УДК 621.791.3; 621.934 DOI: 10.18324/2077-5415-2026-3-239-245

# Оптимизация технологии режимов пайки твёрдосплавных пластин к дисковым пилам

О.Н. Стародубцева[1a], И.С. Патерюхин[1b], Н.П. Сютов[1c], С.Я. Алибеков[1d,2d], А.А. Маргина[1e], О.С. Зверева[1f]

[1] Поволжский государственный технологический университет, пл. Ленина, 3, Йошкар-Ола, Россия
[2] Марийский государственный университет, пл. Ленина, 1, Йошкар-Ола, Россия
[a] StarodubcevaON@volgatech.net, [b] PateryuhinIS@volgatech.net, [c] SyutovNP@volgatech.net,
[d] AlibekovSY@volgatech.net, [e] MarginaAA@volgatech.net, [f] ZverevaOS@volgatech.net.
[a] https://orcid.org/0009-0001-0410-0696, [b] https://orcid.org/0009-0002-9641-4533,
[c] https://orcid.org/0009-0007-9473-2796, [d] https://orcid.org/0009-0009-8994-4481,
[e] https://orcid.org/0009-0003-5810-5921, [f] https://orcid.org/0009-0004-4280-782X.
Статья поступила 14.05.2026, принята 08.09.2026.

*Статья посвящена исследованию технологических процессов пайки твёрдосплавных пластин к корпусу дисковых пил для деревообрабатывающей промышленности. Для изготовления дисковых пил выбрана сталь 65. Она является конструкторской пружинно-рессорной, обладает высокими прочностными и упругими свойствами. Указаны способы раскроя листа, которые уменьшают напряжения при изготовлении корпусов дисковых пил. Для пайки твёрдосплавных пластин предложена схема электроконтактной сварки – прижимаем пластину с помощью зуба пилы. Такое расположение пластины позволяет чётко соблюдать припуски твёрдосплавных пластин на корпус пилы и получать качественное сварное соединение. При пайке использовали припой Л62, обладающий высокой температурой плавления, прочностью, жидкотекучестью и низкой стоимостью. Используемый флюс тетроборат натрия обладает хорошей смачиваемостью и легко удаляет оксидные плёнки с паянных поверхностей. Представлена циклограмма пайки, описывающая процесс пайки с изменением тока, давления и времени пайки. Для пайки строгальных пластин к комбинированным пильно-строгальным дискам представлена схема индукционной пайки с указанием технологических режимов скорости пайки. Приведена формула расчёта количества припоя при индукционной пайке. Установлено, что ленточные припои являются удобными при пайке, так как её легче подавать в зазор, также она сразу заполняет большие площади. Указаны меры уменьшения паяно-сварных напряжений и технологические приёмы их уменьшения при очистке паянных соединений и заточке. Установлено, что механические свойства сварных соединений электроконтактной сварки в 1,5 раза выше, чем паянных соединений индукционным способом. Установлено, что с увеличением содержания кобальта в твёрдосплавных пластинах прочность сварных соединений выше. Указано, что при пайке-сварке с применением припоя Л62 образуется биметаллическая конструкция, которая смягчает напряжение, воздействующее на инструмент при работе. Установлено, что процесс пайки тесно связан с характеристиками твёрдосплавных пластин, а эффективность пайки напрямую влияет на ресурс работы самой пластины и качество обрабатываемой поверхности.*

**Ключевые слова:** металлокерамические пластины; электроконтактная сварка; индукционная пайка; флюс; припой; подготовка паза; технология пайки; циклограмма.

# Optimization of the technology for brazing modes of carbide inserts to circular saws

O.N. Starodubtseva[1a], I.S. Pateryukhin[1b], N.P. Syutov[1c], S.Ya. Alibekov[1d,2d], A.A. Margina[1e], O.S. Zvereva[1f]

[1] Volga State Technological University; 3, Lenin Sq., Yoshkar-Ola, Russia
[2] Mari State University; 1, Lenin Sq., Yoshkar-Ola, Russia
[a] StarodubcevaON@volgatech.net, [b] PateryuhinIS@volgatech.net, [c] SyutovNP@volgatech.net,
[d] AlibekovSY@volgatech.net, [e] MarginaAA@volgatech.net, [f] ZverevaOS@volgatech.net.
[a] https://orcid.org/0009-0001-0410-0696, [b] https://orcid.org/0009-0002-9641-4533,
[c] https://orcid.org/0009-0007-9473-2796, [d] https://orcid.org/0009-0009-8994-4481,
[e] https://orcid.org/0009-0003-5810-5921, [f] https://orcid.org/0009-0004-4280-782X.
Received 14.05.2026, accepted 08.09.2026.

