УДК 621.91

Дубров Д.Ю., канд. техн. наук, с.н.с., ООО «ДИАПАЗОН-1» г. Ростов-на-Дону
Дубров Ю.С., проф., к.т.н., кафедра «МРСиИ», ФГБОУ ВО ДГТУ;
Осаченко М.Д., магистрант кафедры «МРСиИ» ФГБОУ ВО ДГТУ,
Сыромятников Д.А., магистрант кафедры «МРСиИ», ФГБОУ ВО ДГТУ.

О возможности повышения точности обработки в технологической системе

Аннотация. *Среди процессов, протекающих при обработке металлов резанием, тепловой фактор игра-ет весьма важную роль. Доля тепловых деформаций в общем балансе погрешностей обработки и точности станка тем выше, чем жестче и выше требования к точности обрабатываемых деталей. Особую роль играют тепловые деформации в станках с ЧПУ, так как они являются более энергоёмкими, а доля машинного времени достигает 70-90%. Нами предлагается использование контурных тепловых труб для шпиндельного узла, и тепловой трубы для резца, для отвода тепла на теплосъемник-контейнер с плавящимся веществом, что позволяет повысить точность обработки.*

Abstract. *Among the processes occurring during metal cutting, the heat factor plays a very important role. The share of thermal deformation in the overall balance of errors of processing and accuracy of the machine is higher, the harder and higher requirements for precision machined parts. Special role is played by thermal deformation in machine tools with CNC, as they are more energy-intensive, and the proportion of machine time reaches 70-90%. We propose the use of loop heat pipes for spindle Assembly, and heat pipe for cutter, for heat dissipation the heat sink is a container with a consumable substance, which improves machining accuracy.*

Ключевые слова: *Термостабилизация, тепловые трубы, контурные тепловые трубы шпиндельные узлы, плавящиеся вещества, резец.*

Key words: *heat setting, heat pipe, loop heat pipe spindle units, melting substances, cutter.*

В соответствии с требованиями ГОСТ 27.004-85 технологическая система (ТС) - это совокупность функционально связанных средств оснащения, предметов производства и исполнителей, предназначенная для выполнения заданных технологических процессов или операций. По мнению Резникова А.Н. [1], ТС может быть разделена на подсистемы трех уровней. Целью

© Электронный научный журнал «Инженерная Наука и Образование», 2015-2017

получения на заготовке (детали) отдельных поверхностей имеет технологическая подсистема первого уровня (рис.1), которая содержит оборудование, инструмент, обрабатываемый материал, технологическую среду, средства контроля и управления, объединяемые рабочим процессом.

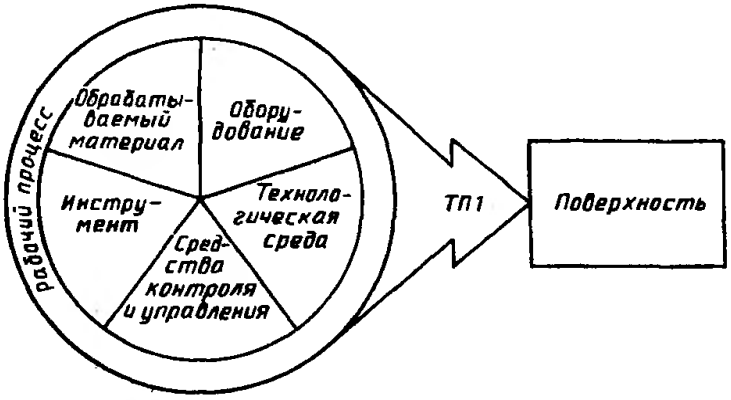


Рис.1 - Технологическая система

Известно, что под точностью обработки понимают степень соответствия изготовленной детали заданным размерам и форме. Среди многочисленных факторов, влияющих на точность обработки, весомую роль играет п**огрешность при тепловых деформациях системы.** В процессе обработки элементы технологической системы нагреваются в результате трения подвижных частей станка.

Исследованиями многих авторов установлено, что тепловое состояние технологической системы является нестационарным в результате попеременно действующих источников тепла, неравномерности выделяемого тепла и перерывов в работе технологической системы.

