсного метода и широтно-импульсных преобразователей с компенсацией реактивной мощности и оптимизацией режимов работы; определены направления развития управляемых процессов частотно-импульсного метода и широтно-импульсного технологического индукционного нагрева изделий с компенсированной реактивной мощностью.

Произведена конструкторско-технологическая типизация индукционных нагревателей по областям применения – сборка, разборка или сборка-разборка, конструкциям деталей, а так же предложено к использованию управление по току, позволяет выполнять нагрев с высоким коэффициентом мощности ($\cos \varphi$ до 0,6 – 0,7), что уменьшает расход электрической энергии.

Проведенный анализ показывает, что проблема управления коэффициентом мощности индукционной установки тесно связана с другими ее характерными показателями, в частности область и диапазон применения индукционного нагрева с его управляемостью. Если считать, что областью низкотемпературного нагрева является нагрев до 600°C, т.е. когда не пройдена точка Кюри для ферромагнетиков, а к области высокотемпературного нагрева отнести диапазон свыше точки Кюри, то окажется, что в данном диапазоне востребованность к управлению нагревом возрастает, хотя бы потому, что требуется получать управляемые источники повышенной частоты.

Ключевые слова: технология сборки и разборки, качество технологических процессов, энергосбережение, индукционный нагрев.

Резніченко М.К., Резніченко О. М. «Управління нагріванням деталей з'єднань під збирання та розбирання».

У статті розглянуті питання управління індукційним нагріванням при складанні і розбиранні пресових з'єднань. Систематизовані схеми індукційного технологічного нагріву деталей для збирання і розбирання з'єднань, і запропонована нова схема нагріву, що забезпечує рівномірний розподіл температур по радіусу осесіметрічної деталі при її нагріванні під складання.

Запропоновано принципи побудови гнучких пристроїв індукційними нагрівачами на ос-

нові частотно-імпульсного методу і широтно-імпульсних перетворювачів з компенсацією реактивної потужності і оптимізацією режимів роботи; визначено напрями розвитку керованих процесів частотно-імпульсного методу і широтно-імпульсного технологічного індукційного нагріву виробів з компенсованої реактивної потужністю.

Проведена конструкторсько-технологічна типізація індукційних нагрівачів по областям застосування - збірка, розбирання або складання та розбирання, конструкцій деталей, а так само запропоновано до використання управління по струму, дозволяє виконувати нагрів з високим коефіцієнтом потужності ($\cos \varphi$ до 0,6 - 0,7), що зменшує витрату електричної енергії.

Проведений аналіз показує, що проблема управління коефіцієнтом потужності індукційної установки тісно пов'язана з іншими її характерними показниками, зокрема область і діапазон застосування індукційного нагріву з його керованістю. Якщо вважати, що областю низькотемпературного нагріву є нагрів до 600 ° C, тобто коли не пройдена точка Кюрі для ферромагнетиків, а до області високотемпературного нагріву віднести діапазон понад точки Кюрі, то виявиться, що в даному діапазоні затребуваність до управління нагріванням зростає, хоча б тому, що потрібно отримувати керовані джерела підвищеної частоти.

Ключові слова: технологія збирання та розбирання, якість технологічних процесів, енергозбереження, індукційний нагрів.

Reznichenko M., Reznichenko O. «Control of heating of details of connections under assembly and disassembly».

The article discusses the issues of induction heating control during assembly and disassembly of press joints. Schemes for induction technological heating of parts for assembling and disassembling compounds are systematized, and a new heating scheme is proposed that provides uniform temperature distribution along the radius of the axisymmetric part when it is heated for assembly.

The principles of constructing flexible control systems by induction heaters based on the pulse-frequency method and pulse-width converters with reactive power compensation and optimization of operating modes are proposed; directions of development of controlled processes of the pulse-frequency method and pulse-width technological induction heating of products with compensated reactive power are determined.