*The article is devoted to the study of technological processes of brazing carbide inserts to the body of circular saws for the woodworking industry. Steel 65 is chosen for the manufacture of circular saws. It is a structural spring-and-spring steel and possesses high strength and elastic properties. Methods of sheet cutting that reduce stresses during the manufacture of circular saw bodies are indicated. For brazing carbide inserts, a scheme of electric contact welding is proposed – the insert is pressed by means of a saw tooth. Such an arrangement of the insert makes it possible to strictly observe the allowances of the carbide inserts on the saw body and to obtain a high-quality welded joint. For brazing, L62 solder is used, which possesses a high melting point, strength, fluidity, and low cost. The*

*flux used, sodium tetraborate, possesses good wettability and easily removes oxide films from the brazed surfaces. A brazing cyclogram is presented, describing the brazing process with changes in current, pressure, and brazing time. For brazing planing inserts to combined sawing-planing discs, an induction brazing scheme is presented, indicating the technological modes of brazing speed. A formula for calculating the amount of solder during induction brazing is given. It is established that strip solders are convenient for brazing, since they are easier to feed into the gap, and they also immediately fill large areas. Measures for reducing brazing-welding stresses and technological techniques for reducing them during cleaning of brazed joints and sharpening are indicated. It is established that the mechanical properties of welded joints from electric contact welding are 1.5 times higher than those of brazed joints produced by the induction method. It has been established that with an increase in the cobalt content in carbide inserts, the strength of the welded joints is higher. It is indicated that during brazing-welding with the use of L62 solder, a bimetallic structure is formed, which softens the stress acting on the tool during operation. It is established that the brazing process is closely related to the characteristics of the carbide inserts, and the effectiveness of brazing directly affects the service life of the insert itself and the quality of the machined surface.*

**Keywords:** metal-ceramic inserts; electric contact welding; induction brazing; flux; solder; groove preparation; brazing technology; cyclogram.

**Введение.** В связи с тем, что постоянно возрастают требования к качеству продукции деревообработки, приходится повышать и требования к деревообрабатывающим инструментам. Тем более в деревообрабатывающей промышленности непрерывно увеличивается применение композиционных, пропитанных антисептиками, склеенных различными смолами и термообработанных и других материалов. Механообработка вышеперечисленных материалов требует применения режущих инструментов с высокой твёрдостью, износостойкостью и ударопрочностью.

Существенное влияние на срок службы, износостойкость без проточек и другие колебания деревообрабатывающих инструментов оказывает предварительная подготовка и технология изготовления деревообрабатывающих инструментов [1, 2].

Для обработки композиционных и термообработанных древесных материалов в основном используют составные инструменты, оснащённые металлокерамическими сплавами.

В настоящее время доля твёрдосплавного инструмента составляет 80 % от общего количества инструментов, применяемых при механообработке материалов. Поэтому повышение его ресурса и качества является актуальной задачей.

**Целью** данной работы является модификация технологического процесса пайки металлокерамических пластин к дисковым пилам.

**Задачами** исследования являются:

– разработка приспособления для электроконтактной сварки металлокерамических пластин;

– изменение формы индуктора для индукционной пайки;

– оптимизация режимов пайки на модернизированном приспособлении;

– подбор оптимальных видов припоя и флюса для пайки.

**Материалы исследования.** Твёрдосплавные сплавы, благодаря своему химическому составу, микроструктуре и теплостойкости, высокой твёрдости, износостойкости, прочности и ударной вязкости, стойкости широко используются в производстве лезвийных инструментов.

Основными показателями, влияющими на качество и ресурс работы инструмента, является следующие факторы:

– материал для изготовления корпуса инструмента, к которому припаиваются металлокерамические пластины и подготовка самих пластин к пайке;

– процесс пайки пластинок к державке;

– заточка паянного инструмента для получения угловых параметров и осмотры режущих кромок.

Одним из ведущих производителей составных инструментов, обладающих высоким качеством и требуемыми физико-механическими свойствами дисковых пил, является ООО ПКФ «Махагони». Ассортимент изготовляемых дисковых пил на ООО ПКФ «Махагони» большой как по диаметру корпусов от 160–630 мм, так и по количеству зубьев от 12–128 с количеством оборотов 2100–12 000.

Для изготовления корпусов дисковых пил деревообрабатывающих инструментов они используют сталь марок 65, 65Г, 9ХФ, 9ХФМ, 9КС, но в последнее время чаще используют сталь 65. Она является конструкционной рессорно-пружинной, обладает высокими прочностными и упругими свойствами и применяется для изготовления деталей, от которых требуется прочные и упругие свойства, износостойкость, работающих в условиях трения при наличии высоких статических и вибрационных нагрузок [3, 4].

Раскрой листа производится на автоматической гидроабразивной или лазерной установках. Такой раскрой листа позволяет получить корпуса дисковых пил с наименьшими напряжениями. Кроме этого, применяют те же технологии для обработки компенсационных прорезов и прорезов для пайки твёрдосплавных пластин при изготовлении комбинированных пил (пильно-строгальных). Компенсационные прорези эффективно рассеивают напряжения от нагрева и центробежного расширения металла корпуса пилы.

Для пайки используют металлокерамические сплавы группы ВК, начиная от ВК6 до ВК15. По требованию заказчика могут использовать и другие группы металлокерамических сплавов ТК или ТТК группы. В данной статье внимание уделено дисковым пилам диаметром 400,0 мм и толщиной 3,0 мм.

