Научная статья
УДК 621.941.1:664.951.4:639.2.067

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ДИСКОВЫХ НОЖЕЙ РЫБОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН

О.В. Агеев[1,*], С.Б. Перетятко[1], А.В. Насипов[1], А.Л. Бондарь[1], Н.В. Самойлова[1]

[1] Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия
[*] E-mail: oleg.ageev@klgtu.ru

Аннотация. Анализируется технология производства дисковых ножей для рыбоперерабатывающих машин. Обсуждаются преимущества использования ножей из нержавеющей стали, связанные с долговечностью и устойчивостью к коррозии. Описываются этапы изготовления, включающие выбор материала, обработку, заточку и контроль качества. Анализируются существующие технологические процессы и их недостатки, предлагаются решающие усовершенствования, направленные на повышение производительности и качества режущих органов. Особое внимание уделяется внедрению ротационного точения для окончательной обработки ножей, что позволяет улучшить качество поверхности и снизить трудоемкость процесса.

Ключевые слова: *дисковый нож; технология; нержавеющая сталь; ротационное резание; точение; шлифование; заточка.*

Для цитирования: Агеев О.В., Перетятко С.Б., Насипов А.В., Бондарь А.Л., Самойлова Н.В. Совершенствование технологии производства дисковых ножей рыбоперерабатывающих машин // *Вестник науки и образования Северо-Запада России*. 2024. Т. 10. № 4. С. 6–17.

Original article

IMPROVEMENT OF MANUFACTURING TECHNOLOGY FOR DISC KNIVES OF FISH PROCESSING MACHINES

O.V. Ageev[1,*], S.B. Peretyatko[1], A.V. Nasipov[1], A.L. Bondar[1], N.V. Samojlova[1]

[1] Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia
[*] E-mail: oleg.ageev@klgtu.ru

Abstract. The manufacturing technology of circular knives for fish processing machines is analyzed. The advantages of using stainless steel knives related to durability and corrosion resistance are discussed. The manufacturing stages including material selection, processing, sharpening and quality control are described. The existing technological processes and their shortcomings are analyzed, and crucial improvements aimed at increasing the productivity and quality of cutting elements are proposed. Particular attention is paid to the introduction of rotary turning for final processing of knives, which improves the surface quality and reduces the labor intensity of the process..

Key words: *disc knife; technology; stainless steel; rotary cutting; turning; grinding; sharpening.*

For citation: Ageev O.V., Peretyatko S.B., Nasipov A.V., Bondar A.L., Samojlova N.V. Improvement of manufacturing technology for disc knives of fish processing machines. *Journal of Science and Education of North-West Russia*. 2024. Vol. 10, No. 4, pp. 6–17.

© Агеев О.В., Перетятко С.Б., Насипов А.В., Бондарь А.Л., Самойлова Н.В. 2024

Технология изготовления дисковых ножей для рыбоперерабатывающих машин является важным аспектом производства, влияющим на эффективность и качество обработки сырья [1]. Дисковые ножи из нержавеющей стали обладают рядом известных преимуществ, таких как долговечность, устойчивость к коррозии и хорошие режущие свойства, что обусловливает их выбор для применения в пищевом оборудовании в качестве рабочих органов.

Известно, что до 1980-х годов производство дисковых ножей для пищевых машин в нашей стране велось в значительных масштабах. Такие рабочие органы массово изготавливались крупными сериями, обеспечивая непрерывную работу многочисленных рыбоперерабатывающих линий. Однако далее произошёл значительный спад в этом секторе: производство рыбоперерабатывающих машин и рабочих органов к ним заметно сократилось.

С наступлением 1990-х годов ситуация для организаций пищевого машиностроения ещё более усложнилась. В условиях экономических реформ и перехода к рыночной экономике отечественные предприятия столкнулись с многочисленными трудностями, вследствие чего многие из них оказались неспособны конкурировать с зарубежными изготовителями. К 2000-м годам на российском рынке пищевой техники значительно увеличилась доля дисковых ножей иностранного производства, которые активно приобретались отечественными машиностроительными заводами.

В настоящее время производство рыбоперерабатывающего оборудования в России восстанавливается, в связи с чем становится актуальной задача возобновления массового производства дисковых ножей. Данная тенденция имеет ряд положительных аспектов:

1. Экономическая самостоятельность, позволяющая снизить зависимость от импортных комплектующих, что особенно важно в условиях глобальной нестабильности.

2. Качество продукции. Российские предприятия могут более гибко учитывать потребности местного рынка и специализироваться на разработке ножей, которые будут наиболее эффективны для конкретного сырья водного происхождения.

3. Создание рабочих мест. Запуск новых производственных линий создает дополнительные рабочие места и способствует экономическому развитию регионов.