Различают два вида теплового состояния системы: нестационарное (пуск станка до теплового равновесия системы) и стационарное (окончание обработки). Нагрев деталей станка, детали, инструмента, приспособления приводит к линейному и объемному увеличениям их размеров. Происходит удлинение режущего инструмента, удлиняются детали станка и обрабатываемой заготовки.

© Электронный научный журнал «Инженерная Наука и Образование», 2015-2017

Погрешности, связанные с термическими деформациями, наиболее существенно проявляют себя в период разогрева технологической системы. Изменение (рассеяние) размеров деталей партии ориентировочно следует закону равной вероятности: имеет место периодическая закономерно изменяющаяся погрешность. После установления в системе термического равновесия конфигурации размеров деталей замедляются либо прекращаются совсем, а величина рассеяния Δт оказывается малой. В этот период погрешность Δт рассматривают как величину периодическую, постоянную.

Среди процессов, протекающих при обработке металлов резанием, тепловой фактор играет также весьма важную роль. Доля тепловых деформаций в общем балансе погрешностей обработки и точности станка тем выше, чем жестче и выше требования к точности обрабатываемых деталей. Особую роль играют тепловые деформации в станках с ЧПУ, так как они являются более энергоёмкими, а доля машинного времени достигает 70-90%. Предлагается использование труб для отвода тепла на теплосъемник-контейнер с плавящимся веществом, что позволяет создать систему термостабилизации**.**

На сегодняшний день существенный рост скоростей резания неуклонно повышает тепловую нагруженность ШУ станка. Ведущие фирмы-производители высокоточных станков применяют комплектующие, обеспечивающие следующую точность: подшипники - биение не более 1 мкм; изготовление и сборка шпиндельных узлов - силовые смещения в пределах нескольких мкм. Обеспечение указанной точности невозможно без учета тепловых деформаций даже при небольших частотах вращения, например, без учета теплового влияния на станок, при частотах вращения 6000 мин $^{-1}$, невозможно добиться выходной точности менее 10 мкм.

Известно, что на точность вращения шпинделя оказывают погрешности опор ШУ, тогда причины актуальности регулирования теплового поля корпусных деталей ШУ обусловлены деформациями рабочих поверхностей

© Электронный научный журнал «Инженерная Наука и Образование», 2015-2017

под подшипники, которые имеют допуски на некруглость порядка 0,5 мкм для точных станков. Тепловые смещения искажают эти поверхности, создавая ухудшение условий работы опоры, тогда характер и условия работы подшипников становятся неизвестными; причем размеры искажения сопоставимы с допусками на точностные размеры поверхностей. Поэтому поддержание уровня теплоустойчивости данных поверхностей – задача, влияющая на точность обработки [2].

Кроме того, деформации корпуса ШУ и шпинделя приводят к изменению начальных, геометрически настроенных размеров и ведут к погрешностям обработки. Это особенно важно при малых силовых и динамических составляющих процесса обработки, когда тепловые смещения соизмеримы с допуском на обработку, т.е. при особо точной обработке на больших скоростях вращения шпинделя.

Применение различных методов охлаждения ШУ ограничивается перепадом температур между верхним кольцом подшипника и корпусом, обусловленное ухудшением условий работы опоры и возможностью заклинивания из-за перегрева. Все вышесказанное приводит к ограничению частоты вращения ШУ из-за угрозы ухудшения точности или выхода из строя узла.

В качестве элемента регулирования теплового поля с естественными обратными связями целесообразно использовать тепловые трубы (ТТ). Возможность их использования в станках была доказана рядом работ [2…3]. При рациональном размещении ТТ в шпиндельном узле достигнуто по данным [2] уменьшение тепловых деформаций пиноли с 24,3 до 4 мкм (в 6 раз) и получено одновременное повышение жесткости узла до 40 %, по сравнению с работой без ТТ, с учетом ограничения теплоустойчивости и не допуская потери им работоспособности. Термостабилизация пиноли с ТТ происходит за 1000 с, а без использования ТТ в течении 7200 с при тепловой нагрузке в 15,2 Вт (частота вращения шпинделя 4500 мин-1).