После изготовления корпуса дисковой пилы, фрезерованием подготавливают опорные поверхности под металлокерамические пластины. Опорные поверхности имеют глубину 2 мм и ширину 3 мм и длину 9 мм. Опорные поверхности проверяют на наличие выступов и заусенцев. Паяемые металлокерамические пластины должны плотно прилагать по всей поверхности. После проверки твёрдосплавных пластин на наличие сколов,

микротрещин и пор приступают к их очистке. Очищенные пластины от оксидных плёнок промывали в органических растворителях с целью обезжиривания. Затем приступают к пайке.

**Техника эксперимента.** Нами для пайки металлокерамических твёрдосплавных пластин к зубьям дисковой пилы выбрана электроконтактная сварка с последующей подачей в сварное соединение припоя с флюсом. А для пайки твёрдосплавных пластин строгальных для смешанных пил использовали индукционную пайку. Существует несколько схем пайки металлокерамических пластин к корпусу инструментов.

Предложенная нами схема электроконтактной сварки-пайки пластин к зубьям – является оптимальной, так как позволяет получить более прочные сварно-паянные соединения. Схема электроконтактной сварки-пайки представлена на рис. 1.

Корпус дисковой пилы закрепляется на оси с ручкой для поворота и прижатия зубом дисковой пилы металлокерамической пластины.

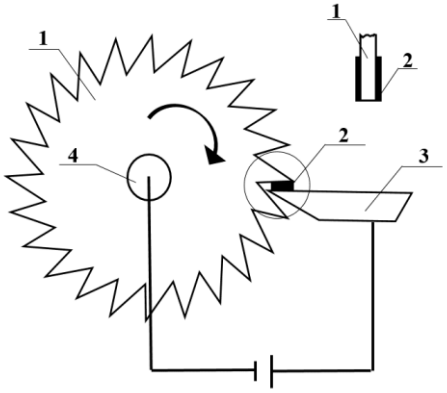


**Рис. 1.** Схема электроконтактной сварки металлокерамических пластин на дисковые пилы: 1 – стальной корпус дисковой пилы; 2 – металлокерамическая пластина; 3 – медный электрод – пластина; 4 – медный электрод – ось с ручкой

Как видно из рис. 1, расположение металлокерамической пластины под зубом даёт возможность чётко соблюдать припуски на сторону, упереть пластину зубом к медному электроду. Электроконтактная сварка осуществляется на установке пропусканием тока через зуб и металлокерамическую пластину.

После прижатия пластины подается ток, который проходит через корпус пилы и твёрдосплавную пластину. Нагрев свариваемых деталей происходит за счёт сопротивления материалов. Самое большее сопротивление возникает между зубом корпуса пилы и твёрдосплавной пластиной. По мере нагрева контакта сопротивление падает из-за начала частичного плавления и ток увеличивается. Место контакта разогревается проходящим по металлу током, причём максимальное количество теплоты выделяется в месте сварного контакта. Количество выделяемой теплоты определяется законом Джоуля-Ленца:

$$Q = I^2 Rt, \qquad (1)$$

где Q – количество теплоты, выделяемое в сварном контуре, Дж; R – полное электрическое сопротивление сварного контура, Ом; I – сварочный ток, А; t – время протекания тока, с.

Свариваемые материалы сдавливаются усилием, затем включают ток, металл разогревается до пластического состояния, затем заготовки снова сдавливают (осаживают). В месте сварки образуется усиление металла [5].

Сварочный ток вначале небольшой, затем растёт из-за пластической деформации и частичного расплавления контакта, затем ток растёт, когда подают припой, так как жидкий припой Л62 хорошо проводит ток.

Параметрами режимов электроконтактной сварки сопротивлением является плотность, А/мм$^2$, удельное усилие сжатия заготовок, МПа и время протекания тока, с.

После частичного плавления свариваемых материалов в зазор подаётся флюс с припоем. Флюс обезжиривает и очищает свариваемые поверхности от оксидных плёнок. Припой плавится и затекает в зазор между зубом и твёрдосплавной пластиной, в этот момент ток резко возрастает, затем отключают ток и под давлением держат 5–6 секунд. После выключения тока припой начинает кристаллизоваться, образуя прочное сварно-паянное соединение. В сварном шве происходят диффузионные процессы между сталью-припоем-твёрдосплавной пластинкой. Частично растворяются свариваемые материалы, образуя прочное сварно-паянное соединение.

Циклограмму данного процесса можно представить в следующем виде (рис. 2).

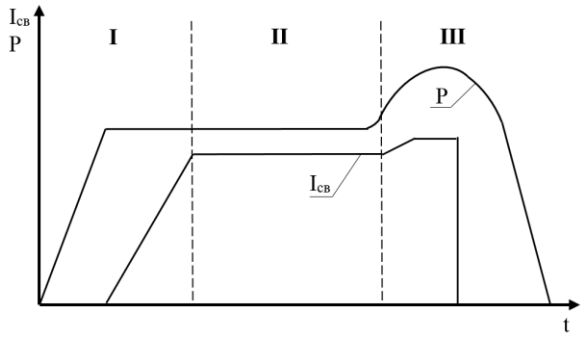


**Рис. 2.** Циклограмма электроконтактной сварки металлокерамической пластиной к дисковым пилам

При рассматриваемом способе сварки образование соединения происходит в значительной мере по единой схеме, включая три этапа (I–III), как показано на циклограмме (рис. 2).