Следует иметь в виду, что для стабильного роста производства рабочих органов пищевых машин необходимы инвестиции в современные технологии и оборудование, а также проведение обучения специалистов. Кроме того, требуется налаживание сотрудничества между производителями рыбоперерабатывающего оборудования и поставщиками комплектующих изделий. Возвращение к собственному производству дисковых ножей не только укрепит экономику рыбной отрасли, но и позволит вернуть утерянные позиции на мировом рынке. Такой шаг представляется существенным вкладом в развитие отраслевой промышленности и обеспечит преимущество в долгосрочной перспективе.

Выделим основные этапы изготовления дисковых ножей из нержавеющих сталей:

1. Выбор материала.

2. Разработка конструкции рабочего органа, которая зависит от типов машин и видов обрабатываемых рыб.

3. Обработка материала, в ходе которой заготовка из нержавеющей стали проходит через этапы резки, фрезерования, точения и шлифования для придания ей требуемых формы и размеров. При необходимости могут использоваться термообработка: закалка, отпуск для повышения твердости и прочности материала.

4. Заточка лезвий, которая должна быть выполнена с высокой точностью для обеспечения эффективного и качественного резания рыбы. Для данной операции необходимы специальные станки и инструменты.

5. Контроль качества готовых дисковых ножей, который включает проверку точности размеров, состояния режущей кромки и устойчивости к коррозии.

6. Нанесение на поверхности рабочего органа защитных покрытий с целью повышения износостойкости и улучшения антикоррозийных свойств (при необходимости).

Вышеизложенное означает, что изготовление дисковых ножей из нержавеющей стали является сложным и многоэтапным технологическим процессом, включающим обоснованный выбор качественных материалов, тщательную обработку и контроль качества готовых изделий. Вместе с тем, дисковые режущие органы обеспечивают высокую эффективность при резании рыбы и длительный срок службы рыбоперерабатывающих машин, что делает их востребованными в рыбной отрасли и пищевой промышленности. Таким образом, задачу совершенствования технологии производства дисковых ножей следует считать актуальной.

Анализ объекта исследования

Дисковый нож является рабочим органом рыбоперерабатывающих машин, предназначенных для механической обработки промысловых рыб. С физико-механической точки зрения он предназначен для резания вязкоупругих материалов (охлажденной и предварительно размороженной рыбы), но на производстве могут обрабатываться и блоки замороженного рыбного сырья с упругими свойствами [2].

Как ранее отмечалось, резание является основной технологической операцией при механической обработке охлажденной и замороженной рыбы. Большинство рыбообрабатывающих машин, таких как рыборазделочные, филетировочные и порционирующие - оснащены именно дисковыми ножами вследствие значительного снижения усилий резания по сравнению с пластинчатыми лезвиями [1]. Характеристики режущих органов существенно влияют как на качество продукта, так и на общую производительность машин.

Вместе с тем, одной из основных проблем при эксплуатации дисковых ножей в рыбоперерабатывающем оборудовании является коррозия. Данное явление представляет собой самопроизвольное разрушение материалов вследствие их физического и химического взаимодействия с окружающей средой [3]. Под действием активных сред практически все металлы, которые в реальных условиях эксплуатации техники являются термодинамически нестабильными, способны самопроизвольно разрушаться, образуя окислы, гидроокиси или другие комплексные соединения.

Продукты коррозии представляют собой безвозвратную потерю массы металла. К тому же зачастую прокорродировавший металл теряет и важные технологические, физико-химические и механические свойства: прочность, пластичность, твердость, износостойкость. Это приводит к отказам машин и механизмов, необходимости ремонта и большим потерям от простоя техники [4].

С точки зрения срока службы, нержавеющие сплавы являются наиболее экономичными [5]. Данный тип материала обладает наилучшими характеристиками среди конструкционных материалов, используемых для пищевого оборудования. Это наиболее широко используемый в промышленности материал, непосредственно контактирующий с пищевыми продуктами [6, 7].

Особенности работы дискового ножа в водно-биологической среде (лезвие вместе с лотками непрерывно омывается водой для очистки) обусловливают выбор материала для него – преимущественно нержавеющей легированной стали 95Х18. Однако указанная сталь отличается низкой обрабатываемостью, а закалка до твердости HRC 55…57 еще больше усложняет механическую обработку лезвий.

Дисковые ножи рыбоперерабатывающих машин по ОСТ 15.121-75 представляют собой диски наружным диаметром 100 ÷ 450 мм и толщиной 1,5 ÷ 5 мм. В зависимости от назначения дисковые ножи выполняются в отрасли четырех основных типов:

1) гладкие с односторонней заточкой.

2) с односторонней заточкой и канавками.

3) с двухсторонней заточкой и канавками.

4) гладкие с двухсторонней заточкой.

Дисковые ножи изготавливаются также в двух исполнениях, предусматривающих два варианта крепления ножей на установочной ступице: разъёмный и неразъёмный (заклепочное соединение).