© Электронный научный журнал «Инженерная Наука и Образование», 2015-2017

В последнее время для повышения надежности работы радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) используются системы охлаждения с применением тепловых труб, а также системы охлаждения с плавящимся рабочим веществом[4…6]. Применяются плавящиеся вещества и в теплоаккумуляторах [7] и в технологических системах [8…13].

Нами предлагается использование труб для отвода тепла на теплосъемник-контейнер с плавящимся веществом, что позволяет создать систему термостабилизации**.** При этом из-за отбора тепла уменьшаются величины деформаций, снижаются колебания, т.е. деформации станка остаются примерно постоянными и при работе ШУ, и в нерабочее время. Таким образом, уменьшение изменения точности обработки достигается за счет использования тепла самого станка. С отводом тепла на аккумулятор могут быть созданы системы стабилизации и следящие системы с отрицательным управляющим воздействием.

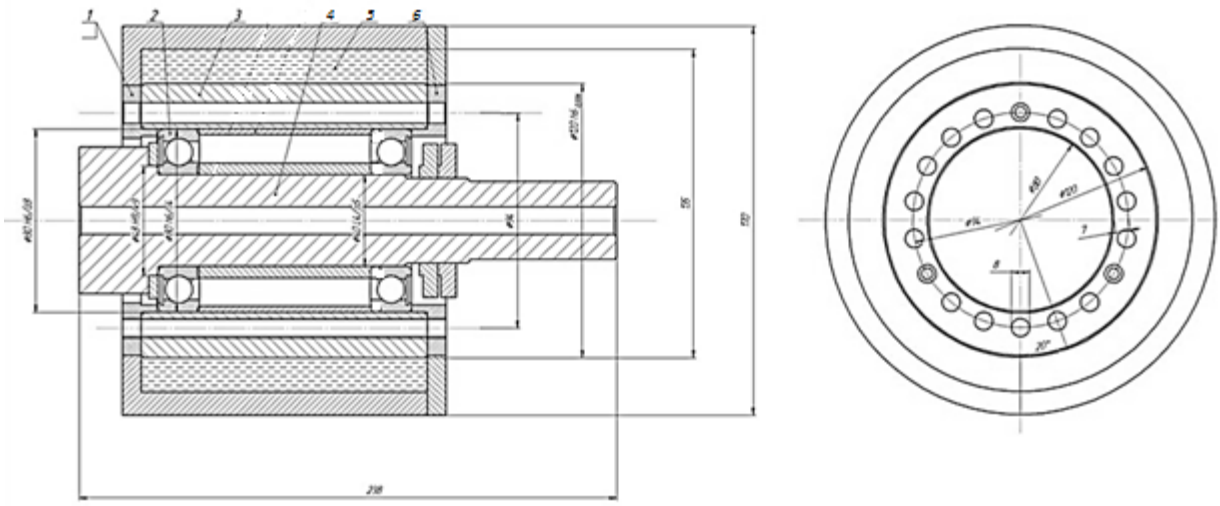


Рис. 2 – Термостабилизация шпиндельного узла с помощью тепловых труб и плавящегося вещества(1-задняя крышка;2-подшипник;3-пиноль с ТТ;4-шпиндель;5-контейнер с легкоплавким веществом;6-передняя крышка

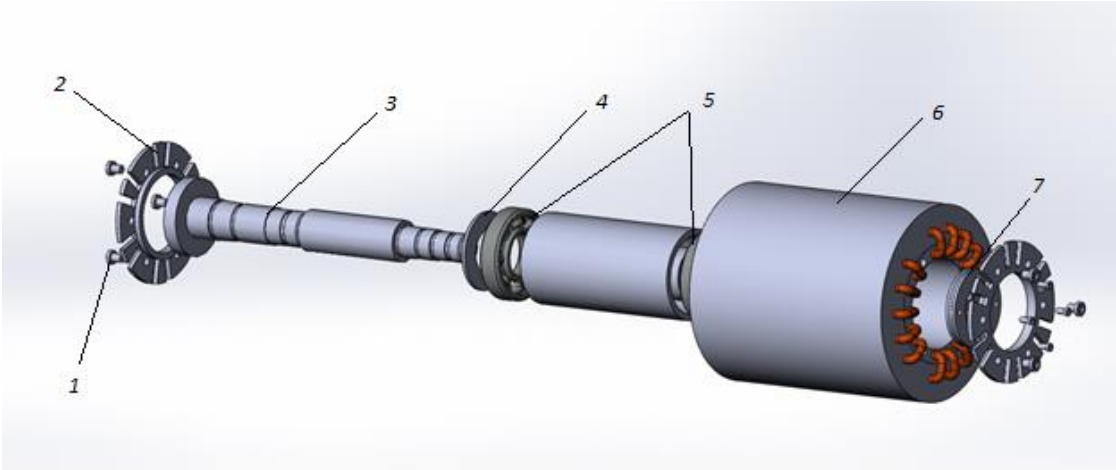
© Электронный научный журнал «Инженерная Наука и Образование», 2015-2017