I этап начинается с момента обжатия пластины зубом дисковой пилы, вызывающего упруго-пластическую деформацию микрорельефностей поверхности [6]. Последующее включение тока и нагрев поверхностей снижает сопротивление, что способствует разрушению поверхностных плёнок и формированию электрического контакта. II этап начинается с момента расплавления металла. В процессе расплавления металла происходит перемешивание, удаление плёнок и образование металлических связей в жидкой фазе. III этап начинается с подачи припоя, который приводит к повышению тока из-за плавления припоя и скачка давления. После отключения тока, начинается кристаллиза-

ция жидкого металла. Таким образом образуется общая жидкая ванна для соединяемых деталей. При охлаждении уменьшается объём металла, в зоне сварки возникает напряжение. Увеличение силы сжатия в конце приводит к уменьшению усадочных раковин, трещин и напряжений.

Для пайки металлокерамических пластин на корпус деревообрабатывающего инструмента наибольший интерес представляют серебряные припои ($ПС_р$), в том числе со вставками из медных пластин, относящихся к легкоплавким твёрдым припоям, их использование позволяет не перегревать в процессе пайки ни корпус инструмента, ни паяемый твёрдый сплав (пластину) обеспечивает качественную работу инструмента, в том числе и во время ударных нагрузок, например, в зоне обработки сучков при пилении древесных материалов. Но данная технология усложняет процесс пайки, да и серебряные припои экономически невыгодны из-за стоимости.

На некоторых производствах применяют медно-фосфорные припои (МФП) как заменитель серебряных припоев. Эти припои не совсем подходят для пайки стальных изделий, так как они плохо смачивают эти металлы, и в пограничных диффузионных слоях образуются хрупкие фосфиды железа [7].

Поэтому на ООО ПКФ «Махагони» выбрали медно-цинковые припои марок Л62, Л63, Л68, обладающие высокими температурами плавления. Из представленных припоев для пайки выбрали Л62, так как этот припой обладает более высокими механическими свойствами и по цене чуть дешевле остальных. Припой, обладая хорошей жидкотекучестью и смачиваемостью, быстро попадает в зазор между зубом дисковой пилы и металлокерамической пластинкой, образуя прочное сварно-паянное соединение. Для пайки на зубья использовали металлокерамические пластинки из ВК8. Паяемые пластины имели толщину 4,0 мм, ширину 4,2 мм и длину 11,0 мм. Для пайки в вырезанные пазы для строгания использовали твёрдосплавные пластины длиной 35,7 мм, шириной 4,2 мм и толщиной 4,0 мм.

Крепление металлокерамических пластинок в открытый паз по передней грани наиболее распространено. Это можно объяснить благоприятным действием сил резания и большим запасом материала на переточку по передней грани. Такое расположение твёрдосплавной пластины значительно повышает ресурс работы зубьев. Кроме того, при повторных заточках не уменьшается и не расходуется тело самого инструмента [7, 8].

После пайки металлокерамических пластин дисковые пилы подвергли пескоструйной обработке одновременно с двух сторон во избежание образований дополнительных напряжений. После очистки и правки производят заточку стального инструмента с металлокерамическими пластинами с помощью алмазных кругов. Одновременная заточка металлокерамических пластин стального корпуса не рациональна. Поэтому предусматриваются выступления металлокерамических пластин над корпусом дисковой пилы на определённую величину. В нашем случае величина выступа составила 0,6 мм. Формы и размер применяемых металлокерамических пластин выбирают согласно ГОСТ 13833-87, ГОСТ 830-85.

Физико-механические свойства твёрдого сплава зависят от химического состава и процентного содержания кобальта в сплаве. Чем больше кобальта, тем более прочным и вязким становится сплав, лучше противостоит ударным нагрузкам и вибрациям. Если твёрдый сплав недостаточно вязкий, на режущей кромке быстро образуется микроскопический скол, а затем всё лезвие инструмента покрывается подобными сколами.

На предприятии ООО ПКФ «Махагони» предпочтение отдали твёрдому сплаву ВК8, так как данный сплав имеет тёрдость по HRA – 93 и предел прочности при изгибе составляет 2700 МПа.

Металлокерамические пластины для строгания паяли индукционной пайкой с применением специального видоизмененного индуктора по форме паза. Схема индукционной пайки строгальных пластин к корпусу дисковой пилы представлена на рис. 3.