Design and technological typification of induction heaters was carried out according to the fields of application - assembly, disassembly or assembly and disassembly, part designs, as well as the current control was proposed for use, it allows heating with a high power factor ($\cos \varphi$ up to 0.6 - 0.7), which reduces the consumption of electrical energy.

The analysis shows that the problem of controlling the power factor of an induction installation is closely related to its other characteristic indicators, in particular, the area and range of application of induction heating with its controllability. If we consider that the area of low-temperature heating is heating to 600 ° C, i.e. when the Curie point for ferromagnets is not passed, and the range above the Curie point is attributed to the region of high-temperature heating, then it turns out that in this range the demand for heating control increases, if only because it is necessary to obtain controlled sources of increased frequency.

Keywords: assembly and disassembly technology, quality of technological processes, energy saving, induction heating.

Введение

Индукционный нагрев изделия до заданной конечной температуры происходит при изменяющейся температуре на поверхности. Скорость изменения зависит от величины гене-

рируемой в поверхности слое энергии в единицу времени, что определяется активной мощностью нагревателя. Можно выделить несколько характеристик режимов, которые не встречаются в совершенно чистом виде, но в определенной степени соответствуют режимам, имеющим место в практике.

Наиболее распространен простой случай нагрева – с постоянной во времени удельной мощностью. В тепловом расчете этого режима принимают, что глубина слоя, в котором выделяется тепло, неизменна во времени. В пределах слоя мощность источников тепла постоянна, а за его пределами равна нулю и тепло распространяется теплопроводностью без потерь в окружающую среду. Величина мощности принимается средней за период нагрева. При такой постановке задачи время нагрева до заданной температуры вычисляется однозначно, и распределение температуры по массе детали получают из уравнения Фурье с правой частью, как это показано в разделе.

Обзор литературных источников.

Вопросами управления индукционным нагревом занимались многие исследователи, но все работы были посвящены решению конкретной задачи стоящей перед исследователем. В работе Арпентьева Б.М. [10] рассмотрены параметрические показатели качества изделий. В работе Дубровенского Ю.М. [2] разработано устройство для сборки прессовых соединений деталей сложной формы. В работе Дуки А.К. [3] рассмотрена задача по определению качества сборки соединений с натягом при использовании нагрева. М.К. Кравцов [5] изучал влияние некоторых видов покрытий на прочность неподвижных соединений собранных тепловым способом. Ранее автор исследовал параметрические показатели качества изделий и проводил оптимизацию индукционного нагрева изделий в механосборочном производстве.

Цель и задачи исследования

Систематизировать схемы индукционного технологического нагрева деталей для сборки и разборки соединений. предложить гибкую СУ индукционными нагревателями на основе частотно-импульсного метода и широтно-импульсных преобразователей с компенсацией реактивной мощности и оптимизацией режимов работы; определены направления

Изложение основного материала

При большой мощности может возникнуть перепад температур в материале детали, который недопустим по техническим условиям, поэтому проверка распределения температур в этом случае необходима. С увеличением времени нагрева и уменьшением удельной мощности заметным образом сказываются потери тепла. Особенно они увеличиваются, если выполняется нагрев части детали (ступицы, зоны посадочного отверстия), поскольку часть тепла уходит в массу металла. Поэтому необходимо вводить поправку в рассчитанную мощность примерно в 20% от W .

Такой нагрев будет эффективен, если правильно подобрать к детали форму индуктора (или несколько индукторов) и нужным образом расположить концентраторы электромагнитного поля – магнитопроводы.

Более сложен нагрев при постоянной температуре поверхности. Он необходим в ТП, когда температура поверхности детали ограничена, например, поверхность закалена, или при разборке, когда надо сохранить снимаемую охватывающую деталь от перегрева. Такой режим нагрева в строгом его понимании осуществлен быть не может, так как в момент включения индуктора его удельная мощность должна быть бесконечно большой. Практически температуру на поверхности детали следует поднимать быстро в течении промежутка времени, который значительно меньше, чем общая длительность нагрева, а затем температуру поддерживать постоянной. Этот режим приводит к меньшим тепловым потерям, чем предыдущий, с постоянной удельной мощностью.