Авторами для повышения точности шпиндельных узлов путем их термостатирования разработана экспериментальная установка, которая позволяет оценить степень влияния тепловых труб, передающих теплоту, возникающую в зоне трения подшипника, контейнерам с плавящимися веществами , имеющими разную температуру их плавления (парафин — от 36 до 55 °С, стеарин– от 55 до 72 °С) [14].

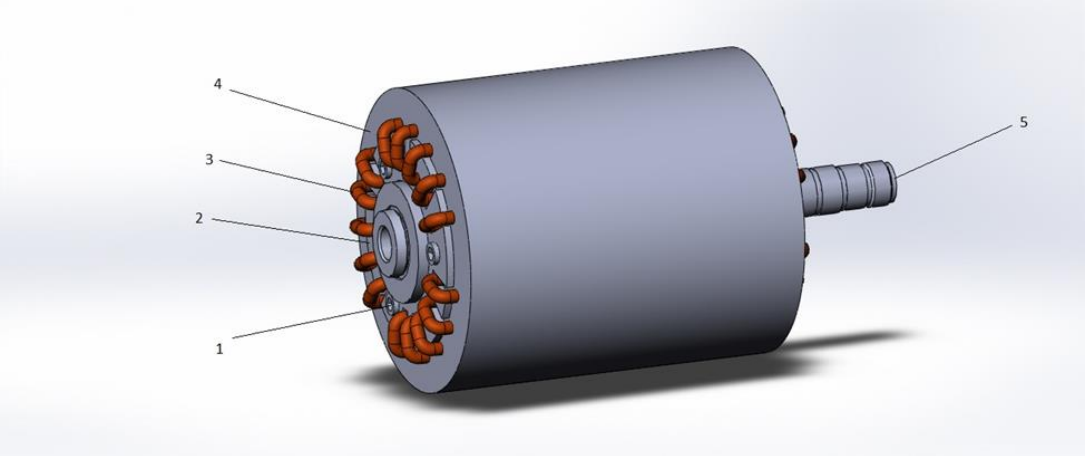
В результате обработки резанием за счет трения подвижных частей нагреваются детали станка. Это приводит к линейному и объемному увеличениям их размеров, и как следствие нарушению точности обрабатываемой детали за счет даже минимальных тепловыделений, являющихся причиной температурных деформаций шпиндельного узла. Предложенные методы термостабилизации шпиндельных узлов станков при помощи обычных тепловых труб достаточно сложны и не всегда являются оптимальными . Обычная тепловая труба представляет собой цилиндрический замкнутый объем, частично заполненный теплоносителем, внутри которой вставлена трубка, имеющая капиллярную структуру. Испарившийся в нагретой области теплоноситель, распространяется по внутреннему пустотному каналу, а конденсирующийся на охлаждаемой части жидкость подается по капиллярной структуре в нагретую область. Поэтому более целесообразным является использование для термостабилизации шпиндельных опор станков вместо обычных тепловых труб - **контурные тепловые трубы.** Они имеют замкнутый контур циркуляции, в котором паропровод и возврат жидкой фазы конденсированного теплоносителя разделены. В этом случае теплоноситель циркулирует по замкнутому контуру, а от испарителя пар теплоносителя поступает в конденсатор, где конденсируется и в жидком состоянии по капилляру поступает назад в испаритель. Теплота переносится из зоны теплообразования с помощью контурных тепловых труб в зону конденсации, где через камеру с плавящимися веществами, имеющими разную