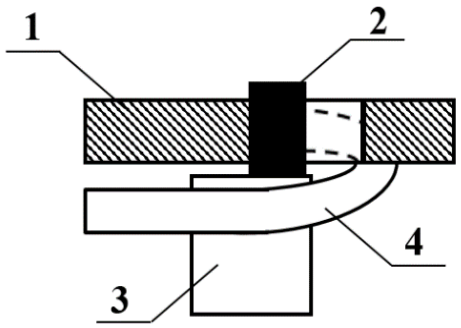


**Рис. 3.** Схема индукционной пайки строгальных пластин к корпусу дисковой пилы: 1 – корпус дисковой пилы; 2 – металлокерамическая пластина; 3 – опора; 4 – индуктор

Конструкция индуктора в этом случае обеспечивает равномерный нагрев зоны пайки корпуса к пластинкам и исключает перегрев. Нагрев зоны пайки следует вести за счёт теплопередачи корпуса инструмента к пластине [9]. Обычно скорость нагрева металлокерамических пластин группы ВК не должна превышать 50–100 °С. Такая скорость обычно обеспечивается при зазоре 8–15 мм между индуктором и нагреваемым инструментом. Уменьшение зазора ведёт к минимизации процесса и опасности перегрева пластины. Так как данные пластины припаивали индукционной пайкой, сборку инструмента вели непосредственно на специальном приспособлении. Паз под пластину из металлокерамического сплава соответствовал по форме и размеру пластины. Пластина выступает на 0,4–0,5 мм [10]. Опорная поверхность в корпусе индуктора была прямолинейна с чистотой обработки $R_z$ 40–$R_z$ 20.

После подготовки паяемых поверхностей готовили припой и флюс. Припой вырубали из пластины, конфигурация и размер которой соответствовали паяемой поверхности. Размеры пластины припоя Л62 были на 0,5 мм больше размера паяемой поверхности пластины. Это обеспечивает визуальное наблюдение за процессом плавления наружных поверхностей припоя, что обеспечивает образование качественного и прочного паянного соединения.

Количество припоя Л62, необходимое для пайки, рассчитывается по формуле

$$m = 1{,}3n\rho V \quad (2)$$

где m – необходимая масса припоя, г; 1,3 – коэффициент массы припоя, необходимого для формирования галтели; n – количество галтелей; ρ – плотность припоя; V – объём паянного шва.

Для крепления металлокерамической пластины и ленточного припоя к корпусу дисковой пилы использовали специальные штифты. Перед пайкой на паяемые участки подавали флюс для защиты поверхности изделия от окисления. Многие исследователи предлагают использовать припой Ф-100 (окись кобальта 3,5 %, окись вольфрама 13,5 %, безводный тетроборат натрия 36,5 %, фторид калия 46,5 %). Данный флюс обладает наибольшей активностью, обеспечивая повышенную химическую активность, хорошую растекаемость при пайке. Но флюс является токсичным. Поэтому в качестве флюса использовали прокаленную и мелкоизмельчённую буру. Данный флюс чаще используют при пайке деревообрабатывающих инструментов, так как для пайки применяют тугоплавкие припои. При добавлении в флюс из буры борной кислоты или фтористых щелочных солей происходит активация химических процессов при пайке. Флюс обволакивает расплавленный припой и нагретые кромки деталей тонким слоем, в результате чего поверхность твёрдого тела и расплавленного припоя перестают контактировать с атмосферным воздухом и вступают в контакт с жидким флюсом. Флюс взаимодействует с оксидной пленкой, обеспечивает протекания физико-химических процессов между припоем и соединяемыми материалами, но начальной стадией здесь является смачивание поверхностей. В процессе действия флюса происходит его вытеснение растекающимся припоем Л62 из зоны пайки и защита паяемого шва от окисления и способствует образованию качественного паянного соединения.

Нагрев инструмента начинался с корпуса дисковой пилы, затем продвигали корпус с металлической пластинкой в более интенсивную зону нагрева.

Время нагрева под пайку определяет равномерность прогрева и является функцией многих переменных: формы и размеров изделия, теплопроводности материалов, частоты тока и параметров индуктора. Поэтому точное время определяли экспериментально с учётом того, что при нагреве под пайку исходная структура стали 65 должна перейти в аустенит. Температуру пайки определяли по температуре плавления наружных слоёв припоя. Продолжительность выдержки припоя в расплавленном состоянии составляла 5–8 секунд. В процессе пайки не допускали перегрев припоя, а также перегрев зоны пайки. Последний фиксировали по белым парам цинка, которые образуются при повышении температуры выше 900 °С. Охлаждение паянных дисковых пил проводили на воздухе рядом с приспособлением для пайки, так как в этом месте охлаждение происходит медленнее.

Разница между коэффициентом линейного расширения металлокерамических пластин и стали вызывает большие напряжения при охлаждении шва. Металлокерамические пластины и сталь расширяются свободно при нагревании, но усадка стали паянного соединения больше, чем у пластины при охлаждении. В это время паяно-сварной шов подвергается сжимающим напряжением, тогда как поверхность металлокерамической пластины подвергается растягивающему напряжению. Если остаточное напряжение больше, чем требование прочности на растяжение или трещиностойкость металлокерамических пластин, на поверхности пластины могут возникнут трещины, что является одной из основных причин образования микротрещин при пайке инструмента. Остаточные напряжения в зоне сварочно-паянного соединения является потенциальной опасностью. Хотя микротрещины не могут быть обнаружены сразу после пайки, они могут возникать при последующем шлифовании, хранении или при работе, что приводит к поломке инструмента. Необходимо учитывать, что чем больше площадь пайки металлокерамических пластин, тем больше напряжения пайки и больше вероятность растрескивания.