К дисковым ножам предъявляются следующие требования по точности их поверхностей:

- отклонение от плоскостности торцов: не более 0,06 мм;
- отклонение от параллельности торцов: не более 0,04 мм;
- радиальное биение режущей кромки относительно посадочного отверстия: не более 0,1 мм;
- шероховатость плоскостей: Ra 1,25 мкм;
- шероховатость режущей плоскости: Ra 0,63 мкм.

Перезаточка ножа в процессе эксплуатации нормативными документами не предусматривается. Режущие грани дискового ножа должны иметь твёрдость HRC 55…57. В процессе эксплуатации лезвие должно обеспечивать наработку не менее 3000 часов.

Следует отметить, что дисковый нож является нежесткой деталью, он имеет малую толщину при большом диаметре, поэтому его закрепление в процессе механообработки затруднено. К поверхностям ножей предъявляются высокие требования по показателям точности и шероховатости. Однако на производстве они обеспечиваются малопроизводительными методами с большими затратами труда. Окончательная обработка осуществляется длительным шлифованием, что является малопроизводительным процессом, отличающимся большой трудоемкостью.

От показателей шероховатости поверхности режущих органов в значительной мере зависят величины сил трения, возникающих при резании рыбы и приводящих к дополнительным энергетическим затратам, а также снижающих качество поверхности среза.

Таким образом, обеспечение требуемого качества дисковых ножей, повышение производительности их изготовления и снижение трудоемкости операций является актуальной задачей дальнейшего развития рыбоперерабатывающих машин. Для решения указанной задачи необходим поиск эффективных технологических процессов изготовления дисковых ножей.

Рассматриваемый рабочий орган является нетехнологичной деталью, поскольку при базировании по торцу его сложно закрепить. Возможный вариант его установки - это базирование по торцу на магнитном патроне, в этом случае усилие закрепления реализуется в виде сил магнитного поля. Однако вследствие малой толщины ножа, усилия закрепления, развиваемые магнитным патроном, также малы, что ограничивает возможности обработки.

Магнитный патрон удовлетворяет условиям обработки дисковых ножей диаметром менее 280 мм, но для обработки ножей диаметром свыше указанного значения на магнитном патроне устанавливается проставочный диск, что затрудняет обеспечение требуемого качества ножа. Требования, предъявляемые к ножу по твердости (HRC 55…57) дополнительно усложняют технологический процесс изготовления ножа из стали 95Х18 с низкой обрабатываемостью.

Обеспечение требуемого качества и точности дисковых ножей достигается длительным шлифованием его торцов и режущего лезвия. Улучшить конструкцию данной детали крайне сложно. Традиционные методы механической обработки при этом малопроизводительны.

В связи с вышеизложенным, необходимо проанализировать известные методы производства дисковых ножей и предложить новый технологический процесс изготовления режущего органа.

Типовой техпроцесс изготовления дисковых ножей и его решающие недостатки

На заводах пищевого машиностроения применяется типовой технологический процесс изготовления ножей, разработанный научно-производственным объединением «Техрыбпром», основанный на обработке заготовки, полученной резкой из листа на гильотинных ножницах. Заготовка вырезается из листовой горячекатаной стали 95Х18 толщиной 3 - 5 мм в виде квадрата со сторонами, равными D с припуском 5 мм, где D - диаметр ножа. Затем на каждом квадрате на тех же ножницах срезаются углы так, что готовая заготовка для ножей $D \leq 280$ мм представляет собой восьмигранник, а для ножей $D > 280$ мм - шестнадцатигранник.

Нож обрабатывается по наружной и внутренней цилиндрическим поверхностям и по торцам на двух токарно-винторезных операциях, в нем сверлятся крепежные отверстия на вертикально-сверлильной операции. После термообработки нож, закаленный до HRC 55…57, обрабатывается на токарно-винторезной и круглошлифовальной операциях, где предварительно и окончательно формируются его торцы и режущее лезвие. Затем на универсально-заточном станке обрабатываются канавки на лезвии (при необходимости их наличия).

Анализ существующего типового техпроцесса показывает, что он имеет следующие решающие недостатки.

1. Метод получения заготовки отличается большой трудоемкостью (большая доля ручного труда при разметке и резке на гильотинных ножницах), малой производительностью.

2. Форма и размеры получаемой заготовки мало приближены к форме и размерам готового ножа, что увеличивает трудоемкость его дальнейшей механической обработки.

3. Наличие в технологическом процессе изготовления ножа токарно-винторезной операции по черновой обработке торцов приводит к деформациям ножа, что усугубляется дальнейшей термообработкой.

4. Вертикально-сверлильной операции по обработке крепежных отверстий предшествует их ручная разметка.

5. Получистовая и чистовая обработка торцов и лезвия ножа на токарно-винторезной и кругло-шлифовальной операциях после термообработки обеспечивает необходимую точности и качество ножа только при длительном шлифовании. Кроме того, шлифование - процесс очень трудоемкий и малопроизводительный. Шлифование одного ножа по данной технологии занимает 2 - 4 часа.