Этот режим обеспечивается следующими методами: 1) регулирование мощности индуктора в процессе нагрева; 2) нагрев периодическим включением достаточно мощного индуктора до предельной температуры детали. Регулирование мощности сводится к ее постепенному уменьшению, а периодичность – поддержанием температуры поверхности в некотором диапазоне. При первом методе начальное значение удельной мощности значительно больше, чем конечное. При втором – удельная мощность постоянна, но циклична по времени. Вторым методом – циклическим включением индуктора (индукторов), обеспечивают приблизительно постоянную температуру поверхности, поскольку она изменяется от заданной до несколько меньшей. Такой нагрев называют так же импульсным. Методы реализуются программным управлением величины мощности во времени, программным управлением заданной мощности, либо управлением по температуре. Методы управления могут сочетаться, если нагревается ответственное изделие. При любых режимах нагрева необходимо учитывать возможность возникновения недопустимых температурных перепадов в материале деталей, которые приведут к высоким напряжениям, особенно если деталь сложна по конфигурации. Основным недостатком индукционных устройств, с точки зрения обеспечения конечного качества изделий, является значительная неоднородность (гетерогенность) нагрева из-за больших градиентов температурного поля в нагреваемой детали, которые могут привести к ее деформациям при больших скоростях нагрева и при сложной форме. Другие недостатки относятся к энергетическим показателям: большая величина потребляемой реактивной мощности (низкий $\cos \varphi$) и несимметричность нагрузки по отношению к трехфазной сети при однофазных индукторах. Кроме того, в процессе нагрева уменьшается его мощность из-за возрастания активных и индуктивных сопротивлений нагреваемых изделий.

Снижают величину реактивной мощности, и стабилизирует ток в индукторе снабжением ИДУ средствами компенсации. Это введение в канал управления индуктором отрицательной обратной связи по току, что позволяет компенсировать уменьшение потребляемого тока в процессе нагрева деталей из-за увеличения их активного и реактивного сопротивлений греющему току путем некоторого увеличения питающего напряжения, начальные значения которого устанавливаются несколько ниже номинального.

Устранение негативного влияния несимметричности электрической нагрузки по фазам сети от включения индукционных нагревателей, помимо известных схем симметрирования (например, схема Штейнметца), наиболее радикально возможно при использовании частотного регулирования напряжения питания. В частности, применение тиристорных преоб-

разователей частоты или широтно-импульсных преобразователей с полностью управляемыми полупроводниковыми элементами типа IGB-транзисторов позволяет не только полностью симметризовать потребляемые из сети токи по фазам за счет введения промежуточного звена постоянного тока, но и эффективно управлять потребляемым из сети реактивным током.

Еще более повысить $\cos \varphi$ сети возможно, если тиристорный инвертор заменить широтно-импульсным преобразователем на полностью управляемых (т.е. включаемых и отключаемых по сигналу управления) вентилях типа IGB-транзисторах. Принципиальная схема силовой части транзисторного преобразователя показана на рис. 1.