На наш взгляд, резкие движения после пайки также нежелательны во избежание увеличения остаточных напряжений в паянном шве. После пайки измеряли твёрдость корпуса дисковой пилы. Она не должна повышаться на расстоянии 10 мм от металлокерамической пластины и в среднем должна соответствовать твёрдости корпуса пилы HRC 32 – 40.

После пайки дисковые пилы очищали на пескоструйном аппарате одновременно с двух сторон во избежание образования дополнительных напряжений. Очищенные дисковые пилы подвергли при необходимости рихтовке. А затем точили режущие кромки металлокерамических пластин до нужных углов заточки. Таким образом проведённые исследования на ООО ПКФ «Махагони» показали, что дисковые пилы, изготовленные на данном предприятии, отвечают всем требованиям, предъявляемым к режущим инструментам для деревообрабатывающей промышленности.

**Анализ результатов.** Нами установлено, что при пайке зубьев из металлокерамических пластин к корпусу дисковой пилы электроконтактным способом зона термического влияния меньше. При пайке индукционном способом эта зона значительно больше. Механические свойства паянных соединений электроконтактным способом в 1,5 раза выше, чем паянных соединений индукционных способом [2, 11, 12]. При пайке электроконтактным способом припой, подаваемый в зону пайки, равномерно растекает и образует прочные связи с паяемыми деталями дисковой пилы. Паянные соединения индукционным способом при отрыве металлокерамических пластин от корпуса пилы показывают, что припой распределён по шву неравномерно. Большая часть припоя остаётся на поверхности металлокерамической пластины, а на стальном корпусе припой встречается пятнами. При пайке металлокерамических пластин со стороны контакта пластины с жидким припоем образуется область с изменённым химическим составом. В этой области снижается концентрация кобальта, что снижает прочность паянного соединения. Размер этой области зависит от условий пайки. Влияние на диффузионное взаимодействие между припоем и твёр-

дым сплавом не возникает, так как процесс происходит при высокой температуре и за 5–6 секунд. Это обстоятельство свидетельствует о том, что прочность паянного соединения при индукционной пайке уступает прочности шва, полученным электроконтактной пайкой.

Особенностью дисковых пил, оснащённых металлокерамических пластинами, является их биметаллическая структура, её режущие части представляют собой цементированный карбид, а матрица – углеродистую сталь. Биметаллическая конструкция может смягчать огромное напряжение, воздействующее на этот инструмент, особенно при сгибающим изгибе, ударных или переменных нагрузках. Процесс пайки тесно связан с характеристиками металлокерамической пластины, эффективность пайки напрямую влияет на ресурс работы самой пластины и качество обработанной поверхности и экономические показатели процесса пайки.

**Заключение.** Проведённые исследования по технологии изготовления комбинированных пильно-строгальных дисковых пил показали, что дисковые пилы с напаянными металлокерамическими пластинами имеют большой ресурс работы и качество обработанных материалов данными инструментами выше, чем с обычными цельными инструментами.

В качестве режущих металлокерамических пластин выбраны сплавы группы ВК (ВК8–ВК15), которые показывают высокую производительность без проточки. Сплавы данной группы отличаются высокими физико-механическими свойствами, твердостью, износостойкостью и ударопрочностью по сравнению с ТК-группой. Для изготовления корпуса дисковых пил выбрана сталь 65, так как данная сталь относится к конструкционной рессорно-пружинной, обладает высокими прочностными и упругими свойствами и хорошо подходит для изготовления деталей, работающих в условиях трения при наличии высоких статических и вибрационных нагрузках.

При пайке в качестве флюса использовали прокалённый тетроборат натрия, который хорошо смачивает, очищает и защищает паяемые поверхности.

Установлено, что при добавлении в тетроборат натрия борной кислоты или фосфоритных солей щелочных металлов химическая активность флюса увеличивается. В качестве припоя использовали ленты из латуни Л62, толщиной 0,3–0,5 мм. По сравнению с другими медно-никелевыми или медно-фосфористыми припоями, выбранный припой лучше подходит для пайки твёрдосплавных пластин к корпусу дисковой пилы из стали 65.

Установлено, что упорная площадка должна быть не менее 0,5 толщины металлокерамической пластины для получения прочного паяного соединения, выдерживающего статические и ударные нагрузки при работе дисковых пил.

Для пайки металлокерамических пластин использовали два способа электроконтактную сварку для пайки пластин к зубьям дисковой пилы и индукционную для пайки пластин для строгания в пазы дисковой пилы.

Установлено, что паянные швы электроконтактной сварки обладают прочностью $\sigma_в$ 550–600 МПа, а паянные индукционной сваркой уступают по прочности на 20–25 % и при высоких нагрузках и повышении температуры > 300 °С, эти пластины быстрее отрываются.

Равномерность распределения припоя при электроконтактной сварке выше, чем при индукционной, которая влияет на прочность паянного соединения.