© Электронный научный журнал «Инженерная Наука и Образование», 2015-2017

температуру их плавления (парафин – от 36 до 55 °С, стеарин – от 55 до 72 °С) вновь поступает в зону нагрева [15]. Применение контурных тепловых труб позволяет выносить тепло за пределы шпиндельного узла или даже станка, повысить термоустойчивость пиноли и обеспечить регламентированную точность. Данный способ термостабилизации шпиндельных узлов является более оптимальным, так как позволяет конденсатор расположить в конструктивно удобном месте. Это устройство позволяет с высокой эффективностью обеспечить перенос большого количества теплоты при малых перепадах температур и при минимуме тепловых потерь, выравнивать и регулировать температуру объекта.

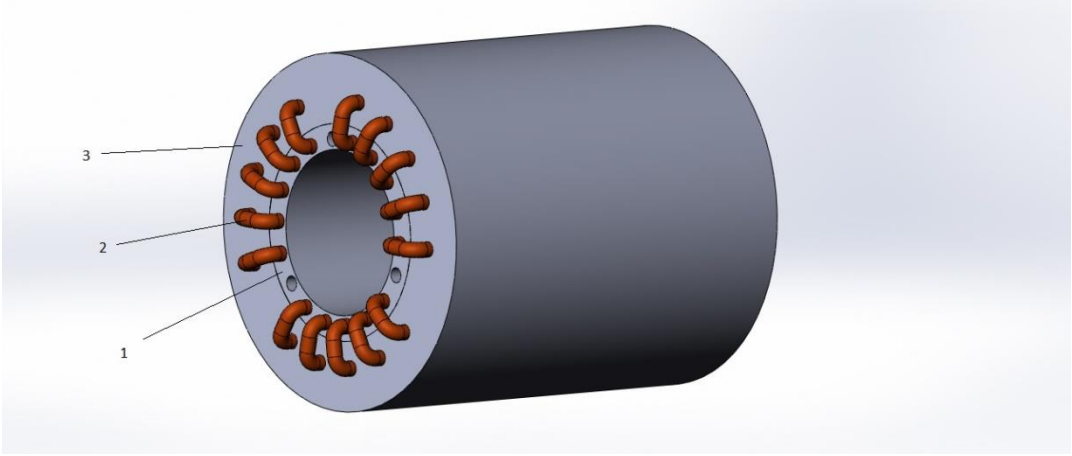


а) 1-крепежные болты; 2-крыжка; 3- шпиндель; 4-подшипники; 5-пиноль с тепловыми трубами и контейнером с легкоплавким веществом; 6- маслоотбойный кольца

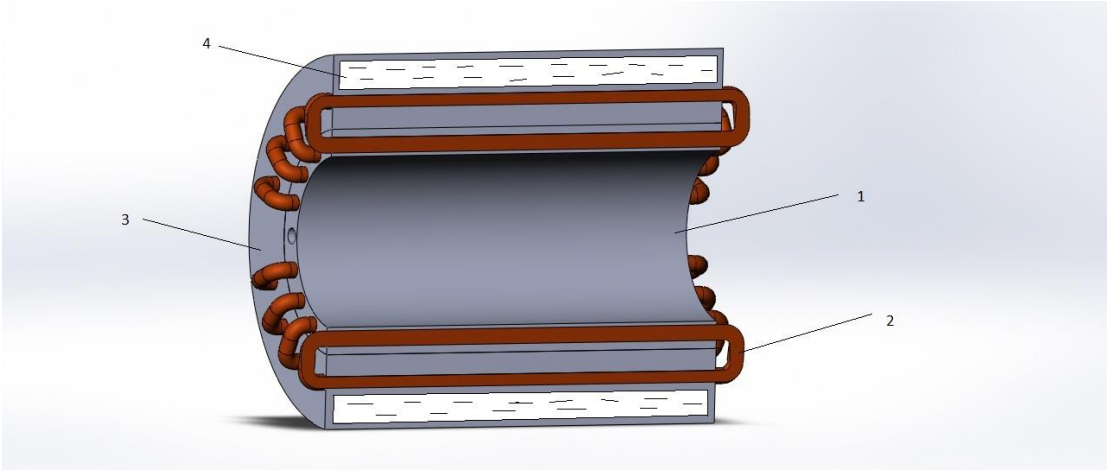


б) – 1-крепежные болты;2-крыжка;3- контурные тепловые трубы;4-контейнер с легкоплавким веществом;5-шпиндель