Дисковые ножи рыбоперерабатывающих машин конструктивно лишь в небольшой степени отличаются друг от друга: заточкой режущего лезвия, наличием крепежных отверстий и канавок на режущем лезвии. Сходство конструктивно-технологических признаков ножей позволяет объединить их в одну группу и разработать конструкцию детали - представителя группы - комплексного ножа.

Таким образом, совершенствование техпроцесса базируется на выполненном анализе недостатков его существующего типового варианта и проводится по следующим трем направлениям:

1. Изменение формы заготовки и выбор более производительного и точного метода ее получения.

2. Исключение малопроизводительных и трудоемких операций (типа разметочных) за счет применения необходимых технологических приспособлений или оборудования.

3. Применение в качестве метода чистовой обработки дискового ножа альтернативных методов, типа чистового ротационного точения.

Усовершенствованный техпроцесс с ротационным резанием и его решающие недостатки

С целью устранения недостатков изготовления дискового ножа по типовому техпроцессу в Калининградском государственном техническом университете был разработан усовершенствованный технологический процесс для производственной программы выпуска рабочих органов в количестве 1000 изделий в год.

Заготовку ножа предлагалось получать на вырубном штампе из листовой горячекатаной стали 95Х18, которая предварительно режется на полосы на гильотинных ножницах. Полученная таким способом заготовка более точна и приближена по форме и размерам к готовому ножу. Такой метод получения заготовки ножа дал возможность сократить трудоемкость дальнейшей его механической обработки в проектируемом технологическом маршруте.

До термообработки выполнялась токарно-винторезная операция по растачиванию установочного отверстия и вертикально-сверлильная операция по обработке крепежных отверстий. По сравнению с предыдущим типовым технологическим процессом в предлагаемом процессе устранялись токарные работы по формированию наружной цилиндрической поверхности ножа и операция разметки крепежных отверстий (за счет применяемого кондуктора).

Таким образом, первая часть нового технологического процесса отличалась меньшей трудоемкостью и большей производительностью, чем существующая. Устранение недостатков второй стадии технологического маршрута (после термообработки) предусматривало совершенствование процесса обработки закаленных дисковых ножей.

Обработка проводились на токарно-винторезном станке без охлаждения роторными резцами с пластинами диаметром 30-32 мм из различных материалов. Использовались круглые пластины ø 30 ÷ ø 32 мм формы 12 (ГОСТ 2209-69 «Пластины твердосплавные напаиваемые для режущего инструмента. Технические условия»). Эти сплавы отличаются друг от друга твердостью и теплопроводностью.

Были выбраны следующие параметры процесса:

- диаметр пластины роторного резца: от ø 30 до ø 32 мм;
- передний угол заточки резца: $\gamma 3 = 12° \div 18°$;
- задний угол заточки резца: $\alpha 3 = -(12° \div 17°)$;
- угол наклона оси резца к основной плоскости: $\beta_y = 23°$;
- угол установки резца: $\varphi_y = 14° \div 18°$;
- высота установки резца относительно оси центров станка: $h_y = 0$ мм;
- максимальная скорость вращения заготовки: n = 200-600 об/мин;
- подача роторного резца: S = 0,3 ÷ 0,7 мм/об;
- глубина резания: t = 0,1 ÷ 0,4 мм.

Критерием износа роторного резца служило увеличение шероховатости обрабатываемой поверхности сверх требуемой и появление на задней поверхности его режущего элемента фаски износа $h_3 \geq 0,5$ мм. Поэтому перед каждым экспериментом у резца замерялась начальная фаска, полученная на его задней поверхности при заточке. Ее величина при всех исследованиях составляла $h_3 = 0,04 \div 0,05$ мм.

В процессе экспериментов каждый роторный резец устанавливался под разными углами установки: 14°, 15°, 16°, 17° и 18°. Углы заточки резца также изменялись и принимали следующие значения: передний угол заточки 12°, 15°, 18° и задний угол заточки - 10°, -12°, - 14°, - 16°. Точение осуществлялось при поперечной подаче роторного резца в разных направлениях: от периферии к центру торца и от центра к периферии. Торцевому ротационному точению подвергались дисковые ножи диаметром 200 мм и толщиной 3 мм.

На первом этапе исследований точение осуществлялось роторными резцами оснащенными пластинами из твердых сплавов Т5К10, Т14К8, Т15К6. При точении ножей с твердостью HRC 52…57, установленных на магнитном патроне, роторными резцами на всех

исследуемых параметрах процесса в диапазоне рекомендованных режимов наблюдалось выкрашивание режущих пластин. Режущих свойств пластины хватало максимум на один проход.