Установлено, что выступы на 0,5–0,6 мм пластины по боковым поверхностям являются оптимальными. При увеличении этих выступов нагрузка при пилении больше приходится на твёрдосплавные пластины, и это ведёт к отрыву пластин. При уменьшении данных выступов больше изнашивается корпус дисковой пилы и уменьшается скорость резания.

*Литература*


1. Стародубцева О.Н., Патерюхин И. С., Алибеков С.Я Технология пайки твердосплавных пластин на деревообрабатывающий инструмент Труды Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Технологическая. – 2024. – Вып. 12. – С. 57–62
2. Цумарев Ю. А. Прочность паяных соединений: монография / Цумарев Ю. А. - Могилев: Изд-во Белорус. –Росс. ун-та, 2011. – 173 с. : ил. – Библиогр.: с. 165–171. – ISBN 978-985-492-089-
3. Свиридов, Л.Т. Ивановский А.В., Ивановский В.П. Технология изготовления и подготовки к работе дереворежущих инструментов, оснащенных твердым сплавом. Лесотехнический журнал. 2011. №3 С. 106–113
4. Chen W., Zhang L. Cemented Carbides – An Outstanding Class of Refractory Based. Encyclopedia of Materials: Metals and Alloys Volume 1, 2022, P. 383–393.
5. Chen G., Shu X., Liu J., Zhang B., Zhang B., Feng J. Investigation on micro-structure of electron beam welded WC-Co/40Cr joints. Vacuum 149 (2018) P. 96–100
6. Медведев А.В., Филимонов С.С., Алибеков С.Я., Сальманов Р.С., Маряшев А.В. Особенности технологии изготовления дисковых пил на ООО «Махагони». Вестник Казанского технологического университета. Т.18 № 3. 2015. С.205–207.
7. Стародубцева О.Н., Патерюхин И. С., Лежнин Р. А., Разинская О. И., Алибеков С. Я. Особенности изготовления сварных инструментов Научному прогрессу-творчество молодых. Материалы XVII международной молодежной научной конференции по естественнонаучным и техническим дисциплинам г. Йошкар-Ола 22–23 апреля 2022г. стр. 214–216
8. Лежнин Р.А., Стародубцева О.Н., Алибеков С.Я., Ханина Ю.А., Патерюхин И.С. Соединение металлокерамических материалов. Инновации и инвестиции. 2022. № 2. С. 158–161.
9. Ивановский А.В., Ивановский В.П. Новые инструменты для обработки мягколиственной древесины. Лесное хозяйство. 2010. № 3 С. 47–48.
10. Некрасов Ю. И. Деформирование и рациональное нагружение сменных режущих пластин сборного инструмента // Вестник КузГТУ. 2010. № 4. – С. 54–57.
11. Пашков И.Н., Мисников В.Е., Морозов В.А., Таволжанский С.А. Индукционная пайка твердосплавных резцов горного инструмента. выбор состава и формы припоя. Сварочное производство. 2020. № 8. С. 20–27.
12. Катаев Р.Ф. Теория и технология контактной сварки: учебное пособие / Катаев Р.Ф., Милютин В.С., Близник М.Г., –

2-е изд., стер. – Москва: Флинта, Изд-во Урал. ун-та, 2017. – 144 с. ISBN 978-5-9765-3122-2.
13. Патерюхин И.С., Лежнин Р.А., Разинская О.И., Зверева О.С., Алибеков С.Я., Стародубцева О.Н. Особенности пайки твердосплавных пластин // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Материалы. Конструкции. Технологии. – 2023. – № 2 (26). – С. 17–23.
14. Клочко Н.А. Основы технологии пайки и термической обработки твердосплавного инструмента. – М: Металлургия, 1981, 200 с.
15. Стефанив Б.Ф. Разработка технологии пайки алмазно-твердо-сплавных резцов. Автоматическая сварка. 2013. № 2 С. 38–42.
16. Алифанов, А.В. Пайка твердосплавных пластинок на заготовки дереворежущих фрезерных ножей с применением ионной очистки / А.В. Алифанов, В.Н. Алехнович, Н.В. Бурносов // Труды БГТУ. №2. Лесная и деревообрабатывающая промышленность, 2006. – С. 187–189.
17. Binner J., Murthy T.S.R. Structural and Thermostructural Ceramics. Encyclope-dia of Materials: Technical Ceramics and Glasses Volume 2, 2021, P. 3–24.
18. Ланин В.Л., Сергачев И.И. Индукционные устройства для монтажной пайки в электронике // ЭОМ. 2012. № 4.
19. Михайлов М.И., Шейбак М.Р. Исследование влияния отклонения формы паза державки напайного резца на его напряженное состояние // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. 2009. № 2 (37). – С. 45–53.
20. Свиридов Л.Т., Ивановский В.П. Резание древесины различной плотности. Воронеж ВГУ 2005г. 204 с., ил.
21. Свиридов, Л.Т. Ивановский А.В., Ивановский В.П. Технология изготовления и подготовки к работе дереворежущих инструментов, оснащенных твердым сплавом. // Лесотехнический журнал. 2011. № 3 С. 106–113.