© Электронный научный журнал «Инженерная Наука и Образование», 2015-2017



в) – 1-пиноль ЭШУ;2-контурные тепловые трубы;3-контейнер с легкоплавким веществом)



г) – 1-пиноль ЭШУ;2-контурные тепловые трубы;3-контейнер с легкоплавким веществом; 4-легкоплавкое вещество)

Рис.3– Экспериментальная установка для термостатирования шпиндельных узлов с применением контурных тепловых труб; а,б)– общий вид экспериментальной установки; в,г)–корпус с контурными тепловыми трубами и плавящимся веществом

Опыт охлаждения с помощью фазовых переходов первого рода в других технических областях позволяет сделать вывод о возможности применения таких подходов к охлаждению сборных режущих инструментов. В ряде работ установлено, что предложенный метод охлаждения зоны резания испарением закрытого типа повышает период стойкости

© Электронный научный журнал «Инженерная Наука и Образование», 2015-2017

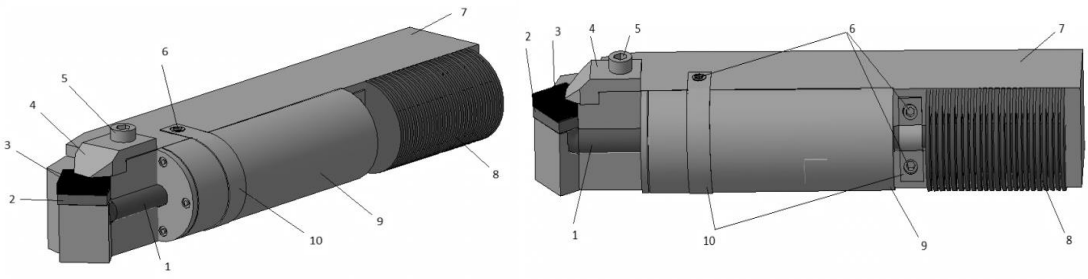
инструмента в 1,8…2,0 раза и может быть предложен, как альтернатива традиционному охлаждению с применением СОТС.

Авторами этих работ проведено комплексное исследование охлаждения сборных резцов с использованием эффекта испарительного охлаждения при сухом резании [9…13].

КСО основана на теплоотводе за счет поглощения скрытой теплоты плавления рабочего вещества (сплава Розе) с температурой плавления 96^0C, расположенного в контейнере внутри державки специально сконструированного и изготовленного резца.

Задача термостабилизации температуры в зоне резания решается путем применения контейнера с плавящимся веществом, который помещается не внутри специально сконструированного и изготовленного резца, а крепится к боковой поверхности серийно выпускаемого инструмента (рис.4 а,б).

Обладая высокой теплопередающей способностью, тепловая труба в зоне конденсации отдает тепло легкоплавкому веществу. Температура расплава вещества остается постоянной до тех пор, пока существует твердая фаза.



а) б)

Рис.4 – Конструкция резца, оборудованного контейнером с плавящимся веществом и тепловой трубой (1-тепловая труба;2-опорная пластина;3-режущая пластина; 4-прижим;5…6-винты;7-державка;8-радиатор;9-контейнер с легкоплавкимм веществом;10- крепежные хомуты)

© Электронный научный журнал «Инженерная Наука и Образование», 2015-2017

Использование КСО дает возможность повысить период стойкости сборных резцов при сухом резании при обработке низкотеплопроводных труднообрабатываемых материалов (стали 110Г13Л и титанового сплава ВТ3-1) на режимах чистового точения (t=0,5мм, s=0,1 мм/об) в диапазоне скоростей V=30…60 м/мин до 2…2,3 раза, а размерную стойкость до 2,5 раз, что обеспечивает снижение шероховатости обработанной поверхности до 45% [13].