Также были испытаны роторные резцы оснащенные специально изготовленными пластинами из сплава Т30К4 при точении дисковых ножей при тех же параметрах и режимах процесса. Во всех случаях точения наблюдалось выкрашивание режущей пластины. Кроме этого, наблюдался нагрев инструмента. Однако точение роторным резцом с пластиной Т30К4 давало лучшие результаты после отпуска дисковых ножей до твердости HRC = 52÷ 54: наблюдался износ режущей пластины с малым выкрашиванием, причем стойкости пластины хватало на 1÷2 прохода.

Далее были проведены исследования роторного точения с применением оксидно-карбидной минералокерамики типа ВОК-60. Поперечное точение ножа роторными резцами, оснащенными специально изготовленными пластинами ВОК-60, осуществлялось при тех же параметрах и режимах процесса, что и предыдущие варианты экспериментов. В процессе торцевого точения дисковых ножей с HRC > 55, наблюдалось осыпание режущей пластины. Наряду с этим были испытаны пластины из однокарбидных твердых сплавов ВК8 и ВК6 при точении дисковых ножей с твердостью в диапазоне HPC = 52 ÷ 63.

Эксперименты показали, что при обработке дисковых ножей с твердостью HRC > 55 режущие пластины из твердого сплава ВК6 подвержены износу (их работоспособности хватило максимум на 4 прохода при точении ножа с HRC = 63). Кроме того, наблюдался нагрев резца и ножа. При точении же ножей с HRC ≤ 55 стойкости режущих пластин ВК6 хватало на 10 ÷ 12 проходов. Таким образом, роторным резцом с пластиной из ВК6 можно было обработать без перезаточки 5 ÷ 6 ножей с HRC ≤ 55.

По результатам исследований были рекомендованы следующие диапазоны режимов резания:

- скорость вращения шпинделя станка: n = 200÷600 об/мин (до 375 м/мин);
- подача резца: S = 0,3 ÷ 0,7 мм/об;
- глубина резания: t = 0,1 ÷0,4 мм.

Все обработанные ножи измерялись по шероховатости в нескольких поясах в 15 ÷ 20 точках, которая составила величину 0,6 ≤ Ra ≤ 1,1 мкм.

Было установлено, что снижение твердости обрабатываемых ножей в среднем на несколько единиц по Роквеллу приводит к увеличению стойкости резца в 2 раза.

Торцевое точение дисковых ножей показало, что лучшее качество обработанной поверхности и меньшее количество вминаемой в эту поверхность стружки обеспечивается при поперечной подаче резца в направлении от центра торца к его периферии. Это обусловлено действием центробежных сил, которые при прямой подаче затягивают стружку по резец, а при обратной - отталкивают ее.

Однако при глубинах резания t > 0,3 мм наблюдалось проворачивание обрабатываемого ножа на магнитном патроне в процессе резания, что обусловлено разницей в величинах сил резания и закрепления.

Вылетающая стружка при точении частично притягивалась силами магнитного патрона к обрабатываемому торцу и попадая под вращающийся режущий элемент роторного резца, вминалась в обрабатываемую поверхность (что безусловно ухудшало ее качество) или наматывалась на режущий элемент (что усложняло и без того неблагоприятные условия резания).

Далее проводились эксперименты по изменению геометрии режущего инструмента для обеспечения дробления стружки и т.д. Был сделан вывод, что производительность резко возрастает за счет ликвидации шлифовальных операций. При обработке роторным резцом с пластиной ВК6 обеспечивается стабильно требуемое качество ножей, а производительность резко возрастает, т.к. ликвидируются полностью длительные операции шлифования.

Вместе с тем, анализ данного усовершенствованного техпроцесса показывает, что при применении ротационного точения дисковых ножей достичь оптимальных режимов резания не удается по причине малой толщины ножа. Установлены причины данного недостатка. Так, в работе [8] отмечается, что при ротационной резке труднообрабатываемых материалов наблюдается меньший износ инструмента при более высоких скоростях резания, в отличие от обычного одноточечного точения. Обработка нержавеющей стали методом сухого вращательного резания проводились с использованием твердосплавных инструментов с покрытием. При скорости 100 м / мин на режущих кромках наблюдались сколы. Между тем, при скорости 500 м / мин более высокая средняя температура в зоне контакта инструмента с обрабатываемой деталью вызывала небольшие пятна износа, а не склеивание при оптимальной скорости вращения инструмента. Следовательно, при ротационной резке более высокая скорость резания более эффективна и необходима - как с точки зрения достижения в несколько раз большей производительности, так и с точки зрения уменьшения количества отказов инструмента из-за разницы режимов выхода инструмента из строя.

Авторы работы [9] указали, что при скорости резания ротационными резцами до 500 м / мин. сокращаются время контакта с заготовкой и силы трения, снижаются температуры инструмента и отказы. В статье [10] показано, что обработка вращающимися инструментами представляется эффективным методом. Он используется при обработке материалов, которые относятся к категории труднообрабатываемых. Отмечается, что причиной неудовлетворительных результатов могла быть не сама кинематическая схема обработки, а скорее конструкция инструмента и выбор параметров резания. Наибольшее влияние на процесс оказывает скорость вращения заготовки: с ее увеличением увеличивается сила резания, а также значения шероховатости поверхности. Более низкие значения шероховатости поверхности достигаются за счет увеличения параметров подачи и глубины резания.