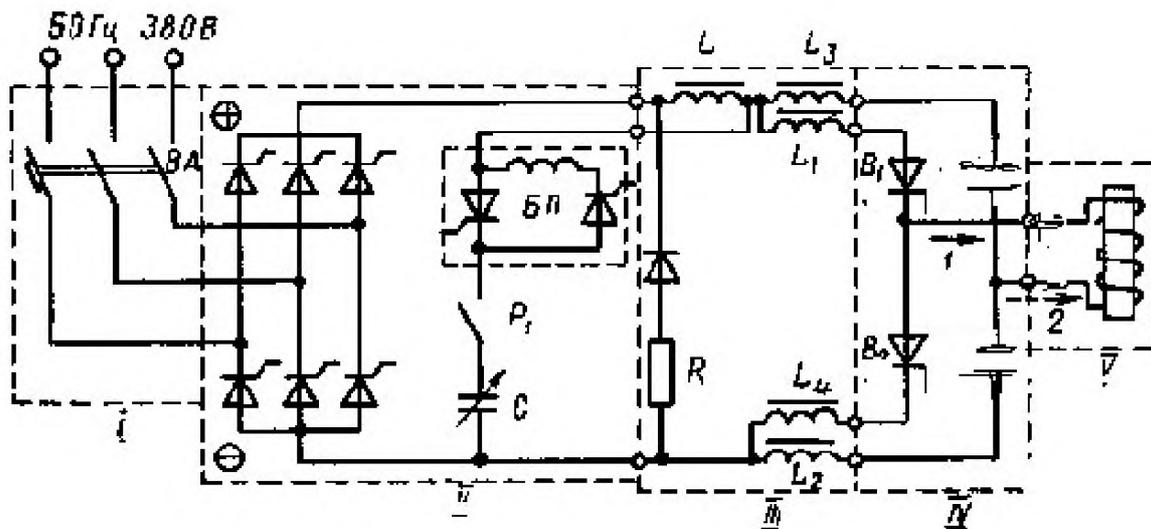


Рис.1 Принципиальная схема силовой части транзисторного преобразователя

Принцип действия такого преобразователя (ШИМ-преобразователь) основан также на попеременном отпирании и запираии транзисторов. В результате этого в индукционной катушке будет протекать переменный ток, частота которого определяется частотой переключения транзисторов инвертора. Если время переключения транзисторов ШИМ-преобразователя синхронизировать с временем коммутации вентилях выпрямителя постоянного тока, то угол коммутации вентилях последнего обратится в нуль, и коэффициент мощности для сети станет равным 1. Преобразователи подобного типа могут использоваться для частот 0,05-15 кГц и токах до 1000 А. В силу значительной стоимости оборудования с такой системой управления, индукционные установки данного типа экономически целесообразно применять в технологических процессах большой производительности и энергоемкости.

Помимо рассмотренных методов и схем используется также способ регулирования потребляемого из сети реактивного тока (или $\cos \varphi$ сети) который состоит в переключении отдельных групп конденсаторов на входе индуктора. При этом возможны режимы как недокомпенсации (отставание тока питающей сети от напряжения), так и перекомпенсации (ток группы конденсаторов превышает ток индуктора, вследствие чего результирующий ток сети опережает ее напряжение). Оптимальным является минимизация потребляемого из сети тока при $\cos \varphi=1$ При этом минимизируются потери и в подводящих кабелях, облегчается работа пуско-регулирующей аппаратуры. Недостатком переключения емкостей ступенями является

дискретное $\cos\varphi$ сети, при котором, как правило, не удается соблюсти условие $\cos\varphi=1$ в течение всего времени нагрева. Схемы коммутации емкостей с помощью тиристоров в какой то степени может сгладить дискретный характер регулирования $\cos\varphi$, однако, и в этом случае следует учитывать высокую стоимость подобных устройств.

В этих конструкциях могут использоваться следующие способы переключения переменной части емкостей. Наиболее простым является способ переключения, при котором группы конденсаторов равновелики по емкости, а число контакторов и групп равно числу необходимых ступеней регулирования. Естественно, что число контакторов при этом способе оказывается большим, вследствие чего применяют иные способы. Например, включают емкости по двоичному коду, при котором каждый последующий контактор включает емкость в два раза большую, чем предыдущий контактор (ряд емкостей имеет вид 1, 2, 4, 8 и т.д.). Изменение общей емкости достигаются изменением комбинаций включенных групп, так что при n переключателях можно получить 2^n ступеней емкости. Более плавное соотношение между ступенями можно достичь, если соотношение емкостей между двумя последующими переключателями построить по коду Фибоначчи (ряд емкостей имеет вид 1, 2, 3, 5, 8 и т.д.).