Список использованных источников

1. Резников А.Н. Тепловые процессы в технологических системах /А.Н. Резников, Л.А. Резников. – М.: Машиностроение, 1990. – 288 с.

2. Фролов А.В.Повышение точности шпиндельных узлов прецизионных станков методами термоупругого моделирования при заданной их теплоустойчивости: автореф.дис. … канд. техн. наук: 05.03.01.– М.–2007.–16с.

3. Юрин В.Н. Шпиндельные узлы с тепловыми трубами // Станки и инструмент. 1981. -№ 4. -С. 16- 18.

4. Алексеев В.А. Тепловые трубы для охлаждения и термостатирования радиоэлектронной аппаратуры / В.А. Алексеев, В.А. Арефьев.– М.: Энергия, 1979.– 128 с.

5. Алексеев В.А.Охлаждение радиоэлектронной аппаратуры с использованием плавящихся веществ / В.А. Алексеев. – М.: Энергия, 1975. – 88с.

6. Губа А. А. Термоэлектрические устройства для термостатирования с использованием плавящихся веществ: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.04.03. –Махачкала,2008. – 20с.

© Электронный научный журнал «Инженерная Наука и Образование», 2015-2017

7. Остапенко В.В. Фазопереходной аккумулятор теплоты для нужд систем теп-лоснабжения [Текст]: Автореферат дисс….канд.техн.наук: 05.23.03 /Виталий Валерьевич Остапенко.- Макеевка.- 2015.-23с.

8. А.с. СССР 282891,МПК В23в Металлорежущий инструмент с внутренним охлаждением/В.Н. Юрин- №1333157/25-;заявл.28.05.1969;опубл.28.09.1970;бюл. №30

9. Дубров Д.Ю., Николаева Г.С. Повышение эффективности механической обработки на основе применения тепловых труб в сборных резцах / Д.Ю. Дубров, Г.С. Николаева // «Всероссийская научно-техническая конференция “Новые материалы и технологии” НМТ—2008, 11-12 ноября 2008 г /МАТИ. — М.,2008. — С.10 – 11.

10. Дубров Д.Ю. Экологически безопасная автономная система охлаждения сборных резцов на основе фазовых переходов первого рода / Д.Ю. Дубров, А.Н. Чукарин //Вестник РГУПС. – 2011. – №2(42) – С. 5-12.

11. Дубров Д.Ю. Комплексная система охлаждения режущих инструментов на основе фазовых переходов первого рода /Д.Ю.Дубров//Теплофизические и технологические аспекты повышения эффективности машиностроительного производства: тр. III Международной научно-технической конференции (Резниковские чтения) / ТГУ.– Тольятти,2011. – С.35-38.

12. Дубров Д.Ю. Повышение эффективности обработки резанием: моногр. /С.И. Брусов, Г.И. Добровольский, Д.Ю. Дубров и др.; под ред. А.В. Киричека–М.: Издат. дом «Спектр», 2012.– С. 134 – 177.

13. Дубров Д..Ю. Повышение периода стойкости сборных резцов испарительным охлаждением при сухом резании [Текст]: Автореферат дисс….канд.техн.наук: 05.02.07 /Дмитрий Юрьевич Дубров.- Брянск.- 2015.-19с.

© Электронный научный журнал «Инженерная Наука и Образование», 2015-2017

14. Осаченко М.Д., Сыромятников Д.А. Повышение точности шпиндельных узлов путем их термостатирования // Гагаринские чтения-2016: XLII Международная молодежная научная конференция: Сборник тезисов докладов: В 4 т. М.: Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),2016.Т.3:М.: Моск. авиационный институт (национальный исследовательский университет). 750 стр.

15. 15. Осаченко М.Д., Сыромятников Д.А. К вопросу о термостабилизации шпиндельных узлов металлорежущих станков контурными тепловыми трубами // Гагаринские чтения – 2017: XLIII Международная молодежная научная конференция: Сборник тезисов докладов: М.; Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), 2017.-1478с.

© Электронный научный журнал «Инженерная Наука и Образование», 2015-2017