Однако при изготовлении дисковых ножей из нержавеющей стали по усовершенствованному техпроцессу применяется магнитная оснастка, что обусловливает низкие скорости резания, малые глубины резания и подачи для уменьшения силы резания. Следовательно, при ротационном резании дисковых ножей, крайне проблематично добиться оптимальных режимов резания и, как следствие - требуемого качества получаемого изделия и необходимой стойкости ротационных резцов. При этом применение многокомпонентных инструментов также малоэффективно. В частности, в работе [11] отмечается, что при использовании сборного твердосплавного инструмента, конструкция которого включает несколько компонентов, могут возникать вибрации, которые нежелательны в процессе резания.

В инженерной практике большинство проблем с вибрацией решаются за счет снижения параметров резания (скорости резания и подачи), что снижает производительность обработки.

Таким образом, усовершенствованный техпроцесс изготовления дисковых ножей с применением ротационного точения и специальной сложной и дорогостоящей технологической оснастки имеет решающие недостатки, которые не позволяют считать его перспективным.

Альтернативные варианты изготовления дисковых ножей

Известен способ изготовления дискового ножа, состоящего из основы – корпуса и двух режущих кромок. Основу изготавливают из конструкционной стали, с двух сторон формируют пазы. Режущие кромки наплавляют сплавом 110Х5М8В2С2ТЮ [12]. Для такой конструкции дискового ножа характерна низкая производительность и трудоемкость обработки наплавленных режущих кромок, требующих снятие припуска, как по цилиндрической поверхности, так и по двум торцам. В процессе наплавки припуск на

обработку может составлять несколько миллиметров. Шлифование рабочей части ножа также оказывается весьма затратным.

Анализ вариантов изготовления дисковых ножей из нержавеющей стали для обработки металла с применением наплавки [13, 14], или химико-термической обработки [15], или с применением нитроцементации и специальных режимов термообработки [16], показывает, что такие технологические процессы имеют низкую производительность, значительную длительность и высокую стоимость получаемых дисковых ножей. В связи с этим указанные методы не являются эффективными при изготовлении дисковых ножей, предназначенных для рыбной промышленности.

Предлагаемый вариант техпроцесса изготовления дисковых ножей

С целью устранения решающих недостатков вышеперечисленных подходов, в качестве наиболее эффективного варианта технологического процесса сформирован и апробирован в условиях современного производства процесс с применением гидроабразивной резки и станка с ЧПУ. Для получения заготовки выбирается листовой прокат. Используется следующая последовательность операций, которая существенно сокращает стоимость и время изготовления дисковых ножей:

- посредством гидроабразивного резания формируется диск, посадочное и крепежные отверстия в нем;
- проводится термическая обработка: закалка, охлаждение между плит в прессе, отпуск, а также охлаждение на воздухе;
- осуществляется расточка посадочного отверстия, зенкерование крепежных отверстий;
- выполняется шлифование первого торца, шлифование второго торца, шлифование фаски ножа с углом 20°, а также последующее шлифование фаски ножа с углом 10°.
- проводится размагничивание ножа.

Заключение

Вышеизложенное позволяет заключить, применение рекомендуемого технологического процесса обеспечивает ряд существенных преимуществ при изготовлении дисковых ножей для рыбоперерабатывающих машин. Сокращаются малопроизводительные операции и растет производительность труда. Рационально используются ценные ресурсы в виде материала, из которого изготавливаются дисковые ножа, сокращается износ средств технологического оснащения, а также снижаются количество отходов и расход электроэнергии. Упрощается подготовка и сокращается количество персонала, поскольку значительная часть операций выполняется автоматически на оборудовании с числовым программным управлением. Снижается стоимость готовых дисковых ножей, что решает задачи обеспечения рыбоперерабатывающего оборудования надежными рабочими органами и сокращения простоев технологических линий из-за отказов. Указанные положительные эффекты способствуют увеличению эффективности работы машиностроительного предприятия, а также увеличению прибыли рыбоперерабатывающих производств.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Агеев О.В., Самойлова Н.В., Наумов В.А., Фатыхов Ю.А. Математическое моделирование сил сопротивлений при резании рыбы дисковым ножом // Научный журнал Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2021. № 4(50). С. 46-58.

2. Наумов В.А., Агеев О.В., Фатыхов Ю.А. Моделирование процесса погружения дискового ножа в пищевой материал при резании // Электронный научный журнал Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств [Электронный ресурс]. – Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2017. № 2(32). Шифр: ЭЛ № ФС77–55245. Режим доступа: http://openbooks.ifmo.ru/read_processes/16842/16842.pdf.