Недостаток этих способов отсутствие плавного подрегулирования между ступенями остается. Повысить плавность регулирования потребляемого из сети реактивного тока можно следующим предполагаемым способом изменения индуктивных параметров индуктора для компенсации дискретного изменения величины переключаемых емкостей на его входе. Действительно, если рассмотреть упрощенную схему замещения индуктора, характеризующегося эквивалентными параметрами индуктивности и активного сопротивления, включающими приведенные к первичной катушке параметрами нагреваемого изделия, то величина потребляемого из сети тока может быть определена через эти эквивалентные параметры по формуле

$$I_c^* = U_c^* \cdot \left(\frac{j}{\omega \cdot C} + \frac{R_u - j\omega \cdot L_u}{R_u^2 + \omega^2 \cdot L_u^2} \right) \quad (1)$$

Здесь I_c^* , U_c^* – комплексы напряжения и тока сети соответственно; R_u , L_u эквивалентные активное и индуктивное сопротивления индуктора с деталью; j – мнимое число; ω – частота тока; C – емкость конденсаторов. Минимальное значение этого тока достигается при равенстве:

$$R_u^2 + \omega^2 \cdot C^2 = \omega^2 \cdot C \cdot L_u, \quad (2)$$

которое можно достичь дискретным (грубое регулирование) переключением величины емкостей конденсаторов и плавной настройкой величины эквивалентной индуктивности индуктора L_u .

Плавную настройку величины эквивалентной индуктивности индуктора L_u возможно реализовать путем изменения магнитного состояния нагреваемого изделия, накладывая на него дополнительное подмагничивающее поле постоянной величины и направления, т.е.

производя нагрев в регулируемом по величине асимметричным, по направлению, магнитным полем (рис.2).

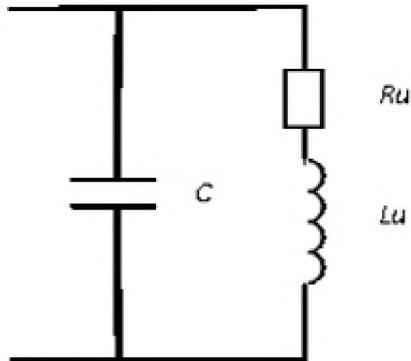


Рис. 2 Эквивалентная схема замещения электрической части индуктора.

Сущность асимметричного проявления электромагнитного поля заключается в том, что для положительной, совпадающей с направлением подмагничивания, и отрицательной полуволн электромагнитного поля значения магнитной проницаемости материала изделия оказываются разными, что приводит к изменению глубины проникновения, а с ней и индуктивности индуктора по сравнению с симметричным полем.

Рассмотрим это явление. Нагреваемая деталь, выполненная из материала, имеющего магнитную проницаемость μ и удельное электросопротивление ρ подвергается воздействию переменного электромагнитного поля.

При этом волна электромагнитной энергии от индукционной катушки распространяется через диэлектрик (воздух) и подходит по нормали (ось z) к поверхности, ограничивающей проводящую среду нагреваемой детали (металл). Величину, характеризующую зависимость эквивалентной магнитной проницаемости μ от изменения напряженности H магнитного поля можно получить непосредственно из второго уравнения Максвелла

$$\operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial \tau} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial H} \cdot \frac{\partial \vec{H}}{\partial \tau}, \quad (3)$$

где B – вектор магнитной индукции.

Традиционно из справочной литературы и стандартных характеристик материала известны зависимости:

$$\mu(H) = \frac{B}{H}, \quad (4)$$

которые получают по основной статической кривой намагничивания материала. С их учетом:

$$\frac{\partial B}{\partial H} = \frac{\partial \mu(H)}{\partial H} H + \mu(H).$$

Тогда

$$\operatorname{rot} \vec{E} = -\left(\frac{\partial \mu(H)}{\partial H} H + \mu(H) \right) \frac{\partial H}{\partial \tau} = -\mu_{\vartheta} \frac{\partial \vec{H}}{\partial \tau}, \quad (5)$$

где

$$\left(\frac{\partial \mu(H)}{\partial H} H + \mu(H) \right) = \mu_{\vartheta}.$$

здесь μ_{ϑ} – эквивалентная магнитная проницаемость. При этом для определения потерь на вихревые токи следует брать значения μ в поворотных точках петли гистерезиса, что и дает воз-

возможность изменения μ за счет асимметрии поля.