*References*

1. Starodubtseva O.N., Pateryukhin I.S., Alibekov S.Ya. Technology of brazing carbide inserts onto woodworking tools. Proceedings of the Volga State Technological University. Series: Technological. – 2024. – Issue 12. – Pp. 57-62
2. Tsumarev Yu.A. Strength of brazed joints: monograph / Tsumarev Yu.A. – Mogilev: Publishing House of the Belarusian. –Ross. Univ., 2011. –173 p.: ill. – Bibliography: pp. 165–171. – ISBN 978-985-492-089-
3. Sviridov, L.T., Ivanovsky A.V., Ivanovsky V.P. Technology of manufacturing and preparing wood-cutting tools equipped with hard alloy for operation. Forestry Engineering Journal. 2011. No. 3, pp. 106-113
4. Chen W., Zhang L. Cemented Carbides – An Outstanding Class of Refractory Based. Encyclopedia of Materials: Metals and Alloys Volume 1, 2022, pp. 383-393.
5. Chen G., Shu X., Liu J., Zhang B., Zhang B., Feng J. Investigation on micro-structure of electron beam welded WC-Co/40Cr joints. Vacuum 149 (2018) P. 96–100
6. Medvedev A.V., Filimonov S.S., Alibekov S.Ya., Salmanov R.S., Maryashev A.V. Features of the technology for manufacturing circular saw blades at LLC "Mahogany". Bulletin of Kazan Technological University. Vol. 18, No. 3. 2015. Pp. 205–207.
7. Starodubtseva O.N., Pateryukhin I.S., Lezhnin R.A., Razinskaya O.I., Alibekov S.Ya. Features of the manufacture of welded tools. Scientific progress — the creativity of young people. Proceedings of the 17th International Youth Scientific Conference on Natural Sciences and Technical Disciplines, Yoshkar-Ola, April 22–23, 2022, pp. 214–216.
8. Lezhnin R.A., Starodubtseva O.N., Alibekov S.Ya., Khanina Yu.A., Pateryukhin I.S. Joining of metal-ceramic materials. Innovations and Investments. 2022. No. 2. Pp. 158–161.
9. Ivanovsky A.V., Ivanovsky V.P. New Tools for Processing Softwood. Forestry. 2010. No. 3. Pp. 47–48.
10. Nekrasov Yu. I. Deformation and Rational Loading of Replaceable Cutting Inserts of a Modular Tool // Bulletin of KuzGTU. 2010. No. 4. – Pp. 54–57.
11. Pashkov I.N., Misnikov V.E., Morozov V.A., Tavolzhansky S.A. Induction brazing of carbide cutting tools. Selection of the composition and shape of the solder. Welding production. 2020. No. 8. Pp. 20–27.
12. Kataev R.F. Theory and Technology of Resistance Welding: a textbook / Kataev R.F., Milyutin V.S., Bliznik M.G., 2nd ed., ster. – Moscow: Flinta, Ural Publishing House. University, 2017. – 144 p. ISBN 978-5-9765-3122-2.
13. Pateryukhin I.S., Lezhnin R.A., Razinskaya O.I., Zvereva O.S., Alibekov S.Ya., Starodubtseva O.N. Features of Brazing Carbide Plates // Bulletin of the Volga State Technological University. Ser.: Materials. Structures. Technologies. – 2023. – No. 2 (26). – Pp. 17–23.
14. Klochko N.A. Fundamentals of Brazing Technology and Heat Treatment of Carbide Tools. – Moscow: Metallurgiya, 1981, 200 p.
15. Stefaniv B.F. Development of Brazing Technology for Diamond-Carbide Cutters. Automatic Welding. 2013. No. 2, pp. 38–42.
16. Alifanov, A.V. Brazing carbide inserts onto the blanks of wood-cutting milling knives using ion cleaning / A.V. Alifanov, V.N. Alekhnovich, N.V. Burnosov // Proceedings of BSTU. No. 2. Forestry and Woodworking Industry, 2006. – Pp. 187–189.
17. Binner J., Murthy T.S.R. Structural and Thermostructural Ceramics. Encyclopedia of Materials: Technical Ceramics and Glasses, Volume 2, 2021, Pp. 3–24.
18. Lanin V.L., Sergachev I.I. Induction devices for assembly soldering in electronics // EOM. 2012. No. 4.
19. Mikhailov M.I., Sheibak M.R. Study of the effect of deviations in the shape of the groove in the holder of a brazed cutting tool on its stress state // Bulletin of the P. O. Sukhoi State Technical University. 2009. No. 2 (37). – Pp. 45–53.
20. Sviridov L.T., Ivanovsky V.P. Cutting Wood of Varying Density. Voronezh: VSU, 2005. 204 p., ill.
21. Sviridov, L.T.; Ivanovsky A.V.; Ivanovsky V.P. Technology of Manufacturing and Preparing for Operation of Wood-Cutting Tools Equipped with Hard Alloy. // Forestry Engineering Journal. 2011. No. 3, pp. 106–113.