3. Романченко Н.М. Коррозионностойкие материалы оборудования пищевых производств // Ресурсосберегающие технологии сельского хозяйства: сборник научных статей. Выпуск 11. Красноярск, Красноярский государственный аграрный университет. 2019. С. 30-36.

4. Романченко Н.М., Беспалов В.Ф. Защита сельскохозяйственной техники от коррозии. Красноярск, Красноярский государственный аграрный университет. 2016. 280 с.

5. Covert R.A., Tuthill A.H. Stainless steels: an introduction to their metallurgy and corrosion resistance // Dairy Food Environmental Sanitary. 2000. Т. 20. С. 506-517.

6. Dewangan A.K., Patel A.D., Bhadania A.G. Stainless Steel for Dairy and Food Industry: A Review // Journal of Material Science and Engineering. 2015. Т. 4. С. 191. doi:10.4172/2169-0022.1000191.

7. Dillon C.P., Rahoi D.W., Tuthill A.H. Stainless steels for bio-processing, Part II: Classes of alloys // Bio-pharmaceutical. 1992. Т. 5. С. 32-35.

8. Yamamoto H., Satake K., Sasahara H., Tsutsumi M., Muraki T. Thermal Behavior and Chip Formation on Rotary Cutting of Difficult-to-cut Materials Utilizing Multi Tasking Lathe and MQL // The Japan Society of Mechanical Engineers. 2014.

9. Yamamoto H., Satake K., Sasahara H., Tsutsumi M., Muraki T. Thermal Behavior and Tool Failures on Rotary Cutting of Difficult-to-Cut Materials Utilizing Multi Tasking Lathe // Key Engineering Materials. 2010. Т. 447-448. С. 806-810.

10. Joch R., Šajgalík M., Czán A., Holubják J., Cedzo M., Čep R. Effects of Process Cutting Parameters on the Ti-6Al-4V Turning with Monolithic Driven Rotary Tool // Materials. 2022. Т. 15. С. 5181.

11. Czán A., Joch R., Šajgalík M., Holubják J., Cedzo M., Čep R. Verification of Monolithic Rotary Cutting Tool for Active Driven Rotation Machining // Research Square. Preprint (Version 1), 14 October 2021. Доступно на: https://www.researchsquare.com.

12. Неверов В.В., Клевцов П.Н., Лебедев С.В., Неверов В.С. Восстановление дисковых ножей наплавкой сплавами повышенной прочности // Вестник ЛГТУ. 2019. Т. 41. № 3. С. 33.

13. Лаврентьев А.Ю., Какорин Д.Д., Барчуков Д.А. Высокопроизводительный способ изготовления биметаллического дискового ножа // Глобальная энергия. 2023. Т. 29. № 3. С. 100-110.

14. Какорин Д.Д., Лаврентьев А.Ю. Способ изготовления дискового ножа: Патент № 2752719 С1 Российской Федерации, МПК B23P 15/40. Заявка № 2020142298, подана 21.12.2020, опубликована 30.07.2021.

15. Тарасов А.Н., Тарасов В.Н., Ткачевская Г.Д., и др. Способ изготовления дисковых ножей для механизированной резки рыбы: Авторское свидетельство № 1555375 А1 СССР, МПК С21D 1/78. Заявка № 4395889, подана 21.03.1988, опубликована 07.04.1990.

REFERENCES

1. Ageev, O.V., Samoylova, N.V., Naumov, V.A., Fatykhov, Yu.A., Zubkov, O.A. Mathematical modeling of resistance forces during fish cutting with a disc knife. Scientific Journal of Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics, and Optics. Series: Processes and Devices of Food Production. 2021, No. 4(50), pp. 46-58.

2. Naumov, V.A., Ageev, O.V., Fatykhov, Yu.A. Modeling the process of disc knife immersion into food material during cutting. Electronic Scientific Journal of Saint Petersburg

National Research University of Information Technologies, Mechanics, and Optics. Series: Processes and Devices of Food Production [Electronic Resource]. Saint Petersburg: ITMO University, 2017, No. 2(32), EL No. FS77–55245. Available at: http://openbooks.ifmo.ru/read_processes/16842/16842.pdf.

3. Romancenko, N.M. Corrosion-resistant materials for food production equipment. Resource-Saving Technologies in Agriculture: Collection of Scientific Articles, Volume 11. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State Agrarian University, 2019, pp. 30-36.

4. Romancenko, N.M., Bespalov, V.F. Protection of agricultural machinery from corrosion. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State Agrarian University, 2016, 280 p.

5. Covert, R.A., Tuthill, A.H. Stainless steels: an introduction to their metallurgy and corrosion resistance. Dairy Food Environmental Sanitary, 2000, Vol. 20, pp. 506-517.

6. Dewangan, A.K., Patel, A.D., Bhadania, A.G. Stainless Steel for Dairy and Food Industry: A Review. Journal of Material Science and Engineering, 2015, Vol. 4, pp. 191. doi:10.4172/2169-0022.1000191.