Другой метод регулирования потребляемой из сети реактивной мощности и повышения $\cos \varphi$ можно найти, если обратить внимание, что они сравнимы с $\cos \varphi$ однофазных асинхронных двигателей с пространственно-пульсирующим полем в режимах пуска, т.е. короткого замыкания. Поэтому использование в индукционных установках пространственно вращающихся полей может приводить к повышению $\cos \varphi$, как это имеет место в трехфазных асинхронных двигателях.

Реализация данного направления предлагается в устройстве для нагрева деталей кольцевой формы вращающимся в пространстве полем, создаваемое индуктором, выполненным в виде дискового магнитопровода с торцевыми выступами, на каждом из которых размещена катушка многофазной обмотки и дополнительный дисковый магнитопровод, установленный над индуктором с зазором для размещения нагреваемых деталей .

Проведенный анализ показывает, что проблема управления коэффициентом мощности индукционной установки тесно связана с другими ее характерными показателями, в частности область и диапазон применения индукционного нагрева с его управляемостью. Если считать, что областью низкотемпературного нагрева является нагрев до 600°C , т.е. когда не пройдена точка Кюри для ферромагнетиков, а к области высокотемпературного нагрева отнести диапазон свыше точки Кюри, то окажется, что в данном диапазоне востребованность к управлению нагревом возрастает, хотя бы потому, что требуется получать управляемые источники повышенной частоты.

При этом при управляемом индукционном способе нагрева можно обеспечить как симметричный, так и асимметричный, полный и локальный прогрев деталей различных форм и размеров с различной интенсивностью во времени и пространственным градиентом. Широкий выбор, предоставляемый современным рынком силовой электроники и микропроцессорной техники, позволяет при приемлемых затратах на аппаратные и программные средства, необходимых для реализации процессов управления коэффициентами мощности индуктора, создавать также системы индукционного нагрева управляемой частоты.

Выводы

В качестве основных направлений развития управляемых процессов частотно-импульсного технологического индукционного нагрева изделий с компенсированной реактивной мощностью предложить следующие: снижение энергопотребления, в том числе, в основном реактивной мощности, путем уменьшения полей рассеивания электромагнитной энергии за счет оптимизации конструкции индуктора; универсализация и специализация индукторов по типам изделий по типу управления мощностью нагрева в пространстве и времени симметричными и асимметричными вращающимися и пульсирующими полями; при этом для индивидуального и мелкосерийного производства использовать более простые конструкции индукторов соленоидного типа с пульсирующими полями, а для крупносерийного производства использовать преимущества индукторов с вращающимися полями; повышение $\cos \varphi$ за счет использования плавно управляемых компенсационных систем при нагреве в асимметричных полях.

Список использованных источников:

1. Лыткина Н. К. Напряженно-деформированное состояние втулки подшипника скольжения при тепловой сборке и эксплуатации / Н. К. Лыткина, В. И. Кушаков, Н. К. Резниченко // *Детали машин : республиканский межведомственный науч.-тех. сб.* – 1980. – № 30. – С. 96.
2. Тепловая сборка и разборка крупногабаритных деталей кольцевой формы / В. А. Любов, А. А. Святуха, М. К. Кравцов [и др.] // *Повышение организационно-технического уровня сборочного производства на предприятиях "Минсельмаш" : всесоюзный научно-технический семинар.* – Павлодар, 1984. – С. 5–7.
3. Станок для тепловой сборки / Н. К. Резниченко, В. А. Романов, А. И. Куценко [и др.] // *Механизация и автоматизация производства.* – 1988. – № 7. – С. 18–19.
4. Механизированная разборка соединений колец подшипников с осями колесных пар / Н. К. Резниченко, В. А. Романов, А. И. Куценко [и др.] // *Механизация и автоматизация производства.* – 1990. – № 3. – С. 7–8.
5. Механизация разборки подшипниковых колец и лабиринтовых уплотнений осей колесных пар тепловозов / А. А. Святуха, М. К. Кравцов, В. А. Любов [и др.] // *Механизация и автоматизация производства.* – 1990. – № 12. – С. 18–19.
6. Лыткина Н. К. Полуавтомат для тепловой сборки соединений "вал-ступица" ленточных конвейеров / Н. К. Лыткина, Н. К. Резниченко // *Материалы научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава ХИПИ.* – Харьков, 1993. – С. 20–21.
7. О влиянии прочностных характеристик промежуточных сред на несущую способность соединений с натягом собранных тепловым способом / М. К. Кравцов, Н. К. Резниченко, А. А. Святуха [и др.] // *Сучасні інформаційні та енергозберігаючі технології життєзабезпечення людини : зб. наук. пр.* – Київ : КНУТД. – 2003. – № 13. – С. 203–210.
8. Кравцов М. К. Определение прочности характеристик промежуточного слоя в неподвижных соединениях, собранных технологий с нагревом / М. К. Кравцов, Н. К. Резниченко, А. А. Святуха // *Сучасні інформаційні та енергозберігаючі технології життєзабезпечення людини : зб. наук. пр.* – Київ : КНУТД. – 2004. – № 39. – С. 77–85.
9. Андреев А. Г. Напряженно-деформированное состояние составных осесимметричных конструкций, собираемых с натягом при использовании нагрева / А. Г. Андреев, Н. К. Резниченко // *Вісник Національного технічного університету "ХПІ".* – Харків : НТУ «ХПІ». – 2005. – № 47. – С. 3–8.
10. Арпентьев Б. М. Применение технологии сборки соединений с натягом в машиностроительном производстве / Б. М. Арпентьев, Н. К. Резниченко // *Вісник Національного технічного університету "ХПІ".* – Харків : НТУ «ХПІ». – 2005. – № 43. – С. 52–55.
11. Дука А. К. Нелинейная модель теплового режима сборки и разборки соединений с натягом / А. К. Дука, Н. К. Резниченко // *Вісник Національного технічного університету "ХПІ".* – Харків : НТУ «ХПІ». – 2005. – № 23. – С. 89–95.
12. Резниченко Н. К. Надежность многовитковых индукторов / Н. К. Резниченко, Ю. И. Созонов // *Вісник Національного технічного університету "ХПІ".* – Харків : НТУ «ХПІ». – 2005. – № 39. – С. 22–29.
13. Резниченко Н. К. Энергоинформационные технологии в сборочном производстве / Н. К. Резниченко // *Вісник Національного технічного університету "ХПІ".* – Харків : НТУ «ХПІ». – 2005. – № 9. – С. 43–48.

References

1. Lytkina, NK, Kushakov, VI & Reznichenko, NK 1980, 'Naprjazhenno-deformirovannoe sostojanie vtulki podshipnika skolzhenija pri teplovoj sborkе i jekspluatacii', *Detali mashin*, no. 30, pp. 96.
2. Ljubov, VA, Svjatuha, AA, Kravcov, MK et. al. 1984, 'Teplovaja sborka i razborka krupnogabaritnyh detalej kolcevoj formy', *Povyshenie organizacionno-tehnicheskogo urovnja sborochnogo proizvodstva na predpriyatijah Minselmasha*, Pavlodar, pp. 5-7.
3. Reznichenko, NK, Romanov, VA, Kucenko, AI et.al. 1988, 'Stanok dlja teplovoj sborki', *Mehanizacija i avtomatizacija proizvodstva*, no. 7, pp. 18-19.
4. Reznichenko, NK, Romanov, VA, Kucenko, AI et. al. 1990, 'Mehanizirovannaja razborka soedinenij kolec podshipnikov s osjami kolesnyh par', *Mehanizacija i avtomatizacija proizvodstva*, no. 3, pp. 7-8.