7. Dillon, C.P., Rahoi, D.W., Tuthill, A.H. Stainless steels for bio-processing, Part II: Classes of alloys. Bio-pharmaceutical, 1992, Vol. 5, pp. 32-35.

8. Yamamoto, H., Satake, K., Sasahara, H., Tsutsumi, M., Muraki, T. Thermal Behavior and Chip Formation on Rotary Cutting of Difficult-to-cut Materials Utilizing Multi Tasking Lathe and MQL. The Japan Society of Mechanical Engineers, 2014.

9. Yamamoto, H., Satake, K., Sasahara, H., Tsutsumi, M., Muraki, T. Thermal Behavior and Tool Failures on Rotary Cutting of Difficult-to-Cut Materials Utilizing Multi Tasking Lathe. Key Engineering Materials, 2010, Vol. 447-448, pp. 806-810.

10. Joch, R., Šajgalík, M., Czán, A., Holubják, J., Cedzo, M., Čep, R. Effects of Process Cutting Parameters on the Ti-6Al-4V Turning with Monolithic Driven Rotary Tool. Materials, 2022, Vol. 15, pp. 5181.

11. Czán, A., Joch, R., Šajgalík, M., Holubják, J., Cedzo, M., Čep, R. Verification of Monolithic Rotary Cutting Tool for Active Driven Rotation Machining. Research Square, Preprint (Version 1), 14 October 2021. Available at: https://www.researchsquare.com.

12. Neverov, V.V., Klevtsov, P.N., Lebedev, S.V., Neverov, V.S. Restoration of disc knives by surfacing with high-strength alloys. Bulletin of LGTU, 2019, Vol. 41, No. 3, pp. 33.

13. Lavrentyev, A.Yu., Kakorin, D.D., Barchukov, D.A. High-performance method for manufacturing a bimetallic disc knife. Global Energy, 2023, Vol. 29, No. 3, pp. 100-110.

14. Kakorin, D.D., Lavrentyev, A.Yu. Method for manufacturing a disc knife. Patent No. 2752719 C1 Russian Federation, IPC B23P 15/40. Application No. 2020142298, filed 21.12.2020, published 30.07.2021.

15. Tarasov, A.N., Tarasov, V.N., Tkachevskaya, G.D., et al. Method for manufacturing disc knives for mechanized fish cutting. Author's Certificate No. 1555375 A1 USSR, IPC C21D 1/78. Application No. 4395889, filed 21.03.1988, published 07.04.1990.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ	INFORMATION ABOUT THE AUTHORS
Агеев Олег Вячеславович – доктор технических наук, доцент, Калининградский государственный технический университет (236022, Россия, г. Калининград, Советский пр-т 1, e-mail: oleg.ageev@klgtu.ru)	*Ageev Oleg Viatcheslavovich* – Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor, Kaliningrad State Technical University (236022, Russia, Kaliningrad, Sovetsky ave. 1, e-mail: oleg.ageev@klgtu.ru)
Перетятко Сергей Борисович – кандидат технических наук, Калининградский государственный технический университет (236022, Россия, г. Калининград, Советский пр-т 1, e-mail: sergej.peretyatko@klgtu.ru)	*Peretyatko Sergey Borisovich* - Ph.D. (Eng), Kaliningrad State Technical University (236022, Russia, Kaliningrad, Sovetskiy pr-t 1, e-mail: sergej.peretyatko@klgtu.ru).

Насипов Александр Вадимович – аспирант, Калининградский государственный технический университет (236022, Россия, г. Калининград, Советский пр-т 1, e-mail: alexandernassipov.origin@gmail.com)	*Nasipov Alexander Vadimovich* – postgraduate student, Kaliningrad State Technical University (236022, Russia, Kaliningrad, Sovetsky ave. 1, e-mail: alexandernassipov.origin@gmail.com)
Бондарь Алексей Леонидович – студент, Калининградский государственный технический университет (236022, Россия, г. Калининград, Советский пр-т 1, e-mail: alekseibondar98@yandex.ru)	*Bondar Alexey Leonidovich* – student, Kaliningrad State Technical University (236022, Russia, Kaliningrad, Sovetsky ave. 1, e-mail: alekseibondar98@yandex.ru)
Самойлова Наталья Владимировна – преподаватель-исследователь, Калининградский государственный технический университет (236022, Россия, г. Калининград, Советский пр-т 1, e-mail: procyon@mail.ru)	*Samojlova Natalia Vladimirovna* – lecturer researcher, Kaliningrad State Technical University (236022, Russia, Kaliningrad, Sovetsky ave. 1, e-mail: procyon@mail.ru)

Статья поступила в редакцию 30.09.2024; одобрена после рецензирования 17.10.2024, принята к публикации 23.10.2024.
The article was submitted 30.09.2024; approved after reviewing 17.10.2024; accepted for publication 23.10.2024.