5. Svjatuha, AA, Kravcov, MK, Ljubov, VA et. al. 1990, 'Mehanizacija razborki podshipnikovyh kolec i labirintovyh uplotnenij oseb kolesnyh par teplovozov', *Mehanizacija i avtomatizacija proizvodstva*, no. 12, pp. 18-19.

6. Lytkina, NK & Reznichenko, NK 1993, 'Poluavtomat dlja teplovoj sborki soedinenij val-stupica lentochnyh konvejerov', *Materialy nauchno-tehnicheskoi konferencii professorsko-prepodavatel'skogo sostava Harkovskogo inzhenerno-pedagogicheskogo instituta*, Harkov, pp. 20-21.

7. Kravcov, MK, Reznichenko, NK, Svjatuha, AA et. al. 2003, 'O vlijanii prochnostnyh karakteristik promezhutochnykh sred na nesushhuju sposobnost soedinenij s natjagom sobrannykh teplovym sposobom', *Suchasni informatsiini ta enerhozberihaiuchi tekhnologii zhyttiezabezpechennia liudyny*, Kyivskiy natsionalnyi universytet tekhnologii ta dyzainu, Kyiv, no. 13, pp. 203-210.

8. Kravcov, MK, Reznichenko, NK & Svjatuha, AA 2004, 'Opredelenie prochnosti karakteristik promezhutochnogo sloja v nepodviznykh soedineniyah, sobrannykh tehnologiy s nagrevom', *Suchasni informatsiini ta enerhozberihaiuchi tekhnologii zhyttiezabezpechennia liudyny*, Kyivskiy Natsionalnyi Universytet Tekhnologii ta Dyizainu, Kyiv, no. 39, pp. 77-85.

9. Andreev, AG & Reznichenko, NK 2005, 'Napryazhenno-deformirovannoe sostojanie sostavnykh osesimmetrichnykh konstruktsiy, sobiraemykh s natjagom pri ispolzovanii nagreva', *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Kharkivskiy politekhnichnyi instytut*, Natsionalnyi tekhnichnyi universytet Kharkivskiy politekhnichnyi instytut, Kharkiv, no. 47, pp. 3-8.

10. Arpentev, BM & Reznichenko, NK 2005, 'Primenenie tekhnologii sborki soedinenij s natjagom v mashinostroitel'nom proizvodstve', *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Kharkivskiy politekhnichnyi instytut*, Natsionalnyi tekhnichnyi universytet Kharkivskiy politekhnichnyi instytut, Kharkiv, no. 43, pp. 52-55.

11. Duka, AK & Reznichenko, NK 2005, 'Nelinejnaja model teplovogo rezhima sborki i razborki soedinenij s natjagom', *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Kharkivskiy politekhnichnyi instytut*, Natsionalnyi tekhnichnyi universytet Kharkivskiy politekhnichnyi instytut, Kharkiv, no. 23, pp. 89-95.

12. Reznichenko, NK & Sozonov, JuI 2005, 'Nadezhnost mnogovitkovykh induktorov', *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Kharkivskiy politekhnichnyi instytut*, Natsionalnyi tekhnichnyi universytet Kharkivskiy politekhnichnyi instytut, Kharkiv, no. 39, pp. 22-29.

13. Reznichenko, NK 2005, 'Jenergoinformacionnye tekhnologii v sborochnom proizvodstve', *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Kharkivskiy politekhnichnyi instytut*, Natsionalnyi tekhnichnyi universytet Kharkivskiy politekhnichnyi instytut, Kharkiv, no. 9, pp. 43-48.

Статья поступила в редакцию 25 марта 2020 г.